

ACTUALIZACIÓN, PROSECUCIÓN Y TRAMITACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE SANTO DOMINGO



ETAPA 6: CONSULTA, APROBACIÓN Y DIFUSIÓN **SUBETAPA 6.1: REVISIÓN INFORME AMBIENTAL**

ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

ABRIL, 2023

ÍNDICE

| | | |
|------------|--|-----------|
| I | ESTUDIO DE RIESGOS | 9 |
| I.1 | INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| I.1.1 | Objetivos del estudio..... | 9 |
| I.1.2 | Área de estudio | 23 |
| I.1.3 | Alcances y limitaciones..... | 9 |
| I.1.4 | Marco jurídico..... | 10 |
| I.2 | ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO | 12 |
| I.2.1 | Clima..... | 12 |
| I.2.1.1 | Características climáticas comuna de Santo Domingo | 12 |
| I.2.1.2 | Distritos agroclimáticos | 13 |
| I.2.1.3 | Antecedentes de cambio climático comuna de Santo Domingo | 14 |
| I.2.1.4 | Temperaturas | 15 |
| I.2.1.5 | Precipitaciones | 16 |
| I.2.1.6 | Precipitaciones máximas en 24 hrs | 18 |
| I.2.1.7 | Humedad relativa | 19 |
| I.2.1.8 | Vientos | 20 |
| I.2.1.9 | Conclusiones | 23 |
| I.2.2 | GEOMORFOLOGIA..... | 23 |
| I.2.2.1 | Geomorfología comuna de Santo Domingo | 23 |
| I.2.2.2 | Ambientes Geomorfológicos | 25 |
| I.2.2.3 | Batimetría | 28 |
| I.2.2.4 | Conclusiones | 28 |
| I.2.3 | GEOLOGÍA..... | 29 |
| I.2.3.1 | Geología regional | 29 |
| I.2.3.2 | Geología local | 30 |
| I.2.3.3 | Localidades en estudio | 34 |
| I.2.3.4 | Conclusiones | 42 |
| I.2.4 | HIDROGRAFÍA..... | 44 |
| I.2.4.1 | Hidrología regional | 44 |
| I.2.4.2 | Cuencas hidrográficas | 44 |
| I.2.4.3 | Hidrología local | 46 |
| I.2.4.4 | Conclusiones componente hidrológico | 50 |
| I.2.5 | SUELOS | 50 |
| I.2.5.1 | Caracterización regional del suelo | 50 |
| I.2.5.2 | Suelo a escala local | 51 |
| I.2.5.3 | Erosión del suelo | 52 |
| I.2.5.4 | Capacidad de uso de suelo | 53 |

| | | |
|---------|--|-----|
| I.2.5.5 | Uso de suelos | 56 |
| I.2.5.6 | Conclusiones | 57 |
| I.2.1 | INCENDIOS FORESTALES | 58 |
| I.2.2 | VOLCANISMO | 60 |
| I.2.3 | SISMICIDAD | 60 |
| I.2.3.1 | Fuentes sismogénicas | 60 |
| I.2.3.2 | Sismicidad como peligro | 62 |
| I.2.3.3 | Antecedentes sísmicos en Santo Domingo | 63 |
| I.2.4 | ÁREAS PROTEGIDAS | 65 |
| I.2.4.1 | Conclusión | 66 |
| I.2.5 | CATASTRO HISTÓRICO DE RIESGOS NATURALES Y ANTRÓPICOS | 67 |
| I.3 | ANTECEDENTES TEÓRICOS | 70 |
| I.3.1 | Riesgo y susceptibilidad | 70 |
| I.3.2 | Remociones en masa..... | 71 |
| I.3.3 | Inundaciones | 77 |
| I.3.3.1 | Inundación por desborde de cauce | 77 |
| I.3.3.2 | Inundación por anegamiento | 79 |
| I.3.3.3 | Inundación por tsunami | 80 |
| I.3.4 | Incendios | 81 |
| I.4 | METODOLOGÍA | 83 |
| I.4.1 | Inundación por desborde de cauce y anegamiento..... | 84 |
| I.4.2 | Inundación por Tsunami..... | 85 |
| I.4.3 | Remociones en masa..... | 88 |
| I.4.4 | Zonificación de la susceptibilidad | 90 |
| I.5 | RESULTADOS | 92 |
| I.5.1 | Remoción en masa y erosión acentuada | 92 |
| I.5.1 | Áreas de riesgo de inundación | 93 |
| I.6 | ZONAS NO EDIFICABLES | 102 |
| I.7 | ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL..... | 103 |
| I.7.1 | ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL | 103 |
| I.7.2 | ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR CULTURAL | 103 |

| | |
|------------------------------|------------|
| I.8 CONCLUSIONES..... | 104 |
| I.9 BIBLIOGRAFÍA..... | 107 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|--|----|
| Imagen 1: Área de estudio..... | 24 |
| Imagen 2: Clasificación climática de Köppen, Comuna de Santo Domingo | 12 |
| Imagen 3: Distritos agroclimáticos, Comuna de Santo Domingo..... | 13 |
| Imagen 4: Perfil esquemático a través de los cordones dunares de la Playa de Santo Domingo | 26 |
| Imagen 5: Mapa geológico regional simplificado Chile central regiones V y Metropolitana...30 | |
| Imagen 6: Mapa geológico comunal | 32 |
| Imagen 7: Mapa geológico área urbana comuna Santo Domingo | 34 |
| Imagen 8: Mapa geológico El Convento | 35 |
| Imagen 9: Mapa geológico El Gran Eucaliptus..... | 36 |
| Imagen 10: Mapa geológico Yali alto | 37 |
| Imagen 11: Mapa geológico Santa Blanca..... | 38 |
| Imagen 12: Mapa geológico Las Salinas..... | 39 |
| Imagen 13: Mapa geológico Bucalemu | 40 |
| Imagen 14: Mapa geológico San Enrrique | 41 |
| Imagen 15: Mapa geológico Mostazal..... | 42 |
| Imagen 16: Remociones en masa Navidad – Sismo 27F 2010 | 43 |
| Imagen 17: Cuencas Región de Valparaíso | 44 |
| Imagen 18: Cuencas comuna de Santo Domingo | 45 |
| Imagen 19: Cuenca del Río Maipo..... | 46 |
| Imagen 20: Cuenca rio Rapel | 47 |
| Imagen 21: Cuenca Estero el Yalí..... | 48 |
| Imagen 22: Cuenca Estero Mantenlahue | 49 |
| Imagen 23: Riesgo de erosión potencial de los suelos, comuna de Santo Domingo..... | 53 |
| Imagen 24: Clases de capacidad de suelos, comuna de Santo Domingo..... | 55 |
| Imagen 25: Uso de suelo actual, comuna de Santo Domingo | 57 |
| Imagen 26: Amenaza de incendio forestal, ONEMI, comuna de Santo Domingo..... | 58 |
| Imagen 27: Amenaza de incendio forestal, ONEMI, Ciudad de Santo Domingo | 59 |
| Imagen 28: Modelo de subducción | 61 |
| Imagen 29: Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto | 63 |
| Imagen 30: Áreas Protegidas Comuna de Santo Domingo..... | 65 |
| Imagen 31: Santuario de la Naturaleza Humedal Río Maipo Comuna de Santo Domingo..... | 66 |
| Imagen 32: Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas | 72 |
| Imagen 33: Remociones en Masa de tipo Deslizamientos..... | 73 |
| Imagen 34: Remociones en Masa de tipo Flujo | 73 |

| | |
|---|------------|
| Imagen 35: Terrazas de inundación con periodos de retorno hipotéticos..... | 78 |
| Imagen 36: Comparativa de resultados de modelación de Tsunami sector desembocadura Río Maipo | 87 |
| Imagen 37: Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno | 90 |
| Imagen 38: Áreas de riesgos Santo Domingo | 94 |
| Imagen 39: Áreas de riesgos El Convento..... | 95 |
| Imagen 40: Áreas de riesgo San Enrique..... | 95 |
| Imagen 41: Áreas de riesgo Las Salinas..... | 96 |
| Imagen 42: Áreas de riesgo El gran Eucaliptus..... | 97 |
| Imagen 43: Áreas de riesgo Yali Alto..... | 98 |
| Imagen 44: Áreas de riesgo Santa Blanca..... | 99 |
| Imagen 45: Áreas de riesgo Mostazal | 100 |
| Imagen 46: Áreas de riesgo Bucalemu | 101 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Línea Base (1980 - 2010) - Escenario 2050..... | 15 |
| Tabla 2: Temperatura mensual en °C, estación Santo Domingo, años 2000 al 2018..... | 16 |
| Tabla 3: Precipitaciones medias mensuales, Estación Santo Domingo, período años..... | 17 |
| Tabla 4: Precipitaciones máximas anuales en 24 horas. Estación Santo Domingo (período 2000-2018) | 18 |
| Tabla 5: Precipitaciones máximas diarias en 24 horas (sobre 60 mm). Estación Santo Domingo (período 1970-2019) | 19 |
| Tabla 6: Promedio mensual de la humedad relativa, período 2000-2018 | 20 |
| Tabla 7 Clases de capacidad de suelos, comuna de Santo Domingo | 55 |
| Tabla 8 Uso de suelo actual, comuna de Santo Domingo..... | 56 |
| Tabla 9 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones | 67 |
| Tabla 10 Registro de alerta roja ONEMI | 68 |
| Tabla 11 Caudales máximos asociados a periodos de retorno, en la estación Maipo en Cabimbao en m ³ /s | 85 |
| Tabla 12 Parámetros de mecanismo de falla definidos para los tsunamis de 1730 y 2010..... | 86 |
| Tabla 13 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad | 91 |

I ESTUDIO DE RIESGOS

I.1 INTRODUCCIÓN

En el contexto de la Licitación Pública Estudio: “Actualización del Plan Regulador Comunal de Santo Domingo”, se presenta a continuación los resultados del Estudio de Riesgos Naturales de la comuna, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica, permitiendo así identificar las limitantes y las potencialidades que ofrece el territorio para su desarrollo.

I.1.1 Objetivos del estudio

El objetivo de este trabajo es generar un estudio fundado de riesgo y protección ambiental, identificando y delimitando en el área de estudio los riesgos que han de ser incorporados y/o adecuados en la Actualización Plan Regulador Comunal, de acuerdo con lo señalado por el artículo 2.1.17 y 2.1.18 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Junto con ello se identificarán las áreas de protección de recursos de valor natural.

Los objetivos específicos de este estudio consisten en:

Elaborar de un catastro, descripción y reconocimiento de los principales peligros naturales y antrópicos que pueden afectar al área de estudio, así como sus factores condicionantes y detonantes.

Elaborar una Línea de base del medio físico y natural a través de información secundaria y primaria levantada en terreno.

Identificar y describir los tipos de riesgos presentes en el área de estudio.

Delimitar las áreas de riesgos consideradas en el área de estudio.

I.1.2 Alcances y limitaciones

Para este estudio se realizó una compilación de referencias bibliográficas, antecedentes históricos, revisión de fotografías aéreas, visitas a terreno y la evaluación de los distintos factores condicionantes para zonificar las áreas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, a una escala 1:5.000 (considerando que la gran mayoría de la información geológica está a una escala mayor a 1:50.000). Se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto podría llevar a errores en la interpretación.

El resultado de este estudio corresponde a mapas de factores condicionantes, principalmente morfológicos, geológicos y mapas de inventarios. A partir del análisis de los

anteriores, se generaron mapas de susceptibilidad para los peligros geológicos reconocidos en la zona a escala 1:5.000.

Respecto de la inundación por desborde de cauces y anegamientos se realizó una revisión de estudios hidráulicos de los principales cursos de agua de la comuna, los Instrumentos de Planificación vigentes y visitas a terreno.

I.1.3 Marco jurídico

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su artículo 2.1.17 “Disposiciones complementarias” indica que en los planes reguladores podrán definir áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un riesgo potencial para los asentamientos humanos. Dichas áreas, se denominarán “áreas de riesgo” o “zonas no edificables” según sea el caso de acuerdo con la siguiente descripción.

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. En el marco del presente estudio, “áreas de riesgo” son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un “peligro geológico”.

Las “zonas no edificables” corresponderán a aquellas franjas o radios de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos, torres de alta tensión, embalses, acueductos, oleoductos, gaseoductos, u otras similares, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente.

De acuerdo con la OGUC, las “áreas de riesgo” se determinarán en base a las siguientes características:

- **1.-Zonas inundables o potencialmente inundables, Debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.** De acuerdo con las definiciones utilizadas en este informe, corresponde a las áreas de riesgo por desbordes de cauces, anegamiento y tsunami.
- **2.-Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas,** Corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa
- **3.-Zonas con riesgo de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas,** no zonificados en este estudio
- **4.-Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.** Corresponde a riesgo de incendio

Para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación un Estudio Fundado, elaborado por

profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente conforme a la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, cuando corresponda.

Haciendo una agrupación de las amenazas naturales que generan la definición de zonas de riesgo según la OGUC, se reconocen procesos de Inundación por desborde de cauces, inundación por tsunami, anegamiento; Remociones en Masa e incendios. Además de lo anterior, las Normas Chilenas de construcción incorporan las variables sísmicas, considerando que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo (de la cual sólo se hará referencia en el presente estudio). Más adelante se presenta una descripción de las amenazas antes señaladas.

Las “áreas de protección de recursos de valor natural” corresponden a todas aquellas en que existan zonas o elementos naturales protegidos por el ordenamiento jurídico vigente, tales como: bordes costeros marítimos, lacustres o fluviales, parques nacionales, reservas nacionales y monumentos naturales.

Las “Áreas de Riesgo” corresponderán a zonas con distintos niveles de susceptibilidad ante un determinado proceso, evaluada como la superposición de antecedentes, no determinándose niveles de peligrosidad o probabilidad de ocurrencia en el tiempo. La definición de áreas de riesgo estará acotada las localidades en estudio, independiente que el análisis haya incorporado áreas que quedan fuera de las áreas urbanas. Respecto de Áreas de protección de recursos de valor natural, se recopilará la información del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas, para el área de la intercomuna. (2.1.18 OGUC)

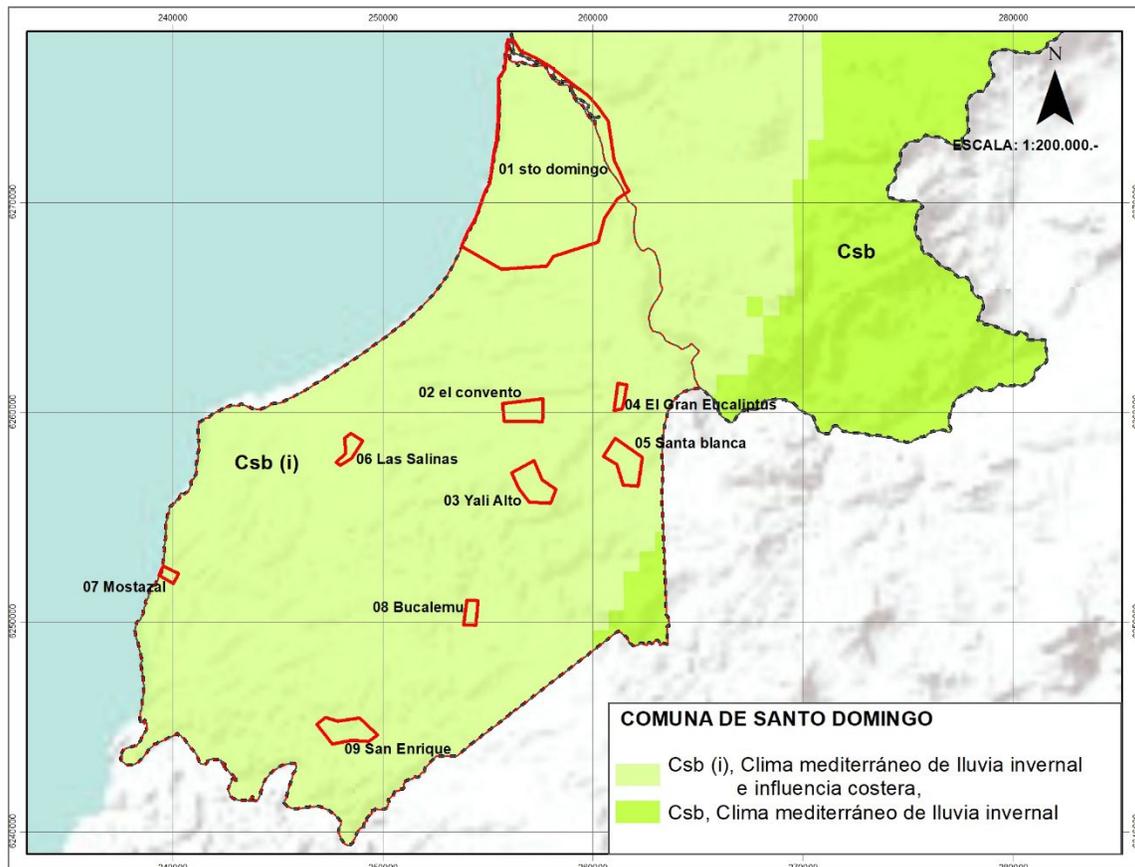
I.2 ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

I.2.1 Clima

I.2.1.1 Características climáticas comuna de Santo Domingo

La Comuna de Santo Domingo, respecto a la clasificación climática de Köppen, posee un clima mediterráneo de lluvia invernal e influencia costera (Csb (i)) de gran nubosidad con veranos secos y tibios e inviernos húmedos y templados con una temperatura media anual de 12° C, siendo altamente influenciado por la fría Corriente de Humboldt, la cual modera las temperaturas de verano e invierno, haciendo que la amplitud térmica anual sea atenuada. En julio, que es el mes más frío, la temperatura media es de 10,2°C, mientras que en el verano asciende a más de 15°C. Las temperaturas muy raras veces sobrepasan los 25°C.

Imagen 1: Clasificación climática de Köppen, Comuna de Santo Domingo

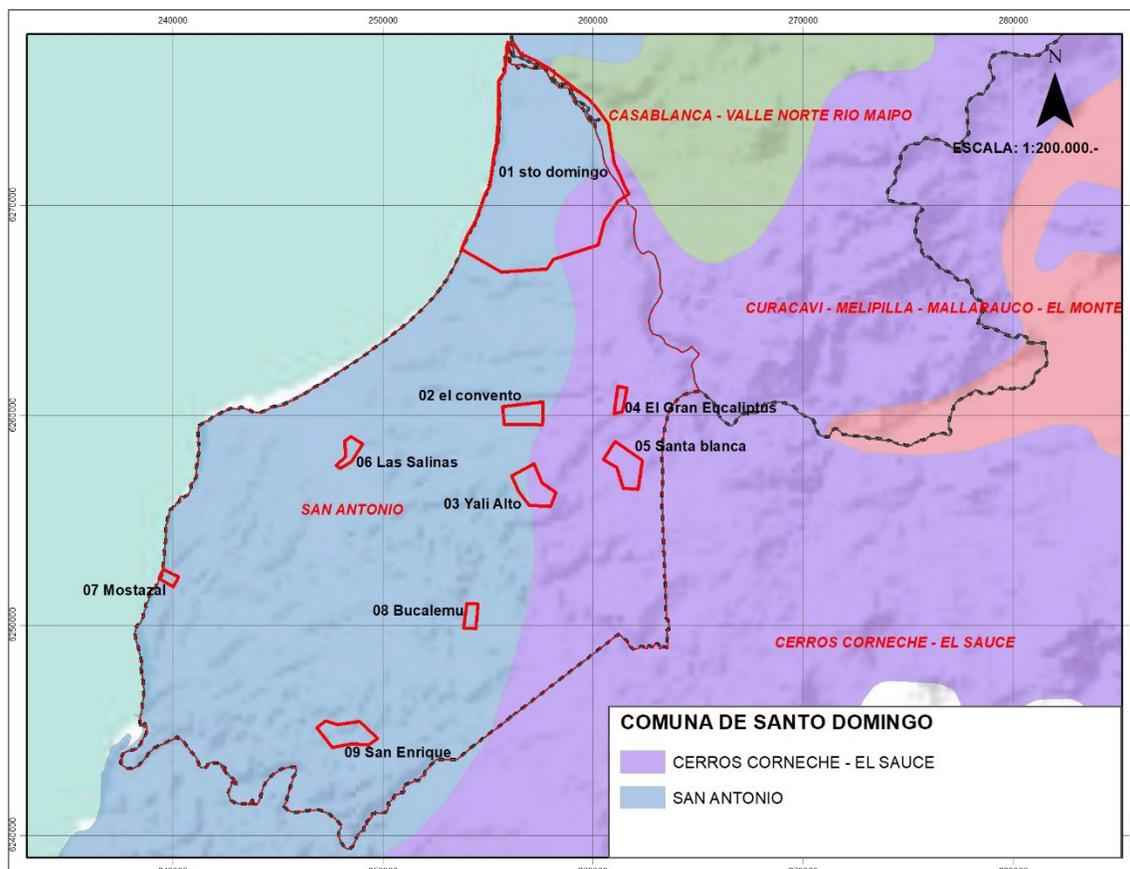


Fuente: IDE, Zonas climáticas de Chile según Köppen-Geiger escala 1:1.500.000

I.2.1.2 Distritos agroclimáticos

Se denomina Distrito Agroclimáticos a zonas con condiciones agroclimáticas homogéneas. Éstas han sido delimitadas y caracterizadas según variables relevantes para la agricultura, considerando condiciones térmicas e hídricas de invierno y de verano tales como temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación.

Imagen 2: Distritos agroclimáticos, Comuna de Santo Domingo



Fuente: IDE, ciren

Las localidades estudiadas se encuentran en dos distritos agroclimáticos: Valparaíso – San Antonio y Santo Domingo - Pichilemu.

En el primer distrito agroclimático (Valparaíso – San Antonio), contiene a las localidades de Valparaíso, Algarrobo, La Palmilla y San Antonio. Es un distrito con gran influencia marina, con pocas horas de frío, sin heladas y baja cantidad de días cálidos. La nubosidad media es alta y por consiguiente los valores de radiación solar e insolación son relativamente bajos en relación con sectores más al interior. Este distrito se caracteriza por presentar temperaturas promedio que varían entre un máximo de 22,4°C en enero, y un mínimo de 6,2°C en julio. En cuanto a las precipitaciones anuales, éstas promedias los 380mm. La humedad relativa promedio se encuentra entre el 79% y el 87% durante todo el año. Además, presenta una radiación solar variante con valores entre 153 Ly/día en julio y 501 Ly/día en enero.

En el segundo distrito agroclimático (Santo Domingo - Pichilemu), contiene a las localidades de Santo Domingo, San Enrique de Bucalemu, Navidad y Rapel. Es un sector con mucha influencia marina, pero algo menor a la del primer distrito, debido a su ubicación respecto a la dirección dominante del viento. Ocasionalmente puede producirse alguna helada, la cantidad de horas de frío es baja, pero suficiente para muchas especies de clima templado.

La nubosidad es levemente más alta que el entorno de manera que la radiación solar e insolación son relativamente bajas. Este distrito se caracteriza por presentar temperaturas promedio que varían entre un máximo de 23,1°C en enero, y un mínimo de 5,4°C en julio. En cuanto a las precipitaciones anuales, éstas promedias los 546mm. La humedad relativa promedio se encuentra entre el 79% y el 88% durante todo el año. Además, presenta una radiación solar variante con valores entre 149 Ly/día en julio y 487 Ly/día en enero. Esta región puede presentar pocas heladas en el mes de julio.

I.2.1.3 Antecedentes de cambio climático comuna de Santo Domingo

De acuerdo con el estudio “Normales climatológicas Región Valparaíso”, del Ministerio del Medio Ambiente. Los valores consignados en el estudio representan a las “normales” climatológicas del periodo reciente 1980-2015. Ellos fueron tomados de estaciones que disponían de series continuas de datos y que no habían sufrido cambios de instrumental o de localización durante el periodo, que en el caso de la comuna corresponde a la estación.

Esta información es complementaria a la entregada en el estudio “Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al año 2050”, encomendado por el Ministerio del Medio Ambiente.

En cuanto a los resultados de la temperatura en la comuna se observa un aumento de la temperatura máxima y media anual aproximada a 2° Celsius respecto de la proyección del escenario del año 2050.

Respecto de los resultados de las precipitaciones en la Intercomuna, se observa una disminución de la precipitación normal anual de 83 mm respecto de la proyección del escenario del año 2050, como se puede observar en la siguiente tabla.

Las diferencias climáticas entre el sector litoral y costero de la comuna, mantienen la diferencia 1.1 ° Celcius de la temperatura media entre la base 19080-2010 y la proyección al año 2050, al igual que la diferencia en la precipitaciones.

Tabla 1 Línea Base (1980 - 2010) - Escenario 2050

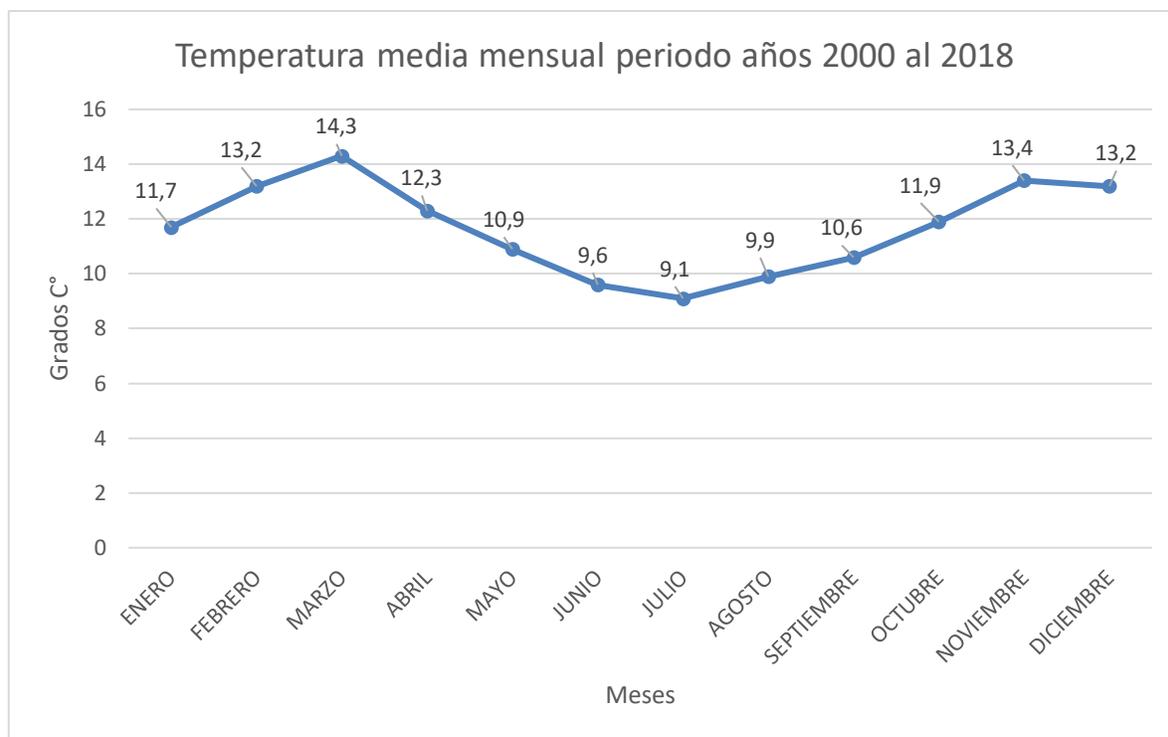
| | | LINEA BASE (1980 - 2010) | | | | | | | | | ESCENARIO 2050 | | | | | | | | |
|--|-----|--------------------------|------|------|-----|-------|-------|-----|---------|---------|----------------|--------|--------|--------|----------|----------|--------|------------|------------|
| COMUNA | ID | TXE | TNE | TXJ | TNJ | Temed | Tjmed | PPA | PPA MIN | PPA MAX | TXE 50 | TNE 50 | TXJ 50 | TNJ 50 | Temed 50 | Tjmed 50 | PPA 50 | PPA 50 MIN | PPA 50 MAX |
| Santo Domingo | | 23,4 | 12,2 | 14,7 | 6,6 | 16,9 | 10,1 | 505 | 464 | 553 | 25,5 | 14 | 16,4 | 8,1 | 18,8 | 11,6 | 422 | 388 | 462 |
| Interior | 195 | 24,6 | 12,2 | 14,6 | 6,6 | 17,5 | 10,1 | 502 | 467 | 535 | 26,7 | 14 | 16,4 | 8,1 | 19,3 | 11,6 | 420 | 390 | 447 |
| Litoral | 194 | 22,3 | 12,2 | 14,8 | 6,6 | 16,4 | 10,2 | 508 | 460 | 570 | 24,3 | 13,9 | 16,5 | 8,1 | 18,2 | 11,7 | 425 | 385 | 477 |
| TXE: Temperatura máxima estival (Máxima media del mes más cálido, ENERO). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TNE: Temperatura mínima estival (Mínima media del mes más cálido, ENERO). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TXJ: Temperatura máxima invernal (Máxima media del mes más frío, JULIO). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TNJ: Temperatura mínima invernal (Mínima media del mes más frío, JULIO). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temed: Temperatura media del período estival (diciembre - enero - febrero). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tjmed: Temperatura media del período invernal (junio - julio - agosto). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PPA: Precipitación normal anual. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PPA MIN: Precipitación anual más baja en cada subcomuna. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PPA MAX: Precipitación anual más alta en cada subcomuna. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl>

I.2.1.4 Temperaturas

Para el estudio de este parámetro, se utilizó la información proporcionada por la estación meteorológica de Santo Domingo, de la Dirección Meteorológica de Chile. La estación de Santo Domingo se ubica en la comuna de Santo Domingo, específicamente en el Aeródromo de Los Canelos, en las coordenadas 33°39'18" sur y los 71°36'51.011" oeste. A continuación, se presenta el ciclo promedio anual de temperaturas registradas en la estación Santo Domingo, el que comprende un periodo de dieciocho años, desde 2000 al 2018. No se tomó en cuenta el año 2003 por falta de información registrada en cinco meses del año.

Gráfico 1: Ciclo promedio mensual de temperatura, estación Santo Domingo. Año 2000 al 2018



Fuente: elaboración URBE. Fuente datos: Dirección Meteorológica de Chile

La siguiente tabla muestra los valores en grados Celsius del promedio mensual entre los meses analizados, reflejando también el valor mínimo y máximo de cada mes considerando el total de años.

Tabla 2: Temperatura mensual en °C, estación Santo Domingo, años 2000 al 2018

| | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|---------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| MEDIA | 11,7 | 13,2 | 14,3 | 12,3 | 10,9 | 9,6 | 9,1 | 9,9 | 10,6 | 11,9 | 13,4 | 13,2 |
| MÍNIMA | 10,1 | 11,0 | 11,4 | 8,4 | 6,7 | 5,4 | 4,8 | 6,0 | 7,1 | 9,5 | 11,3 | 11,6 |
| MÁXIMA | 13,3 | 15,3 | 17,6 | 16,2 | 15,0 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 14,0 | 14,7 | 16,2 | 15,0 |

Fuente: elaboración URBE. Fuente datos: Dirección Meteorológica de Chile

Considerando la media mensual de los dieciocho años para la estación Santo Domingo, se observa que la amplitud térmica entre el mes más frío (julio) y el mes más cálido (marzo) es de aproximadamente 5,5°C y 16,7°C respectivamente. En general, las temperaturas tienen un carácter regular, la amplitud térmica diaria es mayor en los meses de verano y disminuye en los meses de invierno.

I.2.1.5 Precipitaciones

El concepto central de la hidrología es el ciclo hidrológico, proceso por el cual circula el agua a través de la atmósfera, mar y tierra. Un componente principal en el ciclo son las precipitaciones.

Para el estudio de este parámetro, se utilizó la información proporcionada por la estación meteorológica de Santo Domingo, de la Dirección Meteorológica de Chile. La estación de Santo Domingo se ubica en la comuna de Santo Domingo. Dicha estación es representativa para la localidad homónima.

Los datos utilizados de la estación Santo Domingo abarcan el período entre los años 2000 y 2018. El rango pluviométrico promedio anual para la estación de Santo Domingo (período 2000-2018) se encuentra entre los 17,4 mm (año 2018) y los 67,3 mm (año 2002).

En la siguiente tabla, se indican los valores de las precipitaciones medias mensuales y los valores mensuales máximos y mínimos, considerando el promedio del período de los años comprendidos entre 2000 y 2018 de la estación Santo Domingo.

Tabla 3: Precipitaciones medias mensuales, Estación Santo Domingo, período años 2000 al 2018

| ESTACIÓN SANTO DOMINGO | | | |
|------------------------|----------|-----------|-----------|
| Mes | Pp media | Pp máxima | Pp mínima |
| | (mm) | (mm) | (mm) |
| Enero | 0,15 | 0,3 | 0 |
| Febrero | 1,8 | 3,5 | 0,1 |
| Marzo | 2,4 | 4,4 | 0,4 |
| Abril | 7,5 | 14,2 | 0,8 |
| Mayo | 41,15 | 81,9 | 0,4 |
| Junio | 57,55 | 114,2 | 0,9 |
| Julio | 42 | 83,5 | 0,5 |
| Agosto | 38,95 | 77,1 | 0,8 |
| Septiembre | 14 | 27,8 | 0,2 |
| Octubre | 7,1 | 13,6 | 0,6 |
| Noviembre | 2,95 | 5,8 | 0,1 |
| Diciembre | 1,95 | 3,8 | 0,1 |

Fuente: elaboración URBE. Fuente datos: Dirección Meteorológica de Chile

En el régimen pluviométrico anual de la estación meteorológica se puede observar dos períodos, el primero corresponde al período entre los meses Octubre y Abril, en donde hay bajas precipitaciones (menores a 7,5 mm mensuales); y el segundo corresponde al período entre los meses Mayo y Septiembre en donde ocurren la mayor cantidad de precipitaciones (sobre 14 mm mensuales).

I.2.1.6 Precipitaciones máximas en 24 hrs

Las precipitaciones máximas anuales en 24 h, fueron obtenidas de la estación meteorológica de la Dirección Meteorológica de Chile. Se consultó un período de 20 años (2000 al 2018), para la estación de Santo Domingo.

La estación de Santo Domingo, entre los años de análisis 2000-2018, se tienen registros sobre los 60mm en 24h en 11 años (2000 al 2006, 2008-2009, 2012-2013) considerados como de riesgos de acumulación de aguas lluvias.

Tabla 4: Precipitaciones máximas anuales en 24 horas. Estación Santo Domingo (período 2000-2018)

| Año | Mes | Estación Santo Domingo (mm) |
|------|------------|-----------------------------|
| 2000 | Septiembre | 108,4 |
| 2001 | Julio | 118,2 |
| 2002 | Mayo | 149,9 |
| 2003 | Mayo | 95,7 |
| 2004 | Agosto | 63,8 |
| 2005 | Junio | 147,0 |
| 2006 | Junio | 84,3 |
| 2007 | Junio | 38,0 |
| 2008 | Agosto | 95,9 |
| 2009 | Agosto | 93,8 |
| 2010 | Junio | 37,4 |
| 2011 | Julio | 24,2 |
| 2012 | Mayo | 105,2 |
| 2013 | Mayo | 97,7 |
| 2014 | Junio | 53,4 |
| 2015 | Agosto | 31,4 |
| 2016 | Mayo | 43,4 |
| 2017 | Junio | 43,2 |
| 2018 | Junio | 29,2 |

Fuente: elaboración URBE. Fuente datos: Dirección Meteorológica de Chile

Los resultados de la tabla reflejan que las precipitaciones son irregulares y tienden al riesgo de acumulación de aguas de lluvia. Tal es el caso de los años con mayor cantidad de precipitaciones en 24 horas: 149,9mm en Mayo 2002 y 147,0mm en Junio 2005, mientras que los años con menos caída de milímetros en 24 horas: 24,2 en Julio 2011 y 29,2mm en Junio 2018.

Las precipitaciones máximas diarias en 24 h, fueron obtenidas de la estación meteorológica de la Dirección Meteorológica de Chile. Se consultó todo el periodo de registro (1970 al 2019), para la estación de Santo Domingo.

La estación de Santo Domingo, entre los años de análisis 1970-2019, se tienen registros sobre los 60mm en 24h (considerados como de riesgos de inundación, anegamiento y

remociones en masa) en 29 días, siendo el primer registro el 06 de julio de 1972 y el último el 28 de mayo de 2013.

Tabla 5: Precipitaciones máximas diarias en 24 horas (sobre 60 mm). Estación Santo Domingo (período 1970-2019)

| Código Nacional | Momento | RRR24 Valor |
|-----------------|------------|-------------|
| 330030 | 06-07-1972 | 84.2 |
| 330030 | 14-09-1974 | 61.7 |
| 330030 | 01-07-1977 | 62.0 |
| 330030 | 11-07-1977 | 61.0 |
| 330030 | 27-07-1979 | 63.0 |
| 330030 | 23-04-1980 | 71.3 |
| 330030 | 10-05-1980 | 73.3 |
| 330030 | 08-06-1980 | 61.5 |
| 330030 | 13-08-1982 | 66.0 |
| 330030 | 09-07-1984 | 66.3 |
| 330030 | 27-05-1986 | 60.7 |
| 330030 | 24-07-1987 | 61.4 |
| 330030 | 27-04-1994 | 60.4 |
| 330030 | 04-06-1997 | 64.7 |
| 330030 | 12-06-1997 | 75.9 |
| 330030 | 20-06-1997 | 64.9 |
| 330030 | 17-08-1997 | 98.0 |
| 330030 | 13-06-2000 | 72.6 |
| 330030 | 19-07-2001 | 74.9 |
| 330030 | 04-06-2002 | 90.9 |
| 330030 | 21-05-2003 | 95.7 |
| 330030 | 03-08-2004 | 63.8 |
| 330030 | 08-06-2006 | 84.3 |
| 330030 | 12-07-2006 | 70.1 |
| 330030 | 21-05-2008 | 81.3 |
| 330030 | 16-08-2008 | 95.9 |
| 330030 | 15-08-2009 | 93.8 |
| 330030 | 11-12-2009 | 85.0 |
| 330030 | 28-05-2013 | 97.7 |

Fuente: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historicos/datosDescarga/330030>

I.2.1.7 Humedad relativa

La humedad relativa corresponde al porcentaje de vapor de agua que contiene el aire, en un momento dado y a una determinada temperatura, en relación con la máxima cantidad de vapor que a esa misma temperatura el aire puede presentar.

