

# TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Formulación del estudio .....	3
1.2	Objetivos.....	4
1.2.1	General.....	4
1.2.2	Específicos .....	4
1.3	Hipótesis de trabajo .....	4
1.4	Ubicación y vías de acceso .....	5
1.5	Limitaciones .....	6
1.6	Metodología .....	7
1.6.1	Trabajo previo al terreno.....	7
1.6.2	Trabajo de terreno .....	7
1.6.3	Procesamiento de datos en gabinete.....	7
1.6.4	Análisis de susceptibilidad .....	7
2	ANTECEDENTES .....	8
2.1	Geología Regional .....	8
2.1.1	Batolito Patagónico.....	9
2.1.2	Zona de falla Liquiñe-Ofqui.....	9
2.1.3	Zona Volcánica Sur .....	10
2.2	Geología Local.....	13
2.2.1	Paleozoico-Triásico –PzTr .....	13
2.2.2	Jurásico inferior-Jig (155+6 Ma) .....	15
2.2.3	Cretácico inferior-Kg.....	15
2.2.4	Mioceno, localmente hasta el Plioceno–Mg (20-5 M.A) .....	16
2.2.5	Pleistoceno-Holoceno.....	16
2.3	Geomorfología Regional .....	18
2.4	Geomorfología Local.....	20
2.5	Hidrografía .....	24
2.6	Clima y vegetación.....	27
2.7	Remociones en masa .....	28
2.7.1	Caída de rocas .....	29

2.7.2	Deslizamientos .....	29
2.7.3	Flujos de detritos .....	30
2.7.4	Volcamientos .....	30
2.7.5	Extensión lateral .....	31
2.7.6	Factores condicionantes .....	32
2.7.7	Factores desencadenantes.....	33
3	METODOLOGÍA.....	38
3.1	Análisis de susceptibilidad .....	38
3.1.1	Métodos cualitativos .....	39
3.1.2	Métodos cuantitativos .....	39
3.2	Estudios preliminares y trabajo en terreno .....	41
3.3	Mapeo de remociones.....	43
3.4	Método Bivariado .....	44
3.5	Validación y clasificación mapa susceptibilidad.....	46
4	RESULTADOS .....	48
4.1	Remociones en masa de la zona de estudio .....	48
4.1.1	Flujos de detritos .....	49
4.1.2	Deslizamientos de suelo .....	50
4.1.3	Deslizamientos suelo-roca.....	51
4.1.4	Caídas de rocas .....	52
4.1.5	Deslizamientos de roca .....	53
4.1.6	Remociones Subactuales .....	54
4.2	Resultados Análisis de Susceptibilidad .....	56
4.2.1	Mapas de factores .....	56
4.2.2	Cálculo de pesos .....	67
4.2.3	Clasificación del mapa de susceptibilidad.....	75
4.2.4	Mapa Susceptibilidad.....	77
5	DISCUSIONES.....	81
5.1	Discusiones generales .....	81
5.2	Mapeo y selección de factores .....	82
5.3	Factores condicionantes: Reclasificación y pesos obtenidos .....	84
5.4	Análisis de susceptibilidad .....	90

5.5	Comparación con modelo de Náquira (2009) .....	92
5.6	Comparación con Le Roux et al., 2013 .....	98
5.7	Potencial Tsunamigénico .....	98
5.8	Recomendaciones .....	99
6	CONCLUSIONES.....	100
7	BIBLIOGRAFÍA.....	102
8	ANEXO.....	113

