

# ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL, COMUNA DE PORVENIR



## FASE II: APROBACIÓN

Proceso: Ingreso y Aprobación Informe Ambiental

## INFORME DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

Enero, 2023



## ÍNDICE

I	INTRODUCCIÓN .....	7
I.1	OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	7
I.2	ALCANCE Y LIMITACIONES .....	7
I.3	MARCO JURÍDICO .....	8
II	LÍNEA DE BASE MEDIO FÍSICO Y NATURAL.....	10
II.1	CLIMA .....	10
II.2	HIDROGRAFÍA .....	18
II.2	GEOMORFOLOGÍA .....	21
II.4	GEOLOGÍA .....	22
II.5	SUELO .....	25
II.6	VEGETACIÓN .....	28
II.7	ÁREA BAJO PROTECCIÓN OFICIAL.....	30
II.8	VOLCANISMO .....	37
II.9	SISMOS .....	41
II.10	TSUNAMI .....	47
II.11	LICUEFACCIÓN .....	49
II.12	INCENDIOS.....	50
II.13	CATASTRO DE HISTÓRICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS.....	51
II.14	CONCLUSIONES LÍNEA DE BASE MEDIO FÍSICO .....	53
III	ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	56
III.1	CONCEPTOS.....	56
III.2	REMOCIONES EN MASA .....	57
III.3	INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCES .....	64
III.4	INUNDACIONES POR ANEGAMIENTO .....	66
III.5	INUNDACIONES POR TSUNAMI.....	68
IV	METODOLOGÍA.....	69
IV.1	REMOCIONES EN MASA .....	70
IV.2	INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCES Y ANEGAMIENTO .....	71
IV.3	INUNDACIONES POR TUSUNAMI .....	72
IV.4	ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD.....	72
V	RESULTADOS .....	74
V.1	ZONAS PROPENSAS A AVALANCHAS, RODADOS, ALUVIONES O EROSIONES ACENTUADAS.....	74
V.2	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 ....	75
V.3	ÁREAS DE RIESGO POR ACTIVIDADES O INTERVENCIÓN HUMANA .....	75
V.4	ZONAS NO EDIFICABLES .....	78
V.5	ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL .....	79

V.5.1	ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL .....	79
V.5.2	ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR CULTURAL .....	79
VI	CONCLUSIONES .....	81
VII	REFERENCIAS .....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clima comunal.....	12
Figura 2 Precipitación Promedio Mensual 1991-2020 .....	14
Figura 3 Precipitación Promedio Anual 1991-2020 .....	15
Figura 4 Máxima en 24 hrs. Precipitación (mm) .....	18
Figura 5 Hidrografía comunal .....	20
Figura 6 Geología comunal.....	23
Figura 7 Perfil horizontes de suelo.....	25
Figura 8 Localización de calicatas Porvenir .....	27
Figura 9 Monumento Natural Laguna Cisnes.....	31
Figura 10 Zonas de Uso Plan de Manejo Laguna de Los Cisnes CONAF 2014 .....	33
Figura 11 Antecedentes técnicos solicitud de Humedal Urbano Porvenir .....	35
Figura 12 Cartografía de Solicitud de Humedal Urbano de Porvenir .....	36
Figura 13 Zonificación del Vulcanismo en Los Andes .....	37
Figura 14 Zonificación del Vulcanismo en Los Andes .....	38
Figura 15 Área de peligro volcánico .....	41
Figura 16 Modelo de subducción corteza oceánica (Placa de Nazca) – corteza continental (Placa Sudamericana). .....	42
Figura 17 Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto.....	44
Figura 18 Mapa tectónico simplificado .....	45
Figura 19 Carta de inundación por tsunami Porvenir.....	48
Figura 20 Número de incendios por temporada 1985-86 A 2019-20 .....	50
Figura 21 Superficie siniestrada por temporada 1985-86 A 2019-20.....	50
Figura 22 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas.....	58
Figura 23 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos.....	59
Figura 24 Remociones en Masa de tipo Flujo.....	60
Figura 25 Terrazas de inundación con periodos de retorno hipotéticos .....	65
Figura 26 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno.....	71
Figura 27 Susceptibilidades de las áreas de riesgos de Porvenir .....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación climática de Koppen en Comuna de Porvenir .....	11
Tabla 2: Línea base (1980 - 2010) - Escenario 2050.....	13
Tabla 3 Precipitaciones mensuales Estación Porvenir .....	15
Tabla 4: Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), Estación Porvenir,.....	17
Tabla 5 Unidades geológicas comuna de Porvenir .....	23
Tabla 6 Vegetación y uso de suelo .....	29
Tabla 7 Coordenadas del polígono ajustado del humedal urbano Porvenir, mediante coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19 Sur .....	35
Tabla 8 Registro de alerta roja ONEMI .....	51
Tabla 9 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones .....	51
Tabla 10 Registro de riesgos naturales y antrópicos por Desinventar Sendai para comuna de Torres del Paine .....	53
Tabla 11 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad .....	73

# **I INTRODUCCIÓN**

En el contexto de la Licitación Pública Estudio: “Actualización, Prosecución y Tramitación Plan Regulador Comuna de Porvenir, Región de Magallanes y Antártica Chilena”, se presenta a continuación los resultados del Estudio de Riesgos Naturales, 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 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 de origen natural y antrópico 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.2 ALCANCE 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 1:250.000). 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.

### **I.3 MARCO JURÍDICO**

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su apartado 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:

- a. 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 y anegamiento.
- b. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas, Corresponde en este estudio a los peligros geológicos de remociones en masa
- c. Zonas con riesgo de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas, no zonificados en este estudio
- d. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana. Corresponde en este estudio a vertederos

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 de origen natural que generan la definición de zonas de riesgo según la OGUC, se reconocen procesos de inundación y anegamiento; remociones en masa e incendios. Además de lo anterior, la Norma Chilena de Construcción incorpora las variables sísmicas, considerando que Chile es uno de los países más sísmicos



del mundo (amenaza 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 aquéllas 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.

## II LÍNEA DE BASE MEDIO FÍSICO Y NATURAL

Para un análisis íntegro del territorio y sus dinámicas, se hace necesario conocer los componentes y fenómenos del medio físico y biótico, indagando en los elementos que constituyen el sistema ambiental, como son la geología, la geomorfología, la hidrografía, la climatología, la hidrogeología y los suelos. El reconocimiento de estos elementos nos permite interpretar las condiciones de formación, la modelación del relieve, así como también, conocer las aptitudes, usos y restricciones que el territorio presenta. Cabe mencionar que el ambiente físico se encuentra en directa relación con los elementos que conforman el medio biótico, destacando las formaciones vegetacionales, la biodiversidad y los sitios de valor natural que albergan estos ecosistemas a través de una política de regulación respecto a sus usos.

### II.1 CLIMA

La configuración del relieve, la influencia del mar y los fuertes vientos dominantes del oeste y sudoeste, son factores determinantes en la rigurosidad del clima regional. La vertiente occidental de la cordillera se encuentra expuesta a la acción de los vientos húmedos del Pacífico, presentando un tipo de clima templado frío y lluvioso sin estación seca, con precipitaciones que van desde los 1.500 mm. hasta los 4.500 mm. anuales. La temperatura media anual es de 6,4 °C.

La vertiente oriental en cambio, se presenta más protegida de los vientos y las precipitaciones son bastante menores, presentando un clima semiárido frío, aumentando la aridez hacia el Atlántico. Las lluvias se distribuyen en forma más o menos homogénea a lo largo del año, fluctuando entre los 200 y 550 mm. anuales. La temperatura media anual es de 6,7°C.

Según Carrasco (et al, 1998), la particular configuración del relieve de la región de Magallanes unida a la influencia del mar y los fuertes vientos dominantes del sudoeste, constituye el factor determinante de las características del clima regional.

La primavera en Porvenir es una temporada muy ventosa, pero aun así, estos vientos no llegan al estado de tornados o huracanes. Los vientos predominantes son de dirección oeste y oeste-noroeste siendo los meses más ventosos octubre, noviembre y diciembre, con intensidades máximas absolutas de 138 y 120 km/h respectivamente<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> PLADECO Porvenir 2014-2017

De acuerdo con la clasificación de Köppen, la comuna cuenta con los siguientes tipos de climas:

- **Csc**, Clima mediterráneo frío de lluvia invernal
- **ET**, Clima de tundra

Tabla 1 Clasificación climática de Koppen en Comuna de Porvenir

Tipo	Pp_mm	Tmed	Alt_min	Alt_max
Csc, Clima mediterráneo frío de lluvia invernal	900	6	650	2500
ET, Clima de tundra	700	4	2000	4300

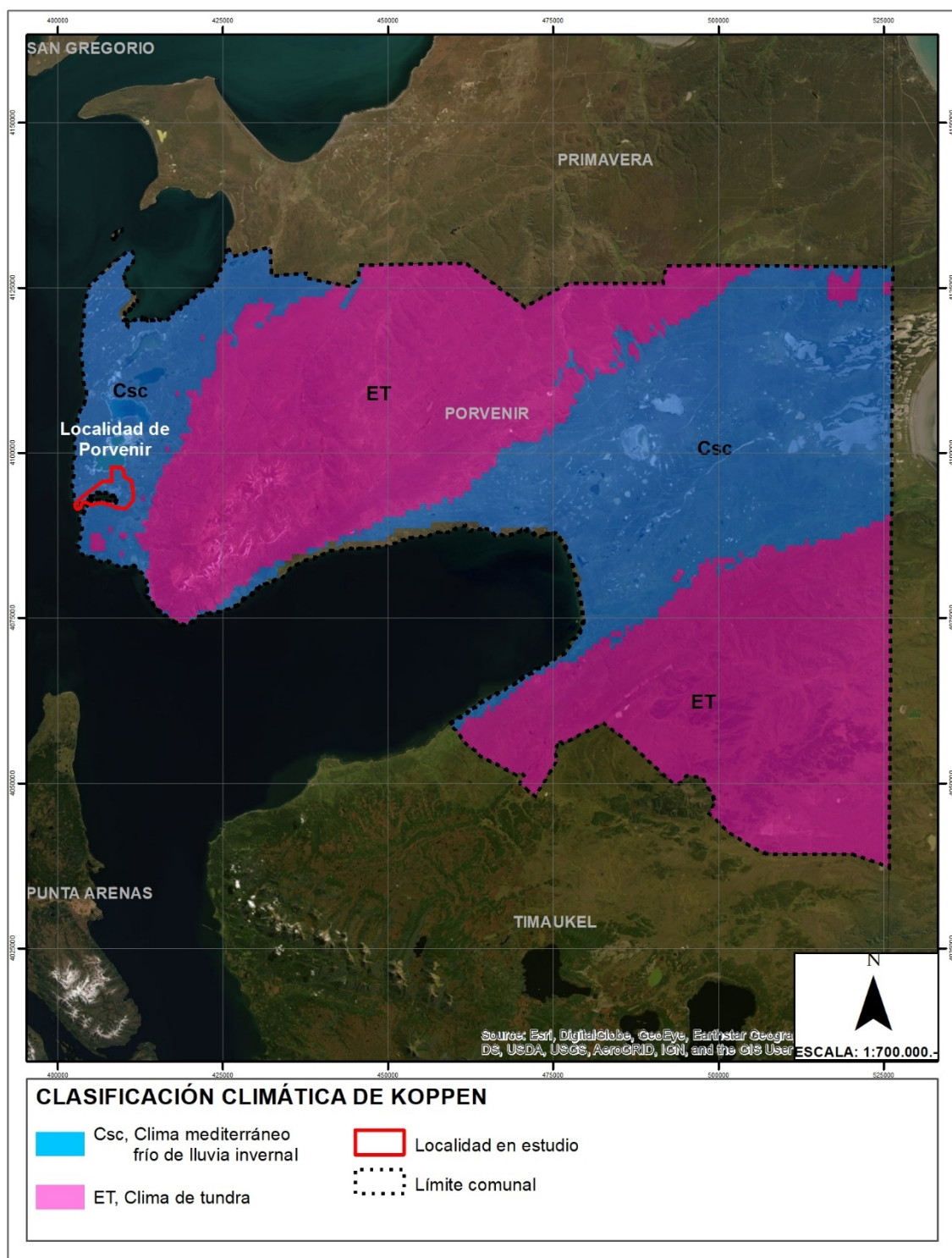
Fuente: Koppen 2017

Son característicos de la comuna el clima de Tundra (ET) sobre los 2000 metros de altitud y corresponde a sectores de montaña. Bajo los 2000 metros de altitud se encuentra el clima mediterráneo frío de lluvia invernal (Csc) con un aumento de precipitaciones que corresponde a los sectores con mayores precipitaciones en la comuna.

De acuerdo a dicha clasificación y a la siguiente figura se puede observar que la localidad de Porvenir se encuentra en el clima mediterráneo frío de lluvia invernal (Csc) en general corresponde a un sector de altas precipitaciones.

En la siguiente imagen se puede apreciar la localización de los tipos de climas en función de la altura y la topografía en general.

Figura 1 Clima comunal



Fuente: Koppen 2016

## a Temperatura

De acuerdo con 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 para la comuna de Porvenir presenta los siguientes resultados.

En cuanto a los resultados de la temperatura en la comuna se observa un aumento de la Temperatura media del período estival (Diciembre - Enero - Febrero) de 1° Celsius respecto de la proyección del escenario del año 2050 y un aumento de 1,5° Temperatura media del período invernal (Junio - Julio - Agosto).

Respecto de los resultados de las precipitaciones en la comuna se observa un aumento de la precipitación normal anual de 20 mm respecto de la proyección del escenario del año 2050, como se puede observar en la siguiente tabla.

En general la proyección de temperatura y precipitaciones al año 2050, supone un aumento de las temperaturas tanto en época estival como en invernal, especialmente en invierno (mes de julio) y un leve aumento de las precipitaciones mínimas y máximas.

Tabla 2: Línea base (1980 - 2010) - Escenario 2050

ESCENARIO	TXE	TNE	TXJ	TNJ	Temed	Tjmed	PPA	PPA MIN	PPA MAX
LINEA BASE (1980 - 2010)	15,4	6,5	3,9	-0,2	10,4	1,8	1065	549	1557
ESCENARIO 2050	16,5	7,6	5,5	1,5	11,4	3,3	1085	550	1603
DIFERENCIA	1,1	1,1	1,6	1,7	1	1,5	20	1	46
<b>TXE:</b> Temperatura máxima estival (Máxima media del mes más cálido, ENERO).									
<b>TNE:</b> Temperatura mínima estival (Mínima media del mes más cálido, ENERO).									
<b>TXJ:</b> Temperatura máxima invernal (Máxima media del mes más frío, JULIO).									
<b>TNJ:</b> Temperatura mínima invernal (Mínima media del mes más frío, JULIO).									
<b>Temed:</b> Temperatura media del período estival (Diciembre - Enero - Febrero).									
<b>Tjmed:</b> Temperatura media del período invernal (Junio - Julio - Agosto).									
<b>PPA:</b> Precipitación normal anual.									
<b>PPA MIN:</b> Precipitación anual más baja en cada subcomuna.									
<b>PPA MAX:</b> Precipitación anual más alta en cada subcomuna.									

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

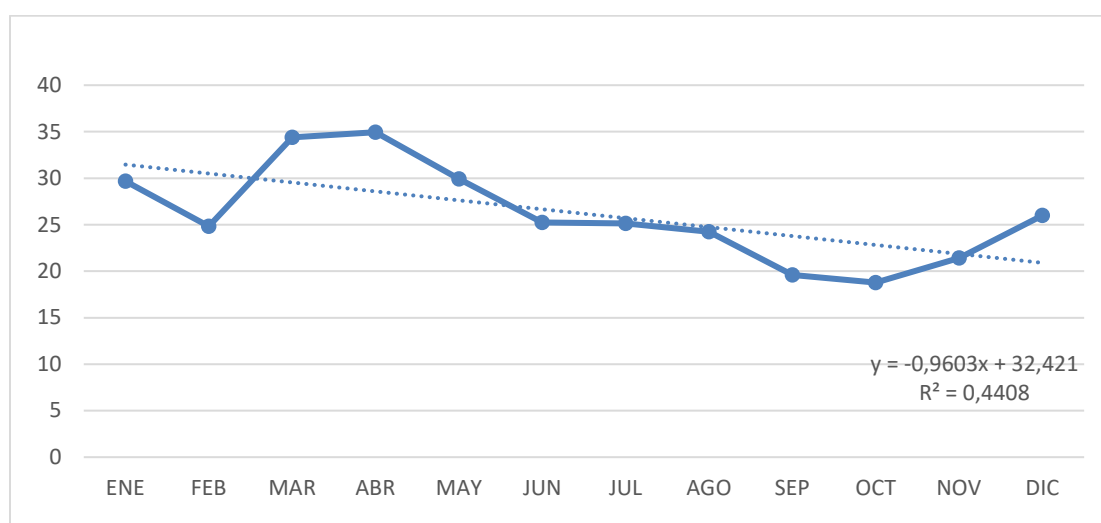
## b Precipitaciones

### Precipitaciones mensuales

Las precipitaciones mensuales, fueron obtenidas de la Dirección General de Agua (DGA), a través de “Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea”, se consultó un periodo de 30 años (1991 a 2020), para la estación Porvenir.

