



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**MICROZONIFICACION SISMICA DEL SECTOR SUR PONIENTE DE SANTIAGO,
COMUNAS BUIN Y PAINE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE GEOLOGA

CRISTINA ESTEFANIA BRANTT HIDALGO

PROFESOR GUIA:

SOFIA REBOLLEDO LEMUS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

FELIPE LEYTON FLÓREZ
SERGIO SEPÚLVEDA VALENZUELA

**Santiago de Chile
Noviembre 2011**

RESUMEN

El pasado terremoto del 27/02/2010 de magnitud Mw 8,8, afectó una extensa zona de Chile central. Dentro de las zonas que presentaron daño, se cuentan las comunas de Buin y Paine de la Región Metropolitana.

Tras el sismo se generaron cuantiosos estudios, de diversas disciplinas, orientados a complementar el conocimiento del comportamiento sísmico de los suelos. En el marco anterior, el presente trabajo de título pretende ser uno de los tantos aportes, teniendo como objetivo general definir las unidades geológicas relacionadas con la respuesta sísmica observada en las comunas de Buin y Paine. A través de la clasificación del relleno cuaternario según su respuesta sísmica, se busca proveer de información útil a las autoridades para la planificación territorial de la zona. Para tales efectos, el estudio contempla el análisis geológico del relleno cuaternario y la evaluación de frecuencias fundamentales del suelo, mediante el método Nakamura, sumado a la incorporación de antecedentes de daños a través de la observación en terreno y estudios de intensidades.

En el área de estudio se reconocen depósitos aluviales, fluviales y coluviales, constituidos principalmente por intercalaciones de gravas en matriz areno-limo-arcillosa, con variaciones de su granulometría y espesor. En base a la granulometría dominante y a la geomorfología, se definen unidades geológicas. En la definición de estas unidades se considera la información obtenida de pozos y calicatas disponibles.

Los daños más severos, producto del terremoto del 2010, ocurrieron principalmente en las localidades de Valdivia de Paine, Rangué, Abrantes, Pintué y Champa. El daño en estas tres últimas localidades, se asocia a procesos de licuefacción.

En cuanto a los resultados obtenidos mediante la técnica de Nakamura, se muestran tres dominios con diferentes tipos de señales: (a) señal plana, ausencia de pico; (b) tres picos de amplitud variable, en las frecuencias 0,5, 2,0 y 5,0 Hz y (c) dos picos de amplitud media, entre las frecuencias de 1,0 y 2,0 Hz.

Finalmente, con los resultados obtenidos se distinguieron cuatro zonas de diferente respuesta sísmica: (1) Buena respuesta sísmica: asociada a depósitos principalmente compuestos de gravas, con señales correspondientes al dominio (a); (2) Regular respuesta sísmica: asociada a depósitos coluviales y de ceniza, caracterizadas por una señal correspondiente a los dominios (a) y (c); (3) Mala respuesta sísmica: asociada a depósitos fluviales y de remoción en masa, y (4) Mala respuesta sísmica – suelos potencialmente licuables: asociada a depósitos constituidos por arenas y sedimentos finos con nivel freático somero, relacionadas al dominio de señal (b). Esta última presentó fenómeno de licuefacción en ciertas localidades.

INDICE

1. Introducción	1
1.1. Formulación General del Proyecto.....	1
1.2. Ubicación y vías de acceso	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Metodología General	4
2. Antecedentes del área de estudio	6
2.1. Marco geotectónico	6
2.2. Marco geológico	12
2.2.1. Unidades Geoambientales (Milovic, 2000).....	17
2.3. Antecedentes Hidrológicos	27
2.3.1. Principales cuerpos de agua.....	27
2.3.1.1. Río Angostura	27
2.3.1.2. Río Maipo.....	27
2.3.1.3. Laguna de Aculeo	28
2.3.2. Acuíferos	29
2.3.3. Nivel freático.....	32
3. Geología Local	35
3.1. Basamento Rocoso	35
3.2. Relleno Cuaternario.....	35
3.2.1. Unidades del relleno cuaternario para respuesta sísmica	36
3.2.2.1. Unidad II. Gravas. Asociada a abanicos aluviales	37
3.2.2.2. Unidad IIIa. Gravas angulosas en matriz areno – arcillosa. Asociada a depósitos aluvio-coluviales	40
3.2.2.3. Unidad IIIc. Arenas, arcillas y limos. Asociada a depósitos distales de conos de deyección.....	41
3.2.2.4. Unidad IV. Bloques en matriz soportante de arcilla. Asociada a depósitos de remoción en masa.....	41
3.2.2.5. Unidad Va. Arenas y gravas en matriz areno – limosa y finos. Asociada al abanico aluvial del río Angostura.....	42
3.2.2.6. Unidad VI. Ceniza volcánica. Asociada a depósitos piroclásticos.....	48

3.2.2.7.Unidad VII. Arenas finas, limos y arcillas. Asociada a depósitos lagunares	48
3.2.2.8.Unidad VIII. Bloques, bolones, gravas y/o arenas, no consolidados. Asociada a depósitos fluviales.....	49
3.3. Estructuras	50
3.3.1. Estructuras post-terremoto 2010.....	51
3.3.2. Clasificación de estructuras sismogénicas.....	53
4. Respuesta Sísmica del Relleno Sedimentario	55
4.1. Daños del Terremoto 03/03/1985	58
4.2. Daños del Terremoto 27/02/2010	59
4.2.1. Intensidades MSK.....	60
4.2.2. Observaciones de Terreno.....	62
5. Propiedades dinámicas de los depósitos	64
5.1. Periodo fundamental de vibración de los suelos del área de estudio	64
5.1.1. Perfiles del relleno sedimentario y mediciones Nakamura	66
5.1.2. Geología superficial y mediciones Nakamura	71
6. Zonificación Sísmica	78
6.1. Zonas de Mala Respuesta Sísmica – suelos potencialmente licuables.....	79
6.2. Zonas de Mala Respuesta Sísmica	80
6.3. Zonas de Regular Respuesta Sísmica.....	80
6.4. Zonas de Buena Respuesta Sísmica.....	81
7. Conclusiones y Recomendaciones	83
8. Referencias	87
ANEXO I	91
Fotografías	91
ANEXO II	110
Mediciones Nakamura	110
ANEXO III	125
Estratigrafía de Pozos y Calicatas.....	125

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación y vías de acceso, zona de estudio encerrada en cuadrado negro. Modificado de Red vial Región Valparaíso y Metropolitana, Dirección de Vialidad (2010).	3
Figura 2. Morfoestructuras y zona de transición entre los 33° y 34°S. Zona de estudio enmarcada en rojo. Modificado de Fock (2005).	6
Figura 3. Mapa de altitudes de las unidades geomorfológicas y las principales estructuras que las afectan. Enmarcada en rojo la zona de estudio. Modificada del Mapa geológico escala 1:1.00.000 de Chile (versión digital, 2004) y Fock (2005).	9
Figura 4. Mapa de isopropundidades (m) del basamento rocoso en la cuenca de Santiago. En rojo el límite de la zona de estudio. En amarillo las orientaciones de las cuencas en la zona de estudio. Modificado de Araneda <i>et al.</i> (2000).	11
Figura 5. Mapa del marco geológico de la zona de estudio. Modificado de Mapa geológico SERNAGEOMIN escala 1:1.00.000 de Chile (versión digital, 2004).	15
Figura 6. Mapa de Unidades Geoambientales. Modificadas de Milovic (2000).	26
Figura 7. Perfil hidrogeológico de Santiago sur (SS2). Obtenido de Morales (2002) (ó Ruz & Vukasovic Ingenieros Asociados Ltda., 2010).	30
Figura 8. Ubicación del perfil hidrogeológico de Santiago Sur SS2 y pozos anexos (Ruz & Vukasovic Ingenieros Asociados Ltda., 2010 ó Morales, 2002). Modificado del Plano Geomorfología del Relleno Sedimentario y Ubicación de Perfiles Hidrogeológicos N°1.2 -1, de Morales (2002).	31
Figura 9. Perfil esquemático del abanico del río Maipo, entre el puente Maipo y Valdivia de Paine. Estudio hidrogeológico del revenimiento de los terrenos de las áreas de Viluco, Paine y Valdivia de Paine, Falcón y Sánchez (1967).	32
Figura 10. Profundidad nivel freático en el área de estudio. Obtenido del mapa “Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la cuenca de Santiago” (Iriarte, 2003).	33
Figura 11. Mapa de riesgo de inundación, según el Plan Regulador Comunal de la Ilustre Municipalidad de Paine (2009) (Sujeto a modificaciones a partir del año 2011).	34
Figura 12. Perfil A – A’, de orientación aproximada SW-NE (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se disponen estratigrafía de pozos (Anexo III), la topografía del basamento rocoso (Araneda <i>et al.</i> , 2000), nivel freático (Iriarte, 2003) y ubicación estimada de las unidades hidrogeológicas (Morales, 2002).	39
Figura 13. Perfil B – B’, de orientación aproximada NW-SE (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se disponen estratigrafía de pozos (Anexo III), la topografía del basamento rocoso (Araneda <i>et al.</i> , 2000), nivel freático (Iriarte, 2003) y ubicación estimada de las unidades hidrogeológicas (Morales, 2002).	43
Figura 14. Perfil C – C’, de orientación aproximada este – oeste (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se disponen estratigrafía de pozos (Anexo III), nivel freático (Iriarte, 2003) y la topografía del basamento rocoso (Araneda <i>et al.</i> , 2000).	45
Figura 15. Perfil estratigráfico en puente de Autopista Acceso Sur, localidad de Hospital. Sedimentos finos (limos y arcillas) en colores naranja y café, lentes de arena en color amarillo. Sujeto a modificaciones (González, en preparación).	47
Figura 16. Mapa Geológico de la zona de estudio.	54

Figura 17. Respuesta sísmica de Santiago, asociada a la zona de estudio. Modificada de “Carta de Respuesta Sísmica de la Cuenca de Santiago, Región Metropolitana” (Fernández, 2003).	57
Figura 18. Intensidades MSK del terremoto del 2010, para las comunas de Buin y Paine (Contreras, en preparación), insertas en el mapa de geología local (Figura 16).	61
Figura 19. Mapa de ubicación de pozos, perfiles y medidas Nakamura.	65
Figura 20. Perfil A – A’, de orientación aproximada SW-NE (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se disponen estratigrafía de pozos (Anexo III), la topografía del basamento rocoso (Araneda <i>et al.</i> , 2000), nivel freático (Iriarte, 2003), la ubicación estimada de las unidades hidrogeológicas (Morales, 2002) y las mediciones de microvibraciones Nakamura (Anexo II). .	67
Figura 21. Perfil B – B’, de orientación aproximada NW-SE (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se disponen estratigrafía de pozos (Anexo III), la topografía del basamento rocoso (Araneda <i>et al.</i> , 2000), nivel freático (Iriarte, 2003) y ubicación estimada de las unidades hidrogeológicas (Morales, 2002) y mediciones de microvibraciones Nakamura (Anexo II).....	69
Figura 22. Perfil C – C’, de orientación aproximada este – oeste (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se disponen estratigrafía de pozos (Anexo III), la topografía del basamento rocoso (Araneda <i>et al.</i> , 2000), nivel freático (Iriarte, 2003) y mediciones de microvibraciones Nakamura (Anexo II).....	70
Figura 23. Mapa geológico amplificado, ubicación de mediciones Nakamura y gráficos razón H/V versus frecuencia de cada medición. Sector Valdivia de Paine, Champa y Sur de Paine. (Leyenda del Mapa Geológico en Figura 16)	72
Figura 24. Mapa geológico amplificado, ubicación de mediciones Nakamura y gráficos razón H/V versus frecuencia de cada medición. Sector Rangue y cercanías a Falla Aculeo. (Leyenda del Mapa Geológico en Figura 16)	74
Figura 25. Mapa geológico amplificado, ubicación de mediciones Nakamura y gráficos razón H/V versus frecuencia de cada medición. Sector Pintué, Abrantes y el Vínculo. (Leyenda del Mapa Geológico en Figura 16).....	76
Figura 26. Mapa de zonificación sísmica del área de estudio. Respuesta sísmica de los suelos, según las características geológicas, mediciones de microvibraciones ambientales Nakamura y análisis de daños por sismos de gran intensidad.	82

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de las unidades geológicas definidas por Leyton (2010) para el relleno cuaternario de la zona central de Santiago. Obtenida de “Zonificación sísmica de la cuenca de Santiago, Chile” (Leyton <i>et al.</i> , 2010).....	36
Tabla 2. Intensidades MSK del terremoto 2010 y coordenadas UTM para localidades de las comunas Buin y Paine.	60

INDICE ANEXO I - FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Depósito de terraza fluvial del río Maipo, ubicada al norte de Buin. Fotografía orientada hacia el sur. Diferencia textural entre matriz arenosa y matriz cenicienta (más compacta).....	92
Fotografía 2. Nivel superior del depósito de terraza fluvial del río Maipo. Fragmentos angulosos y menores a 10 cm, en matriz soportante de ceniza y fragmentos pómez. Fotografía orientada hacia el oeste.....	92
Fotografía 3. Falla en depósitos cuaternarios, denominada Falla Aculeo y caracterizada como normal de componente sinistral, subvertical con rumbo aproximado NS, largo aproximado 500 m. Fotografía orientada hacia el norte. (Fotografía: Sofía Rebolledo).....	93
Fotografía 4. Falla en depósitos cuaternarios, denominada Falla Aculeo y caracterizada como normal de componente sinistral, subvertical con rumbo aproximado NS, largo aproximado 500 m. Fotografía orientada hacia el sur. (Fotografía: Sofía Rebolledo).....	93
Fotografía 5. Falla en depósitos cuaternarios, denominada Falla de Naltagua, caracterizada como normal, de orientación EW, 1,5 m de ancho y 50 cm de profundidad. (Fotografía: Sofía Rebolledo)	94
Fotografía 6. Falla en depósitos cuaternarios, denominada como Falla de Naltagua, caracterizada como normal, de orientación EW, 1,5 m de ancho y 50 cm de profundidad. Fotografía orientada hacia el este. (Fotografía: Sofía Rebolledo).	94
Fotografía 7. Vista superior de la Falla de Naltagua. Falla en depósitos cuaternarios, caracterizada como normal, de orientación EW, 1,5 m de ancho y 50 cm de profundidad. (Fotografía: Arriagada et al. (2011)).	95
Fotografía 8. Grietas en la escuela Elías Sánchez Ortúzar, Champa. (Fotografías: Ilustre Municipalidad de Paine, Departamento de Obras (2010)).	95
Fotografía 9. Grietas generadas por el terremoto del 2010. Camino principal, Pintué. (Fotografías a más de 1 año ocurrido el terremoto 2010)	96
Fotografía 10. Plano de casa al sur de la fábrica de Champiñones Abrantes evidenciando asentamiento. La casa fue afectada por grietas generadas por el terremoto del 2010 en depósitos cuaternarios. (Plano: Departamento de Obras, Ilustre Municipalidad de Buin, 2010)	96
Fotografía 11. Estructura generada por el terremoto 2010 ubicada al norte de la entrada de Alto Laguna, con espaciamiento de 30 cm y profundidades de hasta 1 m, correspondiente a “lateral spreading”. Fotografía orientada hacia el oeste, paralela a la orilla de la laguna, distanciada por 5 m aprox. de ésta.	97
Fotografía 12. Estructuras generadas por el terremoto 2010 ubicadas al norte de la entrada de Alto Laguna, con espaciamiento de 30 cm y profundidades de hasta 1 m, correspondiente a “lateral spreading”. Fotografía orientada hacia el suroeste.....	97
Fotografía 13. Grietas generadas por el terremoto 2010, que atravesaron el frontis sur de la Escuela Elías Sánchez Ortúzar en Champa. (Fotografía: Javiera González).....	98
Fotografía 14. División de uno de los pabellones de la edificación existente, generado en el terremoto 2010. Asentamiento de la edificación. Escuela Elías Sánchez Ortúzar, Champa.....	98
Fotografía 15. Daño severo en salas y pabellón de la Escuela Elías Sánchez Ortúzar, Champa, generado por el terremoto 2010. Vista norte del pabellón afectado por las grietas. ...	99
Fotografía 16. Cuartel de Carabineros de Chile en Champa, afectado por el terremoto 2010. Totalmente inutilizable.	99

Fotografía 17. Bomberos de la localidad de Champa, afectados por grietas en murallas y suelo, generadas por el terremoto del 2010.....	100
Fotografía 18. Fotografía de dos columnas de adorno de la entrada a los champiñones Abrantes. Una de las columnas quedó sin la esfera de cemento producto del terremoto del 2010.	100
Fotografía 19. Alambrado público frente a la empresa de champiñones Abrantes, inclinados por el terremoto del 2010.....	101
Fotografía 20. Entrada de la capilla de Abrantes, asentamiento de la estructura. A la fecha, (2011), todavía se puede observar la presencia de agua en superficie. (Fotografía: Javiera González)	101
Fotografía 21. Estructura en la muralla de la capilla de Abrantes, a mayor detalle se puede observar que el nivel izquierdo descendió, producto del asentamiento de la muralla. (Fotografía: Javiera González).....	102
Fotografía 22. Interior de la capilla de Abrantes, el daño observado corresponde a la emersión del piso producto del asentamiento de la edificación. (Fotografía: Javiera González).	102
Fotografía 23. Daño y asentamiento producto del terremoto del 2010, en una casa cercana la capilla de Abrantes. (Fotografía: Javiera González).....	103
Fotografía 24. Asentamiento en una casa cercana la capilla de Abrantes, producto del terremoto del 2010. (Fotografía: Javiera González).	103
Fotografía 25. Emersión del piso en casa cercana la capilla de Abrantes, producto del asentamiento generado por el terremoto del 2010. (Fotografía: Javiera González)	104
Fotografía 26. Asentamiento generado por el terremoto del 2010, en casa patronal cercana a la empresa de Champiñones Abrantes. (Fotografía: Ilustre Municipalidad de Buin).....	104
Fotografía 27. Asentamiento interior de casa patronal, cercana a la empresa de Champiñones Abrantes, generado por el terremoto del 2010. (Fotografía: Ilustre Municipalidad de Buin).....	105
Fotografía 28. Negocio aledaño a la iglesia de Pintué. Total destrucción post terremoto del 2010. (Fuente: Panoramio.com).	105
Fotografía 29. Comisaría de Carabineros de Chile en Pintué. Total destrucción debido al terremoto del 2010. (Fuente: Panoramio.com).....	106
Fotografía 30. Casa en Pintué. Total destrucción debido al terremoto del 2010. (Fuente: Panoramio.com)	106
Fotografía 31. Casa aledaña a la comisaria de Carabineros de Pintué, la cual sufrió asentamiento debido al terremoto del 2010.	107
Fotografía 32. Casa patronal frente a comisaria de Carabineros en Pintué. Bastante dañadas producto del terremoto del 2010.....	107
Fotografía 33. Casa de Valdivia de Paine. (Fuente: valdiviadepaine.es.tl).....	108
Fotografía 34. Casa de albañilería dañada por el terremoto del 2010, en Valdivia de Paine. (Fuente: valdiviadepaine.es.tl)	108
Fotografía 35. Monumentos Históricas Nacionales de Rangué, construcciones de adobe antes del terremoto 2010, Capilla de Rangué y Casa Esquina de Rangué (Fuente: Panoramio.com)	109

Fotografía 36. Monumentos Históricos de Rangue, construcciones de adobe después del terremoto 2010, Capilla de Rangue y Casa esquina de Rangue, con daños severos en sus estructuras.....	109
--	-----

INDICE ANEXO II – MEDICIONES NAKAMURA

Ilustración 1. 112900.....	112
Ilustración 2. 133600.....	112
Ilustración 3. 141200.....	113
Ilustración 4. 145100.....	113
Ilustración 5. 155800.....	114
Ilustración 6. 163600.....	114
Ilustración 7. 101700.....	115
Ilustración 8. 111600.....	115
Ilustración 9. 120300.....	116
Ilustración 10. 130700.....	116
Ilustración 11. 135200.....	117
Ilustración 12. 144500.....	117
Ilustración 13. 155801.....	118
Ilustración 14. 165200.....	118
Ilustración 15. 200100.....	119
Ilustración 16. 105600.....	119
Ilustración 17. 112800.....	120
Ilustración 18. 120700.....	120
Ilustración 19. 130300.....	121
Ilustración 20. 140000.....	121
Ilustración 21. 144400.....	122
Ilustración 22. 151700.....	122
Ilustración 23. 155800.....	123
Ilustración 24. 164800.....	123
Ilustración 25. 172600.....	124
Ilustración 26. 183400.....	124

1. Introducción

1.1. Formulación General del Proyecto

Las comunas de Buin y Paine, ubicadas al sur de Santiago, tienen una importancia fundamental en la agricultura de la zona central del país, siendo además comunas con un creciente desarrollo urbano y turístico, lo que ha generado la introducción de nuevos proyectos inmobiliarios a la zona.

Estas comunas se encuentran en la cuenca hidrográfica del río Maipo, donde el acuífero principal se ubica en los depósitos de abanicos aluviales del río Maipo, del río Angostura y de los esteros Abrantes y El Escorial (Dpto. Administración de R.H., 2002). Anegamientos periódicos son característicos de la franja de Valdivia de Paine – Hospital (Falcón y Sánchez, 1967).

Estas comunas han sufrido graves daños durante terremotos. Para el terremoto de marzo de 1985, Fernández y Milovic (2000) entre otros, señalan alta intensidad de daños en casas y edificios en la franja Valdivia de Paine – Hospital. De igual manera, durante el terremoto de febrero de 2010, algunos sectores de estas comunas, en particular localidades cercanas a la laguna de Aculeo, presentaron graves daños.

Estudios previos en diversos países han permitido evidenciar que depósitos de suelos caracterizados principalmente por sedimentos blandos y poco compactados, son los responsables de amplificar la señal sísmica y por ende los efectos de los terremotos. Por lo tanto, las condiciones geológicas del suelo y la profundidad de la roca basal serían factores influyentes en la respuesta sísmica y en consecuencia, en la distribución de los mayores daños durante la ocurrencia de sismos (ej. Nakamura, 1989; Kramer, 1996; Leyton *et al.*, 2010; Lagos, 2003; Macau *et al.*, 2006; Alfaro, 1997; Garduño *et al.*, 1998).

En 1989, Nakamura divulgó una técnica sencilla y económica para conocer una estimación de la respuesta sísmica de los suelos. Esta consiste principalmente en medir microvibraciones ambientales en superficie, las cuales tienen como fuente fuerzas naturales como mareas, vientos, vibraciones de origen artificial, etc. El método de Nakamura considera que el cociente espectral entre la componente horizontal y vertical de las ondas sísmicas (H/V) de las microvibraciones ambientales, en el dominio de frecuencias, es un buen estimador de la frecuencia fundamental. Las señales obtenidas mediante este método, indicarían a priori, la respuesta sísmica esperada frente a eventos de gran magnitud. Las señales medidas en

suelos blandos muestran un pico claro asociado a frecuencias bajas (<1 Hz) y en afloramientos rocosos esta señal sería plana.

En este trabajo se propone evaluar la respuesta sísmica de las comunas de Buin y Paine, mediante estudios de la geología local del relleno sedimentario y análisis de la frecuencia fundamental de vibración de los suelos, utilizando el método de Nakamura. Estas características estarán complementadas con la intensidad de daños que se hayan registrado producto de terremotos pasados.

Con la información aportada se busca aportar geológicamente a la planificación territorial de la zona, con el fin de adecuar futuros usos del terreno en estas comunas en base al tipo de respuesta sísmica que presente el lugar.

1.2. Ubicación y vías de acceso

El área de estudio se ubica al sur de Santiago, entre los 33°40' - 34°00' Latitud Sur y 70°30' - 71°00' Longitud Oeste, correspondiendo a las comunas de Buin y Paine de la Región Metropolitana. El acceso es mediante la carretera 5 Sur y por la Autopista Acceso Sur, a través de ellas se ingresa a las diversas rutas rurales que permiten el acceso a las distintas localidades de las dos comunas (Figura 1).

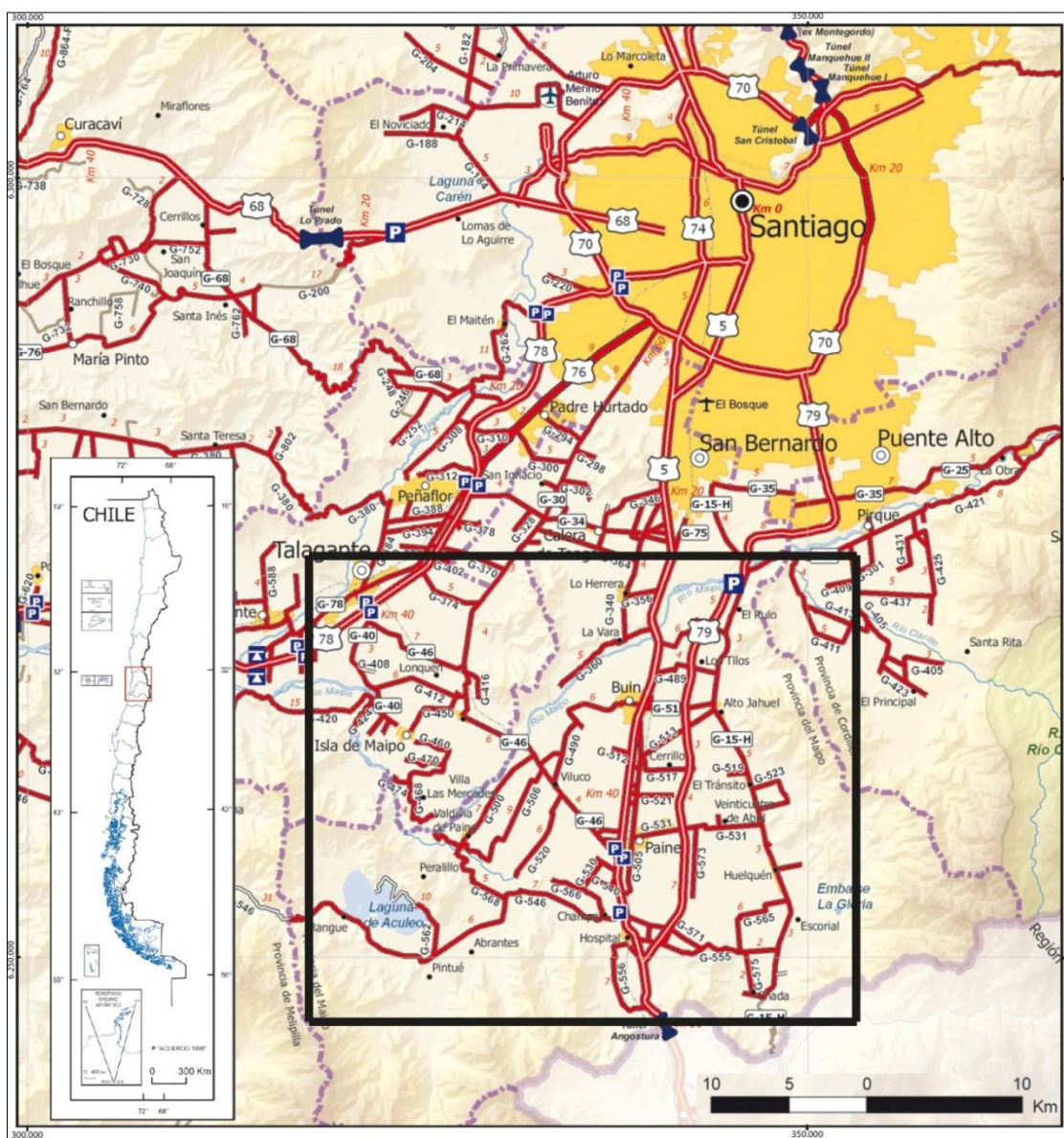


Figura 1. Mapa de ubicación y vías de acceso, zona de estudio encerrada en cuadrado negro. Modificado de Red vial Región Valparaíso y Metropolitana, Dirección de Vialidad (2010).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

El objetivo principal de este trabajo es zonificar, en base a las características geológicas, frecuencia fundamental y daños, la respuesta sísmica esperada para el relleno sedimentario donde se ubican las comunas de Buin y Paine.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Obtener una caracterización geológica de los materiales constituyentes de los depósitos del relleno cuaternario de la zona de estudio.
- Determinar la intensidad de los daños producidos por los dos últimos terremotos que afectaron la zona de estudio (1985 y 2010).
- Zonificar el sector en base a las frecuencias fundamentales de los suelos, los daños y la geología.
- Determinar la influencia de acuíferos en la respuesta sísmica.