Para el estudio de este parámetro, se utilizó la información proporcionada por la estación meteorológica Santo Domingo, de la Dirección Meteorológica de Chile, ubicada en la comuna de Santo Domingo. Los datos considerados corresponden al período 2000- 2018, ya que presentan datos en todos los meses de los años.

En la siguiente tabla, se indican los valores de humedad relativa media mensual, y los valores mensuales máximos y mínimos del período analizado.

Tabla 6: Promedio mensual de la humedad relativa, período 2000-2018

| ESTACIÓN SANTO DOMINGO | | | |
|------------------------|-----------|---------|---------|
| | MEDIA (%) | MAX (%) | MIN (%) |
| ENERO | 78,9 | 90,7 | 62,0 |
| FEBRERO | 80,5 | 90,8 | 65,4 |
| MARZO | 82,9 | 92,6 | 66,4 |
| ABRIL | 84,2 | 94,4 | 68,2 |
| MAYO | 86,3 | 95,7 | 70,5 |
| JUNIO | 85,1 | 95,3 | 68,9 |
| JULIO | 84,7 | 95,5 | 67,1 |
| AGOSTO | 84,7 | 94,9 | 66,4 |
| SEPTIEMBRE | 84,9 | 95,0 | 70,6 |
| OCTUBRE | 81,9 | 94,2 | 68,9 |
| NOVIEMBRE | 78,5 | 91,5 | 61,8 |
| DICIEMBRE | 78,1 | 89,4 | 61,5 |

Fuente: elaboración URBE. Fuente datos: Dirección Meteorológica de Chile

La tabla deja en evidencia el alto porcentaje de humedad media durante todo el año, la que supera en todos los meses el 61,5% de humedad.

I.2.1.8 Vientos

En la Región, tanto el Océano Pacífico, como la corriente de Humboldt, condicionan en gran medida la conducta de los elementos climáticos. Las direcciones predominantes de los vientos, tofas de componente oceánico y portadoras de humedad, explican la constante presencia de este factor en el clima regional.

El carácter frío de la corriente de Humboldt determina la existencia permanente de una banda de bajas temperaturas vecinas a la costa, contribuyendo al descenso de las temperaturas continentales.

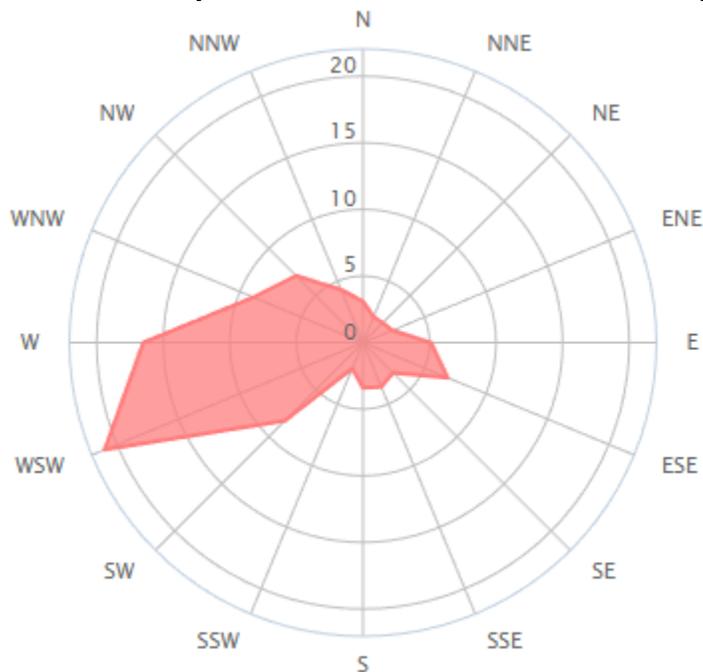
La caracterización de vientos es realizada en base a los datos obtenidos de la Dirección Meteorológica de Chile, ubicada en la comuna de Santo Domingo. Los datos considerados corresponden al período 2000-2018, ya que presentan datos en todos los meses de los años.

Los vientos que predominan en el área de estudio son principalmente de dirección oeste y suroeste, siendo de alta intensidad durante los meses de octubre a diciembre y de enero a marzo, lo que genera una alta frecuencia de días despejados y vientos

La presencia anticiclónica en verano genera una inversión térmica sobre el océano, cuyo techo se ubica a 1.000 metros de altitud. Por debajo de esta línea, el aire es enfriado por el contacto con la superficie particularmente fría por la presencia de la Corriente de Humboldt. Este enfriamiento de la baja atmósfera, unido a la intensa evaporación desde el océano origina una capa nubosa que penetran algunos kilómetros hacia el continente durante la mañana. Cuando éste último se calienta comienza el movimiento convectivo. Hacia el mediodía esta capa nubosa se disipa marcando un típico ciclo diario de nubosidad baja en el litoral chileno.

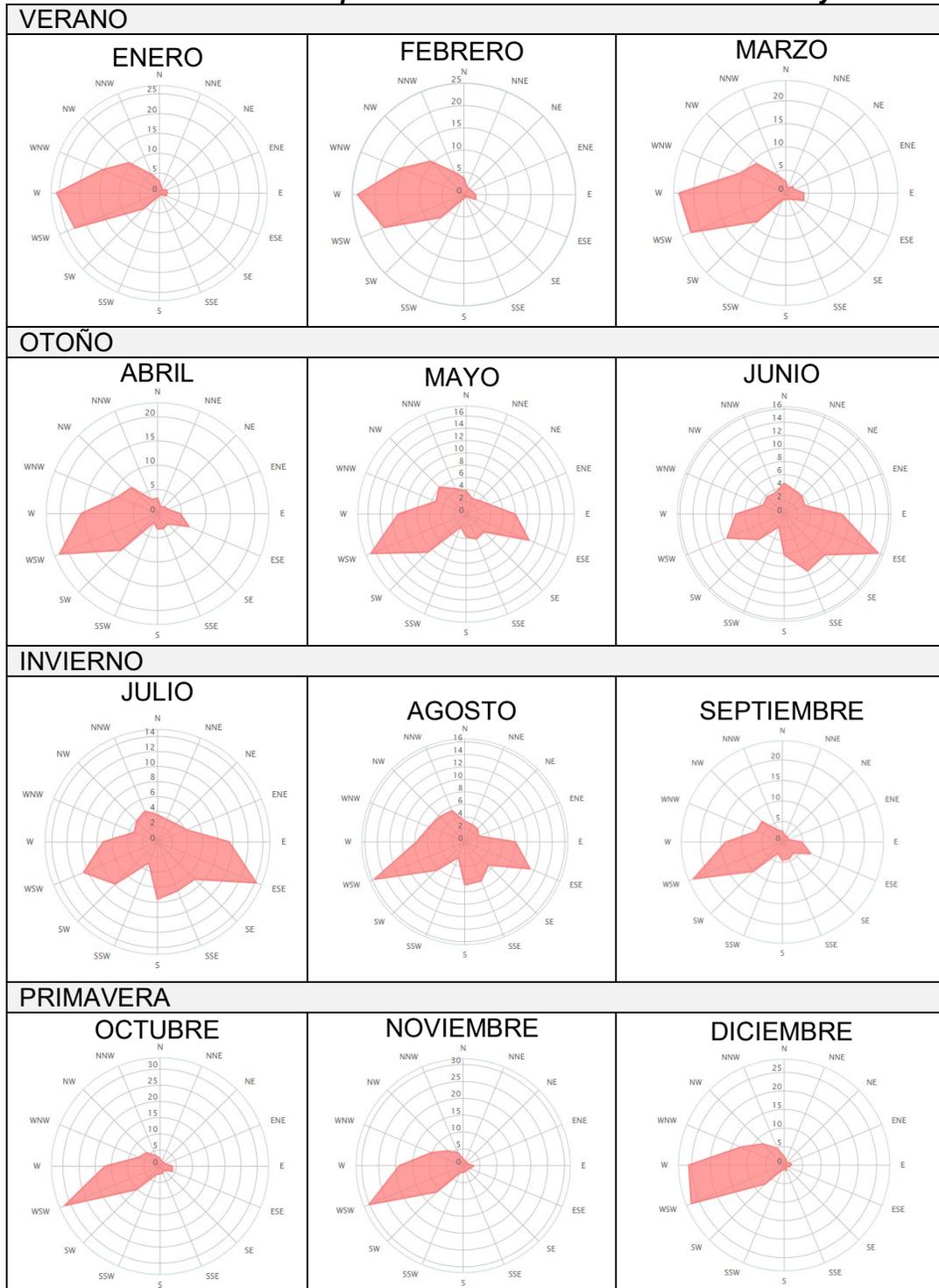
Respecto a la dirección del viento, ésta se basa en los datos obtenidos de la estación Santo Domingo, Comuna de Santo Domingo. La información utilizada en este estudio está basada en las observaciones tomadas por la estación entre octubre 2002 y febrero de 2019 diariamente entre las 7 de la mañana y las 7 de la tarde.

Gráfico 3: Dirección del viento promedio anual entre los años 2002 y 2019



Fuente: Estación meteorológica Santo Domingo, Windfinder, 2019

Gráfico 4: Dirección del viento promedio mensual entre los años 2002 y 2019



Fuente: Estación meteorológica Santo Domingo, Windfinder, 2019

En términos generales, los vientos predominantes durante el año son de dirección oeste y sudoeste, y en menor medida del sureste.

I.2.1.9 Conclusiones

Si bien a nivel regional se presentan cuatro diferentes tipos de clima, la comuna de Santo Domingo presenta principalmente una, posee un clima mediterráneo fresco (Csb) de gran nubosidad con veranos secos y tibios e inviernos húmedos y templados con una temperatura media anual de 12,9° C, siendo altamente influenciado por la fría Corriente de Humboldt, la cual modera las temperaturas de verano e invierno, haciendo que la amplitud térmica anual sea atenuada. En julio, que es el mes más frío, la temperatura media es de 10,2°C, mientras que en el verano asciende a más de 15°C. Las temperaturas muy raras veces sobrepasan los 25°C.

Santo Domingo presenta dos períodos de precipitaciones, el primero corresponde al período entre los meses Octubre y Abril, en donde hay bajas precipitaciones (0,3mm - 14,2mm); y el segundo corresponde al período entre los meses Mayo y Septiembre en donde ocurren la mayor cantidad de precipitaciones (27,8mm – 114,2mm).

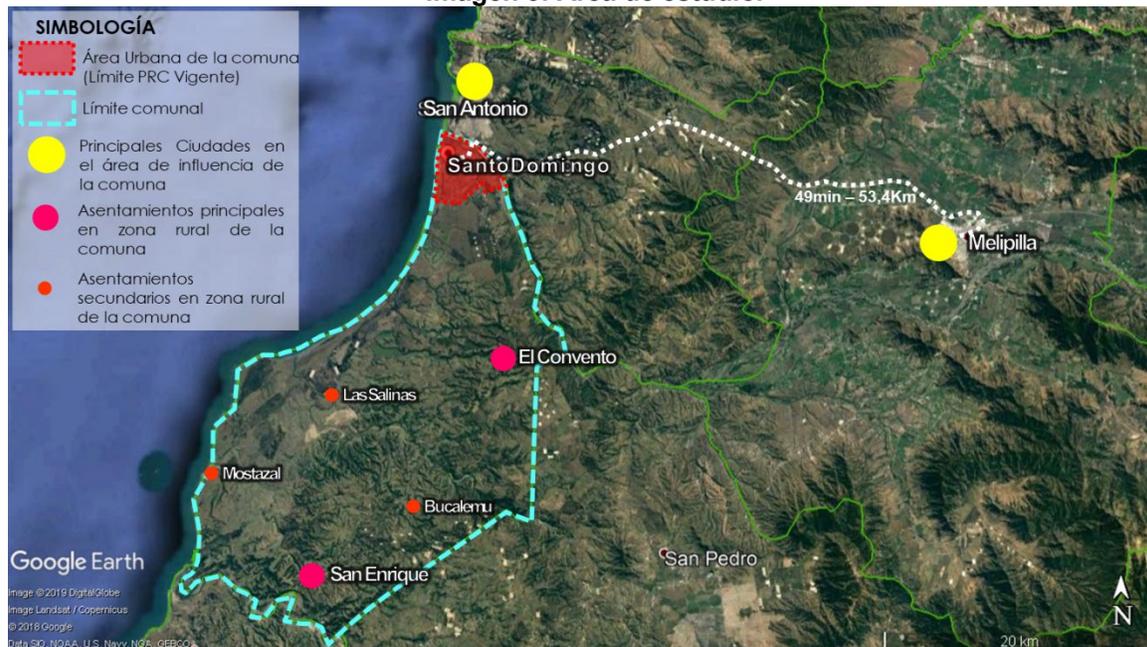
Sobre las precipitaciones máximas en 24 hrs de Santo Domingo, las mediciones diarias indican registros (29) sobre los 60mm en 24h considerados como de riesgos de inundación, acumulación de aguas lluvias y detonantes de procesos de remociones en masa.

I.2.2 GEOMORFOLOGIA

I.2.3 Área de estudio

El área de estudio comprende a las localidades de Santo Domingo, El Convento, El Gran Eucaliptus, Yali Alto, Santa Blanca, Las Salinas, Bucalemu, San Enrique y, Mostazal de la comuna de Santo Domingo, Provincia de Provincia de San Antonio, Región de Valparaíso.

Imagen 3: Área de estudio.



Fuente: Elaboración propia en base a foto Google Earth

1.2.3.1 Geomorfología comuna de Santo Domingo

Las dunas, que es la característica geomorfológica dominante del territorio, son de origen eólico, y se presentan tanto en el litoral como al interior. Un clima donde existe un viento predominante del Sudoeste constante a través de todo el año, como también su velocidad, hace de ellos agentes morfogenéticos activos y prioritarios. La estación seca que se extiende durante seis meses representa un aspecto favorable a acciones eólicas eficaces, a pesar de la humedad atmosférica ligada a las neblinas costeras. Por último, una cubierta vegetal pobre en muchos sectores debido a las condiciones naturales del área y a la fuerte deforestación del sitio, no entorpece el trabajo del viento.

El trazado de la costa, que de manera general tiene una orientación NNW – SEE, propicia la formación de Dunas, ya que ella forma un ángulo de 40-45° con el viento predominante. Además de las condiciones anteriores, la alimentación de arenas es muy importante a través de los sedimentos que son aportados desde el continente. Los afloramientos graníticos de la plataforma costera entregan grandes cantidades de arena, la que es transportada en las épocas pluviales hacia el océano donde la deriva litoral los encauza. Así se observa que los campos de dunas se ubican inmediatamente al Norte de las desembocaduras de los grandes cursos de agua.

La franja litoral se observa conformada por una serie de planicies escalonadas sobre la línea de costa actual, suavemente inclinadas hacia el oeste y separadas entre sí por escarpes que miran hacia el océano. Estos niveles cortan afloramientos de diferente naturaleza: granitos profundamente alterados, rocas metamórficas o areniscas poco consolidadas. El conjunto de lagunas litorales presentes es producto de una génesis exógena, el eustatismo, que representa oscilaciones del nivel del mar, consecuencia de cantidades de agua fijada en forma de hielo durante las épocas glaciales, el nivel del mar

baja, para aumentar más encima del nivel actual, en condiciones de clima más caliente, representado por las épocas interglaciares. Las regresiones y transgresiones marinas, consecuencia de movimientos eustáticos, forman costas de equilibrio, a través de procesos de erosión y denostación conjuntamente con la acción eólica, aislando cuerpos de agua que van formando lagos y lagunas costeras. Estos sistemas de lagunas son de una evolución muy rápida y en sucesivas etapas.

I.2.3.2 Ambientes Geomorfológicos

Según el Plan de Manejo Reserva Nacional El Yali del CONAF. En la región de Valparaíso existe un ambiente geomorfológico, el clima mediterráneo. La Comuna de Santo Domingo posee dos tipos de ecosistemas: Ecosistema Terrestre (Terrestre húmedo y terrestre seco) y Ecosistema Marino. De ésta clasificación general, se puede discriminar en categorías más específicas definidas como ambientes:

Ambiente Playa de mar

Es un espacio de transición o intermedio entre dos grandes ecosistemas (el mar y la tierra firme), que amortigua la entrada de las olas cuando se rompen en la costa y facilita la vida y ciclo natural de muchas especies marino costeras. Se caracteriza por ser un ecosistema muy dinámico, en permanente evolución y cambio. Este biotipo alberga importantes poblaciones de aves marinas costeras. Es el ambiente que se encuentra sometido a una mayor presión de degradación debido a la acción humana, especialmente por el tránsito de vehículos motorizados terrestres que circulan por la orilla de playa.

Ambiente de pradera

Se divide en pradera seca y pradera húmeda. Pradera seca: las características del suelo impiden que este conserve la humedad para sustentar un bosque, pero el agua presente es excesiva para que se forme un desierto; las especies que en ella prosperan, son resistente a la acción abrasiva y química de los vientos que soplan desde el mar, y están adaptados a desarrollarse en un sustrato móvil, generalmente de pobre estructuración, a la escasez de agua y salinidad. Pradera húmeda: este tipo de área es escasa en la región, y su permanencia depende principalmente de la ocurrencia de incendios, del pastoreo de animales domésticos, de las sequías o temperaturas bajo cero.

Ambiente de Dunas Longitudinales Costeras

Dunas longitudinales costeras delanteras: es un medio muy frágil pues están en constante movimiento. Dunas longitudinales costeras internas: constituyen un medio especialmente valioso y sensible, que alberga numerosas especies autóctonas capaces de soportar la sequedad, salinidad del aire y movilidad del medio que las sustenta. Como un efecto directo de la cobertura vegetal, hay menor movimiento de arena que en las dunas delanteras.

De acuerdo al estudio de “Características, origen y cronología de los cordones dunares de la playa de Santo Domingo” (Paskoff, et all, 2000)¹. La Morfología del sistema dunar se caracteriza por:

¹ Paskoff, Roland, Manríquez, Hermann, Cuitiño, Lucía, & Petiot, Robert. (2000). Características, origen y cronología de los cordones dunares de la playa de Santo Domingo, Región de Valparaíso, Chile. Revista geológica de Chile, 27(1), 121-131. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082000000100008>

- Saliendo de la playa hacia el este, una transecta muestra la existencia de una serie de cordones arenosos que representan distintas generaciones de dunas.

Imagen 4: Perfil esquemático a través de los cordones dunares de la Playa de Santo Domingo

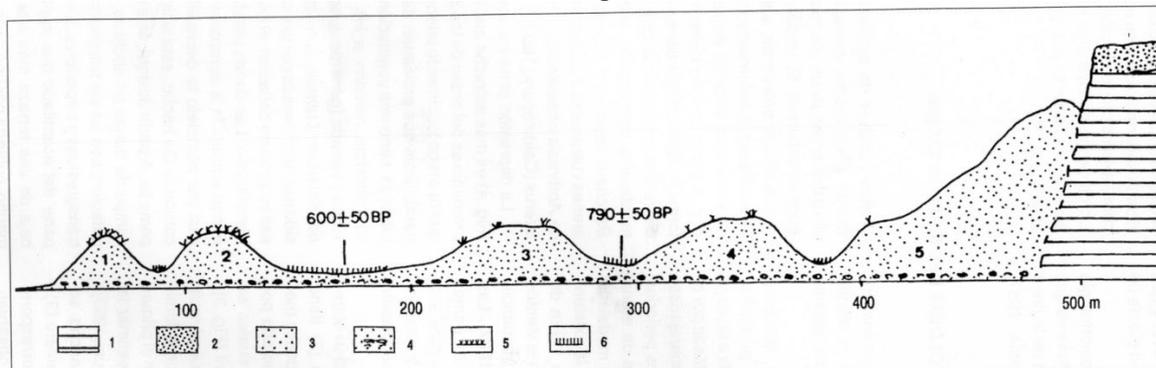


FIG. 2. Perfil esquemático a través los cordones dunares de la playa de Santo Domingo. 1- areniscas de la Formación Navidad (Neógeno); 2- arenas eólicas pleistocénicas; 3- arena de los cordones dunarios; 4- depósitos de playa con rodados; 5- vegetación psamófila; 6- vegetación de depresiones húmedas.

Fuente: Extraído de Paskoff, Roland, Manríquez, Hermann, Cuitiño, Lucía, & Petiot, Robert. (2000). *Características, origen y cronología de los cordones dunares de la playa de Santo Domingo, Región de Valparaíso*

- El primer cordón (1), muy continuo, que tiene una altura del orden de 3 o 4 m en promedio, corresponde a la anteduna viva, asociada a la playa actual. Ocasionalmente puede ser acantilada por el oleaje cuando se producen bravezas y marejadas, pero se reconstituye normalmente en los periodos de buen tiempo por acumulación eólica de arena acarreada desde la playa. Presenta un modelado monticular característico que se debe a la existencia de corredores de deflación, de 1 a 1,5 m de profundidad, orientados en el sentido de los vientos predominantes en dirección, fuerza y frecuencia que son los del suroeste (Berasaluce, 1987). Las especies vegetales características de este primer cordón dunario y que explican su existencia son "Ambrosia chamissonis" y "Carpobrotus aequilaterus". Desempeñan un papel esencial en la acumulación de arena abastecida por la playa.
- Separado del primero por una depresión estrecha y discontinua, el segundo cordón (2) tiene características parecidas, pero es unos pocos metros más alto y más profundamente afectado por corredores de deflación a partir de los cuales se forman lenguas alargadas de arena móvil. Aquí también, se reconoce la presencia de Ambrosia chamissonis y Carpobrotus aequilaterus, pero dominan Baccharis concava y Poa sp. Tanto en el primer cordón como en el segundo, se puede estimar la tasa de cobertura entre 40 y 60% (Caldichoury, 1990).
- Una depresión de 50 a 60 m de ancho se interpone entre el segundo cordón y el tercero (3). En su fondo húmedo, cuya altura debe corresponder al nivel de la alta playa actual, se observan depósitos de rodados volcánicos, con un desgaste típicamente marino, mezclados con arena y abundantes conchas de moluscos litorales, especialmente Mesodesma donacium. La composición florística muestra un predominio de Juncus sp. y Lupinus arboreus. El cordón que sigue (3), a diferencia de los anteriores, sobrepasa los 10 m de altura. Aparece deformado sobre todo por una serie de profundas cubetas de deflación de tipo 'blow out', a partir de las cuales nacen dunas vivas de forma parabólica que tienen tendencia a invadir la depresión interdunaria que viene después. Los montículos remanentes están

colonizados por *Baccharis concava* y *Poa sp.* mientras que en las arenas volantes se encuentran ejemplares aislados de *Ambrosia chamissonis* y de *Carpobrotus aequilaterus* (Caldichoury, 1990).

- La depresión entre los cordones dunares 3 y 4 es más estrecha que la anterior - su ancho promedio es del orden de los 20 m- y discontinua ya que aparece localmente interrumpida por las dunas parabólicas que provienen del cordón 3. Bastante húmeda, tiene una vegetación densa, con una tasa de cobertura cercana a los 100% (Caldichoury, 1990) y variada (géneros *Juncus*, *Galega*, *Baccharis*, *Solanum*, *Lupinus*, *Conyza*). A pesar de haber sido muy trastornado por la excavación de numerosas cubetas de deflación, el cordón 4 todavía puede identificarse. Las dunas parabólicas que nacen de él con tendencia a agruparse hacen desaparecer casi por completo la depresión que lo separa del cordón 5. De hecho, este último ya no existe más como tal. A partir de aquí, se extiende un verdadero campo de dunas parabólicas, desprovistas de vegetación, con un eje transversal suroeste-noreste, transgresivas y trepadoras. Ellas sepultan la mayor parte del acantilado que separa la terraza litoral baja de una terraza más alta, también de origen marino, cubierta por una capa de arenas eólicas de edad pleistocénica.

Los cordones dunares de la playa de Santo Domingo son los testigos de una evolución costera compleja que resulta de la interferencia de varios factores como **glacio-eustático** (transgresión postglacial), **tectónico** (solevantamiento de la costa), **sedimentario** (progradación hasta la época histórica por aportes de materiales volcánicos), antrópico (en el caso de una desestabilización de los cordones internos por un sobrepastoreo). En años recientes, este último factor se ha vuelto predominante, primero con la construcción de un gran embalse en el curso inferior del río Rapel (capacidad de 695 millones de m³) que prácticamente hace que su carga aluvial gruesa no puede llegar hasta la costa, resultando lógicamente en una detención del proceso de progradación de la orilla, como lo sugiere la comparación de la posición de la línea costera en fotografías aéreas de 1955 y de 1992. A eso, se agrega otra intervención humana cuyas consecuencias pueden ser más radicales para el medio natural. En efecto, el desarrollo en curso de megaproyectos turísticos próximos a la playa hace correr el riesgo de un arrasamiento total de los cordones dunares de la costa de Santo Domingo.

De acuerdo a los análisis realizados en dicho estudio se concluyó que el origen de dichas arenas corresponde principalmente al Río Rapel y su tributario el Río Tinguiririca por su composición de origen volcánico.

Ambiente de Humedales

Humedal litoral interior dulce: de los ecosistemas litorales, son los humedales los que muestran un mayor grado de dinamismo y una mayor variedad en su régimen estacional. Por su carácter abierto y su relación con el entorno, suelen ser ambientes eutroficados, ricos en nutrientes. En ellos, las tasas de reciclado de materia y de producción son muy elevadas.

Humedal litoral interior salino: la presencia de este tipo de área es poco frecuente, y la vida que ella sustenta es muy específica para el ambiente dado.

Humedal litoral interior salobre: es el humedal de la región donde las aguas poseen una naturaleza dulce y salobre que estimula mayor presencia de un tipo de vegetación particular en sus orillas, no ocupando aquellas grandes extensiones, pero brindando una cobertura ideal para la nidificación y protección de la avifauna.

I.2.3.3 Batimetría

Según la publicación Geología Marina de Chile del Comité Oceanográfico Nacional de Chile, en la zona de Valparaíso se encuentran tres cañones submarinos importantes: el cañón San Antonio, frente al puerto de San Antonio y ubicado más próximamente a la zona de estudio; el cañón Aconcagua, casi frente a la desembocadura del río Aconcagua y el cañón de La Ligua, más al norte del Aconcagua y casi frente a la localidad del mismo nombre. De éstos, el San Antonio es el más grande.

El cañón San Antonio bordea el lado sur de la cuenca Valparaíso. Tiene un largo sobre 170km, una pendiente de 2° desde su cabeza hasta unos 80km de la costa y luego cambia a 6.3°, hasta su desembocadura. Ésta última área está erosionada, por lo tanto el abanico abisal sedimentario se encuentra poco desarrollado. Su sinuosidad es de 1,25 (relación entre el largo del eje y largo del cañón en línea recta) y tiene aproximadamente una forma de "U" en varias secciones a lo largo de él. El cañón es aparentemente alimentado por los sedimentos provenientes del río Maipo durante períodos de alta descarga.

I.2.3.4 Conclusiones

El área de estudio se presenta principalmente por la unidad de Borde Costero, junto con planicies litorales, dunas y llanos de sedimentación fluvial y aluvial. La morfología predominante corresponde a planicies y superficies muy poco pronunciadas ubicadas entre el río y el mar, permitiendo su fácil ocupación.

Los cordones dunares de la playa de Santo Domingo son los testigos de una evolución costera compleja que resulta de la interferencia de varios factores (glacio-eustático, tectónicos, sedimentarios y antrópicos). Su preservación radica en el manejo de las actividades antrópicas que pudieran afectar su vegetación natural, obstaculizar la acción eólica y de alimentación. Morfológicamente los sectores de dunas actuales tienen cualidades de protección contra marejadas y tsunamis, siendo una defensa natural.

I.2.4 GEOLOGÍA

I.2.4.1 Geología regional

Existen numerosos estudios que describen la geología de la zona del Litoral Central de Chile. El presente capítulo se basa principalmente en los trabajos de Corvalán y Munizaga (1972) y el Mapa Geológico del Área San Antonio – Melipilla (Wall, Gana, et al. 1996, Escala 1:100.000. SERNAGEOMIN), complementando la información con publicaciones recientes. En términos regionales, la V región se puede caracterizar en tres unidades que son el resultado de la configuración tectónica de Chile, y que de este a oeste son Cordillera Principal (Cordillera de los Andes), Depresión Central y Cordillera de la Costa.

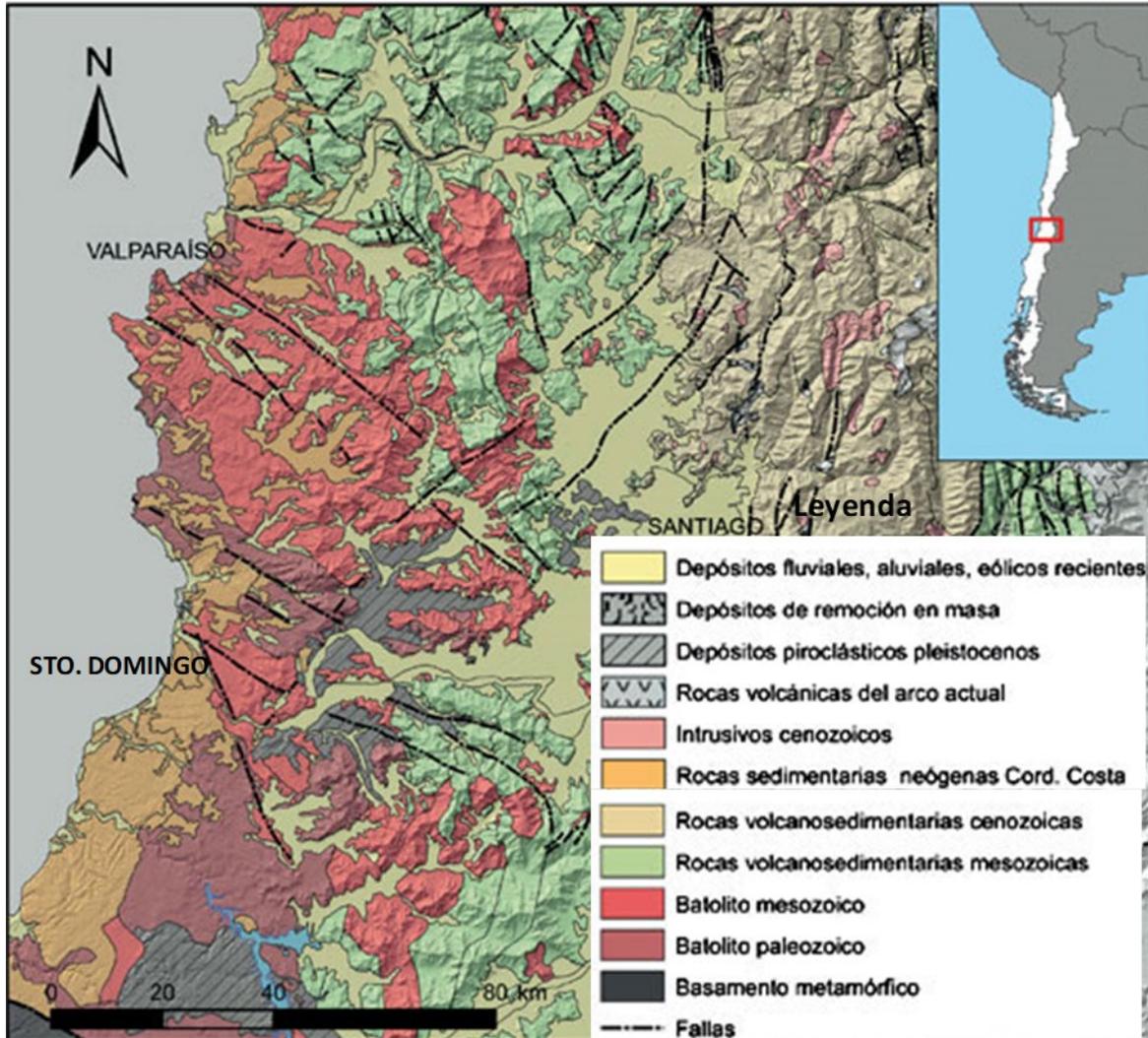
En términos geológicos, la Cordillera de los Andes está compuesta por rocas volcánicas y volcanosedimentarias cenozoicas e intrusivos neógenos (entre 65 y 1.6 Ma) y por rocas marinas y continentales mesozoicas (250 a 65 Ma) altamente deformadas por fallas y pliegues de orientación norte – sur (Thiele, 1980; Wall et al., 1999; Fock, 2005 en Leyton et al., 2010). Ver Figura a continuación.

En la zona de Depresión Central, es posible encontrar rocas volcanosedimentarias jurásicas y cretácicas (201 a 65 Ma) además de sedimentos aluviales y fluviales pleistocenos a holocenos, últimos 1.6 Ma). Varios autores, en Leyton et al., 2010. El límite entre la Depresión Central y la Cordillera Principal en la zona de estudio es de origen tectónico, asociado a la presencia del sistema de fallas inversas de vergencia oeste (Fock, 2005; Farías, 2007).

Por otro lado, la franja de la Cordillera de la Costa y sectores costeros están constituidos principalmente por un basamento de rocas metamórficas e intrusivas del Paleozoico al Jurásico, cubiertas en el sector costero por varios niveles de terrazas de abrasión subhorizontales, expuestos bajo la cota de los 300 m (Wall et al., 1996), poco consolidados, de origen marino y continental del Mioceno al Plioceno Pleistoceno (como la Formación Navidad y Estratos de Potrero Alto).

Las cordilleras de la Costa y Principal están disectadas por valles de orientación dominante este-oeste con rellenos de sedimentos fluviales y aluviales de granulometría en general gruesa, tipo grava. Estos valles, en la zona de estudio, conforman, en su gran mayoría, las hoyas hidrográficas de los ríos Maipo y Aconcagua (Leyton et al., 2010).

Imagen 5: Mapa geológico regional simplificado Chile central regiones V y Metropolitana



Fuente: Base geológica: Sernageomin, 2003, en reevaluación del peligro sísmico probabilístico en Chile Central. Leyton et al 2010

1.2.4.2 Geología local

El área costera presente entre los $33^{\circ} 37'S$ y $33^{\circ} 56'S$, afloran distintas unidades geológicas, incluyendo a depósitos sedimentarios no consolidados y unidades intrusivas que abarcan una historia geológica que data de, al menos, el periodo Triásico-Jurásico (Gana & Tosdal, 1996; Wall, Gana & Gutiérrez, 1996).

Basándose en el Mapa Geológico del Área San Antonio – Melipilla (Wall, R. et al., 1996 del Sernageomin), las rocas más antiguas que afloran en la comuna de Santo Domingo, corresponden a rocas intrusivas del Paleozoico (Pzmg) las cuales se reconocen hacia el

sureste de la comuna y puntualmente en afloramientos en la costa (sector el urbano de Santo Domingo, Punta Toro y en Estero Maitenlahue) como se muestra en la Figura a continuación, constituyendo la unidad de color rojo en el Mapa.

Esta unidad se compone principalmente por tonalitas y granodioritas de anfíbola-biotita, predominantemente; monzogranitos de anfíbola y biotita, sienogranitos y granitos de microclina rosados y pegmatitas de microclina-cuarzo-epidota-biotita, subordinadas (Wall et al., 1996). Las tonalitas y granodioritas son rocas de color gris medio, verdoso, grano grueso a medio, con inclusiones dioríticas, dispuestas paralelamente a la foliación magmática de la roca albergante.

En el sector sureste de la comuna y desde el límite noreste (río Maipo) hacia el norte, se reconocen afloramientos rocosos intrusivos del Triásico Superior – Jurásico Inferior (TrJlv) y que corresponde a sienogranitos de biotita, predominantemente en el sector norte y monzogranitos de biotita y anfíbola en el sector sur (Wall et al., 1996). Petrográficamente, Wall et al. (1996) la describe como rocas de color gris claro a amarillento-rosáceo, de grano medio a fino, con frecuente deformación cataclástica.

En la zona central y sur de la comuna, afloran en su mayoría depósitos sedimentarios marinos de la Formación Navidad (Tn) del Mioceno-Plioceno (23-2,5 Ma). Gana et al., (1996) y Wall et al., (1996) describen a esta formación como una secuencia sedimentaria marina fosilífera, medianamente consolidada, constituida por limolitas, areniscas arcillosas, areniscas de grano muy fino a muy grueso, bancos de conglomerados, areniscas muy finas grises, bancos de coquinas y calizas. De carácter litoral en la base, evidencia una tendencia transgresiva. Al igual que Estratos de Potrero Alto se dispone sobre granitoides paleozoicos y triásico-jurásicos (Pzmg, TrJtv) y, a su vez, está cubierta por depósitos eólicos, aluviales y suelos cuaternarios (Wall et al., 1996). Engrana hacia el este con depósitos transicionales y continentales de la unidad Estratos de Potrero Alto. Presenta un amplio contenido fósil de moluscos principalmente. En la Figura anterior, se reconoce por el color piel dispuesta desde el estero El Yalí hacia el sur, abarcando la zona central y costera de la comuna.

Como depósitos cuaternarios, se reconocen en la comuna Depósitos Marinos (Qm), del Pleistoceno – Holoceno (< 1.6 Ma) los cuales corresponden a sedimentos no consolidados, marinos a transicionales, constituidos por limos, arenas y gravas con niveles coquinoideos. Estos depósitos han sido identificados principalmente en la desembocadura del Estero El Yalí. La geometría de los depósitos constituye formas aterrazadas que rellenan valles hasta 15 kilómetros hacia el este de la costa actual, a cotas que no superan los 25 m. Procesos aluviales han cubierto y disectado estos depósitos Qm.

Dentro de los depósitos cuaternarios de la comuna, se distinguen los Depósitos Fluviales (Qf) recientes (<0.01Ma) y que corresponden a sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos, en los cuales predominan las facies de relleno de canal con base erosiva, constituidas por gravas clasto soportadas, compuestas por bolones redondeados a bien redondeados, de baja esfericidad y en parte imbricados. Además, dentro de estos depósitos se reconocen lentes de arena con estratificación plana – horizontal y cruzada, con escasos limos finamente laminados. Otros depósitos relacionados a los anteriores, agrupados como Qfs (Depósitos fluviales subactuales) corresponden a sedimentos no consolidados de cursos fluviales abandonados, compuestos por gravas, arenas y limos, con desarrollo de cubierta vegetal.

Ambos depósitos (Qf y Qfs) se reconocen en los cauces de los ríos y esteros de la Comuna. Específicamente en el límite norte del área urbana de Santo Domingo (cuyo límite natural es el Río Maipo) se reconocen estos depósitos.