El análisis de las precipitaciones mensuales en un periodo de tiempo (mayor a 10 años) nos permite visualizar los meses de mayor concentración de precipitaciones y que para el caso de la localidad de Porvenir corresponden a marzo, abril y mayo principalmente (sobre 30 mm).

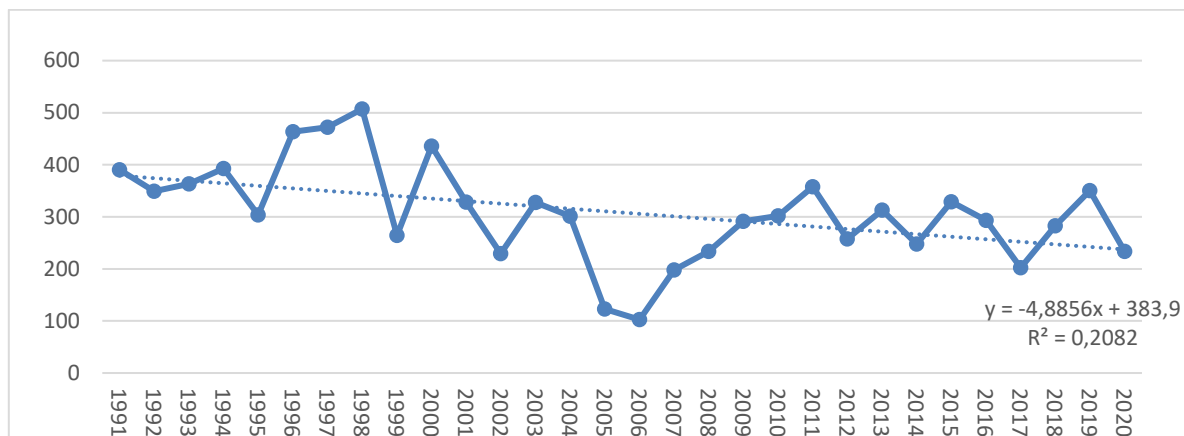
Figura 2 Precipitación Promedio Mensual 1991-2020



Fuente: [www.dga.cl](http://www.dga.cl)

Respecto de la suma de las precipitaciones mensuales durante el periodo consultado obtenemos en calculo lineal tiene una tendencia a la disminución de las precipitaciones, como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 3 Precipitación Promedio Anual 1991-2020



Fuente: www.dga.cl

Tabla 3 Precipitaciones mensuales Estación Porvenir

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1991	39,8	47	62,9	35,2	22,9	33	13	4,6	26	19,9	29,4	56	390,3
1992	26,8	20	47,6	42,5	37	35	13	11,2	41	25,3	21,9	28	349,3
1993	70,6	36	70,6	32,2	25,3	12	27	37,5	9,9	17,9	5,1	20	363,5
1994	36,1	13	57,3	57,4	31,8	35	1,5	31,7	25	14,7	28,9	61	392,9
1995	14,1	29	35,3	16,1	41,9	11	40	31,3	23	23,5	16,4	23	303,6
1996	33,3	30	91,7	61,4	60,2	14	18	28,1	29	27,6	22,5	47	463,4
1997	44	37	30,4	62,1	33,4	43	28	40,3	48	22,6	37,6	46	471,8
1998	79	48	44,8	25,3	64,9	34	50	40,6	21	33	33,7	33	507,1
1999	15,9	28	16,8	13,4	29,9	12	26	45,2	36	10,9	21	9,8	264,4
2000	54,5	42	49,6	28,2	45,8	23	30	21,5	15	21	46,6	58	435,6
2001	55,9	43	18,5	26	39,4	34	35	17,3	17	8	18,8	16	328,2
2002	15,2	21	18,8	45,5	9,8	5	32	31	24	11,5	□	15	229
2003	12,5	28	14,9	23,4	29,3	28	20	29,5	38	41	21,5	41	327,8
2004	43,5	38	20	22,5	9,5	30	12	13,9	17	18	59	19	301,4
2005	15,2	6	9,5	16,5	8,5	18	10	8,5	8,5	10,5	8	4	122,7
2006	4,5	11	11	13,5	9	17	10	1,5	8	10,5	6,5	1	102,5
2007	10	23	42	41	5,5	22	7,5	10	15	9	9	4,5	198
2008	2,5	2,5	8,3	16	12	25	45	37	22	23,5	24	16	233,3
2009	19,5	23	24,5	43,2	33,5	20	19	53,5	21	8,5	23,5	3,5	291,3
2010	62	20	23	41,5	25,5	37	27	12	8,2	26,5	10,8	10	302,1
2011	50,7	22	19,3	58	30,5	14	49	35	30	23	15,5	11	357,7
2012	25,9	1	30,6	21	20,2	17	29	7,4	21	12	25,7	48	257,6
2013	35	26	60,6	45,5	8	30	11	22	7	8,8	13,9	46	312,9
2014	25,5	25	23,4	22,3	17	29	16	30	18	13,3	7,4	21	247,8
2015	9,1	14	30,5	23,7	66,6	48	48	29,9	4,8	26,6	17,7	9,8	328,9
2016	10,1	49	21,3	32	5,4	34	38	31,6	3,6	22,4	13,6	32	293,1
2017	4,7	*	*	47,6	51,2	25	18	12,3	12	9,2	22,8	*	202,5
2018	24,1	16	18,7	75,9	29,5	34	*	21,8	9	24,7	9,9	19	282,7
2019	9,8	15	50,8	55,6	41,8	33	41	16,3	23	7,1	29	29	350,4
2020	40,3	9,5	45,1	3,8	52,2	11	16	14,6	8	32,7	*	*	233,5

Fuente: www.dga.cl

### **Precipitaciones máximas anuales en 24 hrs**

Las precipitaciones máximas anuales en 24 hrs, fueron obtenidas de la Dirección General de Agua (DGA), a través de “Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea”, se consultó un periodo de 30 años (1990 a 2020), para Porvenir

La estación Porvenir, presenta registros a contar del año 1990, en esos 30 años no existen registros sobre los 60 mm en 24 hrs, considerados como de riesgos de acumulación de aguas lluvias.

Los mayores registros corresponden a año 2018, 1996 y 1993. De acuerdo con los registros de la estación antes expuesta, se considera baja evidencia de concentración de precipitaciones máximas en 24 hrs (mayores a 60 mm)., esta situación hace suponer una distribución más homogénea de las precipitaciones. Otro elemento corresponde a que parte importante de las precipitaciones son en estado sólido.

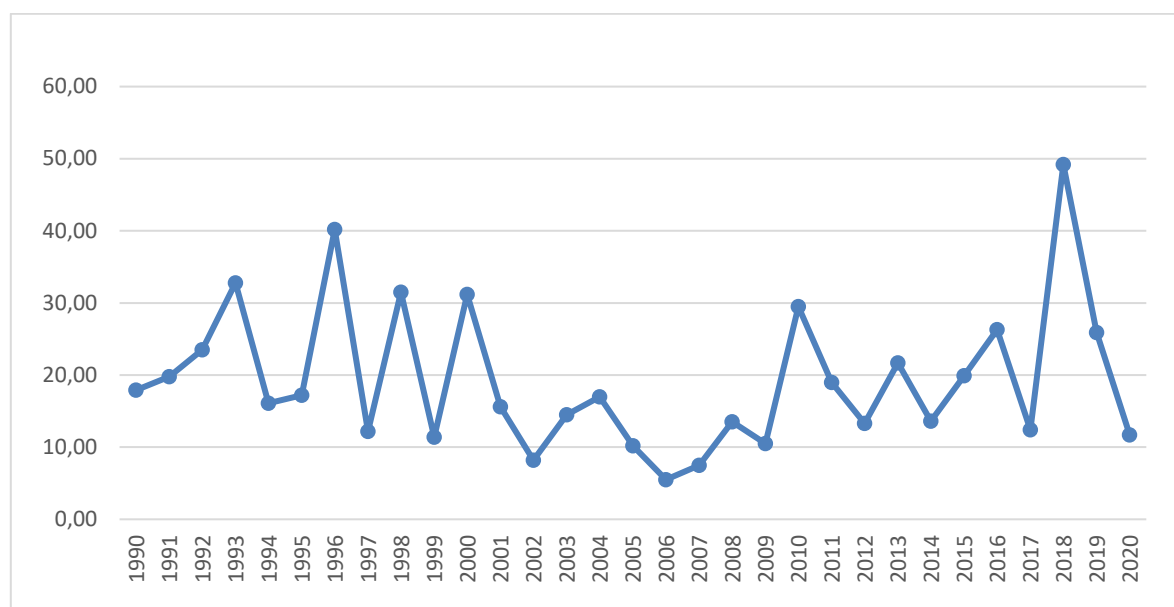


Tabla 4: Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), Estación Porvenir,  
periodo consultado: 01/01/1990 - 01/01/2020

FECHA	AÑO	MAXIMA EN 24 HS. PRECIPITACION (mm)
02/04	1990	17,90
25/01	1991	19,80
26/09	1992	23,50
23/03	1993	32,80
13/06	1994	16,10
22/08	1995	17,20
11/03	1996	40,20
23/08	1997	12,20
19/01	1998	31,50
06/09	1999	11,40
03/01	2000	31,20
04/05	2001	15,60
16/04	2002	8,20
15/10	2003	14,50
12/11	2004	17,00
18/01	2005	10,20
12/03	2006	5,50
03/03	2007	7,50
21/08	2008	13,50
29/11	2009	10,50
01/04	2010	29,50
04/08	2011	19,00
11/03	2012	13,30
08/03	2013	21,70
29/12	2014	13,60
24/07	2015	19,90
02/02	2016	26,30
03/04	2017	12,40
04/04	2018	49,20
16/03	2019	25,90
10/01	2020	11,70

Fuente: [www.dga.cl](http://www.dga.cl)

Figura 4 Máxima en 24 hrs. Precipitación (mm)



Fuente: [www.dga.cl](http://www.dga.cl)

## II.2 HIDROGRAFÍA

Debido a las diferentes condiciones climáticas de la región y al intenso trabajo de los hielos que dejaron tras de sí una accidentada topografía, los ríos presentan regímenes muy disímiles, siendo muy escasos los cursos superficiales que van de cordillera a mar. Es así, que en la vertiente oriental los ríos son de menor caudal y de una larga extensión, mientras que los del poniente son caudalosos y cortos.

Los sistemas montañosos determinan para la Tierra del Fuego, la formación de un rico complejo hidrográfico. La isla posee una gran cantidad de depósitos lacustres, de variado tamaño y características<sup>2</sup>.

La zona de Porvenir pertenece al sistema tributario del Estrecho de Magallanes, con los principales ríos que son el Río Sta. María que desemboca al nivel del Paso Boquerón y el Río Verde que desemboca a la Bahía Gente Grande, que se ubican al sur y noreste del área, respectivamente. Igualmente, se encuentran los Río del Oro, Río Serrano, Río Porvenir, Río Centenario, Río Torcido, Río Chico.

<sup>2</sup> PLADECO Porvenir 2014-2017

La comuna de Porvenir posee también un conjunto lacustre formado por las lagunas Turbia, Serrano, Verde y de Los Cisnes<sup>3</sup>

### **La Laguna Los Cisnes**

Esta Laguna posee un tratamiento particular porque está declarada Monumento Natural por Decreto N° 160 del Ministerio de Agricultura del 13 de octubre de 1982. Disfruta de una protección legal gracias a este decreto. Determinaron también su objetivo como resguardar y conservar la valiosa fauna avícola que vive en sus siete islotes y orillas (CONAF, 2002).

### **Bahía Inútil**

Hidrógrafos británicos que hicieron un levantamiento de la Bahía Inútil en 1827, y le colocaron tal nombre debido a que no tenía ningún puerto practicable. Es una extensa bahía bordeada de costas planas. Un camino costero bordea la bahía en un interminable recorrido por caseríos y pequeñas caletas.

### **Laguna Santa María**

En la Laguna Santa María, a 15 kms. al sur de Porvenir, se puede encontrar una reserva de aves acuáticas, entre las que sobresalen cisnes de cuello negro, taguas, flamencos y otras especies.

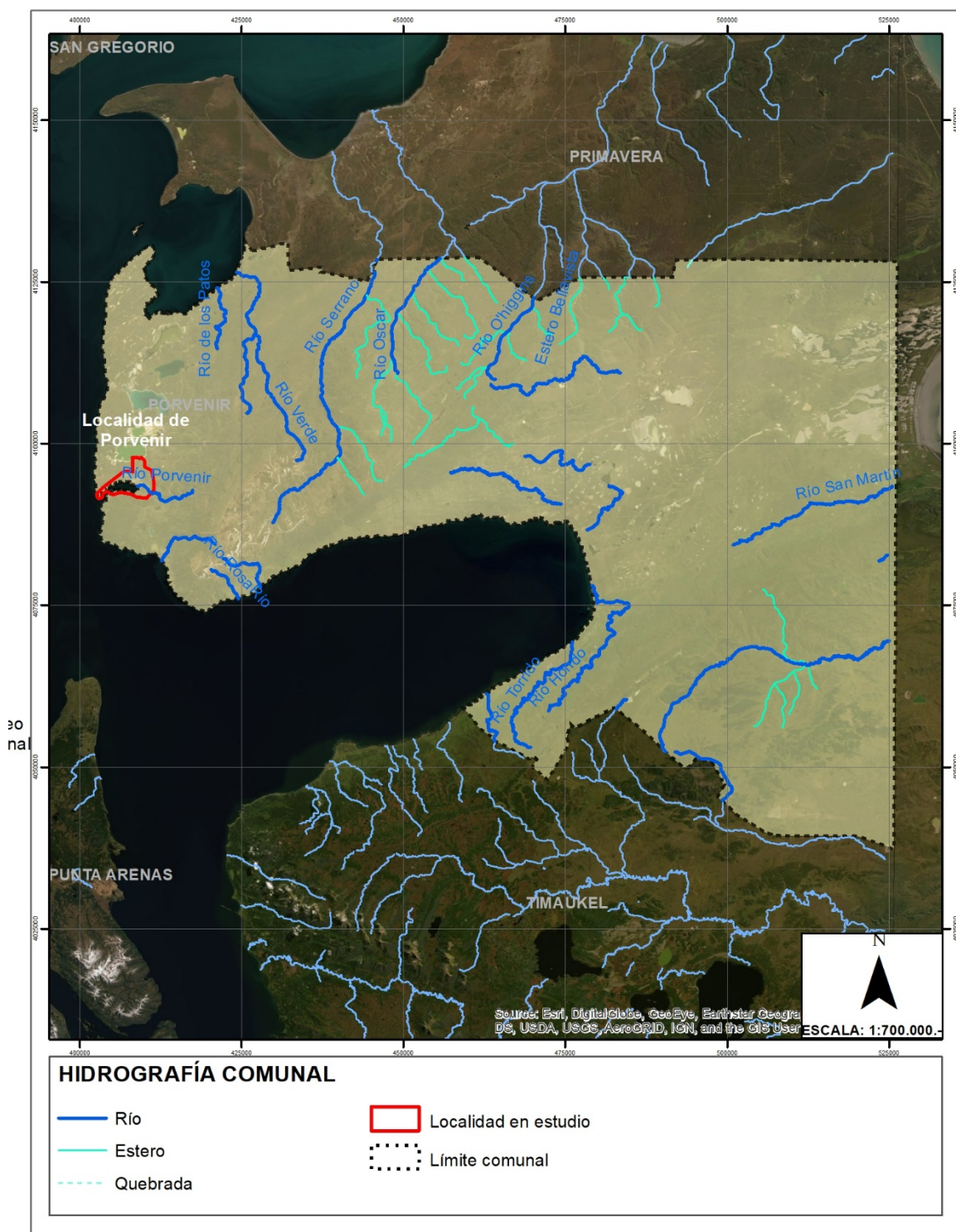
### **Bahía Chilota**

Bahía Chilota se encuentra a 6 km. de Porvenir, donde se puede observar una pequeña colonia de delfines, una reserva de aves acuáticas, cisnes de cuello negro, taguas y en el otoño los flamencos.

---

<sup>3</sup> Plan Comunal de Turismo. M. Loreto Minoletti O., Consultora en Medio Ambiente trabajando en el proyecto de “Planta de Deshidratado y Elaboración de Extractos de Algas Marinas en Porvenir, XII Región”.

Figura 5 Hidrografía comunal



Fuente: [www.dga.cl](http://www.dga.cl)

## II.2 GEOMORFOLOGÍA

### a Geomorfología Regional

De manera general la región de Magallanes difiere del resto del país, teniendo sólo en común la cordillera de Los Andes. Esta zona austral, por el Este, presenta áreas importantes que corresponden a territorios transandinos característicos de esas latitudes, de aspecto llano y suave, muy distinto a la configuración tradicional de las áreas ubicadas más al norte.