1.4. Metodología General

- Se realizará una caracterización geológica del sector en base a los antecedentes disponibles, con especial énfasis en los estudios que caracterizan en detalle los depósitos cuaternarios. Complementándose con descripciones del material que constituye estos depósitos hasta aprox. 30 m de profundidad, a través de análisis de pozos y calicatas que estén públicamente emitidos en la zona de estudio.
- Se determinará la intensidad de los daños asociados al terremoto de 1985 en base a los antecedentes de la zona (Fernández, 2003) y al terremoto del 2010 según observaciones en terreno y mediante el uso de la escala de intensidad MSK, la cual mide la intensidad del terremoto en función de los daños en edificaciones. Estas intensidades serán proporcionadas por Contreras (en preparación).
- Se correlacionará la frecuencia fundamental de los suelos, obtenida mediante el método de Nakamura, el cual mide microvibraciones ambientales a través de un geófono, con la geología superficial y con los daños asociados. Esta correlación permitirá reconocer si un sector presenta una buena o mala respuesta sísmica, mediante un mapa de zonificación sísmica.

- En base a estudios hidrogeológicos del área, se establecerá la conexión entre los daños provocados por el terremoto y las frecuencias fundamentales obtenidas, en zonas donde la napa freática se encuentre superficial para conocer la influencia de los acuíferos en la respuesta sísmica.

2. Antecedentes del área de estudio

2.1. Marco geotectónico

A la latitud de la zona de estudio se desarrollan las unidades morfoestructurales correspondientes a la Cordillera de los Andes, Depresión Intermedia y Cordillera de la Costa, donde gran parte del área de estudio se ubica en la Depresión Intermedia.

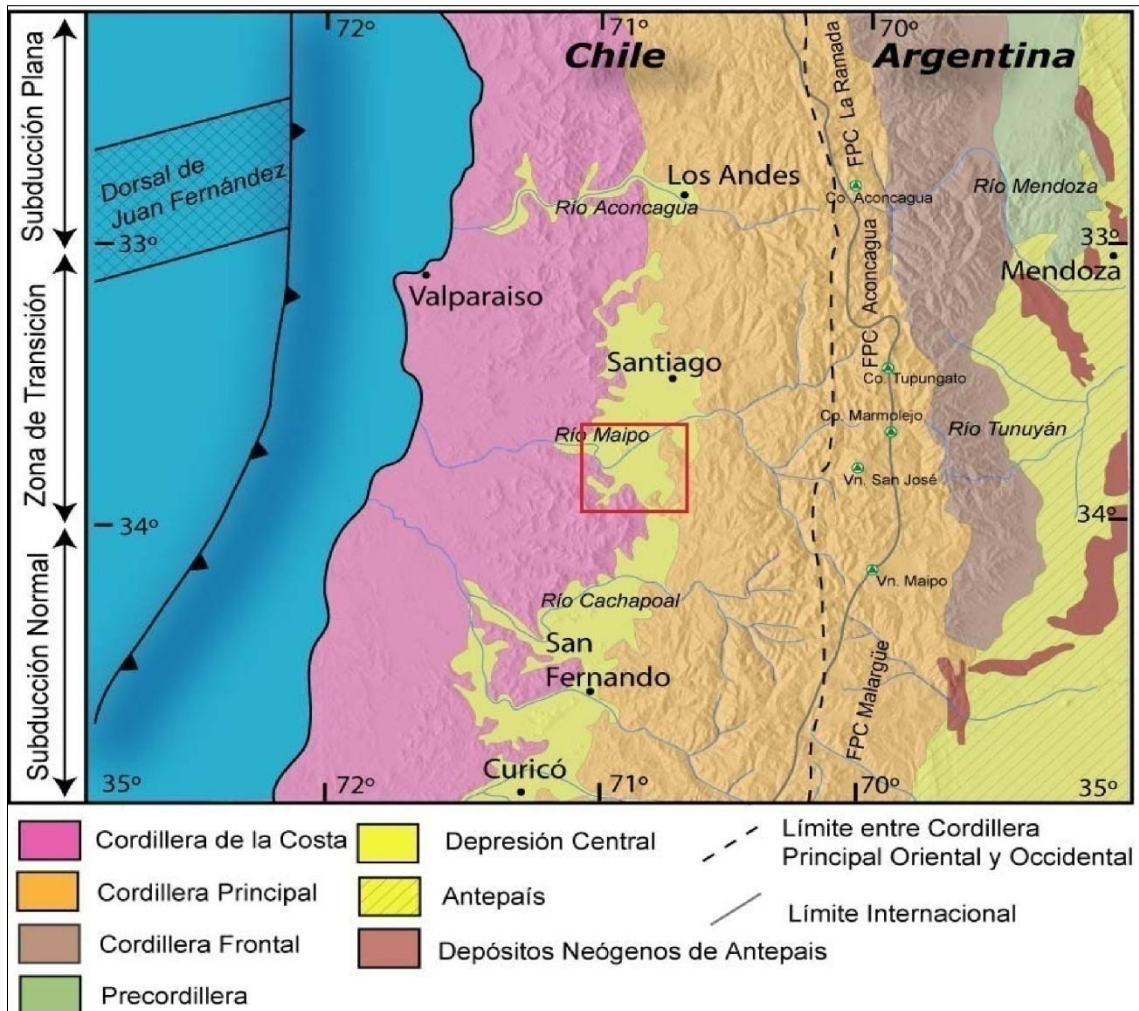


Figura 2. Morfoestructuras y zona de transición entre los 33° y 34°S. Zona de estudio enmarcada en rojo. Modificado de Fock (2005).

Entre los 33°S y los 34°S se tiene la zona “Oroclino del Maipo” (Farías, 2007) la cual se caracteriza por presentar un cambio de orientación de la fosa y de la cadena andina, pasando de un rumbo NNE-SSW en el sur, a un rumbo N-S en el norte, producto de la subducción asísmica de la dorsal de Juan Fernández en los 33°S (Figura 2). Al sur de los 33°S se produce una notable reducción del ancho del orógeno y reaparece el volcanismo marcando el inicio del arco volcánico Holoceno.

En esta zona las estructuras y lineamientos mayores presentan una orientación WNW y NW en la cordillera de la Costa, y NS en la Cordillera de los Andes (Figura 3), rumbo que según algunos estudios (Milovic, 2000) podría haber determinado la disposición de los afloramientos en franjas de rumbo norte – sur. En la zona de estudio se presentan estructuras en los tres dominios morfoestructurales con diferentes estilos de deformación y vergencia.

En el sector de la Cordillera de la Costa, un juego de fallas normales de orientación general NW a NE, afecta a un conjunto de rocas volcánicas e intrusivos, con manteos al este y al oeste (Sellés y Gana, 2001). En el borde occidental se reconocen además numerosos lineamientos y fallas de dirección NW-SE de gran extensión, en parte coincidentes con los bordes de la depresión de la laguna de Aculeo (Sellés y Gana, 2001). Estas estructuras pertenecen a un conjunto de lineamientos y fallas de orientación NW a WNW que se extiende hasta la costa, de la cual forma parte la Falla Melipilla (Sabaj, 2008) (Figura 3). Este sistema habría estado activo entre el Triásico superior y Cretácico Superior (Sellés y Gana, 2001).

En la Depresión Intermedia se desarrolla una amplia cuenca elongada norte-sur, siendo el borde oriental de esta depresión un lineamiento rectilíneo de orientación norte-sur (Sellés y Gana, 2001). El estrangulamiento de la depresión hacia el sur del río Maipo es máximo en la localidad de Angostura, donde queda dividida en las cuencas de Santiago, al norte y de Rancagua, al sur (Sellés y Gana, 2001). Observaciones a una escala mayor en el sector de Angostura, revelan que la depresión intermedia sufre un cambio de dirección norte- sur hacia el norte, a una orientación nornoreste, hacia el sur (Sellés y Gana, 2001) (“Oroclino del Maipo” mencionado anteriormente). En el borde oriental de la cuenca, en el sector de Portezuelo de Chada, se tiene registro de una falla inversa con orientación NS y con vergencia al oeste, denominada Falla Portezuelo de Chada (Fock, 2005) la que se registra como inferida en su continuación hacia el norte.

La formación de la actual Cuenca de Santiago, habría tenido comienzo en el tercer episodio de deformación tectónica definido por Thiele (1980), de carácter extensivo y datado a partir del Plioceno hasta el Reciente, a este episodio se le atribuyen los principales rasgos

fisiográficos existentes, entre ellos la depresión intermedia, la cual se habría formado mediante relleno cuaternario (Milovic, 2000). La morfología de la mitad sur de la cuenca estaría caracterizada por tener una abrupta transición entre el relieve cordillerano y los depósitos cuaternarios, esto estaría asociado a que en esta mitad sur, se habría sufrido mayor subsidencia que en la mitad norte Milovic (*op. cit.*).

En el sector de la Cordillera de los Andes mayoritariamente existen fallas de alto ángulo, de orientación noreste a norte-sur (Sellés y Gana, 2001). En este sector también se tiene la presencia de pliegues apretados asimétricos (Figura 5) cuyos flancos occidentales llegan a ser incluso verticales y sus ejes noroeste a norte-sur se pueden reconocer por una decena de kilómetros (Sellés y Gana, 2001).

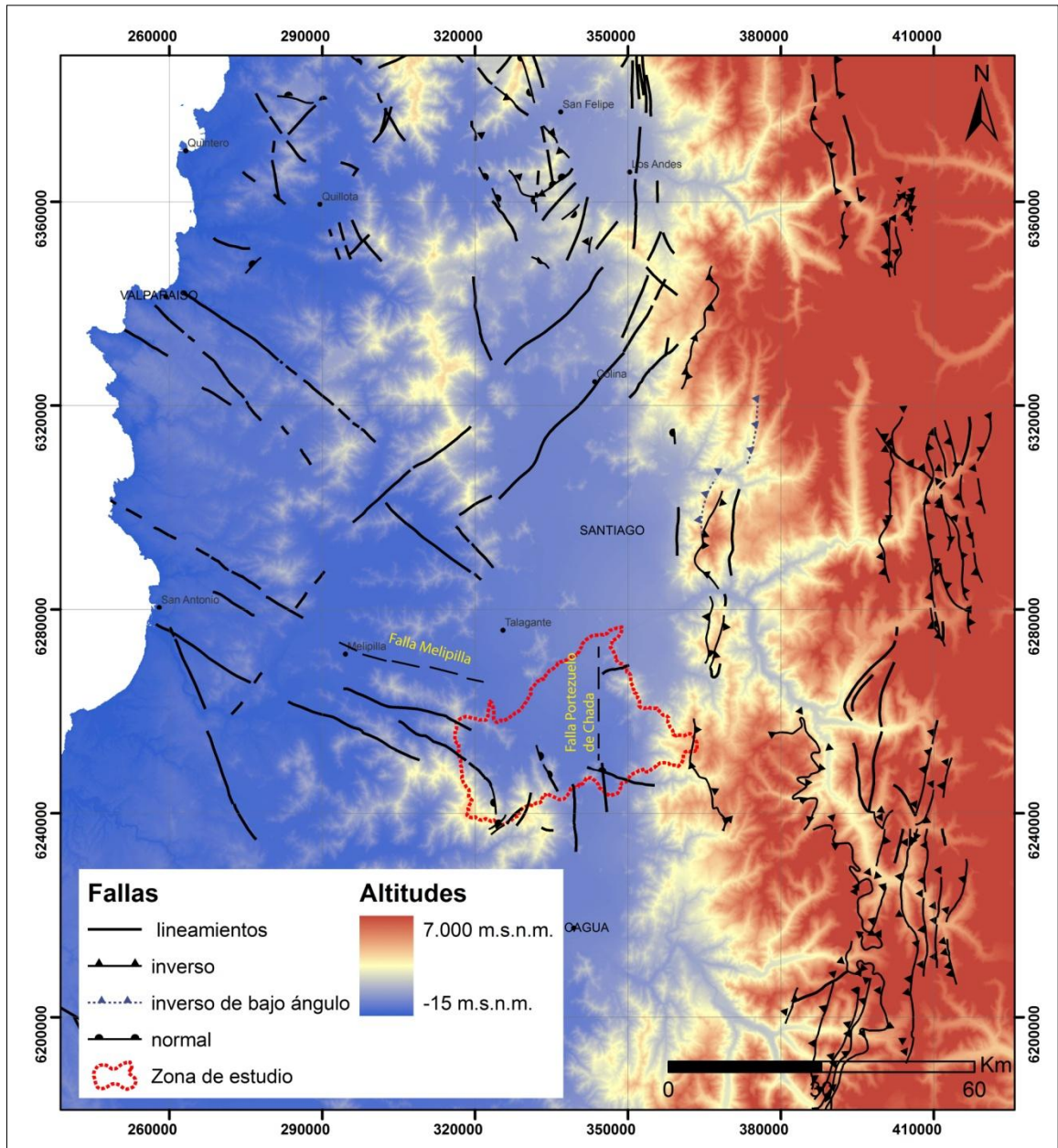


Figura 3. Mapa de altitudes de las unidades geomorfológicas y las principales estructuras que las afectan. Enmarcada en rojo la zona de estudio. Modificada del Mapa geológico escala 1:1.00.000 de Chile (versión digital, 2004) y Fock (2005).

El espesor del relleno de la cuenca es irregular. Estudios geofísicos (Araneda *et al.*, 2000) han determinado que la parte central de la cuenca tendría un espesor de sedimento estimado entre 400 – 480 m (Figura 4) y que en ésta existirían depresiones interconectadas con dorsales, que corresponderían a un relieve antiguo producido por erosión, en parte glacial, procesos tectónicos o la combinación de ambos (Milovic, 2000). En el modelo gravimétrico de Araneda *et al.* (2000), se muestra la gran irregularidad que posee la morfología rocosa subterránea. Sin embargo es posible distinguir subcuencas y lineamientos de altos rocosos. En la zona de estudio se tiene que existen dos subcuencas, una con **orientación NE-SW** y otra con **orientación WNW – ESE**, las que convergen al sur del cerro Lonquén. Estas subcuencas están limitadas por altos en el basamento, uno de estos lineamientos se encuentra en el oriente, con una orientación N-S, siendo de particular interés debido a que podría corresponder a la proyección en profundidad de la Falla Portezuelo de Chada definida por Fock (2005) (Figura 4).

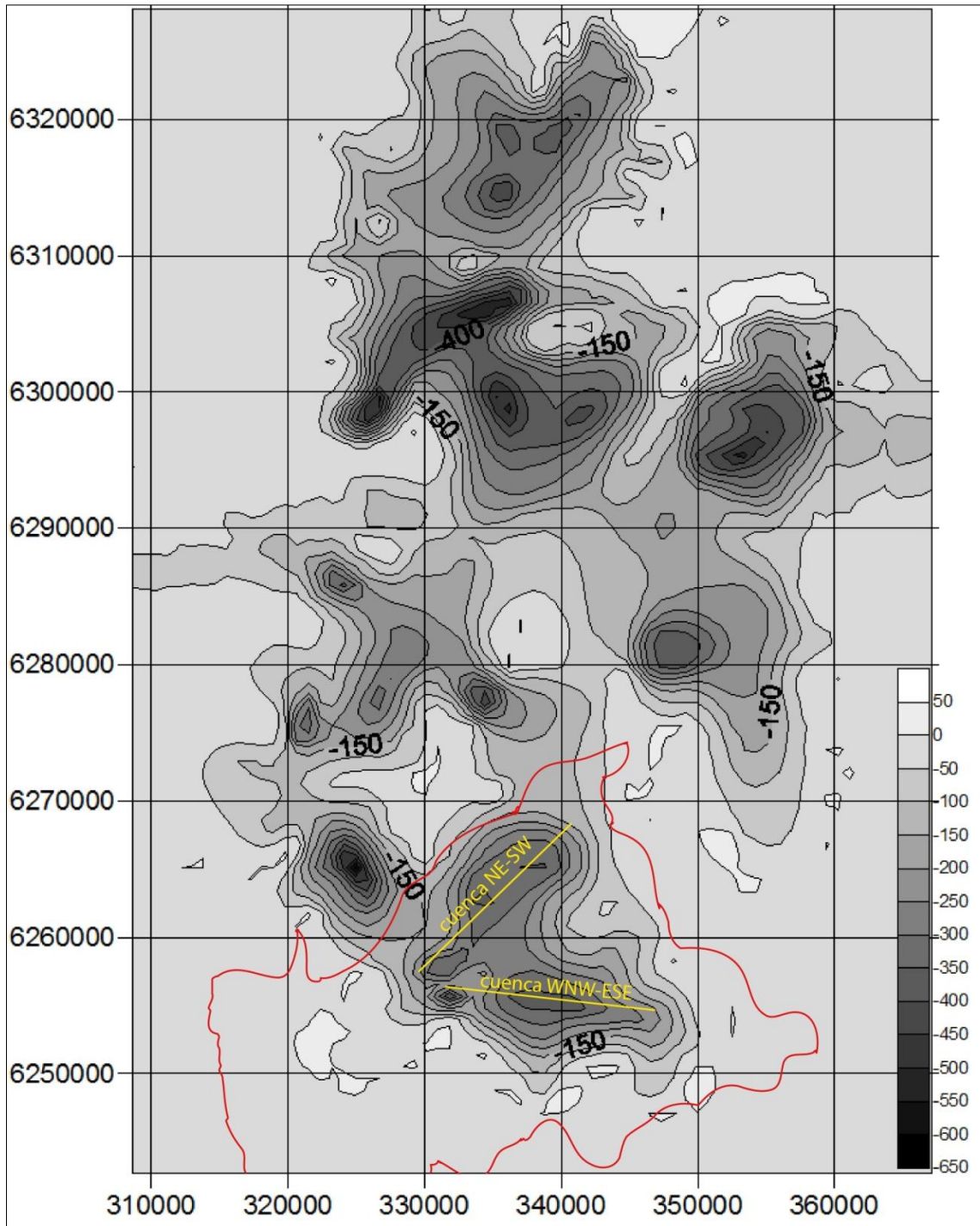


Figura 4. Mapa de isopropfundidades (m) del basamento rocoso en la cuenca de Santiago. En rojo el límite de la zona de estudio. En amarillo las orientaciones de las cuencas en la zona de estudio. Modificado de Araneda *et al.* (2000).

2.2. Marco geológico

Las comunas de Buin y Paine se encuentran establecidas en lo que corresponde principalmente a los sedimentos del abanico de río Maipo, siendo las unidades cordilleranas la principal fuente de estos sedimentos depositados en la cuenca. La zona de estudio está compuesta principalmente por dos franjas de afloramientos volcano-sedimentarios, de orientación norte-sur y de edad cretácica. Una situada en el margen occidental, bordeando la laguna de Aculeo; y la otra ubicada en el borde oriental de la cuenca de edad oligocena-miocena (Figura 5).

La descripción de los afloramientos rocosos y depósitos sedimentarios presentes en el área de estudio se basa principalmente en los estudios de Milovic (2000) y, Sellés y Gana (2001), detallándose a continuación:

CRETÁCICO INFERIOR

(Kia2) Formación Las Chilcas (Aptiano – Albiano) (Thomas, 1958)

Corresponde a una secuencia volcánica y sedimentaria, aflora en los cerros de Lonquén y al norte-sureste de la laguna de Aculeo, con cerca de 1.800 m de espesor máximo. Se dispone en discordancia angular sobre la Formación Veta Negra y subyace en discordancia de erosión a la Formación Abanico. Está intruida por rocas plutónicas del Cretácico Superior. Compuestas por rocas andesíticas y piroclásticas en su nivel basal, tobas riolíticas con intercalaciones de rocas calcáreas fosilíferas en su nivel medio y en su parte superior rocas basálticas con niveles de conglomerados y areniscas. (Figura 5).

(Ki2c) Formación Veta Negra (Barremiano?-Aptiano?) (Thomas, 1958)

Unidad volcánica y en parte subvolcánica, con escasas intercalaciones sedimentarias, aflora con espesor estimado de 800 m principalmente en los cordones montañosos que bordean el sector oeste de la laguna de Aculeo. Se dispone concordantemente sobre la Formación Lo Prado y subyace en discordancia angular a la Formación Las Chilcas. Incluye andesitas con grandes fenocristales de plagioclasa (ocoitas), lavas andesíticas porfídicas y afaníticas e intercalaciones sedimentarias continentales (Figura 5).

CRETÁCICO SUPERIOR

(Ksh) Intrusivos hipabisales andesíticos y dioríticos (Cretácico Superior; 89-83 Ma.)

Pequeños 'stocks' y filones manto porfídicos, andesíticos y dioríticos de piroxeno y/o anfíbola. Constituyen cuerpos de forma irregular, inferiores a 1km² de área y tabulares de hasta 250 m de ancho que afloran en los cerros al sur de Calera de Tango y al sur de la laguna de Aculeo, e intruyen la Formación Las Chilcas. Son rocas de textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, con piroxeno y anfíbola subordinada en masa fundamental intergranular. Por su composición y cercanía espacial se postulan como equivalentes someros de stocks monzodioríticos granodioríticos (Ksg) por lo que se asume para todos ellos una edad similar (Figura 5).

(Ksg) Stocks monzodioríticos-granodioríticos (Cretácico Superior, 89-83Ma.)

Monzodiorita cuarcífera a granodiorita de anfíbola biotita y piroxeno. Afloran en el Alto de Cantillana, en los cerros al sur de Calera de Tango, al oeste de Angostura y en torno al a laguna de Aculeo, en este último lugar, producen una aureola de alteración hidrotermal (sericita y arcillas) en rocas de las formaciones Las Chilcas y Veta Negra (Figura 5).

CRETÁCICO SUPERIOR – EOCENO

(Ks3a) Estratos del Cordón los Ratones (Cretácico Superior?- Eoceno?)

Secuencia volcánica y subvolcánica, con intercalaciones sedimentarias continentales aproximadamente 450 m de espesor total, que aflora en el cordón de cerros del mismo nombre al sur del río Maipo, y en pequeños cerros isla al sur de esta localidad. Su base no aflora y se infiere una relación de discordancia con la suprayacente Formación Abanico. Esta intruida por 'stocks' y diques de las unidades PEh y OIMh (d). Los estratos basales consisten principalmente en tobas de lapilli y brechas piroclásticas, además de escasas lavas andesíticas e intercalaciones sedimentarias. Las tobas están constituidas por fragmentos andesíticos-basáltico a dacíticos amigdaloidales. Las brechas son clastosoportadas, compuestas por fragmentos andesíticos y dacíticos en matriz tobácea de lapilli (Figura 5).

EOCENO – MIOCENO INFERIOR

(OM3b) Intrusivos hipabisales intermedio-básicos (Eoceno Superior- Mioceno Inferior, 34-19Ma.)

Stocks, cuellos volcánicos, filones manto y diques que intruyen a la Formación Abanico y a la Unidad Estratos del Cordón Los Ratones en la mitad oriental del mapa, y la Formación Las Chilcas en la localidad de Angostura. Son cuerpos de hasta 3 km² de exposición, de composición intermedia a básica y color gris medio a verde oscuro. En este grupo se distinguen gabros y dioritas de piroxeno y anfíbola (a), basaltos porfídicos de olivino y piroxeno (b), dioritas cuarcíferas de piroxeno-anfíbola (c) y pórfidos andesíticos de clino y ortopiroxeno (d). Los tipos (a) y (b) se concentran en el sector occidental del área, y están hospedados en la Unidad Estratos del Cordón Los Ratones y en el nivel inferior de la Formación Abanico, mientras que los tipos (c) y (d) de los afloramientos más orientales intruyen además al nivel superior. Se interpretan como los conductos alimentadores de la Formación Abanico (Figura 5).

(OM2c y M3i) Formación Abanico (Eoceno Superior? – Mioceno Inferior) (Aguirre, 1960)

Secuencia volcánica con intercalaciones piroclásticas y sedimentarias continentales con un espesor total de aprox. 2.000 m. Aflora en la mitad oriental del mapa, hacia el este, fuera del área de estudio, la secuencia está cubierta por estratos volcánicos de la Formación Farellones y se dispone sobre la Unidad Estratos del Cordón de los Ratones (Ks3a). Incluye a tobas y brechas volcánicas con intercalaciones de lavas y sedimentitas clásticas, entre las que predominan areniscas finas y medias, junto a lutitas con restos carbonosos (Figura 5).

MIOCENO INFERIOR – MIOCENO MEDIO

(Mh) Intrusivos Hipabisales Andesíticos y Dacíticos (Mioceno Inferior - Mioceno Medio, 20-15Ma.)

Stocks y diques porfídicos andesíticos a dacíticos de anfíbola, de hasta 6 km² de superficie, que intruyen los Estratos del Cordón Los Ratones y el nivel inferior de la formación Abanico. Son rocas de color gris claro a medio, con texturas porfídicas de grano grueso, compuestas por fenocristales de plagioclasa, hornblenda y ocasionalmente piroxeno, parcial o totalmente, transformado a anfíbola. La masa fundamental microfelsítica a holocristalina, está compuesta por plagioclasa cuarzo y escasa magnetita (Figura 5).

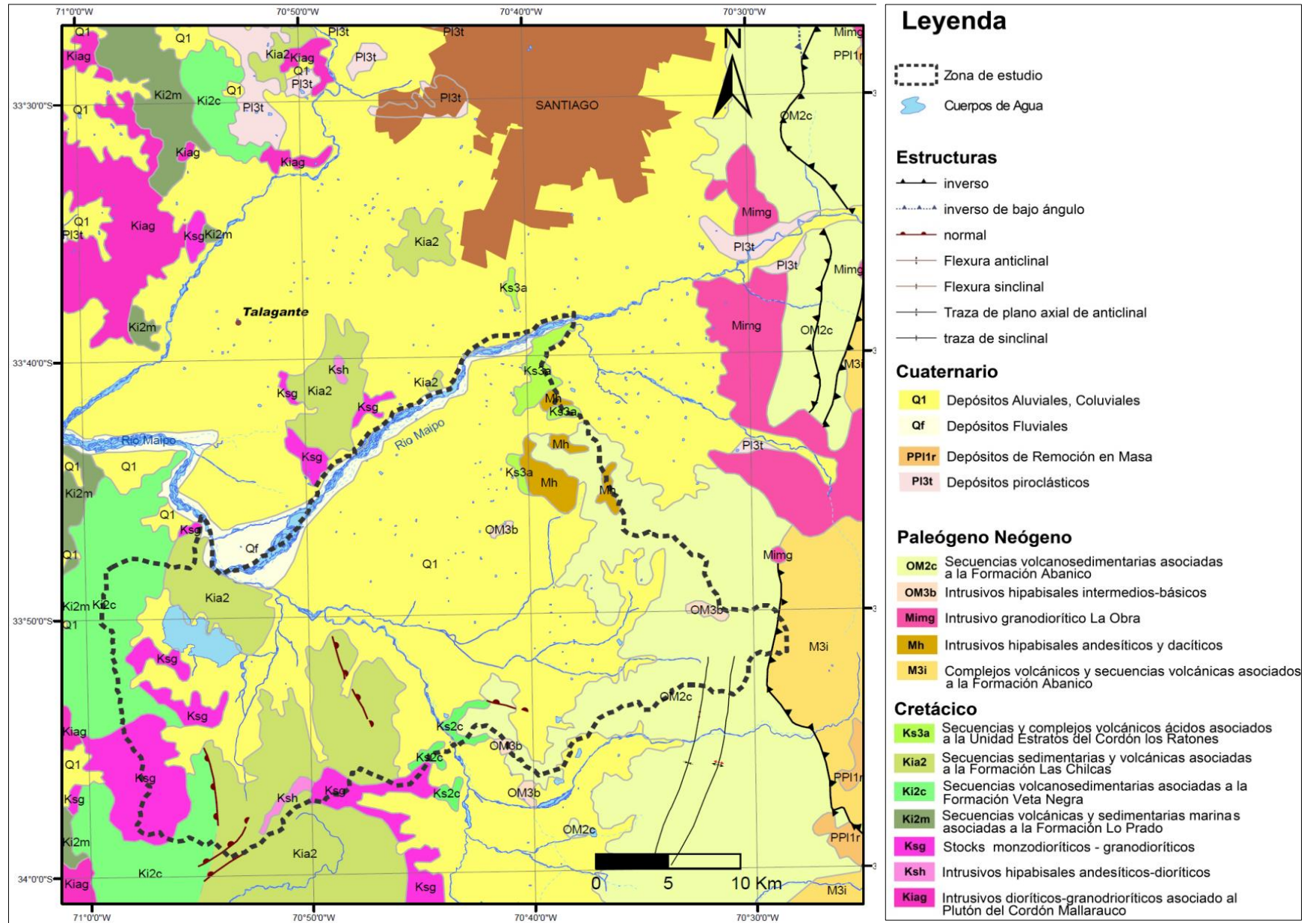


Figura 5. Mapa del marco geológico de la zona de estudio. Modificado de Mapa geológico SERNAGEOMIN escala 1:1.00.000 de Chile (versión digital, 2004).

