

ACTUALIZACIÓN, PROSECUCIÓN Y TRAMITACIÓN PLAN REGULADOR DE LA COMUNA DE TIMAUKEL

Región de Magallanes y de la Antártica Chilena

Etapa 4.1: Ingreso y Aprobación de Informe ambiental

Estudio de Riesgos y de Protección Ambiental

Edición 2

Junio, 2023

ÍNDICE

I	INTRODUCCIÓN.....	8
I.1	OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	8
I.2	ÁREA DE ESTUDIO	8
I.3	ALCANCE Y LIMITACIONES.....	9
I.4	MARCO JURÍDICO.....	10
II	LÍNEA DE BASE MEDIO FÍSICO Y NATURAL	12
II.1	CLIMA	12
II.1.1	TEMPERATURA	15
II.1.2	PRECIPITACIONES.....	16
II.2	HIDROGRAFÍA.....	22
II.3	GEOMORFOLOGÍA	25
II.3.1	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	25
II.3.2	GEOMORFOLOGIA LOCAL.....	26
II.4	GEOLOGÍA	26
II.4.1	GEOMORFOLOGIA REGIONAL	26
II.4.2	GEOLOGÍA LOCAL.....	27
II.5	SUELO.....	30
II.6	VEGETACION	32
III	ÁREA BAJO PROTECCIÓN OFICIAL	36
III.1	PARQUE NACIONAL ALBERTO DAGOSTINI.....	36
III.2	PARQUE NACIONAL YENDEGAIA.....	37
III.3	ÁREA MARINA COSTERA PROTEGIDA SENO ALMIRANTAZGO.....	38
III.4	CONSERVACIÓN PRIVADA Y COMUNITARIA	39
IV	VOLCANISMO.....	40
IV.1	ACTIVIDAD VOLCÁNICA HISTÓRICA.....	42
IV.2	PELIGRO VOLCÁNICO COMUNA DE TIMAUKEL	43
V	SISMOS.....	45
V.1	SISMICIDAD COMO PELIGRO	47
V.2	ANTECEDENTES SÍSMICOS.....	48
VI	TSUNAMI	52

VI.1	CARTA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI PORVENIR (REFERENCIA)..	53
VII	LICUEFACCION	55
VIII	INCENDIOS.....	56
IX	CATASTRO DE HISTÓRICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS.....	58
X	CONCLUSIONES MEDIO FÍSICO	62
XI	ANTECEDENTES TEÓRICOS	64
XI.1	CONCEPTOS	64
XI.2	REMOCIONES EN MASA.....	65
XI.2.1	FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES.	68
XI.3	INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCES.....	72
XI.4	INUNDACIONES POR ANEGAMIENTO.....	74
XI.5	INUNDACIONES POR TSUNAMI	76
XII	METODOLOGÍA.....	78
XII.1	REMOCIONES EN MASA.....	79
XII.2	INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCES Y ANEGAMIENTO	80
XII.2.1	INUNDACIÓN POR ANEGAMIENTO	82
XII.3	INUNDACIONES POR TSUNAMI	82
XII.4	ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD	83
XIII	RESULTADOS	85
XIII.1	REMOCIÓN EN MASA Y EROSIÓN ACENTUADA	85
XIII.2	ÁREAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN	87
XIII.3	ZONAS NO EDIFICABLES.....	94
XIII.4	ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL	95
XIII.4.1	ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL.....	95
XIII.4.2	ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR CULTURAL	95
XIV	CONCLUSIONES.....	96
XIV.1	INUNDACIÓN POR DESBORDE DE CAUCES Y ANEGAMIENTO	96
XIV.2	REMOCIONES EN MASA.....	96
XIV.3	INUNDACIÓN POR TSUNAMI.....	97
XIV.4	RECOMENDACIONES	97
XV	REFERENCIAS.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Área de estudio	9
Figura 2 Clima comunal.....	14
Figura 3 Hidrografía comunal	24
Figura 4 Geología comunal.....	29
Figura 5 Perfil horizontes de suelo.....	31
Figura 6 Vegetación	35
Figura 7 Ficha Parque Nacional Alberto D'Agostini, Ministerio de Medio Ambiente.....	36
Figura 8 Emplazamiento Parque Nacional Yendegaia	37
Figura 9 Emplazamiento Área Marina Costera Protegida Seno Almirantazgo	38
Figura 10 Emplazamiento Parque Karukinka.....	39
Figura 11 Zonificación del Vulcanismo en Los Andes	40
Figura 12 Zonificación del Vulcanismo en Los Andes	41
Figura 13 Área de peligro volcánico	43
Figura 14 Modelo de subducción corteza oceánica (Placa de Nazca) – corteza continental (Placa Sudamericana).	46
Figura 15 Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto.....	48
Figura 16 Mapa tectónico simplificado	49
Figura 17 Carta de inundación por tsunamis Porvenir.....	54
Figura 18 Número de incendios por temporada comuna de Timaukel.....	56
Figura 19 Superficie siniestrada por temporada comuna de Timaukel.....	57
Figura 20 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas.....	66
Figura 21 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos.....	67
Figura 22 Remociones en Masa de tipo Flujo.....	68
Figura 23 Terrazas de inundación con periodos de retorno hipotéticos	73
Figura 26 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno.....	80
Figura 25 Delimitación Área de Riesgo por Inundaciones Crecida centenaria $Q = 32 \text{ m}^3/\text{s}$	82
Figura 26 Deslizamiento ladera poniente Villa Cameron	85
Figura 29 Deslizamiento ladera oriente Villa Cameron (camino de acceso).....	86
Figura 28 Pendientes sobre 15° Susceptibles de generar remociones en masa	86
Figura 29 Delimitación Área de Riesgo por Inundaciones	87

Figura 30 Delimitación Área de Riesgo por Inundaciones Crecida centenaria $Q = 32 \text{ m}^3/\text{s}$	88
Figura 31 Sector susceptible de anegamiento Villa Cameron.....	89
Figura 32 Sector susceptible de anegamiento, sector sur Villa Cameron	90
Figura 33 Sector susceptible socavamiento, sector Norte Villa Cameron	90
Figura 34 Sector susceptible anegamiento, sector Sur Pampa Guanaco	91
Figura 35 Sector susceptible anegamiento, sector Sur Pampa Guanaco	91
Figura 35 Áreas de riesgo Villa Cameron	92
Figura 34 Áreas de riesgo Pampa Guanaco	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación climática de Koppen en Comuna de Timaukel.....	13
Tabla 2: Línea base (1980 - 2010) - Escenario 2050.....	15
Tabla 3 Precipitaciones mensuales Estación Cameron	17
Tabla 4 Precipitaciones mensuales Estación Pampa Huanaco	19
Tabla 5: Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), Estación Cameron y estación Pampa Huanaco,	21
Tabla 6 Unidades geológicas comuna de Timaukel.....	27
Tabla 7 Vegetación y uso de suelo.....	32
Tabla 8 Registro de alerta ONEMI.....	58
Tabla 9 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones.....	59
Tabla 10 Registro de riesgos naturales y antrópicos por Desinventar Sendai para comuna de Timaukel.....	61
Tabla 11 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad.....	84
Tabla 12 Zonas No Edificables.....	94
Tabla 13 Criterios de zonificación de áreas de riesgos	98

I INTRODUCCIÓN

En el contexto de la Licitación Pública Estudio: “Actualización, Plan Regulador Comunal de Timaukel”, 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.

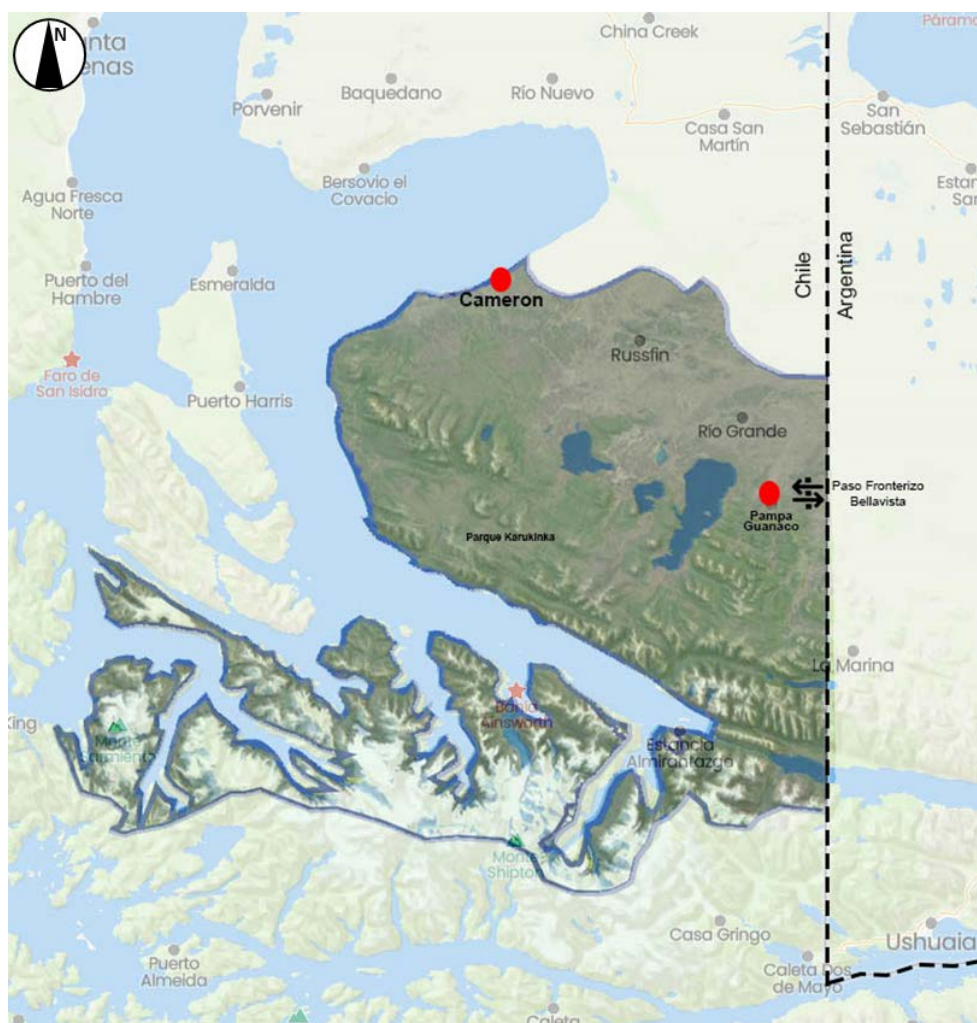
Los objetivos específicos de este estudio consisten en:

- 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 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende a las localidades de Villa Cameron y Pampa Guanaco de la comuna de Timaukel, Región de Magallanes y de la Antártica Chilena.

Figura 1 Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

I.3 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.4 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 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 a riesgo de incendio

Para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación un Estudio Fundado, elaborado por profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente conforme a la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, cuando corresponda.

Haciendo una agrupación de las amenazas de origen natural que generan la definición de zonas de riesgo según la OGUC, se reconocen procesos de inundación y anegamiento; remociones en masa. 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.

El clima de la comuna de Timaukel, se caracteriza por ser de estepa frío y continental trasandino con influencia estepárica. Ambos climas tienen bajas temperatura, que oscilan entre -3° y 10° C según la época del año, las condiciones de humedad varían de norte a sur de la comuna lo que modifica notoriamente las características vegetacionales, los que unidos a variaciones de la topografía permiten recorrer en la comuna una diversidad de paisajes, desde esteparios a selva húmeda fría. Los niveles de precipitación son más bien

bajos, alcanzando los 500 mm en el sector Norte cercano a la Cordillera, hasta los 250 mm en la parte Norte de Tierra del Fuego¹.

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 Timaukel

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

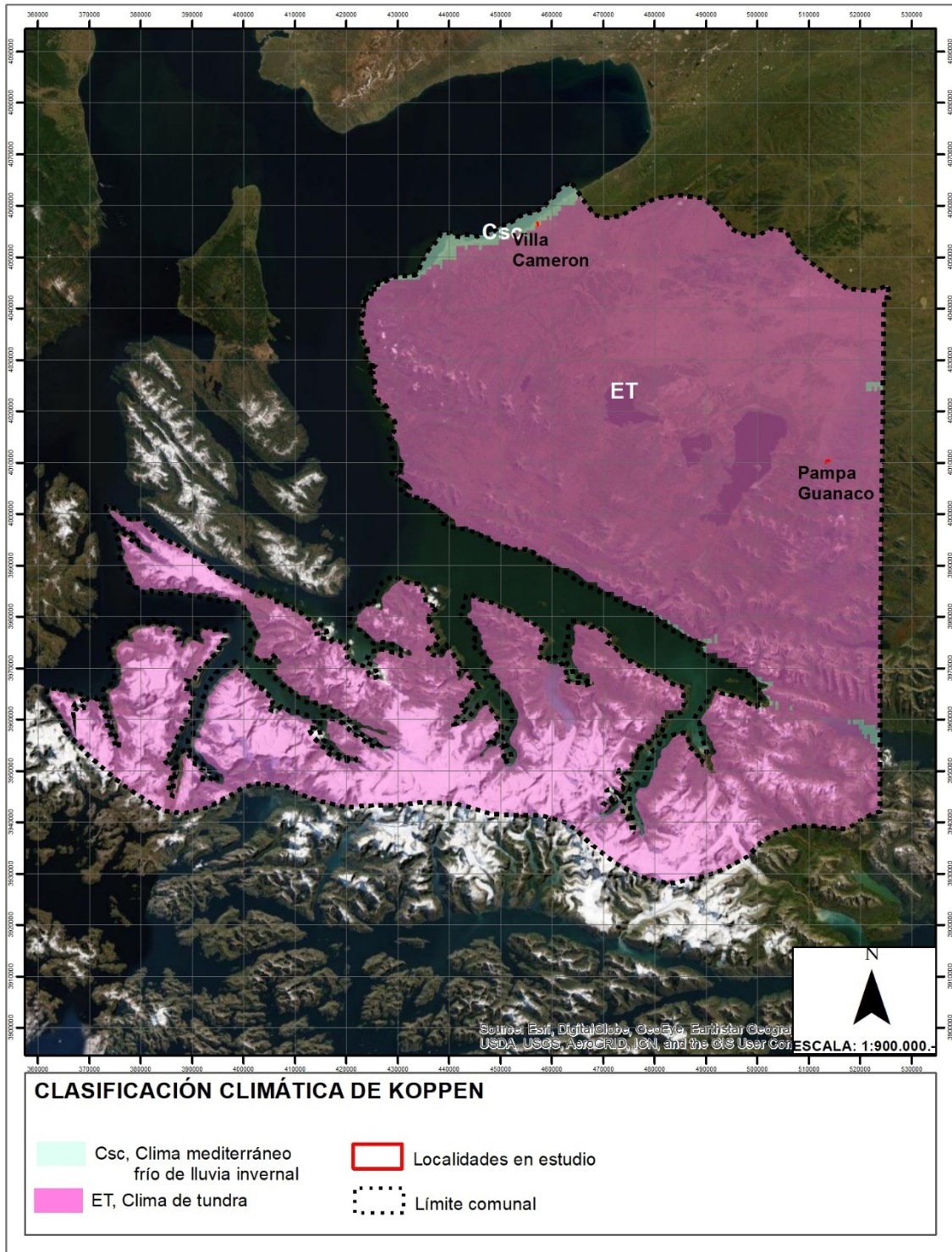
Fuente: Koppen 2017

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 con dicha clasificación y a la siguiente figura se puede observar que la localidad de Villa Cameron se encuentra en el clima mediterráneo frío de lluvia invernal (Csc) en general corresponde a un sector de altas precipitaciones. Respecto de Pampa Guanaco corresponde al clima de Tundra (ET). En la siguiente imagen se puede apreciar la localización de los tipos de climas en función de la altura y la topografía en general.

¹ Nuevo Siglo Consultores, 2015, Actualización de Plan de Desarrollo Comunal de la comuna de Timaukel, Provincia de Tierra del Fuego

Figura 2 Clima comunal



Fuente: Koppen 2016

II.1.1 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 Timaukel 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 82 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)	12,8	4,3	3,1	-0,7	8,1	1,1	2059	1347	3636
ESCENARIO 2050	13,7	5,4	4,5	0,9	9,1	2,6	2141	1389	3791
DIFERENCIA	0,9	1,1	1,4	1,6	1	1,5	82	42	155
TXE: Temperatura máxima estival (Máxima media del mes más cálido, ENERO).									
TNE: Temperatura mínima estival (Mínima media del mes más cálido, ENERO).									
TXJ: Temperatura máxima invernal (Máxima media del mes más frío, JULIO).									
TNJ: Temperatura mínima invernal (Mínima media del mes más frío, JULIO).									
Temed: Temperatura media del período estival (Diciembre - Enero - Febrero).									
Tjmed: Temperatura media del período invernal (Junio - Julio - Agosto).									
PPA: Precipitación normal anual.									
PPA MIN: Precipitación anual más baja en cada subcomuna.									
PPA MAX: Precipitación anual más alta en cada subcomuna.									

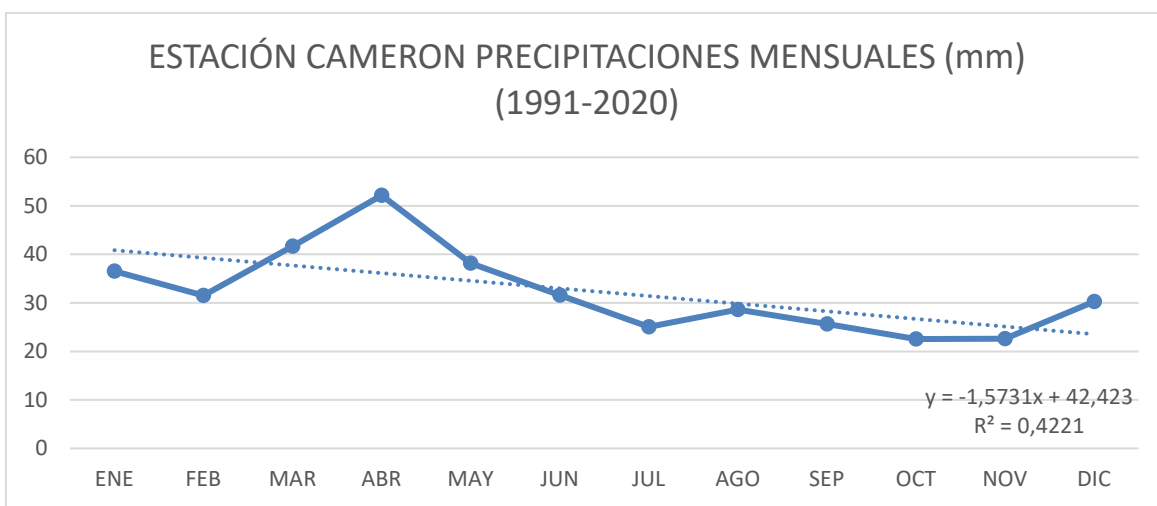
Fuente: <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl>

II.1.2 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 las estaciones Cameron en Villa Cameron y estación Pampa Huanaco de la localidad de Pampa Guanaco

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 Villa Cameron corresponden a marzo, abril y mayo principalmente (sobre 40 mm)