Hacia el Oeste, se encuentra la cordillera de los Andes, con menor altura que en el resto del país, con cumbres de no más de 3.600 m.s.n.m. La altitud máxima está representada por el Cordón Mariano Moreno, ubicado en el corazón del Hielo Patagónico sur, la cual alcanza aproximadamente los 3.536 m.s.n.m en las inmediaciones del Glaciar Pío XI.

El rasgo natural más sobresaliente del relieve andino radica en el arco que describe desde los 52°0 Latitud Sur, de manera que en la isla Hoste termina por orientarse en dirección sudeste.

La acción de los hielos ha sido intensa sobre todo hacia el poniente, área que ha sido transformada, dando origen a numerosos archipiélagos, penínsulas, fiordos, canales y bahías, siendo éste un rasgo característico de la región austral.

### b Ambientes Geomorfológicos

Existen en la región de Magallanes varios ambientes geomorfológicos, en el caso particular de Porvenir es posible identificar cinco ambientes:

- a) Litoral oceánico que corresponde a una angosta faja expuesta a la influencia directa del océano.
- b) Canales interiores, abarca desde la franja litoral hasta las rutas habituales de navegación y la mayor parte de las islas ubicadas al suroeste del estrecho de Magallanes y Tierra del Fuego.
- c) Andino, en que se presenta el eje de la cordillera de Los Andes incluyendo las apariciones en península Muñoz Camero, Isla Riesco, Isla Santa Inés y Cordillera de Darwin en Tierra del Fuego.
- d) Precordillerano, en donde se encuentran todas las serranías bajas cubiertas de Nothofagus Pumilio (Lenga) que constituyen los bosques productivos de la región.
- e) Estepa, la extensa área de planicies sustentadoras de una de las actividades regionales más importante, como lo es la ganadería.

## II.4 GEOLOGÍA

A escala regional, y coincidente con las unidades geomorfológicas descritas, las unidades geológicas se disponen en franjas longitudinales con orientación aproximada Norte-Sur.

La comuna de Porvenir constituye una unidad con rasgos morfoestructurales diferentes al resto del país, que corresponden al modelado patagónico sujeto a tectónica de bloques y efectos secundarios de erosión y sedimentación glacial de gran magnitud.

Sometida a una tectónica de hundimiento a escala geológica, el mar ha penetrado por los valles occidentales inferiores, originando una variada morfología litoral de golfos, canales, senos, estuarios y fiordos, los cuales separan islas y archipiélagos, únicas formas que escaparon al hundimiento (Börgel, 1983).

Si bien la tectónica indica una tendencia general al hundimiento, existen manifestaciones de solevantamiento glacioeustático debido a la pérdida de peso que ha experimentado el continente liberado de la capa de hielos cuaternarios. En lo concerniente a la geología, el área de estudio se caracteriza por presentar las siguientes

### a Escala comunal

La geología comunal está compuesta principalmente por depósitos (morrénicos, fluvioglaciales, aluviales, coluviales) y secuencias sedimentarias marinas ( sublitorales y trangresivas)

Los depósitos se localizan en el sector central y oriental de la comuna, su formación está en directa relación con los procesos glaciares y posteriores procesos aluviales

Las secuencias sedimentarias marinas: sedimentación marina sublitoral (EM1m) localizada en sector poniente de la comuna en contacto con la línea de costa actual y la sedimentación marina trasgresiva (M1m) en el sector oriente de la comuna corresponde a plataformas de arenisca fina.

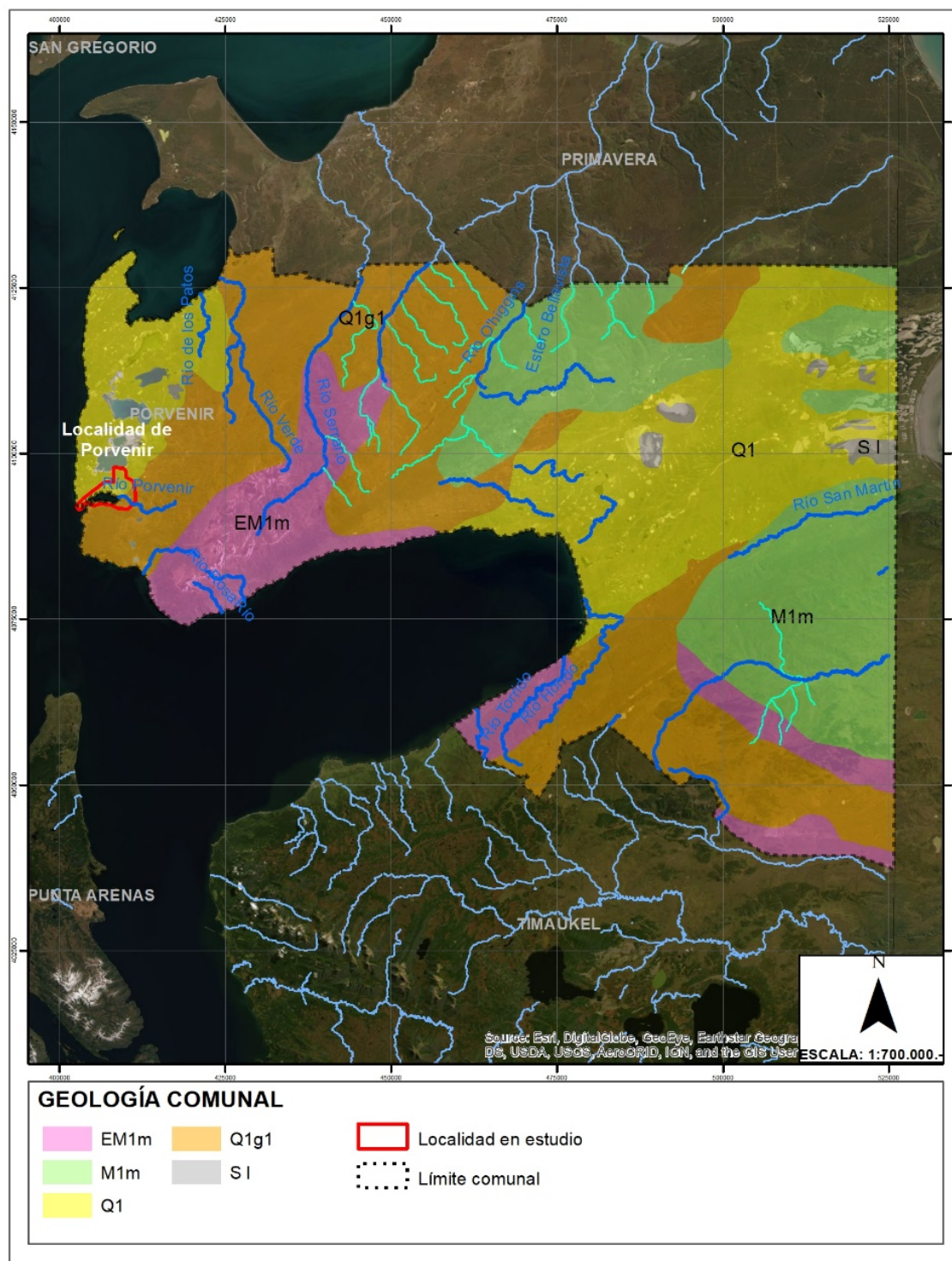
Tabla 5 Unidades geológicas comuna de Porvenir

Fuente: Mapa Geológico de Chile 1:1.000.000.- SERNAGEOMIN, 2003

Unidad Geológica	Descripción	Área ha
<b>EM1m</b>	<b>Eoceno-Mioceno</b> Secuencias sedimentarias marinas sublitorales: limolitas y arcillolitas. En la región XII: Grupo Bahía Inútil.	100507
<b>M1m</b>	<b>Mioceno</b> Secuencias sedimentarias marinas transgresivas plataformales: areniscas finas, arcillolitas y limolitas. En la costa, región VIII: Fm. Ranguil; en la Depresión Central, región IX: Formación Cholchol.	176239
<b>Q1</b>	<b>Pleistoceno-Holoceno</b> Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones Metropolitana a IX: abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.	192510
<b>Q1g1</b>	<b>Pleistoceno-Holoceno</b> Depósitos morrénicos, fluvioglaciales y glacialacustres: diamictos de bloques y matriz de limo/arcilla, gravas, arenas y limos. En la Cordillera Principal, regiones I a IV. En la Depresión Central, regiones IX y X; <b>en regiones XI y XII: lóbulos morrénicos en el frente de los lagos proglaciales, abanicos fluvioglaciales frontales o varves en la ribera de lagos o cursos fluviales, asociados a las principales glaciaciones del Pleistoceno donde son indiferenciados</b> o relativos a las glaciaciones Llanquihue (1; 35-14,2 ka); Santa María (2; 262-132 ka); Río Llico (3; 480-338 ka) o Caracol (4; 687-512 ka).	248697
<b>S I</b>	Sin Información.	13610

Figura 6 Geología comunal





Fuente: Mapa Geológico de Chile 1:1.000.000.- SERNAGEOMIN, 2003



## II.5 SUELO

Los suelos, junto con el agua, cubren gran parte de la superficie terrestre de nuestro planeta, y su presencia es fundamental. Los suelos son una mezcla de materia mineral, materia orgánica, aire y agua, y se originan por la descomposición y desagregación de rocas en superficie. Cuando el producto de la descomposición de las rocas permanece en el lugar de origen se les llama suelos residuales. Cuando esto no ocurre, se les llama suelos transportados.

El actuar de agentes ambientales, genera desagregación de la roca, en un proceso llamado meteorización. Este proceso genera distintos horizontes de roca meteorizada o “suelo”, según se muestra en la Figura (Horizonte A: descomposición de materia orgánica; Horizonte B: zona de acumulación de arcillas y óxidos de hierro; Horizonte C: capa inferior del suelo, sobre la roca sólida no meteorizada. Se compone de trozos de rocas sueltas, ligeramente meteorizados; Horizonte D: Roca madre).

Dependiendo de factores ambientales (clima, vegetación, relieve, entre otros) y características propias de los materiales (dureza, presencia de grietas y fracturas, etc.), se generarán o no los distintos horizontes, y con potencias variables.

Figura 7 Perfil horizontes de suelo



Fuente: <http://www.efn.uncor.edu>. Fotografía obtención propia

En el caso del área de estudio, se reconocen tanto suelos residuales como suelos transportados, predominando estos últimos debido a la naturaleza de los depósitos que rellenan el valle.

Al nivel de los suelos, la comuna está caracterizada por suelos de lomaje suave ligeramente profundos sobre mazacote, gravas y arenas, de baja retención de humedad. El análisis granulométrico del suelo indicó que el suelo está compuesto por un 71% de arena y 29% de grava. La pendiente en el predio es de entre un 1% y un 2,5% siendo las zonas más susceptibles a ser erosionada la aledaña a la Playa de Bahía Gómez. El sector costero y aledaño a la playa tiene grandes posibilidades de erosionarse principalmente por la acción de las mareas<sup>4</sup>.

Según Díaz et al. (1960) en el área de estudio los suelos se clasifican como suelos de las Planicies Orientales, donde el clima es de estepa frío, con una fuerte reducción de las precipitaciones, cuya aridez ha dado origen al carácter de la vegetación y al desarrollo de los suelos. En general presentan un horizonte superficial de poca profundidad, medianamente rico en materia orgánica, mezclados en parte con arena y limos fluviales y coluviales. En general se clasifican como suelos Castaños, donde las isoyetas fluctúan entre 250 y 300 mm.<sup>5</sup>

#### **a            Mecánicas de suelos**

De acuerdo al Estudio de mecánica de Suelos, referente al diseño de pavimentos correspondientes al proyecto denominado “MEJORAMIENTO DIVERSOS SECTORES, PORVENIR”, cuyo mandante es la Ilustre Municipalidad de Porvenir, tenemos los siguientes elementos a considerar:

- Se realizaron 7 calicatas en las con la siguiente distribución<sup>6</sup>

---

<sup>4</sup> M. Loreto Minoletti O., Consultora en Medio Ambiente trabajando en el proyecto de “Planta de Deshidratado y Elaboración de Extractos de Algas Marinas en Porvenir, XII Región”

<sup>5</sup> Plan de manejo Monumento Natural Laguna de los Cisnes. Documento técnico 537 CONAF 2009

<sup>6</sup> Informe mecánica de suelos “Mejoramientos Diversos Sectores de Porvenir”, 2021

Figura 8 Localización de calicatas Porvenir



Fuente: Informe mecánica de suelos “Mejoramientos Diversos Sectores de Porvenir”, 2021

- Profundidades de las excavaciones de 1,5 mts aprox.
- No se observó nivel freático en ninguna de las 7 excavaciones.
- El suelo vegetal en la mayoría de los casos es inferior de a 0.5 mts
- Relleno heterogéneo entre 0.5 y 1 mts
- En profundidades mayor a 1 mts se encontró arenas limosas (y limo) color café y en una calicata arcilla.
- CBR<sup>7</sup> adoptado 11% (regular – bueno)

---

<sup>7</sup> El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad. Este es uno de los parámetros necesarios obtenidos en los estudios geotécnicos previos a la construcción

## II.6 VEGETACIÓN

La vegetación y el uso actual de suelo es una variable importante desde la perspectiva de los riesgos naturales y antrópicos, por presentar porcentajes de cobertura de suelo en relación de los efectos de las precipitaciones o la concentración de plantaciones forestales respecto de la ocurrencia de incendios.

En la comuna se catastraron más de 27 usos de suelos por CONAF, 3 de ellos concentran un 73% de la superficie comunal. Ellos son Matorral Pradera Abierto 42%, seguido de Praderas Perennes 17% y Matorral Abierto 14%.

Un uso importante, desde la perspectiva de los riesgos, lo constituye el matorral arborescente abierto 10%, dado que su localización en pendientes sobre 15° puede favorecer la contención de erosión. Las áreas vegas y turbales, que según el catastro corresponden a un 1.4% del territorio, corresponden a terrenos de mayor probabilidad de anegamientos.

Tabla 6 Vegetación y uso de suelo

Uso actual	Superficie (ha)	%
B.Nat.Achaparrado Abierto	125380,6	0,2%
B.Nat.Achaparrado Denso	55,6	0,0%
B.Nat.Achaparrado Semidenso	677977,2	1,0%
B.Nat.Adulto-Renoval Denso	152117,6	0,2%
B.Nat.Adulto-Renoval Semidenso	217908,7	0,3%
Bosque Nativo Adulto Denso	247058,1	0,4%
Bosque Nativo Adulto Semidenso	134284,3	0,2%
Ciudades-Pueblos-Zonas.Indus.	17599,2	0,0%
Estepa Patagonica	5076938,0	7,2%
Lago-Laguna-Embalse-Tranque	1516296,8	2,2%
<b>Matorral Abierto</b>	<b>9587134,1</b>	<b>13,6%</b>
Matorral Arborescen. Semidenso	1009,9	0,0%
Matorral Arborescente Abierto	7123270,9	10,1%
Matorral Denso	29034,9	0,0%
<b>Matorral Pradera Abierto</b>	<b>29524896,1</b>	<b>41,9%</b>
Matorral Pradera Denso	4547,8	0,0%
Matorral Pradera Semidenso	18437,9	0,0%
Matorral Semidenso	1301053,9	1,8%
Otros Terrenos Sin Vegetacion	25917,9	0,0%
Plantacion de Arbustos	20489,3	0,0%
Playas y Dunas	14228,1	0,0%
Praderas	1154513,3	1,6%
<b>Praderas Perennes</b>	<b>12111881,9</b>	<b>17,2%</b>
Renoval Denso	397446,2	0,6%
Renoval Semidenso	3397,8	0,0%
Turbales	142598,3	0,2%
Vegas	844205,9	1,2%

Fuente: CONAF 2005

## II.7 ÁREA BAJO PROTECCIÓN OFICIAL

### a **Monumento Natural Laguna Cisnes**

Corresponden a los 7 islotes interiores de la Laguna de Los Cisnes. La unidad destaca por la protección de las especies de fauna compuesta principalmente por aves, entre ellas el cisne de cuello negro, flamenco y caiquén. En cuanto a flora, los islotes del Monumento Natural se encuentran desprovistos de vegetación.

Clima: Estepa frío con degeneración esteparia. La temperatura media alcanza los 8° C, variando las extremas entre los -10 y los 18° C. Las temperaturas más altas se producen durante los meses de enero y febrero.