CUATERNARIO

(Q1, Qf y PPI1r) Depósitos fluviales, aluviales, coluviales y de remoción en masa (Pleistoceno-Holoceno)

Los sedimentos de los depósitos cuaternarios han sido producto de procesos de relleno de los principales ríos (Maipo, Angostura), relacionados también con episodios de glaciación y volcanismo ocurridos al interior de las zonas cordilleranas. Estos procesos son los que generan el material, y en conjunto con los depósitos de ceniza originados por la actividad volcánica, son retransportados y depositados por la acción de los ríos andinos (Milovic, 2000).

Están constituidos mayoritariamente por sedimentos relativamente recientes del abanico del río Maipo. En la zona de estudio, este abanico engrana hacia el sur con los abanicos del estero Angostura y del estero El Escorial. El abanico del río Angostura engrana hacia el oeste con el abanico del estero Abrantes (Morales, 2002).

Extensos depósitos de coluvio están ligados a la Cordillera de la Costa, en particular destacan los que se ubican en las nacientes del estero Abrantes, desarrollados en amplias rinconadas colindantes a la laguna de Aculeo (Morales, 2002). Los depósitos de remoción en masa se localizan en la parte alta y media del estero El Escorial, descritos como depósitos de flujo de detritos y se encuentran cortados por el sistema fluvial actual (Sellés y Gana, 2001).

Una descripción más detallada de los depósitos cuaternarios se presenta en el estudio de Milovic (2000), quien clasificó los depósitos cuaternarios de la mitad sur de la Cuenca de Santiago, en unidades geoambientales. Comparando sus características y propiedades geomorfológicas, morfométricas, hidrogeológicas, geotécnicas, texturales y estructurales con el objetivo de tener información útil para una zona con alta demanda ocupacional. Esta clasificación consiste en una primera división del territorio según sus macrocaracterísticas geomorfológicas, agrupándose en Dominios Geoambientales. Una subdivisión de estos dominios según sus características y propiedades de relevancia local o de menor extensión, se denominan Unidades Geoambientales. En la zona de estudio se tienen los siguientes Dominios y Unidades Geoambientales del relleno cuaternario, las cuales se describen a continuación (Figura 6):

2.2.1. Unidades Geoambientales (Milovic, 2000)

Las unidades geoambientales están presentadas con el nombre del Dominio al principio, luego el nombre del Subdominio y finalmente el de la Unidad Geoambiental. Existen casos donde el nombre de la Unidad Geoambiental corresponde al nombre del Dominio, debido a que no fue posible la subdivisión. El mapa de ubicación de cada unidad geoambiental, se presenta al final de todas las descripciones (Figura 6).

2.2.1.1. (C1a) CONOS DE DEYECCION. Zonas apicales de alta pendiente. Escombros de falda y zonas apicales de conos de deyección.

La composición de los depósitos corresponde a gravas y bloques de hasta 5 m inmersos en una matriz areno arcillosa. Este material puede presentarse incoherente, en especial en zonas de mucha pendiente asociadas a escombros de falda y zonas limitantes con formaciones rocosas altamente erosionadas.

Las pendientes varían en el rango 10 a 20% de inclinación y el desnivel topográfico alcanza entre 100 a 700 m de altura. Generalmente, las zonas apicales de los conos de deyección de laguna de Aculeo presentan los más amplios desniveles topográficos. Las aguas evacuan rápidamente debido a la alta pendiente existe.

El desarrollo de suelos es prácticamente inexistente y la pedregosidad superficial es muy alta, con grandes bloques en situaciones de baja estabilidad.

2.2.1.2. (C1c) CONOS DE DEYECCIÓN. Zonas apicales de alta pendiente. Zonas apicales e intermedias de conos de deyección.

Los depósitos aunque altamente heterogéneos, corresponden principalmente a gravas, bolones y bloques de hasta 0,8 m de diámetro, dentro de una matriz areno – arcillosa soportante.

Las pendientes que se desarrollan alcanzan inclinaciones entre 6 a 10% y los desniveles topográficos varían entre 150 a 250 m. Generalmente asociado al eje de quebradas, se desarrolla un canal principal central o de evacuación.

Los suelos superficiales asociados a estos depósitos son de origen transportado, normalmente areno – arcillosos de colores pardo amarillentos y de poco espesor (cm).

2.2.1.3. (C1d) CONOS DE DEYECCION. Zonas apicales de alta pendiente. Zonas intermedias y distales de conos de deyección.

Los depósitos corresponden principalmente a gravas guijarros, con escasos clastos de diámetro superiores a 25 cm, en una matriz areno – arcillosa.

Las pendientes varían entre 3 a 6% y los desniveles se encuentran en el rango de 25 a 150 m.

Los suelos superficiales en esta unidad son areno – arcillosos y de colores pardo amarillento.

2.2.1.4. (C2a) CONOS DE DEYECCION. Zonas distales e intermedias de baja pendiente. Zona intermedia y distal.

Los depósitos corresponden a arenas, arcillas y limos, con algunos desniveles de gravas bien estratificados que disminuyen en importancia hacia la parte distal.

Presentan pendientes entre 1 a 3%, y en las que el desnivel topográfico varía entre 25 a 100 m. Existen zonas de escasa pendiente, donde el agua se acumula en los sectores topográficamente más deprimidos

Los suelos superficiales que se encuentran son limo – arcillosos o arcillosos, de colores pardo oscuro a pardo amarillento, con espesores entre 20 a 40 cm.

2.2.1.5. (A1za) ABANICOS ALUVIALES. Zonas apicales.

Esta unidad corresponde a las zonas apicales de los abanicos aluviales de los ríos Peuco, Clarillo y de los esteros El Escorial y Huiticalán. Los depósitos sedimentarios corresponden principalmente a gravas y guijarros, con bloques y bolones de hasta 1 m, inmersos en una matriz que varía entre arenas y arenas arcillosas.

La pendiente que alcanzan estos terrenos se encuentra en el rango de 3 – 6% y el desnivel topográfico varía entre 200 – 250 m. Los terrenos de esta unidad corresponden a zonas de recarga de aguas subterráneas.

El suelo superficial que se encuentra es arenoso a areno arcilloso, de un espesor variable de hasta 50 cm, y colores pardo grisáceo a pardo oscuro. La pedregosidad superficial es media a alta, se encuentran bloques superficiales de tamaños superiores a 1 m hasta la cota 450 m.s.n.m.

2.2.1.6. (A1mc) ABANICOS ALUVIALES. Maipo central.

Corresponde a la unidad de mayor envergadura areal y sobre gran parte de ella se funda la ciudad de Santiago. Abarca la zona apical e intermedia de los abanicos de los ríos Maipo y Mapocho, zonas intermedias del abanico del estero El Escorial y río Peuco, zona este de isla de Maipo y la zona central del valle El Principal.

Los depósitos sedimentarios que conforman esta unidad incluyen guijarros y gravas redondeadas a subredondeadas, en una matriz areno – arcillosa. Se encuentran bolones (de hasta 40 cm), asociados a las zonas apicales del abanico del río Maipo y del estero El Escorial y cercanas a los cauces de los diferentes ríos. Las zonas limítrofes con depósitos distales de conos de deyección, presentan un aumento del contenido de finos y de clastos con mayor angularidad. Se distinguen, localmente lentes de arenas y finos arcillosos.

La pendiente, en promedio es de 1,5% y el desnivel topográfico en sentido este – oeste, es de aproximadamente 400 m. La unidad alberga la mayor parte del acuífero principal de la cuenca, el nivel freático varía entre 125 – 130 m de profundidad, en las zonas orientales hasta 10 m en las zonas occidentales, donde a causa de depresiones topográficas locales se producen restringidos afloramientos del acuífero.

El suelo superficial es areno – limo – arcilloso, con espesores de hasta 1,5 m y colores pardo oscuro a anaranjado.

2.2.1.7. (A1rs) ABANICOS ALUVIALES. Relieves sinuosos.

Esta unidad abarca los terrenos correspondientes a la zona distal central del abanico aluvial del río Peuco. Se caracteriza por un relieve que presenta una serie de lomajes y terrazas de 5 a 10 m de altura, seguramente producto de reiterados procesos de depositación – erosión y migración de los cauces de los ríos en esta zona.

Los depósitos sedimentarios que conforman esta unidad incluyen guijarros y gravas redondeadas a subredondeadas, en una matriz areno – arcillosa. Se encuentran bolones (de hasta 40 cm), asociados a las zonas apicales del abanico del río Maipo y del estero El Escorial y cercanas a los cauces de los diferentes ríos. Las zonas limítrofes con depósitos distales de conos de deyección, presentan un aumento del contenido de finos y de clastos con mayor angularidad. Se distinguen, localmente lentes de arenas y finos arcillosos.

La pendiente varía entre 1 a 1,5% de inclinación al poniente y el desnivel topográfico máximo es de 100 m. Se reconocen numerosas depresiones topográficas en las que aguas

lluvia se acumulan, a causa de que en estas mismas se concentran superficialmente materiales finos (arcillas).

Los suelos superficiales desarrollados son limo – arcillosos, más potentes en las zonas de depresiones, donde impermeabilizan el terreno y generan zonas de peligro de anegamiento. El espesor observado en estos suelos es inferior a 2 m y su color es pardo oscuro.

2.2.1.8. (A1as) ABANICOS ALUVIALES. Angostura de Paine sur.

Esta unidad corresponde a la zona terminal norte del abanico del río Peuco, en la localidad de Angostura, limitando al norte y este con cerros del cordón de Chada. Característicos para esta unidad son los lomajes de 10 a 15 m, de cenizas volcánicas, que sobresalen por sobre los terrenos aluviales – coluviales.

El depósito sedimentario consiste principalmente de gravas y cantos (de hasta 15 cm), inmersos en una matriz arenosa con contenidos de arcilla y ceniza volcánica. Hacia los sectores ubicados al norte y este de la unidad aumenta el aporte de materiales coluviales, denotado por el aumento de clastos de mayor tamaño y angularidad, sin evidencias de transporte fluvial.

La pendiente promedio es de aproximadamente 2% y el desnivel topográfico, en sentido oeste – este, alcanza cerca de 120 m. El nivel freático se encuentra a más de 5 m de profundidad.

El suelo superficial es areno – arcilloso, con contenido de cenizas volcánicas y de baja permeabilidad, ocasionalmente causando el anegamiento en sectores restringidos. La pedregosidad superficial es media, pero se incrementa notablemente hacia el límite con las unidades de roca.

2.2.1.9. (A1ch) ABANICOS ALUVIALES. Chada.

Unidad que corresponde a los terrenos llanos del cajón de Chada, asignados al abanico aluvial del estero El Escorial y ubicados hacia el extremo sudeste de la cuenca de Santiago.

Los materiales corresponden a depósitos gravosos de la fase distal del abanico aluvial del estero El Escorial, en los que existe gran aporte de material de origen coluvial, principalmente bloques, guijarros, gravas angulosas y arcillas, procedentes de los cerros que limitan la zona.

La pendiente es de aproximadamente 2% y el desnivel topográfico, en sentido sur – norte, alcanza a 30 m. Corresponde a una zona de recarga del acuífero principal, observaciones de terreno evidencia la posibilidad de que existan acuíferos colgados. En estos, de acuerdo a pozos e información de los pobladores, el nivel estático se ubicaría entre 5 – 3 m de profundidad.

El suelo superficial es areno – arcilloso – limoso, de hasta 30 cm de espesor, colores pardo oscuro a grisáceo.

2.2.1.10. (A1pp) ABANICOS ALUVIALES. Puente Alto y Pirque.

Corresponde a una sección de la zona apical del abanico aluvial del río Maipo, abarcando terrenos de las comunas de Puente Alto y Pirque. La mayor parte de la unidad se encuentra en la mitad norte del valle de El Principal.

El depósito sedimentario incluye gravas, gravilla y lentes de arenas estratificadas en horizontes que alcanzan sobre los 2 m, en los que se diferencian arenas bien seleccionadas, gravillas, horizontes laháricos y gradación normal desde gravas a arenas.

La pendiente no supera 1,5% de inclinación al oeste y el desnivel topográfico máximo alcanza a 125 m. En los terrenos de la ribera sur del río Maipo se desarrolla un acuífero libre desligado del acuífero principal de la cuenca. La superficie aluvial en este caso se presenta nivelada a cotas alrededor de 200 m más altas que el llano central y, se estima, con un basamento igualmente elevado. El nivel freático se encuentra a una profundidad entre 5 a 20 m.

Los suelos superficiales corresponden a arenas finas y arcillas, con espesores de hasta 50 cm y colores pardo oscuro a grisáceo.

2.2.1.11. (A1da) ABANICOS ALUVIALES. Zona de descarga del acuífero.

En general corresponde a una franja de hasta 15 km de ancho asociada a la zona de descarga del acuífero principal, en los terrenos occidental y sur, de los depósitos aluviales de la cuenca.

El depósito sedimentario consiste principalmente de gravas, con bolones de hasta 30 cm, en una matriz areno – arcillosa. Comunes son los lentes de arenas y finos, horizontes de gravilla y arenas de hasta 1 m de espesor, en los que el material grada normalmente.

La pendiente de estos terrenos es muy baja, entre 0,5 – 1% y el desnivel topográfico este – oeste varía entre 25 a 100 m. El agua se acumula fácilmente en superficie. Los niveles estáticos se encuentran desde profundidades inferiores a 5 m hasta superficiales.

El suelo es principalmente limo – arcillo – arenoso, localmente se diferencian dos horizontes según los contenidos de materia orgánica y limo, mayores en el horizonte superior. Estos alcanzan espesores de hasta 4 m y presentan colores pardo oscuro amarillento a grisáceo.

2.2.1.12. (A1im) ABANICOS ALUVIALES. Isla de Maipo.

Esta unidad corresponde a la mitad occidental de Isla de Maipo, entre las localidades de Parcelas de Lonquén por el norte y las Vertientes por el sur, en la zona distal del abanico aluvial del río Maipo. Numerosos cauces secos atraviesan esta unidad, también en la zona de descarga del acuífero principal.

Los depósitos corresponden a guijarros y gravas de hasta 15 cm, bien redondeados, inmersos en una matriz areno – arcillosa. Se diferencian algunos lentes de arena de espesores superiores a 2,5 – 3 m y aumentos sustanciales en el contenido de arcilla en ciertos horizontes.

La pendiente es muy baja, inferior a 1% y el desnivel no supera los 35 m. La unidad se encuentra en la zona de descarga del acuífero y los niveles estáticos varían desde superficiales hasta 5 m de profundidad.

El suelo superficial es arcillo – limo – arenoso, alcanza espesores de hasta 1 m y presenta color pardo oscuro.

2.2.1.13. (F1) CAUCES FLUVIALES Y TERRAZAS FLUVIALES SUBACTUALES.

Cauces fluviales

Esta unidad corresponde a los lechos de ríos y esteros de la cuenca.

Los depósitos corresponden a acumulaciones con gran contenido de bloques, bolones y gravas (zona apical del estero Escorial y río Maipo), hasta principalmente gravas y/o arenas.

La pendiente es por lo general inferior a 10% y hasta inferior a 1%. El desnivel topográfico alcanza hasta 475 m. Esta unidad se encuentra tanto en zonas de infiltración y recarga de acuíferos como en zonas de descarga de del acuífero.

2.2.1.14. (F2) CAUCES FLUVIALES Y TERRAZAS FLUVIALES SUBACTUALES.

Fluviales subactuales.

Esta unidad corresponde a las terrazas fluviales subactuales, zonas en casos de crecidas sustanciales del cauda de los ríos, por lo general son superadas en altura por el torrente e inundadas. Se encuentran asociadas a los ríos Maipo, Clarillo, Angostura y Peuco.

Los depósitos consisten de una mezcla de distintos materiales no consolidados, desde bolones y arenas hasta zonas con limos, principalmente distribuidos en superficie.

La pendiente en estas terrazas es inferior a 2% y el desnivel no supera los 75 m. Aspectos referidos al nivel freático y a la recarga y descarga de aguas subterráneas, se relacionan directamente a la sección del río a la que se encuentran asociadas las terrazas.

2.2.1.15. (L) DEPRESIONES LACUSTRES.

Son terrenos relaciones a la acumulación de materiales en cuencas de drenaje restringido y/o ambientes lacustres. Corresponden a zonas de anegación intermitente, pantanosas, producto del embancamiento del drenaje por la confluencia de abanicos aluviales o por ubicarse en depresiones topográficas en la zona de descarga del acuífero. Se reconocen tres sectores en los que se desarrollan estas condiciones; los márgenes de la laguna de Aculeo, la zona al sudeste de Paine y la localidad de las Vertientes (Valdivia de Paine).

Los depósitos se encuentran conformados por arenas finas, limos y arcillas, con estratificación laminada o macizos. Cuando los depósitos contienen abundante materia orgánica, adquieren color pardo oscuro a negruzco.

La pendiente de estos terrenos es inferior a 0,8% y el desnivel, en promedio no supera los 10 m. Las aguas superficiales no son evacuadas por prolongados períodos. El nivel freático es muy somero y se encuentra hasta profundidades de 3 m.

Los suelos son ricos en arcillas, de efectiva hidratación y expansión al aumentar el contenido de humedad y considerable agrietamiento cuando secos.

2.2.1.16. (M) LOMAJES DE DEPÓSITOS DE REMOCIÓN EN MASA.

Son terrenos relacionados a la acumulación de materiales por procesos de remoción en masa. Los relieves desarrollados en esta unidad corresponden a lomajes irregulares y formas de lengua, principalmente asociadas a la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes; por tanto, evidencian en esta una mayor susceptibilidad a estos procesos.

Los componentes sedimentarios, sus respectivas proporciones, composiciones y granulometrías, son también muy variables. Consisten de bloques de varios metros hasta arcillas, por lo general angulosos a subredondeados. Los depósitos son matriz soportados y esta puede llegar a comprender sobre el 80% del total del depósito. Asociada a estos depósitos se desarrolla una gran pedregosidad superficial, que incluye bloques de hasta 2 m de diámetro.

La pendiente es abrupta, por lo general entre 4 – 17%, el desnivel, en tanto, varía entre 250 a 400 m. Estos terrenos, debido a la gran cantidad de arcillas y heterogeneidad granulométrica, que impiden la eficiente infiltración de aguas lluvia, propiciando la escorrentía superficial.

El suelo superficial que se asocia a estos depósitos es arcillo – arenoso, de origen transportado, color pardo anaranjado y de espesores entre 20 cm a 1,5 m.

2.2.1.17. (P1) LOMAJES DE CENIZAS VOLCÁNICAS. Lomajes ignimbríticos.

En este Subdominio se desarrollan característicos relieves de lomas bajas, suavemente onduladas, con elevaciones de 5 a 15 m sobre la llanura aluvial. También se encuentran acumulaciones de ceniza sepultadas por escombros de falda y materiales de conos de deyección, expuestas por efectos de la erosión local o movimientos de materiales. Esta unidad correspondería a los depósitos piroclásticos originales, que habrían cubierto extensa y totalmente la superficie de la Cuenca de Santiago.

El depósito está integrado por cenizas (<0,25 mm a 4 mm), con fragmentos líticos y de pómez (<10%), de hasta 10 cm y 5 cm respectivamente. La unidad adquiere colores rosáceos a pardos claros y crema.

En general, las pendientes no superan el 10% de inclinación y el desnivel topográfico es inferior a 15 m. La altura del nivel piezométrico es variable, alcanzando hasta 3 m sobre la superficie.

Los suelos sobreyacentes a estos depósitos son residuales, compuestos por cenizas meteorizadas. Adquieren color rojizo claro y espesores de 20 a 30 cm.

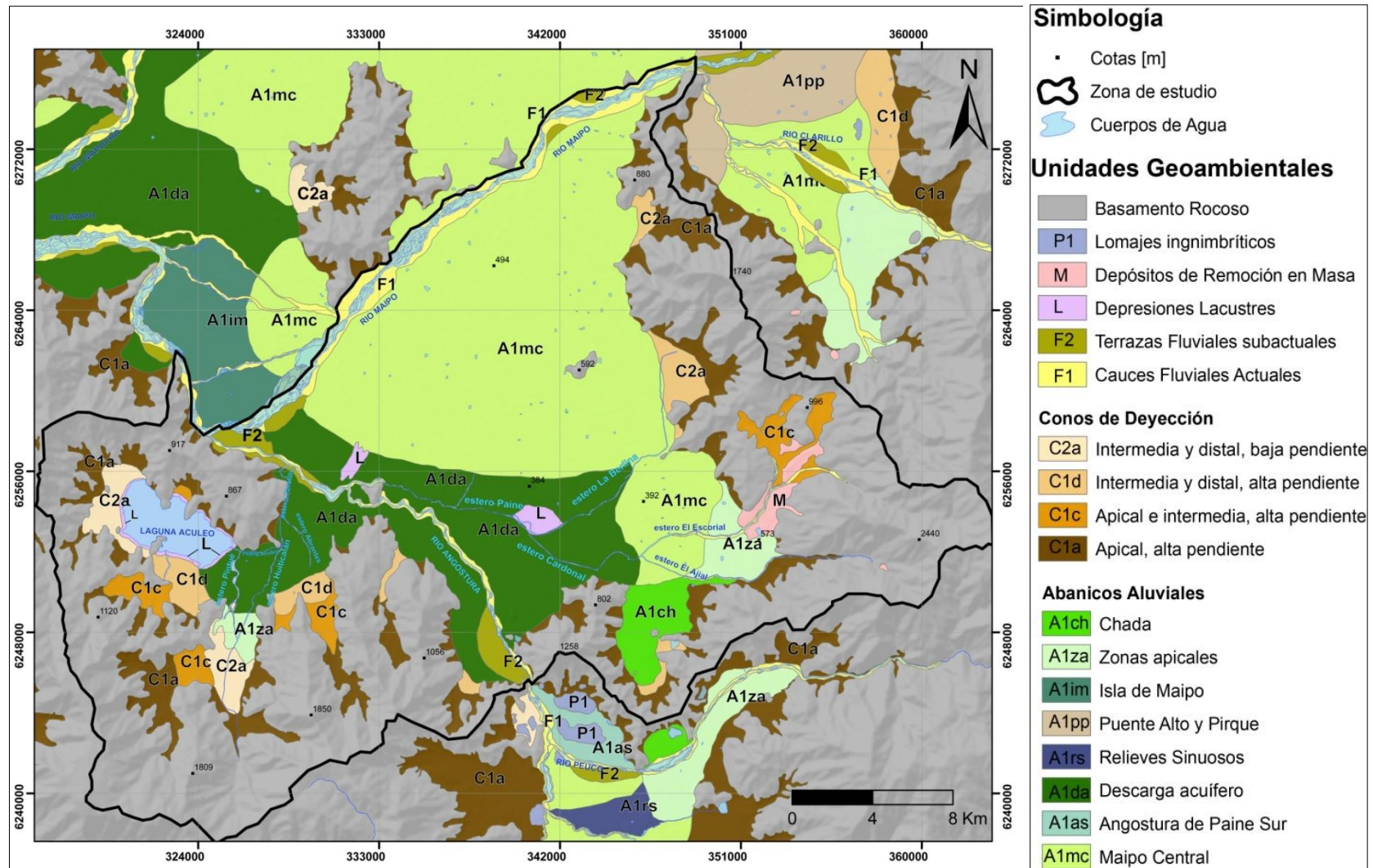


Figura 6. Mapa de Unidades geoambientales. Modificadas de Milovic (2000).

2.3. Antecedentes Hidrológicos

2.3.1. Principales cuerpos de agua

2.3.1.1. Río Angostura

Según el estudio hecho por Centro Eula-Chile (2004), este cuerpo de agua posee una superficie aproximada de 812 km² y sus principales afluentes son los esteros Paine y Peralillo. Antes de la confluencia con el estero Paine, el río Angostura presenta un régimen del tipo pluvionival, con valores altos de caudal en los meses de diciembre, julio y agosto (Centro Eula-Chile, 2004). Hacia el sector de la desembocadura en el río Maipo su régimen es de tipo pluvial, con valores máximos en los meses de julio y agosto (Centro Eula-Chile, 2004) (Figura 8).

2.3.1.2. Río Maipo

Según Venegas (2006) la hoya hidrográfica del río Maipo comprende una extensión total de aproximadamente 15.380 km² siendo la mayor parte de esta superficie correspondiente a la Región Metropolitana. La importancia del río Maipo en las unidades morfoestructurales es mayor con respecto al río Mapocho, ya que el Maipo llega a drenar 5 veces más que el río Mapocho (Morales, 2002).

Nace en la zona alta de la Cordillera de los Andes, a los pies del volcán Maipo Su principal afluente cordillerano es el río Colorado. El ingreso a la Depresión Central, lo hace en el sector de Puente Alto, uniéndose al estero Clarillo. En los faldeos de la Cordillera de la Costa, sector de Valdivia de Paine, recibe el aporte del río Angostura, el que antes ha recibido el aporte de los esteros Paine y Peralillo (Figura 8). En la zona de El Monte recibe el aporte del río Mapocho, su principal afluente. Los valles labrados en la región andina se caracterizan por ser encajonados manteniendo formas de “V” en valles juveniles y formas de “U” característicos de valles glaciales (Morales, 2002). Ya en la Depresión Intermedia, el relieve se aplana, y su régimen de erosión pasa a uno de depositación. Inmediatamente después de confluir con el Mapocho, se encajona en la Cordillera de la Costa, a través del valle ancho labrado sobre la Falla Melipilla (Figura 3), y finalmente el río se encajona aún más hasta su desembocadura en el Océano Pacífico (Morales, 2002).

Los caudales máximos en el río Maipo se presentan en diciembre y enero, y los mínimos, en julio y agosto (Falcón *et al.* 1967). Sin embargo, según Venegas (2006), el régimen hidrológico del río Maipo es mixto, con fuertes crecidas en invierno, primavera y a comienzos del verano.

2.3.1.3. Laguna de Aculeo

Este cuerpo de agua fue caracterizado en los estudios realizados por Centro EULA-Chile (2004) los cuales describen a la cuenca con una superficie de 12 km² y una profundidad máxima de 6 m. Su drenaje natural lo constituye el estero Aculeo, afluente del río Angostura (Figura 8). Los sistemas que drenan hacia la laguna tienen sus mayores caudales entre los meses de junio/agosto y los menores en febrero/abril época donde algunos incluso no presentan escurrimiento superficial (Centro EULA-Chile, 2004). El estero Aculeo permanece seco durante la época estival y escasamente presenta agua en el invierno, por lo tanto las pérdidas superficiales a través del desagüe pueden ser despreciados ocurriendo principalmente a través de evaporación (Centro EULA-Chile, 2004). La laguna es afectada por procesos eutróficos que deterioran la calidad de las aguas presentando baja transparencia (25 cm de disco Secchi), especialmente invierno, con un bajo contenido de oxígeno y presencia de floraciones masivas de microalgas (*Microcystisaeruginosa*) (Centro EULA-Chile, 2004). La abrupta pendiente del entorno de la laguna permite que una gran cantidad de sedimentos llegue a ésta, disminuyendo la profundidad de éste. También se tiene una fuerte sedimentación por procesos antrópicos debido a modificaciones al terreno. Los elementos derivados de la sedimentación en la laguna consisten básicamente en arenas, limos y arcillas, con una menor presencia de materiales gruesos (Centro EULA-Chile, 2004).