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Datos de muertes generadas por remociones en masa no-sismogénicas, entre los años 2003 y 2010. Modificado de Petley, 2011. ....	2
Figura 1.2: Mapa de ubicación de la zona de estudio. ....	5
Figura 2.1: Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, modificado de Hervé, 1984. En rojo se marca la zona de estudio. ....	10
Figura 2.2: Distribución espacial de estratovolcanes y centros eruptivos menores de la zona volcánica sur. En cuadro rojo la zona de estudio. Modificado de Kalz (1971), Moreno (1976), Cembrano y Moreno (1994).....	12
Figura 2.3: Mapa geología, modificado publicación geológica digital, N° 4-1:1.000.000, SERNAGEOMIN, 2003. ....	17
Figura 2.4: Mapa de altitud de la zona de estudio. ....	21
Figura 2.5: Mapa de orientación de laderas en la zona de estudio.....	22
Figura 2.6: Mapa de pendiente en grados para la zona de estudio. ....	23
Figura 2.7: A: Río Vodudahue. B: Desembocadura Río Huinay y LLoncochaigua en fiordo Comau. C: Lagos colgantes ladera este. D: Laguna Abascal. E: Vista hacia el norte del fiordo Comau. F: Lagos zona centro ladera este.....	25
Figura 2.8: Mapa de hidrografía de la zona de estudio. ....	26
Figura 2.9: Vegetación en zona alta de ladera este del fiordo Comau. ....	27
Figura 2.10: Esquema caída de rocas y diferentes mecanismos de movimiento de los bloques. Modificado de Movimientos en Masa en la Región Andina (SERNAGEOMIN,2007). ....	29
Figura 2.11: Esquemas de deslizamiento, traslacional y rotacional. Modificado de Movimientos en Masa en la Región Andina (SERNAGEOMIN, 2007) .....	30
Figura 2.12: Esquemas de flujos de detritos, tanto canalizados como no canalizados. Modificado de Movimientos en Masa en la Región Andina (SERNAGEOMIN, 2007). ...	30
Figura 2.13: Esquema volcamientos o toppling. Modificado de Movimientos en Masa en la Región Andina (SERNAGEOMIN, 2007).....	31
Figura 2.14: Esquema de extensión lateral, según Varnes (1978). Modificado de Movimientos en Masa en la Región Andina (SERNAGEOMIN, 2007). ....	31
Figura 2.15: Ajuste de Ley Gutenberg-Richter para catálogo de sismos completo. Modificado de Spiess, 2016. ....	35
Figura 2.16: Ajuste de Ley Gutenberg-Richter para catálogo de sismos corticales. Modificado de Spiess, 2016. ....	36
Figura 2.17: Localización sismos asociados a la falla Liquiñe-Ofqui (En amarillo). En un cuadro rojo se destaca la zona de estudio. Modificado de Spiess 2016. ....	37
Figura 3.1: Clasificación de métodos para análisis de susceptibilidad. Adaptado de Aleotti y Chowdhury, 1999. ....	40
Figura 3.2: Esquema de tipos de curvatura, tanto de plano como del perfil.....	42