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

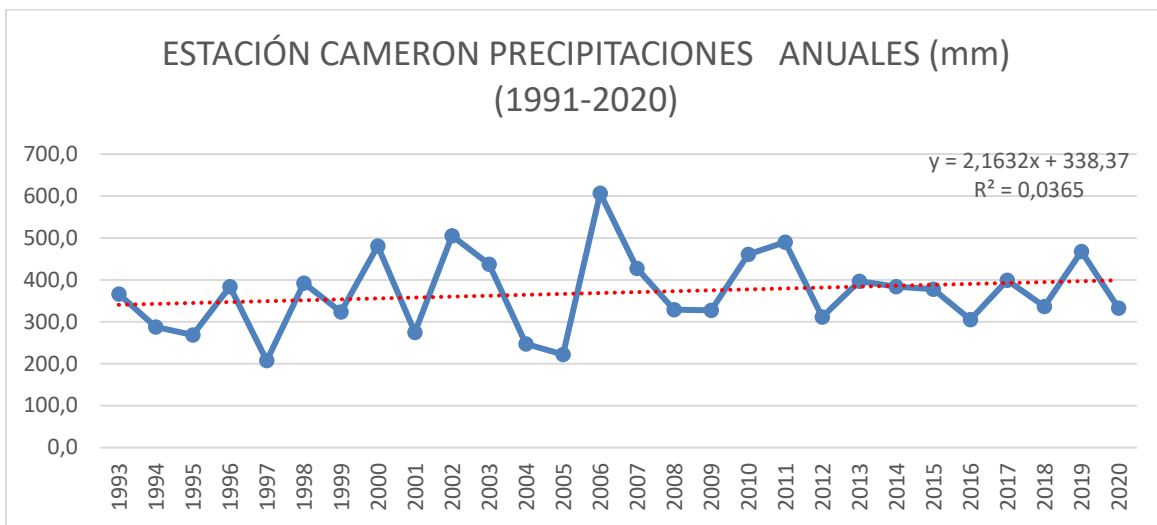
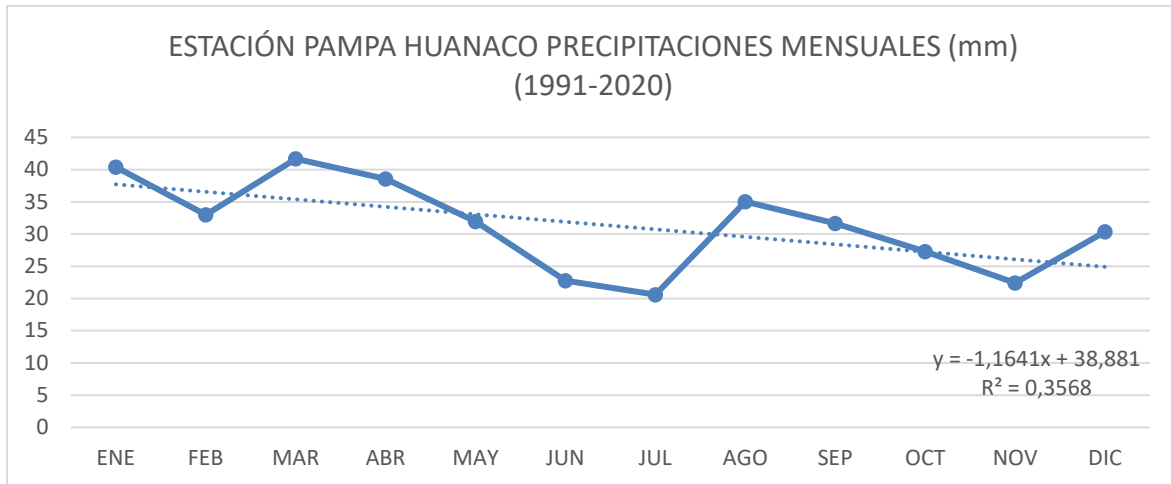


Tabla 3 Precipitaciones mensuales Estación Cameron

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1993				254	19,5	9,6	17	37,7	6,3	2,9	14,4	5,3	366,4
1994	18,7	5,6	9,2	11,3	36,1	69	14	16,1	29	1	49,1	29	287,8
1995				38,2	78,5	14	20	9	21	42	11	36	268,7
1996	41,5	45	74	80	80	18	7,6	3,2	19	4	3	8,3	383,9
1997	3,2	47	2,9	29	14,8	3,3	9,9	8,1	4,9	11,7	13	60	207,3
1998	11,7	1,1	2,8	0	12,7	44	4,7	80,3	13	80,6	92	49	391,9
1999	4,1	32	8	34	53	42	35	28	40	19,1	12	17	323,8
2000	29	19	59	62	98,3	56	45	15	11	3	45	39	481,1
2001	60	45	28	33	31	25	14	3	6	8,5	4	18	275,0
2002	24,9	45	16,5	68,5	7	11	37	77	96	57	21	45	504,9
2003	51	29	126	18	32	15	31	20	19	37	20	39	437,0
2004	36	25	24,5	38	50,8	45	2,5	4,6	12	2,9	2,2	4,1	247,6
2005					12,7		31	35,5	41	36,5	52	14	222,2
2006	113	75	11	95,1	31	67	21	31,5	66	35	15,5	46	606,6
2007	48	34	66,5	62,5	37	32	23	17,5	19	27	11,5	50	427,5
2008	8	37	54,5	38,5	12,5	23	34	52	8	28	13	21	329,0
2009	17,5	18	3	96,5	38,5	24	18	54,8	28	11,5	0	18	327,7
2010	87,2	35	53,5	47,5	42,2	46	29	13	30	20,5	31,9	25	461,3
2011	57,5	47	62,8	72,6	53,3	27	48	33	34	12,3	25,5	18	490,2
2012	34,8	8,2	41	31	0	23	49	14,2	34	14,6	17,5	45	311,6
2013	34,9	28	63,8	42,8	14,5	49	31	42,3	14	14,7	17,3	45	397,2
2014	35,6	19	65,8	31,8	22,4	34	17	46,9	34	13	25,2	39	383,8
2015	8,4	15	53,1	29,5	86,9	43	42	32,1	7,1	25,3	22,5	14	377,7
2016	17,8	34	28,3	31,4	6,8	39	30	40,6	5,4	22,5	26,5	24	305,5
2017	46,3	46	39,9	40,2	68,2	23	13	16,1	34	17,5	17,2	38	399,4
2018	43,4	26	32,6	40,2	29,4	26	19	28,1	19	26,3	18,6	28	336,5
2019	30,8	24	55,3	69,6	47,2	35	49	21	43	17,8	30,5	46	467,9
2020	49,8	50	60	13,2	51,8	13	11	20,1	25	39,1			333,1

Fuente: www.dga.cl

En la localidad de Pampa Guanaco 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 que para el caso de la Estación Pampa Huanaco corresponden a los meses de enero a mayo y agosto - septiembre principalmente (sobre 30 mm)



Respecto de la suma de las precipitaciones mensuales durante el periodo consultado obtenemos que el cálculo lineal tiene una tendencia al aumento de las precipitaciones, como se puede observar en la siguiente figura.

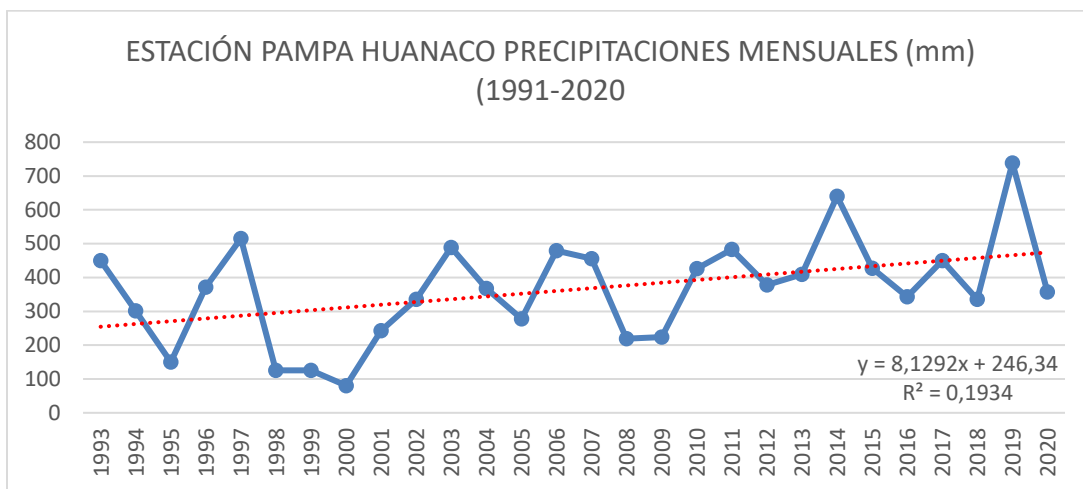


Tabla 4 Precipitaciones mensuales Estación Pampa Huanaco

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1993			75,6	65	62	0,5	30	54,7	62,4	43	17,3	40	449,5
1994	76,9	54	40,6	24,5	17,8	9,8	22	2	2,3	18	19,3	14	301
1995	22,5	28	13	22,2	28,6	5,3	1	2	6	11,8	3,5	6,8	150,2
1996	27,6	42	69,3	54,6	33	3	9,9		1,5	58,5	14	59	371,4
1997	54,6	74	25,7	70,5	11	32	19	41	56,7	33,5	41,5	55	515
1998	28	16	17	0,8	0		0	0	6,5	9,6	22,8	25	125,3
1999	21,1	29	27,8	4,2	15,8	0,5	5,5	1,7	7,7	3,5	3,2	5,4	125,7
2000	3,3	2,9	11,9	6,2	19	6,4	3	2,3	1	13,2	4,9	6,4	80,5
2001	13,3	35	5,1	19,8	12,5	21	37	9	0	3,1	54,1	33	242,8
2002	48,2	26	1,4	29,6	0	0	14	43,5	76,6	75,1	9,8	11	335,3
2003	28,6	3,5	109	17,6	64,8	54	32	1,4	57	60,8	17	43	488,3
2004	45,7	54	22,6	31,8	58,7	94	19	11,4	10,2	8,1	4,4	8,4	368
2005	3,7	0,4	16,9	33,9	45,8	0	5	6	15,6	40,1	85,4	25	277,8
2006	74,6	30	12,6	83,5	26,3	55	18	55	12,5	54	10,5	47	478,8
2007	40	47	82	74	36,5	25		9,8	52	37,5	10	43	455,6
2008	12,5	62	17,4	31,5	24	14	25		2	15	7,5	8,5	219,4
2009	39	18	45,4	82,7	10	1,5	1,5	0,5		0	8	17	223,6
2010	122	48	23	14	14,6	26	19	20,1	35,1	24,9	41,1	39	426,4
2011	82,9	28	68,6	62	43,2	38	35	36,4	36	13	29,8	11	483,5
2012	37,6	15	34,2	42,7	26,8	16	32	15,9	45,6	15,1	23,4	74	377,9
2013	27,9	30	63,3	35,4	24,2	49	21	56,4	14,6	14,6	18,7	54	409,5
2014	40,4	17	110	40,2	25,7	32	20	53,7	206	19,9	28,3	45	639,6
2015	11,9	24	58,6	39,9	81,2	25	42	33	32	30,8	33,1	16	427,7
2016	22,9	45	34	17	8,4	31	49	24,6	5,6	28,7	36	41	343
2017	42,9	60	48,2	51,6	62,7	19	12	43,4	36,6	26,2	22	26	450,2
2018	63,6	21	31,9	33,3	25,8	12		33,9	15,7	37,6	19,2	42	335,7
2019	36,5	21	54,4	79,6	40,1	32	44	343	26	15,8	21,2	25	738,8
2020	62,5	61	47,7	12,1	75,5	14	21	10,2		53,2			357,4

Fuente: www.dga.cl

Precipitaciones máximas anuales en 24 hrs

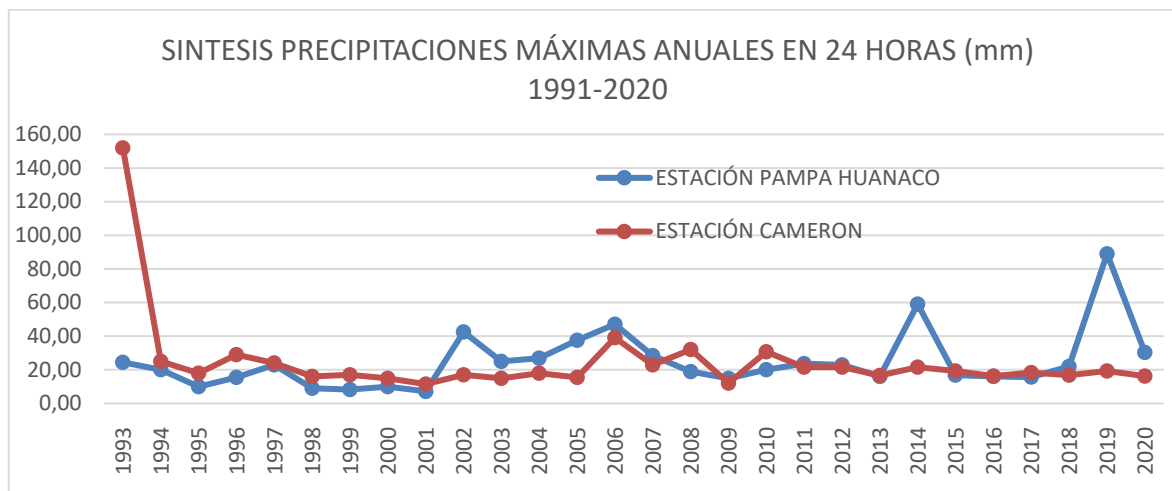
Las precipitaciones máximas anuales en 24 hrs, fueron obtenidas de la Dirección General de Agua (DGA), a través de "Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea". Se consultó un periodo de 30 años (1990 a 2020) para Timaukel.

La estación Cameron, presenta registros a contar del año 1993, en esos 27 años existe solo 1 evento sobre los 50.7² mm en 24 hrs, considerados como umbral de riesgo para la Región de Magallanes, de acuerdo a “Plan específico de emergencia por variable de riesgo – remoción en masa v0.0” de OMEMI. Adicionalmente, existen 3 registros sobre 30 mm en 24 hrs.

Respecto de la Estación Pampa Huanaco, presenta 2 eventos sobre los 50 mm en 24 hrs en los años 2014 (59 mm) y 2018 (89 mm) a los que se suman 4 registros más sobre 30 mm.

De la comparación de los datos de ambas estaciones se obtiene que se observa una mayor número de registros sobre 50 mm en 24 hrs y sobre 30 mm en la Estación Pampa Huanaco, situación que podría explicar una mayor intensidad de las precipitaciones por situarse a mayor distancia de la influencia costera.

El siguiente gráfico, muestra lo señalado precedentemente, donde se observan saltos o peak de precipitaciones en los últimos 10 años, específicamente durante 2014 y 2019.



Fuente: www.dga.cl

² Valores de Precipitación que han desencadenado Eventos de Remoción en Masa. PLAN ESPECÍFICO DE EMERGENCIA POR VARIABLE DE RIESGO – REMOCIÓN EN MASA v0.0, Pag 96

Tabla 5: Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), Estación Cameron y estación Pampa Huanaco, periodo consultado: 01/01/1990 - 01/01/2020

ESTACIÓN CAMERON			ESTACIÓN PAMPA HUANACO		
AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. PRECIPITACION (mm)	AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. PRECIPITACION (mm)
1993	16/04	152,00	1993	16/07	24,50
1994	13/06	25,00	1994	13/01	20,00
1995	30/05	18,00	1995	21/01	10,00
1996	04/04	29,00	1996	07/12	15,50
1997	08/02	24,00	1997	01/10	23,00
1998	13/06	16,00	1998	01/01	9,00
1999	29/04	17,00	1999	12/05	8,20
2000	18/05	15,00	2000	26/10	10,00
2001	05/12	11,50	2001	19/11	7,20
2002	23/04	17,00	2002	31/08	42,50
2003	13/03	15,00	2003	13/03	25,00
2004	17/06	18,00	2004	15/06	27,00
2005	25/11	15,50	2005	20/10	37,50
2006	29/06	39,00	2006	29/06	47,00
2007	24/01	23,00	2007	09/05	28,50
2008	18/03	32,00	2008	02/02	19,00
2009	23/06	12,00	2009	18/03	15,00
2010	01/04	30,80	2010	11/01	20,00
2011	18/01	21,50	2011	18/01	23,70
2012	11/03	21,50	2012	09/01	22,90
2013	15/04	16,60	2013	14/08	16,10
2014	28/03	21,60	2014	21/09	59,00
2015	28/05	19,20	2015	08/04	16,80
2016	18/04	16,30	2016	08/07	16,10
2017	12/03	18,40	2017	07/08	15,70
2018	14/10	16,80	2018	03/01	22,00
2019	16/03	19,20	2019	02/08	89,00
2020	17/10	16,30	2020	25/05	30,30

Fuente: 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 características³.

En la comuna de Timaukel la hidrología, comprende importantes ríos, como lo son, el Río Cóndor; Río Grande y Lagos como el Blanco: Lynch y Escondido; se pueden distinguir tres sub-zonas hidrológicas de acuerdo con la génesis del drenaje y las características del escurrimiento⁴.

La sub-zona norte, que está limitada al sur por el estrechamiento producido por las bahías Inútil y San Sebastián, un área central, que corresponde a una amplia superficie drenada por los Ríos Grande y Chico, y finalmente, una su-zona sur que va desde la latitud de Estancia Vicuña (54° 10' S) hasta el canal Beagle y que se identifica con la cordillera andina y sus estribaciones. Cabe destacar que uno de los factores contemporáneos, que tiene gran incidencia en la hidrología comunal es la introducción, en 1946, del castor (*Castor canadensis*). Ellos han alterado los cursos de agua introduciendo, en algunos casos, modificaciones sustanciales a la morfología del escurrimiento, pues al construir represas aumenta la zona inundada, disminuye la capacidad de arrastre (transporte de sedimentos) y aumenta la carga orgánica, alterando también la calidad del agua.

Cuenca 128: En esta cuenca se pueden diferenciar tres sistemas hidrográficos: Sector Porvenir, Sector Norte de la Isla y Sector Sur.

En el primero de estos sectores se presenta un complicado sistema de lagunas y pequeños cauces. Los principales recursos de agua con que cuenta el sector corresponden al río Los Patos, los esteros Ona y Casas de Lata, el río Porvenir y el río Santa María. Las Lagunas naturales se encuentran en franco retroceso por el uso de aguas de algunos de sus

³ PLADECO Porvenir 2014-2017

⁴ Nuevo Siglo Consultores, 2015, Actualización de Plan de Desarrollo Comunal de la comuna de Timaukel, Provincia de Tierra del Fuego

afluentes. Entre éstas cabe mencionar a la Laguna Deseada, Laguna Verde y Laguna de Los Cisnes.

En el sector Norte de la Isla, hacia la Bahía Felipe, se destacan los ríos Oscar y del Oro, los cuales tienen sus nacientes en el cordón Baquedano, lo que asegura los flujos permanentes durante el año, aunque poco abundantes en el verano.

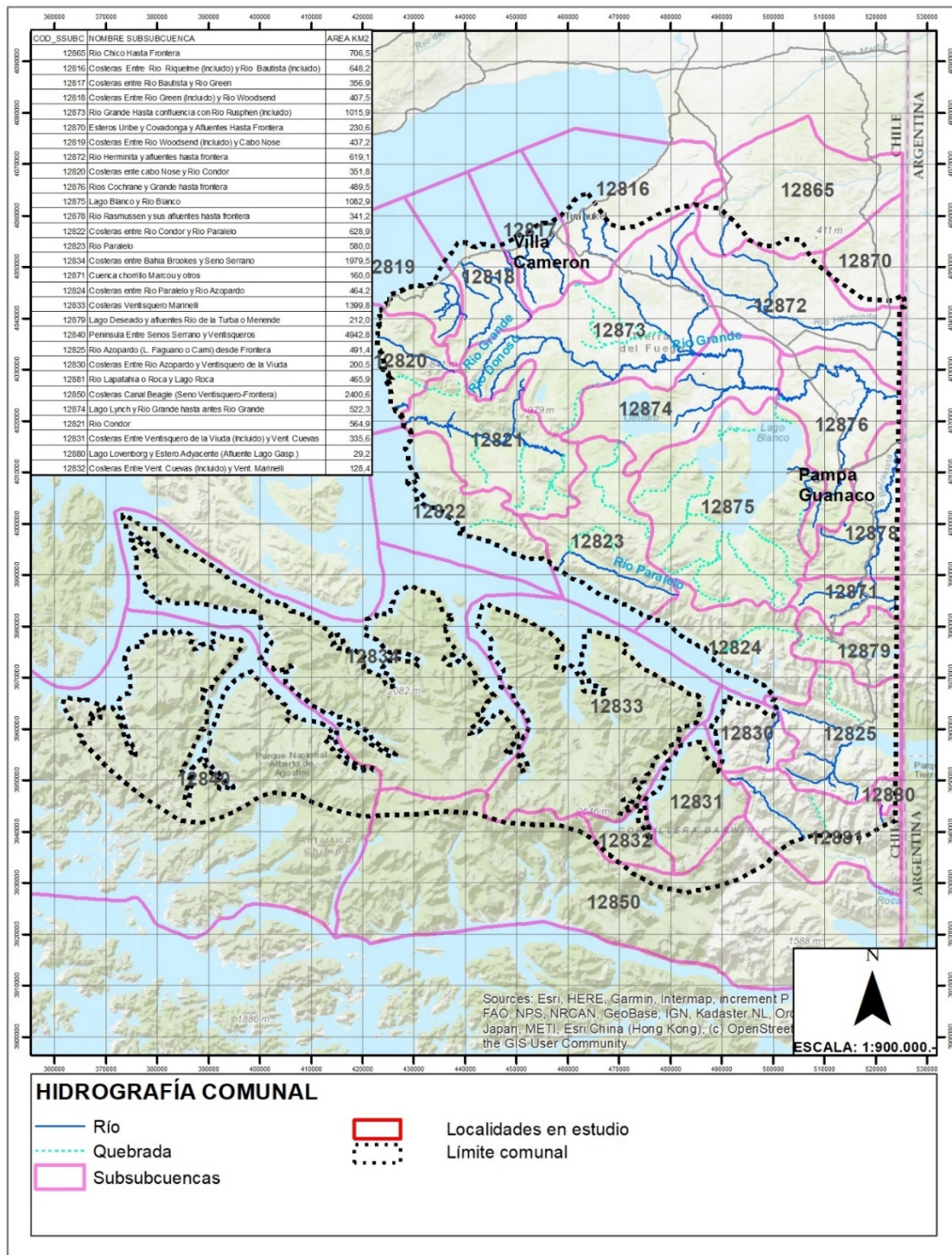
Otro río de importancia corresponde al río Side, el cual tiene sus nacientes en el sector oriental del cordón Baquedano, específicamente en el lago Donoso que da origen al estero Carrera, gracias a lo cual es posible apreciar flujos permanentes durante todo el año, aunque poco abundantes en verano.