2.3.2. Acuíferos

La configuración de los acuíferos responde principalmente a los factores de permeabilidad y drenabilidad que tengan las unidades geológicas. Estos factores son mucho más favorables en el relleno cuaternario que en zonas rocosas, específicamente se puede encontrar acuíferos libres en los depósitos aluviales.

Los acuíferos del área están contenidos en zonas particulares del relleno sedimentario y para identificarlos se ha generado una clasificación estratigráfica según sus características granulométricas. Morales (2002) definió así, 3 unidades en la zona de estudio: Unidad A, Unidad B y Unidad C (Figura 7).

Unidad A (Morales, 2002): Corresponde a la base de la secuencia estratigráfica y se caracteriza por presentar fina granulometría, con proporciones elevadas de arcilla. Se presenta sobreyaciendo a la roca basal e infrayaciendo a los sedimentos que constituyen la Unidad B. Este conjunto de sedimentos es posible que correspondan, prioritariamente, a antiguos depósitos tipo corrientes de barro y aportes laterales provenientes de los altos topográficos. Presenta una alta continuidad en la zona y su techo ha sido detectado cerca de los 80 m en el sector suroriental. Es de carácter impermeable.

Unidad B (Morales, 2002): Sobreyace a la Unidad A y está constituida por sedimentos de granulometría gruesa y media conformada por una fracción clástica mayor de gravas, arenas gruesas y ripios subordinados y una matriz de arena media a fina, con escasas proporciones de limos y arcillas. Presenta un gran desarrollo y continuidad lateral. Poseen buena permeabilidad constituyendo el acuífero relevante de la zona.

Unidad C (Morales, 2002): Sobreyace a la Unidad B, está constituida por una fracción clástica mayor de arenas gruesas a medias, con gravas ocasionales y una matriz abundante de arenas finas, con altos porcentajes de arcillas. Suele presentarse en forma discontinua en la zona y en general es probable que corresponda a aportes heterogéneos provenientes de los flancos de los valles y altos topográficos de la zona. Por su alto contenido de finos y usual discontinuidad, no constituye un medio propicio para anidar acuíferos.

Las unidades anteriormente descritas varían su espesor y disposición según su ubicación. En el área de estudio, Ruz & Vukasovic Ingenieros Asociados Ltda. (2010) y Morales (2002), realizaron un perfil (Figura 7) de orientación aproximada este-oeste cercano a las localidades de Viluco, Paine y Huelquén, donde interpretó la continuidad de las unidades en base a estratigrafía de pozos.

En este perfil, se aprecia que la unidad C se presenta en el sector más occidental, ubicado en las localidades de Talagante e Isla de Maipo (fuera de la zona de estudio) (Figura 8). La unidad B posee una amplia extensión a lo largo del perfil y la unidad A, sólo en algunos pozos es evidenciada.

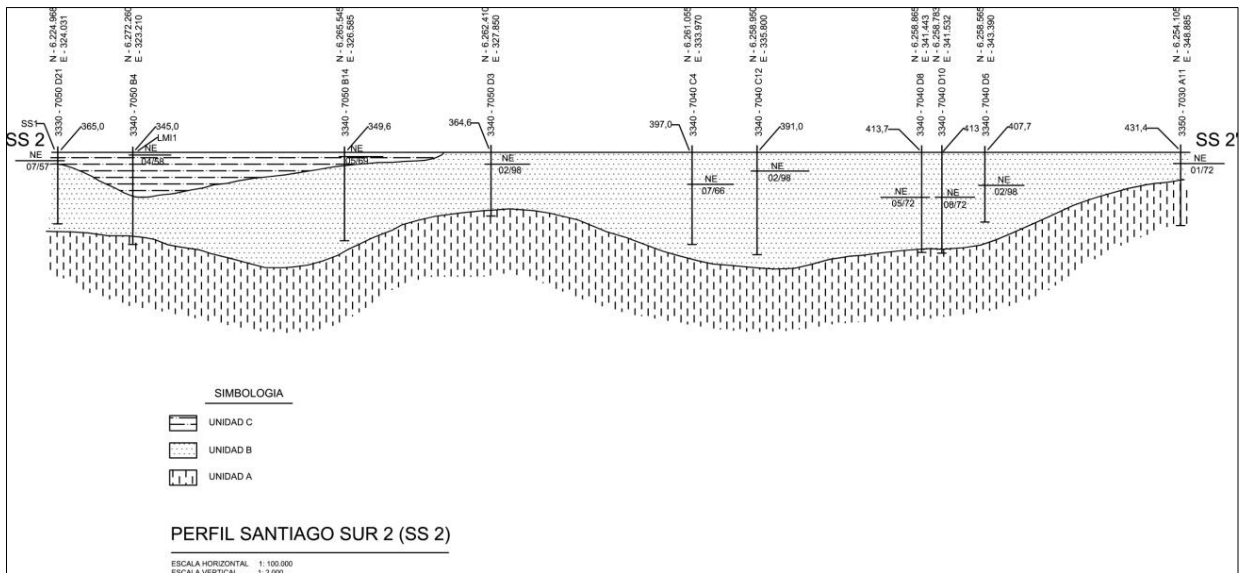


Figura 7. Perfil hidrogeológico de Santiago sur (SS2). Obtenido de Morales (2002) (ó Ruz & Vukasovic Ingenieros Asociados Ltda. (2010)).

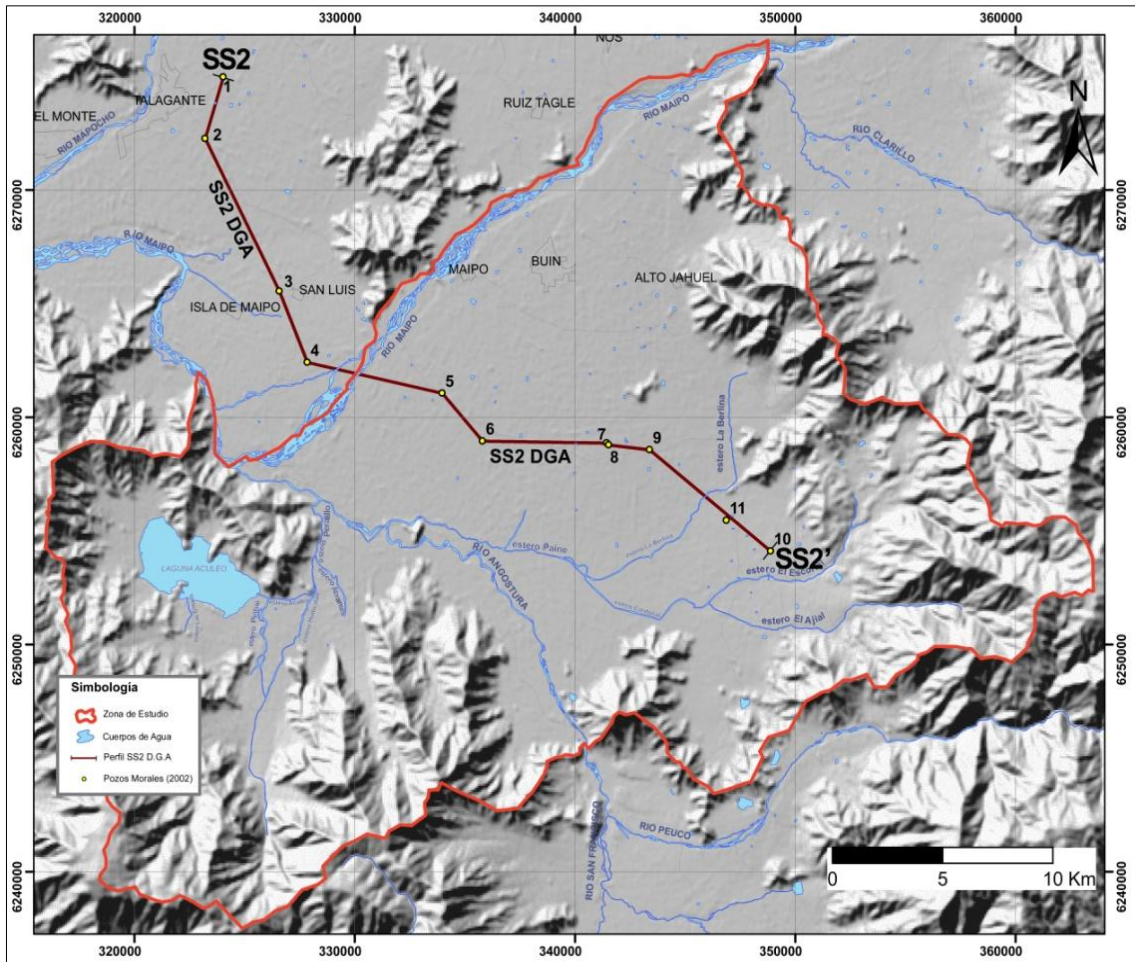


Figura 8. Ubicación del perfil hidrogeológico de Santiago Sur SS2 y pozos anexos (Ruz & Vukasovic Ingenieros Asociados Ltda. (2010) ó Morales (2002)). Modificado del Plano Geomorfología del Relleno Sedimentario y Ubicación de Perfiles Hidrogeológicos N°1.2 -1, de Morales (2002).

Cabe mencionar la existencia de otro perfil esquemático del relleno sedimentario entre el Puente Maipo y Valdivia de Paine (Figura 9), el cual se realizó en 1967, en un estudio que contemplaba como objetivo establecer los factores determinantes de las constantes inundaciones en la zona de Valdivia de Paine. En este perfil se evidenció también la distribución de los materiales: gruesos y con un mayor espesor, en el norte y finos de menor espesor, en el sur.

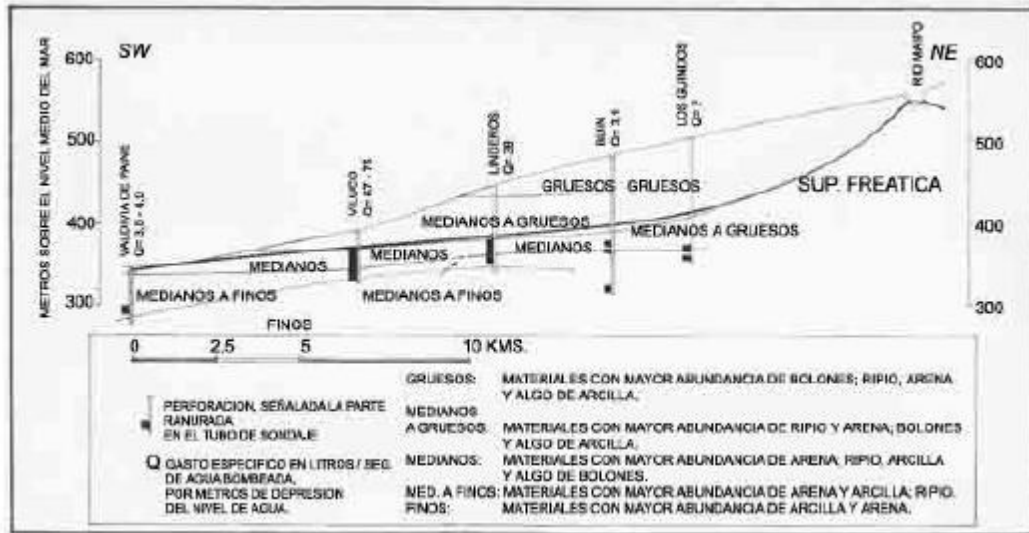


Figura 9. Perfil esquemático del abanico del río Maipo, entre el puente Maipo y Valdivia de Paine. Estudio hidrogeológico del revenimiento de los terrenos de las áreas de Viluco, Paine y Valdivia de Paine, Falcón y Sánchez (1967).

2.3.3. Nivel freático

Según el estudio hecho por Falcón *et al.* (1967), el afloramiento periódico de agua subterránea, que origina zonas pantanosas en lugares habitualmente secos o poco saturados, se origina durante los meses de diciembre y enero. Esto lo relaciona con el hecho que durante los meses de invierno las precipitaciones contribuyen a saturar parcialmente los materiales y cuando el Maipo alcanza su mayor caudal, a principio de verano, la recarga aportada por este río completa la saturación de los sedimentos, elevando el nivel de agua subterránea. Hecho que se refuerza con un estudio más reciente hecho por Venegas (2006), que concluye que si la cuenca del sistema Maipo – Angostura volviese a evacuar caudales máximos instantáneos (otoño e invierno) similares a los registrados en las últimas cuatro décadas y las condiciones morfológicas actuales se mantuvieran, las inundaciones por desbordes serían sucesos inminentes en varios sectores de Valdivia de Paine, con una alta probabilidad de ocurrencia.

Morales (2002) definió **zonas de recarga** las que poseen un nivel freático a más de 3 – 5 m de profundidad (Figura 10), proviniendo de infiltración de aguas superficiales. En el área de estudio, estas corresponderían al sector norte del abanico aluvial del Maipo. Se definen las **zonas de descarga** aquellas con el nivel freático de 3 – 5 m de profundidad (Figura 10), ubicadas en los terrenos más bajos y llanos de la cuenca. Correspondiendo a la zona sur de la cuenca donde, a causa de la escasa profundidad a la que se encuentra el basamento impermeable que disminuye la capacidad de escurrimiento subterráneo, genera el afloramiento del agua subterránea (Milovic, 2000).

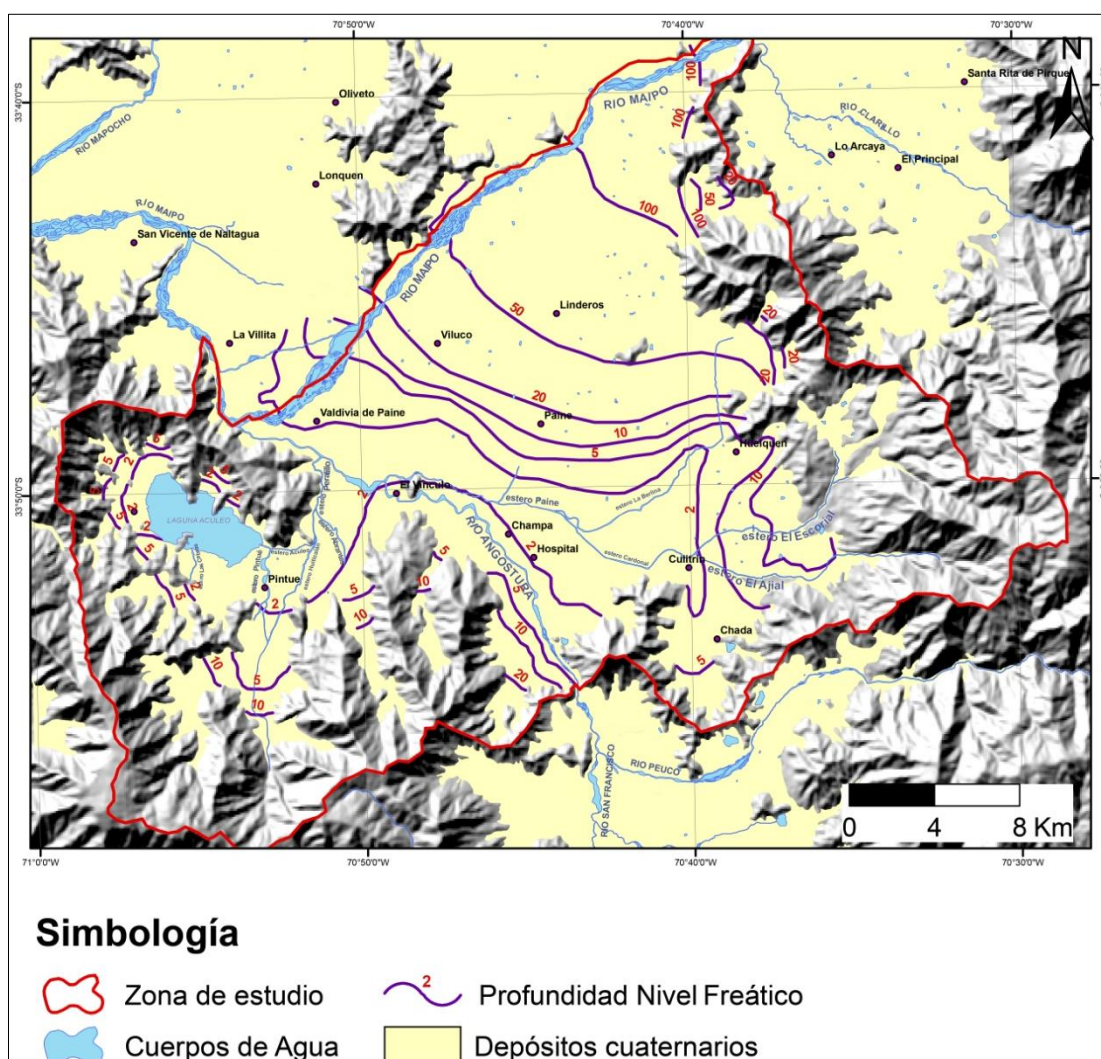


Figura 10. Profundidad nivel freático en el área de estudio. Obtenido del mapa “Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la cuenca de Santiago” (Iriarte, 2003).

En lo que respecta a la zona de descarga definida anteriormente, son escasos los datos estratigráficos. Sin embargo, el nivel freático es bastante conocido, ya que en esta zona el agua alcanza la superficie generando inundaciones, constituyendo un riesgo considerable a las localidades presentes. De esta manera, según el Plan Regulador de la Ilustre Municipalidad de Paine (2009), esta zona de descarga corresponde a una zona de **Moderado a Alto peligro de Ascenso de la napa freática**, asignada de esta forma debido a su topografía deprimida, la baja permeabilidad y deficiente drenaje que presentan estos suelos. Según este plan regulador también el cauce del río Angostura se clasifica con **Alto peligro de inundación** en períodos de deshielo o lluvias intensas y prolongadas. Las terrazas fluviales actuales a lo largo del cauce del río Angostura fueron asignadas con **Moderado peligro de inundación** (Figura 11).

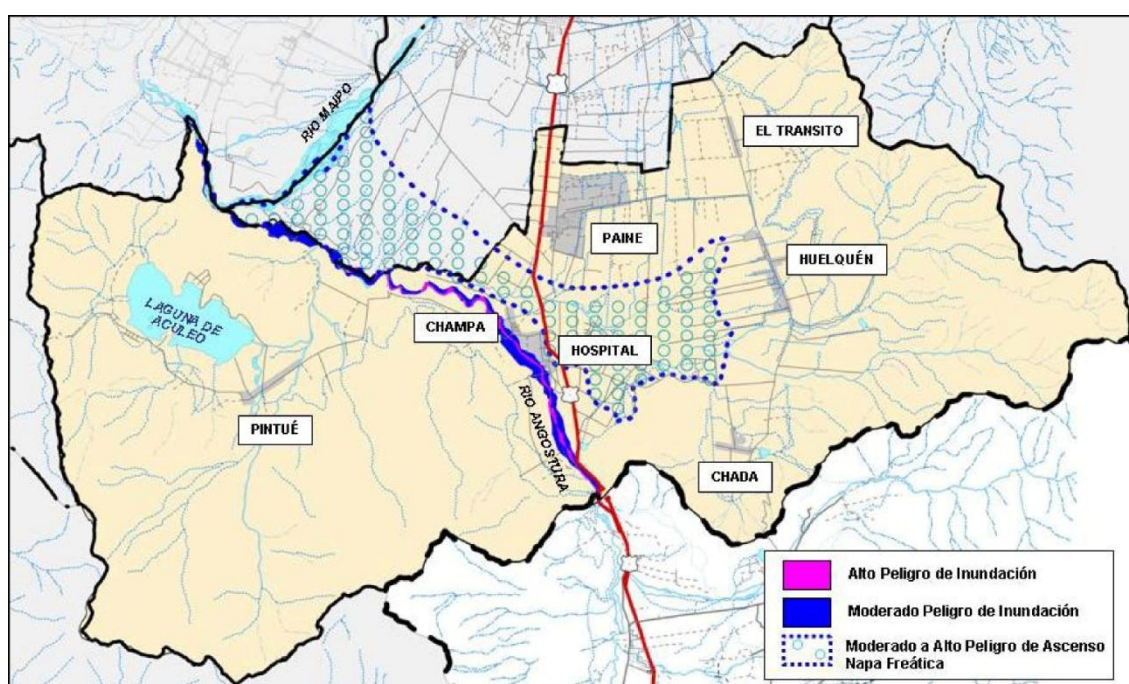


Figura 11. Mapa de riesgo de inundación, según el Plan Regulador Comunal de la Ilustre Municipalidad de Paine (2009) (Sujeto a modificaciones a partir del año 2011).

3. Geología Local

La geología local de la zona está basada en los estudios de Milovic (2000) y Sellés y Gana (2001), modificada a partir de observaciones de terreno y de información de perfiles estratigráficos de pozos de agua de la zona (Anexo III).

3.1. Basamento Rocoso

En la zona de estudio, el basamento rocoso está constituido por **rocas estratificadas** (sedimentarias y volcánicas) y **rocas intrusivas**. Estas afloran formando dos franjas volcano-sedimentarias de orientación norte-sur. En el occidente se asocian al Cretácico y en el oriente al Oligoceno; las franjas poseen afloramientos de rocas intrusivas del Cretácico y del Oligoceno-Mioceno, respectivamente. Las formaciones del Cretácico incluyen: Las Chilcas, Veta Negra y la Unidad Estratos del Cordón los Ratones; las rocas del Oligoceno, corresponden a la Formación Abanico; todas ellas descritas anteriormente en el marco geológico de la zona (Figura 5).

Las franjas descritas forman un relieve positivo, muy abrupto y con pronunciadas pendientes, donde se dificulta el desarrollo urbano. En profundidad en cambio, con un relieve negativo, el basamento rocoso se dispone según lo descrito por Araneda *et al.* (2000), presentando subcuencas de espesores máximos aproximados de 400 m y altos topográficos (Figura 4).

En el mapa (Figura 16), esta unidad está clasificada según su edad geológica, ya que mayor detalle de esta unidad no corresponde al principal propósito de este trabajo.

3.2. Relleno Cuaternario

Los depósitos cuaternarios están clasificados principalmente según las características del material que los integra y en segundo grado de importancia según la geomorfología asociada, ya que esta última es responsable de cierta forma de la granulometría existente. Acorde con esto, la clasificación está basada en las unidades geoambientales descritas por Milovic (2000) (Figura 6), que detalla los depósitos cuaternarios con énfasis en la geomorfología asociada. Estas unidades geoambientales se reagruparon para conformar nuevas unidades, generando además la modificación de algunos límites definidos por Milovic (*op. cit.*).

3.2.1. Unidades del relleno cuaternario para respuesta sísmica

Trabajos recientes, principalmente Leyton *et al.* (2010), clasificaron el relleno de la zona central de la cuenca de Santiago. En la siguiente tabla se resume algunas de las unidades geológicas expuestas por Leyton:

Unidad (Leyton <i>et al.</i> 2010)	Clasificación Geológica del Relleno Cuaternario de la zona central de Santiago
Unidad II	Gravas. Asociadas a depósitos subactuales de los ríos Maipo, Mapocho y Clarillo.
Unidad IIIa	Bloques y gravas subangulares en matriz soportante areno-arcillosa con intercalaciones de arenas, limos y arcillas. Asociados a abanicos aluviales menores
Unidad IV	Gravas y bloques en matriz soportante arcillo – arenosa. Asociados depósitos de remociones en masa antiguos.
Unidad Va	Gravas en matriz areno – arcillosa con abundantes intercalaciones de arenas, limos y arcillas. Asociados a abanicos aluviales de los esteros Colina y Arrayán.
Unidad VI	Ceniza volcánica. Asociada la Unidad Ignimbrita Pudahuel
Unidad VII	Limos y arcillas con intercalaciones de gravas, arenas y cenizas.
Unidad VIII	Gravas y limos. Asociados a depósitos de cauces fluviales actuales.

Tabla 1. Tabla de las unidades geológicas definidas por Leyton (2010) para el relleno cuaternario de la zona central de Santiago. Obtenida de “Zonificación sísmica de la cuenca de Santiago, Chile” (Leyton *et al.*, 2010).

La similitud de las características geológicas entre los depósitos definidos por Leyton (*op. cit.*) y aquellos reconocidos en este trabajo en la zona sur de Santiago, permitió asociarlos y atribuirles el mismo nombre (Figura 16). Sin embargo, se define una nueva unidad “IIIc” debido a que no fue posible homologarla con las unidades de Leyton.

3.2.2.1. Unidad II. Gravas. Asociada a abanicos aluviales

Son los depósitos de mayor distribución en el área de estudio y están asociados a los abanicos aluviales de los ríos Maipo, Clarillo, Peuco y de los esteros El Escorial y El Ajjal, incorporándose también parte de los depósitos del estero Huiticalán (Figura 16).

Esta unidad agrupa las unidades geoambientales: *Zonas apicales, Maipo central, Relieves sinuosos, Isla de Maipo, Angostura de Paine sur, Puente Alto y Pirque, Chada* y parte de la Unidad *Zona de descarga del acuífero*, particularmente al norte de la localidad de Isla de Maipo. Todas estas unidades son correspondientes al Dominio *Abanicos Aluviales*, definido por Milovic (2000).

Estos depósitos están constituidos según Milovic (2000) principalmente por ripios y gravas, medianamente redondeados y de baja a regular esfericidad, con matriz generalmente, areno - limosa o areno - limo - arcillosa, normalmente subordinada a la fracción gruesa; la cual presenta una litología heterogénea, con alto contenido de rocas volcánicas y menores proporciones de rocas graníticas. El régimen de sedimentación, esencialmente hidrodinámico, produce cierta estratificación y una marcada lenticularidad entre materiales de distintas granulometrías (Milovic, 2000). El mismo autor, también señala que el tamaño de los componentes disminuye gradualmente desde el ápice hacia la zona distal de los abanicos, donde las intercalaciones de material fino aumentan considerablemente en número y espesor.

De acuerdo con Milovic (*op. cit.*), en algunos sectores se tienen características significativas y particulares del material constituyente de estos depósitos. Por ejemplo, en las nacientes de los esteros Huiticalán y El Escorial, se tiene una mayor pendiente (3 - 6%) que propicia la presencia de fragmentos de mayor tamaño como bloques. En lo que respecta al abanico del río Maipo, en las zonas que limitan con los depósitos de conos de deyección presentan mayor contenido de finos y clastos más angulosos. Se identifican también en este depósito, lentes de arenas y finos arcillosos locales. Otra particularidad se presenta cerca de localidad de Chada, donde se distinguen gravas y bloques más angulosos y mayor presencia de arcillas debido a que los aportes, en esta zona, son de origen coluvial. Una característica importante a considerar también, en los depósitos del abanico del río Peuco, es la presencia, en algunos sectores, de finos y ceniza volcánica en la matriz del depósito. Cabe mencionar también, que en la localidad de Isla de Maipo se tiene la descarga del acuífero principal (<5m) con presencia de numerosos lentes de material fino y arenas (Milovic, 2000).

En lo que respecta al material subterráneo, se pudo apreciar que, en general, se preserva el material de gravas en matriz areno - arcillosa, con particulares lentes de arenas. Esto concuerda con la unidad hidrogeológica B, correspondiente al acuífero principal de la zona, definido por Morales (2002) (Figura 7).

Según el siguiente perfil A –A' de orientación aproximada SW-NE (Figura 12, ubicación en Figura 19), se tiene la distribución de esta unidad con respecto a la unidad Va, descrita más adelante, la cual engrana hacia el sur. Es posible además apreciar la pendiente y concavidad de la morfología de cono que presenta esta unidad. Con respecto al nivel freático, a pesar de sus variaciones anuales y estacionales, según Iriarte (2003) se presenta bastante profundo (50 – 100 m) en el norte y casi superficial en el sur.