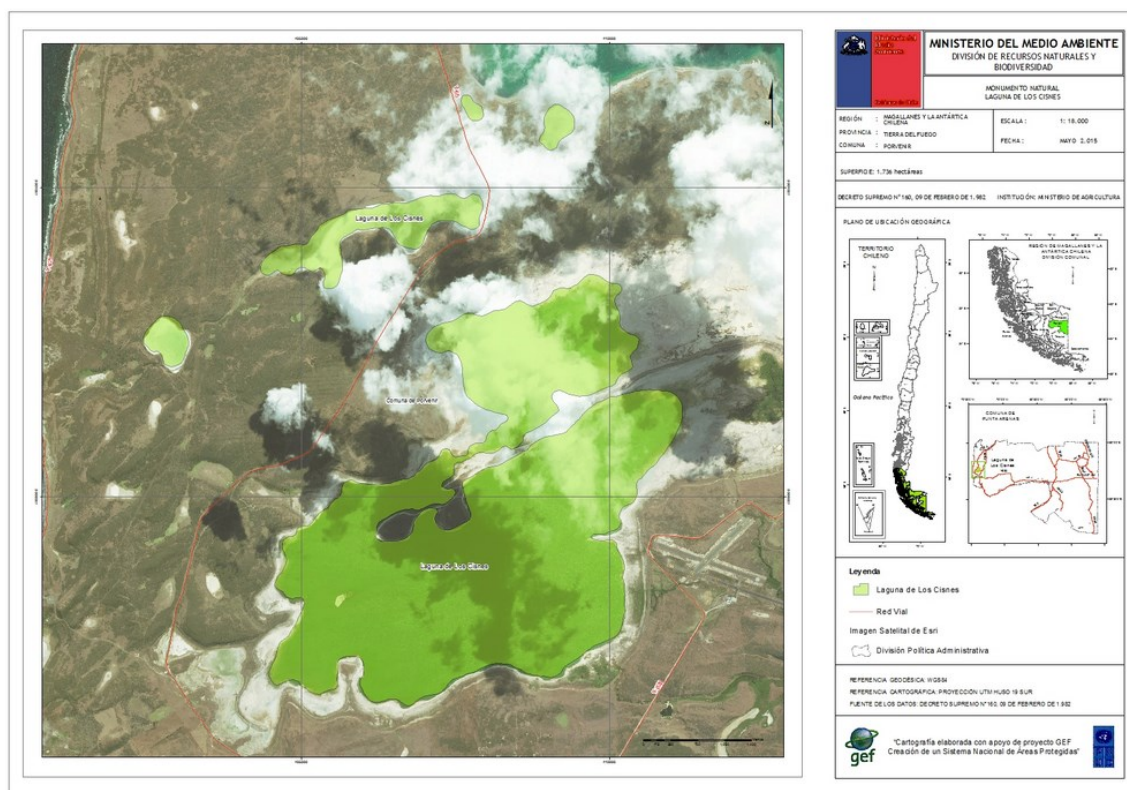
Las precipitaciones medias anuales son de 400 a 500 mm, con la mayor concentración entre mayo y septiembre. La humedad varía entre el 60 y 90 por ciento<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=10>



Figura 9 Monumento Natural Laguna Cisnes



Fuente: <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=10>

El Plan de Manejo del Monumento Nacional Laguna de Los Cisnes, elaborado por CONAF en el año 2014, plantea:

### Objetivos de creación de la unidad

Laguna de los Cisnes fue declarado, Parque Nacional de Turismo bajo de Decreto de Creación D.S N°207 del 22 del 04 de 1966, con el fin de garantizar la conservación y protección de especies arbóreas y la avifauna autóctona existente en el lugar.

Posteriormente se declaró Monumento Natural por Decreto Supremo (D.S. N°160, 13 de Octubre de 1982 del Ministerio de Agricultura), cuyo objetivo es la protección de las islas y trombolitos presentes en la unidad y la Conservación de la Avifauna.

### Deslindes

El Monumento originalmente estaba conformado por los siete islotes interiores de la laguna, que sumaban una superficie total de 25,3 ha. Actualmente debido a la paulatina disminución del espejo de agua desde comienzos de los 80, estos islotes se fueron fusionando presentando en la actualidad una sola gran península, conformada por los primeros seis islotes, mientras el islote número siete quedó como una península independiente en la

sección sur de la laguna. Ambas áreas se encuentran conectadas con el resto de los predios vecinos a la unidad.

### **Zonificación**

Uso Intangible corresponde a aquellos ecosistemas de mayor fragilidad e Interés Científico Faunístico como la laguna y sus aguas someras, las vegas asociadas a riachuelos y el humedal del estero Casa de Lata y por una Alta Unicidad las Riberas con estromatolitos, abarcando en total una superficie de 1.911,37 ha

Zona de vocación de uso primitivo, las áreas resultantes del proceso de evaluación multicriterio, son riberas con Trombolitas secas, península (parte de islote 4, e islotes 5 y 6), islote, ribera de la laguna sector sur que no tiene uso ganadero. La superficie total de esta zona es de 665,8 hectáreas

zona de recuperación tiene una superficie de 569,26 hectáreas, y corresponde principalmente a las áreas con mayor uso ganadero utilizado para talaje, que incluye gran parte de la península (islotes 1, 2, 3 y parte de islote 4) y los bordes de la laguna utilizados por el ganado principalmente ovino y bovino en el área cercana al aeródromo.

zona de Histórico Cultural, este territorio está compuesto por el islote 2. El tipo de hallazgo corresponde a montículos de piedra que fueron dispuestos en forma de círculo. En total suman 6 círculos de piedra, ocupados en la actualidad por el ganado ovino presente en el islote (30 ovejas) como dormitorios.

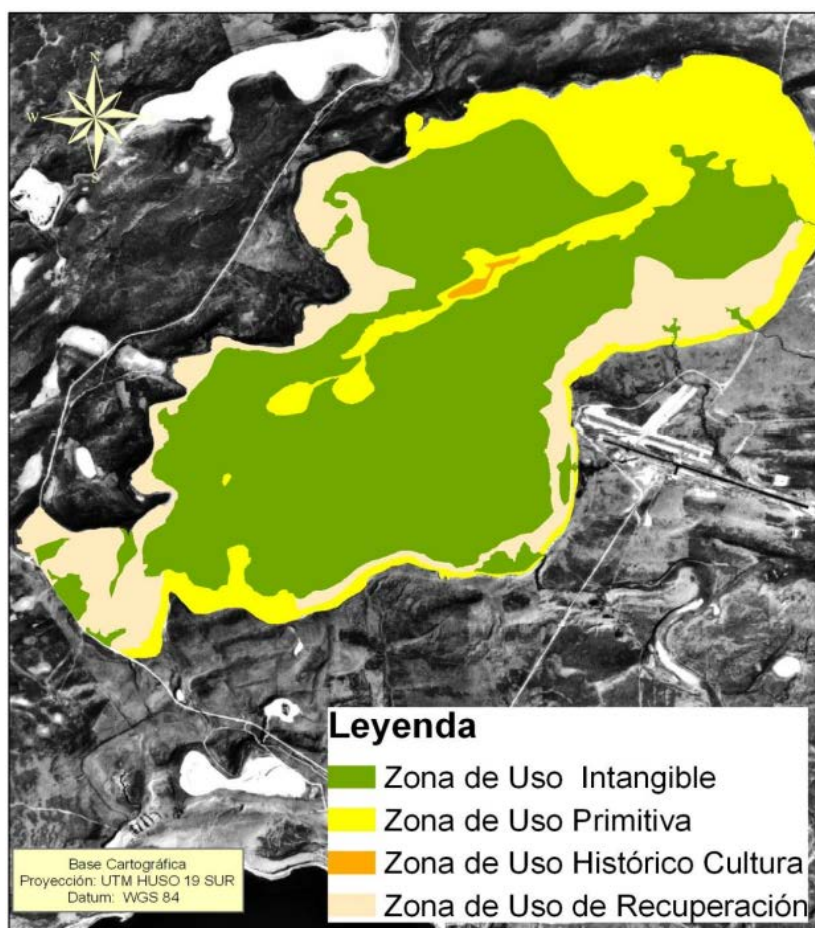
De acuerdo con el cuadro anterior, se observa que la zona de uso intangible y la Zona Primitiva, corresponden a los territorios más extensos, equivalentes al 60 y 21 % respectivamente del Monumento. En esta superficie sólo se permiten actividades de bajo impacto y que se rigen sólo por objetivos orientados a la preservación y conservación de estos ambientes naturales.

A estas zonas de alta protección, además se debe incluir la zona de uso histórico – cultural, la cual ha de ser objeto de estudios e investigación y también considera como objetivos principales la conservación de estos sitios culturales.

En la siguiente figura se muestra la zonificación final del plan de manejo



Figura 10 Zonas de Uso Plan de Manejo Laguna de Los Cisnes CONAF 2014



Fuente: [https://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1445457007PM\\_MNLagunadelosCisnes.pdf](https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1445457007PM_MNLagunadelosCisnes.pdf)

**b                    Humedal Urbano Porvenir**

La Ilustre Municipalidad de Porvenir, con fecha de 30 marzo del 2022 ingreso “Solicitud de reconocimiento de Humedal Urbano Porvenir”, al Ministerio de Medio Ambiente, obteniendo la admisibilidad de la solicitud el 6 de abril de 2022 a través de la resolución N°77.MMA.

El Ministerio de Medio Ambiente mediante la resolución Núm. 1.205 exenta.- Santiago, 30 de septiembre de 2022, publicada en el diario oficial el jueves 10 de noviembre de 2022, resuelve *1° Declárese como Humedal Urbano, para efectos de lo dispuesto en la ley N° 21.202, el humedal denominado Humedal Urbano Humedal Porvenir, cuya superficie aproximada es de 3,6 hectáreas, ubicado en la comuna de Porvenir, Región de Magallanes y de la Antártica Chilena*






El humedal Porvenir corresponde a un ecosistema natural, intervenido, del tipo vega con un espejo de agua de carácter permanente, pero fuertemente afectado por las condiciones meteorológicas actuales, las cuales inciden en la cantidad de agua retenida en época estival. Se ubica a un costado de la ruta Y-629, en dirección al aeródromo de Porvenir aproximadamente a un kilómetro del centro de la ciudad. Su entorno y perímetro se encuentran circunscritos por la vegetación principalmente de origen exótico, compuesta principalmente por gramíneas, en donde destacan las especies *Agrostis capillaris* L., y *Anthoxanthum odoratum* L., ambas indicadas como habitantes de humedales perturbados (Fuentes et. al. 2014). A continuación, algunas de las características del humedal que permitieron su admisibilidad.

**Presencia de vegetación hidrófita;** Se realizó un transecto con orientación Oeste-Este y verificación mediante cuadrantes de muestreo adjunto en anexo, verificando la existencia de vegetación en los límites del humedal urbano *Agrostis capillaris* L., y *Anthoxanthum odoratum* L. (Fuentes et. al. 2014)

**Presencia de suelos con mal drenaje o sin drenaje;** En aquellos puntos donde fue necesario definir los límites más externos del humedal se realizó una calicata para la determinación del perfil estratigráfico del suelo. De esta forma se georreferenciaron 33 vértices que determinaron el límite del humedal. Se determinó la existencia de suelos hídricos por la presencia de una matriz reducida, y presencia de rasgos de óxido reducción dentro de los primeros 30 cm de profundidad

**Régimen hidrológico de saturación ya sea permanente o temporal** que genera condiciones de inundación periódica; Se observó un patrón de drenaje con orientación este-oeste, con saturación central con formación de un espejo de agua producto de intervención humana anterior, generando condiciones de inundación permanente a periódica, en función y altamente dependiente de las condiciones meteorológicas

Figura 11 Antecedentes técnicos solicitud de Humedal Urbano Porvenir

Vegetación hidrofita		Suelos con mal drenaje	
			
Régimen hidrológico de saturación en condiciones ambientales normales		Régimen hidrológico de saturación en condiciones ambientales normales	
			
Fig. 4. Vista aérea captada el 28 de enero de 2022, en Condiciones Ambientales Normales (CAN).		Fig. 5. Vista aérea captada el 28 de enero de 2022, en Condiciones Ambientales Normales (CAN).	

Fuente: <https://humedaleschile.mma.gob.cl/procesos-desde-municipios/>

En la siguiente tabla se presentan las coordenadas del polígono del Humedal Urbano Porvenir publicado en Diario Oficial jueves 10 de noviembre de 2022.

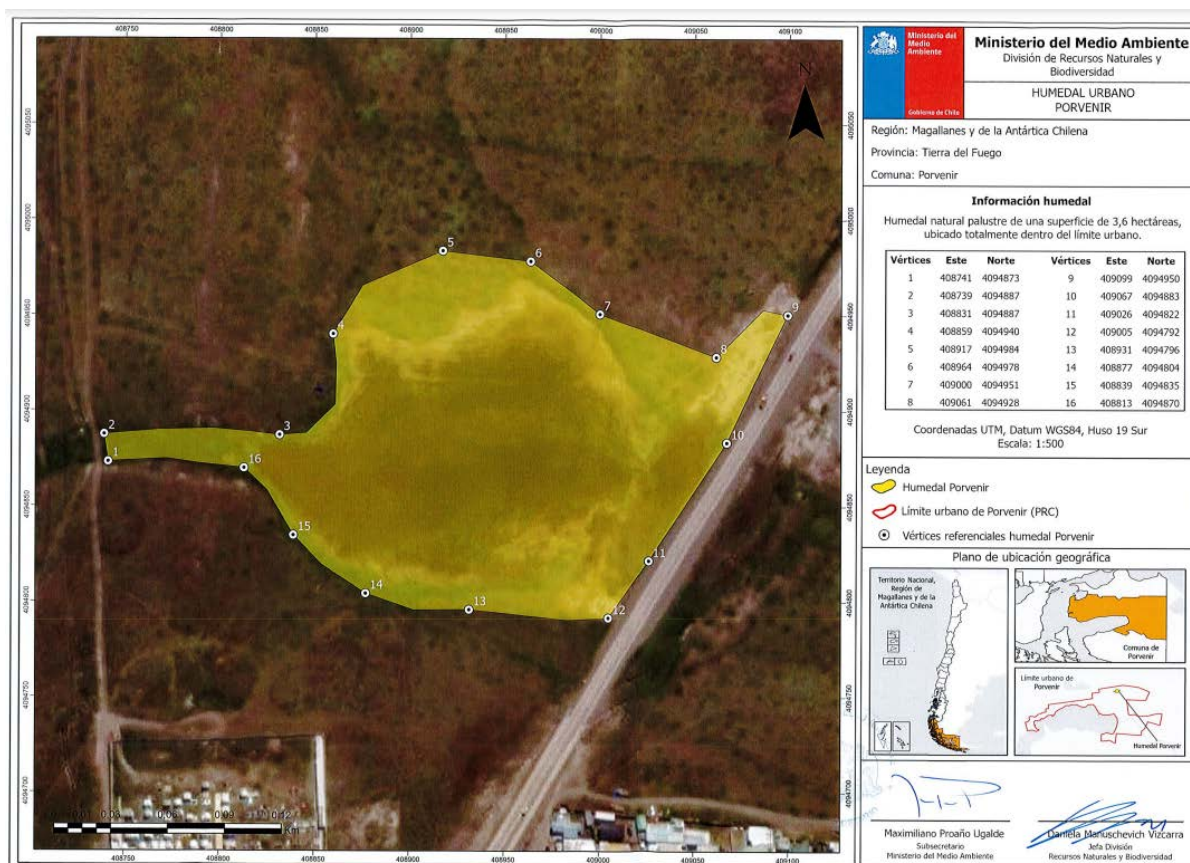
Tabla 7 Coordenadas del polígono ajustado del humedal urbano Porvenir, mediante coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 18 Sur

Vértices referenciales					
Vértices	Este	Norte	Vértice	Este	Norte
1	408741	4094873	9	409099	4094950
2	408739	4094887	10	409067	4094883
3	408831	4094887	11	409026	4094822
4	408859	4094940	12	409005	4094792
5	408917	4094984	13	408931	4094796
6	408964	4094978	14	408877	4094804
7	409000	4094951	15	408839	4094835
8	409061	4094928	16	408813	4094870

Fuente: <https://humedaleschile.mma.gob.cl/procesos-desde-municipios/>

En la siguiente figura se presenta la cartografía presentada en la solicitud de reconocimiento de humedal urbano.