Por último, dentro de los antecedentes recopilados, en el área de estudio se reconocen depósitos litorales y eólicos actuales, denominados Qe (< 0.01Ma) y que corresponden a sedimentos no consolidados compuestos por arenas y gravas de bolones bien redondeados, con estratificación plana-horizontal predominante, y estratificación cruzada de bajo ángulo. Incluyen además láminas arenosas negras que concentran minerales pesados. Dentro de estos depósitos se diferencian además depósitos dunas activas compuestas por arenas grises de buena selección, con estratificación cruzada de gran ángulo y presencia de ondulitas superficiales. La morfología de las dunas transversales indica que la dirección del viento es predominantemente hacia el nor-noreste.

Dentro de la comuna, existen afloramientos puntuales de depósitos eólicos subactuales (Qd) que corresponden a sedimentos no consolidados de paleodunas inactivas, compuestos por arenas grises bien seleccionadas, con estratificación cruzada de gran ángulo y cubiertas por vegetación y desarrollo urbano.

En el Mapa Geológico del área San Antonio - Melipilla, se indica la presencia de depósitos cuaternarios de remoción en masa Qrm (depósitos de movilización gravitacional correspondiente a flujos de detritos matriz soportados, muy mal seleccionados y en menor parte flujos de bloques no maleable. De la misma forma, los antecedentes indican la presencia de depósitos coluviales (Qc) correspondientes a sedimentos no consolidados ubicados en la cabeceras de las quebradas y depósitos aluviales (Qa) compuestos por gravas, arenas y limos en zonas de llanura.

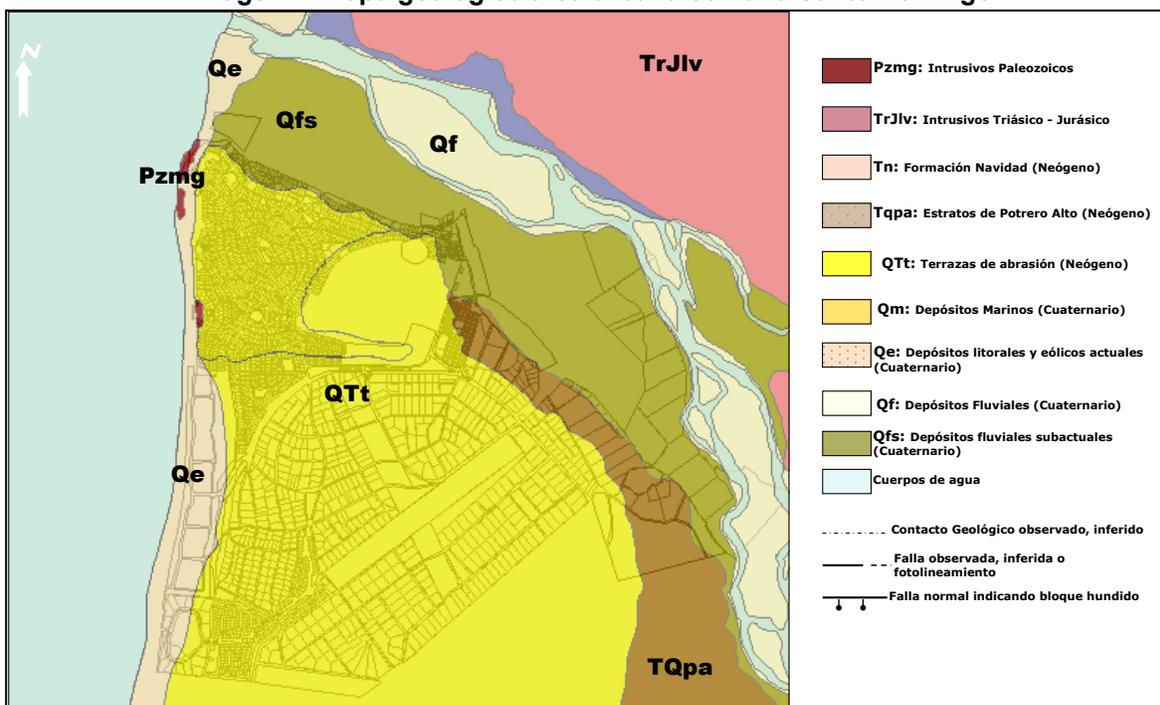
La historia geológica de la evolución costera es compleja, pues es el resultado de la interferencia de varios factores de tipo glacio – eustáticos (trasgresión post glacial), tectónico (solevantamiento de la costa), sedimentario (aportes de materiales volcánicos) y antrópico (desestabilización de cordones dunarios por sobrepastoreo).

I.2.4.3 Localidades en estudio

Santo Domingo

A partir del “Estudio fundado de riesgos: Riesgo Sísmico y por Remociones en Masa. Área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal (comuna de Santo Domingo). SEREMI MINVU V región. Marcela Rivas M & Consultores Asociados , 2011”, se describe la geología del área urbana de la comuna (ver Figura a continuación).

Imagen 7: Mapa geológico área urbana comuna Santo Domingo



Fuente: Estudio fundado de riesgos: Riesgo Sísmico y por Remociones en Masa. Área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal (comuna de Santo Domingo). SEREMI MINVU V Región. Marcela Rivas M & Consultores Asociados, 2011”

El área urbana estaría emplazada principalmente en la unidad QTt, que correspondería Terrazas de Abrasión de edad 1.6 a 0.01 Ma, las cuales corresponde a unidades morfológicas de origen marino depositadas sobre intrusivos paleozoicos (Pzmg) y unidades sedimentarias y volcánicas terciarias (TQPa). Hacia el este del área urbana, se reconocen depósitos litorales y eólicos actuales Qe correspondientes a arenas y gravas de bolones bien redondeados de colores grises. Esta unidad incluye los depósitos de dunas y arenas de playas. Hacia el sector la Puntilla y en forma puntual en las laderas del cerro Santo Domingo, se reconocen afloramientos de rocas intrusivas Pzmg

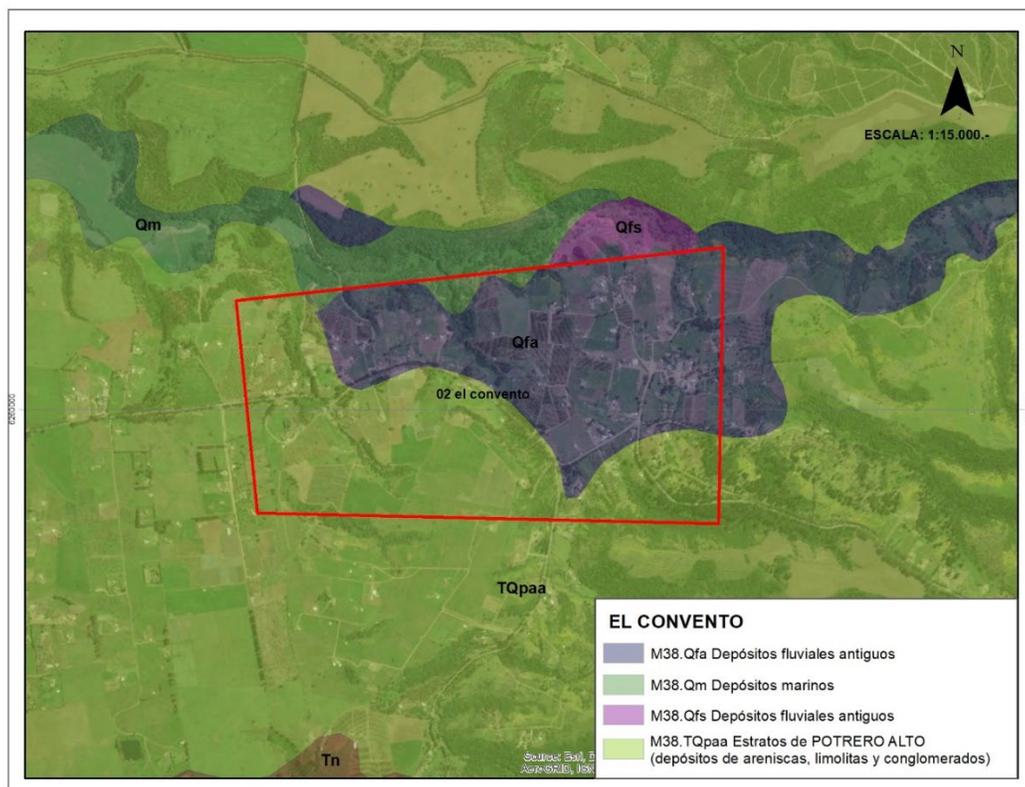
El entorno norte y noreste del área urbana, estaría dominado por depósitos fluviales actuales y subactuales asociados al río Maipo (Qf y Qfs) compuestos por sedimentos no consolidados constituidas por gravas clasto soportadas, lentes de arena, gravas, arenas y limos, con desarrollo de cubierta vegetal.

De acuerdo a los antecedentes, el límite entre los depósitos QTt y Qfs sería la unidad Estratos de Potrero Alto (TQpa) correspondientes a depósitos sedimentarios medianamente bien consolidados de conglomerados, areniscas, limolitas, arcillolitas con restos vegetales mal preservados y que serían de facies continentales aluviales (cono aluvial, río, llanura de inundación).

El Convento

La localidad de El Convento, se emplaza sobre unidades fluviales antiguas y actuales (Qfs y Qfa) asociadas a depósitos de quebradas y esteros secundarios (afluentes del Estero El Peuco), y que corresponden a sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos, en los cuales predominan las facies de relleno de canal con base erosiva, constituidas por gravas clasto soportadas, depósitos de lentes de arena y escasos limos, y que en el caso de los depósitos antiguos presentan desarrollo de cubierta vegetal. Como se muestra en la Figura a continuación, la quebrada se orienta este-oeste, con fuerte control estructural dado por una falla inferida. Rodeando los depósitos fluviales, se reconocen los Estratos de Potrero Alto (TQpa), descritas como depósitos medianamente consolidados de conglomerados, areniscas, limolitas, arcillolitas con restos vegetales mal preservados, limolitas grises y niveles de diatomitas, limolitas verdesas con trazas fósiles.

Imagen 8: Mapa geológico El Convento

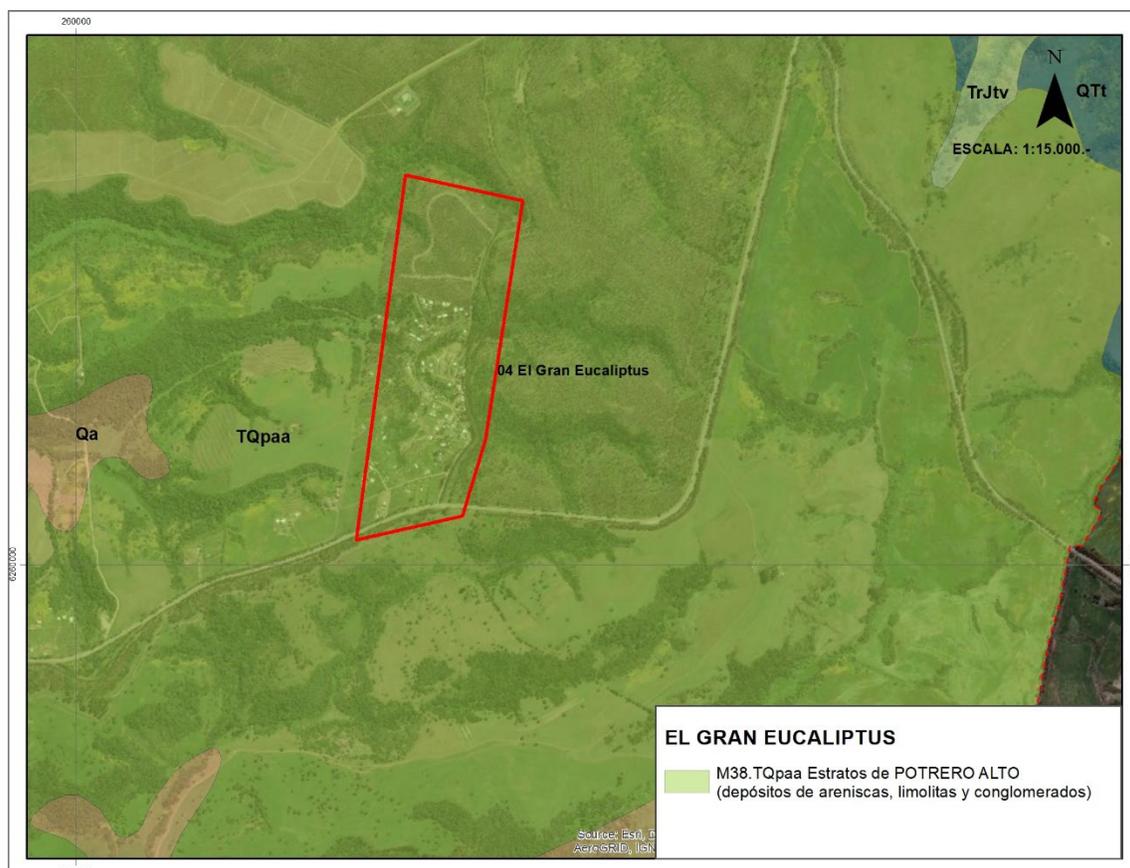


Fuente: Mapa Geológico del Área San Antonio – Melipilla (Wall, R. et al., 1996 del Sernageomin)

El Gran Eucaliptus

La localidad de El Gran Eucaliptus, situada unos 5 kilómetros al este de El Convento, se emplaza principalmente sobre los descritos Estratos de Potrero Alto (TQpa), y depósitos de quebradas secundarias que no se reflejan a la escala del Mapa San Antonio Melipilla. (ver Figura a continuación)

Imagen 9: Mapa geológico El Gran Eucaliptus



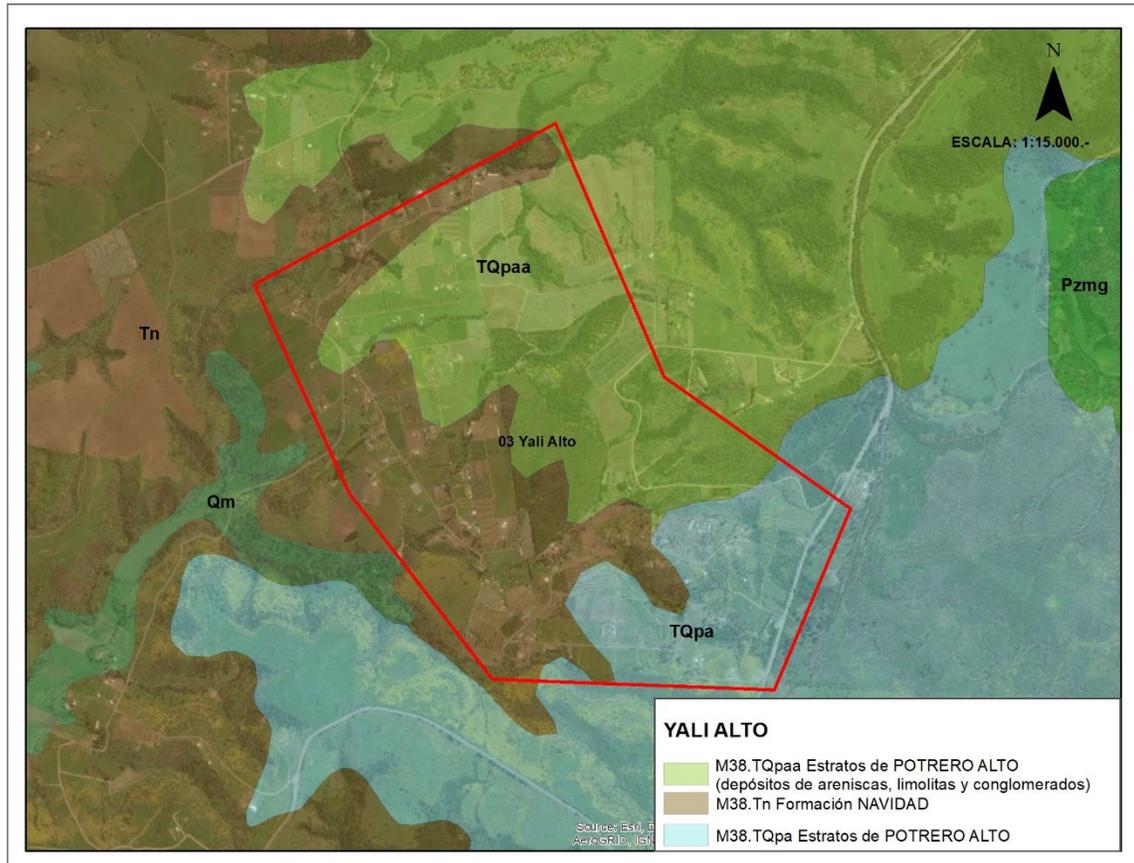
Fuente: Mapa Geológico del Área San Antonio – Melipilla (Wall, R. et al., 1996 del Sernageomin)

Yali Alto

La localidad de Yali Alto, ubicada unos 3 kilómetros al sur de El Convento, se emplaza geológicamente en la Formación Navidad (Tn) descrita como una secuencia sedimentaria marina fosilífera, medianamente consolidada (constituida por limolitas, areniscas arcillosas, areniscas y bancos de conglomerados, bancos de coquinas y calizas) y sobre la unidad Estratos de Potrero Alto (TQpa), descritos como depósitos medianamente consolidados de conglomerados, areniscas, limolitas, arcillolitas con restos vegetales mal preservados, limolitas grises y niveles de diatomitas, limolitas verdosas con trazas fósiles.

Limitando al norte, la localidad se encontraría limitada por fallas inferidas de carácter regional, con orientación cercana a norte sur, con presencia además de quebradas secundarias atravesando la localidad.

Imagen 10: Mapa geológico Yali alto



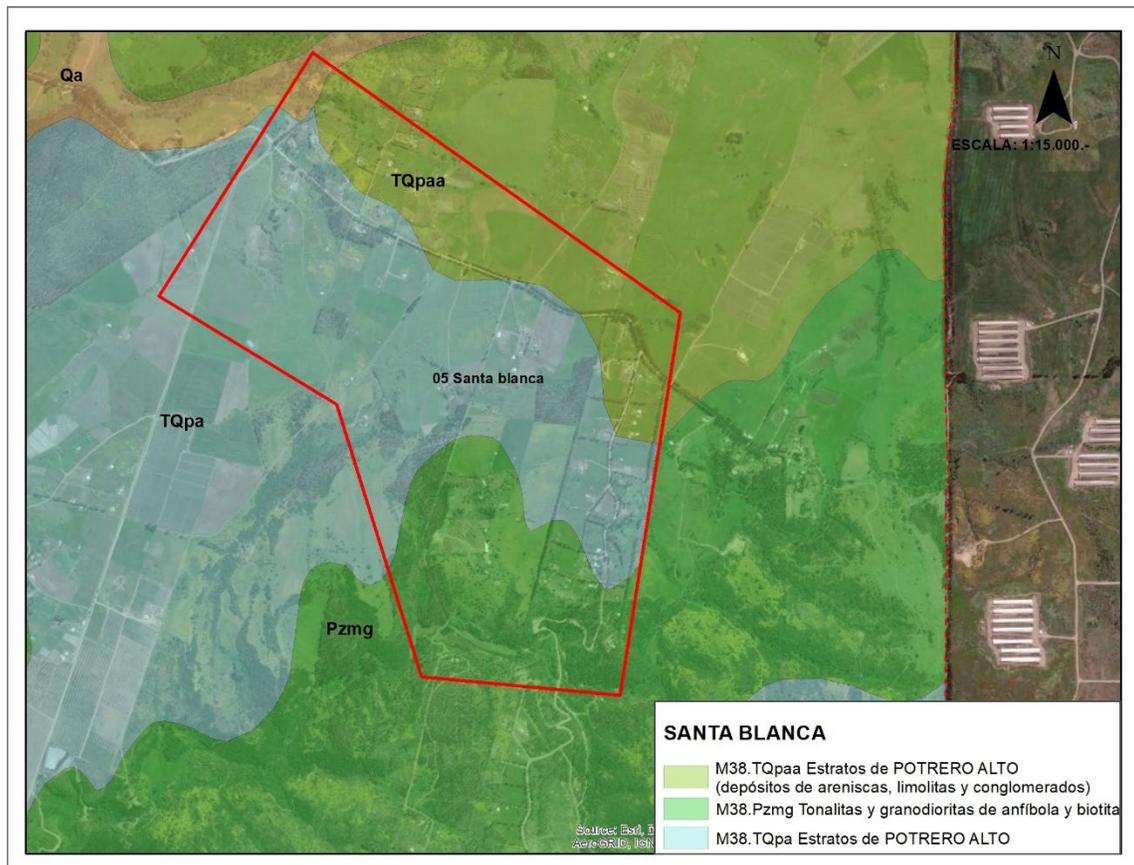
Fuente: Mapa Geológico del Área San Antonio – Melipilla (Wall, R. et al., 1996 del Sernageomin)

Santa Blanca

Ubicada unos 4 kilómetros al este de Yali Alto (y al sur de El Gran Eucaliptus), la localidad de Santa Blanca se encuentra emplazada mayormente en su parte norte sobre la unidad Estratos de Potrero Alto (TQpa), y sobre rocas pertenecientes a los cuerpos intrusivos Paleozoico (Pzmg).

En términos estructurales, la localidad de Santa Blanca se encontraría ubicada en un bloque limitado por fallas inferidas y lineamientos de rumbo nor-noreste y nor-noroeste.

Imagen 11: Mapa geológico Santa Blanca

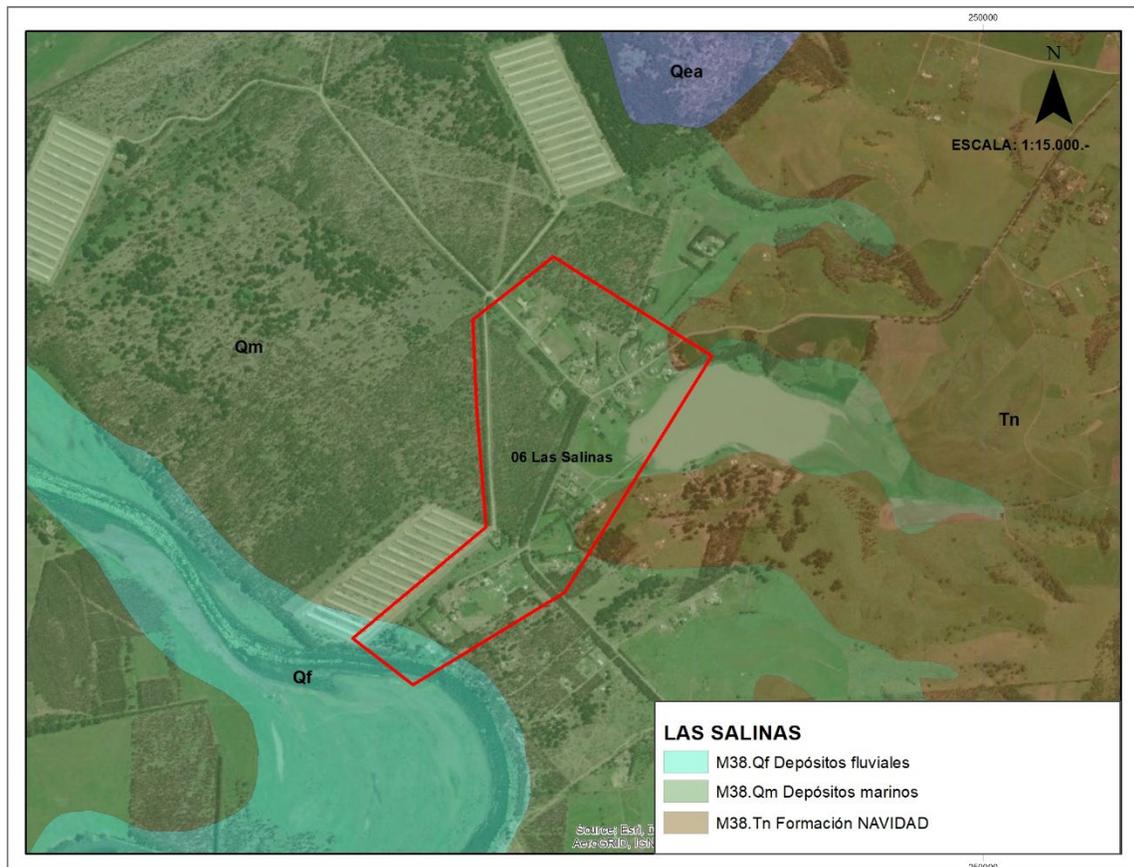


Fuente: Mapa Geológico del Área San Antonio – Melipilla (Wall, R. et al., 1996 del Sernageomin)

Las Salinas

La localidad de Las Salinas se ubica al norte del Estero El Yali, principalmente sobre sedimentos no consolidados Marinos (Qm), constituidos por limos, arenas y gravas con niveles coquinoídeos. En esta localidad, cuyo emplazamiento incluye esteros secundarios afluentes de Estero El Yali, deberían reconocerse en parte sedimentos fluviales actuales (Qf) y la Formación Navidad (Tn).

Imagen 12: Mapa geológico Las Salinas



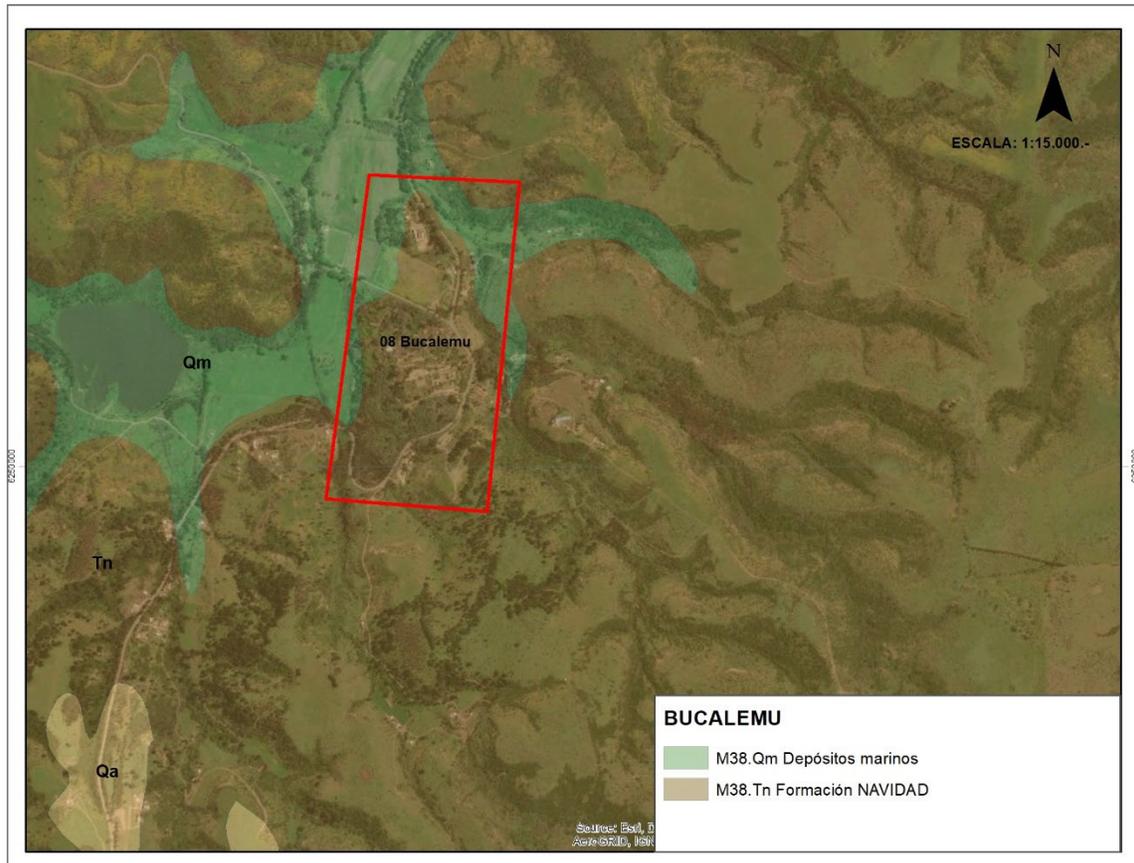
Fuente: Mapa Geológico del Área San Antonio – Melipilla (Wall, R. et al., 1996 del Sernageomin)

Bucalemu

La localidad de Bucalemu se emplaza tanto en depósitos de sedimentos marinos (Qm), constituidos por limos, arenas y gravas con niveles coquinoídeos, que aflorarían en el entorno a una quebrada secundaria afluente el Estero El Yali, y las rocas sedimentarias marinas de la Formación Navidad (Tn), las cuales presentarían gran exposición en esta parte de la Comuna. Ver Figura a continuación.

En términos estructurales, en la localidad de Bucalemu se infiere la presencia de fallas con orientación norte-sur y sureste-noroeste

Imagen 13: Mapa geológico Bucalemu

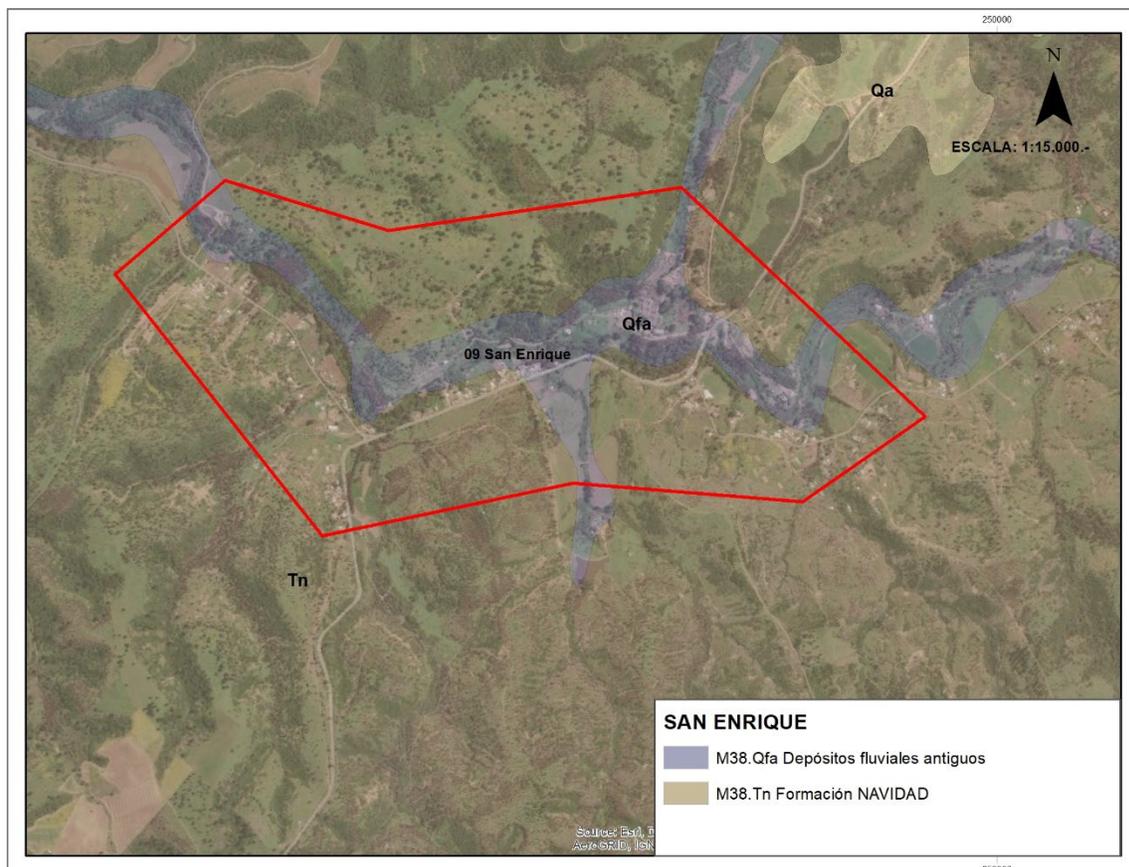


Fuente: Mapa Geológico del Área San Antonio – Melipilla (Wall, R. et al., 1996 del Sernageomin)

San Enrique

La localidad de San Enrique, se emplaza tanto en sedimentos fluviales actuales (Qfa) asociados el Estero Maitenlahue, que fluye hacia el oeste, y rocas sedimentarias marinas de la Formación Navidad (Tn), como se muestra en la Figura a continuación. Esta localidad, al igual que otras de la comuna, se encuentra limitada por fallas geológicas inferidas con rumbo noroeste-sureste y noreste – suroeste.

Imagen 14: Mapa geológico San Enrique



Fuente: Mapa Geológico del Área San Antonio – Melipilla (Wall, R. et al., 1996 del Sernageomin)

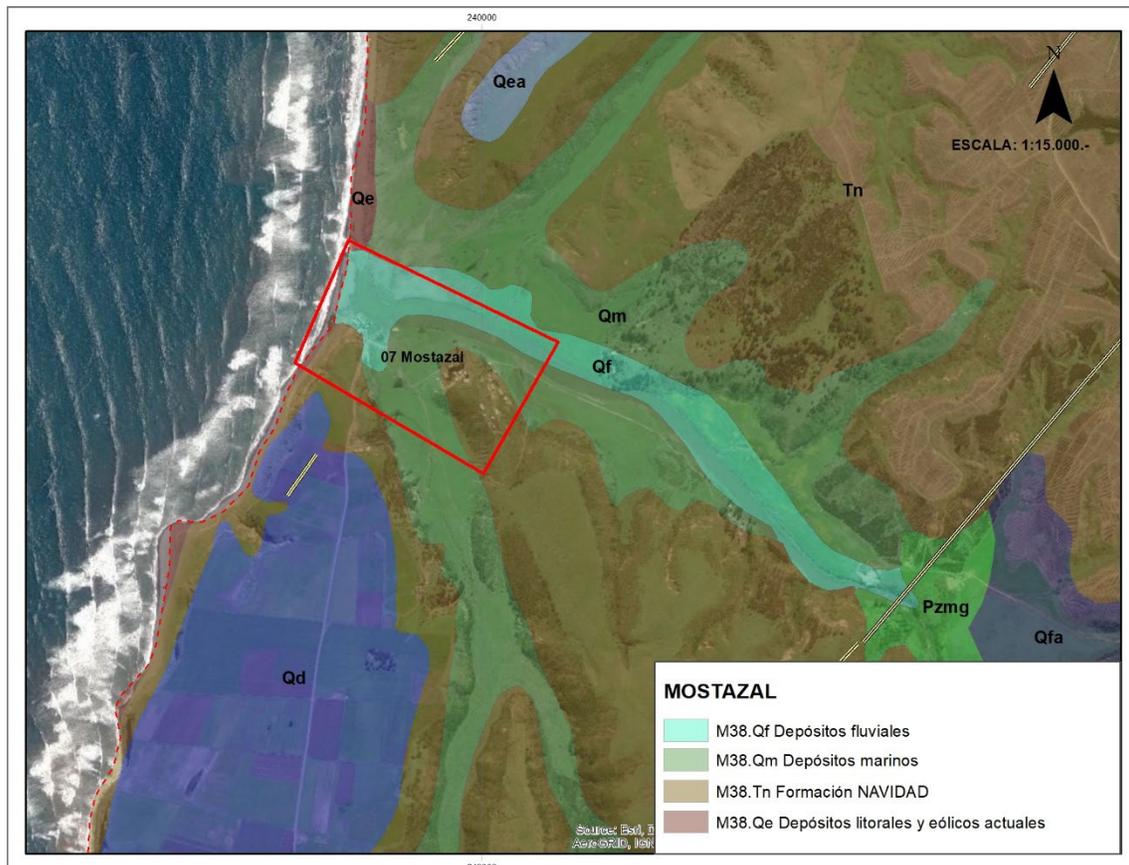
Mostazal

Las unidades reconocidas en el sector de Mostazal corresponden a depósitos de terrazas marinas de la Formación Navidad (Tn) constituida por limolitas, areniscas arcillosas, areniscas de grano muy fino a grueso, bancos de conglomerados, areniscas muy finas grises y bancos de coquinas y calizas donde se evidencia su disposición subhorizontal con distintos niveles (reconocidos por erosión diferencial), sobre la cual se reconocerían depósitos de tipo eólicos subactuales (Qd) que corresponden a sedimentos no consolidados de paleodunas inactivas, compuestos por arenas grises bien seleccionadas.

En el límite con la costa, se reconocen depósitos litorales y eólicos (Qe) correspondientes a arenas y gravas de bolones bien redondeados de colores grises incluyendo los depósitos de dunas y arenas de playas.

En el entorno del Estero Maitenlahue se reconocen Qf (depósitos fluviales actuales provenientes del estero) y depósitos marinos Qm que rellenan parte del valle fluvial del estero. Ver Figura a continuación.

Imagen 15: Mapa geológico Mostazal



Fuente: Mapa Geológico del Área San Antonio – Melipilla (Wall, R. et al., 1996 del Sernageomin)

I.2.4.4 Conclusiones

A partir de la descripción y antecedentes recopilados, se puede concluir que en área de la comuna de Santo Domingo se reconocen rocas de distinta edad, incluyendo rocas intrusivas del Paleozoico (Pzmg) al Triásico-Jurásico (TrJlv), y depósitos sedimentarios más jóvenes (del Neógeno al Cuaternario), tanto eólicos, marinos, fluviales y aluviales.

El área urbana de Santo Domingo se emplaza mayoritariamente en depósitos sedimentarios Terrazas de Abrasión (QTt), mientras que las localidades como El Convento, El Gran Eucaliptus; Yali Alto y Santa Blanca se emplazan geológicamente mayoritariamente en la unidad sedimentaria TQPa (Estratos de Potrero Alto).

Más al sur, las localidades de Mostazal al oeste; San Enrique al centro y Bucalemu por el este se emplazan mayoritariamente en rocas sedimentarias marinas de la Formación Navidad (Tn) junto a sedimentos marinos (Qm) y fluviales actuales (Qa). En la mayoría de las localidades (El Convento, Santa Blanca, Yali Alto, Bucalemu, San Enrique), el Mapa geológico del área San Antonio – Melipilla, muestra la presencia de lineamientos y fallas inferidas (es decir, no fueron mapeadas en terreno, pero se asume su

presencia dada por lineamientos fotointerpretados, u otros rasgos que indiquen control de estructuras geológicas, como esteros, escarpes o quebradas alineadas).

Dentro de las implicancias que tiene el componente geológico en la habitabilidad de los territorios, se encuentran por un lado los aspectos relacionados al riesgo por procesos de origen geológico, como sismos, tsunamis, remociones en masa, entre otros, así como aspectos relacionados con el patrimonio y la geodiversidad.