Finalmente, en el sector Sur de la Isla se destacan los ríos Chico, San Martín y Grande. Todos estos ríos nacen en Chile y desembocan al Atlántico en la República Argentina. (correspondientes a la Comuna de Timaukel)

El más importante de los ríos señalados es el río Grande, cuyo caudal en promedio, es superior a los 25 m³/s aguas abajo del aporte del lago Blanco y del río Riveros, uno de sus afluentes. Este río drena una amplia zona de la parte Sur de la Isla de Tierra del Fuego.

En la siguiente figura se presentan la red hidrográfica comunal y las subcuencas de la cuenca 128 pertenecientes a la comuna de Timaukel

Figura 3 Hidrografía comunal



Fuente: DGA

II.3 GEOMORFOLOGÍA

II.3.1 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.

La geomorfología y los procesos geológicos que se han dado en la Isla Grande de Tierra del Fuego, dicen relación con los procesos de glaciación que han dado forma a esta zona del país durante las distintas etapas geológicas: mesozoico, terciario y cuaternario.

En una primera etapa correspondiente, al Mesozoico, el área se caracterizaba por una gran actividad volcánica, finalizando esta época con la invasión del mar en gran parte del continente, el cual fue rellenado por sedimentos proveniente de la cordillera, a través de grandes ríos que existieron en la Patagonia, dándole a la zona un carácter totalmente llano.

En el Terciario, se inicia otro período de gran actividad volcánica y un levantamiento de la cordillera, que produce el hundimiento de las zonas ya existentes, lo que acarrea un nuevo avance del mar, que queda reflejado, con grandes depósitos de limo y arcilla, en el sector norte y sur de Bahía Inútil. Más recientemente, el Cuaternario, se caracteriza por un descenso general de la temperatura en todo el planeta cubriéndose, la cordillera y lo que hasta ese instante pasaría a constituir la Isla Grande de Tierra del Fuego⁵.

⁵ EIA EXPLORACIÓN LAGO MERCEDES, XII REGION, INSTALACIONES DE PRODUCCION

II.3.2 GEOMORFOLOGIA LOCAL

Villa Cameron

Villa Cameron, se emplaza el valle del Río Mc. Clelland. El sector oriente corresponde a laderas empinadas con en pendientes sobre 15°, en las que es posible observar flujos antiguos. El sector poniente presenta laderas con pendientes superiores a 15°, que, si bien no se observaron flujos o derrumbes recientes, si presentan condiciones para la generación de remociones en masa. el sector norte limita con el mar y desembocadura del Río Mc. Clelland, en dicho sector se ha podido evidenciar un cambio en la conformación del delta (se está investigando si este cambio se debió a patrones naturales o la intervención antrópica), este sector pudiera ser afectado por tsunamis de baja magnitud.

Pampa Guanaco

Pampa Guano, se emplaza en el valle de Río Catalina. El sector oriente corresponde a al sector más plano y de menor altura de la localidad. El sector poniente corresponde a un sector más ondulado donde las pendientes de sus laderas son mayores de 15° y menores de 25°, por lo que supones probabilidad de riesgo de remociones en masa de bajo alcance. El cauce del Río Mc. Clelland, cuenta con al menos 3 terrazas de inundación y numerosos meandros por la baja pendiente de su eje hidráulico, esta situación genera una alta probabilidad de inundación de dichas terrazas.

II.4 GEOLOGÍA

II.4.1 GEOMORFOLOGIA REGIONAL

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 Timaukel 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

II.4.2 GEOLOGÍA LOCAL

La geología comunal está compuesta principalmente por depósitos sedimentarios producto de sedimentación marina y sedimentación glacial en el sector norte de la comuna. Dichas composiciones tienen un reflejo en la geomorfología de la Pampa Magallánica.

En el sector sur de la comuna la composición es principalmente de rocas intrusivas, rocas metamórficas y secuencias sedimentarias volcánicas. Tienen relación con la geomorfología de Cordillera Patagónica.

En la siguiente tabla se presentan las unidades geológicas de la comuna de Timaukel.

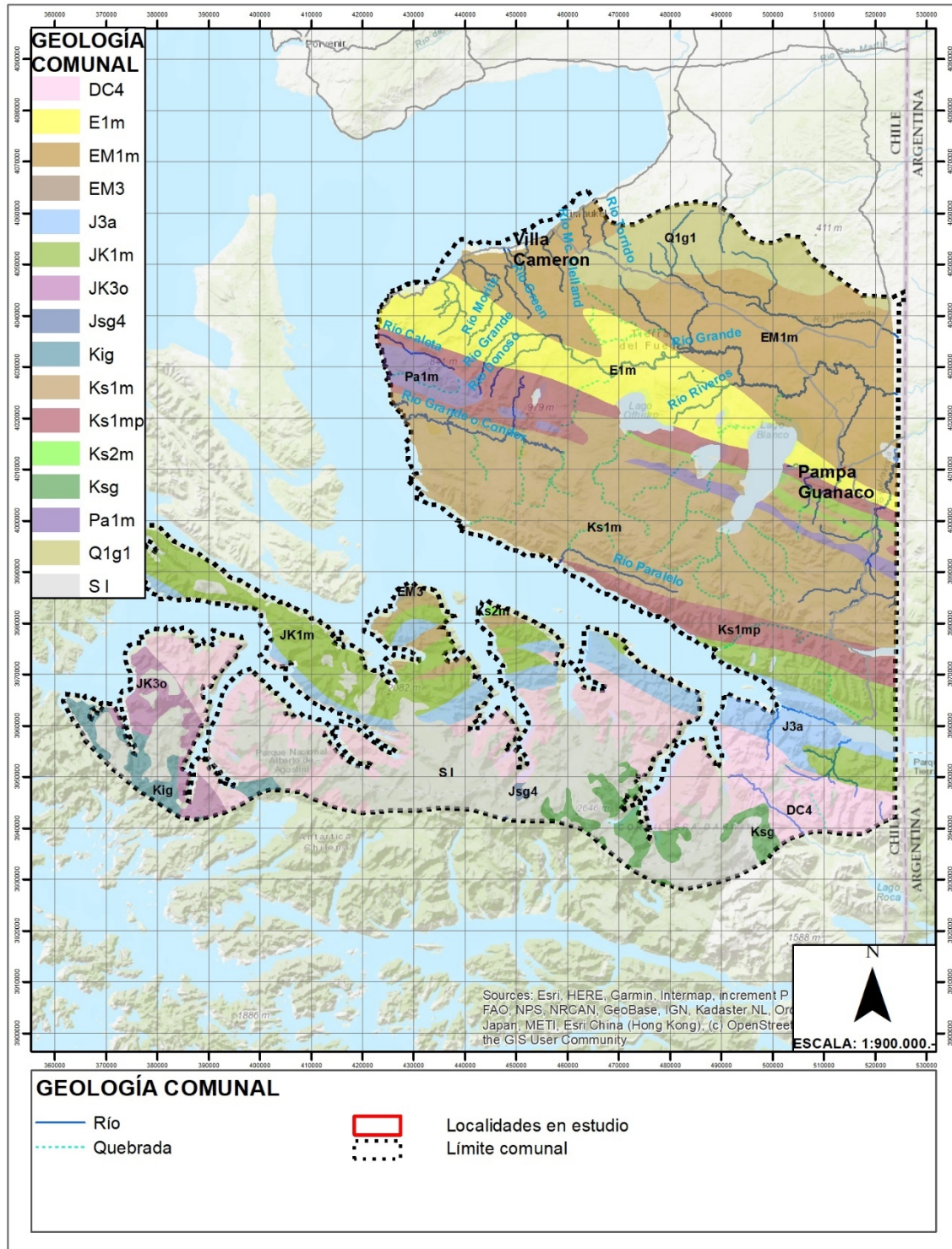
Tabla 6 Unidades geológicas comuna de Timaukel

Unidad Geológica	Descripción	Área ha
DC4	Devónico-Carbonífero Metaareniscas filitas y, en menor proporción, mármoles, cherts, metabasaltos y metaconglomerados; metaturbiditas con facies de 'mélange'. En la Cordillera de la Costa, regiones I a III: Formación El Toco, Complejo Epimetamórfico Chañaral; en la Cordillera Patagónica, regiones XI y XII: Complejo Metamórfico Oriental de Aisén y Magallanes	128857,2
E1m	Eoceno Secuencias sedimentarias marinas: areniscas y lutitas. En la región VIII: Formación Millongue; en región XII: parte inferior del Grupo Bahía Inútil.	94321,1
EM1m	Eoceno-Mioceno Secuencias sedimentarias marinas sublitorales: limolitas y arcillolitas. En la región XII: Grupo Bahía Inútil.	173717,2
EM3	Sin información	886,4
J3a	Jurásico Secuencias y centros volcánicos: rocas piroclásticas dacíticas a riolíticas, lavas andesíticas e intercalaciones sedimentarias. En la Cordillera Patagónica y Antártica, regiones XI y XII: Grupo Ibáñez y Formación Tobífera.	53732,4
JK1m	Jurásico Superior-Cretácico Inferior Secuencias sedimentarias marinas litorales o plataformales: calizas, lutitas, areniscas calcáreas, areniscas y coquinas. En la Precordillera, región III: Formación Pedernales; en la Cordillera Principal, regiones Metropolitana y VI: formaciones Lo Valdés, Baños del Flaco; en las regiones XI a XII: Grupo Coihaique y formaciones La Paciencia, Erezcano, Zapata, Sutherland, Río Jackson, Vicuña y Yaghán.	100269,4
JK3o	Jurásico-Cretácico Gabros, diabasas y basaltos almohadillados. En la Cordillera Patagónica: complejos ofiolíticos Sarmiento y Tortuga.	17997,2
Jsg4	Jurásico Superior Ortoneises de protolito intrusivo. En la región XII: neises de Cordillera Darwin.	771,3
Kig	Cretácico Inferior (144-90 Ma) Granitos, granodioritas y tonalitas de hornblenda y biotita. En la Cordillera Principal, regiones VIII a XI: Grupo Plutónico Gualletué, archipiélago de los Chonos y borde oriental del Batolito Norpatagónico; en la península Antártica.	13236,3
Ks1m	Cretácico Superior	226328,7

Unidad Geológica	Descripción	Área ha
	Secuencias sedimentarias marinas de plataforma, litorales o transicionales: areniscas, conglomerados, lutitas, calizas extraclásticas y oolíticas, sucesiones turbidíticas. En la Cordillera Principal, región II: Formación Lomas Negras y Estratos de Quebrada Blanca de Poquis; en la costa, regiones VII y VIII: Formación Quiriquina; en la XII: formaciones Cerro Toro y Punta Barrosa.	
Ks1mp	Campaniano-Maastrichtiano Secuencias sedimentarias marinas y parálicas: areniscas y lutitas. En la región XII: formaciones Tres Pasos, Rocallosa, Fuentes, Cerro Cuchilla y Dorotea.	74996,8
Ks2m	Cretácico Superior Secuencias volcanoclásticas marinas: tufitas y rocas epiclásticas con fósiles marinos, brechas andesíticas marinas, hialoclastitas. En las regiones XI y XII: formaciones Traiguén (occidental) y La Pera.	499,5
Ksg	Cretácico Superior (90-65 Ma) Monzodioritas, granodioritas, gabros y dioritas de piroxeno, biotita y hornblenda; pórfidos andesíticos y dioríticos. En la Precordillera, regiones I a III y entre las cordilleras de la Costa y Principal, regiones IV, V y Metropolitana; en la región XII: granitoides de las islas Wollaston y Navarino, Cordillera Darwin.	20400,3
Pa1m	Secuencias sedimentarias marinas deltaicas y parálicas: areniscas y limolitas. En la región XII: Formación Chorrillo Chico.	24394,6
Q1g1	Pleistoceno-Holoceno Depósitos morrénicos, fluvioglaciales y glacialacustres: diamictos de bloques y matriz de limo/arcilla, gravas, arenas y limos. 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 o relativos a las glaciaciones Llanquihue (1; 35-14,2 ka)	53417,5
S I		169611,2

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

Figura 4 Geología comunal



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

Geología Timaukel

Esta localidad está emplazada sobre **EM1m**, Secuencias sedimentarias marinas sublitorales compuesta principalmente por **limolitas y arcillolitas**. A nivel nacional se encuentra solo en la Región XII: Grupo Bahía Inútil.

Geología Pampa Guanaco

Esta localidad está emplazada sobre **EM1m**, Secuencias sedimentarias marinas sublitorales compuesta principalmente por **limolitas y arcillolitas**. A nivel nacional se encuentra solo en la Región XII: Grupo Bahía Inútil. Y en el sector sur se emplaza sobre **E1m**, que corresponde a una secuencia sedimentaria marinas, compuesta de **areniscas y lutitas**. A nivel nacional se encuentre en la región VIII: Formación Millongue; en región XII: parte inferior del Grupo Bahía Inútil

En ambas localidades la composición geológica permitiría inferir una infiltración lenta, y dependiendo de la pendiente del terreno un rápido escurrimiento (en pendiente) y anegamiento en sectores planos y bajos.

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 5 (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 5 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.

Tránsito Pradera Planosol

En la Isla de Tierra del Fuego, existe este tipo de suelo de origen en los sedimentos glaciales antiguos, posee una permeabilidad lenta y fertilidad moderada. Ocupa una zona de clima de estepa frío, y su topografía es de lomajes suaves siendo apto para el mantenimiento de empastadas.

En otra zona de la Isla de Tierra del Fuego, en Caleta Josefina, este tipo de suelo tiene su origen a partir de sedimentos glacio-lacustres, con una permeabilidad lenta, y fertilidad moderada. Ocupa una zona de clima de estepa frío, y su topografía es plana. Es apto para el mantenimiento de empastadas. En la zona de Calafate también se encuentra este tipo de suelo que tiene su origen a partir de tobas volcánicas, de permeabilidad lenta y moderada fertilidad. Ocupa una zona de clima de estepa frío, con una topografía ondulada suave. Apto para el mantenimiento de empastadas

Suelos Pardo Podzólicos

Este tipo de suelo se encuentra en el continente, al sur de Puerto Natales (al norte de Laguna Blanca) y en la Isla Tierra del Fuego, al suroeste de Bahía Inútil. En la zona de Última esperanza tiene su origen en sedimentos glaciales mezclados. Posee una permeabilidad moderadamente rápida, y una fertilidad de moderada a baja. Ocupa una zona de clima trasandino con degeneración esteparia. Su topografía es ondulada suave, y es apto para praderas y bosques.

Praderas Alpinas

Este tipo de suelo se distribuye en el sur de la Península Brunswick y en la Isla Tierra del Fuego. En la zona de la Isla de Tierra del Fuego, el suelo es derivado de sedimentos glaciales mezclados. Posee una fertilidad de moderada a baja. Ocupa una zona de clima trasandino con degeneración esteparia, y una topografía de lomajes suaves. Es apto para praderas y bosques.

II.6 VEGETACION

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 40 usos de suelos por CONAF, 3 de ellos concentran un 52% de la superficie comunal. Ellos son Bosque Nativo 31%, seguido de Estepa Patagónica 11% y Turbales 9%.

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, turbales y otros terrenos húmedos, que según el catastro corresponden a un 9.6% del territorio, corresponden a terrenos de mayor probabilidad de anegamientos

Tabla 7 Vegetación y uso de suelo

USO ACTUAL	SUPERFICIE	%	% AGRUPADOS	
Afloramientos Rocosos	52276,5	4,5%	4%	
áreas Sobre Limite Vegetación	90327,3	7,7%	8%	
B.Nat.Achaparrado Abierto	37079,4	3,2%	31%	
B.Nat.Achaparrado Denso	24107,2	2,1%		
B.Nat.Achaparrado Semidenso	40294,6	3,4%		
B.Nat.Adulto-Renoval Denso	21438,9	1,8%		
B.Nat.Adulto-Renoval Semidenso	20997,8	1,8%		
Bosque Nativo Adulto Abierto	4097,5	0,4%		
Bosque Nativo Adulto Denso	165466,7	14,2%		
Bosque Nativo Adulto Semidenso	46923,5	4,0%		
Cajas de Ríos	154,4	0,0%		0%
Ciudades-Pueblos-Zonas.Indus.	29,2	0,0%		0%

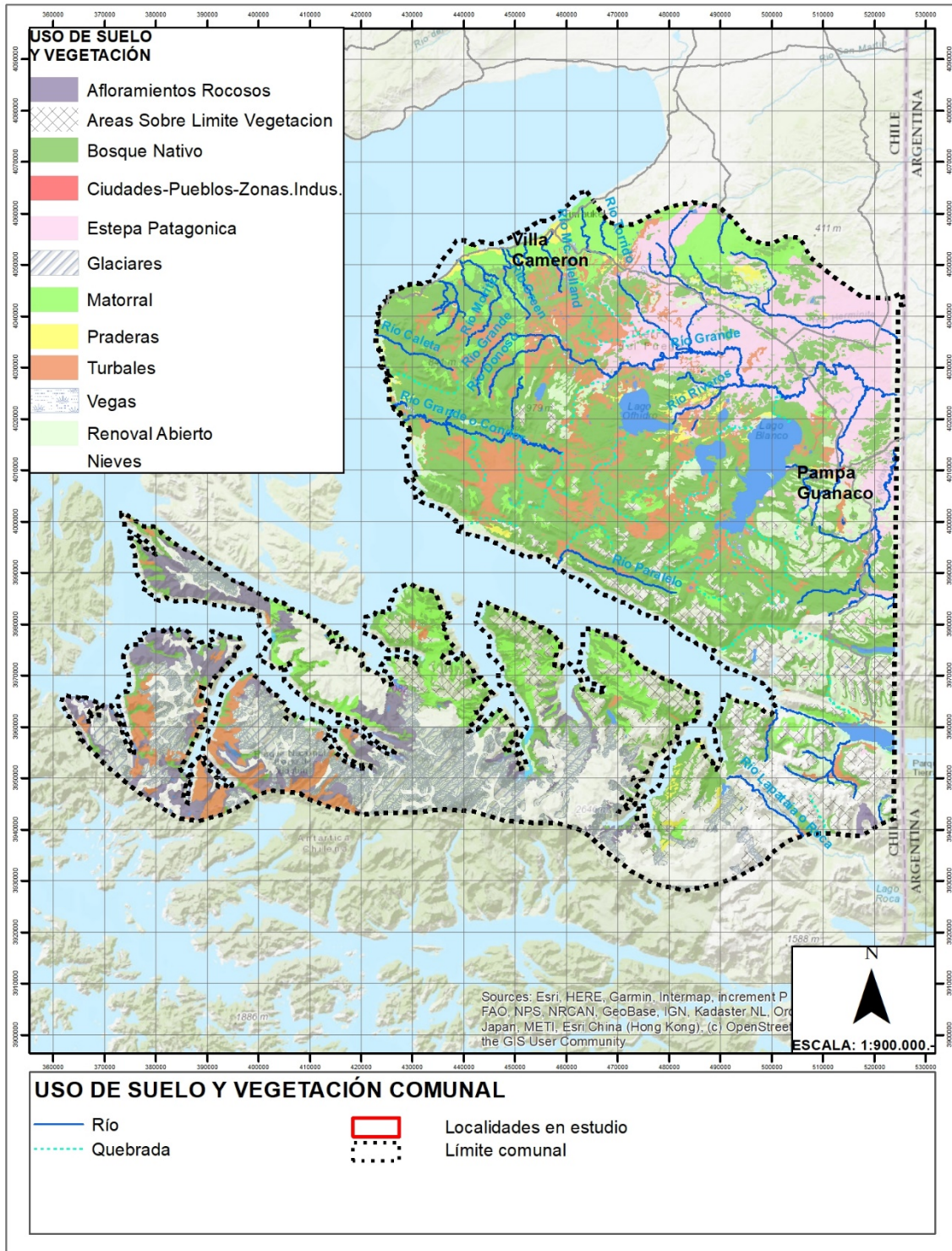
USO ACTUAL	SUPERFICIE	%	% AGRUPADOS	
Estepa Patagonica	129413,0	11,1%	11%	
Glaciares	98674,4	8,4%	8%	
Lago-Laguna-Embalse-Tranque	31096,7	2,7%	3%	
Mar	910,9	0,1%	0%	
Matorral Abierto	41568,5	3,6%	7%	
Matorral Arbores. Muy Abierto	493,8	0,0%		
Matorral Arborescen. Semidenso	3320,8	0,3%		
Matorral Arborescente Abierto	7181,0	0,6%		
Matorral Denso	349,4	0,0%		
Matorral Muy Abierto	20,4	0,0%		
Matorral Pradera Abierto	8397,7	0,7%		
Matorral Pradera Denso	1267,7	0,1%		
Matorral Pradera Muy Abierto	593,4	0,1%		
Matorral Pradera Semidenso	11317,9	1,0%		
Matorral Semidenso	12274,5	1,1%		
Nieves	104006,9	8,9%		9%
Otros Terrenos Húmedos	1140,4	0,1%		0%
Otros Terrenos Sin Vegetación	485,7	0,0%		0%
Plantación de Arbustos	205,7	0,0%	0%	
Playas y Dunas	143,7	0,0%	0%	
Praderas	6949,7	0,6%	1%	
Praderas Perennes	6838,1	0,6%		
Renoval Abierto	1869,3	0,2%	0%	
Renoval Denso	50389,8	4,3%	4%	
Renoval Semidenso	9986,9	0,9%	1%	
Ríos	130,5	0,0%	0%	
Sin Cobertura Aerofotográfica	25995,6	2,2%	2%	
Turbales	110222,9	9,4%	9%	
Vegas	458,2	0,0%	0%	
TOTAL	1168896,5	100,0%	100%	