Figura 12 Cartografía de Humedal Urbano de Porvenir



Fuente: [https://humedaleschile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/09/HU\\_Porvenir.pdf](https://humedaleschile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/09/HU_Porvenir.pdf)



## II.8 VOLCANISMO

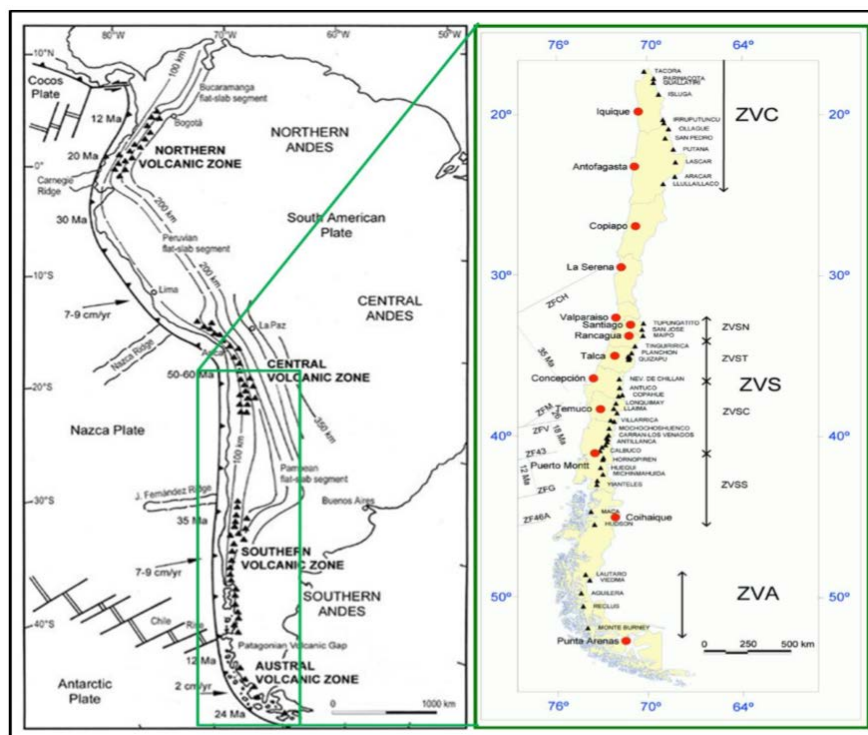
El territorio continental de Chile posee 95 volcanes geológicamente activos (Lara et al, 2011). Esto quiere decir que presentan evidencias geológicas de actividad eruptiva en los últimos 10.000 años o que, sin certeza de lo anterior, presenta signos medibles de actividad (como desgasificación pasiva, 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 la región, de acuerdo con el estudio “Comunas expuestas a procesos eruptivos y sus niveles de riesgo volcánico en Chile” (Rodrigo Calderón), existen tres comunas expuestas a procesos eruptivos: Natales, San Gregorio y Cabo de Hornos

El volcanismo andino se puede segmentar en cuatro zonas, de las cuales tres se encuentran en Chile.

Figura 13 Zonificación del Vulcanismo en Los Andes

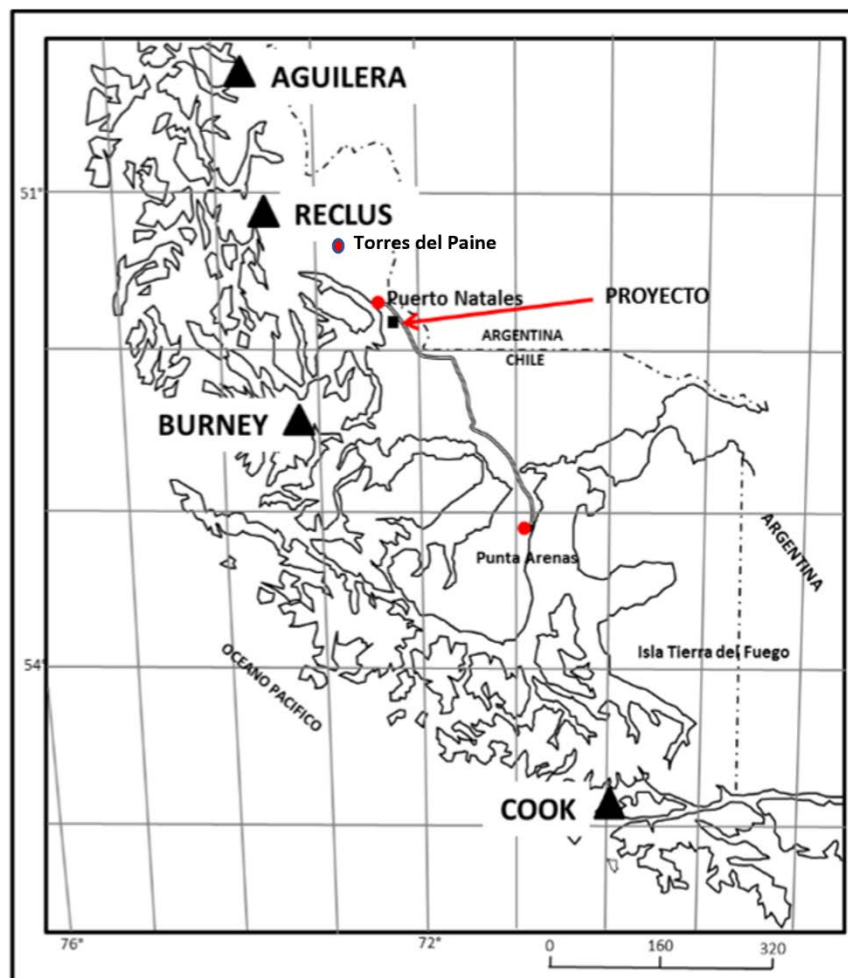


Fuente: Stern, 2004

Una brecha en la actividad volcánica se produce entre los 46° a 49°S en la región sur del Chile, donde la extensión sureste de la Dorsal de Chile ha sido subducida durante los últimos 8 millones de años, luego de lo cual se presenta la zona volcánica Austral (ZVA).

El ZVA consta de cinco estratovolcanes y un pequeño complejo de domos y flujos del Holoceno en la Isla Cook, el centro volcánico más meridional de los Andes. Mientras que el volcán de las Islas Cook, la más meridional de la cadena andina, no fue descubierto hasta 1978, y el volcán Reclus, previamente identificada erróneamente como el Cerro Mano del Diablo, fue localizado con precisión sólo en 1987 (Harambour, 1988). Los tres más septentrionales de estos volcanes (Lautaro, Viedma y Aguilera), que se encuentran dentro o en los flancos del campo de hielo Sur, tienen una química similar. El centro de las Islas Cook se encuentra al sur de la zona de falla de Magallanes y por lo tanto se encuentra sobre la placa de Escocia

Figura 14 Zonificación del Vulcanismo en Los Andes



Fuente: Línea Base Proyecto Tranquilo (SEIA)

## **a            Actividad volcánica histórica**

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la Zona Volcánica Austral (ZVA), ubicada en el margen occidental de Sudamérica, al sur del punto triple de Chile, en la península de Taitao, entre los 47° y 56° de latitud Sur, donde convergen las placas tectónica de Antártida (oceánica), Sudamericana (continental) y Scotia. Ésta es un área caracterizada por una abundante cubierta glaciaria, encontrándose allí las principales masas glaciares del mundo, luego de la Antártica y Groenlandia, entre las que se cuentan los Campo de Hielo Norte, Campo de Hielo Sur, además de la Cordillera de Sarmiento y la Cordillera de Darwin, en el extremo Sur de Tierra del Fuego.

A excepción del volcán Hudson, más alejado de la zona del proyecto, en la zona no existen instrumentos que monitoreen los volcanes. El Observatorio Volcanológico de los Andes el Sur (OVDAS-SERNAGEOMIN), no tiene instrumentos allí instalados que permitan tener un conocimiento claro de la variación de las profundidades de los sismos, aspecto que resulta de suma importancia en la estimación de probabilidades de una erupción mayor. Estudios con temporalidad reducida se han hecho para la región de Magallanes, los cuales muestran la actividad sísmica superficial (<3 km), principalmente en torno al volcán Reclus y, en menor grado, cerca del Burney.

### **Volcán Aguilera**

Ubicado en la costa noroccidental del fiordo Peel (50°20' S, 73°45' W, 2546m). Está formado por lavas y piroclastos de composición dacítica. No existen registros de actividad histórica del volcán, a pesar de que se encuentra más cerca que el volcán Lautaro de las rutas de navegación, y a sólo 100 km. al oeste de la ciudad argentina de El Calafate, habitada desde 1913. Luego del Arenales, es posiblemente el menos estudiado, a pesar de que se levanta directamente desde la costa del Fiordo Peel (el acceso a sus secciones superiores es sin embargo sumamente dificultoso, de hecho, no ha sido realizado ni siquiera por expediciones deportivas).

Estudios de tefro-cronología sobre depósitos regionales de tefra, lo asocian a una erupción holocena  $3.010 \pm 45$  años atrás, expulsando 4 a 9 km<sup>3</sup> de material (Stern, 2007). Otra hace aproximadamente 5.150 años y una tercera más antigua que 5.700 años (Villa-Martínez y otros). De esta manera tres eventos importantes habrían ocurrido durante los últimos 6.000 años, período íntegramente comprendido entre el “último máximo glaciario” y el presente.

### **Volcán Reclus**

Corresponde a un edificio volcánico ubicado en el centro del glaciar Amalia (50° 57' 50" S, 73°35' 05" W 1000 m), cuyo cráter presenta un diámetro de 1 km, abierto hacia el noroeste y cubierto por hielo. La ubicación del volcán fue descubierta por primera vez por el geólogo Salvador Harambour el año 1987, quien señaló que se trataba de un cono volcánico con actividad post glacial. Su edificio volcánico está constituido por flujos de lava dacítica, coronados por un cono de piroclastos que emerge en el centro del Glaciar Amalia, al fondo del fiordo homónimo. El cono no presenta rasgos de erosión glaciaria importante, por lo que se lo supone Holoceno. Cuenta posiblemente con tres erupciones pequeñas en tiempos

históricos (1869, 1879, 1907). Además, durante Enero y Febrero del 2005 hizo erupción, afectando la zona directamente al Sur y Oeste del volcán, cubriendo un área de aproximadamente 50 km.

Depósitos regionales de tefra sugieren una erupción poco importante hace 10.430 años atrás, además de una muy importante (más de 10 km<sup>3</sup> de tefra) hace 12.658 ± 260 años 14C atrás (Stern, 2007), edad que corresponde a 15.330 años calendario antes del presente. Sin embargo, algunas nuevas investigaciones sugieren la existencia de otras erupciones, lo que indicaría que éste volcán estaría más activo de lo que se pensaba (Villa-Martínez y Moreno, 2007).

### Volcán Burney

Este volcán se encuentra localizado en la parte noroeste de la Península Muñoz Gamero, específicamente a 52° 20' S 73° 24 ' W y con una altura que alcanza los 1.700 m.

Corresponde a un complejo volcánico, compuesto por un estrato-caldera basa (González Ferran, 1995). Sus ciclos evolutivos habrían ocurrido durante el Pleistoceno, Holoceno y Reciente. Siendo el volcán más cercano a la zona del proyecto (94.5 Km aprox.), se encuentra en un terreno donde la glaciación, en la actualidad ya se ha retirado por completo. Está cubierto sólo de glaciares formados en sus propias laderas. Está constituido por lavas, piroclastos y aglomerados volcánicos de composición andesítico-dacítica. El edificio volcánico presenta un colapso hacia el sur-suroeste.

Si bien este volcán presenta sólo un registro de actividad en tiempos históricos, en 1910, registros regionales de tefra sugieren que este centro eruptivo tuvo abundante actividad durante el Holoceno, habiéndose identificado siete erupciones importantes. Además, en documento inédito de Alfredo Contreras, denominado “El Fallido Intento de Colonización en Muñoz Gamero”, entre los años 1969 y 1971, relata que el día 24 de Junio del año 1970 son testigos de un fuerte sismo con un posterior maremoto, además, posteriormente se enteran que el mismo día el volcán Burney hizo erupción, pero nada alarmante. Finalmente se asocia el movimiento producto de la actividad volcánica de la zona.

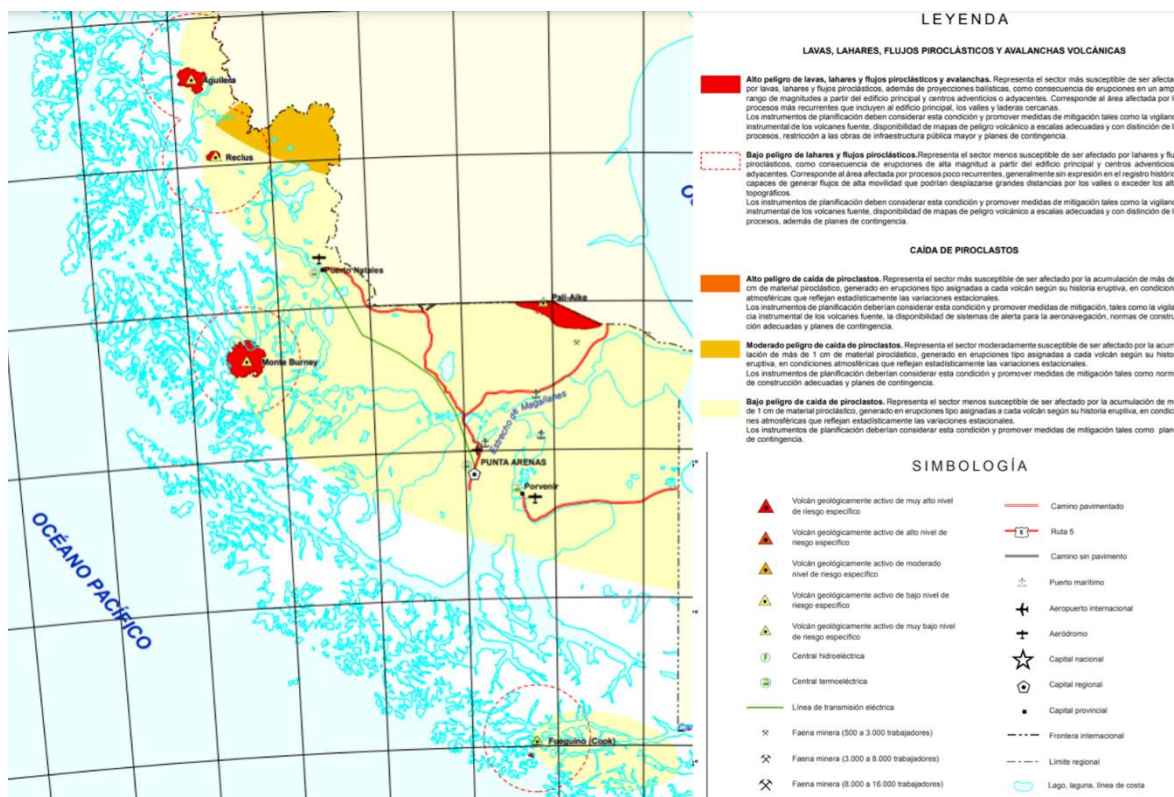
### **b      Peligro volcánico comuna de Porvenir**

De acuerdo al estudio “Peligros volcánicos de Chile” (SERNAGEOMIN 2011), la comuna podría ser afectada por las erupciones de los Volcanes Burney y Pali-Aike, ambos en categoría de “Volcanes geológicamente activo de bajo nivel de riesgo específico”. Respecto del peligro de lahares y flujos piroclásticos es bajo y en relación a la caída de piroclastos en la comuna estos serían de categoría baja caída.

**Bajo peligro de caída de piroclastos.** Representa el sector menos susceptible de ser afectado por la acumulación de más de 1 cm de material piroclástico, generado en erupciones tipo asignadas a cada volcán según su historia eruptiva, en condiciones atmosféricas que reflejan estadísticamente las variaciones estacionales.



Figura 15 Área de peligro volcánico



Fuente: Peligros volcánicos de Chile (SERNAGEOMIN 2011)

## II.9 SISMOS

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.

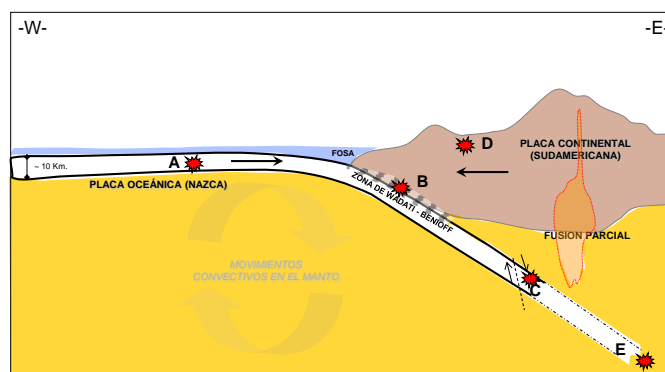
El movimiento de placas tectónicas es la responsable de la gran mayoría de sismos en el planeta (Leyton et al., 2010). Estos corresponden a una ruptura violenta generada por la acumulación y posterior liberación de energía acumulada por el movimiento de placas tectónicas, superando la resistencia de 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/año<sup>9</sup> (según Khazaradze y Klotz, 2003), lo que es considerado una la 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 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](http://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 la 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 Figura).

Figura 16 Modelo de subducción corteza oceánica (Placa de Nazca) – corteza continental (Placa Sudamericana).



Fuente. Eleonora Muñoz 2015

<sup>9</sup> 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).

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 tipo 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° Lat. 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.