El basamento rocoso en este perfil se aprecia con una profundidad máxima de 400 m, debido a que se ubica en una de las subcuencas descritas anteriormente (Figura 4), implicando así el considerable espesor sedimentario. Esta profundidad disminuye hacia el sector de Valdivia de Paine, evidenciando el acercamiento al afloramiento rocoso correspondiente los cordones montañosos ubicados al sur de Valdivia de Paine.

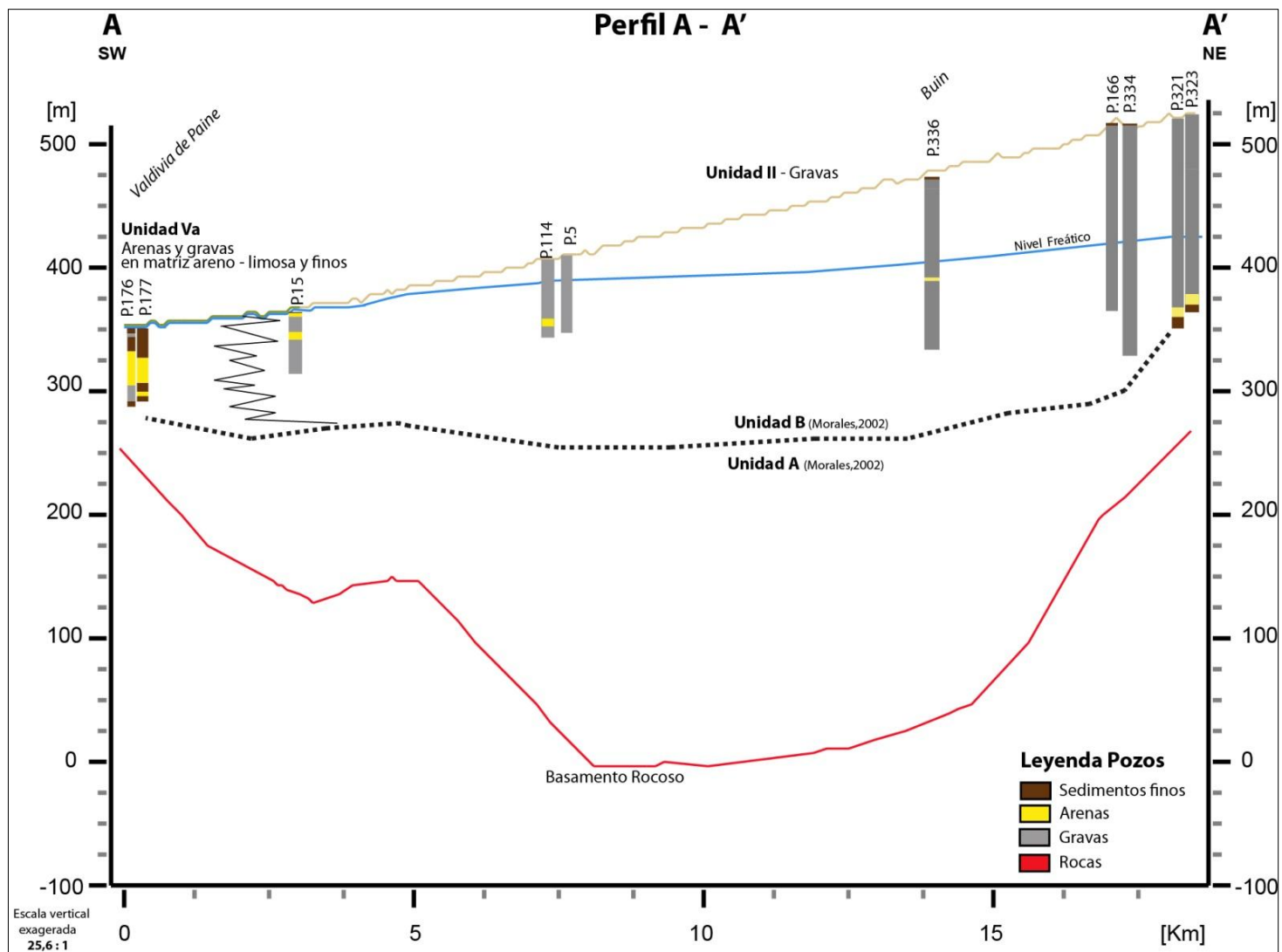


Figura 12. Perfil A – A', de orientación aproximada SW-NE (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se dispone de la estratigrafía de pozos (Anexo III), la topografía del basamento rocoso (Araneda *et al.*, 2000), nivel freático (Iriarte, 2003) y ubicación estimada de las unidades hidrogeológicas (Morales, 2002).

3.2.2.2. Unidad IIIa. Gravas angulosas en matriz areno – arcillosa. Asociada a depósitos aluvio-coluviales

Esta unidad corresponde a los depósitos aluvio-coluviales que se ubican principalmente asociados a quebradas presentes en toda la zona de estudio (Figura 16).

Agrupar las unidades geoambientales de Milovic (2000): *Zonas de escombros de faldas y zonas apicales*, *Zonas apicales e intermedias* y *Zonas intermedias y distales*, correspondientes al subdominio *Zonas apicales de alta pendiente*, del Dominio *Conos de Deyección*.

Principalmente esta unidad corresponde a las zonas apical, intermedia y distal de depósitos de materiales movilizados por acción gravitacional e hídrica, con participación ocasional de flujos torrenciales, pero exclusivamente de alta pendiente (10 – 20%) (Milovic, 2000). Estos depósitos presentan una composición similar, correspondiente a ripios y gravas angulosas en matriz soportante areno – arcillosa (Milovic, *op. cit.*).

Una característica de esta unidad es la gran variabilidad granulométrica que depende de la ubicación (apical, intermedia, distal) del cono, presentando en las partes más distales mayor contenido de sedimentos finos y en los ápices, sedimentos de mayor granulometría.

Es posible distinguir que en el sector oriental rocoso, dominan los depósitos asociados principalmente a esta unidad, es decir depósitos coluviales de alta pendiente. Aunque estos depósitos también se presentan en la parte occidental, en el sector de la laguna de Aculeo, se encuentran además, depósitos de baja pendiente (Unidad IIIc). Esta diferencia entre los conos del oriente y occidente también fue observada por Milovic (2000), quien destacó que debido al mayor tamaño de las hoyas de quebradas y al mayor suministro de sedimentos, las quebradas que conforman el piedemonte de la Cordillera de los Andes son considerablemente más activas, lo que se traduce en mayor número y potencia de horizontes torrenciales, y mayor presencia de bloques y bolones en la Unidad IIIa.

3.2.2.3. Unidad IIIc. Arenas, arcillas y limos. Asociada a depósitos distales de conos de deyección

Esta unidad se ubica en las cercanías de la laguna de Aculeo, específicamente en la localidad de Rangue, al oeste de la laguna y en las nacientes del estero Huiticalán, y en el sector oeste del Cerro Lonquén (Figura 16). Principalmente se relacionan a zonas terminales de las laderas de cerro, donde la pendiente es muy baja (1 – 3%) (Milovic, 2000).

Esta unidad se compone únicamente de la unidad geoambiental correspondiente a las *Zonas intermedias y distales* de conos de deyección, del Dominio *Conos de Deyección*. Diferenciándose de la Unidad IIIa debido a su significativo porcentaje de finos.

Los depósitos corresponden a arenas, arcillas y limos, con algunos niveles de gravas bien estratificados (genéticamente ligados a eventos torrenciales), que disminuyen en importancia hacia la parte distal (Milovic, 2000).

3.2.2.4. Unidad IV. Bloques en matriz soportante de arcilla. Asociada a depósitos de remoción en masa

En la zona de estudio esta unidad se ubica principalmente en la quebrada del estero El Escorial, confinada al fondo de las quebradas desarrollando formas elongadas e interrumpidas por los actuales cauces fluviales (Figura 16).

Corresponde únicamente a la unidad geoambiental *Lomajes de depósitos de remoción en masa* descrita por Milovic (2000).

Se distinguen principalmente por presentar una granulometría bastante irregular característica de los depósitos de flujo de detritos, con clastos altamente angulosos, alterados (de origen volcánico e intrusivo), inmersos en matriz soportante arcillosa (Milovic, 2000). La matriz arcillo – arenosa, conforma cerca del 80% del depósito (Milovic, 2000).

3.2.2.5. Unidad Va. Arenas y gravas en matriz areno – limosa y finos. Asociada al abanico aluvial del río Angostura

Esta unidad corresponde principalmente a los depósitos del abanico aluvial del río Angostura incluyendo los depósitos distales del abanico del río Maipo (Figura 16).

Incluye parte de la unidad geoambiental *Zona de descarga del acuífero*, incluida en el Dominio: *Abanicos Aluviales*, definido por Milovic (2000). En esta unidad se incorpora además, algunos depósitos de la unidad geoambiental *Depresiones Lacustres*, definida por Milovic (2000), específicamente los que se ubican en los sectores al sudeste de Paine (descritos también por Sellés y Gana, 2001) y en el sector de las Vertientes, al sudeste de Valdivia de Paine.

Los sedimentos de esta unidad corresponden principalmente a arenas limosas y sedimentos finos. Según Milovic (2000), en algunos sectores se presentan gravas y bolones de hasta 30 cm, en una matriz areno – arcillosa, con comunes lentes de arenas y finos horizontes de gravilla y arenas de hasta 1 m. Las zonas definidas por Milovic (2000) como depósitos lacustres, básicamente incluyen limos con materia orgánica. En general esta zona, al ser topográficamente deprimida, poseer numerosas redes de drenaje y un nivel freático somero (<3 m), constituye un ambiente ideal para inundaciones y anegamientos temporales, propiciando un excelente ambiente de depositación para sedimentos finos.

El material subterráneo es difícil de estimar dada la poca cantidad de pozos disponibles en este sector. Sin embargo, se pudo complementar con información obtenida de estudios locales de suelo, generados post-terremoto 2010 en lugares donde el daño sísmico fue severo. Los perfiles B – B' y C – C' evidencian a priori el material correspondiente en esta unidad y su relación espacial.

En el siguiente perfil B – B' de orientación aproximada NW-SE (Figura 13, ubicación en Figura 19), se presenta la Unidad II ubicada en el norte (extremo B) correspondiente al abanico del río Maipo y en el sur (extremo B'), al abanico del estero El Escorial. La unidad Va, estaría representada por el pozo P11 (Anexos III) con una estratigrafía dominante de sedimentos finos. El nivel freático se evidencia muy somero a lo largo del perfil, debido a que corresponde a la zona de descarga del acuífero, con profundidades menores a los 5 m, este nivel aumenta sutilmente hacia las zonas de la unidad de mayor pendiente. En lo que respecta al basamento rocoso, se tiene una profundidad (Figura 4) máxima, cerca de 250 m, bajo el abanico del río Maipo la cual se va minimizando suavemente en el extremo B', reflejando la cercanía al cordón montañoso del sector este.

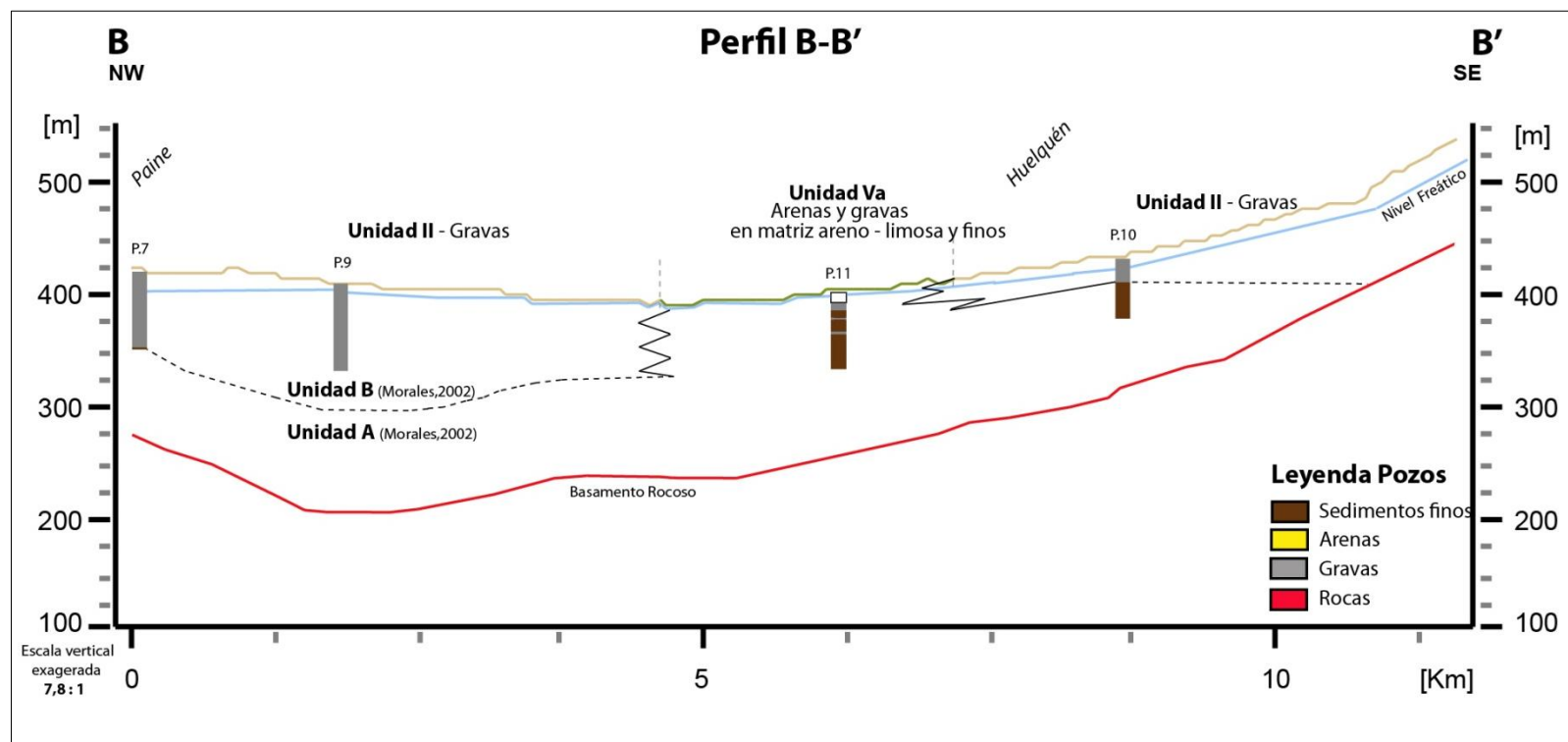


Figura 13. Perfil B – B', de orientación aproximada NW-SE (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se dispone de estratigrafía de pozos (Anexo III), la topografía del basamento rocoso (Araneda *et al.*, 2000), nivel freático (Iriarte, 2003) y ubicación estimada de las unidades hidrogeológicas (Morales, 2002).

En el siguiente perfil C – C' (Figura 14, ubicación en Figura 19), de orientación casi este-oeste. Se aprecia en la localidad de Valdivia de Paine la existencia mayoritariamente de arcillas y arenas con potencias variables de 20 m aproximadamente (Pozos 176 y 177, Anexo III). La interdigitación de esta unidad y la Unidad II se tiene en el oeste, a través de la presencia de gravas en niveles de sedimentos finos de mayor espesor (Pozo 11, Anexo III).

Respecto a la profundidad del basamento rocoso, en el perfil C – C', se aprecia cerca de 400 m de profundidad, relacionándose con la cuenca elongada este-oeste definida por Araneda *et al.* (2000) (Figura 4).

El nivel freático esquematizado en el perfil C – C', se encuentra a profundidades someras menores a 2 m (Iriarte, 2003) en toda la unidad Va, profundizándose hacia el este. Hacia el este también disminuye la profundidad del basamento rocoso y por consiguiente el espesor sedimentario.

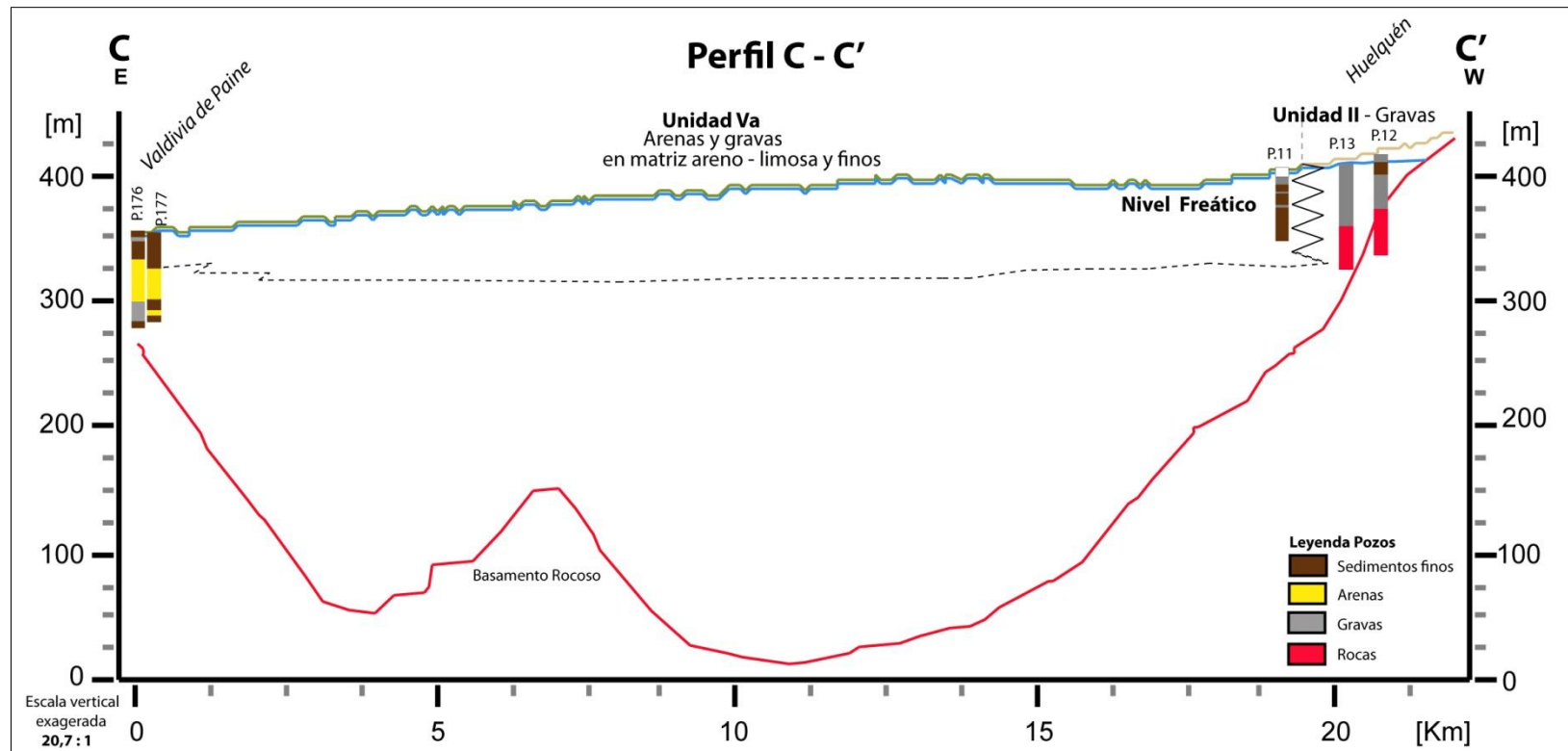


Figura 14. Perfil C – C', de orientación aproximada este – oeste (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se disponen estratigrafía de pozos (Anexo III), nivel freático (Iriarte, 2003) y la topografía del basamento rocoso (Araneda *et al.*, 2000).

En la localidad de Champa, a través de un estudio de suelos, entregado por Ruz & Vukasovic Ingenieros Asociados Ltda. (2010) a la Municipalidad de Paine, se pudo observar la estratigrafía de 5 calicatas (Anexo III), situadas en la escuela Elías Sánchez Ortúzar. Estas revelan que el material hasta unos 3 m de profundidad consiste principalmente en arcillas con la presencia de un lente de arena limosa de potencia variable entre 1 a 3 m y un nivel freático ubicado en promedio a 2,44 m de profundidad.

Otro perfil estratigráfico (Figura 15) aún en modificación, fue elaborado por Viviana González, alumna de magister del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile (“Daños geotécnicos en puentes a raíz del terremoto del 27/02/2010”, en preparación), en el sector del puente de la autopista acceso sur a la altura de la localidad de Hospital. En él se detalla la estratigrafía local del subsuelo, encontrándose principalmente un nivel de sedimentos finos de hasta 15 m, con numerosos lentes de arena. Los cuales habrían sido probablemente los principales responsables de la caída de ese puente producto del terremoto del 2010, evidenciando licuefacción en uno de los pilares del puente (González, comunicación oral).

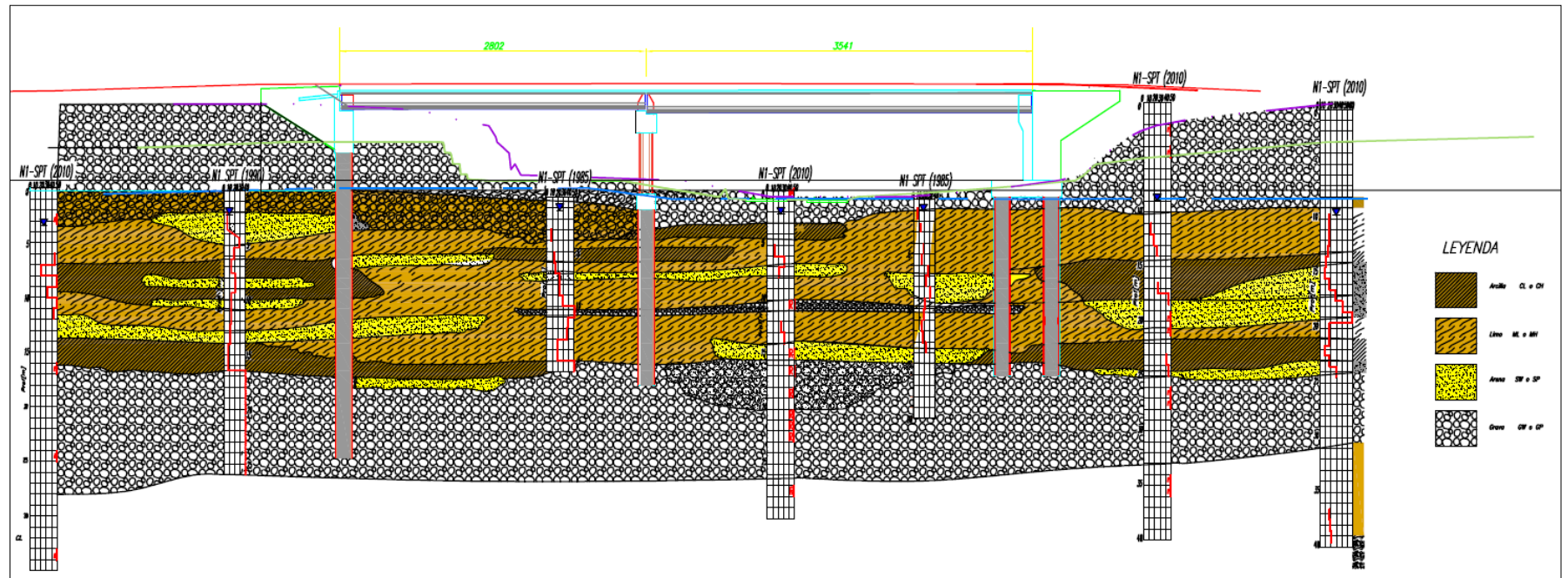


Figura 15. Perfil estratigráfico en puente de Autopista Acceso Sur, localidad de Hospital. Sedimentos finos (limos y arcillas) en colores naranja y café, lentes de arena en color amarillo. Sujeto a modificaciones (González, en preparación).

3.2.2.6. Unidad VI. Ceniza volcánica. Asociada a depósitos piroclásticos

Esta unidad se ubica en la salida sur de Angostura de Paine, asociada a lomas constituidas por ceniza volcánica, originada por flujos piroclásticos provenientes del volcán Diamante depositados hace 450.000 ± 60.000 años (Stern *et al.*, 1984) (Figura 16).

La unidad geoambiental relacionada corresponde a *Lomajes ignimbríticos*, asociado al Dominio *Lomajes de Cenizas Volcánicas* definido por Milovic (2000).

Con un aspecto claro estos depósitos se ubican sobre la superficie aluvial con algunos sectores sepultados por escombros de faldas (Milovic, *op. cit.*). Son depósitos altamente resistentes a la erosión y su morfología determinada por suaves lomajes, corresponderían a los relictos de los depósitos que se habrían extendido inicialmente a lo largo de toda la cuenca (Milovic, *op. cit.*).

Esta unidad corresponde al depósito ignimbrítico original sin retrabajo fluvial. Por lo que su composición corresponde a fragmentos líticos y pómez (<10%) de hasta 10 cm y 5 cm de diámetros respectivamente, inmerso en cenizas volcánica (<0,25 mm a 4 mm) (Milovic, 2000).

3.2.2.7. Unidad VII. Arenas finas, limos y arcillas. Asociada a depósitos lagunares

Esta unidad corresponde a depósitos ubicados en zonas de bajo relieve y de drenaje restringido, se reconoce exclusivamente en los márgenes de la laguna de Aculeo (Figura 16).

Se asocian sólo a los depósitos lacustres de la laguna de Aculeo determinados en la Unidad y Dominio Geoambiental *Depresiones Lacustres* definido por Milovic (2000).

Los sedimentos son del tipo limo –orgánicos y alternan con horizontes fluviales de arenas medias a finas, asociadas a los depósitos aluviales de los esteros Abrantes y Pintué. En la zona este de la laguna de Aculeo, la alternancia de depósitos lacustres finos (abundantes arcillas) y fluviales arenosos, origina acuíferos semiconfinados y horizontes impermeables que suelen provocar anegamientos temporales (Milovic, *op. cit.*).

3.2.2.8. Unidad VIII. Bloques, bolones, gravas y/o arenas, no consolidados. Asociada a depósitos fluviales

Esta unidad corresponde a los depósitos ubicados en los actuales lechos de ríos y esteros de la zona, y los niveles aterrizados de la mayoría de las redes de drenaje más destacables de la zona de estudio. Esta unidad compete a los ríos Maipo, Mapocho, Clarillo, San Francisco, Angostura y Peuco; y también a los esteros El Escorial y el Ajial y algunos drenajes menores (Figura 16).

Corresponden a la unidades geoambientales: *Cauces fluviales* y *Fluviales subactuales*, del Dominio *Cauces fluviales* y *Terrazas fluviales subactuales* definidas por Milovic (2000).

Los sedimentos de los cauces se presentan con nula coherencia y una granulometría en directa relación al tamaño de los ríos (cauces y caudales). En el caso del río Maipo, se encuentran bolones ripios y gravas, por lo general con una matriz arenosa, a veces inapreciable debido al reacarreo de menor energía (Milovic, *op. cit.*). Ríos menores como el Peuco, el Angostura y el Escorial, presentan abundantes bloques y bolones, con ripios y gravas en una matriz arenosa subordinada. Esteros menores como el Abrantes se constituyen básicamente de arenas. Pero en general se tiene también la granulometría mayor en los ápices de los cauces. Los fragmentos están principalmente compuestos de material volcánico e intrusivo (Milovic, *op. cit.*).

Los depósitos de terrazas fluviales consisten en una mezcla de distintos materiales no consolidados, desde bolones (10 – 15%), ripios y gravas (60 – 70%) y arenas (20 – 25%) hasta zonas con limos y finos que no superan el 5% (Milovic, *op. cit.*). En lo que corresponde al sector norte del área de estudio, específicamente al norte de la localidad de Buin, se observa la presencia de una matriz cenicienta en ciertos niveles generando un aspecto y textura más compacta que los niveles de matriz arenosa (Fotografía 1, Anexo I), particularmente en el nivel superior de esta terraza se presenta fragmentos angulosos menores a 10 cm, matriz soportados con presencia de ceniza y fragmentos de pómez (Fotografía 2, Anexo I).