Fuente: CONAF 2005

En la siguiente figura se puede observar la distribución de los distintos usos de suelos y vegetación en la comuna. Se puede relacionar su distribución respecto de la geomorfología y altura, así en el sector norte de la comuna que geomorfológicamente corresponde a la pampa magallánica lo usos de suelo y vegetación predominante corresponde a estepa patagónica, matorrales y praderas. En el sector centran de la comuna que

geomorfológicamente corresponde a la interfaz de la pampa magallánica y Cordillera patagónica de ventisqueros del Pacífico, los usos predominantes corresponden a bosque nativo, turbales y renovales. En el sector sur geomorfológicamente corresponde a Cordillera patagónica de ventisqueros del Pacífico con mayor altura que el sector norte y central por los usos predominantes corresponde a áreas sobre el límite de vegetación, afloramientos rocosos, glaciares y nieves

Figura 6 Vegetación

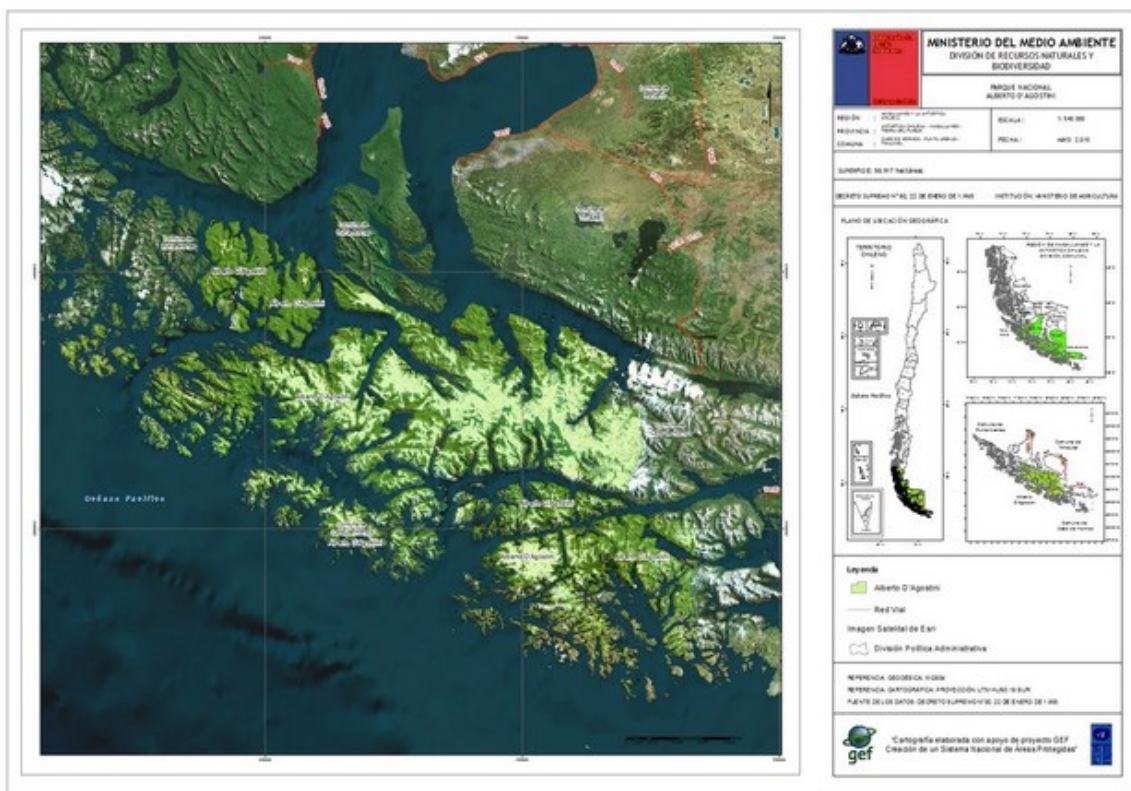


III ÁREA BAJO PROTECCIÓN OFICIAL

III.1 PARQUE NACIONAL ALBERTO DAGOSTINI

La unidad Alberto de Agostini está ubicada en las comunas de Punta Arenas, comuna de Timaukel y comuna de Navarino. La unidad busca proteger a las especies de fauna como el zorro culpeo, zorro chilla, foca leopardo, delfines y ballenas. Además de 49 especies de aves, tanto terrestres como marinas pertenecientes a 29 familias como el fío-fío, carpintero gigante y zorzal. En cuanto a flora hay bosques siempre verdes de Magallanes, dominado por el coigüe de Magallanes.

Figura 7 Ficha Parque Nacional Alberto D'Agostini, Ministerio de Medio Ambiente



Fuente: <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=6>

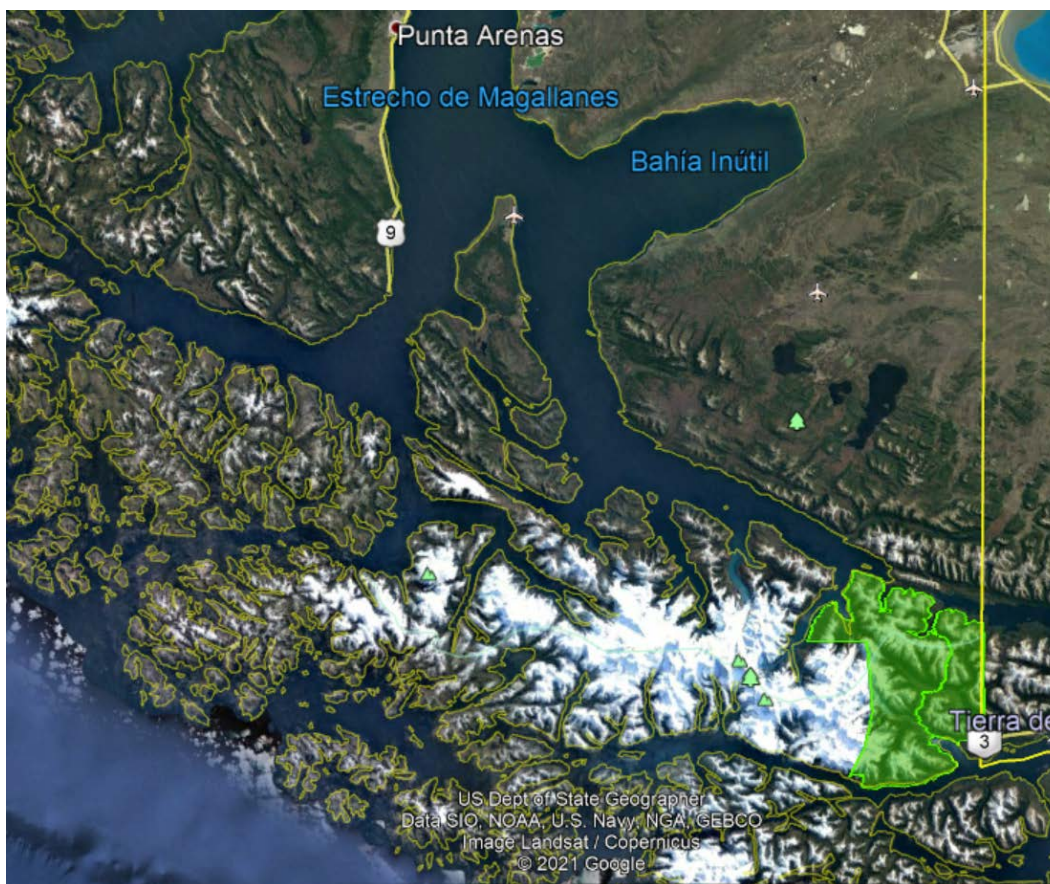
Fecha de promulgación de la norma	Fecha de publicación en el Diario Oficial	Institución que firma la norma
21/01/1965	23/02/1965	Decreto 80 Ministerio de Agricultura

Fuente: <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=6>

III.2 PARQUE NACIONAL YENDEGAIA

Esta unidad se caracteriza por contener uno de los ecosistemas forestales más australes del planeta, en tanto que su bosque templado no fragmentado es uno de pocos existentes, y ha sido identificado como una de las áreas silvestres más prístinas del mundo, incluyendo no sólo bosques sino también formaciones de tundra, glaciares y ecosistemas dulceacuícolas únicos, elementos que le otorgan una importancia biogeográfica que hace pertinente su conservación tanto desde la mirada regional como desde la nacional, ya que la biota terrestre de Tierra del Fuego representa un recurso extremadamente valioso desde los puntos de vista científico y turístico.

Figura 8 Emplazamiento Parque Nacional Yendegaia



Fuente: <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=6>

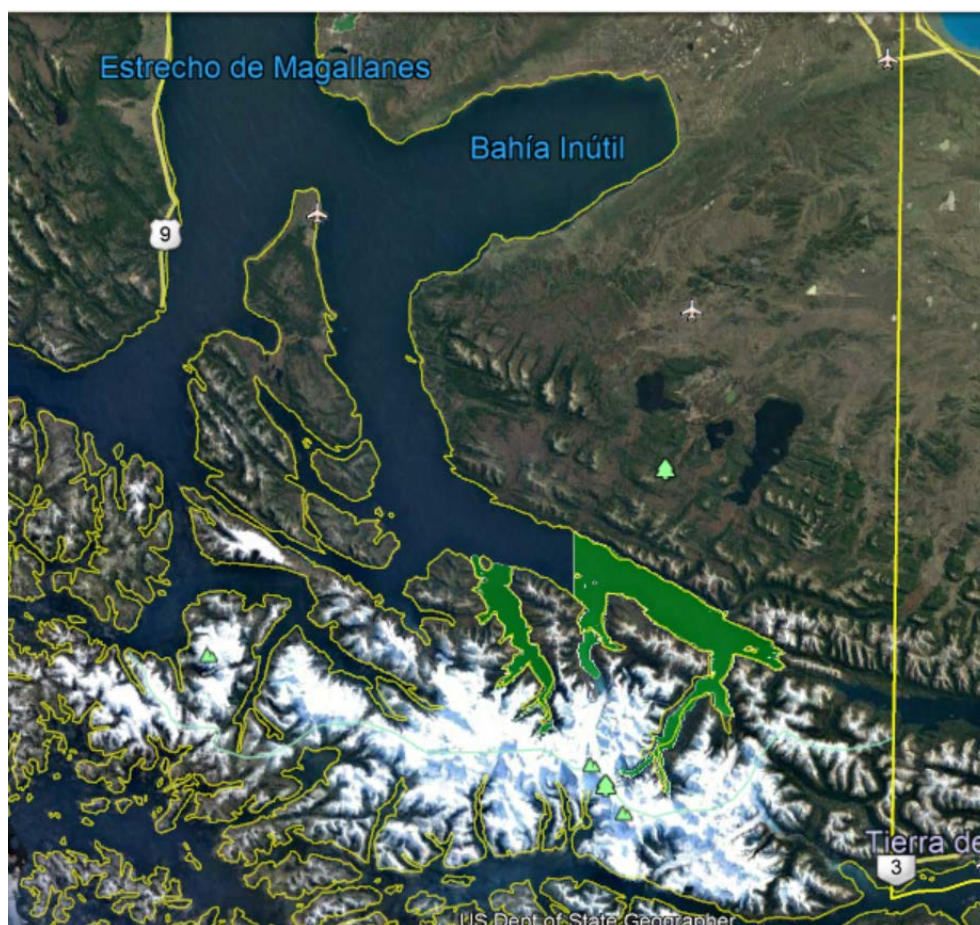
Norma	Fecha de promulgación de la norma	Fecha de publicación en el Diario Oficial	Norma en BCN	Institución que firma la norma
Creación	24/12/2013	06/08/2014	Decreto 118	Ministerio de Bienes Nacionales
Modificación	27/01/2016	05/03/2016	Decreto 4	Ministerio de Bienes Nacionales

Fuente: <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=6>

III.3 ÁREA MARINA COSTERA PROTEGIDA SENO ALMIRANTAZGO

Área se caracteriza por su alta productividad biológica y una gran riqueza y abundancia de especies raras, endémicas y de importancia global. Es posible citar la presencia de 39% de los mamíferos marinos y 65% de las aves presentes en la Región de Magallanes y la Antártica Chilena. Constituye un ecosistema costero y marino único, reconocido por el mundo científico y la comunidad local por su alto valor para la conservación de la biodiversidad marina de la zona austral.

Figura 9 Emplazamiento Área Marina Costera Protegida Seno Almirantazgo



Fuente: <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=6>

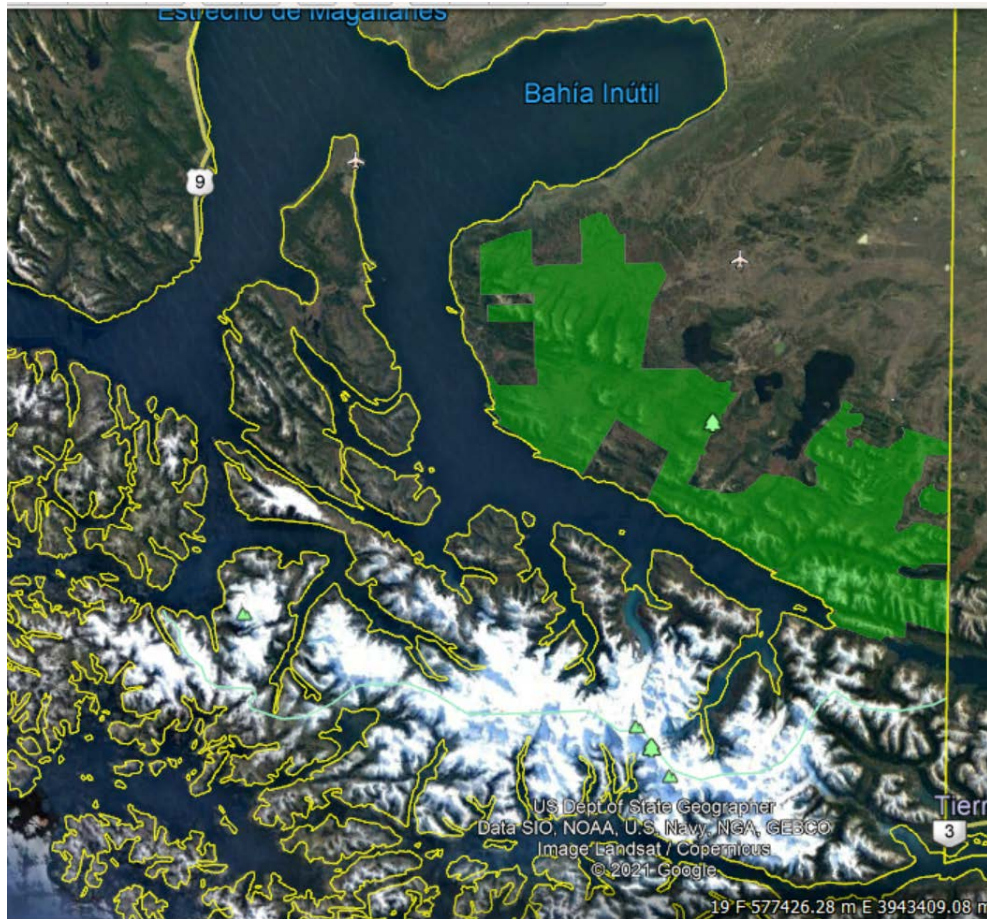
Norma	Fecha de promulgación de la norma	Fecha de publicación en el Diario Oficial	Norma en BCN	Institución que firma la norma
Creación	28/02/2018	20/07/2018	DS 11	Ministerio del Medio Ambiente

Fuente: <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=6>

III.4 CONSERVACIÓN PRIVADA Y COMUNITARIA

El Parque Karukinka es una reserva natural de WCS, austral y remota, situada en una península de Tierra del Fuego, en el extremo sur de Chile. Sus casi infinitas 300.000 hectáreas están abiertas a quienes deseen aventurarse entre sus antiquísimos bosques de lengas, sus montañas siempre nevadas y sus humedales de exuberante flora y fauna nativas.

Figura 10 Emplazamiento Parque Karukinka



Fuente: <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=6>

IV VOLCANISMO

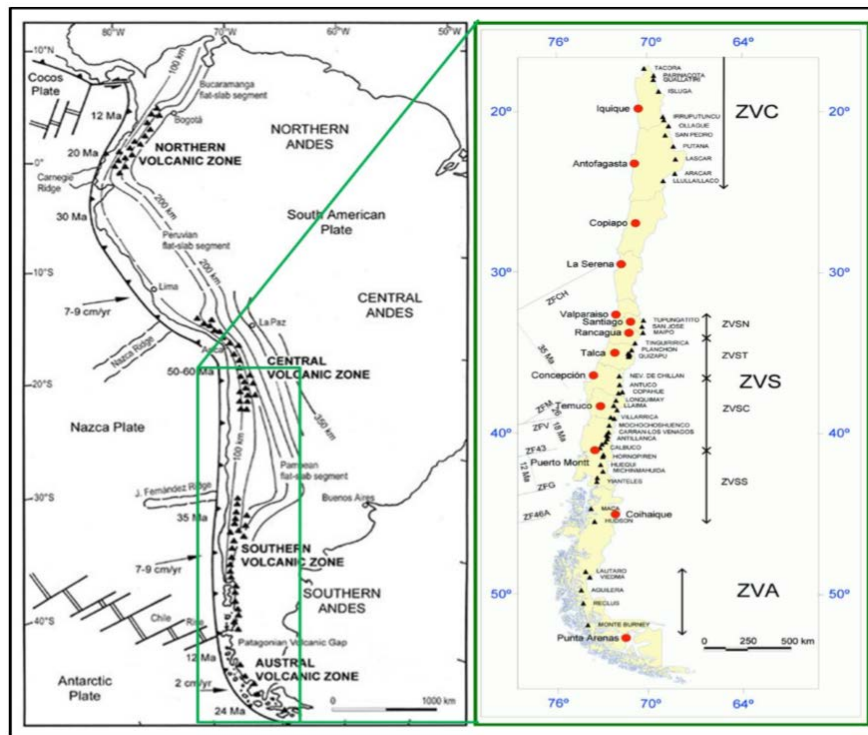
El territorio continental de Chile posee 95 volcanes geológicamente activos (Lara et al, 2011). Esto quiere decir que presentan evidencias geológicas de actividad eruptiva en los últimos 10.000 años o que, sin certeza de lo anterior, presenta signos medibles de actividad (como desgasificación pasiva, 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 11 Zonificación del Vulcanismo en Los Andes

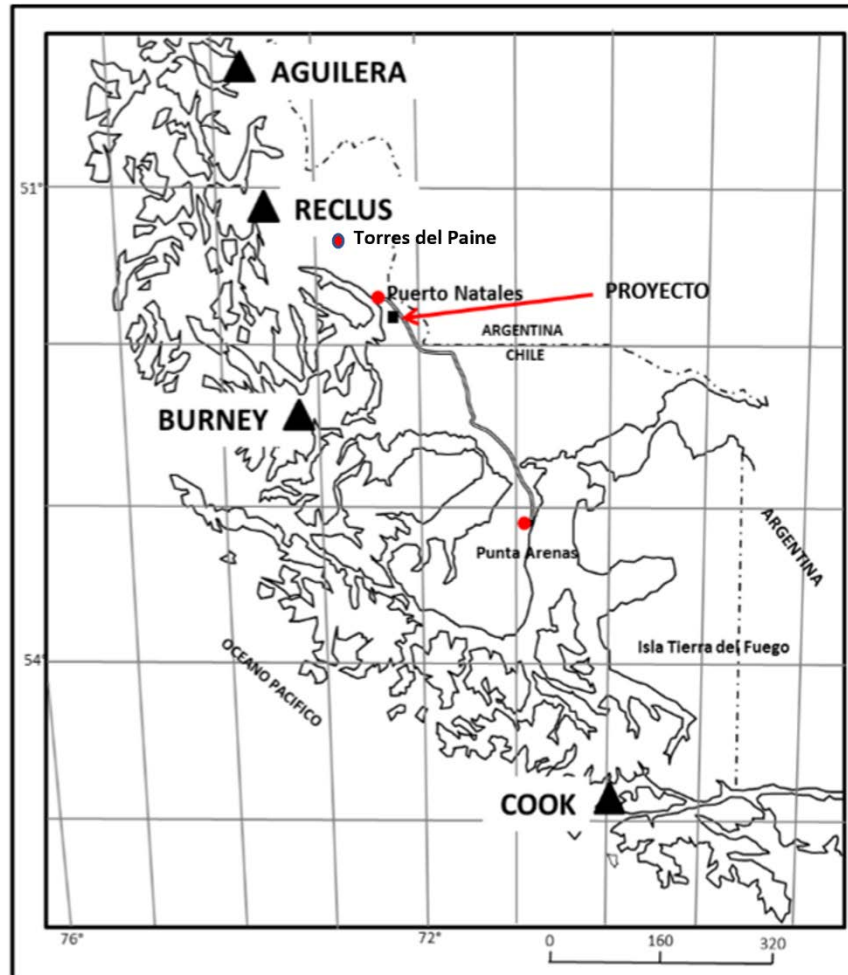


Fuente: Stern, 2004

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 12 Zonificación del Vulcanismo en Los Andes



Fuente: Línea Base Proyecto Tranquilo (SEIA)

IV.1 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 tectónicas 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 ± 45 años atrás, expulsando 4 a 9 km³ 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 glaciaria. 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 km³ 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 este 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.