#### **a            Sismicidad como peligro**

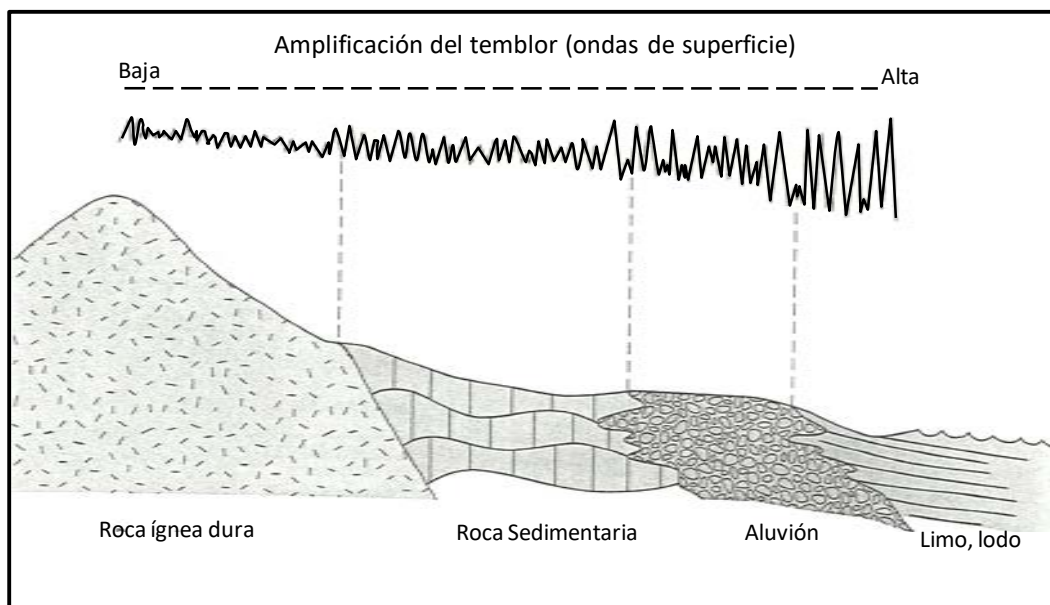
Para el estudio de los sismos como un tipo de peligro de origen geológico, es necesario considerar, por un lado, aspectos relacionados con el fenómeno propiamente tal así como sus efectos secundarios. Dentro de los parámetros propios del sismo, se considera su **magnitud** (relacionada con el tamaño 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.

Figura 17 Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto



Fuente: Keller and Blodgett, 2004

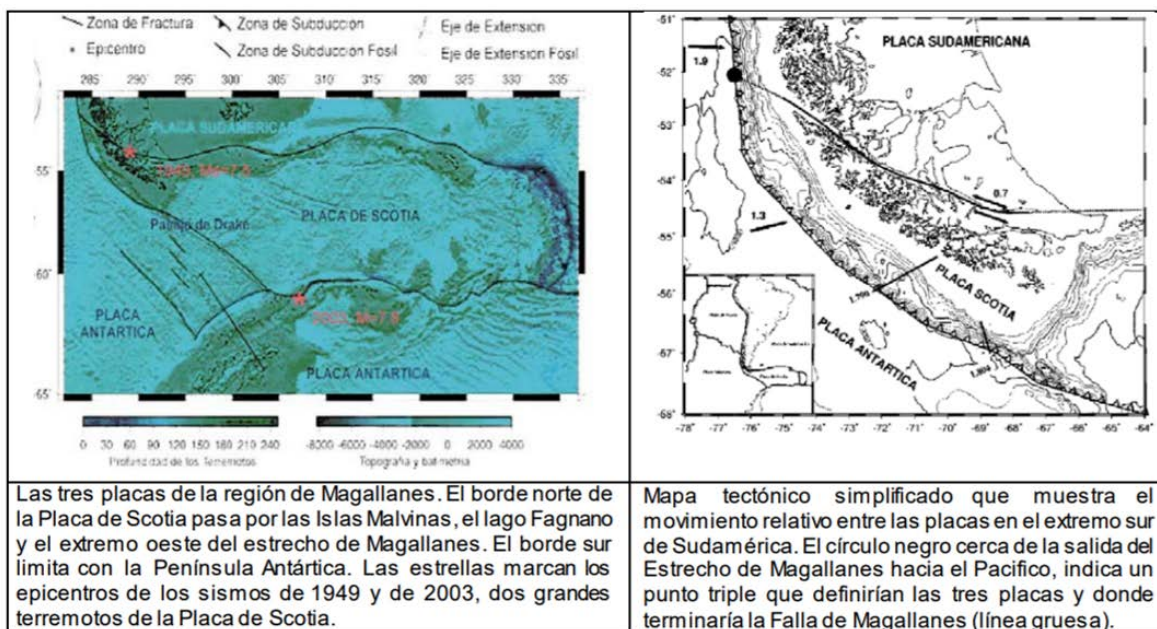
## **b** Antecedentes sísmicos

En Chile, desde su extremo norte y hasta la península de Taitao, las placas oceánicas de Nazca y continental Sudamericana, convergen a razón de unos 10 cm por año. Al sur de Taitao, la convergencia entre la placa Antártica y la Sudamericana es de aproximadamente 2 cm por año. Esta considerable disminución de la convergencia es la principal causa de la relativa menor sismicidad al sur de Taitao (Cisternas y Vera, 2008).

El extremo Sur de Sudamérica es una zona tectónicamente compleja en donde, además de las placas Sudamericana y Antártica, está la placa Scotia. En el Atlántico Sur, el borde Norte de la placa de Scotia es bien definido con una orientación este-oeste siguiendo el “ridge”

Scotia Norte. Hacia el Oeste de su punto de encuentro con Sudamérica, sin embargo, este borde continúa a lo largo del lago Fagnano, del seno Almirantazgo, y el brazo oeste del estrecho de Magallanes, hasta su intersección con la Fosa Chilena (52°S, 76°W) al noroeste del faro Evangelistas, donde define un punto triple entre las placas Sudamericana, Antártica y de Scotia. Al norte de este punto triple, las placas Sudamericana y Antártica convergen a razón de unos 1,9 cm por año. Hacia el sur, parte de esta convergencia (0,7 cm por año) estaría siendo acomodada por la Falla de Magallanes (Lodolo et al., 2002) y la convergencia entre las placas Antártica y de Scotia se desarrollaría a una razón menor de unos 1,3 cm por año. Esta convergencia es aproximadamente frontal a 52°S, pero se pone rápidamente oblicua hacia el sur llegando a unos 60° de oblicuidad a 57°S.

Figura 18 Mapa tectónico simplificado



Fuente: Lodolo et al. 2002

Se conocen dos grandes terremotos históricos en la Región de Magallanes (Martinic, 1988, 2006):

- El 2 de febrero de 1879 a las 3 hrs. 30 minutos, hora local, hubo un terremoto de magnitud estimada entre 7 y 7.5 que afectó toda la región. Este sismo alcanzó una intensidad de 7 en Punta Arenas, y de 8 en Tierra del Fuego. El epicentro parece ser cercano al del terremoto de 1949.
- El 17 de diciembre de 1949 a las 2 hrs. 55 min., hora local, hubo un gran sismo de magnitud 7.5 con epicentro en la Falla de Magallanes, cerca del cabo Froward. La magnitud 7.5 corresponde a un largo de falla de unos 60 km. (Lomnitz, 1970).

El primer día después del sismo principal hubo unas 24 réplicas, algunas muy fuertes. Las réplicas continuaron durante algunos meses, pero la más grande se produjo en febrero de 1950. Grandes olas y corrientes marinas anormales fueron observadas en Porvenir y en el



seno Almirantazgo. Derrumbes asociados al terremoto fueron observados en la costa occidental de Tierra del Fuego y a lo largo de las bancadas del lago Fagnano, y produjeron tres muertes en la costa de la bahía de San Nicolás.

Este terremoto fue interesante en extremo. En efecto, el año 1942 se había promulgado la primera norma nacional de construcción antisísmica. Esta norma era obligatoria en todo el país, incluyendo Magallanes. Los arquitectos de la Región consideraron que era absurdo aplicar la norma en un lugar donde la ocurrencia de terremotos históricos parecía nula. Decidieron enviar una carta a Santiago pidiendo que Punta Arenas fuese declarada zona asísmica. Esto fue una semana antes del terremoto de 1949. Evidentemente no hubo respuesta.

Por otro lado, durante el terremoto fue posible observar ondas de gravedad que viajaban a lo largo de las calles. En efecto, las veredas estaban divididas en dos franjas. La del costado de las casas estaba cubierta de baldosas, y la del lado de la calle estaba cubierta de arena. Las baldosas constituían un verdadero sistema cartesiano que permitía ver claramente las ondas que viajaban. Y al lado, en el lugar cubierto de arena los granos saltaban verticalmente a medida que la onda pasaba. De ambas formas se lograba ver ondas de gran amplitud. Este fenómeno ha sido observado en distintas ocasiones, en particular Lomnitz (1970) informa haber visto este tipo de ondas durante el sismo del año 1960.

Adaros (2003, en Cisternas y Vera, 2008) muestra que la sismicidad en Magallanes está caracterizada principalmente por sismos corticales con una profundidad menor que 40 km. La magnitud máxima observada es  $ML=4.3$ , pero la mayor parte de los sismos son más pequeños. La sismicidad al norte de la Falla de Magallanes corresponde a la convergencia entre las placas Sudamericana y Antártica, y los mecanismos de los sismos mejor observados muestran compresión este-oeste (Adaros, 2003). La sismicidad es mucho más débil al sur de la Falla de Magallanes. Se ven unos pocos eventos sobre la falla, y en particular uno de ellos corresponde a una falla de cizalle con movimiento horizontal sinistral. Los otros, al sur de la falla, están distribuidos y corresponden a la convergencia entre las placas de Antártica y Scotia (Cisternas y Vera, 2008). Si se consideran sólo los sismos superficiales (profundidad menor que 3 km), se observa una actividad importante en torno al volcán Reclus y otra menor alrededor del volcán Burney además de la actividad tectónica. Esto indicaría que estos volcanes son activos en la actualidad. Un estudio detallado de las antiguas erupciones, y la datación del momento en que ocurrieron, se encuentra en los trabajos paleo volcánicos de Stern (1990, 2008), usando los depósitos de ceniza volcánica y su composición química, lo que permite incluso identificar el volcán de origen. Otras evidencias de posibles volcanes históricos en la Placa Sudamericana y cerca del lado sur-este de la Falla de Magallanes han sido recuperadas por Martinic (1988, 1985). Evidentemente, las actividades volcánica y sísmica, son mayores al norte del faro Evangelistas, que corresponde al extremo occidental de la Falla de Magallanes. Esto concuerda con la mayor velocidad de convergencia entre la Placa Sudamericana y la Placa Antártica, en comparación con la que existe entre las placas de Scotia y Antártica. Cisternas y Vera (2008), concluyen que los fenómenos sísmico-volcánicos de la región de Magallanes

están relacionados con la interacción de las placas Antártica, Sudamericana y de Scotia. La sismicidad es menor y menos frecuente que en el norte, pero no se pueden excluir sismos superficiales de magnitud  $MW = 7.5$  a  $7.8$ , potencialmente muy destructores. La actividad volcánica está asociada a la sismicidad y existen volcanes activos.

## II.10 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 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 infraestructura<sup>10</sup>.

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 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:

---

<sup>10</sup> Belmonte-Pool J, 2011 “Estudio fundado de riesgos por tsunami área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal comuna de Santo Domingo

- 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.

**a                    Carta de inundación por tsunami Porvenir**

Para el desarrollo de esta CITSU, se evaluó la amenaza de tsunami para el Estrecho de Magallanes, generada por sismos de subducción en los sectores en que interactúan las placas Antártica, Sudamericana y de Scotia. Producto de este análisis se determinó que para Porvenir la amenaza de tsunami por este tipo de fuentes generadoras no es potencialmente alto, por lo que se consideró evaluar otro tipo de fuentes locales, como las remociones en masa, que presenten un peligro de tsunami mayor. Dentro de este contexto, y para poder efectuar la modelación numérica para dichas fuentes es necesario contar con una serie de parámetros que caracterizan la remoción o deslizamiento, lo cual debe ser obtenido mediante un estudio de riesgo geológico de la zona.

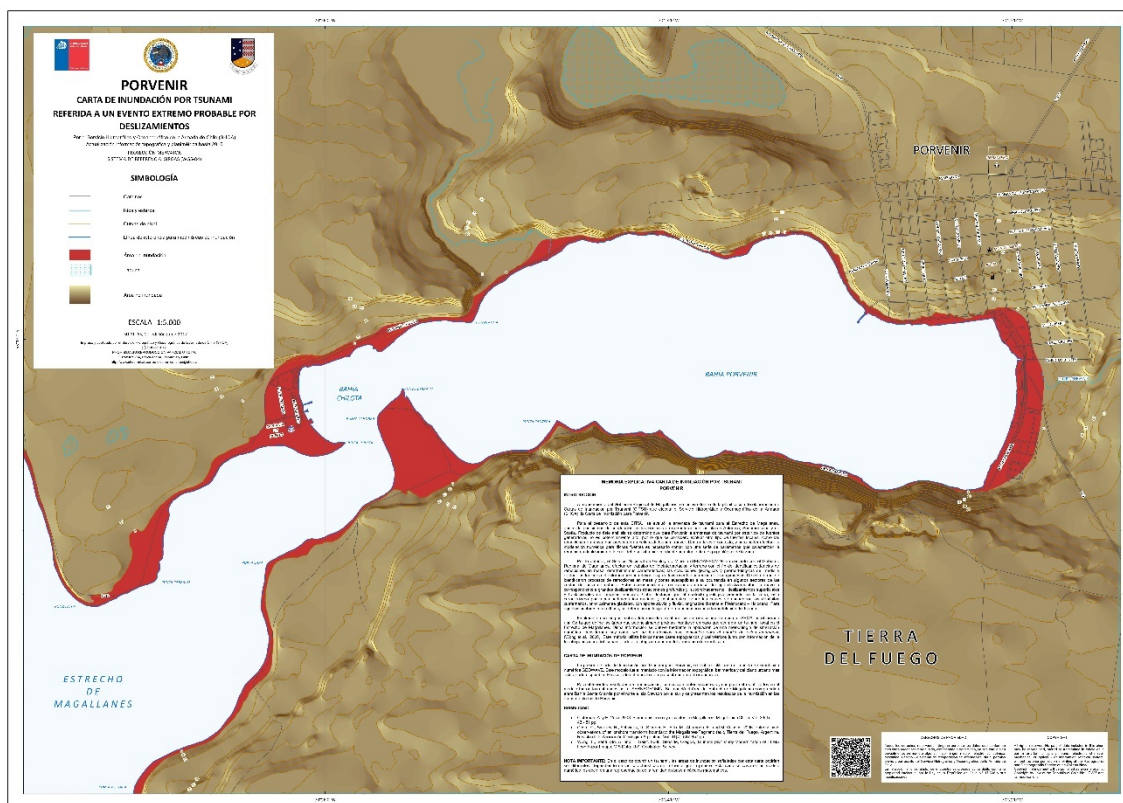
Sernageomin identificó remociones en masa del tipo deslizamientos rotacionales profundos y deslizamientos superficiales traslacionales menores.

Finalmente, con los parámetros determinados en el análisis de remociones en masa, el SHOA, ha elaborado una Carta que define las áreas que potencialmente podrían inundarse en caso que ocurriera un tsunami local en el Estrecho de Magallanes .

SHOA 2017, Porvenir. Carta de inundación por tsunami referida a un evento extremo probable por deslizamientos. Presenta en general cota de inundación menor a 5 metros (mayor a 5 mts en zonas acantiladas) como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 19 Carta de inundación por tsunami Porvenir





Fuente: SHOA 2017

## II.11 LICUEFACCIÓN

Dentro de los fenómenos asociados a los sismos, la licuefacción de Suelos es reconocida como un proceso natural mediante el cual determinados tipos de suelos saturados, no consolidados y no cohesivos (**como arenas sueltas, arenas y limos mal graduados**) que pierden su resistencia al corte debido a vibraciones del terreno y temporalmente se transforman a un estado licuado (se comportan como un líquido) gatillados por sismos. En este proceso el suelo experimenta una pérdida pasajera de resistencia que comúnmente hace que se produzca un desplazamiento o falla del terreno (las estructuras se hunden) y es típico de sectores con depósitos fluviales, deltas y desembocadura de ríos, donde predominan depósitos de arenas y limos no consolidados (a profundidades menores de 15 metros) y nivel freático alto (cercano a superficie e inferior a 3 metros). Además, sucede en los suelos que poseen baja compactación, por ejemplo, aquellos terrenos ubicados donde antes existieron lagos o lagunas. De igual importancia es la licuefacción en rellenos antrópicos deficientemente trabajados, principalmente, sobre zonas de humedales. Dentro de los efectos de la licuefacción, se han evidenciado formación de grietas, hundimientos de terreno, asentamientos diferenciales de estructuras, “golpes de agua” (surgimiento de agua) y volcanes de arena, a menudo provocan que las estructuras se hundan o dañen.