El material subterráneo de esta unidad puede observarse a través de los pozos 115 y 116 (Anexo III), los cuales se ubican cercanos a Valdivia de Paine (Figura 19) evidencian principalmente niveles de arena con intercalación de sedimentos finos hasta los 60 m aproximadamente. Estos sedimentos finos se asocian en particular a los eventos de inundación característicos de esta localidad.

3.3. Estructuras

Las estructuras en la zona de estudio comprenden numerosos estilos y vergencias en los tres dominios morfoestructurales, lo que dificulta visualizar los lineamientos de primer orden de la región (Figura 3), producto también de la escala del estudio. Sin embargo, se tienen estructuras representativas de estos lineamientos, tales son las fallas Melipilla y Portezuelo de Chada.

La **Falla Melipilla** es una estructura que se ubica a lo largo del valle del río Maipo, al oeste del cerro Lonquén, quedando fuera de área de estudio de este trabajo (Figura 3), pero dada su importancia regional, se considera necesaria su descripción. Consiste principalmente en una estructura que no ha sido observada en superficie, pero a través de estudios geofísicos se habría podido reconocer como un lineamiento discontinuo de 48.3 km de largo y de orientación WNW (Sabaj, 2008). Las últimas interpretaciones de su movimiento habrían correspondido al tipo normal y posterior al Mioceno-Plioceno? (Sabaj, 2008).

La **Falla Portezuelo de Chada** corresponde a una estructura inversa con vergencia al oeste definida por Fock (2005), reportada previamente por Sellés y Gana (2001) como una falla normal. Monta a la Unidad Estratos del Cordón de Los Ratones sobre la Formación Abanico. Esta estructura no ha sido observada en los depósitos cuaternarios hacia el norte de Chada, sin embargo, tras el análisis de la profundidad del basamento rocoso (Figura 4) en esa zona, es posible correlacionar el límite oriental de la cuenca subterránea con el lineamiento NS en superficie, infiriéndolo como la continuidad en profundidad de esta falla. Fock (2005) también clasificó esta falla dentro del Dominio Estructural I, donde se incluyen estructuras del margen oriental de la Cordillera de la Costa, hasta el límite occidental de la cordillera Principal de los Andes, y fallas de vergencia oeste y orientación norte sur.

3.3.1. Estructuras post-terremoto 2010

Las estructuras generadas por el terremoto del 2010 están relacionadas a la deformación co-sísmica de antearco, es decir, estructuras que se originaron durante el terremoto principal. Las estructuras originadas por el terremoto en esta zona, fueron identificadas como extensionales-transtensionales (Arriagada *et al.* 2010), y solamente diferenciadas por el mecanismo de formación. Cabe mencionar que según el modelo de rebote elástico, durante la fase co-sísmica del ciclo sísmico se tiene una deformación extensional por efecto del hundimiento de la zona de antearco, y las estructuras registradas en este trabajo podrían ser el reflejo de esta deformación.

Según el mecanismo de formación de las grietas extensionales, se tienen estructuras que fueron originadas por **licuefacción** y por **origen tectónico**. Ambos tipos de estructuras fueron reconocidas en sedimentos del depósito cuaternario y no en afloramientos rocosos.

Como estructura de **origen tectónico** se identificó la **Falla Aculeo** (Figura 16) (Fotografías 3 y 4, Anexo I), la cual fue definida y registrada por Rebolledo y Arriagada (comunicación verbal, 2011) como una falla normal de componente sinistral, subvertical y con rumbo aproximado NS, con un largo de 500 m aprox. Esta estructura podría corresponder a la prolongación sur de la falla registrada como inferida al norte de la laguna de Aculeo por Sellés y Gana (2001). Debido a su importancia regional, cabe mencionar otra estructura de origen tectónico y posiblemente la prolongación de la Falla Melipilla hacia el oriente, ubicándose al oeste de la localidad de San Antonio de Naltagua (fuera del mapa). Donde fisuras de orientación EW de 1.5 m de ancho y 50 cm de profundidad fueron reconocidas por Arriagada *et al.* (2011) tras el terremoto (Fotografías 5, 6 y 7, Anexo I) denominándolas como **Falla de Naltagua**.

Las estructuras **originadas por licuefacción** corresponden a agrietamientos de orientación aleatoria producidos en depósitos aluviales y reconocidos en el sector de la laguna de Aculeo, específicamente en las localidades de Abrantes y Pintué, así como también en Champa (Fotografías 8, 9 y 10, Anexo I). A estas estructuras se les asoció el fenómeno de licuefacción por presentarse principalmente en depósitos arenosos, con niveles freáticos muy someros (<5 m), carecer de orientación preferencial y de indicadores cinemáticos. Además de asociarse con daños típicos de licuefacción (asentamientos) en viviendas cercanas.

En la orilla de la laguna de Aculeo, se observaron agrietamientos de orientaciones NS y EW en sedimentos compuestos principalmente por gravas en matriz arenosa, con aberturas de 30 cm y profundidades de hasta 1 m, sin presencia de indicadores cinemáticos. Estas

estructuras se atribuyeron al fenómeno de "*lateral spreading*" por su cercanía (menos de 5 m) con la laguna y por presentar un cierto desplazamiento y caída hacia la laguna, del bloque de suelo que limitaban las grietas (Fotos 11 y 12, Anexo I). Este fenómeno de propagación lateral sucede por un desplazamiento limitado de capas superficiales de suelo, hacia superficies libres, como en este caso, un margen de laguna.

3.3.2. Clasificación de estructuras sismogénicas

Se consideran estructuras sismogénicas a aquellas fallas geológicas activas, las cuales al presentar movimiento, pueden generar sismos. En la actualidad se han clasificado las fallas como (Norma Chilena, en preparación): **Fallas activas**, **Fallas potencialmente activas**, **Fallas capaces** y **Fallas reactivadas en sismos mayores**. En la zona de estudio sólo se observaron: fallas potencialmente activas y reactivadas en sismos mayores.

Fallas potencialmente activas: Fallas que han presentado movimiento durante el Cuaternario.

- Falla Portezuelo de Chada: Definida por Fock (2005) ha sido clasificada como una falla potencialmente activa ya que **ha presentado eventos sísmicos** situados a profundidades focales entre los 2.5 a 15 km, actividad sísmica que se concentra principalmente al norte de la falla, es decir al sur de Santiago, con datos elaborados entre 1973 hasta el 2007 (Jorquera, 2008) (Figura 16).
- Falla Melipilla: Estructura clasificada como potencialmente activa por Sabaj (2008), quien realizó también un análisis de peligro sísmico de esta estructura con un mecanismo de falla normal, los resultados correspondieron a un sismo de magnitud 7,1 (Mw) y aceleraciones horizontales de hasta 50%g (PGA), siendo la localidad de Melipilla la más afectada con una intensidad MSK de 9 grados (Figura 3).

Fallas reactivadas en sismos mayores: Estructuras complejas, aparentemente sin sismicidad, solamente activadas durante terremotos mayores. En el área de estudio se reconocen las fallas de **Aculeo** (Figura 16) y de **Naltagua** (Fotografías 3 – 7, Anexo I); éstas no tienen expresión morfotectónica, pero sí un desplazamiento asociado.

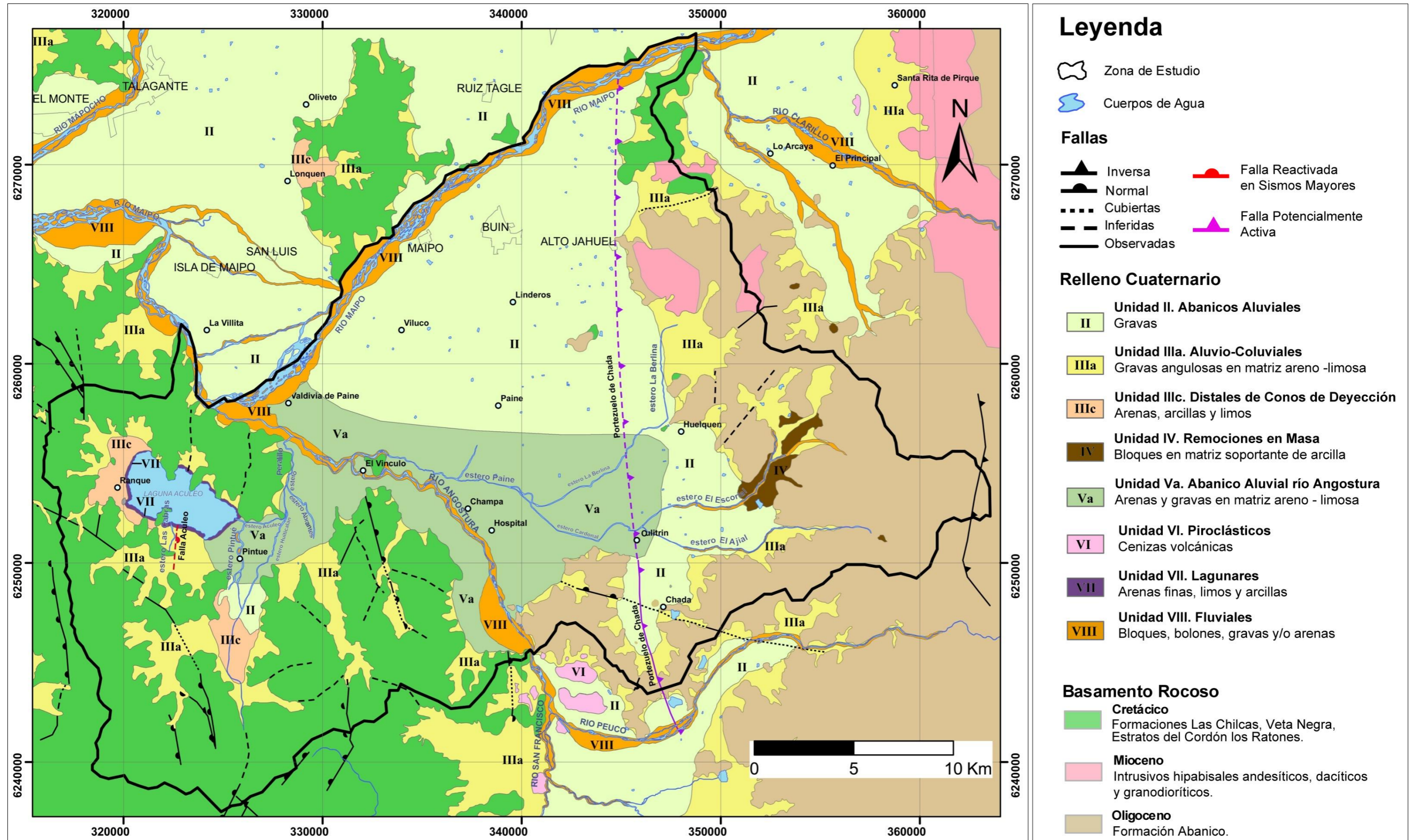


Figura 16. Mapa Geológico de la zona de estudio.

4. Respuesta Sísmica del Relleno Sedimentario

Los antecedentes sísmicos de la zona de estudio están fundamentados principalmente en la carta de Respuesta Sísmica de Santiago (Fernández, 2003), donde se muestra la intensidad sísmica MSK modificada por Monge y Astroza (1989), del terremoto de 1985. Esta intensidad representa una medida cualitativa de destructividad o grado de daños generados por un sismo o terremoto en un lugar dado. En un sismo se pueden dar muchas intensidades diferentes, dependiendo de las características o factores locales como la distancia al epicentro, la calidad de las construcciones y las condiciones geológicas. A partir de esto, la hipótesis que postula Fernández (2003), es que en futuros terremotos podrían ocurrir efectos similares a los planteados, donde la intensidad variaría según la magnitud, distancia y origen del sismo, manteniendo la relación de respuesta sísmica entre las unidades geológicas de la cuenca.

En la zona central del país se han registrado históricamente diversos sismos de magnitud cercana o mayor que 8 grados (1575, 1647, 1730, 1822, 1906 y 1985), cuya recurrencia se ha estimado en 82 ± 6 años (Fernández, 2003). Cabe destacar la modificación del primer sismo registrado, que según Cisternas *et al.* (2011) correspondería a uno catalogado el 7 de agosto de 1580 sobrepasando en efectos al de 1575. Los epicentros de estos terremotos se registraron costa afuera entre Valparaíso y Algarrobo, en la zona de acoplamiento de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa continental Sudamericana (Fernández, 2003).

A continuación, se entrega la descripción de las unidades de respuesta sísmica de Fernández (2003), basadas en la geología de Sellés y Gana (2001), y de Milovic (2000) (Figura 17):

Unidades con buena respuesta sísmica

B: Depósitos de abanicos aluviales constituidos por gravas en matriz arenosa con niveles freáticos profundos (>20 cm), en algunos sectores existen suelos limo-arcillosos que pueden desmejorar la respuesta sísmica.

Unidades con regular respuesta sísmica.

C1: Depósitos de abanicos aluviales menores, constituidos por bloques y gravas subangulares, en matriz soportante arcillo-arenosa. La respuesta sísmica es peor en las zonas distales de los abanicos donde predominan los finos (arenas, limos y arcillas).

C2: Depósitos de abanicos aluviales, constituidos por gravas de matriz areno – limo –arcillosa, con niveles freáticos poco profundos (<20 cm). Presentan intercalaciones de arenas, limos, y arcillas en algunos sectores, gruesos suelos limo-arcillosos. La respuesta sísmica puede desmejorar en zonas con niveles freáticos superficiales o donde existen suelos limo-arcillosos.

Unidades con mala respuesta sísmica

D1: Depósitos de abanicos aluviales, constituidos por gravas en matriz areno-arcillosa, con abundantes intercalaciones de arenas, limos y arcillas y gruesos suelos limo-arcillosos.

D2: Depósitos de abanicos aluviales, constituidos por arenas finas a gruesas, con mezcla variable de limos y arcillas, ubicados en zonas de niveles freáticos poco profundos a superficiales.

Unidades con muy mala respuesta sísmica

E1: Depósitos de abanicos aluviales constituidos por limos y arcillas con intercalaciones de gravas arenas y cenizas volcánicas. Presentan niveles freáticos poco profundos a superficiales, alto grado de saturación, elevada densidad y contenido de arcillas expansivas.

E2: Depósitos de cauces fluviales actuales o recientes, compuestos por materiales sin cohesión, con granulometría variable entre ripios y limos.

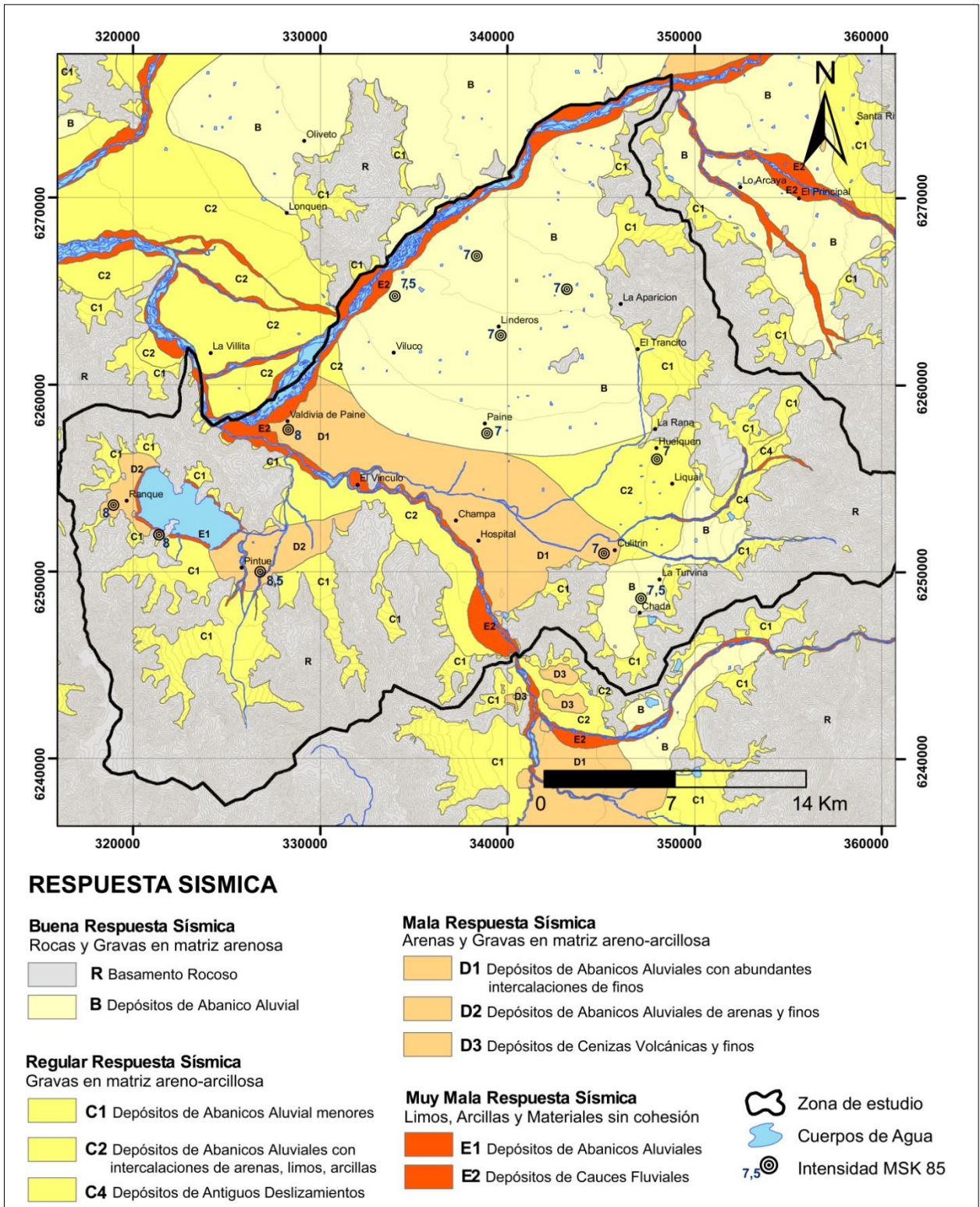


Figura 17. Respuesta sísmica de Santiago, asociada a la zona de estudio. Modificada de Carta de "Respuesta Sísmica de la Cuenca de Santiago, Región Metropolitana" (Fernández, 2003).

4.1. Daños del Terremoto 03/03/1985

El terremoto de 1985 correspondió a un evento interplaca de bajo ángulo y de magnitud $M_s = 7,8$ y $M_w = 8,0$ de profundidad focal de 40 km y con epicentro ubicado 20 km costa afuera entre Valparaíso y Algarrobo a 15 km de profundidad (Fernández, 2003).

El terremoto de marzo de 1985 es el sismo destructivo del cual se tuvo por primera vez la suficiente información para haber generado registros de intensidades y microzonificación sísmica estimada (Fernández, *op. cit.*).

Según la carta de Respuesta Sísmica de Santiago (Fernández, *op. cit.*), la cual está basada en intensidades MSK, se tiene que las unidades con intensidades mayor o igual a 8,0, se presentan en las localidades de Valdivia de Paine, Rangué y Pintué, localidades que quedaron dentro de las unidades clasificadas como Mala (D1, D2), relacionándose también con depósitos que obedecen con abundancia de material fino o niveles freáticos someros. Las intensidades mínimas en la zona que corresponden a valor 7,0; y pertenecen a los poblados de Maipo, Buin, Paine, Huelquén, Culitrín, relacionándose con las unidades de Buena (B) y Regular respuesta sísmica (C2), donde los depósitos de abanicos aluviales están caracterizados principalmente por gravas en matriz arenosa.

4.2. Daños del Terremoto 27/02/2010

El terremoto del 27 de Febrero del 2010, fue caracterizado por Barrientos (2010) como un evento interplaca de magnitud Mw 8,8 originado por el desplazamiento súbito de la placa de Nazca bajo la placa Sudamérica en un área que se extiende aproximadamente desde la Península de Arauco por el sur hasta el norte de Pichilemu, cubriendo unos 450 km de longitud en dirección prácticamente norte-sur por un ancho de unos 150 km. El epicentro se ubicó en las coordenadas geográficas 36°17'23" S y 73°14'20" W frente a Cauquenes. Para permitir desplazamientos de este orden a futuro, es necesario la acumulación de energía elástica durante decenas de años, ya que la tasa de convergencia de la placa es del orden de 6,7 cm/año (Barrientos, 2010).

Según Molina (2011), en Santiago, el terremoto tuvo una máxima intensidad de 7,5 en escala MSK, para las comunas de Estación Central (Unidad II), Cerro Navia (Unidad VII), Huechuraba (Unida VII) y Renca (Unidad VII). La mínima calculada fue entre 5,0 y 6,0 grados, para las comunas de Las Condes y Vitacura (Unidad II). Además para la ciudad de Santiago, se asignó una intensidad VIII – Destructivo en escala de Mercalli (Fuente: Informe de sismo sensible, Depto. de Geofísica - Universidad de Chile).

Con esto se tiene una idea generalizada de los daños del terremoto en la Región Metropolitana, pero para el análisis en particular de las comunas Buin y Paine se obtuvieron medidas de intensidad MSK (Figura 18) para distintos poblados de las comunas de Buin y Paine, mediante el trabajo del memorista de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, José Contreras (en preparación). Para complementar esta información, también se generó un análisis de observaciones en terreno e información aportada por lugareños de los poblados (ya que en vista de la fecha de realización de este trabajo, muchos de los daños ya se encuentran reparados).

4.2.1. Intensidades MSK

La escala MSK corresponde a una medida de la magnitud de un sismo basada en los efectos que produce. Coincide básicamente con la escala de Mercalli, midiéndose el daño en 12 grados, diferenciándose sólo en la definición de los efectos en las construcciones, ya que está basada en el comportamiento estadístico de los edificios de un mismo tipo de construcción (Monge y Astroza, 1989). En lo que se refiere a efectos en objetos, a sensaciones del hombre o a cambios en el paisaje o topografía, ambas escalas son idénticas (Monge y Astroza, 1989).

Esta escala se define en función de 5 grados de daños (1 daño ligero, 2 daño moderado, 3 daño grave, 4 destrucción, 5 colapso) y 3 tipos de edificación (A de adobe, B de albañilería simple, C albañilería reforzada) y su combinación según el análisis estadístico del comportamiento de un gran número de construcciones de un mismo tipo, generan una intensidad asociada, la cual puede presentar números decimales debido a la estadística correspondiente (Monge y Astroza, 1989). Esta escala, se modificó obedeciendo a efectos prácticos del terremoto de 1985 de Santiago, adaptándose a las características de las construcciones del país en particular a las casas de adobe, y albañilería simple y reforzada de un piso (Monge y Astroza, 1989).

Según Contreras (en preparación) las intensidades MSK de las comunas de Buin y Paine para el terremoto del 27 de febrero del 2010, tuvieron como máximo valor el grado 7,0; asignado a las localidades de Rangué, Abrantes, Valdivia de Paine y Champa. Contreras asignó el valor mínimo de intensidad 6,0 a las localidades de 24 de Abril, Chada, El Tránsito, Viluco, El Rulo, Cerrillo y Águila Norte. Para el resto de las localidades les atribuyó grado 6,5 (Paine, Alto Jahuel, Maipo, Buin, Linderos, Pintué, Hospital, Culitrín, Huelquén, El Escorial) (Figura18). Las coordenadas UTM aproximadas y la intensidad MSK, de cada localidad se muestra en la siguiente tabla:

Localidad	Coordenada UTM	MSK	Localidad	Coordenada UTM	MSK
Buin	338703 6266402	6,5	El Rulo	344914 6272448	6,0
Paine	339366 6257541	6,5	Cerrillo	342099 6261930	6,0
Rangué	319323 6253897	7,0	Águila Norte	337461 6250170	6,0
Abrantes	329096 6251992	7,0	Alto Jahuel	344003 6266071	6,5
24 de Abril	344335 6258369	6,0	Maipo	334728 6265905	6,5
Champa	336632 6252903	7,0	Linderos	339945 6262510	6,5
Viluco	333899 6261019	6,0	Pintué	325535 6250418	6,5
Hospital	338206 6251412	6,5	Culitrín	345825 6251081	6,5
Huelquén	347647 6255387	6,5	El Escorial	348890 6252654	6,5
Chada	346736 6247851	6,0	El Tránsito	346267 6262183	6,0
Valdivia de Paine	327854 6257458	7,0			

Tabla 2. Intensidades MSK del terremoto 2010 y coordenadas UTM para localidades de las comunas Buin y Paine.

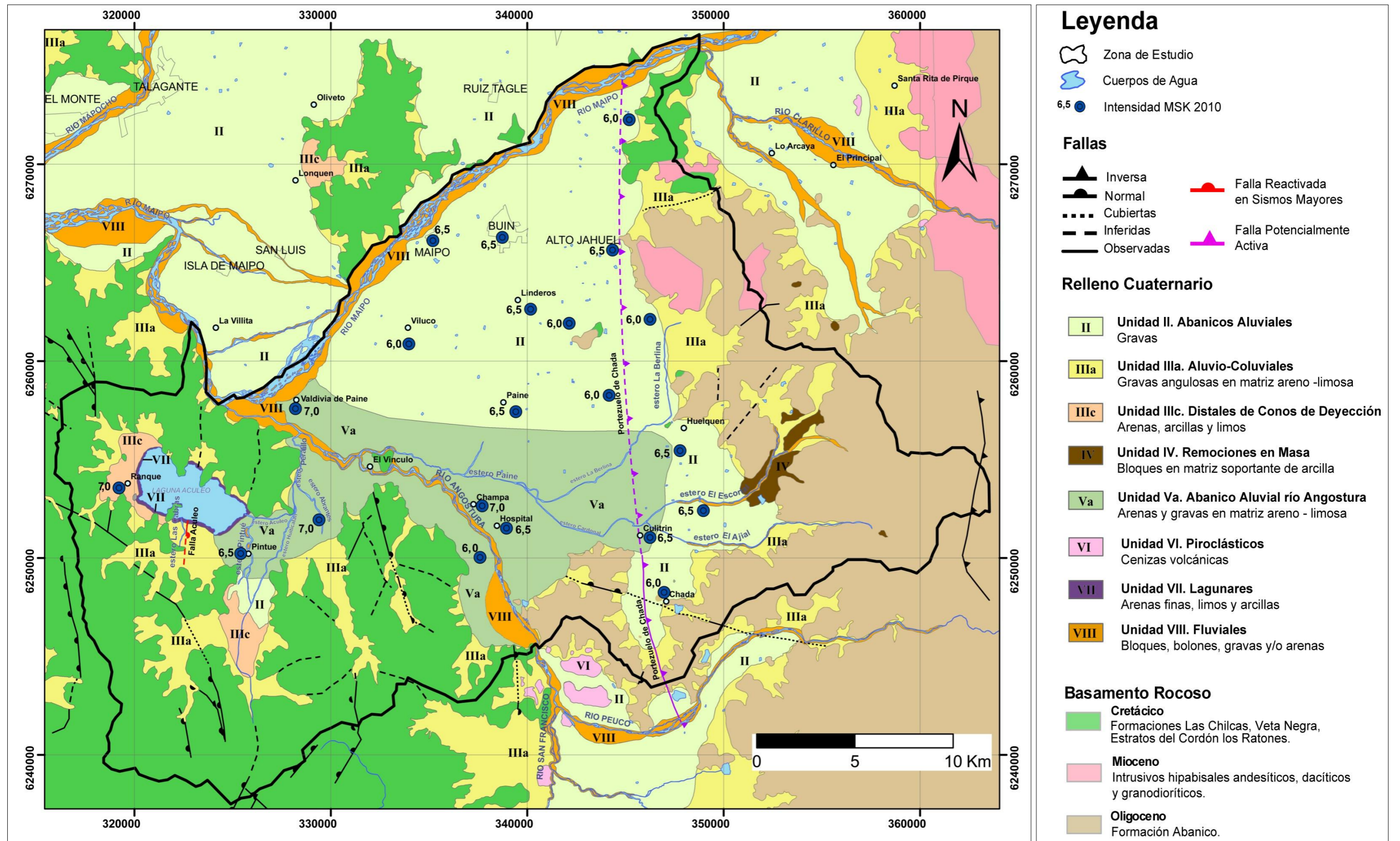


Figura 18. Intensidades MSK del terremoto del 2010, para las comunas de Buin y Paine (Contreras, en preparación), insertas en el mapa de geología local (Figura 16).