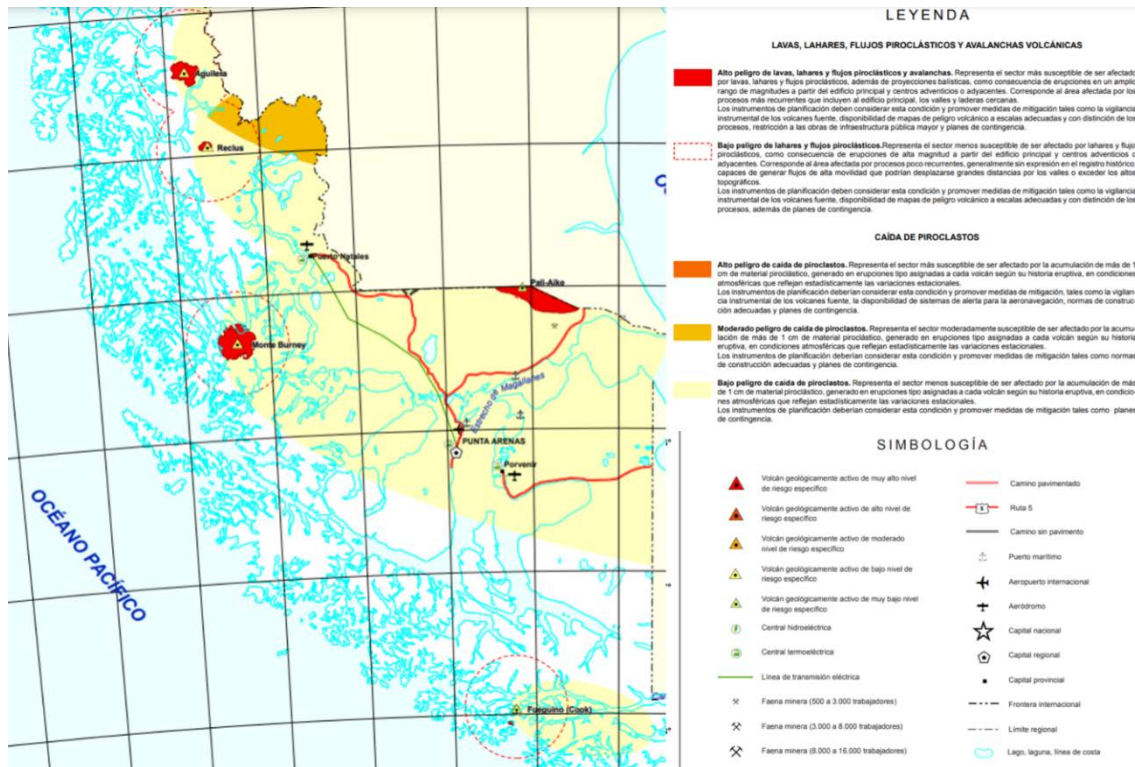
Si bien este volcán presenta sólo un registro de actividad en tiempos históricos, en 1910, registros regionales de tefra sugieren que este centro eruptivo tuvo abundante actividad durante el Holoceno, habiéndose identificado siete erupciones importantes. Además, en documento inédito de Alfredo Contreras, 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.

IV.2 PELIGRO VOLCÁNICO COMUNA DE TIMAUKEL

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 con 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 13 Área de peligro volcánico



Fuente: Peligros volcánicos de Chile (SERNAGEOMIN 2011)

V 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/año⁶ (según Khazaradze y Klotz, 2003), lo que es considerado una alta velocidad de convergencia. Además, la placa de Nazca es una placa oceánica “joven”. Estas dos características permiten una rápida acumulación de esfuerzos, consecuencia del contacto entre ambas placas, dando lugar a la alta sismicidad que caracteriza a Chile y Perú (Ruiz y Saragoni, 2005). El empuje de la placa de Nazca en dirección al Este se vería favorecida por su composición y su edad. Una placa oceánica, de 35 millones de años en la zona central, es comparativamente más densa que la placa continental, por lo que tendería a introducirse por debajo la corteza continental menos densa de la placa Sudamericana.

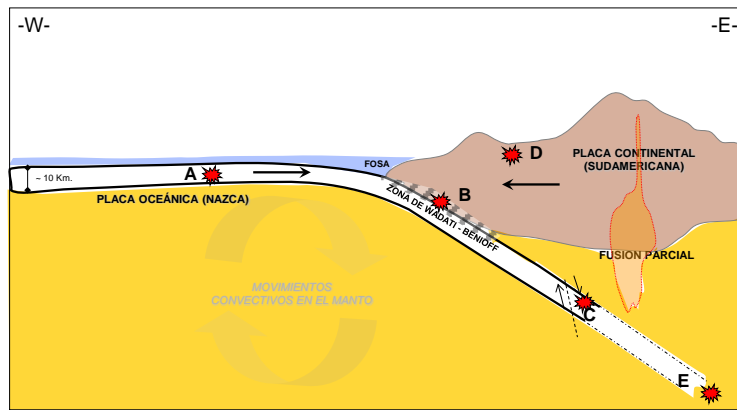
Perfiles transversales al margen de Chile (disponibles en el Centro Sismológico Nacional, www.sismologia.cl), permiten observar que la sismicidad se concentra principalmente entre los 5 y 200 kilómetros de profundidad (en la zona de Wadati - Benioff), lo que además permite deducir el ángulo de subducción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

La liberación de tensiones y deformaciones a lo largo del plano de Benioff, generan lo que se conoce como **sismos interplaca** (Madariaga, 1998) o sismos en la zona de Wadati - Benioff (tipo B de Figura 14), y serían los más comunes en Chile. Como se aprecia en la Figura 14 (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

⁶ 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).

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 14).

Figura 14 Modelo de subducción corteza oceánica (Placa de Nazca) – corteza continental (Placa Sudamericana).



Fuente. Eleonora Muñoz 2015

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 14). 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 14). 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.

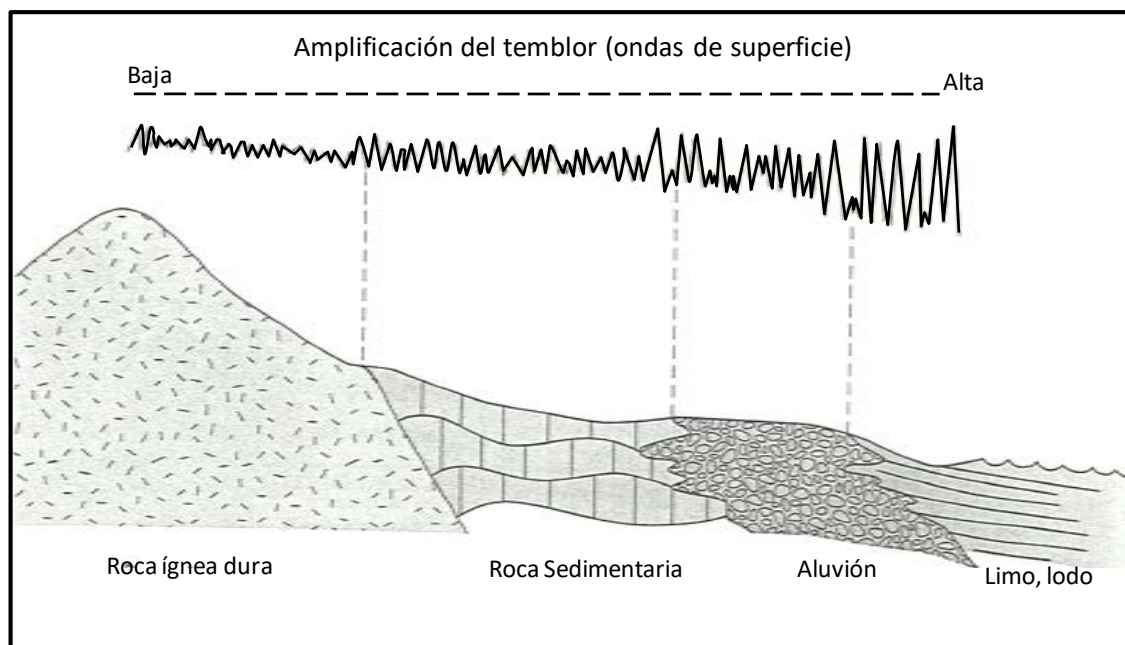
V.1 SISMICIDAD COMO PELIGRO

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 emerge 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 15). 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 15 Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto



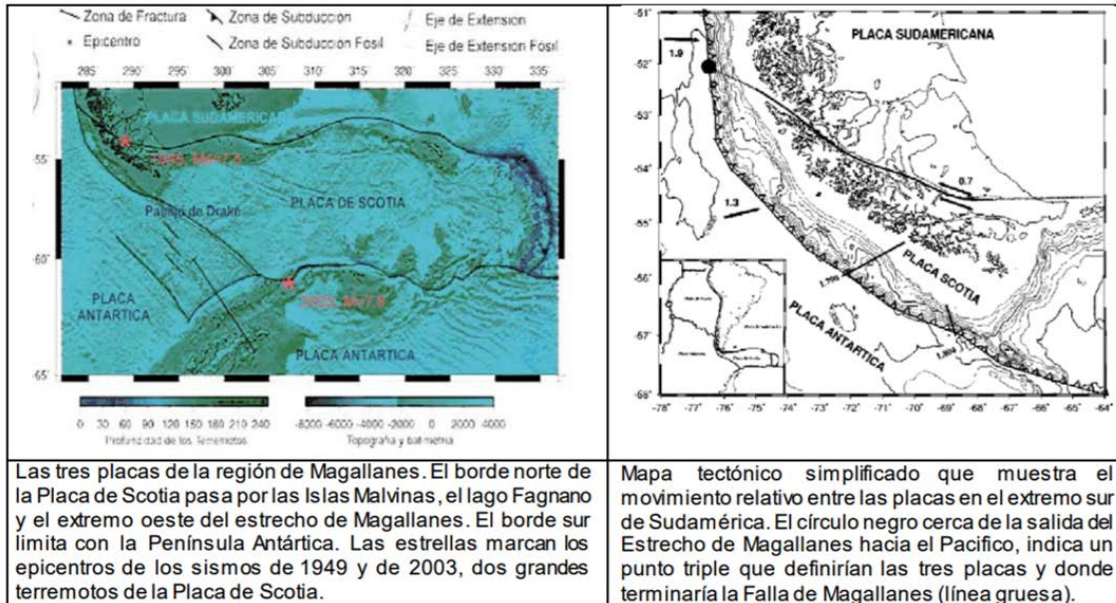
Fuente: Keller and Blodgett, 2004

V.2 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 16 Mapa tectónico simplificado



Fuente: Lodolo et al. 2002

El estudio “Tasas de deslizamiento a lo largo del estrecho sistema de fallas de Magallanes, Región de Tierra del Fuego, Patagonia”, de los investigadores Francisca Sandoval y Gregory De Pascale del Departamento de Geología de la FCFM, determinó que dicha falla se mueve aproximadamente 3,5 milímetros al año más rápido de lo que se tenía estimado. Este resultado fue publicado en los Scientific Reports de la Revista Nature Research. “Usamos geomorfología y datos de terreno para medir la velocidad de movimiento horizontal de las fallas entre la Placa de Escocia y la Placa Sudamericana, con lo que pudimos determinar que se mueven en promedio 10,5 milímetros al año, lo que es superior a los 6-7 milímetros que se tenía estimado a la fecha⁷”

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.

⁷ <https://www.uchile.cl/noticias/163593/estudio-aborda-movimiento-relativo-de-la-falla-de-magallanes>

- b. 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.

VI 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 infraestructura⁸.

Según Lockridge (1991), los tsunamis se denominan:

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

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

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

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

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

- a) que el hipocentro del sismo, o a lo menos una fracción mayoritaria del área de ruptura, está bajo el lecho marino y a una profundidad menor a 60 km (sismo superficial).
- b) que la frontera de placas o falla tectónica sea de subsidencia con componente vertical de movimiento y no de desgarre con desplazamiento únicamente lateral.

⁸ Belmonte-Pool J, 2011 “Estudio fundado de riesgos por tsunami área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal comuna de Santo Domingo

c) que el sismo libere suficiente energía y en un cierto lapso de tiempo, y que éste sea eficientemente transmitido.

VI.1 CARTA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI PORVENIR (REFERENCIA)

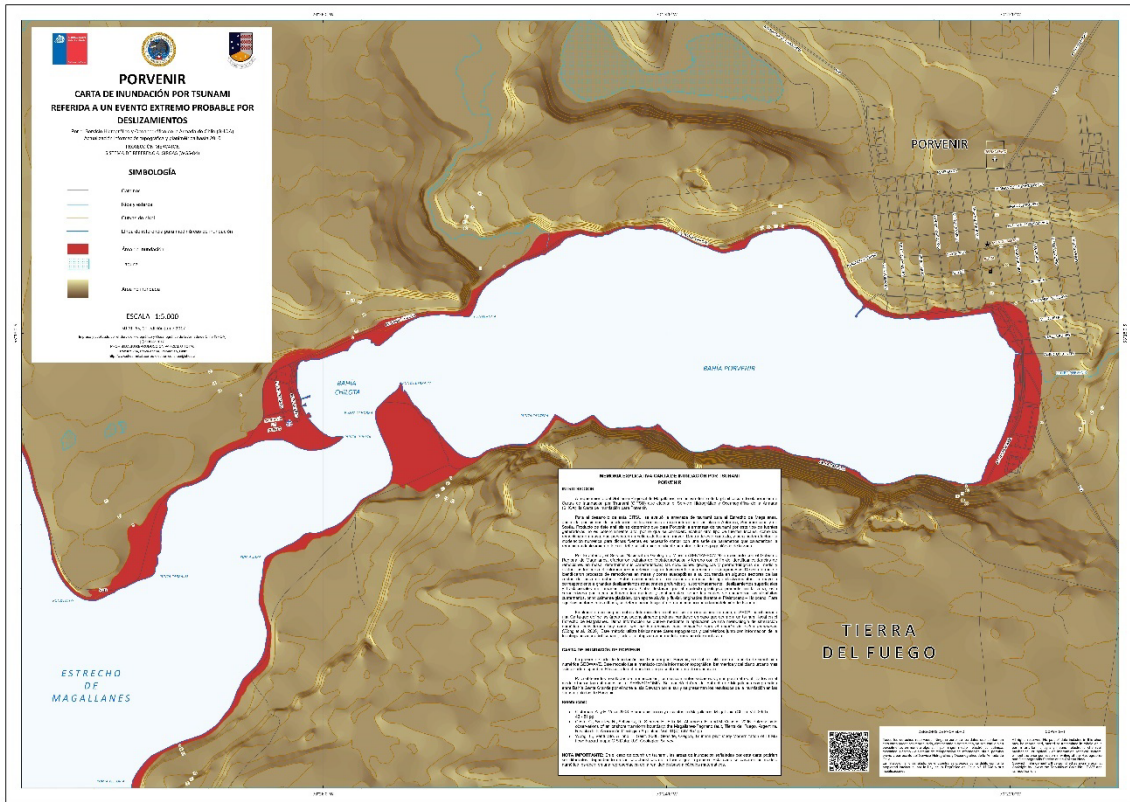
Para el desarrollo de esta CITSU, se evaluó la amenaza de tsunami para el Estrecho de Magallanes, generada por sismos de subducción en los sectores en que interactúan las placas Antártica, Sudamericana y de Scotia. Producto de este análisis se determinó que para Porvenir la amenaza de tsunami por este 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 de que ocurriera un tsunami local en el Estrecho de Magallanes.

La carta de inundación por tsunami (SHOA 2017, Porvenir) está 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 17 Carta de inundación por tsunami Porvenir



Fuente: SHOA 2017

VII LICUEFACCION

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 hundan) 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.

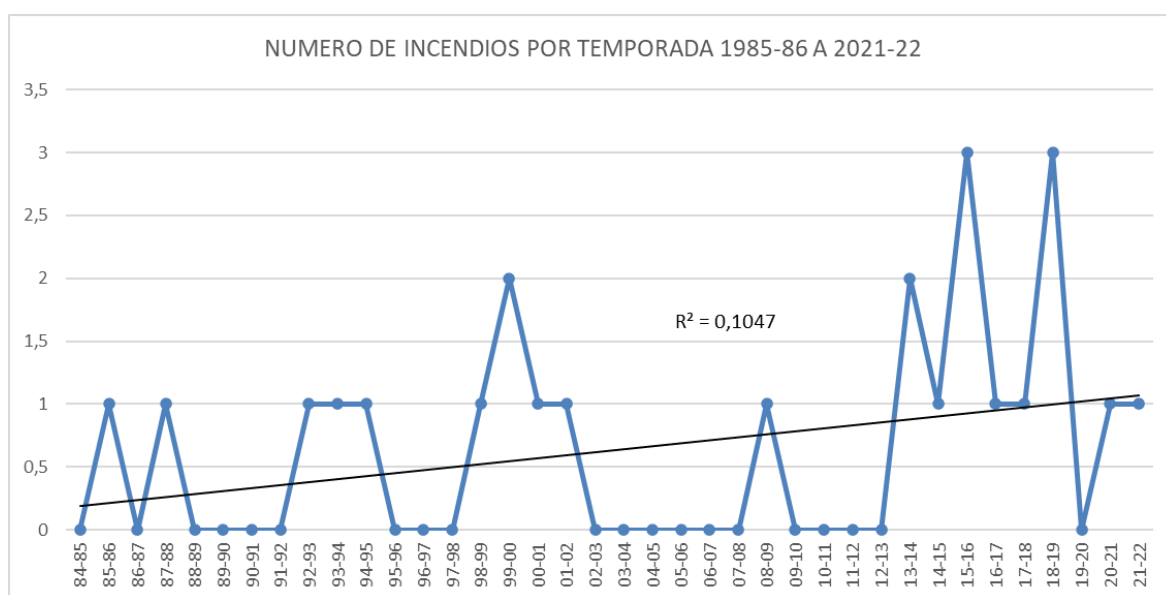
En el caso particular de Timaukel, este proceso podría ocurrir en sectores de humedales, turberas y vegas, así como en depósitos no consolidados en las terrazas adyacentes de los cauces principales de los ríos.