En términos de riesgos, basándose en el “Estudio fundado de Riesgo Sísmico y por Remociones en Masa. Área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal (comuna de Santo Domingo). SEREMI MINVU V región. Marcela Rivas M & Consultores Asociados 2011”, y estudios realizados en San Antonio, localidad aledaña a Santo Domingo y donde es factible encontrar similares unidades geológicas (estudios de Zonificación de la respuesta sísmica de la comuna de San Antonio, Región de Valparaíso”, de Naranjo y Carrasco 2010. Sernageomin), en la comuna se reconocen unidades que presentan muy mal comportamiento sísmico (como depósitos no consolidados de limos, arenas, gravas de origen fluvial, eólico subactuales, aluviales y litorales); depósitos con regular comportamiento sísmico (como sedimentos con mayores espesores y grado de consolidación hasta rocas sedimentarias marinas de la Formación Navidad) hasta unidades con buen comportamiento sísmico, como rocas intrusivas frescas.

En términos de remociones en masa, la presencia de rocas en escarpes o afloramientos en pendientes (ya sea escarpes de terrazas marinas o afloramientos de rocas intrusivas fracturadas) pueden ser zonas que favorezcan estos procesos ante sismos o intensas precipitaciones. Evidencia de ello, son las remociones en masa desencadenadas con el terremoto del 27F del 2010 en unidades sedimentarias marinas en escarpes costeros (ver Fotografía a continuación).

Imagen 16: Remociones en masa Navidad – Sismo 27F 2010



Fuente: Gentileza PUCV – Oceanografía. 2010.

En términos de patrimonio, existen unidades que han sido identificadas con contenido fosilífero (como la Formación Navidad (Tn) y Estratos de Potrero Alto (TQpa), los cuales, en caso de ser reconocidos se encuentran actualmente protegidos por la Ley 17.288 sobre Monumentos Nacionales (valor paleontológico).

I.2.5 HIDROGRAFÍA

I.2.5.1 Hidrología regional

La hidrografía de la Región corresponde a una red compleja en su estructura, y desde el punto de vista climático-ambiental, pertenece a la clasificación de los ríos en torrente de régimen mixto de la zona semiárida y de la zona sub húmeda de Chile. Presenta tres cuencas principales de jerarquía mayor como son las de los ríos Aconcagua, La Ligua y Petorca. En el espacio regional, en el sector sur, correspondiente a nuestra área de estudio, se presenta el curso inferior de la cuenca del río Maipo, de origen andino. En un nivel jerárquico intermedio es posible identificar numerosas cuencas originadas en el sector de la Cordillera de la Costa, las cuales desembocan en el océano de manera independiente.

Los caudales originados en las cuencas andinas reciben una alimentación mixta pluvial en invierno y de los deshielos de primavera y verano. Los cursos costeros solo tienen alimentación de las lluvias durante la época invernal. Eventualmente, toda la superficie de estas cuencas, en mayor o menor grado, presenta aumentos excepcionales de sus caudales, asociados a precipitaciones anormalmente altas y torrenciales, generando desbordes en sus cauces con efectos de inundaciones en la población y la infraestructura.

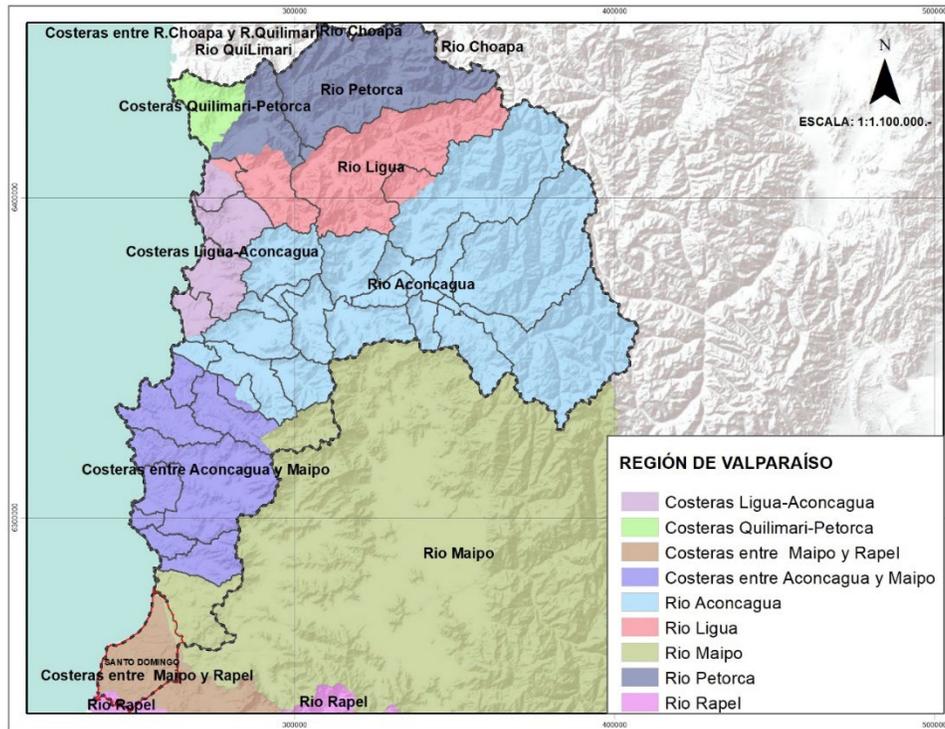
I.2.5.2 Cuencas hidrográficas

Según los registros de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, se registraron 10 cuencas en la Región de Valparaíso.

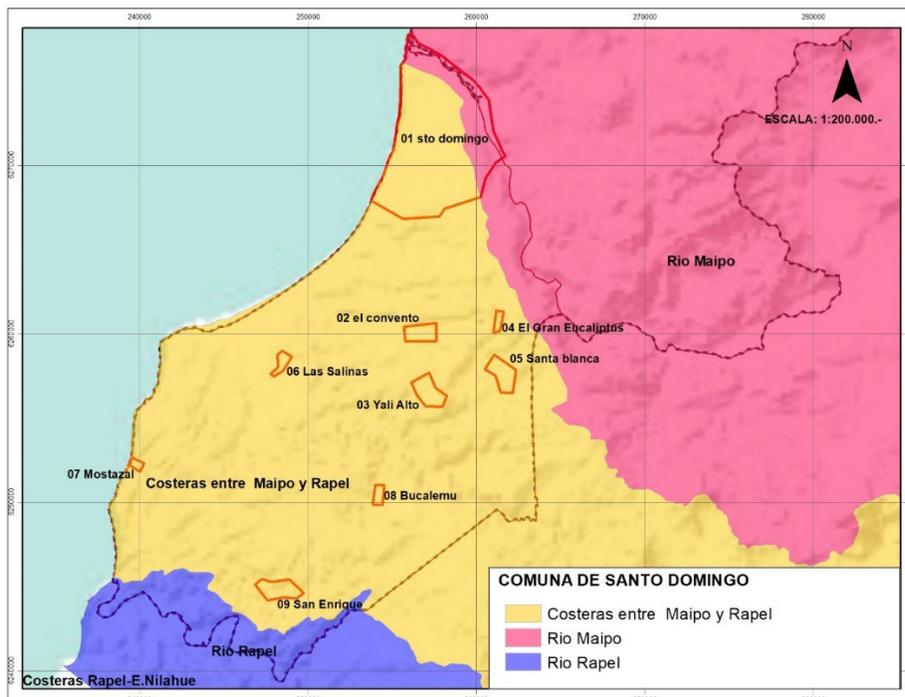
1. Río Quilimari
2. Costeras Quilimari – Petorca
3. Río Petorca
4. Río Ligua
5. Río Aconcagua
6. Costeras Ligua – Aconcagua
7. Costeras entre Aconcagua y Maipo
8. Río Maipo
- 9. Costeras entre Maipo y Rapel**
10. Río Rapel

Dentro de las nueve cuencas existentes en la Región, tres se encuentran en la comuna de Santo Domingo.

Imagen 17: Cuencas Región de Valparaíso



Fuente: <http://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/>
Imagen 18: Cuencas comuna de Santo Domingo



Fuente: <http://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/>

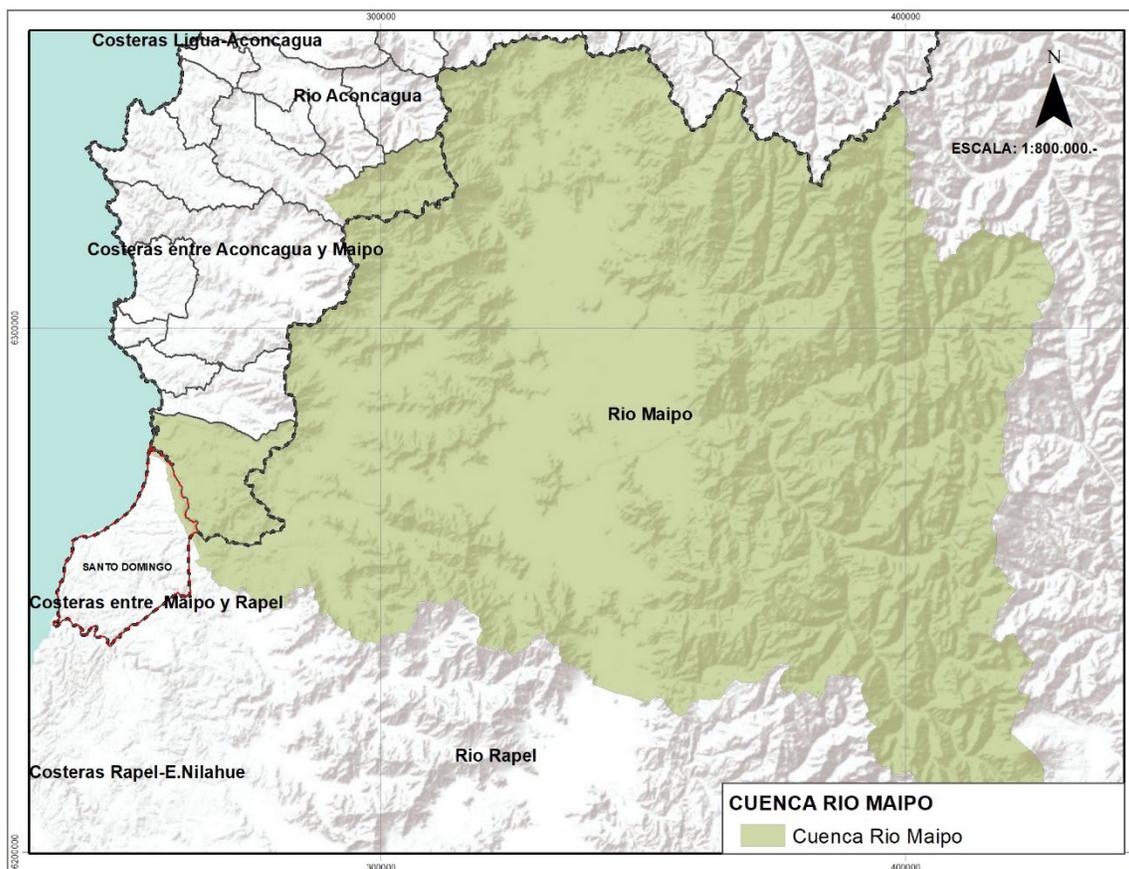
I.2.5.3 Hidrología local

Río Maipo

La cuenca hidrográfica del Río Maipo abarca prácticamente la totalidad del territorio de la Región Metropolitana, parte de la V y VI regiones extendiéndose entre los paralelos 32°55'-34°15' latitud sur y meridianos 69°55'-71°33' longitud oeste. Drena una superficie de 15.304 Km². La superficie de la cuenca, cubre prácticamente el 100% de la Región Metropolitana y una mínima superficie de las Regiones de Valparaíso (Provincia de San Antonio y Valparaíso) y del Libertador Bernardo O'Higgins (Provincia de Cachapoal).

El Río Maipo tiene una longitud de 250 Km y es la principal fuente de agua de la Región Metropolitana. Atiende alrededor del 70% de la demanda actual de agua potable y cerca de un 90% de las demandas de regadío. Otro aprovechamiento intensivo es el hidroeléctrico. Esta cuenca, posee una alta concentración de habitantes e industrias.

Imagen 19: Cuenca del Río Maipo.



Fuente: <http://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/>

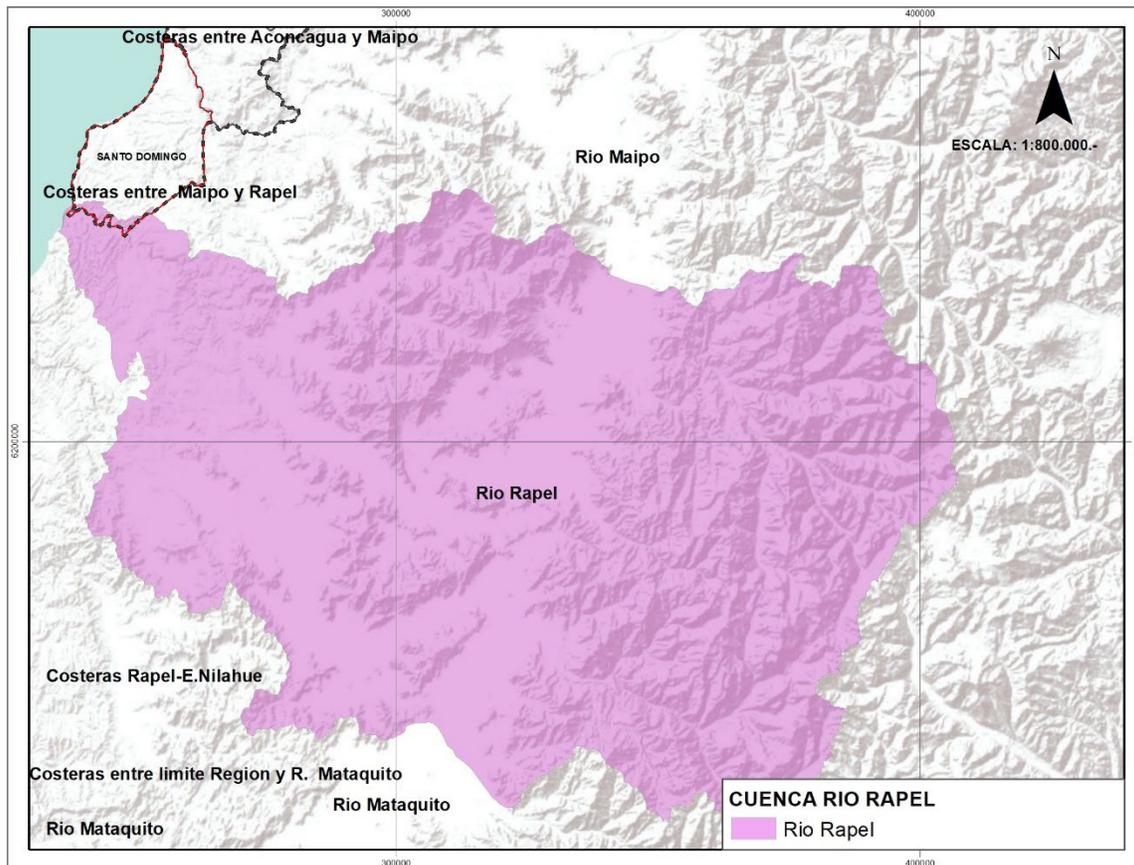
Río Rapel

La cuenca hidrográfica del río Rapel forma parte de la VI Región del General Libertador Bernardo O'Higgins, se sitúa entre los paralelos 33°53' y 35°01' de latitud sur, drenando una superficie total de 13.695 km².

El río Rapel se forma de la unión de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, en el lugar denominado La Junta, a unos 6 km al oeste de la localidad de Las Cabras. La confluencia tiene lugar en el interior de la Cordillera de la Costa y se encuentra hoy inundada por las aguas del embalse Rapel, con una capacidad de 680 millones de m³

Desde La Junta, el río Rapel corre hacia el noreste, en medio de un lecho obstruido por depósitos fluviales. Desemboca en el mar, cerca del pueblo de Navidad, a través de un solo cauce de unos 60 m de ancho. En su recorrido, no recibe afluentes de importancia, siendo el de mayor significación el estero Alhué.

Imagen 20: Cuenca río Rapel



Fuente: <http://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/>

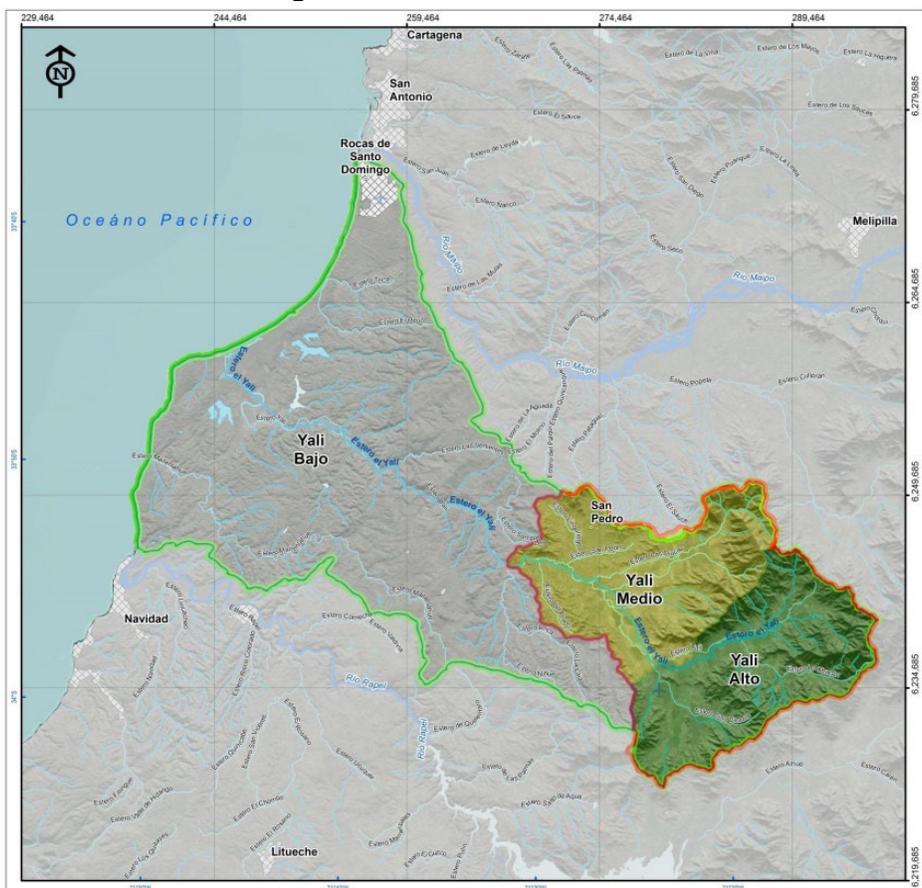
Estero Yali

La cuenca del estero Yali se ubica entre los 33°45' y 34°05' de latitud sur, y los 71°15' y 71°45' de longitud oeste, cubriendo un área de aproximadamente 750 [km²]. Corresponde a una cuenca costera exorreica, que limita al norte con la cuenca del río Maipo; al sur, con la cuenca del río Rapel; al oriente con la subcuenca del estero Alhué; y al poniente, con el Océano Pacífico.

El cauce principal de la cuenca lo constituye el estero Yali, con una extensión aproximada de 50 [km]. Sus tributarios principales son los esteros San Pedro, El Sauce, las Diucas, Lo Chacón, San Vicente y Loica.

En la mitad superior de la cuenca, desde su nacimiento hasta el sector El Prado, abarcando una superficie del orden de 470 [km²], se emplazan los valles donde se concentra la actividad agrícola de la cuenca (Yali Alto). A partir del sector El Prado, el Estero Yali, se encajona, hasta cruzar la ruta G-80- 1, punto a partir del cual el cauce se ensancha y disminuye su pendiente hasta alcanzar las planicies costeras donde se forman vegas y lagunas previo a desembocar al mar.

Imagen 21: Cuenca Estero el Yalí



Fuente: Levantamiento de información hidrogeológica cuenca estero el Yalí. DGA 2016

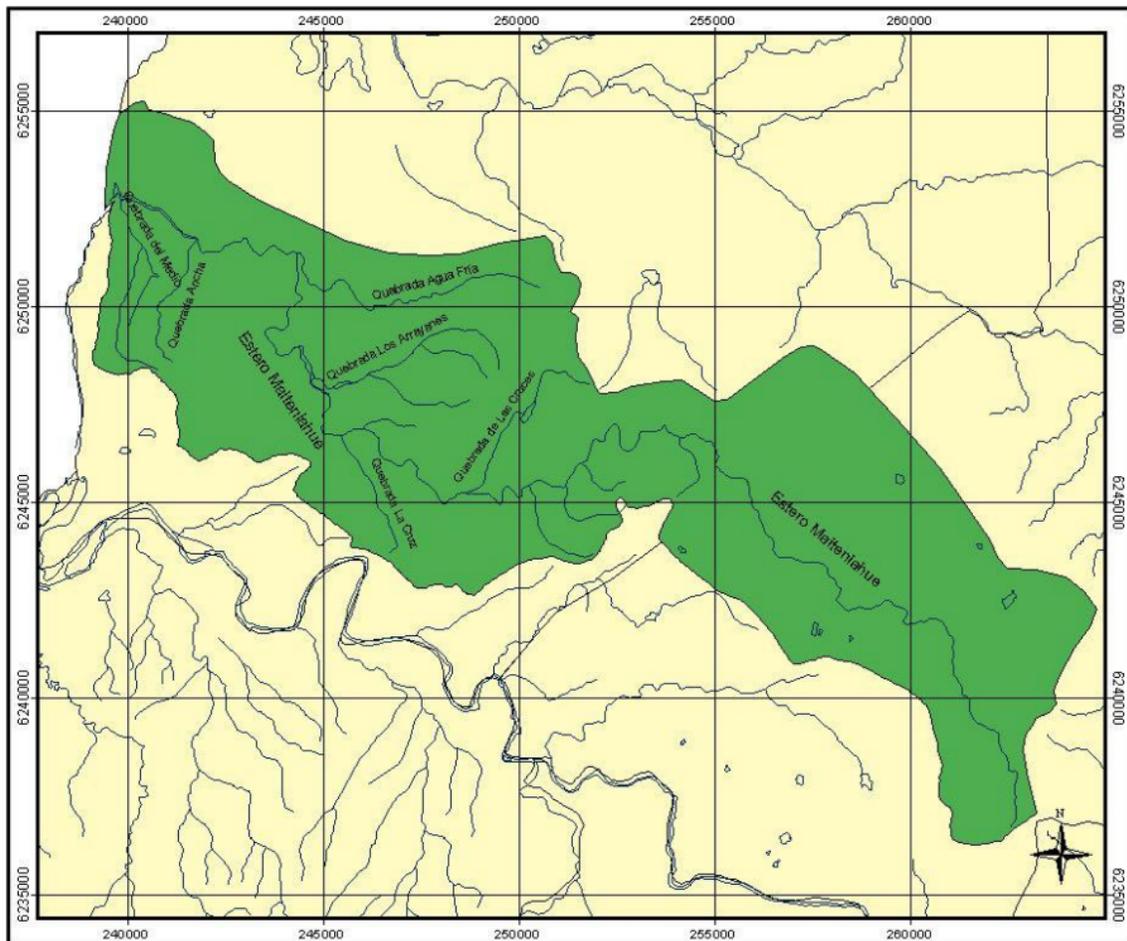
Estero Maitenlahue

La cuenca del Estero Maitenlahue se dispone geográficamente entre los ríos Maipo y Rapel, entre las coordenadas UTM Norte 6.236.000 y 6.256.000 y UTM Este 239.000 y 265.000. Se inserta dentro de las denominadas unidades morfológicas Cordillera de la Costa y Litoral Costero, con una superficie aproximada de 166 km² y cuyo cauce principal lo constituye el Estero Maitenlahue.

Administrativamente, la cuenca se dispone dentro de dos comunas. Un 33% de la cuenca está en la comuna de San Pedro, con una superficie aproximada de 54 km², y el 67% restante se ubica en la comuna de Santo Domingo, con una superficie de 112 km².

La cota máxima de la cuenca se encuentra a los 450 m.s.n.m. La desembocadura del Estero Maitenlahue se encuentra en la playa Mostazal, al sur de Santo Domingo.

Imagen 22: Cuenca Estero Maitenlahue



Fuente: Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del estero Maitenlahue. DGA. 2009

I.2.5.4 Conclusiones componente hidrológico

Los principales cauces principales de la comuna corresponden a los ríos Maipo y Rapel. El primero corresponde al límite comunal norte y el segundo al límite comuna sur. Ambos ríos cuentan con sus nacientes en la Cordillera de los Andes, por ende, su alimentación es de origen nival y pluvial. El río Maipo, en su desembocadura cuenta con un humedal y una amplia caja de cauce con distintos niveles de aterramiento, actualmente ocupada con fines de conservación (humedal) y agrícola.

El principal estero de la comuna corresponde al Estero Yali, con una cuenca con sus nacientes en la Cordillera de la Costa, es alimentado con las precipitaciones, principalmente de lluvias. El estero Yali, en la comuna de Santo Domingo, corresponde a su sección inferior, la topografía y geología del sector hace que su cauce sea sinuoso y que el nivel freático sea alto, propiciando la existencia de humedales y cuerpos de agua.

El estero Maitenlague, a diferencia del Estero Yali, cuenta con una cuenca de menor superficie y un cauce más lineal

I.2.6 SUELOS

I.2.6.1 Caracterización regional del suelo

Los suelos de la región de Valparaíso se clasifican en tres tipos de suelo dependiendo de la formación geológica, tiempo cronológico, pluviometría, topografía y temperatura. Estos suelos se clasifican en suelos graníticos de la costa, suelos aluviales del Valle Central y suelos de la Cordillera de los Andes Centrales.

- Suelos graníticos de la costa

Son suelos de los órdenes Alfisoles (suelos con buen grado de evolución) e Inceptisoles (suelos de desarrollo incipiente que forman inclusiones entre las regiones V y VIII). En el sector costero se ubican preferentemente los suelos derivados de terrazas marinas altas y de relieve plano a ligeramente inclinado y de colores pardos rojizos asociados con otros de menor evolución. En la vertiente poniente de la Cordillera de la Costa, los suelos se han desarrollado directamente a partir de roca granítica.

- Suelos aluviales del Valle Central

Pertenecen a los órdenes Alfisoles, Mollisoles (suelos mullidos) y entisoles, con predominio del primer orden. En las áreas orientales de la Cordillera de la Costa en San Antonio y hacia el sur, los alfisoles derivan de granito y presentan un fuerte incremento del contenido de arcilla y profundidad. Sobre estos suelos se desarrolla la mayor parte de la agricultura de riego de la Zona Central.

- Suelos de la Cordillera de los Andes Centrales

Corresponden a los suelos ubicados en los sectores de más fuerte relieve de la Cordillera de los Andes, se ubican dentro los órdenes Entisoles, Inceptisoles y Andisoles, con predominio del orden entisol. Estos suelos han derivado de materiales volcánicos vítreos y de texturas gruesas.

I.2.6.2 Suelo a escala local

Según la definición que entrega la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), el suelo corresponde a la capa superficial de la corteza terrestre, que contiene la materia orgánica, mineral y nutriente necesaria para el desarrollo de la vegetación, ya sea ésta de carácter natural o fruto del desarrollo de actividades agrícolas.

Los suelos de la comuna se encuentran en la subprovincia de San Antonio, perteneciente a la Provincia Templada Secoestival Nubosa (Vallejos, 2001). La subprovincia de San Antonio se ubica geográficamente entre los ríos Aconcagua y Rapel, zona en que aún se produce un período prolongado de sequía (alrededor de 9 meses). Presenta temperaturas agradables de promedio anual de 14,5°C, la temperatura media del mes más cálido, en enero, es alrededor de 17,8°C y el mes más frío, julio, desciende a 11,4°C a 1°C. La precipitación promedio es entre 380-400mm. En cuanto a la geomorfología, existen cinco niveles de terrazas marinas. Del río Maipo al río Rapel, se extiende hasta un máximo de 20km.

La sección litoral presenta suelos tipo de pradera costera, ellos se encuentran catalogados de acuerdo a diferentes grupos y series, según el material de origen:

- Suelo de Paleodunas (Suelo Loncura): se encuentra en la parte meridional de Santo Domingo. Es formado a partir de dunas antiguas, moderadamente profundo, en lomajes suaves a moderadamente ondulados areno francoso y pardo oscuro en todo el perfil. Descansa sobre arenas graníticas.
- Terrazas marinas suaves a moderadamente onduladas de granulometría fina y moderadamente profundos (Suelo Matanzas): Ocupa una vasta extensión entre los ríos Maipo y Rapel, en la franja litoral. Suelo sedimentario en lomajes suaves moderadamente ondulados, con suelo superficial franco arcillo arenoso y arcilloso, en profundidad, de colores pardo rojizo, en todo el perfil. Substrato de arenas graníticas ricas en cuarzo. Drenaje moderado, muy profundo; sin embargo, la profundidad efectiva puede llegar a ser limitante, especialmente en las laderas expuestas a erosión.
- Suelos graníticos de lomajes y cerros (Suelo Cuzco): Se ubica en la vertiente oeste de la Cordillera de la Costa a la altura del río Rapel. Lomajes graníticos franco arenosos en todo el perfil y pardo rojizo oscuro. Substrato a base rocas graníticas rosadas ricas y feldespatos. Drenaje rápido.

Para el análisis de los distritos y sitios de la provincia templado secoestival nubosa se pueden delimitar las distintas clases de Capacidad de Uso con los rangos de pendiente equivalentes a cada distrito. Éstos se pueden clasificar en Distrito cerrano, ondulado, plano, depresional y montano. En la comuna de Santo Domingo podemos encontrar:

- Distrito plano: se caracterizan por ser suelos de textura liviana a media, y ser profundos (superior a 80cm), no presentan problemas graves de hidromorfismo, siendo en su mayoría de drenaje moderado. Presentan como limitante adicional la pendiente, la cual varía entre 7 a 10%, determinando así una geomorfología de Plano inclinado, correspondiendo a Terrazas marinas, las cuales permiten el óptimo establecimiento de pasturas.
- Distrito ondulado: se caracterizan por ser en su mayoría de textura media, por ser medianos a profundos, sin problemas de hidromorfismo, presentando un drenaje moderado. La principal limitante de estos suelos es la pendiente, la cual varía entre 10,5% y 34,5%.

- Distrito cerrano: se caracteriza por ser generalmente de textura liviana a media, ser suelos de una profundidad mediana (30-80cm) de drenaje moderado a rápido, debido a la pendiente que presentan (35% - 64,5%). Entre las limitantes de estos sitios se destaca la fertilidad, la cual se ha visto enormemente degradada, producto de los consecutivos años de sobreexplotación con cultivos de cereales y sobreutilización por ganado doméstico.

I.2.6.3 Erosión del suelo

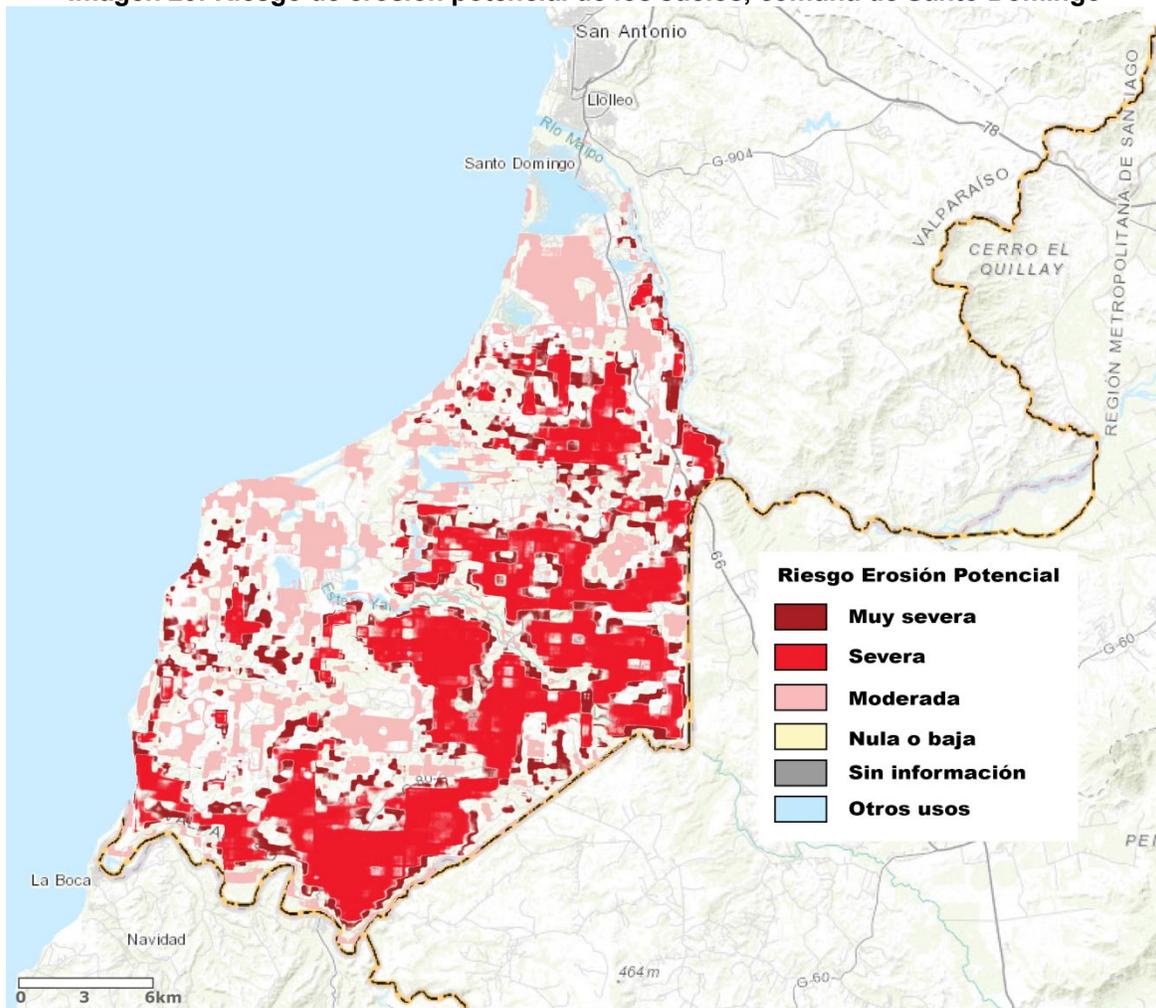
Para la Región de Valparaíso existe una superficie actual de suelos erosionados (clasificación en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de 907 mil hectáreas, lo que representa el 56,7% de la superficie regional. Sin embargo, parte de esta superficie, en especial hacia la Cordillera de Los Andes, ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión de tipo geológica.

A escala comunal, la superficie de erosión actual de Santo Domingo se distribuye de la siguiente manera: baja o nula (4.417 ha), moderada (36.680 ha), severa (7.774 ha), muy severa (36 ha).

A pesar de esta alta erosión y degradación existente de los suelos, y considerando las condiciones físicas del territorio (clima, hidrología, geomorfología, entre otros) es posible determinar el riesgo de erosión potencial de los suelos expresada de la siguiente manera: baja o nula (2.610 ha), moderada (17.501 ha), severa (28.093 ha), muy severa (674 ha). A continuación, se muestra una imagen con la distribución espacial de los distintos niveles de riesgos de erosión potencial en la comuna de Santo Domingo.

La comuna de Santo Domingo se ubica en un área con moderado riesgo potencial en las planicies o pendientes suaves, mientras que según se acerca a pendientes más pronunciadas posee un severo riesgo potencial.

Imagen 23: Riesgo de erosión potencial de los suelos, comuna de Santo Domingo



Fuente: elaboración URBE. Fuente datos: CIREN

1.2.6.4 Capacidad de uso de suelo

Las Clases de Capacidad de Uso constituyen una ordenación de los suelos que señala su adaptabilidad relativa a los cultivos, además de las dificultades y riesgos que se puedan presentar al usarlos. Están basadas en la capacidad de la tierra para producir, haciendo hincapié en las limitaciones naturales de los suelos.