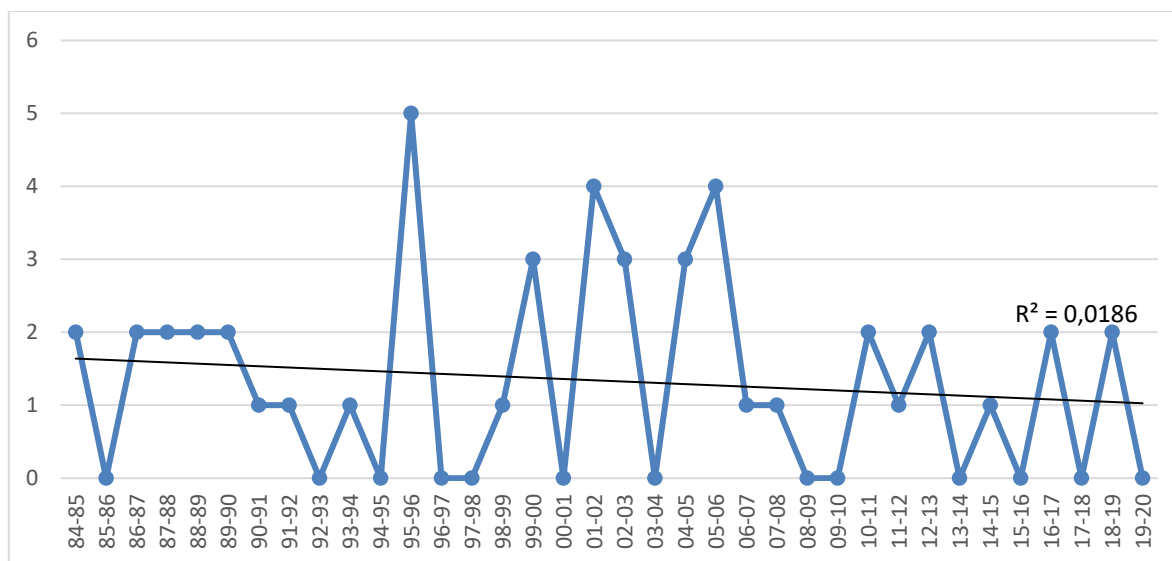
En el caso particular de Porvenir, este proceso podría ocurrir en sectores de humedales, turberas y vegas, así como en depósitos no consolidados en las terrazas adyacentes de los cauces principales de los ríos.

## II.12 INCENDIOS

La estadística de CONAF respecto de la ocurrencia de incendio en la comuna de Porvenir entre las temporadas 1985-86 a 2019-20, registra un total de 46 siniestros y una superficie total de 2952 hectáreas.

Respecto de la tendencia del número de siniestros por año es a la baja, la temporada de mayor número de incendios corresponde 1995-96 con 5 y la más baja con 0 registro se repite en 13 temporadas. Como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 20 Número de incendios por temporada 1985-86 A 2019-20

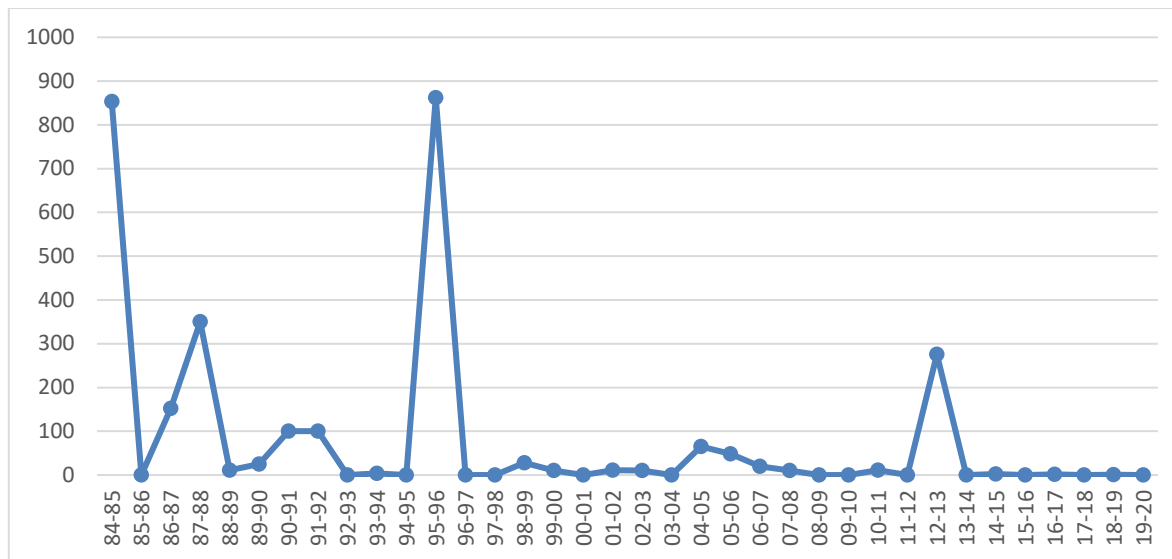


Fuente: Elaboración propia en base a datos de “ocurrencia histórica de incendios” CONAF

Respecto de la superficie quemada su tendencia es la baja de la superficie quemada. La temporada 1984-85 representa un 29% de la superficie quemada a la fecha, la temporada 1994-95 representa un 29% de la superficie quemada a la fecha y la temporada 1987-88 representa un 12% del total de la superficie quemada a la fecha.

Como se puede apreciar en la siguiente figura existe 3 eventos mayores y los restantes las superficies quemadas son menores a las 300 hectáreas.

Figura 21 Superficie siniestrada por temporada 1985-86 A 2019-20.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de "ocurrencia histórica de incendios" CONAF

## II.13 CATASTRO DE HISTÓRICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS

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


Tabla 8 Registro de alerta roja ONEMI

Fecha	Fuente	Observación
07/10/2012		Se declara Alerta Roja para la comuna de Porvenir por incendio forestal  En consideración al incendio forestal que se desarrolla en el sector de estancia "La Serena", ubicada en el kilómetro 155 de la Ruta CH – 257, comuna de Porvenir, que afecta una superficie de 50 hectáreas, aproximadamente, de pastizales y matorrales, sumado a la condición de vientos arrachados presentes en el sector, lo que favorece su extensión y severidad, la Dirección Regional de ONEMI Magallanes en concordancia con CONAF, declara Alerta Roja para la comuna de Porvenir en la Región de Magallanes.

Fuente: [www.onemi.cl](http://www.onemi.cl)

Tabla 9 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones

Fecha	Fuente/comentario	Imagen
05-04-2018	Municipalidad de porvenir	

	<p>Distintos lugares de la comuna de Porvenir sufrieron inundaciones producto de la gran cantidad de lluvia caída en la ciudad.</p> <p>Fuente:  <a href="https://www.muniporvenir.cl/2018/04/04/distintos-lugares-de-la-comuna-de-porvenir-sufrieron-inundaciones-producto-de-la-gran-cantidad-de-lluvia-caida-en-la-ciudad/">https://www.muniporvenir.cl/2018/04/04/distintos-lugares-de-la-comuna-de-porvenir-sufrieron-inundaciones-producto-de-la-gran-cantidad-de-lluvia-caida-en-la-ciudad/</a> </p>	
23/05/ 2019	<p><a href="https://www.ovejeronoticias.cl/">https://www.ovejeronoticias.cl/</a>  Pérdidas totales sufrió una familia en Porvenir tras inundarse su vivienda. Hacia las 00:00 horas de anoche 23 de mayo el Cuerpo de Bomberos fue alertado tras un llamado por una inundación domiciliaria anoche en calle Señoret 402 frente a la costanera de la ciudad de Porvenir. Al concurrir al lugar de la emergencia, resultó que una familia compuesta por dos adultos y dos menores se encontraba con su vivienda inundada completamente. La inundación se produjo producto de las intensas lluvias de la tarde de ayer. </p>	

Fuente:<https://www.ovejeronoticias.cl/2019/05/perdidas-totales-sufrio-una-familia-en-porvenir-tras-inundarse-su-vivienda/>

Tabla 10 Registro de riesgos naturales y antrópicos por Desinventar Sendai<sup>11</sup> para comuna de Torres del Paine

Evento	Fecha	Fuente	Descripción
Incendio	2007/09/30	El Mercurio	Aeródromo Capitán Fuentes Martínez.
Incendio	2003/05/14	El Mercurio	Intersección de las calles Croacia y Williams.
Incendio	1994/04/22	El Mercurio	Puerto Williams
Incendio	1989/05/08	El Mercurio	sector de Pampa Guanaco
Incendio	1986/01/01	El Mercurio	Campamento de ENAP río Chico 75 km al sur de San Sebastian
Incendio	1985/04/07	El Mercurio	Cuter Pesquero San Jorge
Incendio	1971/02/27	La Tercera	Estancia Harbour

Fuente: <https://www.desinventar.net/DesInventar/results.jsp>

## II.14 CONCLUSIONES LÍNEA DE BASE MEDIO FÍSICO

Son característicos de la comuna el clima de Tundra (ET) sobre los 2000 metros de altitud y corresponde a sectores de montaña. Bajo los 2000 metros de altitud se encuentra el clima mediterráneo frío de lluvia invernal (Csc) con un aumento de precipitaciones que corresponde a los sectores con mayores precipitaciones en la comuna.

De acuerdo a dicha clasificación y a la siguiente figura se puede observar que la localidad de Porvenir se encuentra en el clima mediterráneo frío de lluvia invernal (Csc) en general corresponde a un sector de altas precipitaciones.

En general la proyección de temperatura y precipitaciones al año 2050, supone un aumento de las temperaturas tanto en época estival (1,1° C) como en promedio invernal (1,5°C), especialmente en invierno (mes de julio) y un leve aumento de las precipitaciones promedio comunal de 20 mm (de 1065 a 1085 mm).

Los sistemas montañosos determinan para la Tierra del Fuego, la formación de un rico complejo hidrográfico. La isla posee una gran cantidad de depósitos lacustres, de variado tamaño y características<sup>12</sup>.

La zona de Porvenir pertenece al sistema tributario del Estrecho de Magallanes, con los principales río que son el Río Sta. María que desemboca al nivel del Paso Boquerón y el Río Verde que desemboca a la Bahía Gente Grande, que se ubican al sur y noreste del

---

<sup>11</sup> DesInventar Sendai es una nueva versión del software ampliamente utilizado y ampliamente probado que implementa todos los Indicadores y datos necesarios para el Monitoreo de las Metas A a D del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, que corresponden a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) paralelos. indicadores de los Objetivos 1, 11 y 13.

<sup>12</sup> PLADECO Porvenir 2014-2017

área, respectivamente. Igualmente, se encuentran los Río del Oro, Río Serrano, Río Porvenir, Río Centenario, Río Torcido, Río Chico.

Los aspectos geomorfológicos más importantes dividen la comuna corresponde al de pampa magallánica

La geología de la comuna de Porvenir está compuesta principalmente por depósitos (morrénicos, fluvioglaciales, aluviales, coluviales) y secuencias sedimentarias marinas (sublitorales y trangresivas)

Las secuencias sedimentarias e localizan en el sector central y oriental de la comuna, su formación está en directa relación con los procesos glaciares y posteriores procesos aluviales

En la comuna se catastraron más de 27 usos de suelos por CONAF, 3 de ellos concentran un 73% de la superficie comunal. Ellos son Matorral Pradera Abierto 42%, seguido de Praderas Perennes 17% y Matorral Abierto 14%.

Las áreas bajo protección oficial corresponde al Monumento natural Laguna Cisnes. Corresponden a los 7 islotes interiores de la Laguna de Los Cisnes. La unidad destaca por la protección de las especies de fauna compuesta principalmente por aves, entre ellas el cisne de cuello negro, flamenco y caiquén. En cuanto a flora, los islotes del Monumento Natural se encuentran desprovistos de vegetación

De acuerdo al estudio “Peligros volcánicos de Chile” (SERNAGEOMIN 2011), la comuna podría ser afectada por las erupciones de los Volcanes Burney y Pali-Aike, ambos en categoría de “Volcanes geológicamente activo de bajo nivel de riesgo específico”. Respecto del peligro de lahares y flujos piroclásticos es bajo y en relación a la caída de piroclastos en la comuna estos serían de categoría baja caída.

Respecto de los temas de sísmicos, tsunami y licuefacción, están directamente relacionados con la cantidad e intensidad de estos. La sismicidad en Magallanes está caracterizada principalmente por sismos corticales con una profundidad menor que 40 km. La magnitud máxima observada es  $M_L=4.3$ , pero la mayor parte de los sismos son más pequeños. La sismicidad al norte de la Falla de Magallanes corresponde a la convergencia entre las placas Sudamericana y Antártica, y los mecanismos de los sismos mejor observados muestran compresión este-oeste (Adaros, 2003). La sismicidad es mucho más débil al sur de la Falla de Magallanes. Se ven unos pocos eventos sobre la falla, y en particular uno de ellos corresponde a una falla de cizalle con movimiento horizontal sinistral. Los otros, al sur de la falla, están distribuidos y corresponden a la convergencia entre las placas de Antártica y Scotia (Cisternas y Vera, 2008). Si se consideran sólo los sismos superficiales (profundidad menor que 3 km), se observa una actividad importante en torno al volcán Reclus y otra menor alrededor del volcán Burney además de la actividad tectónica.

La localidad de Porvenir la Carta de inundación por tsunami referida a un evento extremo probable por deslizamientos. Presenta en general cota de inundación menor a 5 metros (mayor a 5 mts en zonas acantiladas)

La estadística de CONAF respecto de la ocurrencia de incendio en la comuna de Porvenir entre las temporadas 1985-86 a 2019-20, registra un total de 46 siniestros y una superficie total de 2952 hectáreas. Respecto de la tendencia del número de siniestros por año es a la baja, la temporada de mayor número de incendios corresponde 1995-96 con 5 y la más baja con 0 registro se repite en 13 temporadas.

Respecto de la recopilación de antecedentes sobre la ocurrencia de riesgos, se centran principalmente en episodios de incendios e inundación por desborde cauces originados por deshielo en época estival, como los ocurrido en febrero de 2018 y 2019. De los riesgos catastrados los que podrían afectar directamente a las localidades en estudio corresponde principalmente al desborde de cauces ya sea por deshielo o por intensas precipitaciones.

## III ANTECEDENTES TEÓRICOS

### III.1 CONCEPTOS

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

---

\* 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



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

### III.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.

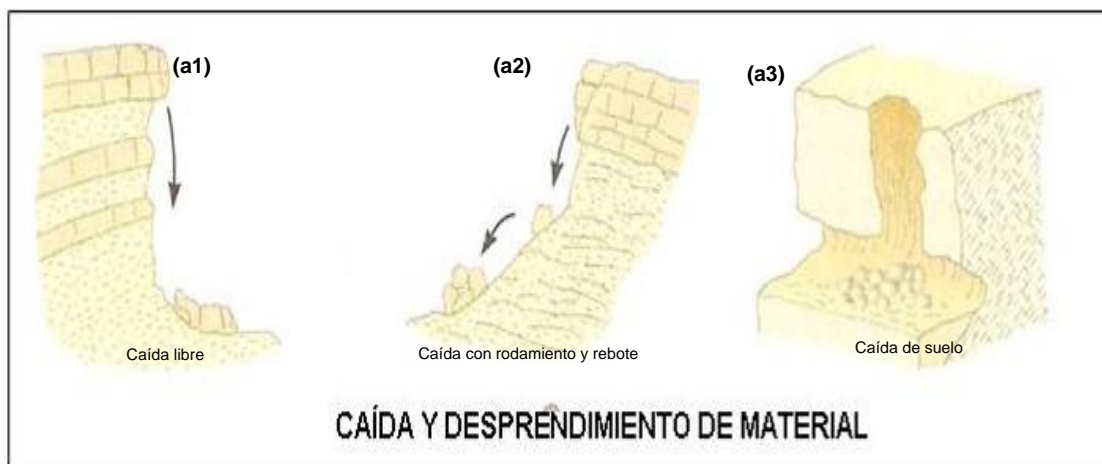
Las clasificaciones más recientes (Hungr, 2014) dan cuenta de una gran cantidad de materiales diferenciables entre sí por sus propiedades geológicas y comportamiento geotécnico (diferenciando entre rocas, detritos, suelos, regolito y otros). Dentro de la característica de cada tipo de remoción en masa, 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).

Figura 22 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas

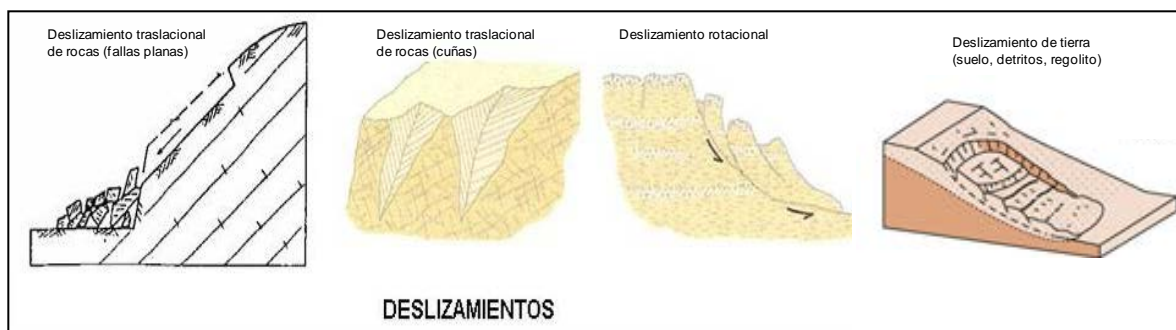


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Los deslizamientos corresponden a movimientos de masas ladera abajo que ocurren a través de una o más superficies de cizalle 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 (Hung, 2014). Ver Figura a continuación.