VIII INCENDIOS

La estadística de CONAF respecto de la ocurrencia de incendio en la comuna de Timaukel entre las temporadas 1985-86 a 2021-22, registra un total de 24 siniestros y una superficie total de 1243.79 hectáreas.

Respecto de la tendencia del número de siniestros por año es al alza, la temporada de mayor número de incendios corresponde 2015-16 y 2018-19 con 3 y la más baja con 0 registro se repite en 20 temporadas. Como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 18 Número de incendios por temporada comuna de Timaukel

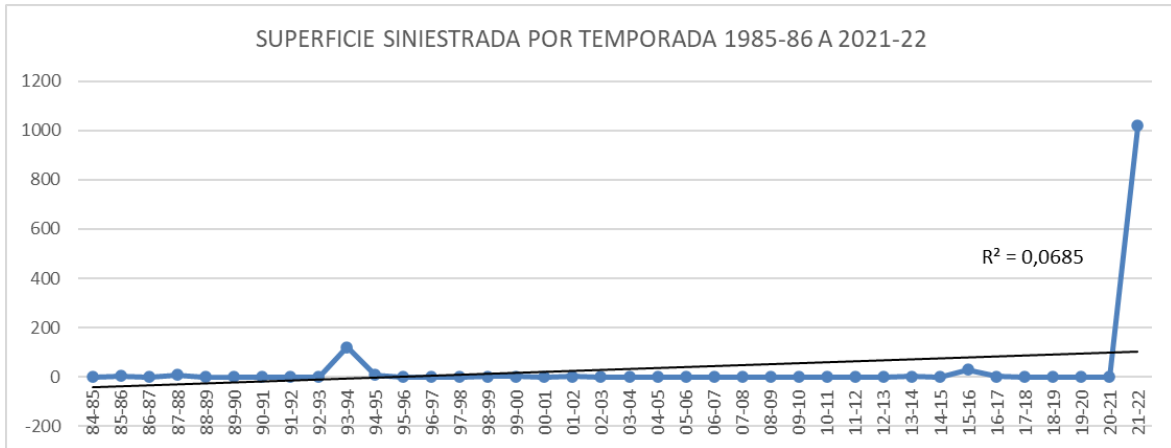


Fuente: Elaboración propia en base a datos de "ocurrencia histórica de incendios" CONAF

Respecto de la superficie quemada su tendencia es al alza de la superficie quemada. La temporada 1993-94 representa un 10% de la superficie quemada a la fecha, por su parte la temporada 2015-16 representa un 2% de la superficie quemada a la fecha y finalmente la temporada 2021-2022 representa un 85% la superficie quemada a la fecha, siendo el siniestro de mayor magnitud registrado con una superficie siniestrada mayor a mil hectáreas.

Como se puede apreciar en la siguiente figura existe 3 eventos mayores que concentran un 97% de la superficie quemada a la fecha y en los restantes eventos las superficies quemadas son menores a las 10 hectáreas.

Figura 19 Superficie siniestrada por temporada comuna de Timaukel



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

IX 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 ONEMI

Fecha	Fuente	Observación																																																		
08/03/2020		<p>Se cancela Alerta Temprana Preventiva para las comunas de Timaukel y Cabo de Hornos por precipitaciones</p> <p>De acuerdo con la información proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), fueron cancelados el Aviso Meteorológico CNA A67/2020 y la Alerta Meteorológica CNA AA20/2020, por precipitaciones moderadas a fuertes en la comuna de Cabo de Hornos y precipitaciones normales a moderadas en la comuna de Timaukel, debido al debilitamiento de las condiciones meteorológicas que los originaron.</p> <p>En base a estos antecedentes, que suponen una disminución del riesgo asociado a esta variable meteorológica, la Dirección Regional de ONEMI Magallanes, cancela la Alerta Temprana Preventiva para las comunas de Timaukel y Cabo de Hornos, por precipitaciones, que se mantenía vigente desde el 04 de marzo de 2020.</p>																																																		
30/06/2018		<p>Se actualiza y amplía cobertura Alerta Temprana Preventiva para la Región de Magallanes y La Antártica Chilena por evento meteorológico</p> <p>De acuerdo con la información proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile, a través de la actualización del Aviso Meteorológico, se prevén temperaturas mínimas en el rango de normales a moderadas en la Región de Magallanes y La Antártica Chilena, entre el domingo 01 y el miércoles 04 de julio</p> <p>Asimismo, según lo indicado por el Centro Meteorológico Regional Austral, a través de su Pronóstico Especial, se estiman temperaturas mínimas según el siguiente detalle:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Localidades</th> <th>01 de julio</th> <th>02 de julio</th> <th>03 de julio</th> <th>04 de julio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Punta Arenas</td> <td>-2°C</td> <td>-3°C</td> <td>-4°C</td> <td>-5°C</td> </tr> <tr> <td>Porvenir</td> <td>-2°C</td> <td>-2°C</td> <td>-4°C</td> <td>-4°C</td> </tr> <tr> <td>Puerto Natales</td> <td>-3°C</td> <td>-3°C</td> <td>-4°C</td> <td>-6°C</td> </tr> <tr> <td>Torres del Paine</td> <td>-4°C</td> <td>-5°C</td> <td>-5°C</td> <td>-6°C</td> </tr> <tr> <td>Puerto Williams</td> <td>-5°C</td> <td>-6°C</td> <td>-7°C</td> <td>-7°C</td> </tr> <tr> <td>Villa Tehuelches</td> <td>-4°C</td> <td>-4°C</td> <td>-7°C</td> <td>-7°C</td> </tr> <tr> <td>Pampa Guanaco</td> <td>-4°C</td> <td>-6°C</td> <td>-7°C</td> <td>-7°C</td> </tr> <tr> <td>Cerro Sombrero</td> <td>-2°C</td> <td>-3°C</td> <td>-4°C</td> <td>-4°C</td> </tr> <tr> <td>San Gregorio</td> <td>-3°C</td> <td>-3°C</td> <td>-5°C</td> <td>-6°C</td> </tr> </tbody> </table>	Localidades	01 de julio	02 de julio	03 de julio	04 de julio	Punta Arenas	-2°C	-3°C	-4°C	-5°C	Porvenir	-2°C	-2°C	-4°C	-4°C	Puerto Natales	-3°C	-3°C	-4°C	-6°C	Torres del Paine	-4°C	-5°C	-5°C	-6°C	Puerto Williams	-5°C	-6°C	-7°C	-7°C	Villa Tehuelches	-4°C	-4°C	-7°C	-7°C	Pampa Guanaco	-4°C	-6°C	-7°C	-7°C	Cerro Sombrero	-2°C	-3°C	-4°C	-4°C	San Gregorio	-3°C	-3°C	-5°C	-6°C
Localidades	01 de julio	02 de julio	03 de julio	04 de julio																																																
Punta Arenas	-2°C	-3°C	-4°C	-5°C																																																
Porvenir	-2°C	-2°C	-4°C	-4°C																																																
Puerto Natales	-3°C	-3°C	-4°C	-6°C																																																
Torres del Paine	-4°C	-5°C	-5°C	-6°C																																																
Puerto Williams	-5°C	-6°C	-7°C	-7°C																																																
Villa Tehuelches	-4°C	-4°C	-7°C	-7°C																																																
Pampa Guanaco	-4°C	-6°C	-7°C	-7°C																																																
Cerro Sombrero	-2°C	-3°C	-4°C	-4°C																																																
San Gregorio	-3°C	-3°C	-5°C	-6°C																																																

Fecha	Fuente	Observación
08/03/2020		<p>Se cancela Alerta Temprana Preventiva para las comunas de Timaukel y Cabo de Hornos por precipitaciones</p> <p>De acuerdo con la información proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), fueron cancelados el Aviso Meteorológico CNA A67/2020 y la Alerta Meteorológica CNA AA20/2020, por precipitaciones moderadas a fuertes en la comuna de Cabo de Hornos y precipitaciones normales a moderadas en la comuna de Timaukel, debido al debilitamiento de las condiciones meteorológicas que los originaron.</p> <p>En base a estos antecedentes, que suponen una disminución del riesgo asociado a esta variable meteorológica, la Dirección Regional de ONEMI Magallanes, cancela la Alerta Temprana Preventiva para las comunas de Timaukel y Cabo de Hornos, por precipitaciones, que se mantenía vigente desde el 04 de marzo de 2020.</p>
		<p>En base a estos antecedentes, y considerando la existencia de factores propicios para la ocurrencia de eventos como congelamiento al interior de medidores, cañerías de agua y gas, presencia de escarcha en vías de circulación tanto rural como urbana, afectación a predios agrícolas y</p>
07/03/2015		<p>Se levanta Alerta Amarilla para la Provincia de Tierra del Fuego por incendio forestal</p> <p>Extinguido se encuentra el incendio forestal "Desembocadura Lago Blanco", que afectó una superficie de 0.86 hectáreas de vegetación, en la comuna de Timaukel, Provincia de Tierra del Fuego.</p> <p>A raíz de estos antecedentes, la Intendencia de la Región de Magallanes y la Antártica Chilena, en base a la información técnica proporcionada por CONAF y en coordinación con la Dirección Regional de ONEMI, levanta la Alerta Amarilla para la Provincia de Tierra del Fuego por incendio forestal, vigente desde el 05 de marzo.</p>
19/08/2015		<p>Se levanta Alerta Temprana Preventiva para las comunas de Timaukel y Cabo de Hornos por evento hidrometeorológico</p> <p>De acuerdo con la información proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile, mediante su pronóstico público, se espera un mejoramiento de las condiciones meteorológicas para la Región de Magallanes, previendo para la presente jornada cielo nublado con precipitaciones débiles (inferior a 6 mm) con viento débil a normal (entre 40 y 60 km/h).</p> <p>En consideración a este antecedente, la Dirección Regional de ONEMI Magallanes levanta la Alerta Temprana Preventiva para las comunas de Timaukel y Cabo de Hornos por evento hidrometeorológico, que permanecía vigente desde el 17 de agosto del presente año.</p>

Fuente: www.onemi.cl

Tabla 9 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones

Fecha	Fuente/comentario	Imagen
23/03/2021	Cooperativa.cl	

	<p>La Dirección Meteorológica de Chile pronosticó precipitaciones de intensidad normal a moderada para este martes en las provincias de Magallanes y Tierra del Fuego, en la Región de Magallanes, que se presentarán en un periodo inferior a 12 horas.</p> <p>En las comunas de Laguna Blanca, Río Verde, Punta Arenas, San Gregorio, Primera, Porvenir y Timaukel se esperan entre 2 y 15 milímetros de agua, mientras que en la Cuenca del Río de las Minas, oscilarán entre los 5 y los 18.</p> <p>Sobre la base de estos antecedentes, y considerando la existencia de "factores propicios para la ocurrencia de eventos como crecidas en los diversos cauces con arrastre de sedimentos, interrupción de conectividad y de suministros básicos e inundaciones en sectores vulnerables", la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) declaró alerta temprana preventiva, "hasta que las condiciones lo ameriten".</p> <p>https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-magallanes/alerta-temprana-preventiva-por-precipitaciones-en-la-region-de-magallanes/2021-03-23/102629.html</p>													
04/03/2020	<p>Ovejeronoticias.cl</p> <p>Se declara Alerta Temprana Preventiva para las Comunas de Timaukel y Cabo de Hornos por precipitaciones</p> <p>De acuerdo con la información proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), mediante la emisión de su Aviso Meteorológico, se indica que desde la noche del viernes 6 hasta la madrugada del domingo 8 de marzo, se registrarán precipitaciones de intensidad normal a moderada en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena.</p> <p>Cabe destacar, que éstas afectarán principalmente a la comuna de Timaukel perteneciente a la Provincia de Tierra del Fuego y a la comuna de Cabo de Hornos en la Provincia de la Antártica Chilena.</p> <p>Adicionalmente, considerando el Pronóstico Meteorológico Especial del Centro Meteorológico Regional Austral dependiente de la DMC, se indica que los montos estimados de precipitaciones e Isoterma Cero por localidad, según el siguiente detalle:</p> <p>Precipitaciones (mm)</p> <table border="1" data-bbox="386 1394 1078 1470"> <thead> <tr> <th>Comuna Localidad</th> <th>Viernes 06</th> <th>Sábado 07</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Timaukel Pampa Guanaco</td> <td>Entre 10 y 25</td> <td>Entre 5 y 15</td> </tr> </tbody> </table> <p>Isoterma Cero (m.s.n.m.)</p> <table border="1" data-bbox="386 1570 1078 1667"> <thead> <tr> <th>Comuna Localidad</th> <th>Viernes 06</th> <th>Sábado 07</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Timaukel Pampa Guanaco</td> <td>Entre 2.700 y 1.100</td> <td>Entre 1.100 y 1.700</td> </tr> </tbody> </table> <p>En consideración a este antecedente meteorológico, y la existencia de factores propicios para la ocurrencia de eventos como crecidas en los diversos cauces con arrastre de sedimentos, interrupción de conectividad, interrupción de suministros básicos e inundaciones en sectores vulnerables, la Dirección Regional de ONEMI Magallanes, declara Alerta Temprana Preventiva para las comunas de Timaukel y Cabo de</p>	Comuna Localidad	Viernes 06	Sábado 07	Timaukel Pampa Guanaco	Entre 10 y 25	Entre 5 y 15	Comuna Localidad	Viernes 06	Sábado 07	Timaukel Pampa Guanaco	Entre 2.700 y 1.100	Entre 1.100 y 1.700	
Comuna Localidad	Viernes 06	Sábado 07												
Timaukel Pampa Guanaco	Entre 10 y 25	Entre 5 y 15												
Comuna Localidad	Viernes 06	Sábado 07												
Timaukel Pampa Guanaco	Entre 2.700 y 1.100	Entre 1.100 y 1.700												

	<p>Hornos por precipitaciones, vigente a contar de hoy y hasta que las condiciones así lo ameriten.</p> <p>https://www.ovejeronoticias.cl/2020/03/se-declara-alerta-temprana-preventiva-para-las-comunas-de-timaukel-y-cabo-de-hornos-por-precipitaciones/</p>	
--	--	--

Tabla 10 Registro de riesgos naturales y antrópicos por Desinventar Sendai⁹ para comuna de Timaukel

Evento	Fecha	Fuente	Descripción
Sequia	1979/02/05	El Mercurio	Existe racionamiento de agua para la población
Sequia	1978/02/20	El Mercurio	Existe racionamiento de agua para la población

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

⁹ 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.

X CONCLUSIONES 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.

La localidad de Villa Cameron se localiza sobre un clima mediterráneo frío de lluvia invernal (Csc) y Pampa Guanaco al clima de Tundra (ET).

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 aumento de las precipitaciones promedio comunal de 82 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 características¹⁰.

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 características¹¹.

En la comuna de Timaukel la hidrología, comprende importantes ríos, como lo son, el Rio Cóndor; Rio Grande y Lagos como el Blanco: Lynch y Escondido; se pueden distinguir tres sub zonas hidrológicas de acuerdo con la génesis del drenaje y las características del escurrimiento¹².

Los aspectos geomorfológicos más importantes que dividen la comuna corresponden al de pampa magallánica en el sector norte de la comuna y Cordillera patagónica de ventisqueros del Pacífico en el sector sur.

La geología comunal está compuesta principalmente por depósitos sedimentarios producto de sedimentación marina y sedimentación glacial en el sector norte de la comuna. Dichas composiciones tienen un reflejo en la geomorfología de la Pampa Magallánica.

¹⁰ PLADECO Porvenir 2014-2017

¹¹ PLADECO Porvenir 2014-2017

¹² Nuevo Siglo Consultores, 2015, Actualización de Plan de Desarrollo Comunal de la comuna de Timaukel, Provincia de Tierra del Fuego

En el sector sur de la comuna la composición es principalmente de rocas intrusivas, rocas metamórficas y secuencias sedimentarias volcánicas. Tienen relación con la geomorfología de Cordillera Patagónica.

En la comuna se catastraron más de 40 usos de suelos por CONAF, 3 de ellos concentran un 52% de la superficie comunal. Ellos son Bosque Nativo 31%, seguido de Estepa Patagónica 11% y Turbales 9%.

Las áreas bajo protección oficial corresponden a 3: Parque Nacional Alberto DAgostini, Parque Nacional Yendegaia y Área Marina Costera Protegida Seno Almirantazgo. Adicionalmente se encuentra un Área de Conservación Privada y Comunitaria El Parque Karukinka.

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.

La estadística de CONAF respecto de la ocurrencia de incendio en la comuna de Timaukel entre las temporadas 1985-86 a 2021-22, registra un total de 24 siniestros y una superficie total de 1243.79 hectáreas. Respecto de la tendencia del número de siniestros por año es al alza, la temporada de mayor número de incendios corresponde 2015-16 y 2018-19 con 3 y la más baja con 0 registro se repite en 20 temporadas.

Respecto de la recopilación de antecedentes sobre la ocurrencia de riesgos, se centra principalmente en eventos hidrometeorológicos asociados precipitaciones, vientos o heladas. 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 y procesos de remociones en masa.

XI ANTECEDENTES TEÓRICOS

XI.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)).

XI.2 REMOCIONES EN MASA

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

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

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

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

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

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

Las caídas o desprendimientos de bloques de roca o masas de roca son eventos muy rápidos (González de Vallejo et al., 2002) en los cuales el material movilizado se separa del macizo rocoso que lo contiene, viéndose favorecidos por la existencia de planos de debilidad y por laderas con geometrías irregulares. El material desprendido podrá alcanzar el pie del talud mediante caída libre o una combinación de ellas. La trayectoria del material dependerá principalmente de la forma del bloque y del ángulo de pendiente del talud (Ver Figura 20) (Lara, 2007).

Figura 20 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas

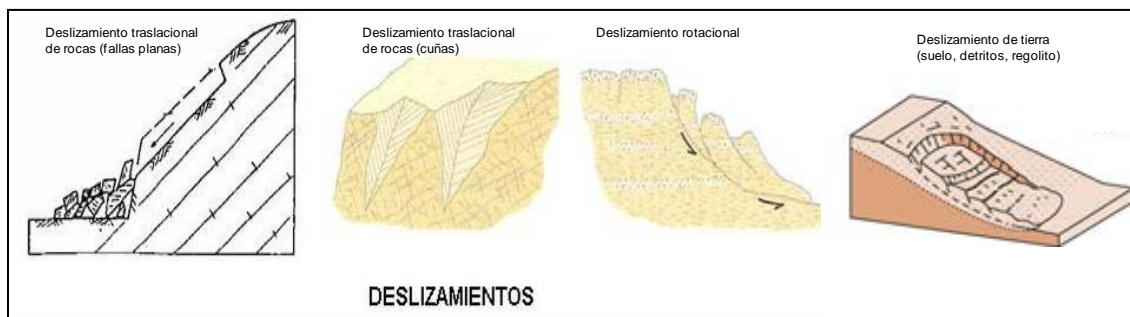


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

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 (Hungar, 2014) (Ver Figura 21).

Figura 21 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos

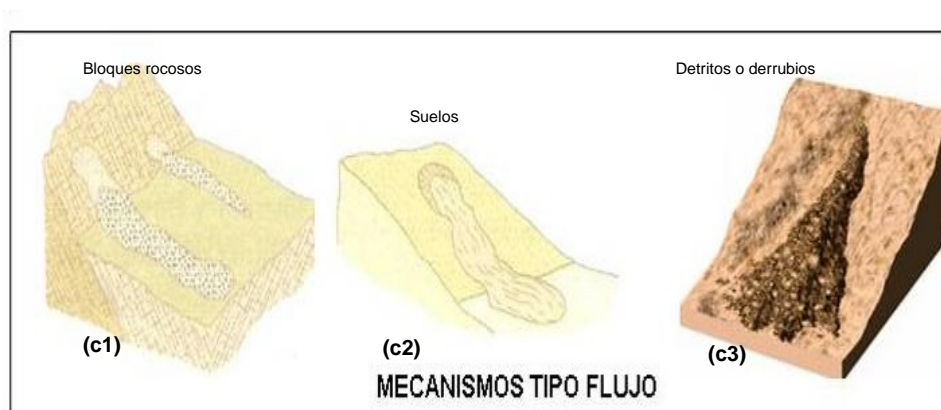


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

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 24). 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 22 Remociones en Masa de tipo Flujo



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

XI.2.1 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.

XI.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).