Son 8 Clases las que se designan con los respectivos números romanos, ordenadas de acuerdo a sus crecientes limitaciones y riesgos de uso. Se pueden agrupar en dos grandes categorías:

- Tierras adaptadas para cultivos (Clases I, II, III y IV)
- Tierras de uso limitado, generalmente no adaptadas para cultivos (Clases V, VI, VII y VIII)

La comuna cuenta con 29% suelos de clases II, III y IV, suelos aptos para cultivos. Los suelos restantes suman 71% son de clase VI, VII y VIII, las clases predominantes son VI y VII, los cuales no poseen valor agrícola, forestal ni ganadera, según la definición del CIREN, siendo suelos cuyo uso está limitado solamente a la vida silvestre, recreacional o para la protección de hoyas hidrográficas. Se incluyen dentro de estos suelos, pedregales, pantanos y suelos destruidos por la erosión. La capacidad de suelo de la localidad de Santo Domingo es la siguiente:

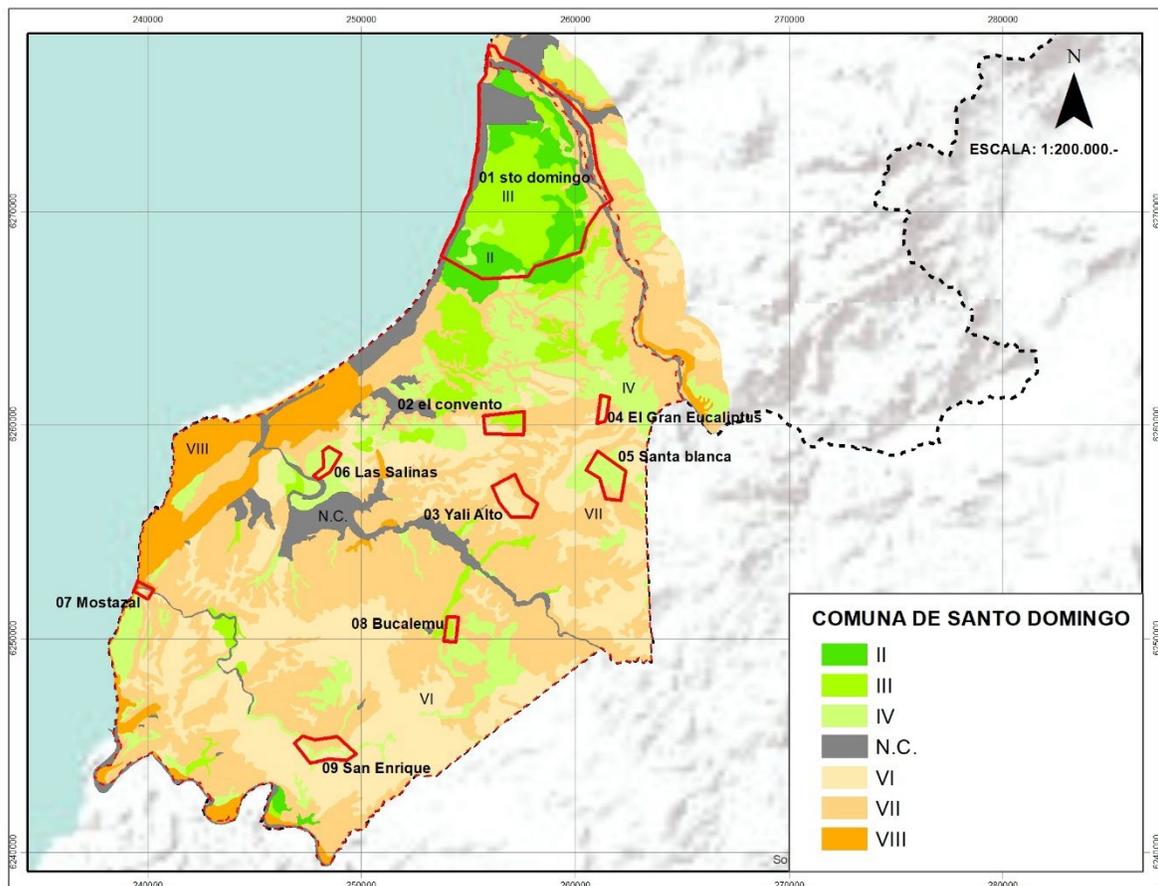
- Clase II: los terrenos de esta clase incluyen algunas limitaciones que reducen la elección de plantas y/o requieren moderadas prácticas de conservación y manejo para mejorar las relaciones suelo-agua-planta. Las limitaciones más usuales de ésta clase, incluyen, ya en forma aislada o combinada los siguientes factores: pendientes suaves; moderada susceptibilidad a la erosión, o efectos ligeramente adversos por erosión pasada; profundidad inferior a la ideal; estructura y laborabilidad desfavorable, contenido de sales o sodio que afecta ligeramente los cultivos comunes, fácil de corregir pero posible aparecer e nuevo; daños ocasionales por inundaciones y excesos de humedad corregibles por drenaje, aunque con moderadas limitaciones permanentes; ligeras limitaciones climáticas en el uso y manejo del suelo.
- Clase III: Incluye terrenos con severas limitaciones que reducen la elección de plantas y/o requieren prácticas especiales de manejo y conservación. Dichas limitaciones pueden incluir uno o más de los siguientes factores: pendientes moderadamente fuertes; alta susceptibilidad a la erosión; poca profundidad efectiva; muy baja fertilidad del subsuelo o fertilidad de difícil corrección; baja capacidad de retención de humedad; moderada cantidad de sales y/o sodio que afecta a los cultivos; frecuente inundación o sobresaturación que permanece aún luego del drenaje; condiciones climáticas moderadamente limitantes en la selección de cultivos, épocas de siembra y cosecha, etc.
- Clase IV: Terrenos con muy severas limitaciones que restringen la elección de cultivos, permitiendo solo dos o tres de los más comunes, y/o que requieren de un manejo tan cuidadoso como difícil de aplicar y mantener. Las limitaciones incluyen factores tales como: pendientes muy fuertes; severa susceptibilidad o graves daños ya causados por la erosión; suelos superficiales; baja capacidad de retención de humedad; frecuentes inundaciones y/o excesiva humedad; alto contenido de sales y/o sodio que afecta seriamente los cultivos y moderados afectos adversos del clima.
- Clase VI: Incluye terrenos con severas limitaciones para cultivos agronómicos, pero que son posibles de aprovechar en pastos, bosques y vida silvestre. En esta clase se incluyen algunos suelos que pueden ser usados para ciertos cultivos siempre y cuando se apliquen prácticas de manejo poco comunes, o para cultivos que se adaptan o demandan condiciones diferentes a los cultivos más comunes.
- Clase VII: Sus terrenos poseen limitaciones similares a los de la Clase VI, pero más severas. Su uso está restringido a pastos y bosques, aun cuando con cierta libertad restringida principalmente por el manejo requerido, y a vida silvestre. Ninguno de los cultivos agronómicos comunes es posible de ser utilizado, salvo cultivos muy especiales y prácticas nada comunes.
- Clase VIII: Los terrenos de esta clase poseen tantas y tan graves limitaciones, que sólo se recomienda su uso para vida silvestre, recreación y preservación de cuencas. Se considera que en general, estos terrenos no producirán retornos económicos a lo invertido, aunque puedan justificarse ciertas prácticas de manejo con el fin de conservación de cuencas y así proteger terrenos más valiosos.

Tabla 7 Clases de capacidad de suelos, comuna de Santo Domingo

| Clase | Superficie (ha) | % |
|-------|-----------------|------|
| II | 2068,1 | 4% |
| III | 4485,2 | 8% |
| IV | 6969,7 | 13% |
| N.C. | 3165,6 | 6% |
| VI | 12716,2 | 24% |
| VII | 20428,8 | 39% |
| VIII | 3222,6 | 6% |
| Total | 53056,2 | 100% |

Fuente: elaboración URBE. Fuente datos: CIREN

Imagen 24: Clases de capacidad de suelos, comuna de Santo Domingo



Fuente: elaboración URBE. Fuente datos: CIREN

I.2.6.5 Uso de suelos

El uso de suelo actual del territorio comunal se elaboró en base a Catastros de Uso de Suelo y Vegetación, Conaf 2013; Propiedades_R05_2014 Ciren; Catastro_Productores_Fructícolas_R05_2016 y fotointerpretación.

De los resultados obtenidos se obtiene que un 29% de la superficie comunal corresponde al uso de suelo de “Praderas y matorrales”, seguido del uso de suelo de “Bosques” (nativo mixto, nativo renoval y plantaciones) que en conjunto suman 36%, siendo los usos de suelo de mayor superficie en la comuna.

Los Terrenos agrícolas albergan un 17% y sumados los usos de plantaciones de Palto, Nogal y Limonero, llegan al 22,8%. De acuerdo a la fotointerpretación de imágenes 2019, la superficie de paltos aumenta considerablemente respecto de la información del año 2016.

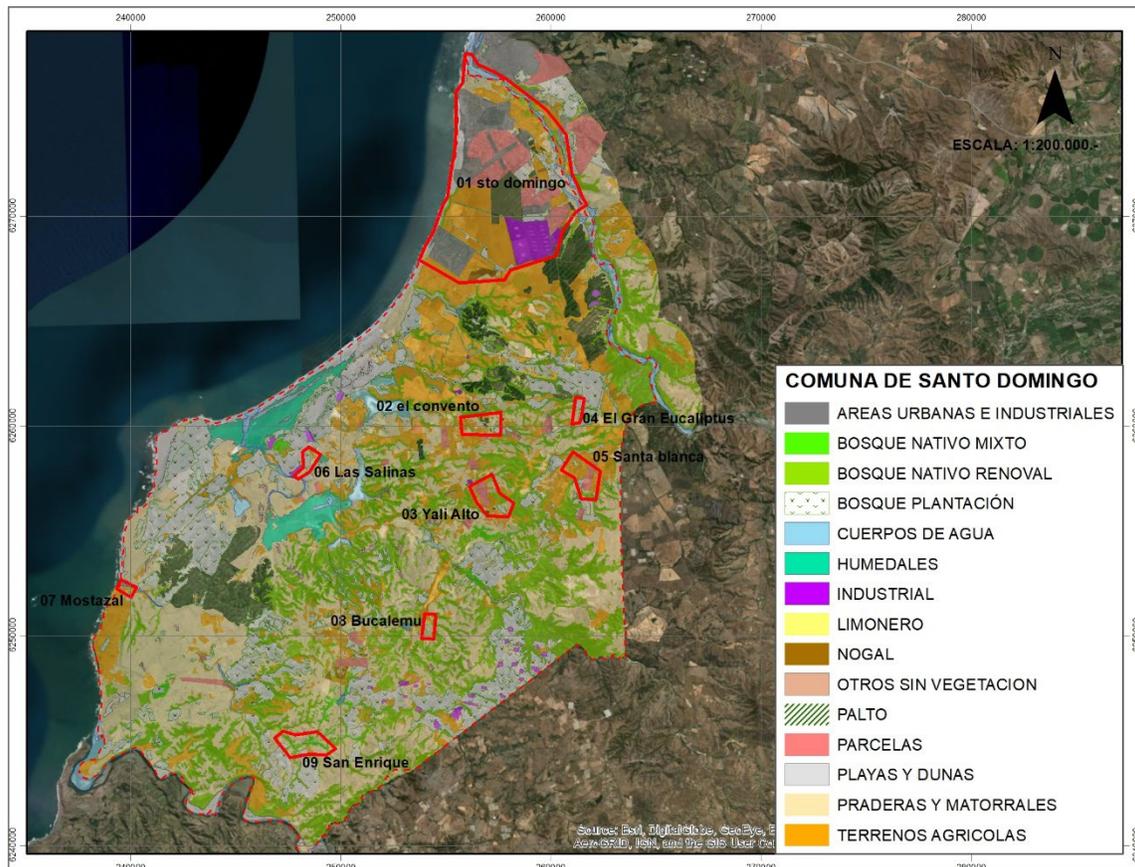
La superficie urbana de la comuna y la superficie de parcelas de agrado (superficie menor a 1 hectárea) es similar (considerando la información predial del año 2014), como se puede apreciar en el siguiente cuadro.

Tabla 8 Uso de suelo actual, comuna de Santo Domingo

| USO ACTUAL | SUPERFICIE HA | % |
|-----------------------|----------------------|----------|
| Áreas urbanas | 1052,1 | 2,0% |
| Bosque nativo mixto | 287,7 | 0,5% |
| Bosque nativo renoval | 10395,7 | 19,6% |
| Bosque plantación | 8593,7 | 16,2% |
| Cuerpos de agua | 849,9 | 1,6% |
| Humedales | 1183,1 | 2,2% |
| Industrial | 605,4 | 1,1% |
| Limonero | 3,5 | 0,0% |
| Nogal | 81,9 | 0,2% |
| Otros sin vegetación | 210,3 | 0,4% |
| Palto | 3015,1 | 5,7% |
| Parcelas | 1136,0 | 2,1% |
| Playas y dunas | 1259,4 | 2,4% |
| Praderas y matorrales | 15393,5 | 29,0% |
| Terrenos agrícolas | 9018,6 | 17,0% |

Fuente: elaboración URBE. Fuente datos: CIREN

Imagen 25: Uso de suelo actual, comuna de Santo Domingo



Fuente: elaboración URBE. Fuente datos: CIREN

I.2.6.6 Conclusiones

Los suelos con capacidades agrícolas II, III y IV, corresponden al 29% de la superficie comunal, estos se localizan mayoritariamente en el sector norte de la comuna, en riberas del río Maipo y al sur de la ciudad del área urbana de Santo Domingo.

En los suelos clase VI, VII se observó que existe una renovación de cultivos, de plantaciones forestales y praderas a plantaciones de paltos, nogales y limoneros, esto se debe a implementación de técnicas de riego tecnificado que permite aprovechar las ventajas climáticas sectores libres de heladas.

En los suelos clase VIII, se mantienen principalmente con plantaciones forestales, dado que estos suelos corresponden a paleodunas y la labranza de estos se hace más compleja.

I.2.1 INCENDIOS FORESTALES

Los antecedentes recopilados de incendios forestales en la comuna de Santo Domingo, respecto de los registros de incendios de los años 2015, 2016 y 2017, tiene como principal causa generadora el “Tránsito de personas vehículos o aeronaves”, tanto en número de casos, como en superficie quemada, seguido de Faenas forestales, Quemados de desechos y accidentes eléctricos.

De acuerdo al portal de ONEMI, respecto de la amenaza por incendio forestal, que considera la estadística georreferenciada desde 2015 al 2019, la comuna, presenta en gran parte del territorio son amenaza. Respecto del grado de las amenazas estas son principalmente amenaza baja (sectores con ocurrencia de 1 a 3 por kilómetro cuadrado en los últimos 5 años)

Imagen 26: Amenaza de incendio forestal, ONEMI, comuna de Santo Domingo



3/4/2020 18:57:58

Amenaza_por_Incendio_Forestal
Bajo: 1 a 3 Incendios
Medio: 4 a 10 Incendios
Alto: Más de 10 Incendios

Atributos - Amenazas

Atributos - Libre de Amenazas

1:577,791
0 4 8 16 mi
0 5 10 20 km

Esri, HERE, Garmin, (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS user

Web AppBuilder for ArcGIS
Onemi

Fuente:

<http://geoportalonemi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5062b40cc3e347c8b11fd8b20a639a88>

Imagen 27: Amenaza de incendio forestal, ONEMI, Ciudad de Santo Domingo



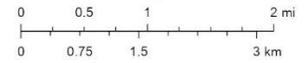
3/4/2020 19:11:30

Amenaza_por_Incendio_Forestal
Medio: 4 a 10 Incendios
Bajo: 1 a 3 Incendios
Alto: Más de 10 Incendios

Atributos - Amenazas

Atributos - Libre de Amenazas

1:72,224



Esri, HERE, Garmin, (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS user

Fuente:

<http://geoportalonemi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5062b40cc3e347c8b11fd8b20a639a88>

I.2.2 VOLCANISMO

El territorio continental de Chile posee 95 volcanes geológicamente activos (Lara et al, 2011). Esto quiere decir que presentan evidencias geológicas de actividad eruptiva en los últimos 10.000 años o que, sin certeza de lo anterior, presenta signos medibles de actividad (como desgasificación pasiva, microsismicidad o deformación en superficie).

Los peligros asociados a la actividad volcánica abarcan una serie de eventos y procesos que son fuente de amenaza para la población. Por un lado, durante el proceso eruptivo es frecuente la emisión de cenizas volcánicas, flujos de lava, y en ocasiones eventos más devastadores, como flujos piroclásticos o colapso de domos. Por otro lado, un proceso eruptivo suele ir acompañado de eventos secundarios y efectos colaterales que también afectan a la población, como contaminación del agua y el medio ambiente, lahares, incendios, inundaciones, entre otros.

En el caso de la comuna de Santo Domingo, no se registraron efectos significativos productos de la posibilidad de erupciones volcánicas, de los complejos volcánicos más cercanos Tupungatito, Marmolejo, San José y Maipo

I.2.3 SISMICIDAD

Si bien la OGUC (en su apartado 2.1.17) no menciona los sismos dentro de las amenazas que generen zonas de construcción condicionada, es sabido que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, y que estos fenómenos son considerados dentro de la planificación territorial a través de estudios específicos de Microzonificación Sísmica y en las Normas Chilenas de Construcción.

I.2.3.1 Fuentes sismogénicas

El movimiento de placas tectónicas es la responsable de la gran mayoría de sismos en el planeta (Leyton et al., 2010). Estos corresponden a una ruptura violenta generada por la acumulación y posterior liberación de energía acumulada por el movimiento de placas tectónicas, superando la resistencia de las rocas. Existe una relación directa entre algunos límites de placas tectónicas y la sismicidad histórica en el planeta, como es el caso de Chile, donde la subducción de la Placa de Nazca bajo la placa Sudamericana ocurre según un plano inclinado hacia el este con inclinación que varía entre los 15° y 30° respecto a la horizontal con un fuerte grado de acoplamiento (Madariaga, 1998) denominado zona o plano de Wadati – Benioff. La velocidad relativa de subducción entre ambas placas es del orden de 6 a 7 cm/año² (según Khazaradze y Klotz, 2003), lo que es considerado una alta velocidad de convergencia. Además, la placa de Nazca es una placa oceánica “joven”. Estas dos características permiten una rápida acumulación de esfuerzos consecuencia del contacto entre ambas placas dando lugar a la alta sismicidad que caracteriza a Chile y Perú (Ruiz y Saragoni, 2005). El empuje de la placa de Nazca en dirección al este se vería

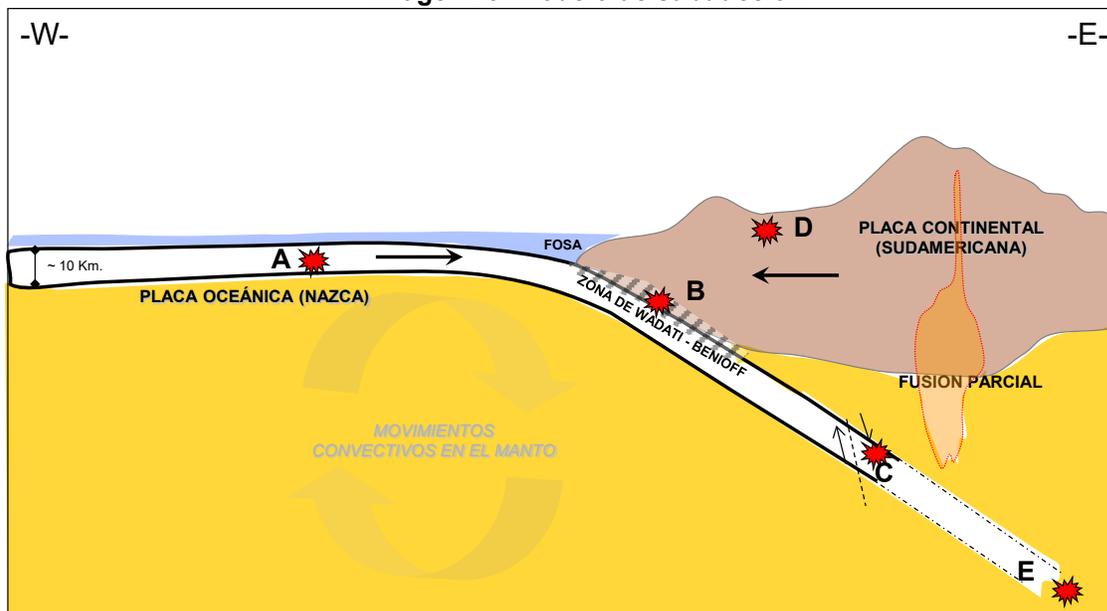
² Velocidad variable según distintos autores. 6.6 cm/año (Kendrick et al., 2003); 8.4 cm/año (DeMets et al., 1990); 8 cm/año (DeMets et al., 1994).

favorecida por su composición y su edad. Una placa oceánica, de 35 millones de años en la zona central, es comparativamente más densa que la placa continental, por lo que tendería a introducirse por debajo la corteza continental menos densa de la placa Sudamericana.

Perfiles transversales al margen de Chile (disponibles en el Centro Sismológico Nacional, www.sismologia.cl), permiten observar que la sismicidad se concentra principalmente entre los 5 y 200 kilómetros de profundidad (en la zona de Wadati - Benioff), lo que además permite deducir el ángulo de subducción en las distintas zonas.

La liberación de tensiones y deformaciones a lo largo del plano de Benioff, generan lo que se conoce como *sismos interplaca* (Madariaga, 1998) o sismos en la zona de Wadati - Benioff (tipo B de Figura), y serían los más comunes en Chile. Como se aprecia en la Figura (que destaca con rojo las fuentes sismogénicas), la sismicidad en el margen de Chile no sólo existe en el contacto entre ambas placas tectónicas. Debido a los esfuerzos a que están sometidas las placas de Nazca y Sudamericana producto del movimiento convergente, también existen sismos en el interior mismo de las placas conocidos como *sismos intraplaca* (tipo A, C, D y E de Imagen 28).

Imagen 28: Modelo de subducción



Fuentes sismogénicas en un modelo de subducción corteza oceánica (Placa de Nazca) – corteza continental (Placa Sudamericana).

Los mecanismos de liberación de energía en los distintos tipos de sismos son complejos. En el caso de los sismos tipo A (sismos intraplaca oceánica), los materiales de la placa de Nazca (más jóvenes) se flexionan y doblan previamente al proceso de subducción, lo que genera campos extensionales (de estiramiento) los cuales reaccionan producto del choque de las placas, generando reacciones de liberación de energía de tipo “carga – descarga”. Los tipos B (Interplaca) obedecen a asperezas y roce que se generaría entre ambas placas, viéndose impedido el movimiento hasta que los materiales se ven superados en resistencia y se rompen.

En el caso de los *sismos intraplaca* tipo C (también denominados sismos de profundidades intermedias) el mecanismo tiende a ser de tipo fracturamiento debido a la flexión de la placa subductante. En otras palabras, se dobla y quiebra por su propio peso (ver Figura). Esta actividad sísmica se ha observado desde los 50 kilómetros hasta los 200 kilómetros de profundidad (Leyton et al., 2010), existiendo también registros de sismos intraplaca profundos (tipo E) en la zona norte del Chile (alrededor de los 22° latitud sur), entre 500 y 600 km de profundidad bajo la Argentina (Madariaga, 1998).

La sismicidad en la parte superior de la placa Sudamericana a baja profundidad (menos de 30 kilómetros) se conoce como *sismos corticales* (tipo D de Figura). Estos sismos serían producto del esfuerzo inducido por la subducción, que a la vez contribuye a la generación de relieve (es decir, la placa continental más antigua se deforma producto de las presiones que ejerce la placa oceánica). Esta acumulación de energía se libera en general asociada a fallas superficiales que pueden tener movimientos normales, inversos y de rumbo, que responden a campos de esfuerzos compresivos o extensivos.

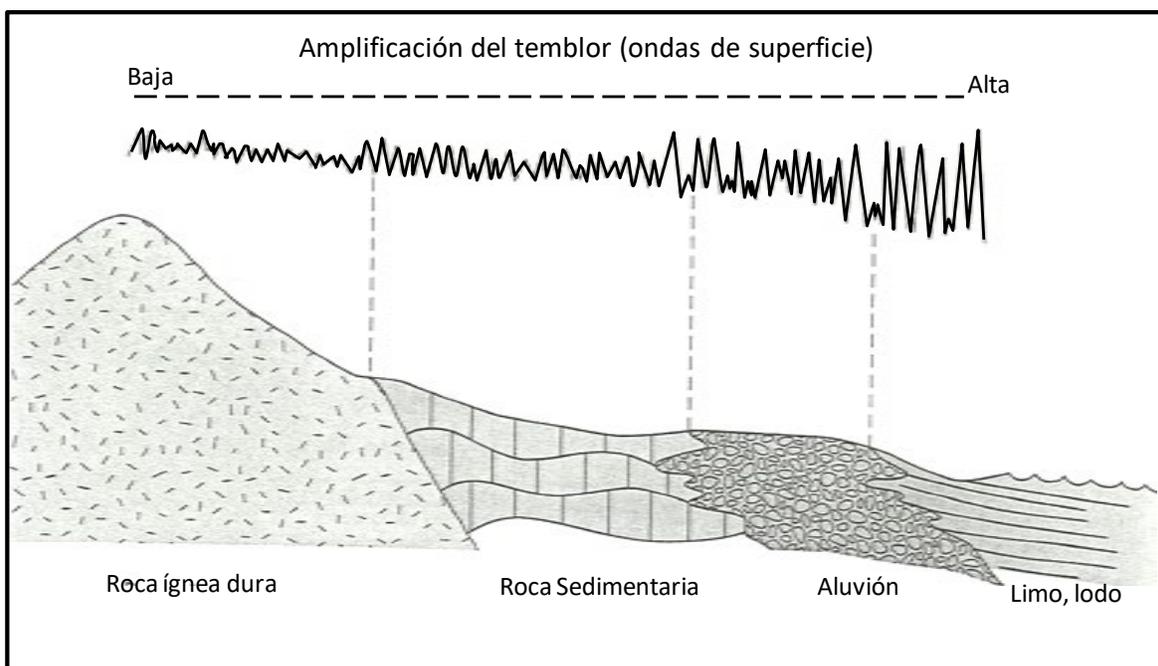
I.2.3.2 Sismicidad como peligro

Para el estudio de los sismos como un tipo de peligro de origen geológico, es necesario considerar, por un lado, aspectos relacionados con el fenómeno propiamente tal así como sus efectos secundarios. Dentro de los parámetros propios del sismo, se considera su *magnitud* (relacionada con el tamaño del sismo), el *largo de la zona de ruptura* (entendida como el área que abarca la zona en que la placa se rompe), el *período de retorno* (años que transcurren entre dos eventos de similares características en un área determinada), *aceleraciones máximas* alcanzadas, y la *intensidad* de un sismo, que corresponde a una escala cualitativa que describe la percepción subjetiva de las personas ante un sismo en un lugar específico y dependerá de los tipos de suelos y daños registrados.

Se sabe que la naturaleza de los materiales locales y la estructura geológica influyen en gran medida en el movimiento del suelo durante un sismo (Keller et al., 2004). Se ha observado que las condiciones locales, como tipo de suelos, topografía, profundidad del nivel freático, entre otras, pueden suponer respuestas sísmicas diferentes dentro de un entorno geográfico considerado (González de Vallejo et al., 2002) y se denomina “efecto de sitio” o “efectos locales”. De esta forma, para un mismo terremoto y dependiendo del tipo de terreno donde se encuentra ubicado el observador, las ondas sísmicas pueden amplificarse durante el desarrollo del terremoto generándose más daño en algunos sectores que en otros (cuyo parámetro y variable de medición y ajuste es la aceleración del suelo y la Intensidad (Escala Mercalli). Esta variable depende fuertemente del sitio y/o estructura, por tanto, constituye una variable cuantificable de la “vulnerabilidad” del entorno. Una asociación del tipo de suelo respecto de la información que emerja la geología y geografía, se realizará a través de la descripción del tipo de suelo que entrega la NCh 433 of.96.

En términos geológicos es posible hacer una diferenciación general de los suelos de fundación basada en su nivel de compactación y nivel de consolidación (Keller et al., 2004), pudiendo hacerse una relación general con algunos materiales geológicos (Figura a continuación). Hay que destacar que un estudio de peligro sísmico incluye muchas aristas que no están dentro del alcance del presente estudio, sin embargo, se presentan los antecedentes recopilados a partir de estudios anteriores.

Imagen 29: Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto



Fuente: Keller and Blodgett, 2004

I.2.3.3 Antecedentes sísmicos en Santo Domingo³

Las localidades de Santo Domingo y Mostazal se emplazan en uno de los lugares con mayores antecedentes sísmicos del país desde el año 1575 y con magnitudes máximas de hasta un orden de 8.5 a 8.7. El contacto interplaca es el sitio fuente de los mayores eventos ocurridos en la región. El mayor terremoto del que se tengan antecedentes ocurrió el año 1730 alcanzando una longitud de ruptura del orden de 450-500 km (30.5°S-35.5°S) y una magnitud del orden de 8.7 a 9.0 (Lomnitz 1971; Comte et al., 1986). Ningún terremoto posterior ha logrado equiparar tales dimensiones. El más cercano y último gran sismo en la zona central data del 16 de agosto de 1906, alcanzando una magnitud de $M_s=8.3$ y un área de ruptura de 365 km de largo por 150 km de ancho. Sin embargo, desde el año 1730 se observa que esta región se ha caracterizado por ser fuente de terremotos de variable tamaño. A este orden se ajustan los terremotos de La Ligua de 1971 ($M_s=7.5$) y de Algarrobo-Valparaíso de 1985 ($M_s=7.8$).

El terremoto de 1906 se enmarca dentro de la secuencia de grandes sismos históricos para Chile Central y es el que dejó mayores evidencias históricas. El evento del año 1906 se habría extendido entre Los Vilos y la localidad de Llico-Vichuquén (a la altura de Curicó).

Los antecedentes históricos indican que esta secuencia de terremotos corresponde a los años 1575 ($M_s=7.0-7.5$), 1647 ($M_s=8.5$), 1730 ($M_s=8.7$), 1822 ($M_s=8.5$), 1906 ($M_s=8.3$) y

³ Belmonte-Pool J, 2011 "Estudio fundado de riesgos por tsunami área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal comuna de Santo Domingo. MINVU

1985 ($M_s=7.8$). Esta secuencia sugiere un tiempo de recurrencia del orden de 82 ± 10 años. Según Barrientos (1988), este período de retorno se habría, al menos temporalmente, cumplido con el terremoto de 1985. Las áreas de réplicas de los terremotos de 1971 y 1985 sugieren que diferentes segmentos de la interfaz interplaca estuvieron involucradas en cada evento (Figura 16). Debido a que el momento sísmico liberado por estos dos eventos es una fracción del liberado por el terremoto de 1906, hasta varios años antes del terremoto del Maule del 2010 ($M_w=8.8$), se postulaba que la región comprendida al sur de la zona de ruptura del terremoto de 1985 (Pichilemu-Constitución) constituía una brecha sísmica con un alto potencial de ocurrencia de un terremoto (Comte et al., 1986; Madariaga, 1998). Esta zona se habría efectivamente “liberado” durante la ocurrencia del terremoto del Maule.

El terremoto del Maule 2010 dejó en evidencia que tsunamis provocados por terremotos gatillados en la zona centro-sur de Chile afectan también la zona de estudio. Este evento, sin embargo, es considerado un evento que pertenece a la zona de ruptura centro-sur, caracterizada por otra secuencia de terremotos históricos vinculados al segmento Constitución-Concepción (1570, 1657, 1751, 1835, 1928, 2010). Por razones que son materia de análisis, el terremoto del Maule alcanzó a romper por el norte, según el área cubierta por las réplicas durante los primeros 3 días post-terremoto, hasta los 33°S - 33.5°S , zona asociada la parte sur de la ruptura de 1985.

Desde el punto de vista sismo-tectónico, los terremotos de la zona central y centro-sur se ubican temporal y espacialmente acoplados de Norte a Sur, según Barrientos (1994). Geográficamente hablando, este acoplamiento relaciona a eventos con epicentros frente a la V Región y epicentros ubicados frente a las VII y VIII Regiones. Esto se observa en las secuencias de los siguientes terremotos que han golpeado a la zona Centro y Centro-Sur, respectivamente: 1570-1575, 1647-1657, 1730-1751, 1822-1835, 1906-1928 y 1985-2010, presentando un tiempo medio de inter-recurrencia de 16 ± 9 años. Desde el punto de vista de la generación de maremotos, en los casos de los terremotos de 1822 y 1906 existen antecedentes de retiradas de mar así como de tsunamis con olas de hasta “12 pies de altura” (Historia General de Chile, F. Encina).

1.2.4 ÁREAS PROTEGIDAS

En la comuna de Santo Domingo se sobreponen parcialmente dos áreas protegidas que corresponden a: Reserva Nacional El Yali y Humedal El Yali Sitio RAMSAR.

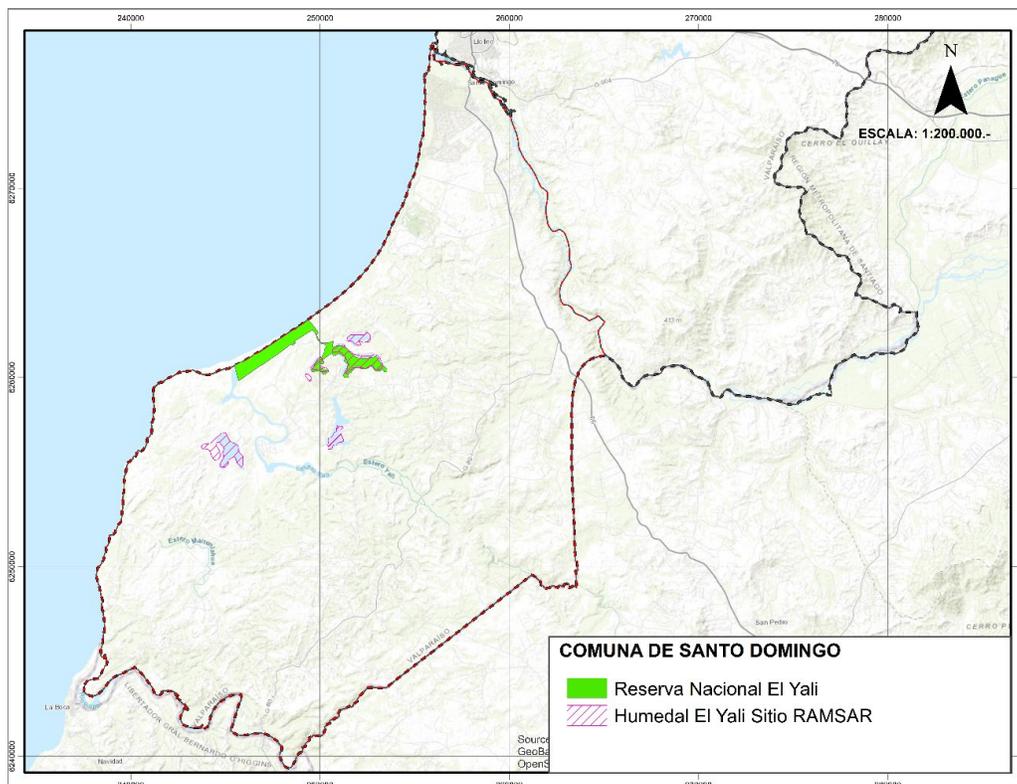
Reserva Nacional El Yali

La unidad El Yali está ubicada en la comuna de Santo Domingo, provincia de San Antonio, Región de Valparaíso. La unidad destaca por la protección de 176 especies de vertebrados, siendo las aves el grupo más numeroso y representativo de la Reserva. Un 26% presenta algún problema de conservación, 9% son endémicas y el 5% corresponden a especies introducidas. En lo que a flora se refiere, se encuentra ubicada vegetacionalmente en la subregión del Matorral y del Bosque Espinoso. Fecha de creación 23/05/1996 decreto 41 Ministerio de Agricultura y modificado el 11/08/1998 decreto 143 Ministerio de Agricultura

Humedal El Yali Sitio RAMSAR

Corresponde a un humedal costero de tipo albuférico, uno de los más importantes de la zona central del país, lugar de alimentación de aves migratorias de variadas especies como chorlo chileno (*Charadrius modestus*), la huala (*Podiceps mayor*), la garza grande (*Casmerodius albus*), entre otras.

Imagen 30: Áreas Protegidas Comuna de Santo Domingo



Fuente: Elaboración propia URBE, Fuente MMA

Humedal del Río Maipo

Este Santuario de la Naturaleza posee un hábitat singular y de importancia en la región al ser sitio de nidificación, alimentación, refugio y descanso de especies de aves limnícolas, acuáticas, terrestres y marinas. Entre las especies presentes en el área, destacan los reptiles y anfibios, ya que algunas de ellas son especies endémicas y/o se encuentran en alguna categoría de amenaza, como *Rhinella arunco* y *Calyptocephalella gayi* que se encuentran vulnerables según el Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres según estado de conservación.

Imagen 31: Santuario de la Naturaleza Humedal Río Maipo Comuna de Santo Domingo



Fuente: http://bdnrap.mma.gob.cl/recursos/SINIA/Mapas/Mapa_SN_Rio_Maipo.jpg

1.2.4.1 Conclusión

El territorio comunal de Santo Domingo, posee una gran cantidad de superficie ocupada por bosques, praderas y matorrales. Las zonas rurales predominan en el territorio, las zonas urbanas se encuentran al norte de la comuna, con una superficie pequeña. Destacan ciertas áreas con formaciones dunales cerca de la costa.

En cuanto a la biota, la comuna posee una importante riqueza natural y biodiversidad. La presencia de humedales, de cuerpos de agua y de la Reserva El Yali son puntos importantes para la conservación de los ecosistemas que lo habitan. Por lo que su explotación o intervención, podrían generar un desbalance o alterar la calidad y/o cantidad de agua presente en el territorio.

Es importante que el Plan reconozca las singularidades físicas y la diversidad presente en la localidad, y genere criterios de intervención que permitan hacer un uso sustentable del entorno.

I.2.5 CATASTRO HISTÓRICO DE RIESGOS NATURALES Y ANTRÓPICOS

El catastro tiene como objetivo reconocer los riesgos naturales y antrópicos existentes en el área de estudios, determinar sus causas, localización y analizar posteriormente las posibilidades de zonificar como áreas de riesgos.