Figura 3.3: Resumen metodología Peso de la evidencia.....	46
Figura 3.4: Ejemplo de gráfico de tasa o índice de éxito. Modificado de Xu et al, 2011.	47
Figura 4.1: Bloques de remoción ocurrida en 1957 en ladera este, sector de Huinay. ..	49
Figura 4.2. Depósito correspondiente a un flujo de detritos canalizado zona central península Huequi. ....	49
Figura 4.3: Deslizamientos de suelo en ladera oeste cerca al volcán Huequi. ....	50
Figura 4.4: Deslizamiento de suelo menor en las cercanías del río LLoncochaigua. ....	50
Figura 4.5: Deslizamiento de suelo-roca ladera este. ....	51
Figura 4.6: Deslizamientos de suelo-roca en la Península Huequi. Se distinguen por ausencia de vegetación en la foto. ....	51
Figura 4.7: Caída de rocas en borde costero del fiordo Comau. ....	52
Figura 4.8: Deslizamiento de roca en borde costero. ....	53
Figura 4.9: Deslizamiento de roca en zona alta. ....	53
Figura 4.10: Remociones subactuales. En verde se destacan remociones subactuales cubiertas por vegetación.....	54
Figura 4.11: Catastro de remociones en masa de la zona de estudio.....	55
Figura 4.12: Resultados reclasificación del factor Distancia a Fallas. ....	57
Figura 4.13: Resultado reclasificación del factor Densidad de Fallas. ....	58
Figura 4.14: Resultado reclasificación del factor Distancia a Drenaje. ....	60
Figura 4.15: Resultados reclasificación del factor Densidad de Drenaje. ....	61
Figura 4.16: Resultados reclasificación factor Curvatura de Plano. ....	63
Figura 4.17: Resultados de reclasificación del factor Curvatura en Perfil. ....	64
Figura 4.18: Histograma de datos de susceptibilidad. Las rectas indican quiebres naturales de los datos. ....	68
Figura 4.19: Gráfico con pesos para cada clase del factor Distancia a fallas. ....	68
Figura 4.20: Gráfico con pesos para cada clase del factor Densidad de fallas y lineamientos.....	69
Figura 4.21: Gráfico con pesos para cada clase del factor Distancia a red de drenaje..	70
Figura 4.22: Gráfico con pesos para cada clase del factor Densidad de drenaje. ....	70
Figura 4.23: Gráfico con pesos para cada clase del factor Curvatura de Plano. ....	71
Figura 4.24: Gráfico con pesos para cada clase del factor Curvatura en Perfil. ....	71
Figura 4.25: Gráfico con pesos para cada clase del factor Pendiente. ....	72
Figura 4.26: Gráfico con pesos para cada clase del factor Orientación. ....	72
Figura 4.27: Gráfico con pesos para cada clase del factor Altitud. ....	73
Figura 4.28: Gráfico con pesos para cada clase del factor Geología. ....	73
Figura 4.29: Gráfico resumen de todos los factores y su clase de menor peso. Geo: Geología; Dens.Fallas: Densidad de fallas; Orient: Orientación; Alt: Altura; Dis.Red: Distancia a red de drenaje; Pend: Pendiente en grados; Dist.Fallas: Distancia a fallas; D.Dren.: Densidad red de drenaje; C.PI: Curvatura de Plano; C.Per: Curvatura en Perfil. ....	74

Figura 4.30: Gráfico resumen de todos los factores y su clase de mayor peso. Geo: Geología; Dens.Fallas: Densidad de fallas; Orient: Orientación; Alt: Altura; Dis.Red: Distancia a red de drenaje; Pend: Pendiente en grados; Dist.Fallas: Distancia a fallas; D.Dren.: Densidad red de drenaje; C.PI: Curvatura del Plano; C.Per: Curvatura de Perfil. ....	74
Figura 4.31: Resultado del índice de éxito. En el eje Y se observa el % acumulado de remociones presentes en la zona de estudio y en el eje X se encuentra el porcentaje acumulado de los pesos obtenidos, ordenados de mayor a menor. En rojo se destaca la zona correspondiente a la susceptibilidad alta. ....	75
Figura 4.32: Resultado del índice de éxito. En el eje Y se observa el % acumulado de remociones presentes en la zona de estudio y en el eje X se encuentra el porcentaje acumulado de los pesos obtenidos, ordenados de mayor a menor. En amarillo se destaca la zona correspondiente a la susceptibilidad media. ....	76
Figura 4.33: Resultado del índice de éxito. En el eje Y se observa el % acumulado de remociones presentes en la zona de estudio y en el eje X se encuentra el porcentaje acumulado de los pesos obtenidos, ordenados de mayor a menor. En verde se destaca la zona correspondiente a la susceptibilidad baja. ....	76
Figura 4.34: Distribución de pixeles por clases, en relleno sólido se destaca el porcentaje de área ocupado por cada clase de susceptibilidad y en achurado el porcentaje de área de remociones abarcada por cada clase. ....	78
Figura 4.35: Mapa de susceptibilidad generado a partir del método Peso de la evidencia. Se divide en tres categorías: Susceptibilidad alta, media y baja. ....	79
Figura 4.36: Mapa de susceptibilidad generado a partir del método Peso de la evidencia. Se divide en tres categorías: Susceptibilidad alta, media y baja. En negro las remociones en masa. ....	80
Figura 5.1: Remociones en masa con grillas de diferente resolución. Izquierda: 30 x 30m. Derecha: 100 x 100 m. ....	82
Figura 5.2: Distribución de remociones en masa con respecto al factor Orientación de laderas. ....	88
Figura 5.3: Mapa de alturas. En rojo se destaca las remociones en masa. ....	89
Figura 5.4: Zona de mayor susceptibilidad en el sector estudiado. En negro se destacan las remociones en masa. ....	92
Figura 5.5: Ubicación fiordo Comau. En un cuadro rojo se destaca la zona de estudio y en un cuadro azul la zona de estudio de Náquira, 2009. ....	93
Figura 5.6: Mapas de susceptibilidad clasificados en susceptibilidad baja (verde), media (amarillo) y alta (rojo). A: Modelo obtenido de esta investigación. B: Modelo con clases de susceptibilidad de Náquira (2009). C: Modelo basado en factores de Náquira (2009) con clases de susceptibilidad obtenidas de este trabajo. D: Modelo basado en los factores y clases de susceptibilidad propuestos en Náquira (2009) ....	97
Figura 8.1: Figura resumen de la metodología peso de la evidencia. ....	117