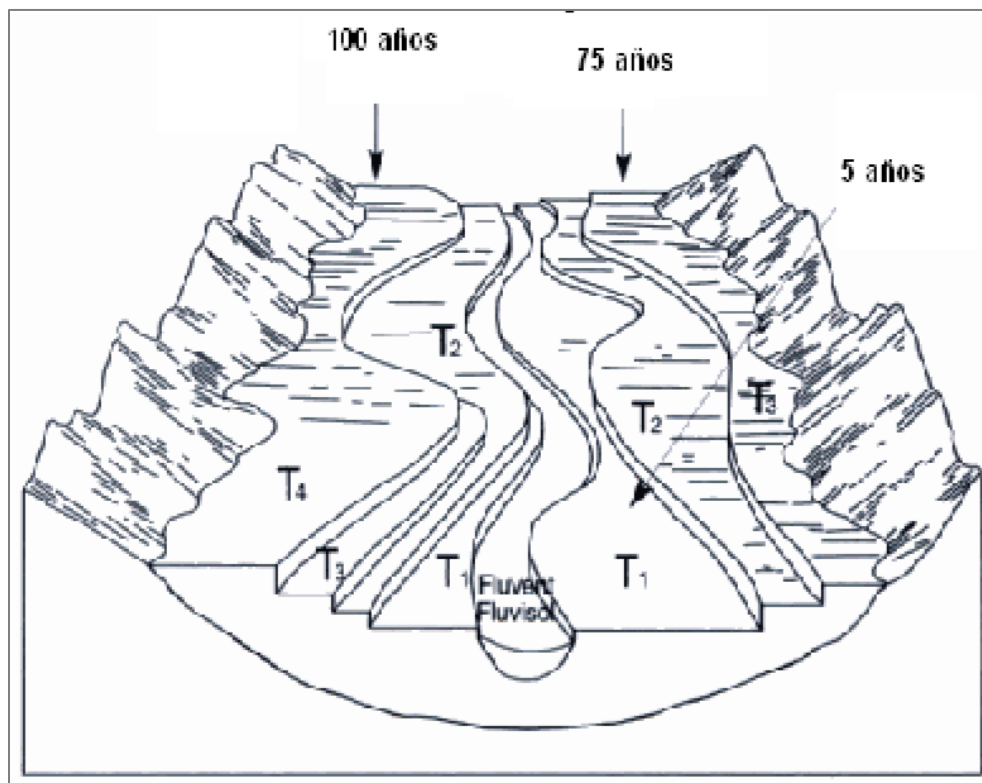
En síntesis, todas las definiciones apuntan a la superación de la capacidad de evacuación del cauce, pasando el agua a ocupar la llanura de inundación o lecho mayor, la definición de esta zona depende de la perspectiva del estudio, “como categoría topográfica es muy plana y se encuentra al lado un río; 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 25).

Tarbutck & 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 23 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).

XI.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 periodo 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 situaciones¹³: 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.

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

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

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

En el primero de los casos, los terraplenes de las carreteras y de las vías férreas suelen cumplir el rol de diques por insuficiencia de alcantarillas transversales, generando enlagnamientos 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. Con base en un levantamiento topográfico detallado de las calles de una ciudad, es posible establecer claramente de donde vienen y para donde van las aguas, y los diferentes puntos de concentración, lo cual puede servir como herramienta de decisión sobre qué hacer y donde hacer en el contexto de las medidas que deben emanar de los planes maestros de aguas lluvias.

Por otra parte, cuando los anegamientos en el área rural llegan a superar parte de los obstáculos del terreno, estas aguas comienzan a desplazarse sobre la superficie, pasando a constituir una forma de escurrimiento laminar. Como resultado de este proceso pueden presentarse nuevas situaciones¹⁴:

- 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;

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

- 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.

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 infraestructura¹⁶.

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 onda o está fuera de la zona de generación.

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

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

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

- a) que el hipocentro del sismo, o a lo menos una fracción mayoritaria del área de ruptura está bajo el lecho marino y a una profundidad menor a 60 km (sismo superficial).

¹⁶ Belmonte-Pool J, 2011 “Estudio fundado de riesgos por tsunami área urbana de Santo Domingo y localidad de Mostazal comuna de Santo Domingo

- 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 transmitido.

XII 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 urbana. La escala de análisis a nivel urbano 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**

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

- **Metodología General del Estudio**

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

Los pasos metodológicos aplicados se describen a continuación:

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

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

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

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

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

Cada una de las subunidades 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.

XII.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:

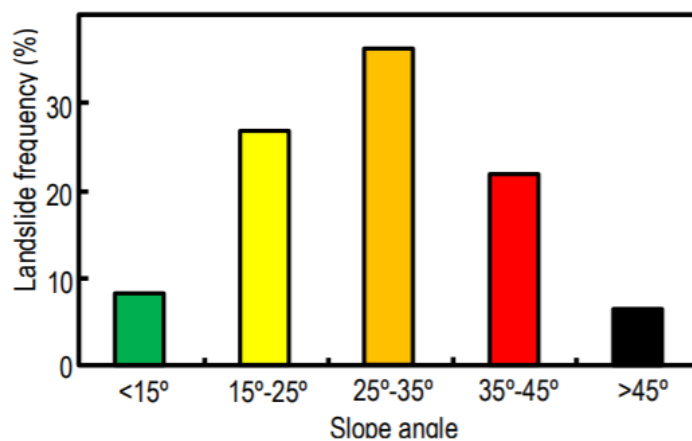
Diversos autores señalan que uno de los principales factores que determina la generación de remociones en masa es la pendiente de las laderas (Esaki, et al., 2005; Giraud & Shaw, 2007). Para diferenciar qué pendientes son las más susceptibles, se utilizó la información compilada a partir de diversas 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 24 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Fuente: Esaki et al.(2005)

XII.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)

Para la localidad de Pampa Guanaco, se revisó e incorporo la zonificación del estudio, “Estudio de riesgo de inundabilidad final Río Catalina, 2016”¹⁷. En dicho estudio se realizó

¹⁷ “Actualización Prosecución y Tramitación Plan Regulador de Pampa Guanaco, Comuna de Timaukel, Servicios Conexos”

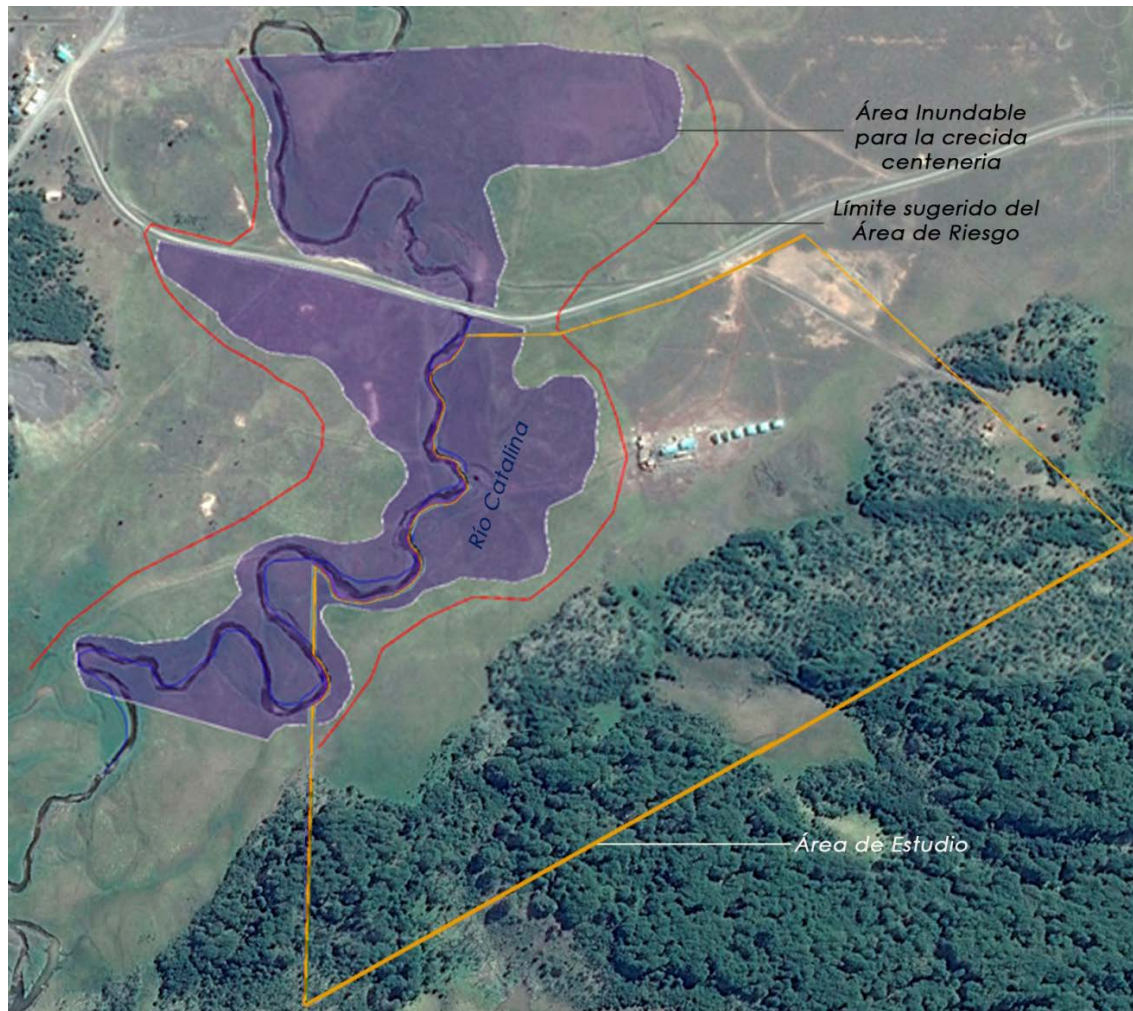
una caracterización hidrológica superficial de la hoya hidrográfica situadas en el sector de Pampa Guanaco en la comuna de Timaukel, Provincia de Tierra del Fuego, Región de Magallanes y Antártica Chilena, con el propósito de disponer de antecedentes hidrológicos que permitan definir las áreas inundables para crecidas de periodo de retorno iguala 100 años. En este informe se señalan: (1) las características hidroclimáticas generales de la Región de Magallanes específicamente del sector de Pampa Guanaco (2) las características morfológicas de la hoya hidrográfica del rio Catalina; (3) su escorrentía superficial; (4) la magnitud de sus eventos hidrológicos extremos, (5) las características meteorológicas más importantes del área del proyecto, y la modelación hidráulica que permite determinar las áreas de inundación para crecidas asociadas a eventos extremos de periodo de retorno igual a 100 años.

Caudales máximos de crecida [m³/s] Río Catalina (Modelo regional)

Prob. Excedencia	Rio Grande	Rio Rasmussen	Rio Catalina	T [años]
	Log normal	Log normal	Log normal	
0.01	221.8	114.8	32.0	100
0.02	200.5	108.4	29.0	50
0.04	179.1	101.3	26.0	25
0.10	150.5	90.3	21.9	10
0.20	127.8	80.0	18.7	5.0
0.25	120.1	76.1	17.6	4.0
0.50	93.5	60.2	13.8	2.0
R	0.978	0.927	1.000	

Fuente: Estudio de riesgo de inundabilidad final Río Catalina, 2016

Figura 25 Delimitación Área de Riesgo por Inundaciones Crecida centenaria Q = 32 m3/s



Fuente: Estudio de riesgo de inundabilidad final Río Catalina, 2016

XII.2.1 INUNDACIÓN POR ANEGAMIENTO

Las áreas de anegamiento fueron analizadas a través de parámetros morfológicos (pendientes inferiores a 3°) y a la fotointerpretación de imágenes áreas de manera de delimitar el área máxima utilizada por el cuerpo de agua. Se analizaron topografías de mayor detalle para la localidad de Pampa Guanaco

XII.3 INUNDACIONES POR TSUNAMI

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

XII.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
Inundaciones por desborde de cauce	<ul style="list-style-type: none"> - Características morfológicas de la red de drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> - Lluvias intensas 	<ul style="list-style-type: none"> - Catastro de eventos de inundación - Unidades geológicas - Red de drenaje - Observaciones de terreno - Estudios hidráulicos existentes
Inundaciones por anegamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Morfología - Malas condiciones de drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> - Lluvias 	<ul style="list-style-type: none"> - Imágenes satelitales - Topografía
Inundaciones por Tsunami	<ul style="list-style-type: none"> - Morfología 	<ul style="list-style-type: none"> - Sismos 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudios existentes en área cercana - Observaciones en terreno
Remociones en masa (procesos de ladera)	<ul style="list-style-type: none"> - Pendientes - Material que compone la ladera (geología) - Exposición de laderas - Formaciones vegetales 	<ul style="list-style-type: none"> - Sismos - Lluvias intensas - Viento 	<ul style="list-style-type: none"> - Pendiente del terreno - Catastro de remociones en masa
Erosión acentuada	<ul style="list-style-type: none"> - Morfología - Geología 	<ul style="list-style-type: none"> - Sismos - Lluvias intensas - Viento 	<ul style="list-style-type: none"> - No susceptible
Incendios	<ul style="list-style-type: none"> - Pendientes - Formaciones vegetales 	<ul style="list-style-type: none"> - Altas temperaturas - Vientos 	<ul style="list-style-type: none"> - No susceptible
Sismicidad	<ul style="list-style-type: none"> - Características de los depósitos 	<ul style="list-style-type: none"> - Sismos 	<ul style="list-style-type: none"> - No susceptible
Volcanismo (caída de ceniza)	<ul style="list-style-type: none"> - Distancia a los centros eruptivos - Morfología del terreno - Dirección del viento 	<ul style="list-style-type: none"> - Erupciones 	<ul style="list-style-type: none"> - No susceptible

Fuente: Elaboración propia

XIII 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

XIII.1 REMOCIÓN EN MASA Y EROSIÓN ACENTUADA

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

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

Villa Cameron:

Figura 26 Deslizamiento ladera poniente Villa Cameron



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 26, se observa al centro de la fotografía un deslizamiento antiguo de gran magnitud, que se encuentra activo en la sección superior. A la izquierda de la figura un deslizamiento activo de menor magnitud.

Figura 27 Deslizamiento ladera oriente Villa Cameron (camino de acceso)



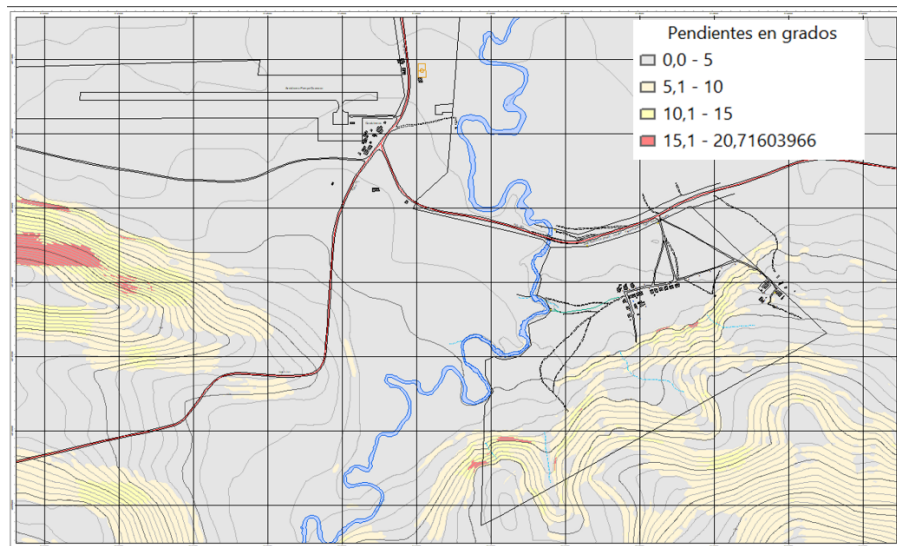
Fuente: Elaboración propia

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).

Pampa Guanaco:

En pampa guanaco las remociones en masa son menores magnitud y se asocian a pendientes sobre 15°

Figura 28 Pendientes sobre 15° Susceptibles de generar remociones en masa



Fuente: Elaboración propia

XIII.2 ÁREAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN

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

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.

Villa Cameron:

Se han identificado al menos tres terrazas de inundación del Río Mc. Clelland, si bien la pendiente a la altura del poblado es baja generando curvas, estas no llegan a desarrollar meandros que disminuyan la velocidad del caudal generando inundaciones mayores. Las susceptibilidades de inundación en relación a las terrazas corresponden a terraza 1 (cauce actual) muy alta susceptibilidad, terraza 2 corresponde a alta susceptibilidad y terraza tres a Moderada susceptibilidad, siendo esta última de menor ocurrencia

Figura 29 Delimitación Área de Riesgo por Inundaciones

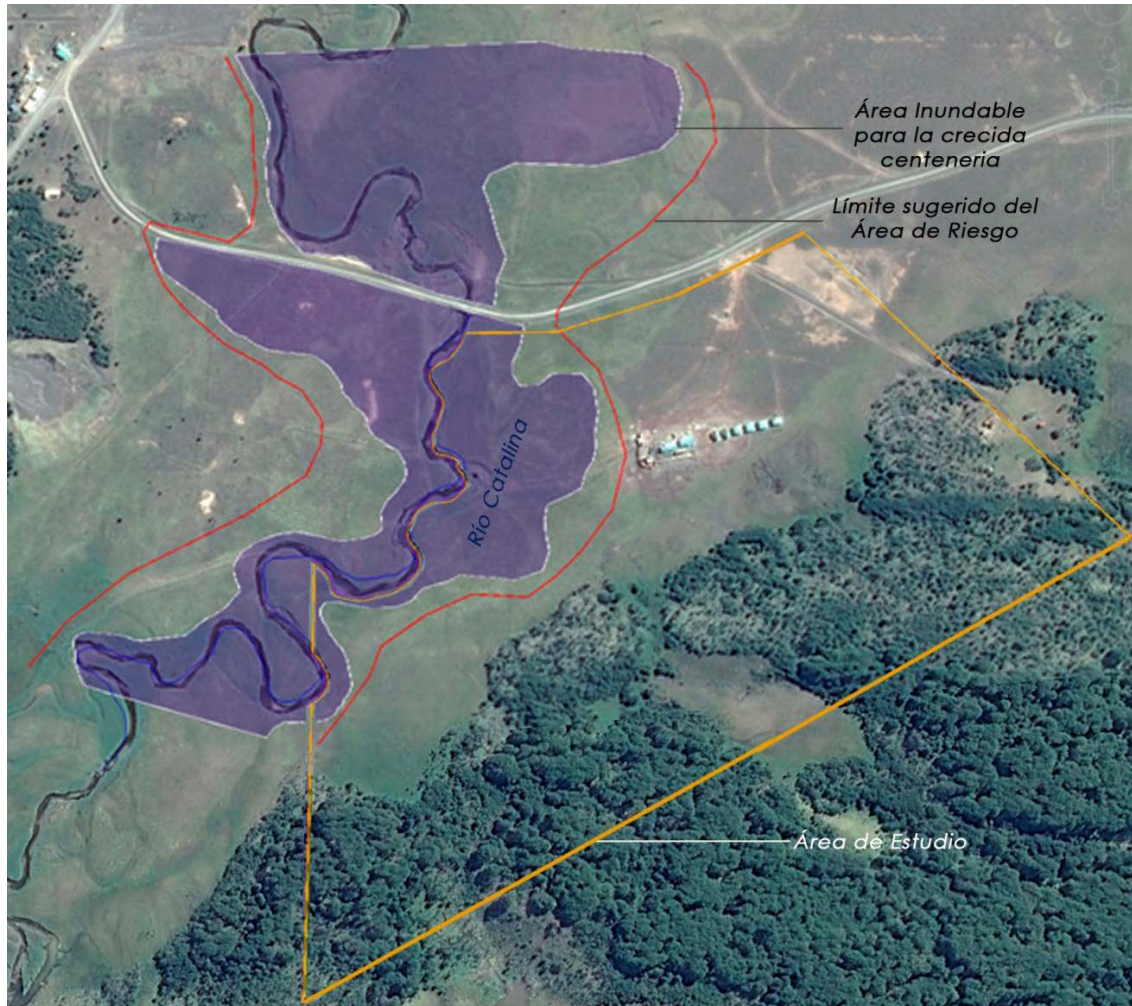


Fuente Elaboración Propia

Pampa Guanaco

En Pampa Guanaco, las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces se levantaron en base el “Estudio de riesgo de inundabilidad final Río Catalina, 2016”¹⁸. Como se puede observar en la siguiente figura de dicho informe.

Figura 30 Delimitación Área de Riesgo por Inundaciones Crecida centenaria $Q = 32 \text{ m}^3/\text{s}$



Fuente: Estudio de riesgo de inundabilidad final Río Catalina, 2016

¹⁸ “Actualización Prosecución y Tramitación Plan Regulador de Pampa Guanaco, Comuna de Timaukel, Servicios Conexos”

Se asimiló a la susceptibilidad de las terrazas adyacentes, siendo Muy alta susceptibilidad el cauce principal hasta la tasa de retorno de 5 años; Alta susceptibilidad desde la tasa de retorno de 5 años hasta la tasa de retorno de 100 años y Moderada susceptibilidad desde la tasa de retorno de 100 años a la terraza superior (sugerida en el estudio en cuestión como área de protección de cauce).