Tabla 9 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones

| Fecha | Peligro | Fuente | Comentario |
|------------|-------------------|--|---|
| 1989-01-21 | Incendio forestal | El mercurio | Sector de Bucalemu |
| 1993-12-09 | Incendio forestal | El mercurio | cruce La Manzana |
| 1993-12-10 | Incendio forestal | El mercurio | cruce La Manzana |
| 1996-01-02 | Incendio forestal | El mercurio | Santo Domingo |
| 1998-01-17 | Incendio forestal | El mercurio | Sector de Mantenlahue, bosque y matorrales |
| 1998-02-14 | Incendio forestal | El mercurio | matorrales y pastizales |
| 1999-12-26 | Incendio forestal | El mercurio | Reserva nacional El Yali, plantaciones de pino eucaliptus matorrales y pastizales |
| 2012-01-29 | Incendio forestal | Diario El Mercurio, 31 de Enero de 2012, página C6 | Hacienda de Bucalemu, Incendio destruye 20 ha de arbolado, vegetación nativa y pastizales, amenazando con expandirse a sectores habitados de Bucalemu. Adicionalmente daña el 90% del patrimonio natural e histórico del parque Bucalemu. |
| 1982-06-27 | Inundación | El mercurio | 6 familias. evacuadas. Mueren 5% de aves de corral |
| 2010-07-07 | Inundación | Diario La Tercera, página 8 | |
| 1973-04-05 | Marejada | El Mercurio | Costas frentes a Rocas de Santo Domingo, La lancha zozobro por la marejada lo que provocó el volcamiento los 6 tripulantes tuvieron que lanzarse al mar |
| 1971-07-08 | Sismo | El Mercurio | Corte de Puente Las Rocas. |
| 1975-01-02 | Sismo | El Mercurio | Epicentro 120 km noroeste de Santiago. |
| 1985-03-03 | Sismo | El Mercurio | La comuna se encuentra aislado. Hundimiento del Puente Lo Gallardo. |

| Fecha | Peligro | Fuente | Comentario |
|------------|------------|--|--|
| 1982-06-27 | Inundación | El Mercurio | desembocadura de río Maipo comuna, desborde de río Maipo; 100 familias evacuadas; inundaciones en Sectores Lo Gallardo y San Juan. |
| 2010-02-27 | Tsunami | Diario La Tercera, 28 de Febrero de 2010 | |
| | | | |

Fuente: https://online.desinventar.org/desinventar/#CHL-1257983285-chile_inventario_historico_de_desastres

Tabla 10 Registro de alerta roja ONEMI

| Fecha | Fuente | Observación |
|------------|--------|---|
| 10/01/2019 | ONEMI | se mantiene el incendio forestal denominado "San Guillermo", el que consume una superficie aproximada de 1.840 hectáreas de pastizal, matorral, arbolado nativo y eucalipto en la comuna de Santo Domingo. |
| 14/02/2018 | ONEMI | incendio forestal denominado "El Convento", el cual afectó una superficie de 117,3 hectáreas de pastizal, matorral y eucalipto en la comuna de Santo Domingo, según lo reportado en la plataforma SIDCO. |
| 25/03/2018 | ONEMI | De acuerdo con la información proporcionada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), se reporta lo siguiente: Controlado se encuentra el incendio forestal "El Convento 4", que afecta una superficie aproximada de 1,8 hectárea de vegetación. Controlado se encuentra el incendio forestal "Santa Blanca, El Convento", que afecta una superficie aproximada de 67 hectárea de vegetación. Controlado se encuentra el incendio forestal "Acceso Atalaya", que afecta una superficie aproximada de 0,3 hectáreas de pastizal y matorral. Extinguido se encuentra el incendio forestal "Los Lilenes", que afectó una superficie de 16,1 hectáreas de pastizal y matorral. Considerando estos antecedentes, la Intendencia de la Región de Valparaíso, en base a la información técnica proporcionada por CONAF y en coordinación con la Dirección Regional de ONEMI, mantiene la Alerta Roja para la comuna de Santo Domingo por incendio forestal, que se mantiene vigente desde el 25 de marzo de 2018. |
| 29/01/2012 | ONEMI | incendio forestal activo "Los Boldos", en el sector de Bucalemu, comuna de Santo Domingo, el que hasta el momento afecta 20 |

| Fecha | Fuente | Observación |
|------------|--------|--|
| | | hectáreas de vegetación, presentando peligro de propagación a sectores habitados e instalaciones agropecuarias. |
| 20/06/2015 | ONEMI | Activo se encuentra el incendio forestal "Cruce La Manga", en la comuna de Santo Domingo, que consume una superficie aproximada de 15,0 hectáreas de arbolado, pastizal y matorral. Cabe señalar que a pesar de los trabajos en el lugar, aún el siniestro se desarrolla cercano a sectores habitados. Además, las condiciones topográficas y el fuerte viento generan complicaciones para el control del frente de avance |
| 20/06/2015 | ONEMI | Activo se mantiene el incendio forestal "Punta de Culebra" en la comuna de Santo Domingo, que consume una superficie por confirmar de 40 hectáreas de pastizal, matorral y eucalipto. De acuerdo con información proporcionada por CONAF, el incendio presenta rápido avance y se encuentra cercano a sectores habitados. |
| 01/02/2012 | ONEMI | En atención a incendio forestal activo denominado "Santa Julia" en la comuna de Santo Domingo, con una afectación aproximada al momento de 15 a 20 hectáreas de pastizal y matorral, de rápido avance y con amenaza de propagación a 50 hectáreas de bosque de eucaliptus, la Dirección Regional de ONEMI Valparaíso declara Alerta Roja comunal. |

Fuente: <http://m.onemi.cl/wp-content/themes/onemi-bootstrap-master/busqueda.html?search=santo+domingo>

I.3 ANTECEDENTES TEÓRICOS

I.3.1 Riesgo y susceptibilidad

Los procesos geodinámicos producen modificaciones de diversas magnitudes en la superficie terrestre que constituyen peligros geológicos que afectan de forma directa o indirecta las actividades humanas. Se entiende como **Peligro Natural** a cualquier fenómeno de origen natural que puede tener efectos negativos en el territorio (personas, infraestructura, medio ambiente, etc.). Los peligros naturales pueden subdividirse en distintas categorías: geológicos, hidrológicos, climáticos, incendios, etc.

Asociados a los peligros naturales se reconocen cuatro conceptos principales: **susceptibilidad**, **vulnerabilidad**, **amenaza** o peligrosidad (hazard) y **riesgo** (risk).

La **susceptibilidad** corresponde a una estimación cualitativa o cuantitativa de la distribución espacial de un fenómeno dado que existe o que potencialmente podría ocurrir en un área. Aunque se espera que un cierto fenómeno peligroso ocurra con mayor frecuencia en las áreas de mayor susceptibilidad, debe tenerse en cuenta que el análisis de susceptibilidad no considera el período de retorno de los eventos, es decir, el factor tiempo (JTC-1, 2008). La susceptibilidad depende directamente de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, como la geomorfología o factores intrínsecos de los materiales geológicos, y de factores externos que pueden actuar como desencadenantes (por ejemplo precipitaciones intensas, sismos, etc.). Para la construcción de mapas de susceptibilidad se utilizan los mapas de inventario, en los que se identifican las áreas que han sido afectadas por determinados procesos, y mapas de factores condicionantes que favorecen o entorpecen el desarrollo de estos procesos. Además, los mapas de susceptibilidad apuntan a cubrir el peor escenario posible en el área de estudio.

El concepto de **amenaza** o **peligrosidad** (hazard*) corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un proceso, con una magnitud determinada dentro de cierto período de tiempo y en un área específica (Varnes, 1984). La estimación de la amenaza o peligrosidad implica necesariamente una consideración de la variable temporal, es decir, el período de recurrencia de un evento (período de retorno). Por otro lado, la amenaza para períodos de retorno infinitos tiende a ser similar que la susceptibilidad. Por lo anterior, cuando no se cuenta con datos suficientes para estimar períodos de retorno, resultan útiles los mapas de susceptibilidad, que consideran solo las variables intrínsecas del material para la zonificación de peligros geológicos.

Los **elementos expuestos** pueden ser personas, bienes, propiedades, infraestructuras, servicios, actividades económicas, etc., que pueden sufrir las consecuencias directas o indirectas de un proceso geológico en una determinada zona (Gonzalez de Vallejo, et al., 2002).

La **vulnerabilidad** corresponde al grado de pérdidas o daños potenciales de un elemento o conjunto de elementos dados, como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de magnitud determinada. Se expresa en una escala de 0 (sin daños) a 1 (pérdida o

* La traducción literal corresponde a peligro, pero de acuerdo a la ONEMI y al proyecto Multinacional de Geociencias Andino (MAP-GAC) para evitar confusiones se utiliza Amenaza o Peligrosidad

destrucción total del elemento) o entre 0% y 100% de daños (Varnes, (1984); González de Vallejo *et al.*, (2002); JTC1, (2008)).

1.3.2 Remociones en masa

Los procesos que involucran la movilización de materiales (suelo, rocas o ambos) en laderas por efectos de la gravedad se denominan genéricamente *remociones en masa* (Cruden, 1991). Constituyen un conjunto de amenazas que resultan ser frecuentes en la naturaleza y que en algunas ocasiones generan gran daño a la población.

Para incorporar las remociones en masa en la planificación del territorio, es fundamental diferenciarlas y caracterizarlas según su tipo, velocidad del movimiento y material afectado. Esto permitiría orientar medidas correctivas adecuadas, o dimensionar su real impacto en la población.

La clasificación de los distintos fenómenos de remoción en masa se basa por un lado en el *tipo de movimiento* que presentan, y por otro lado, en la *naturaleza de los materiales* involucrados. Los movimientos más frecuentes son de tipo deslizamientos (superficiales y profundos), desprendimientos, volcamientos, mecanismos tipo flujo y extensiones laterales. Mientras que la naturaleza de los materiales afectados puede ser muy variable entre rocas y suelo o combinación de ambos, incluyendo en ocasiones fragmentos material orgánico, troncos de árboles e incluso escombros y basura.

Las clasificaciones más recientes (Hungry, 2014) dan cuenta de una gran cantidad de materiales diferenciables entre sí por sus propiedades geológicas y comportamiento geotécnico (diferenciando entre rocas, detritos, suelos, regolito y otros). Dentro de la característica de cada tipo de remoción en masa, es importante considerar si presentan o no control de estructuras geológicas, el mecanismo de falla que predomina y las velocidades a las que ocurren. Existen remociones en masa extremadamente rápidas (5 m/s según la clasificación de Cruden y Varnes, 1996), como por ejemplo caídas de rocas y avalanchas, hasta movimientos extremadamente lentos (velocidad típica de 16 mm/año según la clasificación de Cruden y Varnes, 1996), como los fenómenos de reptación.

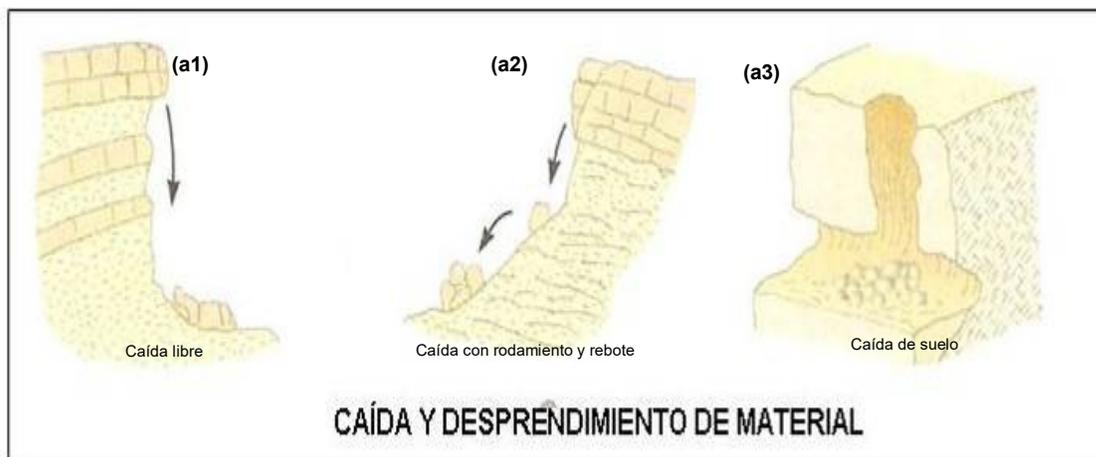
La velocidad de una remoción en masa junto al volumen del material movilizado, condicionan en gran medida la capacidad de control que existe sobre el proceso mediante obras de contención o medidas de mitigación.

Dentro de las remociones en masa más comunes en la zona central de Chile para sectores no montañosos, se reconocen desprendimientos de material (rocas, suelos o mezclas, incluyendo en algunos casos vegetación), deslizamientos (ya sea de roca o material disgregado) y los mecanismos de tipo flujo (barro y detritos). En los sectores montañosos y de la cordillera de Los Andes, se incluyen avalanchas de roca, lahares y flujos asociados a volcanismo.

Las caídas o desprendimientos de bloques de roca o masas de roca son eventos muy rápidos (González de Vallejo *et al.*, 2002) en los cuales el material movilizado se separa del macizo rocoso que lo contiene, viéndose favorecidos por la existencia de planos de debilidad y por laderas con geometrías irregulares. El material desprendido podrá alcanzar

el pie del talud mediante caída libre o una combinación de ellas. La trayectoria del material dependerá principalmente de la forma del bloque y del ángulo de pendiente del talud (Ver Figura a continuación) (Lara, 2007).

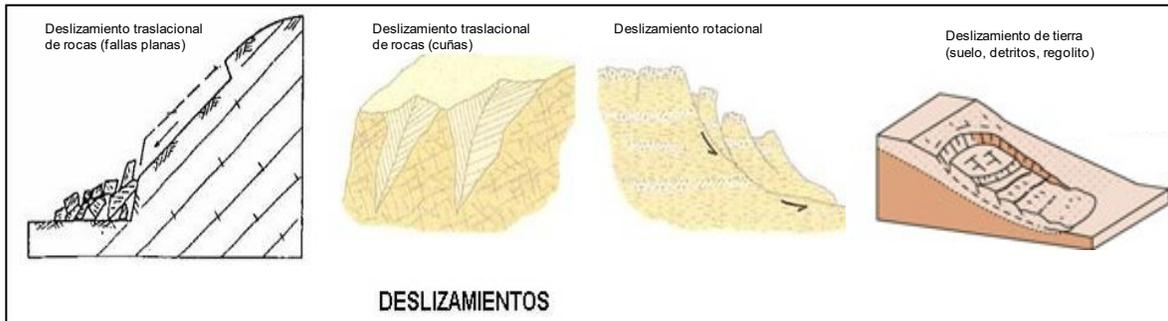
Imagen 32: Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Los deslizamientos corresponden a movimientos de masas ladera abajo que ocurren a través de una o más superficies de cizalla predefinidas, ya sean discontinuidades del macizo rocoso o a partir de las condiciones de resistencia de los suelos que definirán su fallamiento. Los movimientos más comunes que presentan los deslizamientos son de tipo traslacionales y rotacionales (Varnes, 1978). Los primeros, tienen lugar en superficies preexistentes más o menos planas (por ejemplo, diaclasas, fallas o planos de estratificación), siendo los más comunes tipo cuñas y fallas planas. En el caso de los deslizamientos de tipo rotacionales, la superficie de rotura puede ser superficial o profunda, definida por superficies curvas y cóncavas. Los materiales en que ocurren, van desde bloques de roca (tipo fallas planas o cuñas), o en materiales homogéneos de baja calidad geotécnica (como arenas, suelos, rocas muy meteorizadas, regolito, coluvios y rellenos artificiales, como botaderos de material estéril, lastre en minería, rípios de lixiviación y material de empréstito). En el caso de los deslizamientos en roca, suelen ser eventos rápidos y repentinos. Los deslizamientos (rotacionales o traslacionales) de materiales menos consolidados, suelen presentar grietas en la zona de escarpe o generación, previo a su movimiento, pero su velocidad es variable (lentos a muy rápidos) y dependiendo de las condiciones, pueden ser el inicio de otro tipo de remociones en masa más masivas (Hungr, 2014). Ver Figura a continuación.

Imagen 33: Remociones en Masa de tipo Deslizamientos

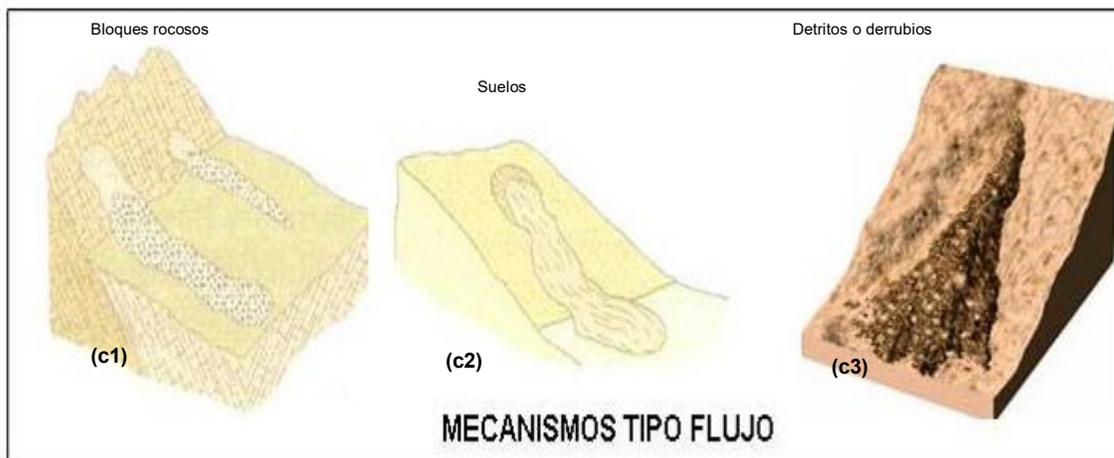


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Los flujos corresponden a movimientos continuos en que el material es arrastrado y se encuentra saturado en agua (Varnes, 1978). En Chile comúnmente se les llama aluviones. Existen distintas clasificaciones para los flujos, basadas en el tipo de material movilizado (barro, detritos o fragmentos rocosos) y en la proporción de líquido y sólido que presenten (Figura a continuación). Los eventos más comunes en Chile Central son los flujos de barro y detritos, y cuya ocurrencia dependerá por un lado de existencia de material disponible (generalmente disgregado) que pueda ser arrastrado ladera abajo, y la presencia de algún agente (comúnmente agua) que lo ponga en movimiento.

En general estos mecanismos son poco profundos en comparación con el área que pueden abarcar, y pueden tener lugar en laderas con pendientes incluso menores a 10° (González de Vallejo et al., 2002). Su transporte tiende en un principio a ser dominado por las altas pendientes y luego a canalizarse por cauces preexistentes, mediante el cual el fluido va perdiendo velocidad y energía a medida que avanza por sobre la topografía.

Imagen 34: Remociones en Masa de tipo Flujo



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Factores condicionantes y desencadenantes.

En el medio físico, existen algunos factores que favorecen la movilización de materiales. Estos se conocen como *Factores Condicionantes* y están relacionados con la naturaleza,

estructura y composición del terreno (González de Vallejo et al., 2002). Por ejemplo, pendientes y topografía abrupta de un terreno, tipo y calidad de los materiales, presencia o ausencia de vegetación, presencia de agua, existencia de intervención antrópica, entre otros.

De la misma forma, existen factores que modifican la estabilidad preexistente del terreno, como construcciones, caminos, cortes, sismos y lluvias intensas, que desencadenan o gatillan la ocurrencia de un evento (González de Vallejo et al., 2002) y son conocidos como *Factores Desencadenantes*.

A continuación, se describen los factores condicionantes más comunes para distintos tipos de remociones en masa, se consideran los siguientes (basados en trabajos de Hauser, 1993; González de Vallejo et al., 2002; Lara, 2007; Muñoz, 2013):

Geología y geotecnia: Las características geológicas de un sector son usualmente descritas a partir de los tipos de materiales presentes (distintas litologías, sedimentos y coberturas de suelo), por la disposición que presentan (estratificación, contactos, presencia de fallas y sistemas de diaclasas). Sin embargo, para estudiar las remociones en masa no sólo es importante conocer la composición y tipo de masa sensible a ser movilizada, sino que también cómo se espera que se comporte en términos mecánicos y resistentes. Es importante considerar el grado de alteración y meteorización de los macizos rocosos, así como caracterizar su fábrica estructural (tipo, disposición y condición de las discontinuidades), y estimar u obtener valores de la resistencia de la roca intacta, del macizo y de sus discontinuidades. También es importante describir el comportamiento de los materiales ante la presencia de agua (porosidad, permeabilidad, humedad, densidad de los materiales que lo componen).

Geomorfología: Las condiciones geomorfológicas de un área estarán gobernadas por los distintos procesos que modelan la superficie, y pueden ser descritas en términos de rangos de pendientes, topografía presente, a altura de las laderas y la forma que presentan (laderas regulares o irregulares, con pendiente positiva o negativa). De esta forma, topografías escarpadas, con altas pendientes, propiciarán la generación de varios tipos de remociones en masa (como flujos, deslizamientos y caídas), influidos por la acción gravitatoria. Los rangos críticos de pendientes para cada tipo de remoción en masa son variables.

Hauser (1993) señala que pendientes mayores a 25° en las cabeceras de las hoyas hidrográficas serían favorables para el desarrollo de flujos o aluviones, mientras que Sauret (1987) en Sepúlveda (1998) señala que aluviones podrían generarse en pendientes menores (que no sobrepasen los 15°). Laderas en roca con pendientes mayores a 35° serían susceptibles a que se generen deslizamientos, y en un caso sísmico, está pendiente podría ser sólo mayor que 15° (Keefer, 1984). En el caso de caídas de rocas, podrían generarse ante un sismo a partir de un macizo rocoso fracturado, meteorizado, y poco resistentes, en zonas donde los taludes son mayores o iguales a 40° (Keefer, 1984). En algunos tipos de remoción en masa, donde es relevante el espesor de suelo y cobertura vegetal, se consideran además aspectos geográficos del área, como por ejemplo orientación con respecto al norte lo que puede finalmente influir por ejemplo en el grado de humedad de la ladera y exposición al sol.

Clima y vegetación: Las condiciones climáticas influyen directamente en el grado de meteorización y erosión que tendrá un área, especialmente al verse expuesta a

precipitaciones, viento, cambios de temperatura y radiación solar. Por ejemplo, la meteorización física y química de los materiales (que es más intensa en climas húmedos), genera mayores espesores de suelo y horizontes orgánicos, y traerá como consecuencia la pérdida de resistencia de los materiales. No obstante, un clima húmedo propiciará la presencia de cobertura vegetal, que además de reducir la erosión, puede en algunos casos ser una barrera natural de contención de material movilizado por remociones en masa. Otro ejemplo es el caso de las precipitaciones, que pueden ser incluidas como condicionantes dentro de la variable climática, pero que también actúan como desencadenante de algunos procesos. Para evaluar cómo el clima y la vegetación condicionan la ocurrencia de remociones en masa, se hace necesario además conocer las características particulares del área a evaluar y los fenómenos asociados.

Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas: El agua, tanto en superficie como por debajo de ella, condiciona en forma directa e indirecta la generación de remociones. La forma y distribución de sistemas de drenaje en superficie, así características de caudales, escorrentías, infiltración y posición del nivel freático, además de propiedades de permeabilidad y porosidad de las unidades, influyen en la incorporación de agua en suelos y macizos rocosos (Lara, 2007). El agua juega un papel negativo en la resistencia de los materiales, ya que por un lado, genera presiones intersticiales lo que reduce la resistencia, aumenta los esfuerzos de corte por el incremento del peso del terreno y genera fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades (González de Vallejo et al., 2002) y reduce la resistencia al corte de discontinuidades al lavar los rellenos de estas.

Intervención antrópica: El hombre genera de forma planificada o no, modificaciones en el medio. La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, obras de minería, etc., en muchas ocasiones deja las laderas más susceptibles a la ocurrencia de eventos producto de diseños mal concebidos, con ángulos mayores a los que es capaz de resistir en forma natural los materiales, o que no consideran el control estructural que tendrá un talud de forma natural. En algunas ocasiones, el resultado son geometrías de laderas irregulares o con pendientes negativas que finalmente causarán desestabilización. Sin embargo, también existen obras antrópicas robustas, que disminuirán la susceptibilidad ante remociones en masa, y esa consideración será incluida y abordada en el presente trabajo. Cabe señalar, que al igual que las precipitaciones, la intervención antrópica en algunos casos resulta el agente desencadenante de un evento.

A diferencia de los factores condicionantes, los factores desencadenantes corresponden a agentes activos y pueden ser considerados como factores externos que provocan o gatillan inestabilidades (González de Vallejo et al., 2002). En la mayoría de los casos, son varias causas las que finalmente contribuyen al movimiento de una ladera, aunque con frecuencia se atribuyen a sismos o precipitaciones intensas, sin embargo, deben existir las condiciones predeterminadas para su ocurrencia.

Dentro de los factores desencadenantes, los más comunes se citan:

Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas: Las precipitaciones y aportes de agua cambia las condiciones hidrológicas en los terrenos produciendo: variación en las presiones intersticiales; cambios en el peso del terreno; cambios en los niveles de saturación; pérdida de resistencia de los materiales; aumento en la erosión de las laderas; socavamiento de terrenos. Según González de Vallejo et al. (2002), el desencadenamiento de remociones en masa por causas meteorológicas y climáticas está relacionado fundamentalmente con

el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones, lo que implica considerar la respuesta del terreno ante lluvias intensas durante horas o días, su respuesta estacional y en ciclos de sequía.

Las precipitaciones cortas e intensas serían más proclives a generar eventos superficiales, mientras que remociones más profundas serían provocadas por eventos distribuidos en largo periodo de tiempo (Aleotti, 2004 y Kim et al., 2004, en Lara, 2007). En este sentido, la cantidad de lluvias necesarias para que se desencadenen remociones en masa, dependerá del tipo y condición de los terrenos y su ubicación geográfica. En general, distintas zonas necesitarán lluvias de intensidad y/o duración distinta para que se generen remociones, existiendo así un umbral de precipitaciones característico de cada lugar (Lara, 2007). Para determinar los umbrales característicos de cada zona, se quiere contar con bases de datos idealmente continuas de precipitaciones o con alta frecuencia que permitan la realización de análisis estadísticos para la zona de estudio (situación que no siempre ocurre) e incluir dentro del análisis la ocurrencia de fenómenos climáticos, como por ejemplo el fenómeno de El Niño, en el cual existe una tendencia al exceso de precipitaciones (inviernos con mayor días con lluvia y con precipitaciones de intensidades mayores) y de los niveles de caudales líquidos de escorrentía (García, 2000 en Lara, 2007).

Existen numerosos estudios, antecedentes históricos e información de prensa que dan cuenta de eventos de tipo flujo en la zona precordillerana y cordillerana de la zona Central de Chile. Hauser (1985) plantea una evidente relación entre la generación de aluviones en la zona central con precipitaciones anormalmente intensas (más de 60 mm/24 horas en periodos invernales). Precipitaciones de intensidad media en periodos prolongados de tiempo pueden ser consideradas como factores desencadenantes de flujos (Padilla, 2006). 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. Es importante señalar la ocurrencia de flujos en áreas urbanas donde el material movilizado se satura en agua por causas humanas (ruptura de cañerías, entre otros).

Sismos: Los terremotos pueden provocar movimientos de todo tipo en las laderas, dependiendo de sus características y de parámetros sísmicos, como magnitud y distancia a la fuente (González de Vallejo et al., 2002). Las aceleraciones sísmicas generan un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometido la ladera, tanto normales como de corte, pudiendo producir su inestabilidad (Lara 2007). Según González de Vallejo et al. (2002), los desprendimientos de bloques, deslizamientos, flujos y avalanchas de roca son las remociones en masa más frecuentes producto de un fenómeno sísmico, mientras Keefer (1984) señala que corresponderían a caídas de rocas, deslizamientos desagregados de suelos en laderas con pendientes mayores a 15° y deslizamientos de roca en laderas con pendientes mayores a 40°, y en forma secundaria, derrumbes en suelo, deslizamientos en bloques de suelo y avalanchas de tierra, estableciendo magnitudes mínimas aproximadas para la generación de cierto tipo de fenómenos de remociones en masa, en base a observaciones de eventos generados. Por ejemplo, para sismos con magnitud menor o igual a 5,3 se establece en 50 kilómetros la máxima distancia desde el foco y zonas con ocurrencia de caídas de rocas y deslizamientos disgregados (Keefer, 1984). De la misma forma, se establece en 10 kilómetros la máxima distancia entre el foco de un sismo con magnitud cercana a 5,5 y zonas con flujos de detritos y deslizamientos masivos. Cabe señalar que estas condiciones no contemplan amplificaciones locales o efectos de sitio que pudiese desencadenar remociones en masa.

Intervención antrópica: El hombre, como ente modificador del medio, genera una serie de cambios que, en algunos casos, son el principal desencadenante de remociones en masa. Los cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas, producto de la impermeabilización artificial de los suelos o el desvío de cauces sin las correctas medidas paliativas, pueden generar cambios en las propiedades de los materiales y variaciones en el nivel freático. Por otro lado, la obstrucción de cauces con basura y escombros puede aumentar el material a movilizar durante un aluvión, o bien, la mala mantención de redes de alcantarillado y agua potable, pueden desencadenar aluviones (por ejemplo, el aluvión en el Cerro el Litre (Valparaíso) el año 2009). La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, entre otros, sin un análisis geotécnico adecuado, puede ocasionar desestabilización, así como el poco mantenimiento de sistemas de contención, o bien la limpieza de laderas sin la guía de un especialista.

1.3.3 Inundaciones

1.3.3.1 Inundación por desborde de cauce

Las inundaciones corresponden, en la mayoría de los casos, a un fenómeno de origen natural y recurrente para un río. “Estadísticamente, los ríos igualarán o excederán la inundación media anual, cada 2,33 años (Leopold et al. 1984, en Rojas, 2009). La mayor parte de las inundaciones resultan de la interacción que se produce entre el agua y el sedimento que se mueve o permanece en el cauce del río (Keller & Blodgett, 2007).

Keller & Blodgett (2007), definen inundación como un proceso natural por el cual el flujo rebosa el cauce, relacionando el proceso generalmente con la cantidad y distribución de las precipitaciones en una cuenca. Para estos autores, el fenómeno puede caracterizarse por el caudal como por la altura de la lámina de agua.

Para Monsalve (1999, en Rojas, 2009), no se deben confundir los términos entre creciente e inundación. Una creciente es simplemente la ocurrencia de caudales relativamente grandes, en cambio una inundación es la ocurrencia de caudales suficientemente grandes que se salen de su cauce, de esta forma una creciente puede o no causar una inundación, como también una inundación puede o no provenir de una creciente (ej. Elevación del nivel del mar, represamientos). Conceptos similares son los ocupados en Estados Unidos por el Servicio Nacional de Meteorología, el que tiene un sistema de alertas de inundación designando una altura precisa en un lugar determinado. La fase de crecida, comienza cuando se sobrepasa el nivel establecido, esperando que comience una inundación, una vez que el caudal se sitúa por debajo del nivel de crecida el río se encuentra en fase de encausamiento (Strahler, 1992).

En síntesis, todas las definiciones apuntan a la superación de la capacidad de evacuación del cauce, pasando el agua a ocupar la llanura de inundación o lecho mayor, la definición de esta zona depende de la perspectiva del estudio, “como categoría topográfica es muy plana y se encuentra al lado un río; geomorfológicamente, es una forma de terreno compuesto primariamente de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río en cuestión; hidrológicamente, está mejor definida como una forma de terreno sujeta a inundaciones periódicas por un río padre” (Schmudde, 1968, en Rojas,

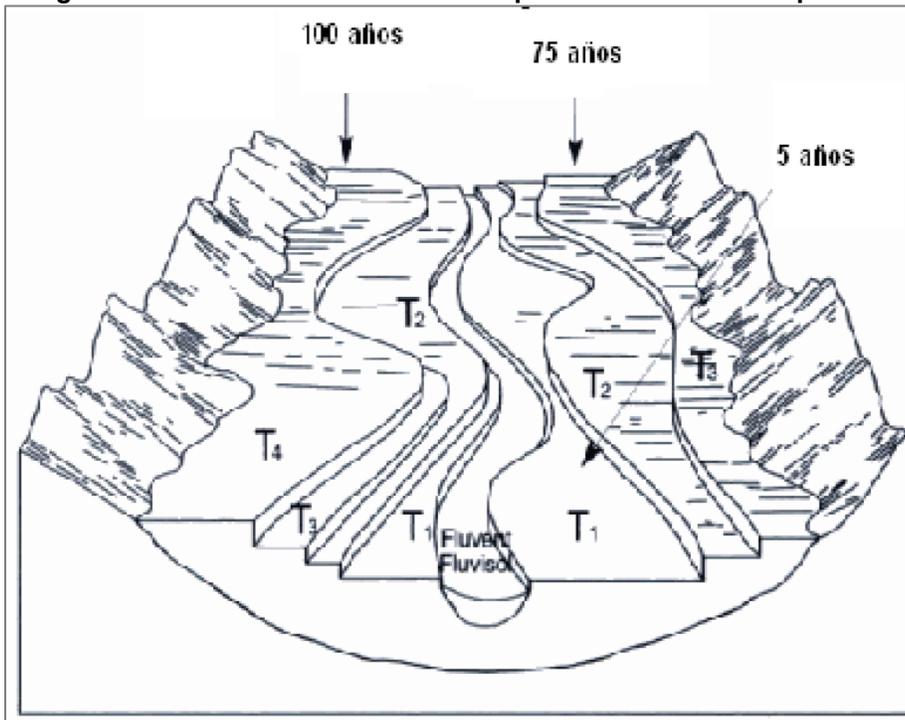
2009), en síntesis corresponde a una zona relativamente plana ubicada en una zona adyacente al cauce que sufre inundaciones periódicas.

El sistema fluvial responde al aporte de agua desde fuera del sistema (Camarasa, 2002, en Rojas, 2009), produciendo una aceleración de los procesos de erosión, transporte y sedimentación en el área afectada. En la intensificación de un proceso de crecida que puede terminar en inundación, intervienen factores espacio-temporales del evento, que dicen relación con la propagación del agua valle abajo, algunos de estos factores fueron expuestos por Mateu (1988, en Rojas, 2009): Condiciones climáticas e hidrológicas previas registradas en la cuenca; caracteres físicos de la cuenca: topografía, superficie drenada, litología, cubierta vegetal, uso de suelo, canalizaciones, tipo de suelo, densidad y jerarquización de la red de drenaje. Características de los canales: morfología del lecho, geometría del cauce, procesos naturales, obstrucciones.

Para determinar los alcances de una posible inundación se utiliza el concepto de intervalo de recurrencia o tasa de retorno, entendido como el tiempo promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud determinada, se acostumbra a denotarlo con T (Aparicio, 1989; Chow et al. 1994; Keller & Blodgett, 2007, en Rojas, 2009), generalmente y si las metodologías y datos disponibles lo permiten, cada terraza de inundación tendrá su propio período de retorno (Figura 6).

Tarback & Lutgens (2005, en Rojas, 2009), clasifican las inundaciones en primer lugar por sus causas, sean estas naturales o humanas. A partir de ello establecen una clasificación por cuatro tipos de inundaciones: inundaciones regionales; inundaciones repentinas o avenidas; inundaciones por obstrucción de hielo; inundaciones por rotura de represas.

Imagen 35: Terrazas de inundación con periodos de retorno hipotéticos



Fuente: Modificado de Porta & López-Acevedo, 2005

Keller & Blodgett (2007), identifican dos tipos de inundaciones: inundaciones de cabecera y de valle. Las Inundaciones de cabecera se producen en las partes altas de las cuencas fluviales, por rotura de presas, diques y obstrucciones de hielo. Por su parte las inundaciones de valle son las más conocidas, comúnmente aparecen en la prensa y son el resultado de tormentas que saturan el suelo y hacen aumentar la escorrentía. Ollero (1997, en Rojas, 2009), identifica seis tipos de inundaciones en cursos fluviales, y agrega las inundaciones provocadas por el mar pero con la sinergia de las crecidas fluviales

Los efectos de una inundación pueden ser vistos desde el punto de vista del medio natural como del medio antrópico. En el medio natural podemos mencionar: movilización de gran cantidad de sólidos desde la cabecera de la cuenca; aceleración de los procesos de erosión, transporte y sedimentación; generación de corrientes anárquicas en llanos de inundación como también microformas de relieve; variaciones de geometría y trazado del cauce; renovación del ambiente fluvial y de los hábitats. En el medio humano las consecuencias son en su mayoría negativas: daños en infraestructuras; repercusiones en la vida humana (falta de comunicaciones, gastos económicos, cesantía, efectos psicológicos, sociológicos, problemas de salud, abastecimiento, etc.); pérdida de vidas humanas (Ollero, 1997, en Rojas, 2009).

I.3.3.2 Inundación por anegamiento

La inundación por anegamiento se define como formas de acumulación de aguas de lluvia sobre el terreno, y oteando hacia la causalidad, por lo general en este caso también existe una situación de desbalance, la cual se da entre el volumen de la lluvia precipitada en un determinado lapso de tiempo y la capacidad de evacuación de un suelo dado, tanto horizontal como verticalmente.

Si bien ello es cierto, existen complicaciones. Estas se derivan de los cambios en la permeabilidad, en la saturación del suelo, y en la micro-topografía de la superficie, ya sean por causas naturales o artificiales,

Los cambios en la permeabilidad del suelo pueden ser positivos o negativos. Entre las acciones positivas, es decir, que incrementan la permeabilidad está la aradura y la incorporación de materia orgánica. Los efectos negativos tienen como causa la intervención en términos de compactación y/o de cobertura con materiales impermeables, como son las construcciones, los concretos y los asfaltos, incluso la aplicación de petróleo o aceite quemado a los caminos de tierra o la adición de una cubierta de maicillo y su apisonamiento.

La saturación del suelo se refiere concretamente a dos situaciones⁴: 1°- la existencia natural de áreas hidromórficas o con presencia semi-constante a constante de la napa en superficie, lo que impide la percolación de las aguas lluvias, puesto que un suelo con estas características se comporta como un material impermeable y, 2°- los suelos pueden sufrir saturación progresiva, más o menos rápida según su permeabilidad, ante la ocurrencia de precipitaciones prolongadas o intensas, lo cual conduce a una situación similar a la anterior. Se trata del concepto de permeabilidad efectiva.

⁴ Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile

En este caso, si un suelo dado ve superada su capacidad de infiltración y evacuación subterránea de las aguas, lo cual es común que ocurra cuando las lluvias son intensas, se generará un excedente pluviométrico que deberá permanecer en superficie por el lapso de tiempo post-lluvia necesario para que la situación se normalice.

Las variaciones en la micro-topografía se refieren a cambios en la configuración del terreno que crean desniveles y obstáculos para el drenaje superficial. Este hecho tiene una causal fundamental: el hombre. Las construcciones que este efectúa (diques, terraplenes, camellones, soleras, muros, etc.) vienen a constituirse en obstáculos para que el agua circule libremente sobre los terrenos siguiendo las diferencias de pendiente. Esto ocurre tanto en el ámbito rural como en el urbano.

En el primero de los casos, los terraplenes de las carreteras y de las vías férreas suelen cumplir el rol de diques por insuficiencia de alcantarillas transversales, generando enlagueamientos hacia aguas arriba. En las ciudades, prácticamente todas las construcciones son obstáculos al escurrimiento de las aguas lluvias, las cuales terminan por acumularse en sectores ligeramente más bajos sin posibilidad de circular ni infiltrarse.

Frente a la ocurrencia de precipitaciones, la malla de calles y avenidas de una ciudad se transforma en una “red fluvio-vial” que, siguiendo la inclinación del eje de cada una de ellas funcionando como cauces, va creando flujos que confluyen progresivamente, sumando sus aguas en dirección de los sectores topográficamente más deprimidos. Creo que con base en un levantamiento topográfico detallado de las calles de una ciudad, es posible establecer claramente de donde vienen y para donde van las aguas, y los diferentes puntos de concentración, lo cual puede servir como herramienta de decisión sobre qué hacer y donde hacer en el contexto de las medidas que deben emanar de los planes maestros de aguas lluvias.

Por otra parte, cuando los anegamientos en el área rural llegan a superar parte de los obstáculos del terreno, estas aguas comienzan a desplazarse sobre la superficie, pasando a constituir una forma de escurrimiento laminar. Como resultado de este proceso pueden presentarse nuevas situaciones.⁵:

- Pueden resultar afectados terrenos que no habían sufrido este problema;
- La suma de estas aguas provenientes de diferentes sectores, lo cual requiere de ciertas condiciones topográficas favorables, puede elevar sustantivamente la cota de anegamiento en algún sector agravando la situación;
- En su camino pueden encontrarse con un cauce y vaciarse en él, lo cual puede ser la solución para un sector, pero puede provocar problemas aguas abajo al generar un superávit hídrico en dicho cauce y su desborde.