4.2.2. Observaciones de Terreno

Observaciones a más de un año del evento sísmico revelan que la comuna de Buin no presentó daños tan severos como la comuna de Paine, en la cual se registraron caídas de puentes, agrietamientos en el suelo y casi el 90% de las casas de adobe destruidas. Las localidades más afectadas por estos daños corresponden a Champa, Abrantes, Pintué y Valdivia de Paine (comuna de Buin).

Champa: Esta localidad fue afectada particularmente en la zona del camino principal Diego Portales, donde los daños se destacan en la Escuela Elías Sánchez Ortúzar, Carabineros, Bomberos y el camino principal. Según los habitantes del lugar, estudios entregados a la Ilustre Municipalidad de Paine (Ruz & Vukasovic Ingenieros Asociados Ltda., 2010) y observaciones de terreno, se habrían generado grietas de variadas orientaciones y sin evidencia de desplazamiento. En particular, las grietas de la escuela fueron caracterizadas con 5 m de profundidad y 15 - 20 m de ancho con rumbo suroriente - norponiente (Ruz & Vukasovic Ingenieros Asociados Ltda., 2010). Estas grietas habrían provocado daños considerables en las edificaciones existentes, incluso la división de uno de los pabellones de la escuela, destrozando fundaciones, sobrecimientos, radieres, muros y vigas de este pabellón (Fotografías 13 14 y 15, Anexo I). En el mismo lugar, con la cooperación del Ingeniero Ramón Verdugo y la tesista del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, Javiera González (abarcando el tema de fenómenos de licuefacción producto del terremoto 2010 en el país), se identificaron aspectos propios de licuefacción tales como asentamientos de edificaciones, morfología sinuosa de la topografía, y flotación de cuerpos enterrados. Según un informe técnico de la Ilustre Municipalidad de Paine (2010), sobre una de las construcciones nuevas de la escuela se constataron daños consistentes sólo en grietas de la albañilería, sin embargo al pasar los días el pabellón comenzó a inclinarse, descendiendo en la esquina surponiente, lo que resintió toda la estructura. Los edificios de Bomberos y Carabineros quedaron en condiciones casi inutilizables (Fotografías 16 y 17, Anexo I), como lo fue también la copa de agua de la localidad.

Abrantes: Este sector presentó la mayoría de las casas de adobe destruidas, las de albañilería bastante dañadas por agrietamiento del suelo, postes de alumbrado eléctrico inclinados, y el camino principal tuvo que ser totalmente reconstruido debido a los daños que presentaba. El agrietamiento del sector fue característico sin orientación preferencial ni evidencia de desplazamientos. Así como Champa, esta localidad también reflejó efectos de licuefacción (corroborado por el Ingeniero Ramón Verdugo y la tesista Javiera González, *op. cit.*). A partir del análisis de los daños en casas e iglesias se pudo observar asentamiento, desnivel del piso con respecto a las murallas (Fotografías 18 – 27, Anexo I), y sin dejar de lado

las acotaciones de los lugareños que coincidían en sus testimonios de haber visto salir “vapor” y “agua” de las grietas durante el terremoto.

Pintué: En esta localidad se tuvo muchos daños severos, agrietamiento en los caminos y bastantes daños en casas de adobe y albañilería. La comisaría de Carabineros de Pintué, construcción de adobe, se destruyó completamente. Inmediatamente al frente de la comisaría se encontraban unas casas patronales las cuales también sufrieron daños a visibles. La Iglesia de Pintué no sufrió mayores daños visibles. Se pudo corroborar también asentamiento de casas y agrietamiento de suelo, probablemente producto de licuefacción (Fotografías 28 – 33, Anexo I).

Valdivia de Paine: Localidad donde la mayoría de las viviendas de adobe quedaron destruidas (Fotografías 34 – 37, Anexo I), incluyendo la copa de agua del sector. Esta información fue entregada por los habitantes, ya que los daños no fueron visibles debido la rápida reparación que tuvo el lugar. Siendo una de las localidades de la comuna de Buin más afectadas, motivó una rápida campaña de catastros de daño, para una mayor eficiencia de la reparación por parte de Municipalidad de Buin. No se reconocieron daños producto de agrietamiento del suelo o asentamientos.

Las localidades al este de la laguna de Aculeo, sufrieron daños pero no tan severos como los sectores anteriormente descritos. Un ejemplo de ello es **Rangue**, donde la mayoría de las casas de adobe se destruyeron completamente y las de albañilería quedaron con algunas grietas, como lo fueron los recientemente declarados Monumentos Históricos Nacionales: la Iglesia de Rangue y la casa esquina patronal de Rangue (Fotografías 38 y 39, Anexo I). No se observaron registros de agrietamiento en el suelo o asentamientos de los lugares. En los sectores circundantes a la laguna tampoco se registraron daños significativos, salvo en un sector cercano al condominio Alto Laguna, a metros de la laguna, donde se observaron grietas de direcciones norte-sur y este-oeste, las cuales podrían estar directamente relacionadas con un proceso de ‘*lateral spreading*’ (Fotografías 11 y 12, Anexo I). En este lugar también se ubicó la Falla Aculeo descrita anteriormente en la geología local (Figura 16).

Al comparar los daños observados en terreno versus la intensidad MSK, de cada localidad, se puede dar cuenta que la intensidad MSK en algunas localidades no representa el daño asociado a efectos particulares del terreno. Es así como en las zonas donde hubo licuefacción se puede tener intensidades similares en donde no las hubo (Ej. Champa 7,0 y Rangue 7,0).

5. Propiedades dinámicas de los depósitos

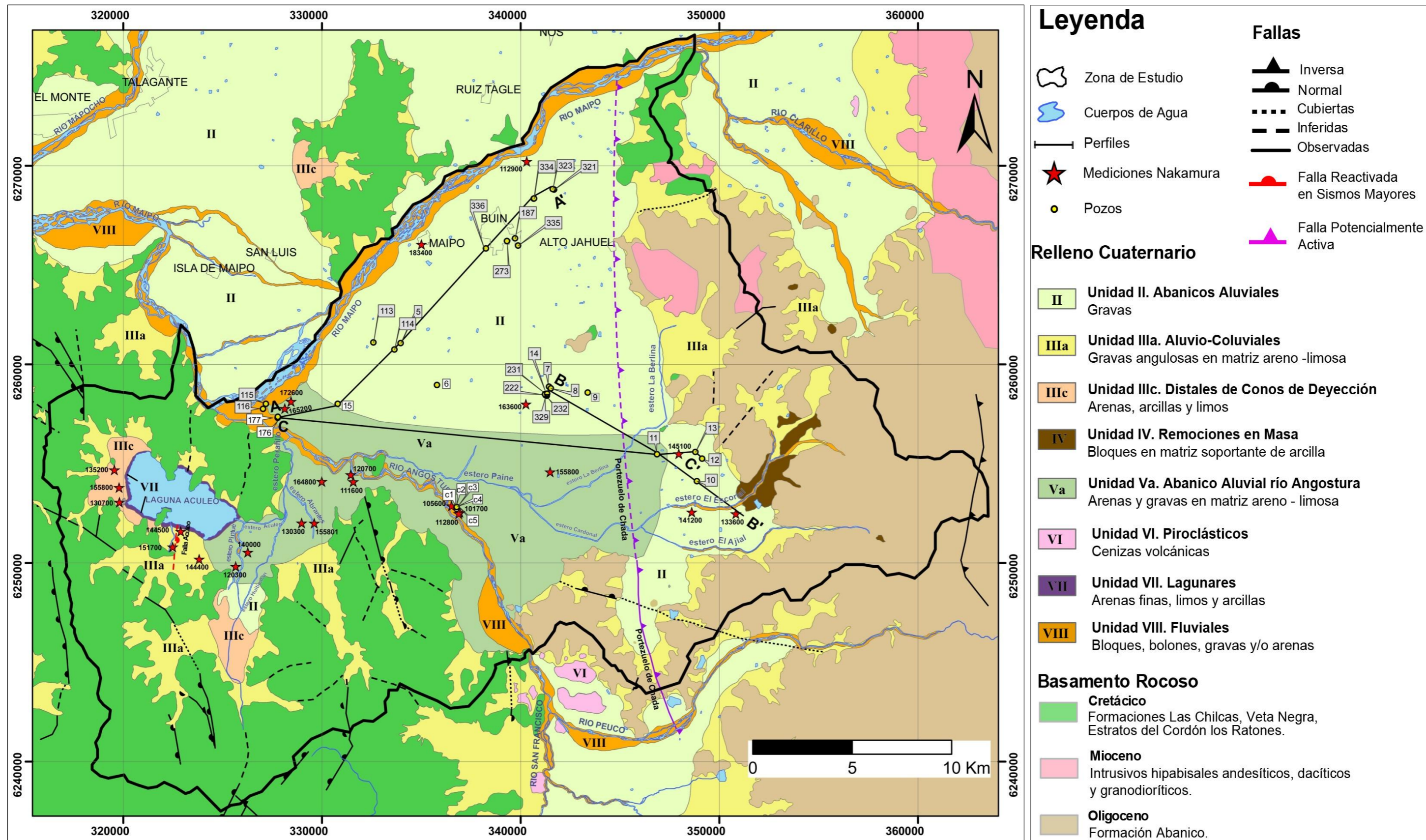
La dinámica de suelo consiste principalmente en el estudio del comportamiento de éste cuando es sometido a esfuerzos, que pueden originarse debido a diversas fuentes (terremotos, explosiones, etc.). Cubre variados tópicos como por ejemplo: la respuesta sísmica de los depósitos, licuefacción, vibraciones en ondas viales, prospección del subsuelo, entre otros. Uno de los parámetros de respuesta sísmica del suelo corresponde al período fundamental de vibración, o frecuencia fundamental y representa una estimación del contenido de frecuencias de vibración del suelo, a las cuales construcciones, laderas, puentes, son muy sensibles a ellas ante un sismo (Verdugo, 2006).

5.1. Periodo fundamental de vibración de los suelos del área de estudio

El método de Nakamura permite determinar el periodo fundamental de vibración de los suelos (inverso de la frecuencia fundamental). Éste se estima a través de la medida de microvibraciones ambientales de la superficie, utilizando el cociente de los espectros de movimientos horizontales y verticales de estas vibraciones (Leyton *et al.*, 2010). El periodo fundamental corresponde a un parámetro sísmico del suelo que permite caracterizar el comportamiento del terreno ante un sismo de gran magnitud (Kramer, 1996).

En el área de estudio se aplicó la metodología de Nakamura bajo las recomendaciones Pastén (2007). Los datos fueron procesados por el Ingeniero Felipe Leyton, quien proporcionó el análisis espectral de las señales y los gráficos de razón espectral versus frecuencias. El criterio para la elección de la ubicación de las mediciones fue contar a lo menos con dos mediciones en cada unidad geológica, y en las zonas con evidente daño producto del último terremoto. Según Leyton *et al.* (2010), las señales con frecuencias fundamentales menores a 1,0 Hz, estarían asociadas con depósitos constituidos por sedimentos finos (limos y arcillas), con algunas intercalaciones de gravas o arenas (Unidad VII). Según el mismo autor, para depósitos de gravas (Unidad II) se tendría una señal plana, y para los depósitos constituidos por bloques y gravas subangulares en matriz soportante areno-arcillosa de abanicos aluviales menores (Unidad VII), señales con un pico en la frecuencia de 1,0 Hz.

Las frecuencias obtenidas (Anexo II) fueron contrastadas con la geología definida a partir de la estratigrafía de pozos de agua (Figuras 12, 13 y 14) (públicamente emitidos por la D.G.A.). Desgraciadamente, no se goza de estratigrafía de pozos para toda la zona por lo cual, en ciertos lugares, se limitó a relacionarlo sólo con la geología superficial y la profundidad del basamento rocoso. En la Figura 19, se muestra el mapa de geológico con la ubicación de los perfiles del relleno sedimentario, pozos, calicatas (Anexo III) y mediciones Nakamura.



5.1.1. Perfiles del relleno sedimentario y mediciones Nakamura

Se presentan los perfiles estratigráficos del relleno sedimentario descritos en la geología local (Figuras 12, 13 y 14), en conjunto con las mediciones de microvibraciones (Anexo II) de la unidad geológica correspondiente. Este análisis tiene limitado alcance sobre las unidades geológicas, involucrando principalmente a las Unidades II y Va, debido a que no se contaba con la presencia de estratigrafía de pozos en las demás zonas.

5.1.1.1. Perfil A – A'

Este perfil (Figura 20) tiene una orientación aproximada SW-NE, con su extremo sur ubicado en las cercanías de Valdivia de Paine y su extremo norte próximo a la localidad de Buin (Figura 19). Los resultados permiten observar las señales características de cada una de las dos unidades geológicas evaluadas (II y Va).

En lo que respecta al sector **Valdivia de Paine**, en extremo sur del perfil, se obtuvieron dos gráficos, ambos muy similares, mostrando un leve pico en torno a los 0,5 Hz, y un aumento pronunciado entre los 1,0 y 10 Hz, con predominio en los 5,0 Hz. En este sector se cuenta con la presencia de sedimentos finos (espesores cercanos a 20 m) relacionados a la Unidad Va descrita anteriormente. El basamento rocoso se ubica a una profundidad estimada de 100 m.

Para los casos de la localidad de **Maipo** y al norte de **Buin**, las mediciones muestran una señal plana, presentando razones espectrales de baja amplitud, en todas las frecuencias. Leyton (2010) ya había asignado este tipo de señales a suelos compuestos por grava. El depósito de gravas se puede evidenciar a través de los pozos hasta 200 m de profundidad. En este sector, la unidad hidrogeológica de Morales (2002), compuesta por sedimentos finos, estaría bajo estos 200 m. En estas localidades el basamento se ubica a una profundidad cercana a los 400 m.

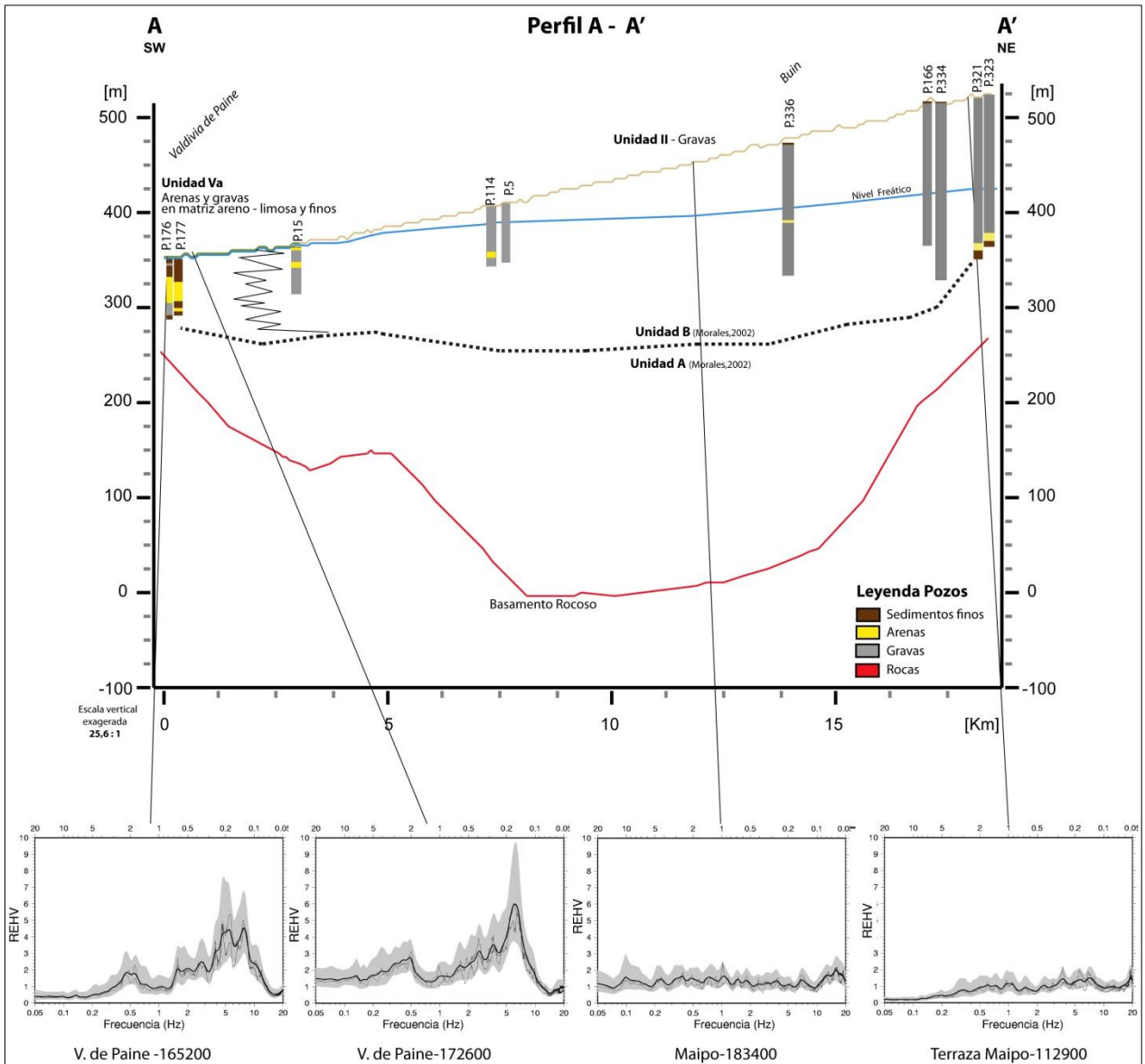


Figura 20. Perfil A – A', de orientación aproximada SW-NE (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se disponen estratigrafía de pozos (Anexo III), la topografía del basamento rocoso (Araneda *et al.*, 2000), nivel freático (Iriarte, 2003), la ubicación estimada de las unidades hidrogeológicas (Morales, 2002) y las mediciones de microvibraciones Nakamura (Anexo II).

5.1.1.2. Perfil B – B'

Este perfil (Figura 21) posee una orientación aproximada NW-SE, con su extremo norte ubicado en la localidad de Paine y su extremo sur en la localidad de El Escorial (Figura 19).

Se presenta una sola medición Nakamura correspondiente al sector de **Paine**, la cual muestra un gráfico con una señal plana, presentando razones espectrales de baja amplitud, en todas las frecuencias. En este sector los depósitos de gravas (Unidad II) se pueden ubicar hasta 80 m de profundidad, bajo estos depósitos se encontraría la unidad hidrogeológica A (Morales, 2002) constituida por sedimentos finos. Cabe mencionar, que estos últimos depósitos no estarían siendo reflejados por la señal de Nakamura. Al igual que Pastén (2007) y Leyton *et al.* (2010), esta señal se asigna a depósitos compuestos por gravas. El basamento en este sector se encuentra a una profundidad de 150 m aprox.

En el sector sur del perfil, particularmente en la localidad de **Huelquén**, y paralelo al **estero El Escorial**, se tienen tres mediciones, las cuales muestran una señal plana, presentando razones espectrales de baja amplitud, en todas las frecuencias. La profundidad de la Unidad II en este sector corresponde a 20 m aprox. (pozo 10 Anexo III). Cabe mencionar que la medición 141200, está proyectada al perfil, y su ubicación real está al sur del pozo p10, pero siempre en la misma unidad geológica. El basamento rocoso se ubica a una profundidad de 100 m.

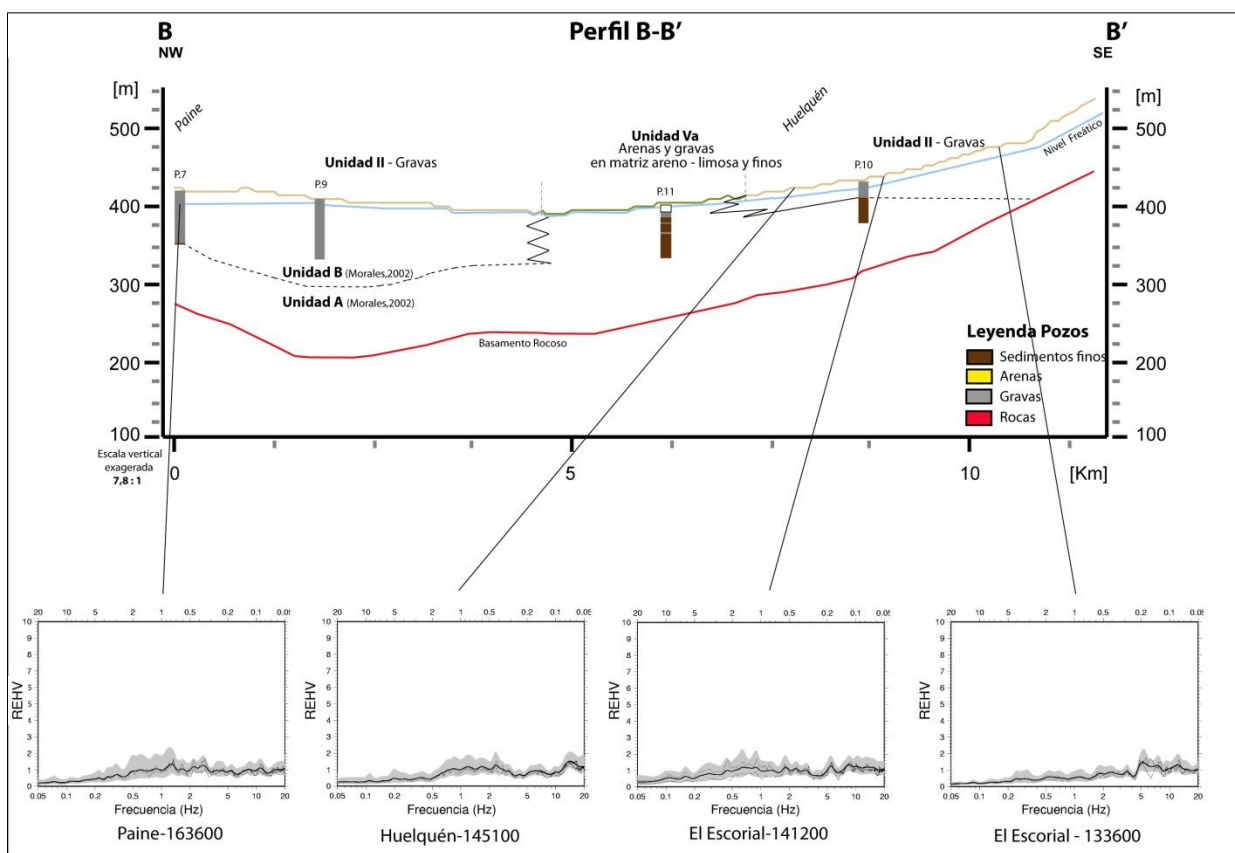


Figura 21. Perfil B – B', de orientación aproximada NW-SE (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se disponen estratigrafía de pozos (Anexo III), la topografía del basamento rocoso (Araneda *et al.*, 2000), nivel freático (Iriarte, 2003) y ubicación estimada de las unidades hidrogeológicas (Morales, 2002) y mediciones de microvibraciones Nakamura (Anexo II).

5.1.1.3. Perfil C – C'

La orientación aproximada de este perfil es casi este – oeste. En el extremo este, se encuentra la localidad de **Valdivia de Paine** (análisis descrito en perfil A – A', Figura 20); el extremo oeste se presenta al este de la localidad de Huelquén (Figura 19).

En este perfil (Figura 22) se aprecia mayoritariamente la Unidad Va. Debido a la escasez de estratigrafía de pozos, se hace difícil la interpretación del material subterráneo en esta zona. Sin embargo, es posible evidenciar las diferencias existentes entre las unidades II y Va.

La señal correspondiente al gráfico 155800, se encuentra proyectada al perfil y su ubicación real es hacia el sur del perfil; establecida en un sector descrito y definido por Sellés y Gana (2001) y Milovic (2000) como depósitos lacustres (incluidos en la Unidad Va). No posee una clara frecuencia fundamental, se visualizan varios picos en distintas frecuencias (0,5; 2,0 y

5,0 Hz) con baja amplitud, que podría compararse con las señales de Valdivia de Paine, pero con razones espectrales menores. La diferencia más importante entre estos dos sectores es la profundidad del basamento: en este sector el basamento se encuentra cerca de los 400 m y en Valdivia de Paine se encuentra a muy poca profundidad, (perfil A – A', Figura 20). Ambos poseen una significativa presencia de material fino en superficie y presentan frecuencias menores a 1,0 Hz. A falta de información subterránea, el análisis de esta zona se limita sólo a sugerir la correlación de estos dos sectores (Valdivia de Paine y Sur de Paine).

En la localidad de **Huelquén** se tiene una medición con una señal plana, con amplitudes espectrales menores. La Unidad II en este sector se encuentra hasta los 50 m, luego la presencia de material rocoso se hace evidente al acercarse al contacto con el basamento rocoso. A pesar de que en esta área sería probablemente una zona de interdigitación con material fino de la unidad Va, se tiene una señal plana asociada a depósitos de grava (Leyton, 2010).

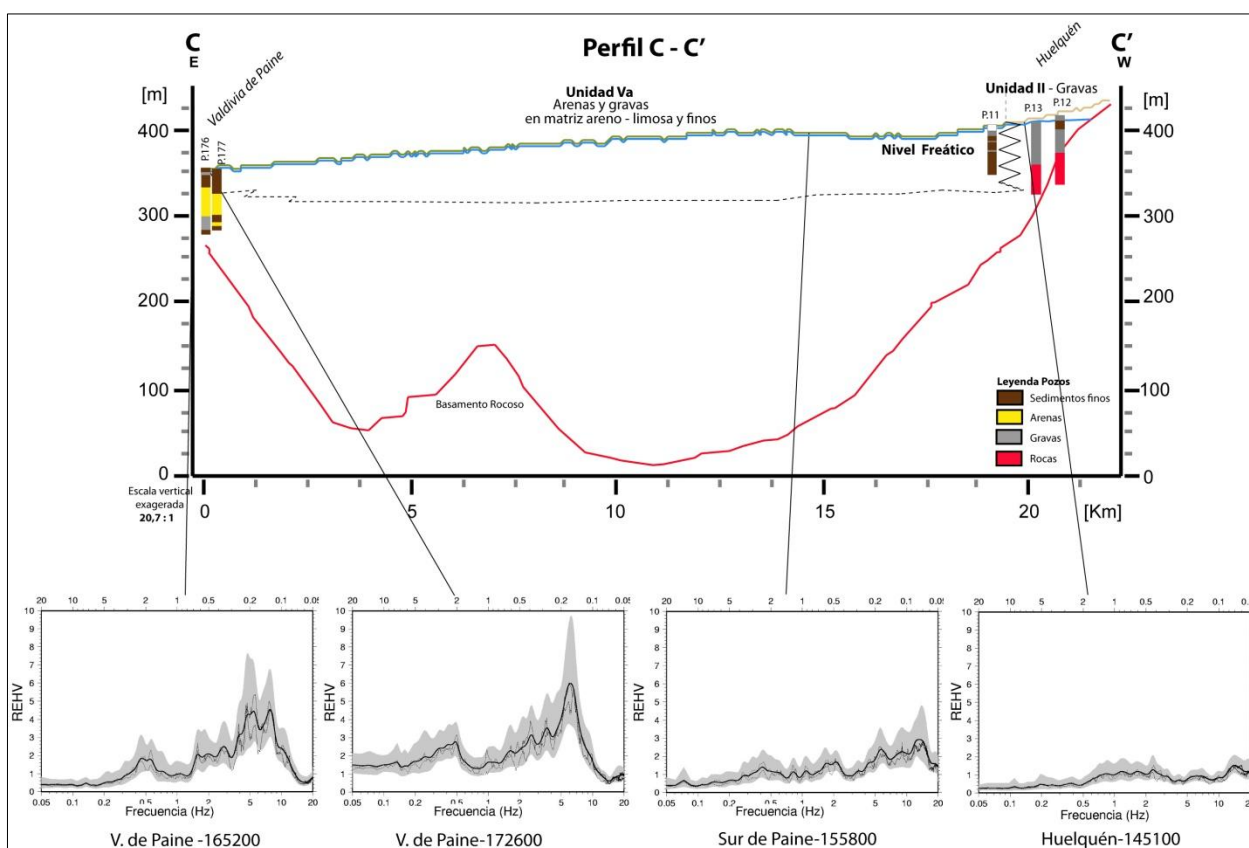


Figura 22. Perfil C – C', de orientación aproximada este – oeste (Ubicación en el mapa, Figura 19). Se disponen estratigrafía de pozos (Anexo III), la topografía del basamento rocoso (Araneda *et al.*, 2000), nivel freático (Iriarte, 2003) y mediciones de microvibraciones Nakamura (Anexo II).