Sectores de anegamiento

Villa Cameron

Se identificaron dos importantes sectores de anegamiento en Villa Cameron, el primero corresponde a un sector deprimido (mayor a 1 metro de altura) respecto de su entorno, como se puede apreciar en los espejos de agua de la siguiente figura.

Figura 31 Sector susceptible de anegamiento Villa Cameron



Fuente: Elaboración propia

En el sector sur de la localidad, se evidenció un cauce activo un área adyacente de abundante humedad, correspondientes a un antiguo cauce mayor (paleo cauce), aparentemente la humedad es permanente por la vegetación existente.

Figura 32 Sector susceptible de anegamiento, sector sur Villa Cameron



Fuente: Elaboración propia

Las áreas de riesgo de inundación por tsunamis, se utilizó como base la morfología del borde litoral de Villa Cameron y de la desembocadura del río. Se consideró además como referencia la carta de inundación por tsunamis de Porvenir.

Como se puede observar en la siguiente figura, se evidenció erosión acentuada del borde costero producido por el golpe de hola en alta marea (y o temporales), dicho retroceso del borde litoral pudiera afectar el camino de acceso a la localidad de Villa Cameron.

Figura 33 Sector susceptible socavamiento, sector Norte Villa Cameron



Fuente: Elaboración propia

Pampa Guanaco

En Pampa Guanaco, las principales áreas de anegamiento se localizan al sur poniente de la localidad en el sector del pie de monte, como se puede apreciar en las siguientes figuras obtenidas en la visita a terreno en septiembre de 2021, existe un anegamiento producto de la baja permeabilidad del suelo y del aporte de humedad desde la ladera (capilaridad y/o flujo laminar) por falta de un cauce evacuador que reciba los aportes de la ladera y los dirija al cauce del río.

Figura 34 Sector susceptible anegamiento, sector Sur Pampa Guanaco



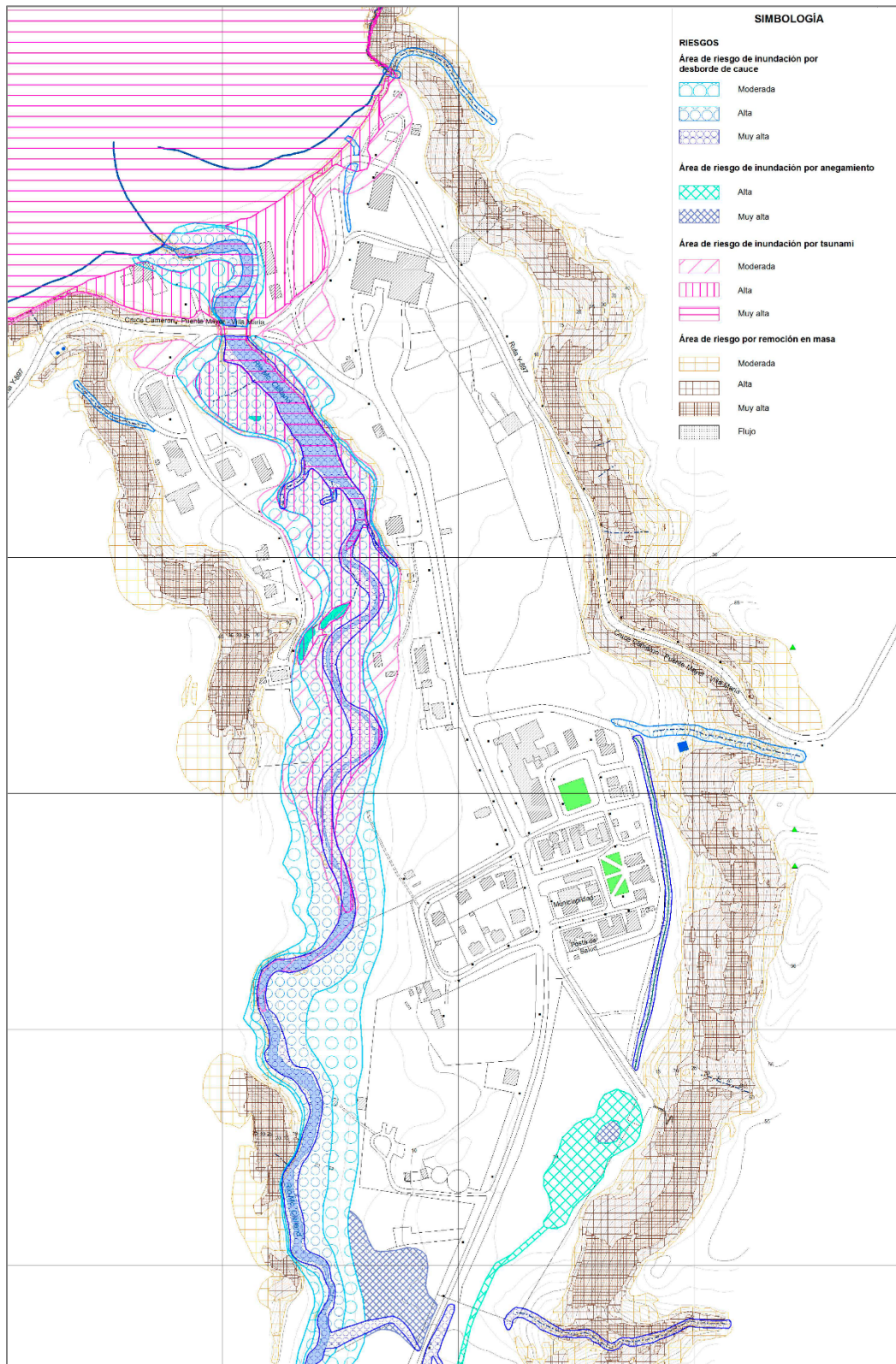
Fuente: Elaboración propia

Figura 35 Sector susceptible anegamiento, sector Sur Pampa Guanaco



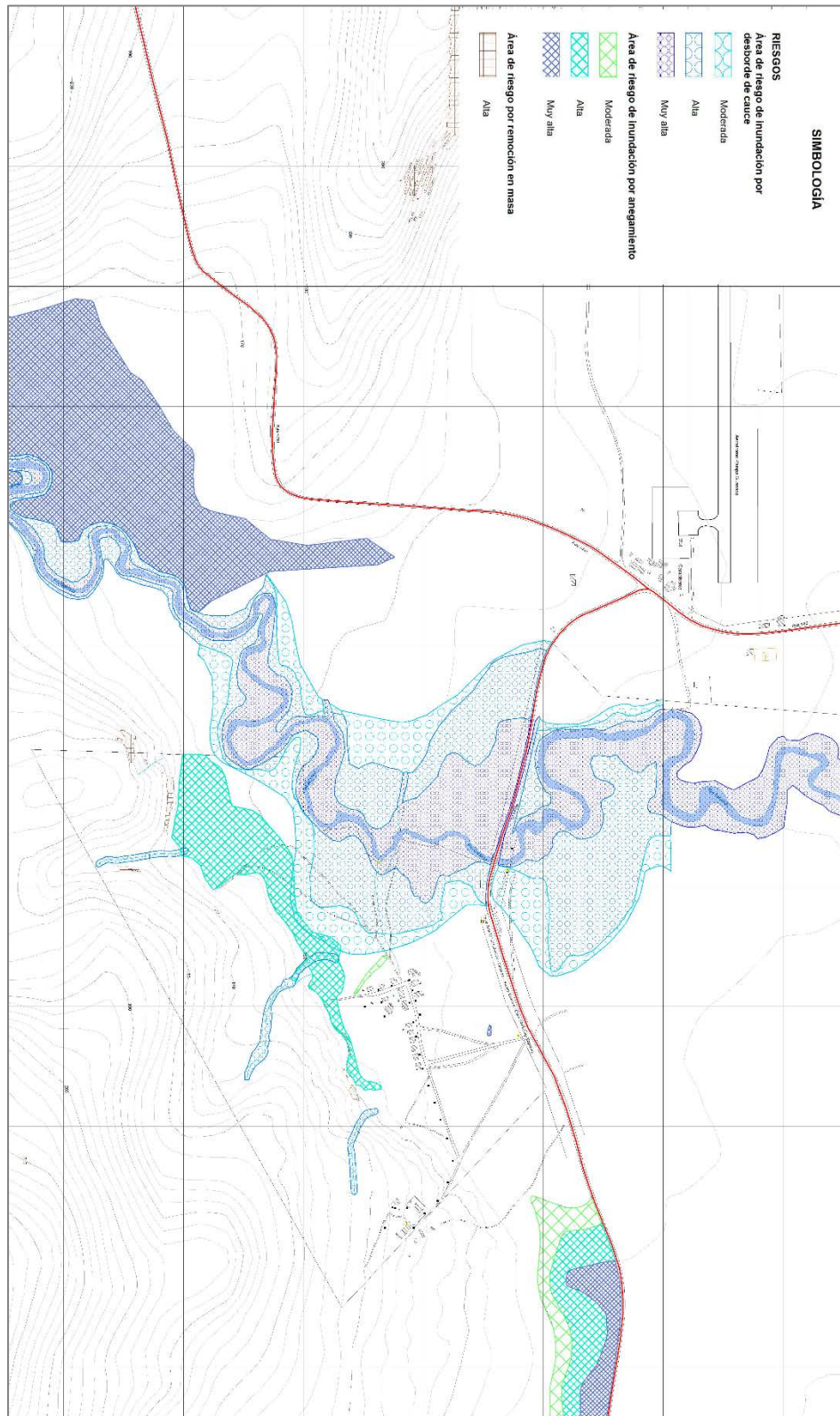
Fuente: Elaboración propia

Figura 36 Áreas de riesgo Villa Cameron



Fuente: Elaboración propia

Figura 37 Áreas de riesgo Pampa Guanaco



Fuente: Elaboración propia

XIII.3 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:

Tabla 12 Zonas No Edificables

TEMA	ORDENAMIENTO JURIDICO
Fajas no edificables bajo los tendidos eléctricos	artículo 56 del D.F.L. No 1 de Minería, de 1982, y en los artículos 108° al 111° del Reglamento SEC: NSEG 5En.71, "Instalaciones de Corrientes Fuertes"
Fajas senderos de inspección de los canales de riego o acueductos	Código de Aguas, D.F.L. No.1.302, de 1990.
Territorios afectados por las superficies limitadoras de obstáculos que determine la Dirección de Aeronáutica Civil en los terrenos aledaños a Aeropuertos o Aeródromos.	Código Aeronáutico, aprobado por Ley No 18.916, de 1990, del Ministerio de Justicia, D.O. del 18/02/1990.
Fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles	Ley General de Ferrocarriles, D.S. No 1.157, del Ministerio de Fomento, de 1931.
Fajas de resguardo de los Caminos Públicos Nacionales	artículo 56 de la LGUC, y según lo señalado en los Artículos 36 y 40 del DFL 850 (MOP) del 12 de septiembre de 1997, D.O. del 25 de febrero de 1998
Fajas o terrenos de protección de cursos naturales de agua, manantiales y quebradas, terrenos, de acuerdo a la Ley de Bosques	Ley de Bosques, Decreto Supremo 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

XIII.4 ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL

XIII.4.1 ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL

El Ministerio de Bienes Nacionales -conforme a la legislación vigente- es el encargado de mantener y actualizar la información cartográfica, jurídica y estadística de los bienes fiscales, entre los cuales se encuentra el patrimonio natural protegido por el Estado. De acuerdo a lo consultado en dicho ministerio no existen áreas de valor natural en las áreas urbanas de las localidades de Pampa Guanaco y Villa Cameron.

XIII.4.2 ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR CULTURAL

El Consejo de Monumentos Nacionales (CMN) es un organismo técnico del Estado que depende del Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. Tiene la misión de ejercer la protección y tuición del patrimonio cultural y natural de carácter monumental, velando por su identificación, protección oficial, supervisión, conservación y puesta en valor, potenciando su aporte a la identidad y al desarrollo humano. De acuerdo con lo consultado en dicho ministerio no existen áreas de valor cultural en las áreas urbanas de las localidades de Pampa Guanaco y Vila Cameron.

XIV CONCLUSIONES

XIV.1 INUNDACIÓN POR DESBORDE DE CAUCES Y ANEGAMIENTO

En ambas localidades los niveles de susceptibilidad “Muy Alta” y “Alta” corresponden a áreas de riesgos. Para las susceptibilidades derivadas de inundación por desborde de cauce en ambas localidades, que sean de nivel muy alto y alto se sugieren uso de suelo de áreas verdes o parques. Respecto de la susceptibilidad moderada (no considerada como área de riesgo 2.1.17 OGUC, por su menor magnitud y ocurrencia) puede ser utilizada para otros usos con las debidas obras o medidas de mitigación evitando la instalación de equipamientos de seguridad, salud y educación en dichas áreas.

En Villa Cameron se han identificado al menos tres terrazas de inundación del Río Mc. Clelland, si bien la pendiente a la altura del poblado es baja generando curvas, estas no llegan a desarrollar meandros que disminuyan la velocidad del caudal generando inundaciones mayores. Adicionalmente se identificaron sectores de anegamientos, fuera del límite urbano propuesto asociados a depresiones del terreno y terrazas adyacentes al río.

En Pampa Guanaco, las áreas de inundación por desborde de cauce corresponden a terrazas inundables del Río Catalina. Las áreas de inundación por desborde de cauce del Río Catalina, fueron calculadas tasas de retorno de 5 años (T5) y Tasa de retorno de 100 años (T100) en “Estudio de riesgo de inundabilidad final Río Catalina, 2016”¹⁹ asimilándose a la susceptibilidad de las terrazas adyacentes, siendo Muy alta susceptibilidad el cauce principal hasta la tasa de retorno de 5 años; Alta susceptibilidad desde la tasa de retorno de 5 años hasta la tasa de retorno de 100 años y Moderada susceptibilidad desde la tasa de retorno de 100 años a la terraza superior (sugerida en el estudio en cuestión como área de protección de cauce). Existe un área de anegamiento en el sector sur de la localidad sector de pie de monte.

XIV.2 REMOCIONES EN MASA

En Villa Cameron existen laderas en el sector Oriente y poniente de la localidad posibles de generar remociones en masa por el alta pendiente (sobre 15°) y la falta de cobertura vegetal de raíces profundas que contengan la ladera. Se observó en la ladera oriente 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.

¹⁹ “Actualización Prosecución y Tramitación Plan Regulador de Pampa Guanaco, Comuna de Timaukel, Servicios Conexos”

En Pampa Guanaco, las remociones en masa son de menor magnitud y se localizan en laderas del sector sur poniente de la localidad.

XIV.3 INUNDACIÓN POR TSUNAMI

Respeto de las áreas susceptibles de inundación por tsunami, se localizan en la desembocadura del Río Mc. Clelland, en la localidad de Villa Camerón, se estima un impacto bajo y canalizado en el cauce del río principalmente. Se observó un aumento del socavamiento en el borde costero. Las susceptibilidades están asociadas a las terrazas inundables de Río Mc. Clelland.

Para la localidad de Pampa Guanaco no se definieron áreas de riesgo de inundación por Tsunami por encontrarse a una altitud sobre 150 msnmm y una distancia mayor a 40 Kilómetros de la Línea de Costa

XIV.4 RECOMENDACIONES

Una vez identificados los peligros, definidos los grados de susceptibilidad y el alcance territorial de ellos, es necesario incorporar estos resultados en la zonificación urbana. Esto debe realizarse a través de la aplicación del artículo 2.1.17. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y/o tomando otras medidas de planificación acordes a las atribuciones que otorga la LGUC y la OGUC al Plan Regulador Comunal.

Cabe mencionar que para el levantamiento de las restricciones y/o 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 (obras y/o medidas de mitigación), incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente conforme a la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, cuando corresponda.

Desde esta perspectiva, y con el fin de homologar las categorías de susceptibilidad al lenguaje de la OGUC, se propone aplicar el artículo 2.1.17. y restringir que se construya en las zonas de 'Muy alta' susceptibilidad. Para la zona de 'alta' susceptibilidad, se recomienda aplicar normas urbanísticas que regulen la forma e intensidad de su ocupación y excluir el equipamiento crítico (educación, salud y seguridad) en el caso de las áreas no consolidadas. Del modo que se presenta en la Tabla N° 13

Finalmente, se recomienda realizar capacitaciones a la población con respecto a los peligros geológicos, considerando sus causas y consecuencias, en las que además se informe adecuadamente acerca de las medidas a adoptar frente a situaciones de emergencia (sistemas de alerta, vías de evacuación, zonas seguras), con el objetivo de promover el autocuidado. En este sentido se sugiere que el plan dote de vialidades que permitan la evacuación de la población y la oportuna llegada de equipos de emergencia en las distintas áreas de riesgos.

En caso de que la autoridad no pueda dar una alerta oportuna, la educación y conocimiento acerca de los diferentes peligros y riesgos geológicos pueden salvar vidas, ya que condiciona una reacción correcta y autónoma por parte de la población.

Tabla 13 Criterios de zonificación de áreas de riesgos

"Áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17. de la OGUC	TIPOS DE PELIGRO (según este informe)	SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE ZONIFICACIÓN URBANA O.G.U. y C.
1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos	Inundaciones por desborde de cauces	MUY ALTA	Cauces principales determinados por depósitos fluviales.(en río Catalina Cota de inundación tasa de retorno de 5 años)	Riesgo (2.1.17.) Uso Area Verde
		ALTA	Terrazas de inundación adyacentes al cauce principal de depósitos fluviales aterrazados y zonas que según el catastro se han inundado con anterioridad. .(en río Catalina Cota de inundación tasa de retorno de 100 años)	
		MODERADA	Zonas que pueden ser inundadas como consecuencia de una crecida excepcional, relacionándose con las terrazas más antiguas correspondiente a parte de los depósitos fluviales aterrazados o zonas distales que presentan una baja elevación con respecto al cauce principal	
	Inundaciones por anegamiento	MUY ALTA	Corresponde a sectores morfológicamente muy planos (menor a 3°), deprimidos, con mal drenaje, que según el catastro han sido afectados previamente por anegamiento (compilada en el catastro o información obtenida en terreno) Estos bajos topográficos tienen una diferencia de altura mayor 1 m con respecto al nivel base promedio de su entorno	Riesgo (2.1.17.)
		ALTA	Corresponde a sectores morfológicamente muy planos (menor a 3°), deprimidos, con mal drenaje, que según el catastro han sido afectados previamente por anegamiento (compilada en el catastro o información obtenida en terreno) Estos bajos topográficos tienen una diferencia de altura de entre 50 cm y 1 m con respecto al nivel base promedio de su entorno	
		MODERADA	Corresponde a sectores morfológicamente muy planos (menor a 3°), deprimidos, con mal drenaje, que según el catastro han sido afectados previamente por anegamiento (compilada en el catastro o información obtenida en terreno) Estos bajos topográficos tienen una diferencia de altura de entre 20 cm y 0.5 m con respecto al nivel base promedio de su entorno	
	Inundación por Tsunami	MUY ALTA	Cota de inunda de a 0 a 5 msnmm	Riesgo (2.1.17.)
		ALTA	Cota de inunda de 5 a 7 msnmm	Riesgo (2.1.17.)
		MODERADA	Cota de inunda mayor a 7 msnmm	Riesgo (2.1.17.)
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas	Remociones en masa (procesos de ladera)	MUY ALTA	Sectores con pendientes mayores a 35° o sectores que presentan condiciones geomorfológicas de inestabilidad.	Riesgo (2.1.17.)
		ALTA	Laderas con pendientes entre 25° y 35° o sectores que presentan condiciones geomorfológicas de inestabilidad.	
		MODERADA	Laderas con pendientes entre 15° y 25° o sectores que presentan condiciones geomorfológicas de inestabilidad.	

XV 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.
- 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 Timaukel Nuevo Siglo Consultores, 2015, Actualización de Plan de Desarrollo Comunal de la comuna de Timaukel, Provincia de Tierra del Fuego 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
- “Actualización Prosecución y Tramitación Plan Regulador de Pampa Guanaco, Comuna de Timaukel, Servicios Conexos”
- Área de riesgo de inundación Río Catalina, 2016, Etapa 5B Estudios Complementarios Segunda Parte e Ingreso Informe Ambiental Corregido al MMA, Noviembre 2016

Otras Fuentes

- www.csn.uchile.cl/ Centro Sismológico nacional. Sismos y sismicidad en Chile.
- 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.