I.3.3.3 Inundación por tsunami

Los tsunamis suelen ser definidos como un “tren de olas progresivas gravitacionales largas, con longitudes de ondas del orden de cientos de kilómetros y alturas 6 o más órdenes de magnitud (centímetros) en agua profunda, que se forman en el océano o en una cuenca costera al ocurrir una perturbación impulsiva vertical de corta duración (segundos a pocos

⁵ Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile

minutos) y gran extensión (centenas o más de kilómetros cuadrados) en su fondo o en su superficie libre” (Farreras, 1995). Lo anterior implica que una vez que son generados son prácticamente imperceptibles en el mar abierto, donde la altura de su superficie es menos de un metro, sin embargo al alcanzar la costa incrementan su altura generando efectos devastadores sobre la población y su infraestructura⁶.

Según Lockridge (1991), los tsunamis se denominan:

Locales: Si el lugar de detección o localización dista de una longitud de onda en agua profunda, de la zona de generación (delimitada por el área de dislocación del fondo) o está dentro de ella.

Remotos: (o tele - tsunamis) si ese lugar dista más de una longitud de una longitud de onda o está fuera de la zona de generación.

Trans-pacíficos o destructivos a distancias causan destrucción en costas lejanas a través del océano Pacífico o a más de 1000 km de distancia de su origen.

En las costas un tsunami puede tener una amplia variedad de formas que dependen de la magnitud del fenómeno que lo induce, la dimensión y el período de las olas, las características batimétricas, la configuración de la costa y la situación de la marea, factores que combinamos con la morfología de la topografía en superficie, la pendiente del terreno y el grado de rugosidad derivado de construcciones, árboles y otros obstáculos en tierra, condicionaran los efectos de la inundación (Lagos, 2000).

Las condiciones necesarias para la generación de un tsunami de acuerdo con Farreras (1995) son las siguientes:

- a) que el hipocentro del sismo, o a lo menos una fracción mayoritaria del área de ruptura, está bajo el lecho marino y a una profundidad menor a 60 km (sismo superficial).
- b) que la frontera de placas o falla tectónica sea de subsidencia con componente vertical de movimiento y no de desgarre con desplazamiento únicamente lateral.
- c) que el sismo libere suficiente energía y en un cierto lapso de tiempo, y que éste sea eficientemente transmitida.

I.3.4 Incendios

El origen de los incendios, recae en la acción humana. El 99,7% de los incendios se inician ya sea por descuidos o negligencias en la manipulación de fuentes de calor, o por prácticas agrícolas o por intencionalidad, originada en motivaciones de distinto tipo, incluso la delictiva. (<http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/>).

⁶ Belmonte-Pool J, 2011 “Estudio fundado de riesgos por tsunami área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal comuna de Santo Domingo

Sin embargo, en ciertas áreas del mundo, los rayos también han ocasionado incendios, contribuyendo al desarrollo de algunas formaciones vegetales, eliminando individuos sobremaduros, estimulando la semillación, abriendo espacios y creando condiciones para la regeneración natural. Pero este no es el caso de Chile, donde toda la vegetación es sensible al fuego y en la cual el daño no sólo es su quema y destrucción, sino que, además, afecta al suelo, a la fauna, al aire, al ciclo del agua y, en general, al entorno del ser humano y en ocasiones a las propias personas. . (<http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/>).

El término “Incendio Forestal” se utiliza para calificar a todo fuego que, cualquiera sea su origen y magnitud y con peligro o daño para las personas, el medio ambiente o la propiedad y los bienes materiales, se propaga sin control en terrenos rurales a través de la vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta.

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) Incendio Superficial: Es aquel que se propaga consumiendo la vegetación arbustiva, herbácea y hojarasca existente sobre el piso del bosque. Es el tipo más común y por lo general se presenta en la mayoría de las propagaciones del fuego en terrenos rurales. Puede alcanzar velocidades violentas de avance cuando las condiciones son favorables (sobre 30 km/hora, en pastizales secos y presencia de vientos intensos o laderas muy inclinadas). Sin embargo, en plantaciones o bosque nativo, dependiendo de la humedad ambiental, su avance fluctúa normalmente entre 30 y 200 metros por hora.

b) Incendio Subterráneo: Es aquel que se propaga por debajo del piso del bosque, consumiendo raíces, humus y el material orgánico no incorporado al suelo mineral (muy comunes en incendios de bosque nativo, con propagación del fuego muy lenta).

c) Incendio Aéreo o incendio de copa: se caracteriza por una propagación de fuego a través del follaje de los árboles. Por lo general es violento, errático, con avances por ráfagas que frecuentemente se desplazan en direcciones imprevistas (se presentan en plantaciones de coníferas y raras veces en bosques nativos, la propagación del fuego es muy lenta, por lo general algunos metros por día).

Por su parte, 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. Entre los factores fijos, que no cambian o que lo hacen muy lentamente, están la topografía, es decir si el terreno es plano o con laderas de fuerte pendiente que favorecerá la propagación del fuego, y algunas características de la vegetación, por ejemplo, la cantidad, el tamaño de vegetación y las especies vegetales presentes. Entre los factores variables, que sí se modifican en el tiempo, incluso a lo largo del día, están el tiempo atmosférico y el contenido de humedad de la vegetación.

I.4 METODOLOGÍA

En el marco del desarrollo del estudio del Plan Regulador Comunal, ha sido necesario elaborar un estudio que permita determinar los niveles de riesgos por fenómenos naturales y los generados por la intervención humana que es posible definir a escala comunal. La escala de análisis a nivel comunal corresponde a 1:5.000.

A continuación, se efectúa el análisis respecto de los componentes físicos del riesgo y su evaluación en función de los objetivos del estudio. Dentro de los procesos que han sido considerados como potenciales generadores de situaciones de riesgo sobre el espacio antrópico (vinculados con el objetivo de este estudio), se han desarrollado los siguientes:

- **Procesos de Crecidas y Desbordes de cauces (Inundaciones)**
- **Procesos de Remoción en Masa**
- **Procesos de Incendios**

A continuación, se presenta el desarrollo de cada uno de estos aspectos en detalle.

- **Metodología General del Estudio**

El método utilizado para la definición de riesgos corresponde a la superposición de cartas temáticas digitales utilizando como herramienta un sistema de información geográfico, obteniendo de esta forma una carta integradora de distintas variables que condicionan la ocurrencia de fenómenos naturales que se traducen en riesgo para la población.

Los pasos metodológicos aplicados se describen a continuación:

- **Definición de variables que determinan el riesgo**

Las variables que determinan los distintos tipos de riesgos (Remoción en Masa, Inundaciones, anegamiento y tsunamis) corresponden a distintos factores que por una parte son componente importante del riesgo y que a su vez se encuentran disponibles a la escala de análisis necesaria para los objetivos del estudio.

- **Elaboración de Cartas temáticas para cada variable que determina el riesgo, determinando sub-unidades espaciales.**

Para cada una de las variables o factores que determinan los distintos tipos de riesgos se elabora una carta temática que busca identificar las condiciones específicas de cada variable que permiten desencadenar distintos niveles de riesgo. Estas condiciones específicas de cada variable son especializadas y representan sub unidades al interior de cada carta temática.

- **Determinación de valores relativo para cada sub-unidad espacial**

Cada una de las sub-unidades descritas anteriormente, reciben un valor relativo a la potencialidad de generar riesgo. El valor numérico asociado a cada valor relativo ha sido extraído de diversas fuentes, principalmente Ferrando (1998) y Brignardello (1997).

- **Superposición de las distintas cartas temáticas**

Finalmente, las cartas temáticas asociadas a cada tipo de riesgo serán superpuestas a través del SIG, el objetivo es realizar una suma de los valores que tendrá cada sub unidad

de las distintas cartas temáticas, generando nuevas subunidades en una carta final resultante. Los valores que resulten de la suma de las distintas sub unidades serán agrupados en cuartiles que definirán (desde los rangos mayores a los menores) los distintos niveles de riesgo para la región.

A continuación, se presentan los resultados y metodología específica de cada tipo de riesgo asociado a este estudio.

I.4.1 Inundación por desborde de cauce y anegamiento

Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, bien por desbordamiento de ríos y cursos de agua.

Las inundaciones fluviales son procesos naturales que se han producido periódicamente y que han sido la causa de la formación de las llanuras en los valles de los ríos, tierras fértiles donde tradicionalmente se ha desarrollado la agricultura en vegas y riberas.

La información relevante para la modelación del riesgo por inundaciones que ha sido analizada, especializada e integrada a través de un SIG (ArcGIS – Spatial Analyst) para la determinación de áreas de riesgo de inundación, corresponde a las siguientes variables:

- Pendiente en grados
- Elevación del terreno cada 1m
- Curvatura (plano, cóncavo y convexo)
- Geomorfología de cauce (Terrazas)
- Condición Hidrodinámica (Río Maipo)

Para la localidad de Santo Domingo y de Mostazal, se revisó e incorporo la zonificación del estudio, “Estudio fundado de riesgos por inundación de cursos hídricos superficiales área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal comuna de Santo Domingo para efecto de modificación del plan regulador comunal (Martínez Carolina. 2011). En dicho estudio se realizó una caracterización geomorfológica y el cálculo de tasas de retorno.

Para la distribución de probabilidad de los caudales máximos instantáneos de la estación Maipo en Cabimbao, se emplearon las distribuciones de valores extremo Tipo I o Gumbel, Normal, Gamma 2 parámetros y Gamma 3 parámetros, calculadas mediante el software HidroEsta (Instituto Tecnológico Costa Rica ©), las distribuciones fueron ajustadas con el test de Kolmogorov-Smirnov para un nivel de significación de .05. Los caudales se calcularon para tasas de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años (Martínez Carolina. 2011)

Tabla 11 Caudales máximos asociados a periodos de retorno, en la estación Maipo en Cabimbao en m³/s

| Período de retorno T (años) | % de que se supere dicho valor | Probabilidad de no excedencia | Gumbel | Normal | Gamma 2 parámetros | Gamma 3 parámetros |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------|---------|--------------------|--------------------|
| 2 | 50% | 0.5 | 1253,80 | 1467,09 | 1134,56 | 1200,78 |
| 5 | 20% | 0.8 | 2401,17 | 2559,58 | 2288,09 | 2406,70 |
| 10 | 10% | 0.9 | 3160,82 | 3131,19 | 3113,13 | 3205,86 |
| 20 | 5% | 0.95 | 3889,50 | 3603,11 | 2918,25 | 3958,56 |
| 30 | 3.33% | 0.967 | 4308,70 | 3848,64 | 4382,83 | 4384,28 |
| 50 | 2% | 0.98 | 4832,71 | 4134,10 | 4962,96 | 4909,04 |
| 100 | 1% | 0.99 | 5539,50 | 4488,01 | 5742,18 | 5604,24 |

De acuerdo a los resultados de los períodos de retorno calculados, los ajustes Gumbel, Gamma 2 parámetros y Gamma 3 parámetros se asemejan bastante en cuanto a los resultados obtenidos. La distribución normal se aleja de los resultados de las otras distribuciones aplicadas. Aplicado el test de Kolmogorov-Smirnov se aceptaron todos los ajustes realizados, sin embargo se optó por seleccionar aquel que presentara el menor delta teórico, en este caso la distribución Gamma 3 parámetros. De acuerdo a los datos de mediciones de caudal de DGA para dicha estación registro dos caudales máximos en el intervalo superior correspondiente a los años 1987 y 2002, con caudales de 5095 m³/seg y 4502 m³/seg respectivamente.

Inundación por anegamiento

Fuera del área urbana se utilizó información del inventario de humedales del Ministerio del Medio Ambiente, dichas áreas fueron analizadas a través de parámetros morfológicos (pendientes inferiores a 3°) y a la fotointerpretación de imágenes áreas de manera de delimitar el área máxima utilizada por el cuerpo de agua.

1.4.2 Inundación por Tsunami

La determinación de las áreas de riesgo de inundación por Tsunami considero la revisión bibliográfica de los siguientes estudios

- Estudio de riesgo de la Comuna de San Antonio, Etapa 2. Diagnóstico final y modelaciones (PUC 2011 para MINVU)
- Estudio fundado de riesgos por tsunami área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal comuna de Santo Domingo (Belmonte-Pool J, 2011 para MINVU)

Ambos estudios fueron parte de las licitaciones de estudios fundados de riesgos encargadas por MINVU Región de Valparaíso post terremoto del 27 de febrero de 2010.

Ambos estudios tienen como área en común la desembocadura del Río Maipo, para la cual se modelaron los sismos de mayor magnitud del área (27F 2010) y una modelación de un sismo hipotético de 8.8 Mw. (San Antonio) y 8.7 (terremoto 1730 en Santo Domingo)

Existen dos focos de análisis: (1) terremoto 2010 a modo de obtener un resultado y revisarlo a la luz de las observaciones de terreno conocidas y (2) terremotos de 1730, 1906 y 1985 como escenarios probables. Los modelos son realizados para una cota 0 igual al nivel medio del mar.

En todos los casos se asume una falla homogénea, a excepción del modelo de fallamiento variable – asociado a la existencia de asperezas – aplicado al terremoto 2010 según estudios sobre el modo de dislocación del contacto sismogénico interplaca.

Respecto, la condición inicial o mecanismo de deformación involucrada en la generación de los tsunamis de 1735 y 2010 se definió a partir de los parámetros de falla indicados en la siguiente tabla. Estos parámetros se fundamentaron en los estudios sísmicos realizados a la fecha.

Tabla 12 Parámetros de mecanismo de falla definidos para los tsunamis de 1730 y 2010

| PARAMETROS | TSUNAMI 1730 | TSUNAMI 2010 |
|--|---------------------------|------------------------------|
| Origen (borde norte sobre fosa oceánica) | 31°Lat.S - 72.8°Long.W | 33.5°Lat.S - 73.2° Long.W |
| Dislocación | 8.7 m. | 12.6 m. |
| Largo | 500 Km. | 500 Km. |
| Ancho | 120 Km. | 120 Km. |
| Rumbo | N4°E | N18°E |
| Buzamiento | 18° | 18° |
| Profundidad Mínima | 10 Km. | 10 Km. |
| Angulo Desplazamiento | 105° | 112° |
| Magnitud Sismo (Escala Richter) | 8.7 | 8.8 |

Fuente: Estudio fundado de riesgos por tsunami área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal comuna de Santo Domingo (Belmonte-Pool J, 2011 para MINVU)

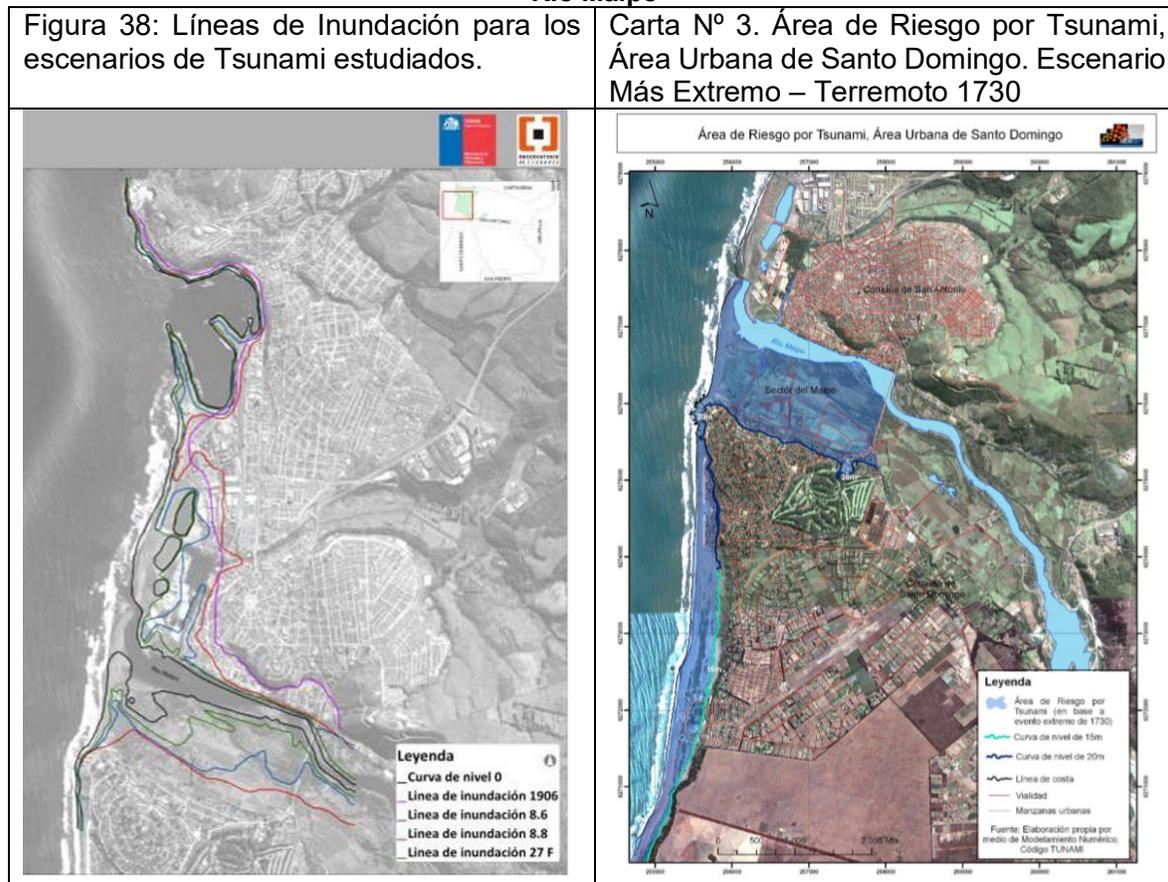
Estos parámetros describen la geometría y dirección del plano de ruptura. También cuantifican la cantidad de movimiento y por tanto el tamaño del evento. A partir de estos parámetros se construye la fuente asociada al sismo, y por consiguiente, se genera una fuente de tsunami en la columna de agua que está sobre la zona perturbada sísmicamente. Las alturas de columna de agua por sobre el nivel medio del mar alcanzan en la fuente cerca de 4 m para el sismo de 1730 y 2.5 m para el sismo 2010.

Los parámetros indicados en la anterior constituyen la fuente base para concluir que los eventos de 1730 y 2010 corresponden a sismos que caben dentro del concepto de terremotos máximos probable. Para ambos casos el modelo numérico predice alturas de inundación cercanas al rango 15-20 m; con respecto al instante de ocurrencia de los sismos,

se estiman tiempos de llegada de un tren de olas que van desde los 20 a 30 minutos hasta más de 4 horas. En términos prácticos, estos valores caben dentro del margen observado en diversas caletas y puertos para el tsunami del 27 de febrero de 2010, dejando en claro que las primeras olas aparecieron incluso a partir de los 10 minutos posteriores al sismo principal.

Con los resultados anteriores, se modelan y observan los escenarios de 1730, 1985 y 1906. Como se espera el escenario vinculado con un terremoto como el ocurrido el año 1730 ($M_w=8.7$) genera las mayores cotas de inundación. En este caso se alcanzan valores de runup de hasta 15 metros para Sto. Domingo y Mostazal. En la ribera sur de la desembocadura del Río Maipo se alcanza cotas de 20 metros (Figuras 33 y 34). Estos valores constituyen un número comparable con las observaciones de máxima inundación observados en villorios y pueblos azotados por el terremoto del Maule con una magnitud $M_w=8.8$ (Quezada et al., 2010) a distancias y en condiciones geomorfológicas comparables con las de Sto. Domingo, la desembocadura del Río Maipo y Mostazal respecto de un evento como el modelado.

Imagen 36: Comparativa de resultados de modelación de Tsunami sector desembocadura Río Maipo

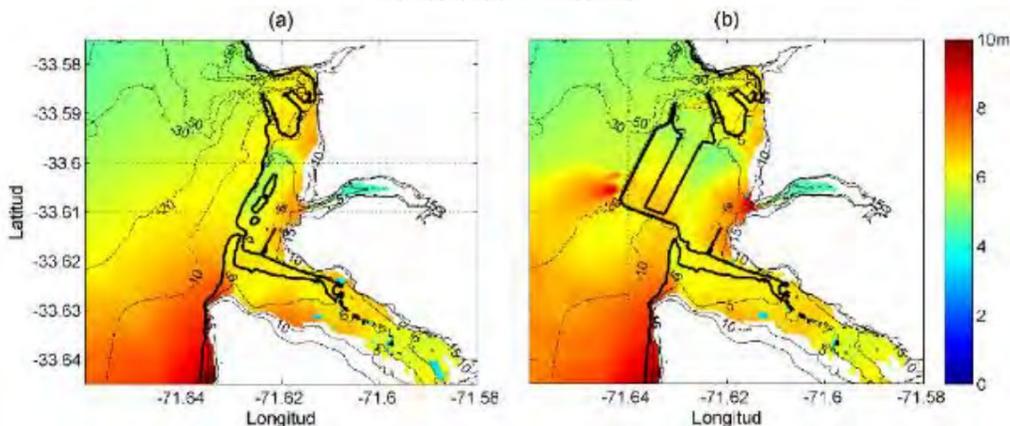


Estudio de riesgo de tsunami, EIA Puerto Exterior de San Antonio

De acuerdo con las fuentes de Tysa, 2016d, previo a la estimación de peligro por inundación por tsunami se debe definir el evento tsunamigénico a modelar. Éste se ha determinado en base al documento de Tysa, 2016c, "Estudio de riesgo sísmico", el que define un evento de **magnitud Mw 9,0, similar al del año 1730**, con determinados parámetros sísmicos. La estimación del peligro de inundación por tsunami se realizó mediante modelación numérica, utilizando el modelo de diferencias finitas NEOWAVE que se basa en las ecuaciones lineales y no lineales de aguas someras (NSWE).

La altura de inundación, definida como el nivel máximo de inundación que alcanza el agua medido con respecto al nivel medio del mar (NMM) calculada por el modelo para el evento Mw 9,0 se presenta en la FIGURA RGG-13, para la condición sin Proyecto (izquierda) y con Proyecto (derecha). En general, es posible observar que se alcanzan alturas de inundación máximas de 5-6 m respecto al NMM en la zona de las obras portuarias permanentes y obras portuarias temporales. Es importante notar que las obras portuarias permanentes no generan modificaciones significativas en la inundación en el área analizada, en especial en el sector costero y la desembocadura del río Maipo.

FIGURA RGG-13: Alturas de inundación para un tsunami generado por un sismo Mw=9,0 frente a San Antonio



Evento similar a 1730. a) Condición Sin Proyecto. b) Condición con Proyecto.

I.4.3 Remociones en masa

El riesgo de remoción en masa considera los deslizamientos y flujos de detritos, rocas y barro. Las áreas asociadas a este tipo de riesgo se definen en función de antecedentes históricos y recientes de ocurrencia, de valores de pendiente en relación con umbrales potenciales de desencadenamiento de procesos, del grado de erosión geológica geomorfológica detectado y en parte evidenciado por hechos tectónicos y acumulación de sedimentos, y de la variable vegetación como factor de protección del suelo. A continuación, se presenta una clasificación y caracterización de los tipos de remoción en masa:

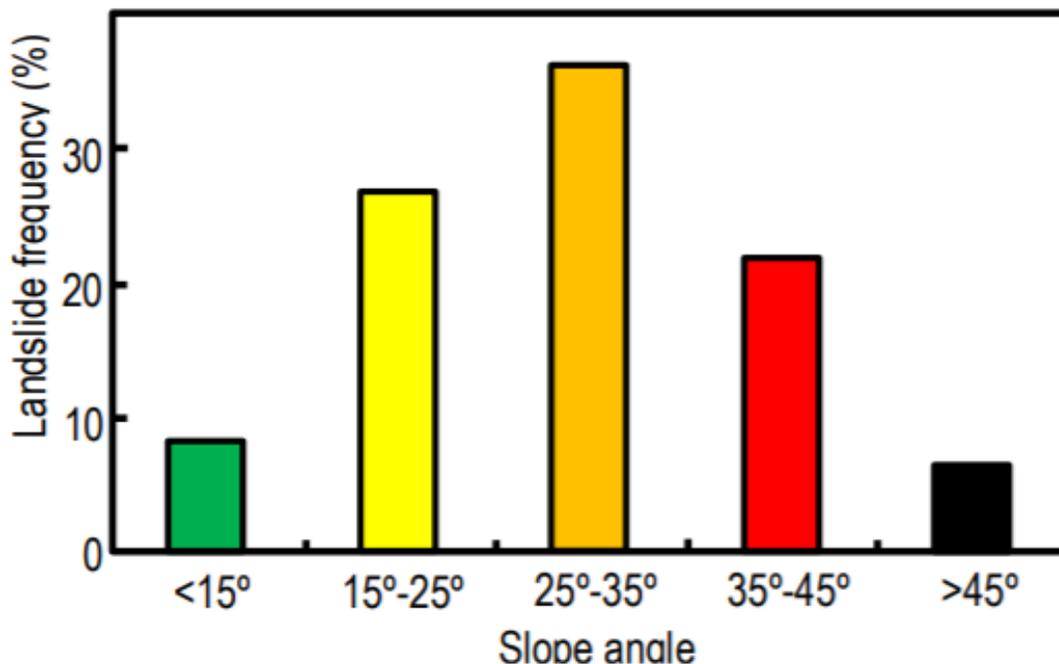
Diversos autores señalan que uno de los principales factores que determina la generación de remociones en masa es la pendiente de las laderas (Esaki, et al., 2005; Giraud & Shaw, 2007). Para diferenciar qué pendientes son las más susceptibles, se utilizó la información compilada a partir de diversas fuentes que han generado catastros de deslizamientos en distintos lugares del mundo. Esaki et al.(2005) y Giraud y Shaw (2007), así como otros catálogos de deslizamientos, indican que la mayor frecuencia de deslizamientos en el mundo se observa sobre pendientes de 25° a 35° de inclinación, relacionado principalmente al ángulo de fricción interno del material, siendo también frecuentes entre los 15° y 25° y sobre los 35° de pendiente. Luego, las pendientes del terreno pueden ser utilizadas como criterio para una clasificación general del territorio frente a potenciales deslizamientos.

Con base en lo anterior, **para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa se consideran las pendientes entre 15° y 25° como moderadamente susceptibles, las pendientes entre 25° y 35° altamente susceptibles y las pendientes sobre los 35° como zonas de muy alta susceptibilidad.**

Finalmente, a partir de todo lo anteriormente expuesto, se determinaron las siguientes categorías de susceptibilidad de deslizamientos y caídas de roca

- **Muy Alta:** sectores con pendientes mayores a 35° o sectores que presentan condiciones geomorfológicas de inestabilidad
- **Alta:** laderas con pendientes entre 25° y 35°
- **Moderada:** laderas con pendientes entre 15° y 25°

Imagen 37: Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Fuente: Esaki et al.(2005)

I.4.4 Zonificación de la susceptibilidad

Para definir los criterios que permitan incorporar los peligros naturales dentro de la zonificación urbana, es necesario tener claros los criterios utilizados en la definición de las diferentes categorías de susceptibilidad y la zonificación resultante. En este sentido, en la siguiente tabla se resumen los factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y los elementos metodológicos con los que se asignó la distribución espacial de la susceptibilidad, los que son descritos precedentemente.

Es muy relevante comprender que la categorización de susceptibilidad se relaciona con la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno dado en un área determinada, pero corresponde a una categorización cualitativa, de carácter relativo, y no cuantitativa.

Pese a que el concepto de susceptibilidad no contempla la cuantificación de períodos de retorno, ni probabilidades de ocurrencia, sí estipula niveles que indican de manera relativa la frecuencia con que ocurre un cierto fenómeno. En este sentido, las zonas de 'muy alta' susceptibilidad son aquellas que muy probablemente serán afectadas en caso de ocurrir un evento del peligro analizado, las zonas de 'alta' susceptibilidad serán aquellas afectadas por eventos extremos (en muchos casos son los más grandes de los que se tengan registros históricos) y las de 'moderada' susceptibilidad se asocian a eventos excepcionales, de los que muchas veces no existen registros históricos, pero si otro tipo de evidencias, como

evidencias geológicas o morfológicas. Por otra parte, mientras la magnitud de un evento sea más intensa, se producirán daños mayores, pero los daños serán más importantes en la medida que mayor sea la susceptibilidad del territorio. En consecuencia, se recomienda que, mientras mayor sea la susceptibilidad de un área específica, mayores sean las restricciones y/o condicionantes para su utilización.

Tabla 13 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad

| Peligro | Factores condicionantes | Factores desencadenantes | Elementos de zonificación |
|--|---|--|---|
| Inundaciones por desborde de cauce | - Características morfológicas de la red de drenaje | - Lluvias intensas | - Catastro de eventos de inundación - Unidades geológicas - Red de drenaje - Observaciones de terreno - Estudios hidráulicos existentes |
| Inundaciones por anegamiento | - Morfología - Malas condiciones de drenaje | - Lluvias | - Imágenes satelitales - Catastro de humedales - Estudios hidráulicos existentes |
| Inundaciones por Tsunami | - Morfología | - Sismos | - Estudios existentes - Catastro de eventos - Observaciones en terreno |
| Remociones en masa (procesos de ladera) | - Pendientes - Material que compone la ladera (geología) - Exposición de laderas - Formaciones vegetales | - Sismos - Lluvias intensas - Viento | - Pendiente del terreno - Catastro de remociones en masa |
| Erosión acentuada | - Morfología - Geología | - Sismos - Lluvias intensas - Viento | - Estudios existentes - Catastro de eventos - Observaciones en terreno |
| Incendios | - Pendientes - Formaciones vegetales | - Altas temperaturas - Vientos | - No susceptible |
| Sismicidad | - Características de los depósitos | - Sismos | - No susceptible |
| Volcanismo (caída de ceniza) | - Distancia a los centros eruptivos - Morfología del terreno - Dirección del viento | - Erupciones | - No susceptible |

Fuente: Elaboración propia

I.5 RESULTADOS

A partir de la superposición de información y análisis de los antecedentes, se identificaron áreas de riesgo (o zonas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de alguna amenaza), que permitirá actualizar el Plan Regulador Comunal, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica

I.5.1 Remoción en masa y erosión acentuada

A partir de los términos de referencia del estudio, objetivos planteados, escala de la información base disponible, se entregan áreas con alta susceptibilidad a la generación de remociones en masa local. Estas áreas son el resultado del análisis y superposición de la información base del área de estudio, complementada con visitas a terreno y la generación de una línea base del medio físico.

Dentro de la información analizada, se incluyeron factores geomorfológicos (topografía, pendientes, alturas, forma de las laderas, etc.) así como informes geológicos y caracterización de las unidades presentes en términos de comportamiento. En paralelo, se realizó un levantamiento de los movimientos en masa presentes en el área urbana de la comuna y visitas a terreno orientadas a validar la información geológica y geomorfológica del área, así como identificar los procesos ocurridos con anterioridad.

Considerando la información geológica y geomorfológica se delimitación las playas y dunas del sector de Santo Domingo, considerando como área de riesgo de erosión acentuada.

A partir del análisis, se pudo determinar que los factores condicionantes claves en la generación de remociones (considerando caídas de rocas, deslizamientos superficiales de suelo y flujos), son las pendientes de las laderas. Para el análisis, se consideran rangos basados en estudios anteriores y validaciones realizadas en terreno (expuestos anteriormente).

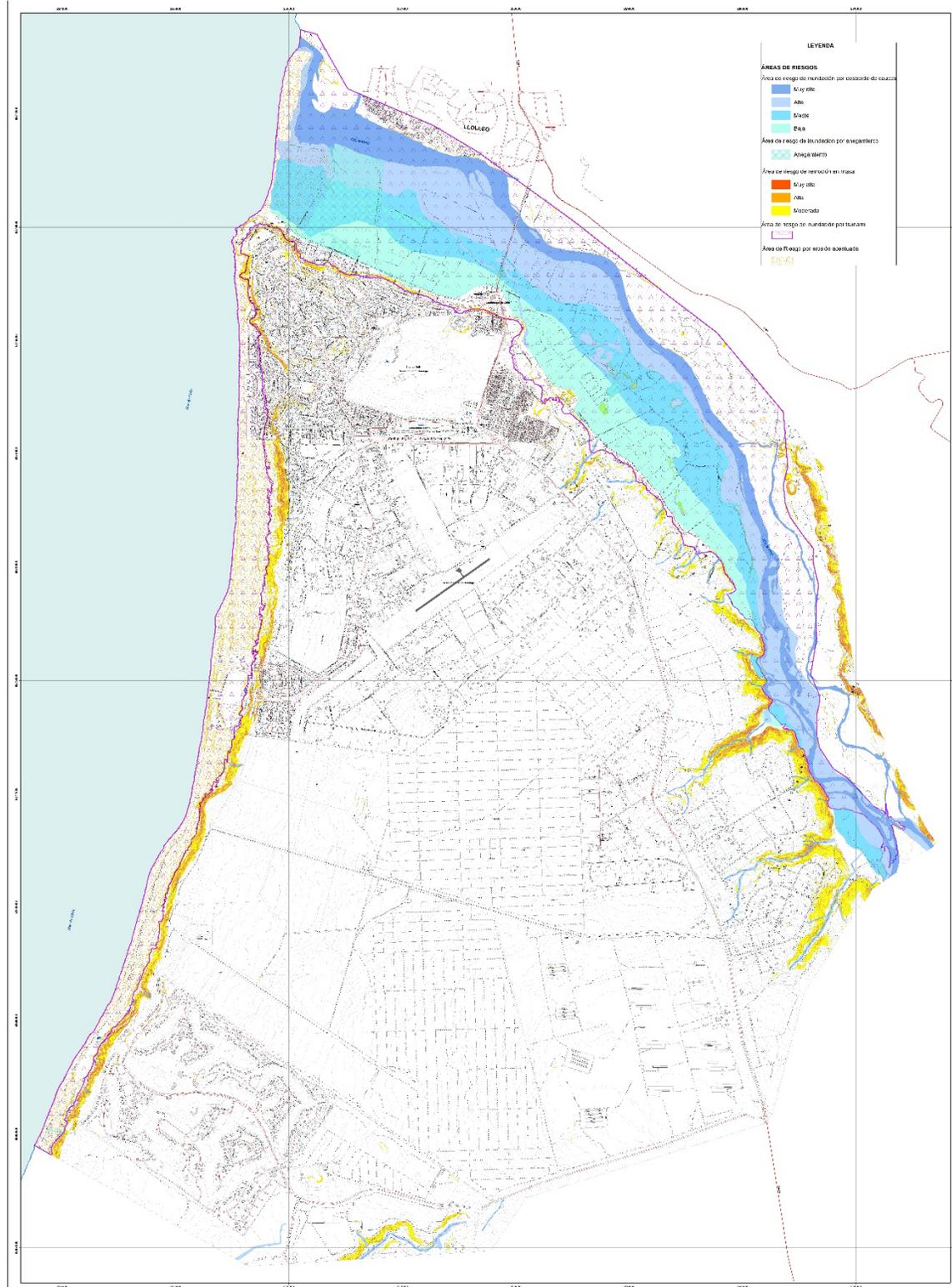
I.5.1 Áreas de riesgo de inundación

Áreas de riesgo de inundación para este estudio se dividen en 2: áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y anegamiento, y áreas de riesgo de inundación por tsunami.

Las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauce y anegamiento. Consideraron geomorfología de los cauces, cauce principal y terrazas inundables (en épocas de crecidas).

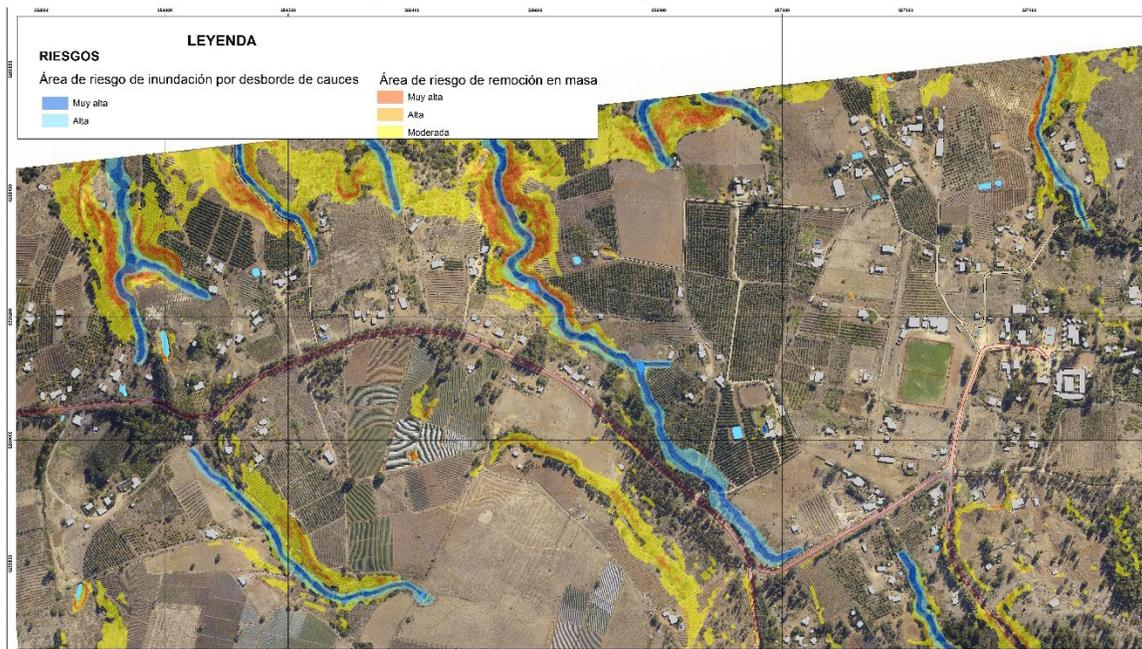
Las áreas de riesgo de inundación por tsunami, se utilizó como base el "Estudio fundado de riesgos por tsunami área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal comuna de Santo Domingo (Belmonte-Pool J, 2011) ajustándose al levantamiento aerofotogramétrico reciente de ambas localidades.