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de velocidades según Cruden y Varnes (1996). .....	28
Tabla 2: Datos sismicidad X región. ....	35
Tabla 3: Coeficientes para regresión Ley Gutenberg-Richter. ....	35
Tabla 4: Estadísticas para regresión. ....	35
Tabla 5: Coeficientes de regresión lineal para sismo corticales. ....	36
Tabla 6: Estadísticas para regresión lineal de sismos corticales. ....	37
Tabla 7: Resultado de reclasificación del factor Distancia a fallas, con el porcentaje de píxeles para cada clase, según área abarcada y remociones presentes. ....	57
Tabla 8: Resultado de la reclasificación del factor Densidad de Fallas, se indica también el porcentaje de píxeles para cada clase, según área y remociones presentes. ....	59
Tabla 9: Resultado de reclasificación del factor distancia a ríos con el porcentaje de píxeles para cada clase, según área abarcada y remociones presentes. ....	59
Tabla 10: Resultado de reclasificación del factor Densidad de drenaje, con el porcentaje de píxeles para cada clase, según área abarcada y remociones presentes. ....	61
Tabla 11: Resultado de reclasificación del factor Curvatura de plano, con el porcentaje de píxeles para cada clase, según área abarcada y remociones presentes. ....	62
Tabla 12: Resultado de reclasificación del factor Curvatura en perfil con el porcentaje de píxeles para cada clase, según área abarcada y remociones presentes. ....	64
Tabla 13: Resultado de reclasificación del factor Pendiente, con el porcentaje de píxeles para cada clase, según área abarcada y remociones presentes. ....	65
Tabla 14: Resultado de reclasificación del factor Orientación, con el porcentaje de píxeles para cada clase, según área abarcada y remociones presentes. ....	66
Tabla 15: Resultado de reclasificación del factor Altura, con el porcentaje de píxeles para cada clase, según área abarcada y remociones presentes. ....	66
Tabla 16: Resultado de reclasificación del factor Geología, con el porcentaje de píxeles para cada clase, según área abarcada y remociones presentes. ....	67
Tabla 17: Datos de píxeles en la zona de estudio y cantidad de píxeles con remociones. ....	67
Tabla 18: Comparación de factores utilizados en este trabajo con los propuestos por Náquira (2009) .....	93
Tabla 19: Comparación de clases de susceptibilidad obtenidas con clases de Náquira (2009). ....	94
Tabla 20: Factores condicionantes utilizados con su importancia para el estudio y fuente de la información.....	113
Tabla 21: Datos factor Geología.....	114
Tabla 22: Datos factor Distancia a fallas-lineamientos. ....	114
Tabla 23: Datos factor Densidad de fallas-lineamientos.....	114
Tabla 24: Datos factor Altura.....	114
Tabla 25: Datos factor Orientación de laderas. ....	115
Tabla 26: Datos factor Pendiente.....	115

Tabla 27: Datos factor densidad red de drenaje.....	115
Tabla 28: Datos factor distancia a drenaje. ....	115
Tabla 29: Datos factor Curvatura de Plano. ....	115
Tabla 30: Datos factor Curvatura en Perfil. ....	115
Tabla 31: Datos de modelos de susceptibilidad A, B, C y D. ....	116
Tabla 32: Resumen pesos mayores y menor por cada factor.En rojo el peso menor y en verde el peso mayor.....	119