Figura 23 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos

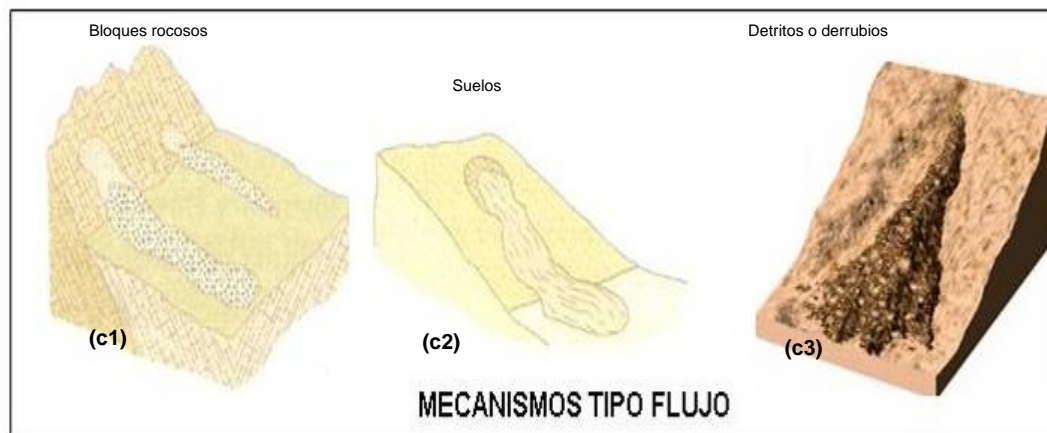


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

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.

Figura 24 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 movilizadada, 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 períodos 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.

### III.3 INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCES

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.

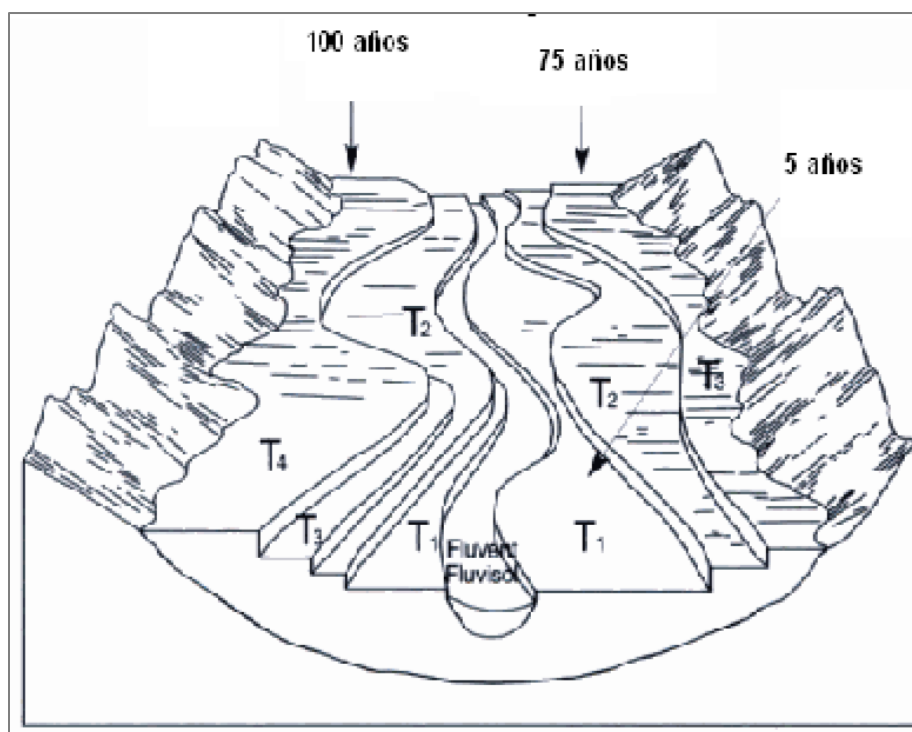
El sistema fluvial responde al aporte de agua desde fuera del sistema (Camarasa, 2002, en Rojas, 2009), produciendo una aceleración de los procesos de erosión, transporte y sedimentación en el área afectada. En la intensificación de un proceso de crecida que puede terminar en inundación, intervienen 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).

Tarbut & 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.

Figura 25 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).

### III.4 INUNDACIONES 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 situaciones<sup>13</sup>: 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.

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

---

<sup>13</sup> Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile

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 que 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.<sup>14</sup>:

- 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.

---

<sup>14</sup> Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile

### III.5 INUNDACIONES 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 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 infraestructura<sup>15</sup>.

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 esta dentro de ella.

**Remotos:** (o tele - tsunamis) si ese lugar dista más de una longitud de una longitud de onda o esta 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.

---

<sup>15</sup> Belmonte-Pool J, 2011 “Estudio fundado de riesgos por tsunami área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal comuna de Santo Domingo

## IV 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 tsunami) 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.

#### **IV.1 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 geológico 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:

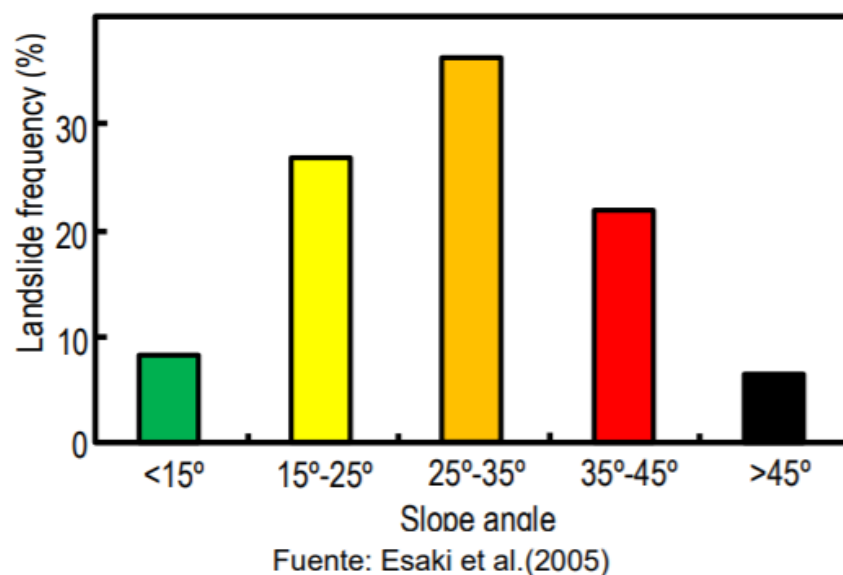
Diversos autores señalan que uno de los principales factores que determina la generación de remociones en masa es la pendiente de las laderas (Esaki, et al., 2005; Giraud & Shaw, 2007). Para diferenciar qué pendientes son las más susceptibles, se utilizó la información compilada a partir de diversas 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°

Figura 26 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



## IV.2 INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCES 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)

### **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 aéreas de manera de delimitar el área máxima utilizada por el cuerpo de agua.

## **IV.3 INUNDACIONES POR TUSUNAMI**

Las inundaciones marinas son procesos naturales que se han producido periódicamente en tiempo geológico.

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 litoral (Terrazas)
- Estudio de inundación por tsunami más cercano

## **IV.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 11 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
<b>Inundaciones por desborde de cauce</b>	- 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
<b>Inundaciones por anegamiento</b>	- Morfología - Malas condiciones de drenaje	- Lluvias	- Imágenes satelitales - Catastro de humedales - Estudios hidráulicos existentes
<b>Inundaciones por Tsunami</b>	- Morfología	- Sismos	- Estudios existentes en área cercana - Observaciones en terreno
<b>Remociones en masa (procesos de ladera)</b>	- Pendientes - Material que compone la ladera (geología) - Exposición de laderas - Formaciones vegetales	- Sismos - Lluvias intensas - Viento	- Pendiente del terreno - Catastro de remociones en masa
<b>Erosión acentuada</b>	- Morfología - Geología	- Sismos - Lluvias intensas - Viento	- Estudios existentes - Catastro de eventos - Observaciones en terreno
<b>Incendios</b>	- Pendientes - Formaciones vegetales	- Altas temperaturas - Vientos	- No susceptible
<b>Sismicidad</b>	- Características de los depósitos	- Sismos	- No susceptible
<b>Volcanismo (caída de ceniza)</b>	- Distancia a los centros eruptivos - Morfología del terreno - Dirección del viento	- Erupciones	- No susceptible

Fuente: Elaboración propia

## V 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

- a. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas, Corresponde en este estudio a los peligros geológicos de remociones en masa
- b. Zonas Inundables. Dentro de esta categoría están las áreas de riesgo por desbordes de cauces y anegamiento, y por tsunamis.
- c. Zonas con riesgo de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas, no zonificados en este estudio
- d. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana. Corresponde en este estudio a vertederos

### V.1 ZONAS PROPENSAS A AVALANCHAS, RODADOS, ALUVIONES O EROSIONES ACENTUADAS

A partir de los términos de referencia del estudio, objetivos planteados, escala de la información base disponible, se entregan áreas con mayor susceptibilidad a la generación de remociones en masa local (avalanchas, rodados u aluviones) y áreas de erosiones acentuadas (pozos de extracción de áridos y/o acopio). 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.

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).

En las áreas de erosiones acentuadas reconocidas en el presente estudio es posible detectar “Derrumbes y Asentamiento del Suelo”. Corresponden a áreas que presentan inestabilidad estructural por estar constituidas por rellenos artificiales o por corresponder a pozos originados por actividades extractivas de materiales pétreos, áridos, arcillas y puzolanas. En dichos sectores las altas pendientes y las depresiones de las excavaciones de pozos potencian la ocurrencia de derrumbes y asentamiento de suelos.

## **V.2 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**

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). Y la determinación de las depresiones del terreno factibles de anegamiento y/o sectores de humedales a través de modelamiento 3D de la topografía.

### **Las áreas de riesgo de inundación por Tsunami**

Las áreas de riesgo de inundación por tsunami, se consideró la “Carta de inundación por tsunami, referida a un evento extremo probable por deslizamientos, SHOA 2017” de una escala de levantamiento 1:5.000. Los resultados obtenidos de la inundación, en general, bajo la cota de los 5 mts y mayor a 5 mts en zonas acantiladas.

## **V.3 ÁREAS DE RIESGO POR ACTIVIDADES O INTERVENCIÓN HUMANA**

Se reconoce como áreas de riesgos por intervención humana el terreno comprendido por el relleno sanitario por las condiciones de relleno artificial (asentamiento de suelos) y potencialmente peligrosos por la emanación de gases (potencialmente inflamables) producto de la descomposición de los residuos sólidos domiciliarios.

Figura 27 Susceptibilidades de las áreas de riesgos de Porvenir



Fuente: Elaboración propia

## V.4 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 JURÍDICO
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.
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 Nº 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. Nº 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. Nº 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



## V.5 ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL

### V.5.1 ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL

En el Área Territorial del Plan Regulador Comunal de Porvenir identifica 1 áreas de protección del recurso de valor natural, correspondiente a “Humedal Urbano Porvenir” . adicionalmente, el límite norte del área rural normada limita con el Monumento Natural Laguna de los Cisnes.

Tabla 12 Humedal Urbano Porvenir

<b>Norma</b>	<b>Fecha de promulgación de la norma</b>	<b>Fecha de publicación en el Diario Oficial</b>	<b>Norma en BCN</b>	<b>Institución que firma la norma</b>
Creación	30/09/2022	10/11/2022	Resolución 1.205	Ministerio de Medio Ambiente

Fuente:

<https://www.diariooficial.interior.gob.cl/publicaciones/2022/11/10/43397/01/2213993.pdf>

Tabla 13 Monumento Natural Laguna de los Cisnes

<b>Norma</b>	<b>Fecha de promulgación de la norma</b>	<b>Fecha de publicación en el Diario Oficial</b>	<b>Norma en BCN</b>	<b>Institución que firma la norma</b>
Creación	09/02/1982	13/10/1982	Decreto 160	Ministerio de Agricultura
Modificación	28/07/1982	03/09/1982	Decreto 492	Ministerio de Bienes Nacionales

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

### **V.5.2 ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR CULTURAL**

En el Área Territorial del Plan Regulador de Porvenir se identifican los siguientes Inmuebles de Conservación Histórica.

1. Mario Guerrero N°273 (Ex Cruz Roja)
2. Señoret N° 59
3. Señoret N° 165
4. Señoret N° 202
5. Av. Santa María N° 88
6. Señoret N° 642
7. Señoret N° 790
8. Señoret N° 830
9. Señoret N° 899
10. Croacia N° 162
11. Croacia N° 356
12. Croacia N° 462 (Capilla Antigua Francisco de Salles)
13. Croacia N° 465
14. Croacia N° 752
15. Bernardo Phillipi N° 201
16. Padre Mario Zavattaro N° 273
17. Padre Mario Zavattaro N° 270
18. Francisco Sampaio N° 191
19. Doble Almeyda N° 43
20. Muñoz Gamero N° 269
21. Oscar Viel N° 61
22. Croacia N° 702

## VI CONCLUSIONES

Inundación por desborde de cauces y anegamiento. En Porvenir se han identificado al menos tres terrazas de inundación de los cursos de agua principales. Adicionalmente se identificaron sectores de anegamientos en el borde río con características de área de humedal (se revisará en visita a terreno próximamente) y sectores deprimidos de las terrazas superiores. La modelación 3d, arroja sectores deprimidos potencialmente inundables producto de intervenciones antrópicas (pozos de extracción de áridos y otros) y depresiones naturales de posibles paleo cauces.

La inundación por tsunami, referida a eventos probables de deslizamientos, dado que eventos tsunamigénicos de largo alcance son poco factibles para esta localidad.

Remociones en masa. En Porvenir existen laderas en el sector Oriente y poniente de la localidad posibles de generar remociones en masa por la alta pendiente (sobre 15°) y la falta de cobertura vegetal de raíces profundas que contengan la ladera. Se observó en la ladera oriente 2 flujos producidos por un aumento de la intensidad de las precipitaciones y por la acumulación de suelo en estado de ser arrastrado por la lámina de agua durante la lluvia.

## VI REFERENCIAS

- 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.
- Borgel Olivares, Reynaldo, 1983-. Geomorfología Reinaldo Börgel Olivares. Mapoteca. Disponible en Biblioteca Nacional Digital de Chile <http://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/bnd/631/w3-article-350768.html>.
- Cisternas, Armando, & Vera, Emilio. (2008). Sismos históricos y recientes en Magallanes. *Magallania* (Punta Arenas), 36(1), 43-51.
- Comisión Nacional de Riego; 2019 Arrau Ingeniería Spa, Estudio Construcción proyecto de riego Magallanes, comuna Porvenir : resumen ejecutivo. Informe final.
- CONAF, 2020, Incendios Forestales Estadística - Ocurrencia y Daño por Comuna 1985 a 2020
- 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.
- DGA 2021, Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea
- Falcón, M.; Ramírez, P. 2012. Generación de Mapas de Licuefacción a partir del sismo 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
- GORE Magallanes y de la Antártica Chilena, Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Ensanchamiento Canal Kirke, Última Esperanza" dic 2017
- GORE, 2012, Sistema estratégico riesgos naturales. Región de Magallanes y Antártica Chilena
- 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.
- Keller, E.; Blodget, R. 2004. Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Editorial Pearson, S.A., Madrid 2004. 448 pp.
- 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.
- MMA, 2016. Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al año 2050 INFORME FINAL. 84 pp
- Madariaga, R. 1998. Física de la Tierra TS5N: 0214-4557. 1998, n.10, p. 221-255 Sismicidad de Chile.

- Nature.com 2021, Slip rates along the narrow Magallanes Fault System, Tierra Del Fuego Región, Patagonia
- ONEMI, 2018, Plan Regional para la Reducción del Riesgo de Desastres, Región de Magallanes y Antártica Chilena
- ONEMI, 2019, Actualización del plan específico por variable de riesgo de tsunami en la región de Magallanes y de la Antártica Chilena
- ONEMI, 2019, Plan Específico de Emergencia por variable incendios forestales en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena
- ONEMI, 2018, Mapa de Riesgo Regional Peligro Volcánico y Tsunami, Región de Magallanes y La Antártica Chilena
- PLADECO Porvenir 2014 - 2017
- SERNAGEOMIN. Principales desastres ocurridos desde 1980 en Chile.
- SERNAGEOMIN. Mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000.
- SHOA. 2016, Porvenir, Carta de inundación por tsunami referida a un evento extremo probable por deslizamientos, escala 1:5.000
- 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
- EIA EXPLORACIÓN LAGO MERCEDES, XII REGION, INSTALACIONES DE PRODUCCION

### **Otras Fuentes**

- [www.csn.uchile.cl/](http://www.csn.uchile.cl/) Centro Sismológico nacional. Sismos y sismicidad en Chile.
- [www.bcn.cl/siit/nuetropais/](http://www.bcn.cl/siit/nuetropais/)
- <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl/study/one/communes/341>
- <https://mma.gob.cl/>
- Pauta para estudio de Suelos. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Gobierno de Chile 2011.