Imagen 38: Áreas de riesgos Santo Domingo



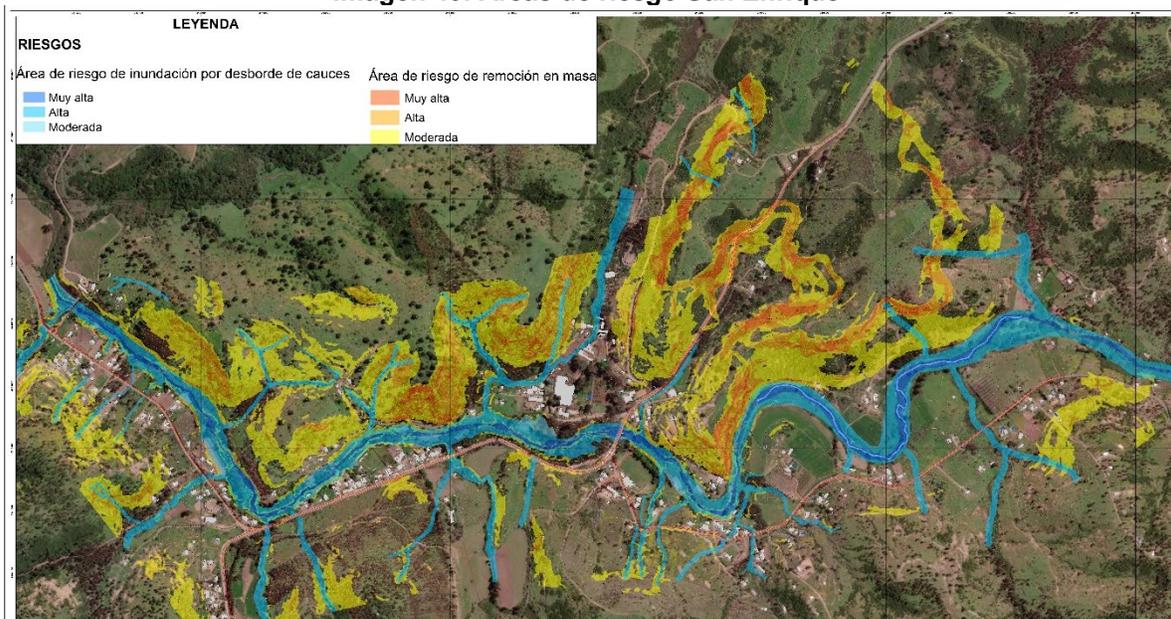
Fuente: Elaboración propia

Imagen 39: Áreas de riesgos El Convento



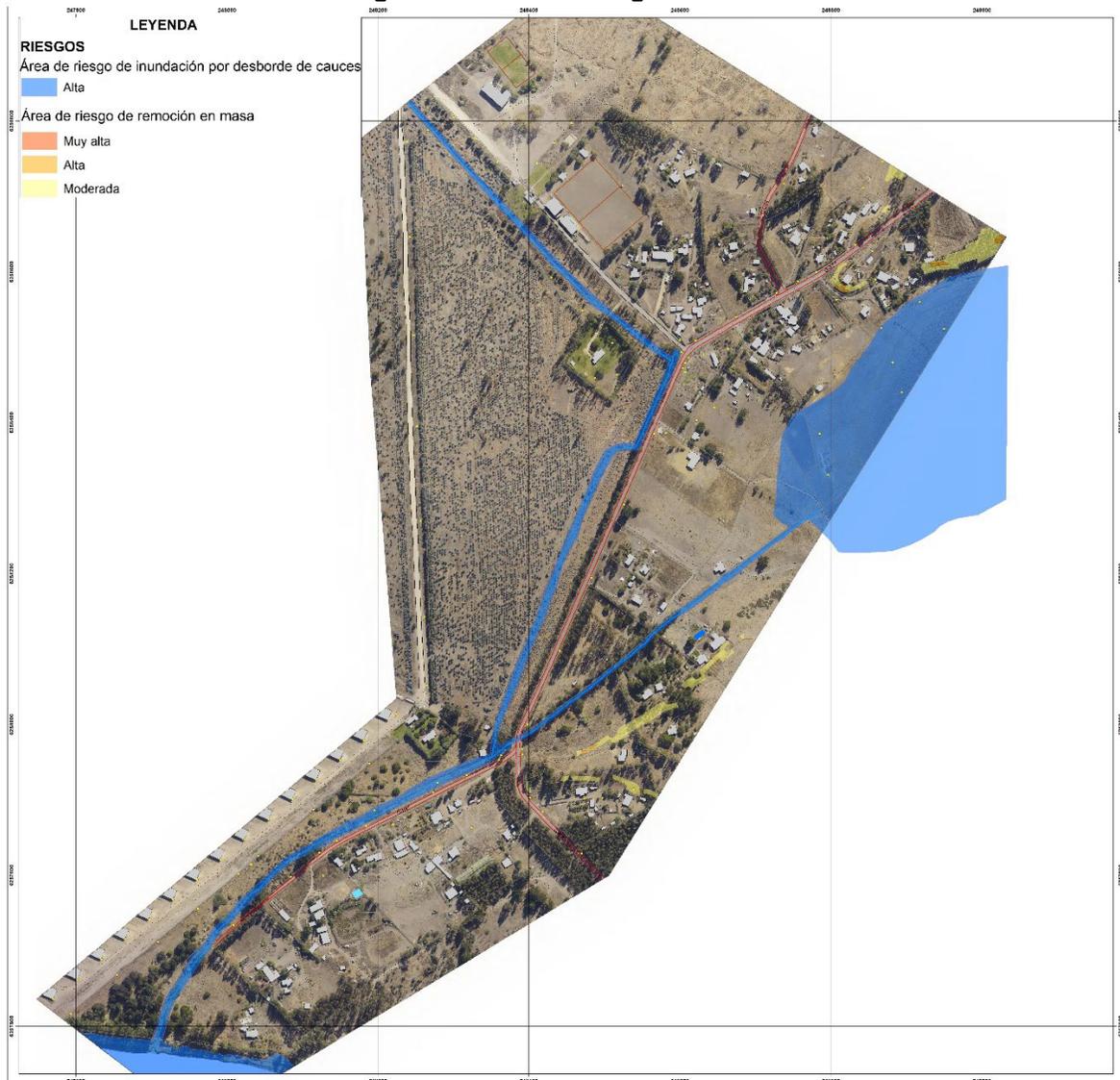
Fuente: Elaboración propia

Imagen 40: Áreas de riesgo San Enrique



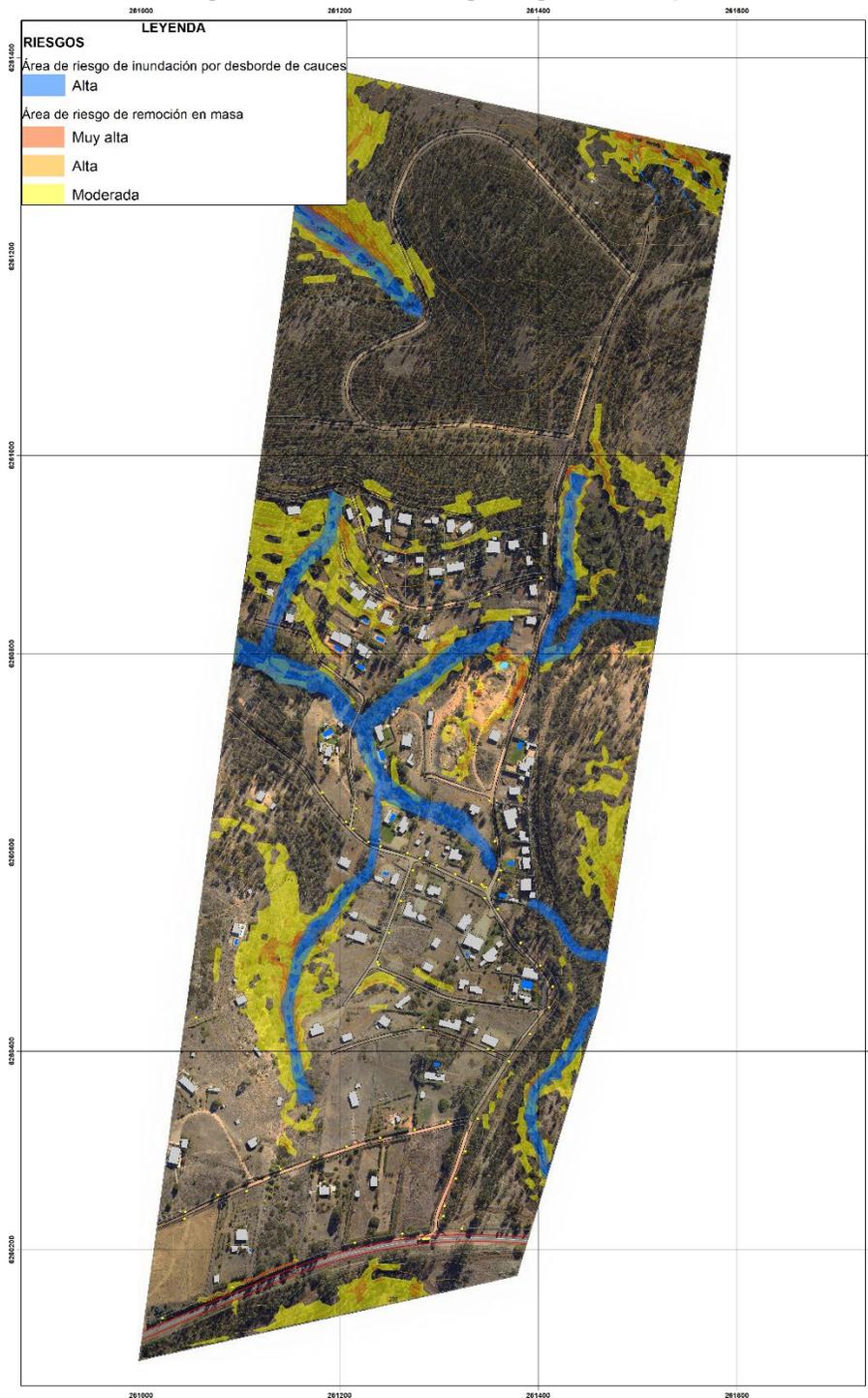
Fuente: Elaboración propia

Imagen 41: Áreas de riesgo Las Salinas



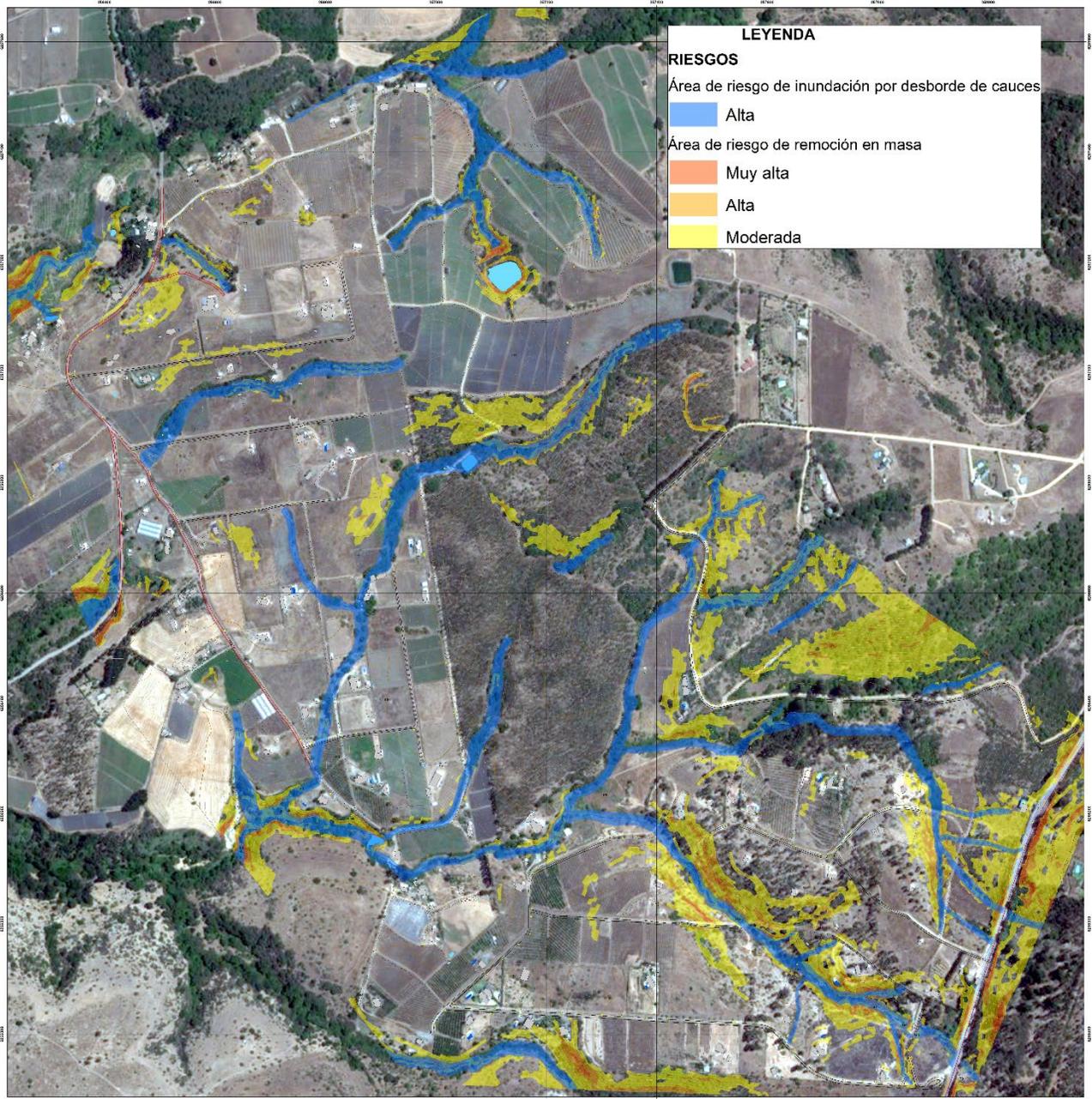
Fuente: Elaboración propia

Imagen 42: Áreas de riesgo El gran Eucaliptus



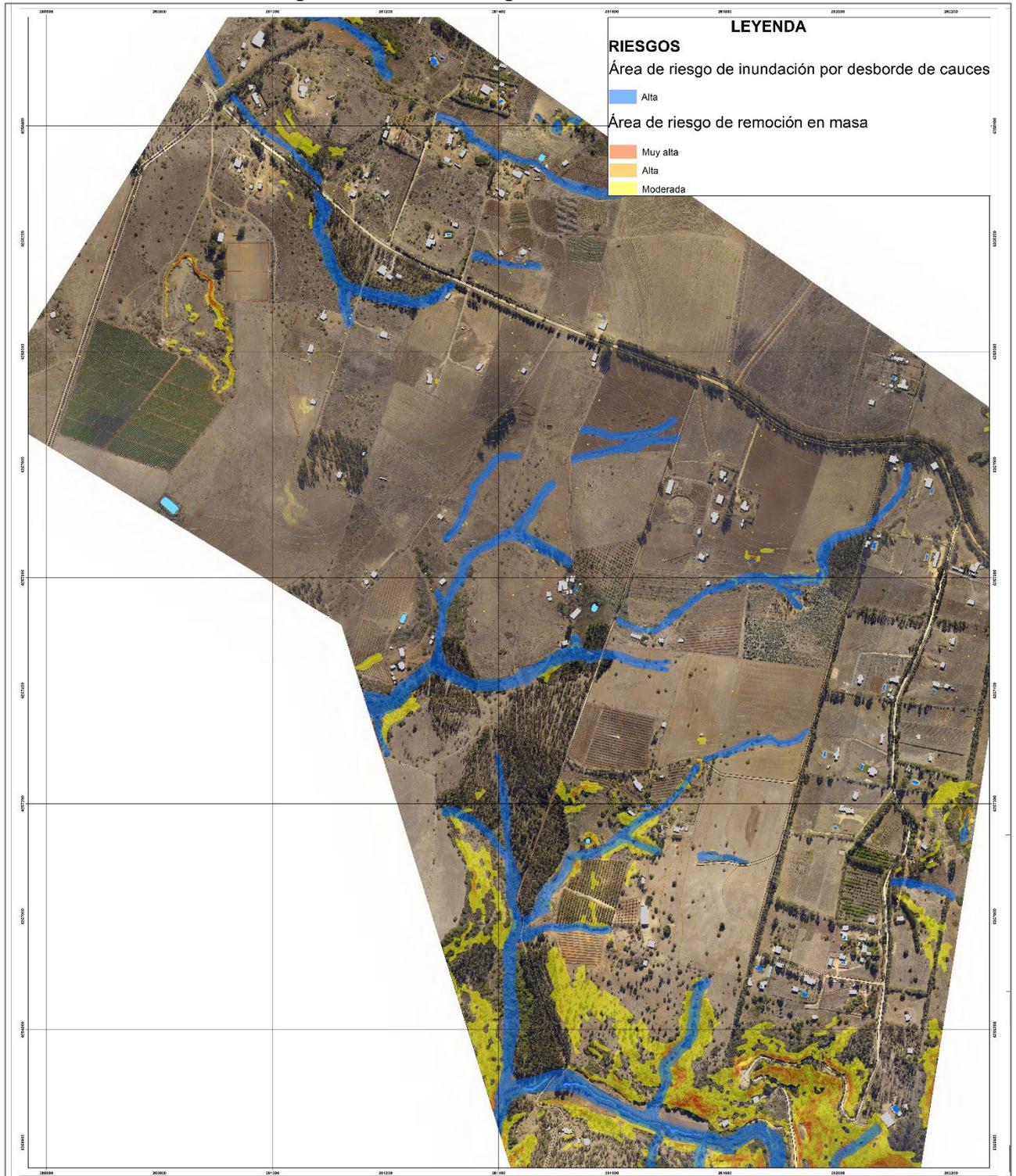
Fuente: Elaboración propia

Imagen 43: Áreas de riesgo Yali Alto



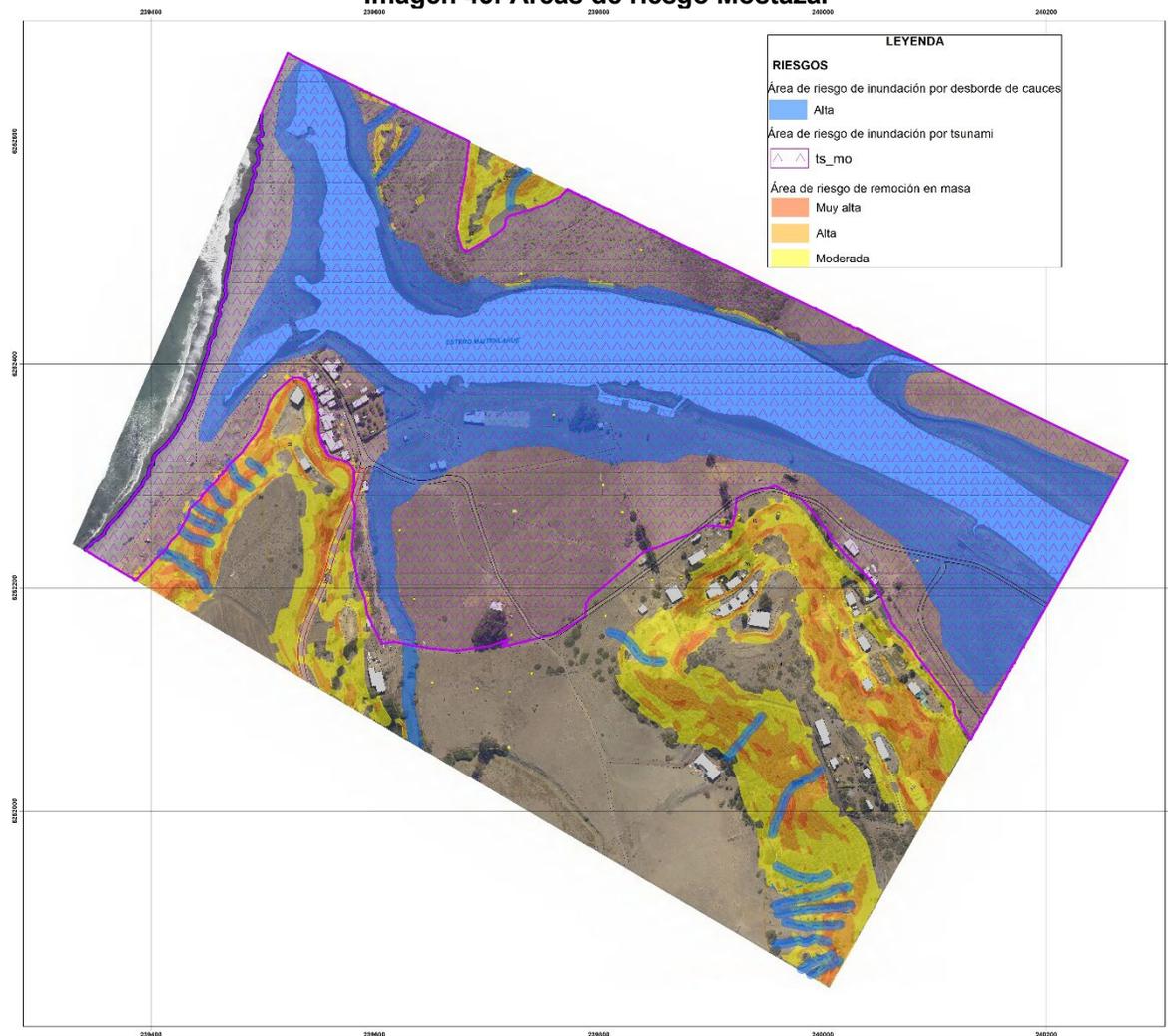
Fuente: Elaboración propia

Imagen 44: Áreas de riesgo Santa Blanca



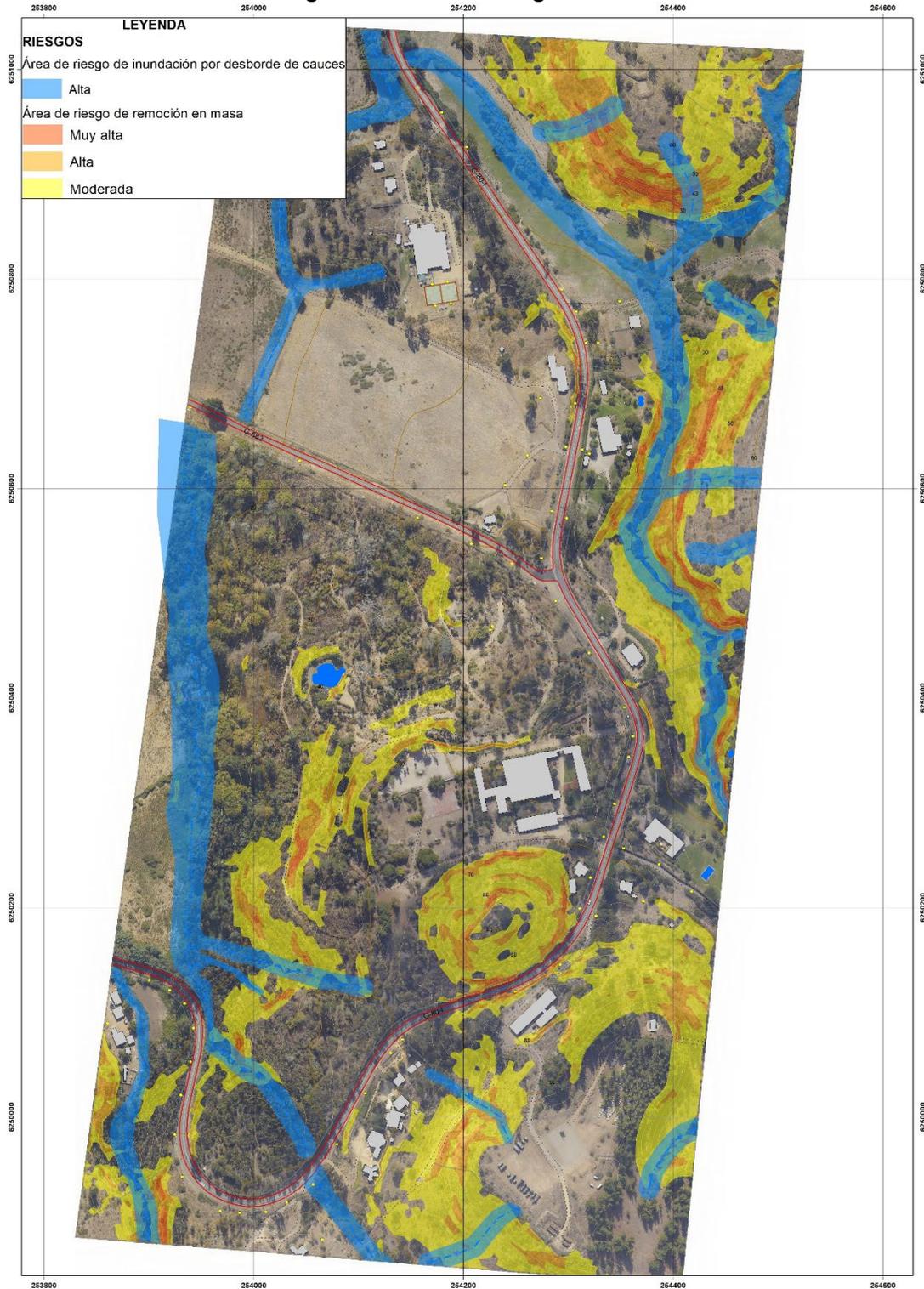
Fuente: Elaboración propia

Imagen 45: Áreas de riesgo Mostazal



Fuente: Elaboración propia

Imagen 46: Áreas de riesgo Bucalemu



Fuente: Elaboración propia

I.6 ZONAS NO EDIFICABLES

Las zonas no edificables se encuentran normadas por el ordenamiento jurídico vigente, y en ellas sólo se podrán autorizar actividades transitorias siempre que éstas se ajusten a la normativa que las rige. En el territorio del Plan se identifican las siguientes zonas no edificables:

| TEMA | ORDENAMIENTO JURIDICO |
|--|---|
| Fajas no edificables bajo los tendidos eléctricos | artículo 56 del D.F.L. No 1 de Minería, de 1982, y en los artículos 108° al 111° del Reglamento SEC: NSEG 5En.71, "Instalaciones de Corrientes Fuertes" |
| Fajas senderos de inspección de los canales de riego o acueductos | Código de Aguas, D.F.L. No.1.302, de 1990. |
| Territorios afectados por las superficies limitadoras de obstáculos que determine la Dirección de Aeronáutica Civil en los terrenos aledaños a Aeropuertos o Aeródromos. | Código Aeronáutico, aprobado por Ley No 18.916, de 1990, del Ministerio de Justicia, D.O. del 18/02/1990. |
| Fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles | Ley General de Ferrocarriles, D.S. No 1.157, del Ministerio de Fomento, de 1931. |
| Fajas de resguardo de los Caminos Públicos Nacionales | artículo 56 de la LGUC, y según lo señalado en los Artículos 36 y 40 del DFL 850 (MOP) del 12 de septiembre de 1997, D.O. del 25 de febrero de 1998 |
| Fajas o terrenos de protección de cursos naturales de agua, manantiales y quebradas, terrenos, de acuerdo a la Ley de Bosques | Ley de Bosques, Decreto Supremo N° 4.363 del Ministerio de Tierras y Colonización, de 1931 (D.O. del 31/7/31), y fajas de terrenos colindantes a los cauces de ríos cuya delimitación se encuentra sujeta a lo previsto en el D.S. N° 609, de 1978 (D.O. del 24/1/79) |
| Faja de 25 metros en torno a las áreas de inhumación, no edificable con viviendas | Reglamento General de Cementerios, D.S. N° 357 de 1970, del Ministerio de Salud (D.O. del 18/06/70), y demás normas pertinentes |
| Fajas no edificables en torno a Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas | su ancho y condiciones de ocupación serán determinados en los respectivos servicios competentes. |

Fuente: Elaboración propia

I.7 ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL

I.7.1 ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL

| CATEGORIA | NOMBRE | DECRETO |
|----------------------------|-------------------|---|
| Reserva Nacional | El Yali | Decreto 41 Ministerio de Agricultura (1996) Decreto 143 Ministerio de Agricultura (1998) |
| Sitio RAMSAR | Humedal El Yali | 1980 |
| Santuario de la Naturaleza | Humedal Río Maipo | Decreto N°1 Ministerio del Medio ambiente 2020 |

I.7.2 ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR CULTURAL

En el territorio del Plan se identifica 1 Monumentos Históricos declarado en 2015 por el Consejo de Monumentos Nacionales, los que se detallan a continuación

| CATEGORIA | NOMBRE | LOCALIZACIÓN | DECRETO |
|-----------------------|--|--------------------------------------|-----------------------|
| Monumentos Históricos | SITIO HISTÓRICO EX CENTRO DE DETENCIÓN EN BALNEARIO POPULAR ROCAS DE SANTO DOMINGO | Calle Gran Avenida Arturo Phillips 2 | Decreto N° 337 (2015) |

I.8 CONCLUSIONES

Las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y anegamiento corresponden al principal riesgo de la comuna, situación explicada principalmente por las características climáticas de precipitaciones anuales del orden de 500 mm de precipitación y concentraciones mayores 60 mm en 24 hrs. A lo anterior se suman rasgos geomorfológicos donde predominan lomajes y terrenos planos con pendientes inferiores a 3° (5,24%), situación que dificulta el escurrimiento natural provocando la inundación por desborde de cauces o la inundación por anegamiento.

En el Río Maipo, las áreas de inundación por desborde de cauces arrojan que en general las terrazas de inundación 1 y 2 contienen el flujo de la crecida debido la profundidad y amplitud de su cauce, la terraza 3 es inundada con menor frecuencia de inundabilidad con tasas de retorno de 60 años, con inundaciones como las ocurridas en los años 1987 y 2002. Adicionalmente, existen sectores de anegamiento (humedales) debido a factores como, baja pendiente, composición de los suelos (limos y arenas) y cercanía de la napa freática, esto ocurre principalmente al poniente del Puente Gallardo, estos sectores presentan cotas inferiores de los 2 msnm.

Respecto de las remociones en masa se concentran principalmente en sectores de laderas de quebradas y esteros donde la pendiente es mayor a 15° donde las precipitaciones y condiciones geológicas propician las condiciones de generar material (suelo) no consolidado para ser movilizado por la pendiente ya sea por conciencia sísmica o meteorológica.

La erosión acentuada, corresponde al sector de playas y dunas, litológicamente compuestas de arenas y grava no consolidadas, conformando líneas de montículos de arena que por sus características mecánicas pueden producir el efecto de amplificación sísmica, adicionalmente estas formaciones están expuestas a dinámica eólica litoral (arrastre de partículas de arena por efecto del viento). La altura de las dunas en promedio va de los 8 a 10 metros, esta condición las hace actuar como agentes disipadores de energía respecto de marejadas y Tsunamis, como el ocurrido el 27F, donde las dunas en el sector sur de Santo Domingo contuvieron en gran parte las olas y evitaron que llegar al pie de monte construido.

El riesgo de inundación por Tsunamis, presenta evidencias históricas de inundaciones en la comuna de Santo Domingo como en las comunas vecinas. Existen registros de la altura hasta donde llegaron las olas, dichas alturas varían dependiendo de la posibilidad de dispersión o confinamiento del cuerpo de agua, por ejemplo en Mostazal se registraron alturas sobre 15 msnm, mientras que en Santo Domingo van de 5 a 10 msnm en el 27F. Respecto del área de riesgo de Tsunamis, se definió en base a la modelación del evento de 1730 con una magnitud de 8.7 Mw frente a las costas de la comuna, dicha modelación aumenta el área inundada respecto de la inundación del 27F, inunda el sector de las dunas y penetra por el Cajón del Río Maipo, pasando el Puente Gallardo. En este sector coincide con el área de inundación por desborde de cauce y el sector del humedal, generando un sector de alto riesgo para asentamientos humanos.

Recomendaciones de planificación:

- Riesgo de inundación.

Los ríos, lagos y cuerpos de agua en general, cumplen funciones esenciales para la preservación de los ecosistemas y las relaciones territoriales (Naiman et al. 1993, Allan 2004), teniendo una dependencia estrecha y recíproca con la vegetación ribereña (Guevara et al. 2008). Se reconoce esta última como sistema vegetal cercano a cursos y cuerpos de agua, siendo una transición entre hábitats terrestres y acuáticos en sus diferentes estratos verticales, incluidas las herbáceas (Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile).

Consecuente con lo anterior se sugiere que para la ocupación de este territorio el Plan considere condiciones de ocupación compatibles con la caja de los ríos y su terraza adyacente, de manera de resguardar sus condiciones naturales y normal funcionamiento; y restringir el emplazamiento de equipamientos primarios como educación, salud o seguridad, así como el emplazamiento de la población permanente en los territorios que presenten riesgos por desbordes de cauces asociados al Río Maipo y de Tsunamis asociados al borde costero.

- Riesgo por anegamiento.

Las áreas de anegamiento pueden ser utilizadas con actividades temporales (no permanentes) de baja intensidad, compatibles con las características de inundabilidad de estos sectores.

- Riesgo de remoción en masa.

En cuanto a las áreas de riesgo de remociones masa, localizadas principalmente en sectores de laderas y sus áreas aledañas, se sugiere establecer condiciones de ocupación y actividades de bajo impacto, de manera de no propiciar edificaciones con una intensidad que altere sus condiciones naturales y de estabilidad.

- Riesgo por erosión acentuada.

Respecto de las áreas de riesgo por erosión acentuada (sectores de playas y dunas) se sugiere definir condiciones ocupación de baja intensidad, que en lo posible no alteren las cotas de altura existentes en los sectores de dunas inmediatos al borde costero, por su importancia como agentes disipadores de energía respecto de marejadas y Tsunamis.

Cabe señalar que para habilitar la ocupación y edificación en las áreas de riesgo antes descritas, aplica lo dispuesto en el Artículo 2.1.17. de la OGUC, sobre la elaboración de estudios de riesgo fundados, mediante los cuales se definen las medidas y obras de mitigación respectivas.

En este sentido, una vez identificados los peligros, definidos los grados de susceptibilidad y el alcance territorial de ellos, es necesario incorporar estos resultados en la zonificación urbana. Esto debe realizarse a través de la aplicación del artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y/o tomando otras medidas de

planificación acordes a las atribuciones que otorga la LGUC y la OGUC al Plan Regulador Comunal.

Finalmente, se recomienda realizar capacitaciones a la población con respecto a los peligros geológicos, considerando sus causas y consecuencias, en las que además se informe adecuadamente acerca de las medidas a adoptar frente a situaciones de emergencia (sistemas de alerta, vías de evacuación, zonas seguras), con el objetivo de promover el autocuidado. En caso de que la autoridad no pueda dar una alerta oportuna, la educación y conocimiento acerca de los diferentes peligros y riesgos geológicos pueden salvar vidas, ya que condiciona una reacción correcta y autónoma por parte de la población.

I.9 BIBLIOGRAFÍA

Astroza, M.; Moya, A.; Sanhueza, S. 2002. Estudio Comparativo de los efectos de los terremotos de Chillán 1939 y Talca, 1928. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias y Matemáticas. Universidad de Chile.

Beck, S.; Barrientos, S.; Kausel, E.; Reyes, M. 1998. "Source characteristics of historic earthquakes along the central Chile subduction zone", *Journal of South American Earth Sciences*, 11, 2, pp. 115-129.

Belmonte, J. 1997. Análisis del Contacto Sismogénico Interplaca a lo Largo de Chile. Santiago: Tesis de Magíster, Depto. de Geofísica. Universidad de Chile, 148 pp.

Belmonte-Pool J, 2011 "Estudio fundado de riesgos por tsunami área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal comuna de Santo Domingo

Brignardello Luigi, PUC 1997. Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfico" 20 pág.

Cruden, D.M, and Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., p. 36–75.

EIA Puerto Exterior San Antonio, capitulo 3.6 RIESGO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO, 2020.

Falcón, M.; Ramírez, P. 2012. Generación de Mapas de Licuefacción a partir del sismo de febrero de 2010. Servicio nacional de Geología y Minería.

Falcón, M.; Ramírez, P. 2012. Licuefacción en Chile: lecciones del sismo del Maule del 27 de febrero de 2010. Servicio nacional de Geología y Minería.

Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile

González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Pearson. 744pp.

Keller, E.; Blodget, R. 2004. Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Editorial Pearson, S.A., Madrid 2004. 448 pp.

Hauser A, 1985. Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. Revista Geológica N°24 1985, p.75-92.

Hauser, A. 2000. Remociones en masa en Chile. Santiago de Chile: SERNAGEOMIN, Boletín N° 59.

Hungr, O.; Evans, S.; Bovis, M.; Hutchinson, J. 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides* (2014) 11:167–194.

Lara, L.; Orozco, G.; Amigo, A.; Silva, C. 2011. Peligros Volcánicos de Chile. Carta Geológica de Chile N°13 escala 1:2.000.000. Serie Geología Ambiental. Servicio Nacional de Geología y Minería. IUSNN 0717-7305.

Lara, M. 2007. Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 212 p.

Lazo, R. 2008. Estudio de los daños de los terremotos del 21 y 22 de mayo de 1960. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Leyton, F.; Ruiz, S.; Sepúlveda, S. 2010. Reevaluación del peligro sísmico probabilística en Chile Central. *Andean Geology*. Versión on-line. ISSN 0718-7106. V. 37, n° 2. 21 pp.

Madariaga, R. 1998. Física de la Tierra TS5N: 0214-4557. 1998, n.10, p. 221-255 Sismicidad de Chile.

Martínez Carolina. 2011. Estudio fundado de riesgos por inundación de cursos hídricos superficiales área urbana de santo domingo y localidad de mostazal comuna de Santo Domingo para efecto de modificación del plan regulador comunal

ONEMI. 2009. Informe Consolidado N°1. Sismo destructivo del 03 de marzo de 1985. División de Protección Civil. Unidad de Riesgos de Origen Natural. 21pp.

Paskoff, Roland, Manríquez, Hermann, Cuitiño, Lucía, & Petiot, Robert. (2000). Características, origen y cronología de los cordones dunares de la playa de Santo Domingo, Región de Valparaíso, Chile. *Revista geológica de Chile*, 27(1), 121-131. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082000000100008>

Ruiz, S. y G.R. Saragoni. 2005. "Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos de sismogénesis y los efectos del suelo". IX Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Concepción, p. 16-19.

Rojas, Octavio, Mardones, María, Arumí, José Luis, & Aguayo, Mauricio. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. *Revista de geografía Norte Grande*, (57), 177-192

CONAF, 2016 Plan protección contra incendios forestales comuna de San Fernando, 2016-2018,

SERNAGEOMIN. Principales desastres ocurridos desde 1980 en Chile.

SERNAGEOMIN. 2010. Efectos Geológicos del sismo del 27 de febrero 2010. Evaluación preliminar y propuesta de actividades futuras. INF-NAC-01. 16 pp.

SERNAGEOMIN. Mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000.

Otras Fuentes:

- www.csn.uchile.cl/ Centro Sismológico nacional. Sismos y sismicidad en Chile.
- www.bcn.cl/siit/nuetropais/
- <http://www.sernageomin.cl/>
- <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl>
- Pauta para estudio de suelos. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Gobierno de Chile 2011.
- <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/areas-protegidas/>
- https://online.desinventar.org/desinventar/#CHL-1257983285-chile_inventario_historico_de_desastres