5.1.2. Geología superficial y mediciones Nakamura

En las siguientes figuras (Figuras 23, 24 y 25) se presenta una sección del mapa geológico amplificado, en conjunto con los gráficos de razón espectral H/V versus frecuencia de las mediciones Nakamura realizadas en las zonas donde no se tenía registro del material subterráneo.

En particular, la zona que muestra el mapa amplificado (la misma zona para las tres figuras siguientes) representa el sector más dañado por el último terremoto del 2010. Esta área se ubica en el sector más oriental de la zona de estudio, correspondiente a la laguna de Aculeo; posee una morfología de microcuenca encajonada por cordones montañosos. Esto sugiere una baja profundidad del basamento en toda esta zona.

En lo que respecta al sector de **Champa**, los gráficos mostrados (Figura 23) revelan la similitud entre ellos, con un leve pico en los 0,5 Hz y otra singularidad entre los 1,0 y 5,0 Hz que, sin mucha claridad, tiene un pico en 2,0 y otro en 5,0 Hz. Esta localidad se ubica en los depósitos correspondientes a la Unidad Va, constituida principalmente por arenas y sedimentos finos.

Al **sur de Paine**, se tiene la medición 155800, la cual se encuentra descrita y analizada en la sección anterior, en el perfil C – C' (Figura 22). Sin embargo, al visualizarla con las otras mediciones correspondientes a la Unidad Va, es posible apreciar su similitud con ellas, con razones espectrales menores, pero en las mismas 3 frecuencias (0,5; 2,0 y 5,0 Hz). Esta similitud se observa en las localidades de Champa, Abrantes, El Vínculo y camino a Peralillo, estas tres últimas analizadas más adelante (Figura 25).

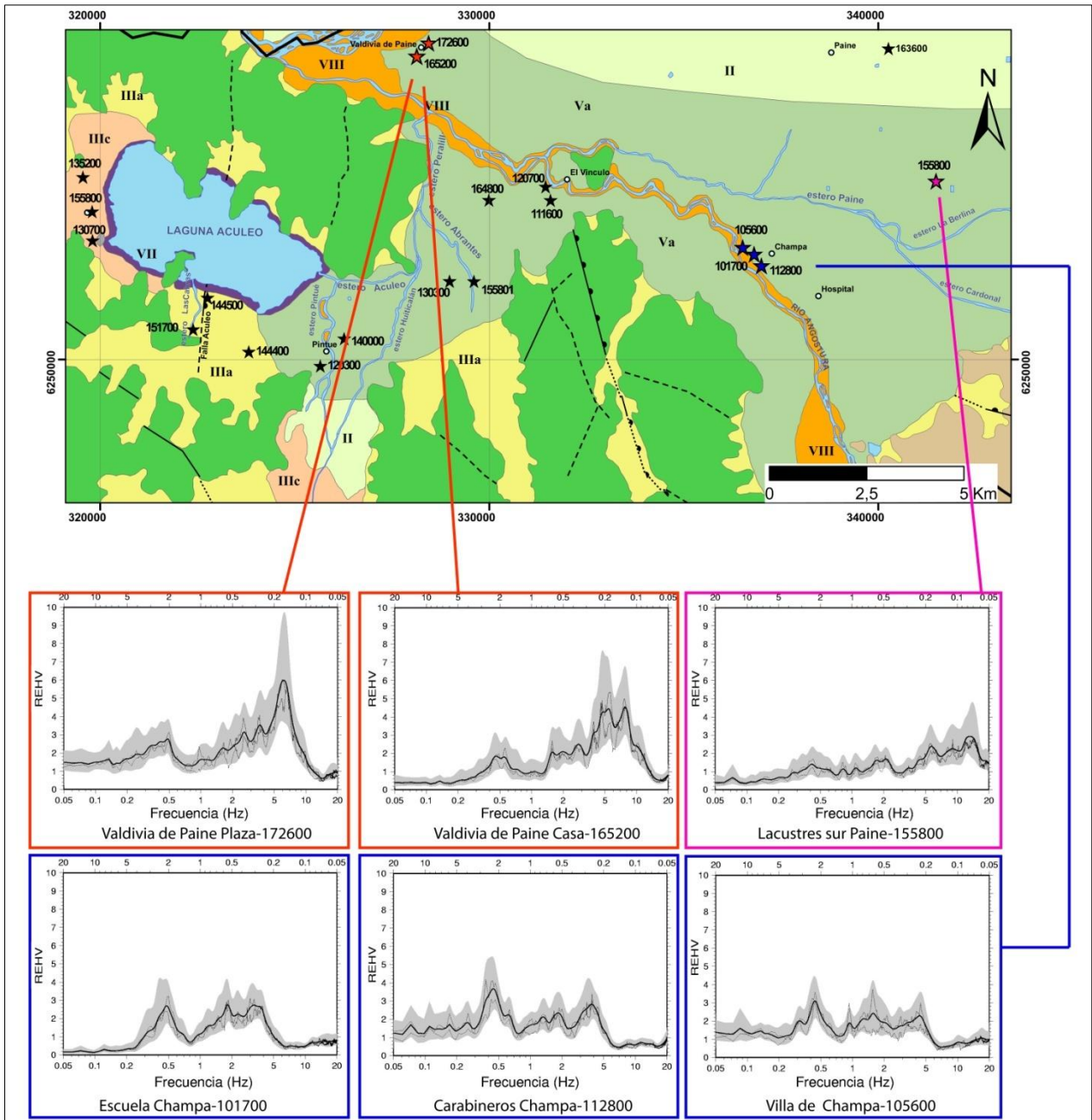


Figura 23. Mapa geológico amplificado, ubicación de mediciones Nakamura y gráficos razón H/V versus frecuencia de cada medición. Sector Valdivia de Paine, Champa y Sur de Paine. (Leyenda del Mapa Geológico en Figura 16)

En el sector más **oriental de la laguna de Aculeo**, se tienen señales bastante complejas (Figura 24), todas ellas (gráficos: 130700, 135200, 155800) ubicadas en los depósitos de la Unidad IIIc constituida por sedimentos finos de la zona distal de conos de deyección. En el gráfico 130700 correspondiente al sector más cercano a afloramientos rocosos (Iglesia de Rangué), la señal es plana hasta la frecuencia 2,0 Hz, a partir de esta frecuencia comienza a aumentar la amplitud espectral, esta señal podría ser en respuesta a posibles capas inclinadas a baja profundidad. Para el caso del gráfico 135200 (Bosques de Aculeo), la señal es plana, presentando razones espectrales de baja amplitud, en todas las frecuencias. Aunque la señal es bastante parecida a la respuesta de depósitos de grava, esta unidad no presenta ese tipo de sedimentos. Una interpretación de esta señal, podría ser la respuesta de un bajo contraste entre el basamento y los sedimentos, lo que podría traducirse en un nivel de sedimentos bastante compactados. En el gráfico 155800 la señal presenta dos picos en frecuencias entre 1,0 y 3,0 Hz aproximadamente.

Las señales (Figura 24) ubicadas en las **cercanías de la Falla Aculeo** (definida anteriormente, Figura 16), son todos correspondientes a la Unidad IIIa (gráficos: 151700, 144500, 144400), constituida principalmente por sedimentos de gravas angulosas en matriz areno-limosa asociadas a depósitos coluviales. Son señales bastante complejas. En el gráfico 144400 (Los Hornos) posee dos picos, uno en una frecuencia menor a 1,0 Hz y el otro, entre 1,0 y 2,0 Hz. El gráfico 144500 (Falla Aculeo) muestra un rango de frecuencias entre 0,5 y 5,0 Hz con razones espectrales de amplitud media. El gráfico 151700 (Alto Laguna) presenta en general una señal plana, pero cabe mencionar que en los 2,0 Hz esta señal tiene una amplitud media de las razones espectrales. Las dos últimas señales mencionadas, están relativamente cercana a afloramientos rocosos, sólo la señal de Los Hornos se encuentra en una zona alejada de ellos.

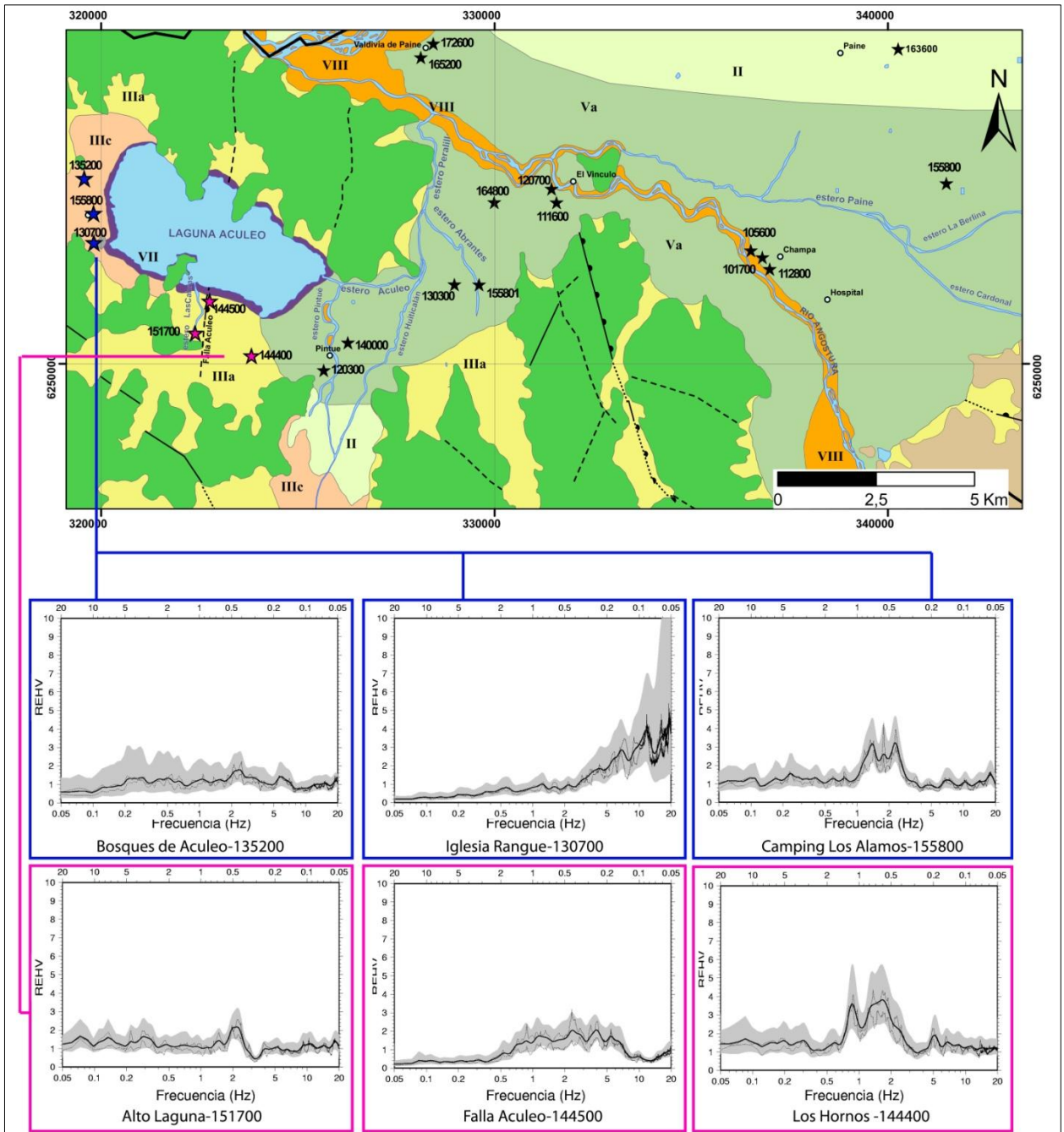


Figura 24. Mapa geológico amplificado, ubicación de mediciones Nakamura y gráficos razón H/V versus frecuencia de cada medición. Sector Rangue y cercanías a Falla Aculeo. (Leyenda del Mapa Geológico en Figura 16)

En relación al sector de **Pintué**, las mediciones (Figura 25) se ubican en la Unidad Va, correspondiente principalmente a depósitos aluviales constituidos principalmente por arenas y sedimentos finos. En esta zona se tiene además, un nivel freático bastante somero (< 5 m) (con evidencias de licuefacción para el terremoto 2010). La señal del gráfico 120300 (Carabineros Pintué) posee dos picos, uno en una frecuencia menor a 1,0 Hz y el otro, entre 1,0 y 2,0 Hz (muy similar a la señal de los gráficos: 155800 y 144400 descritos anteriormente). La señal 140000 (Camino laguna) presenta un rango de frecuencias desde los 0,5 hasta los 5,0 Hz, con amplitudes espectrales variables y poco claras como para individualizar alguna frecuencia predominante. Cabe mencionar la cercanía que presenta, la señal 120300, a los afloramientos rocosos.

Los gráficos correspondientes a la zona de **Abrantes** (Figura 25), están ubicados en la Unidad Va, correspondiente a depósitos aluviales constituidos principalmente por arenas y sedimentos finos, con niveles freáticos bastante someros (<5 m) (con evidencias de licuefacción para el terremoto 2010). El gráfico 130300 (Fundo Abrantes) es una señal compleja, con un rango de frecuencias desde los 0,5 hasta los 5,0 Hz, con amplitudes espectrales variables y distinguibles en los 0,5 Hz, entre 1,0 y 2,0 Hz, y en 5,0 Hz. El gráfico 155801 (Champiñones Abrantes) presenta tres picos en las frecuencias 0,5 Hz, entre 1,0 y 2,0 Hz, y en 5,0 Hz.

Respecto a la entrada de la cuenca de Aculeo, en la zona de **El Vínculo** y **camino a Peralillo** (Figura 25), también se ubican en la Unidad Va, correspondiente a depósitos aluviales constituidos principalmente por arenas y sedimentos finos, con niveles freáticos bastante someros (<5 m). En general estas señales (gráficos 164800, 120700, 111600) presentan tres picos en las frecuencias de 0,5 Hz, 2,0 Hz y 5,0 Hz, variando su amplitud espectral. El gráfico 111600 (El Vínculo) presenta un pico muy pronunciado en la frecuencia 5,0 Hz y dos muy leve en las frecuencias 0,5 Hz y entre 1,0 y 2,0 Hz, muy similar a la señal de Valdivia de Paine (Figura 24). El gráfico 120700 (Silos el Vínculo) muestra amplitudes medias entre las frecuencias 0,5 y 1,0 Hz, otra cercana a los 2,0 Hz y otra cercana a los 5,0 Hz. El gráfico 164800 (Camino a Peralillo) muestra tres picos en las frecuencias 0,5 Hz, 2,0 Hz y 5,0 Hz. Esta señal es muy similar a las señales de Champiñones Abrantes (gráfico 155801) y señales de Champa (gráficos 101700, 112800, 105600, Figura 23), variando sólo su amplitud espectral.

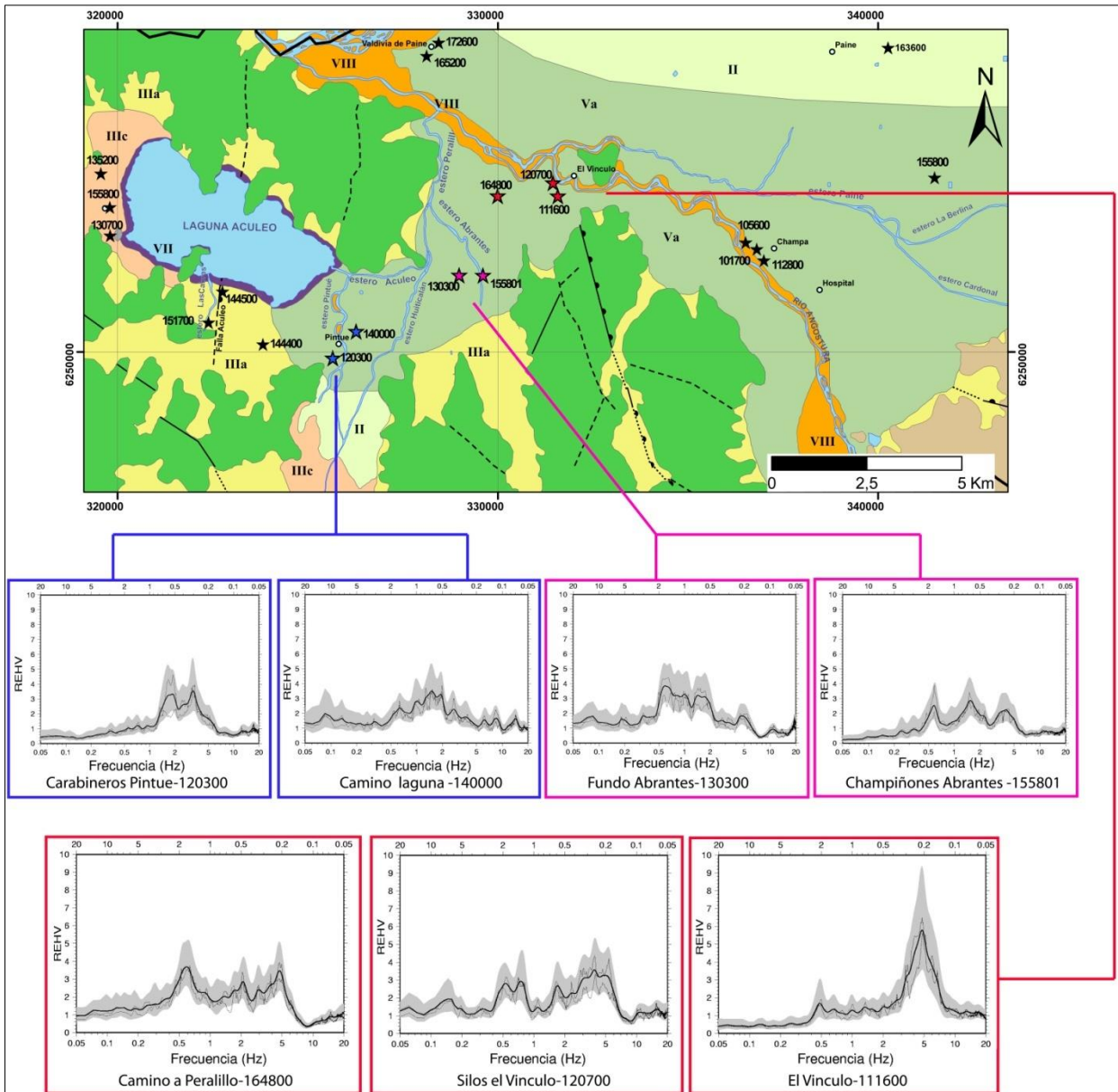


Figura 25. Mapa geológico amplificado, ubicación de mediciones Nakamura y gráficos razón H/V versus frecuencia de cada medición. Sector Pintué, Abrantes y el Vínculo. (Leyenda del Mapa Geológico en Figura 16)

En resumen, en la zona de estudio se distinguen tres dominios con diferentes tipos de señales:

(a) El primer dominio presentando una señal plana con ausencia de pico en todas las frecuencias analizadas (entre 0,05 y 20 Hz). Se puede encontrar en la Unidad II (gravas) y en la Unidad IIIc (sedimentos finos de zonas distales de conos de deyección).

(b) El segundo dominio correspondería a señales que muestran tres frecuencias fundamentales de 0,5; 2,0 y 5,0 Hz, presentando variaciones en la amplitud de las razones espectrales H/V según su ubicación. Por ejemplo en las localidades de Valdivia de Paine y El Vinculo la amplitud espectral en la frecuencia 5,0 Hz, es mucho más alta que la amplitud en la misma frecuencia, que de la localidad de Champa y de a la zona sur de Paine. Este dominio se encuentra en la Unidad Va (arenas y sedimentos finos).

(c) El tercer dominio estaría representado por frecuencias fundamentales entre 1,0 y 2,0 Hz con amplitud media en sus razones espectrales H/V. Presente en las unidades IIIa (gravas angulosas en matriz areno-limosa), IIIc (sedimentos finos de zonas distales de conos de deyección) y en un sector de la Unidad Va (arenas y sedimentos finos).

6. Zonificación Sísmica

Los resultados obtenidos y la relación entre las características geológicas, las mediciones Nakamura y los daños observados, permitieron definir zonas. Éstas indicarían la respuesta sísmica esperada de los suelos que las constituyen, frente a eventos sísmicos de gran magnitud.

La zonificación sísmica se realizó en las comunas de Buin y Paine, extendiendo el área lateral y longitudinalmente. Los resultados son mostrados en un mapa escala 1:200.000 (Figura 26).

En la Figura 26 se puede observar 4 zonas con diferente respuesta sísmica:

- **Zonas de Mala Respuesta Sísmica - suelos potencialmente licuables**
- **Zonas de Mala Respuesta Sísmica**
- **Zonas de Regular Respuesta Sísmica**
- **Zonas de Buena Respuesta Sísmica**

6.1. Zonas de Mala Respuesta Sísmica – suelos potencialmente licuables

Esta zona está definida por las unidades Va, VII y parte de la Unidad VIII. Estas unidades tienen en común la presencia de arenas y sedimentos finos. Esta zona se caracteriza además, por presentar un nivel freático a profundidades menores a 5 m. Estas características son propias de suelos donde ocurre fenómeno de licuefacción. Este fenómeno tuvo lugar, en particular, en localidades ubicadas en la Unidad Va. En la Unidad VII ocurrió también propagación lateral. A los suelos de algunas localidades, donde no ocurrió licuefacción ni propagación lateral, pero que presentan las mismas características geológicas que las que sí tuvieron, se les asignó el carácter de “potencialmente” licuables.

Según las medidas de intensidad MSK del terremoto del 2010 (Contreras, en preparación), se tienen grados correspondientes a 6,5 y 7,0 en todas las localidades ubicadas en esta zona. En relación a esto, es necesario mencionar que la escala MSK sólo comprende estadística de daños en viviendas, y no contempla daños relacionados a particularidades del terreno como lo es la licuefacción. Es así como en la localidad de Champa, Abrantes y Pintué no se ve reflejado, en esta intensidad, el daño particular que sufrieron. Si bien son las más altas de la zona de estudio (intensidades MSK 7,0; 7,0 y 6,5, respectivamente), la observación de los daños en terreno, dominó al clasificar esta zona como con mala respuesta sísmica. Fernández (2003), tiene clasificada esta zona para el terremoto de 1985, como de Muy Mala, Mala y Regular respuesta sísmica con intensidades 7,0; 8,0 y 8,5 en Culitrín, Valdivia de Paine y Pintué, respectivamente. Estas intensidades son mayores a las registradas para el terremoto del 2010, posiblemente debido a la cercanía del evento de 1985.

En esta zona, las señales de microvibraciones ambientales con el método de Nakamura, muestran resultados muy similares entre sí, con algunas variaciones atribuibles a efectos locales. En general, presentan tres frecuencias fundamentales correspondientes a 0,5; 2,0 y 5,0 Hz, con variaciones en la amplitud de la razón de espectros H/V. Asociándolas al dominio (b) definido anteriormente (Capítulo 5).

Si bien esta zona se trató principalmente por tener suelos potencialmente licuables, también representa una zona de mala respuesta sísmica, precisamente por presentar sedimentos finos y algunos no consolidados (Unidad VIII).

Es necesario destacar la importancia de la profundidad del nivel freático, el cual fue obtenido por el “Mapa de Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la cuenca de Santiago” (Iriarte, 2003) y se ve modificado cada año y en cada estación, producto de su estrecha relación con régimen de los cauces fluviales y de las precipitaciones anuales. Según

los antecedentes hidrológicos de la zona, sería posible asegurar un nivel mucho más somero en los meses de Diciembre y Enero, pero dependiendo de los factores antes mencionados, esta profundidad podría prolongarse por más meses.

6.2. Zonas de Mala Respuesta Sísmica

Esta zona está definida por las unidades geológicas IV y VIII, asignadas principalmente por el tipo de material que las constituye y por la respuesta sísmica establecida por Fernández (2003). En estas unidades no se realizaron mediciones de microvibraciones.

Los depósitos de cauces fluviales subactuales y actuales, definidos como Unidad VIII, son de baja compactación debido a la persistente actividad asociada al drenaje y la constante presencia de agua entre las partículas. La Unidad IV, asociada a depósitos de remoción en masa, posee un alto contenido de material fino presente en la matriz constituyente, que además es de carácter soportante.

La respuesta sísmica para la Unidad VIII está definida como Muy Mala y para los depósitos de remociones en masa (Unidad IV) como Regular Fernández (*op. cit.*). Adicionalmente, se destaca la aseveración de Astroza y Monge (1991) sobre que las mayores amplificaciones sísmicas se producen en los depósitos constituidos por suelos finos y en depósitos fluviales actuales poco consolidados.

6.3. Zonas de Regular Respuesta Sísmica

En esta zona se incluyen las unidades geológicas IIIa, IIIc, VI y parte sur de la Unidad Va. El comportamiento sísmico esperado para estas unidades es regular.

En la localidad de Rangue, ubicada en la Unidad IIIc, se tiene una intensidad sísmica MSK de 7,0 para el terremoto del 2010 (Contreras, en prep.) y de 8,0 para el terremoto de 1985 (Fernández, 2003). Estas intensidades son de las mayores registradas en las comunas de Buin y Paine. Fernández (*op. cit.*) también asignó una respuesta Regular para la Unidad IIIc en lo que corresponde a los sectores nacientes del estero Huiticalán y cerro Lonquén. Para la parte sur de la unidad Va, se tiene la medida MSK de Contreras (*op. cit.*) quien asignó a la localidad Águila Norte con 6.0, un grado de los más bajos de la zona. Para la Unidad IIIa sólo se tiene los antecedentes de Fernández (*op. cit.*), quien asignó a esta unidad de Regular respuesta sísmica. Para la Unidad VI, según el mismo autor, se tiene asignada con Mala respuesta sísmica.

Según los análisis de microvibraciones, la Unidad IIIc posee dos de los dominios (a) y (c). Para la Unidad IIIa, en su parte más distal, posee una señal correspondiente al dominio (c). A la zona sur de la Unidad Va, se le atribuyó el análisis de las mediciones correspondientes de

la Unidad Va en general, es decir al dominio (b) de tres frecuencias, ya que no se contaba con mediciones en esta zona en particular.

Fundamentalmente la atribución de las unidades geológicas a esta clasificación sísmica, se basa en la combinación de los análisis y antecedentes. De esta forma, las unidades geológicas asignadas a esta zona, presentan intensidades MSK altas y bajas, y señales en los tres dominios. Sin duda, las unidades IIIc (sedimentos finos distales de conos de deyección), IIIa (depósitos coluviales), VI (ceniza) y Va (arenas y sedimentos finos) son depósitos sedimentarios complejos que presentan una gran variabilidad en su composición y resultados heterogéneos en sus intensidades MSK y mediciones Nakamura, lo que no asegura una buena respuesta sísmica.

6.4. Zonas de Buena Respuesta Sísmica

En esta clasificación se incluye únicamente la Unidad II, correspondiente a depósitos de grava. Para esta unidad geológica, los antecedentes y análisis de microvibraciones se correlacionan bastante bien, evidenciando la buena respuesta sísmica de estos depósitos.

La mayoría de las localidades ubicadas en esta unidad presentaron valores MSK de 6,0 y 6,5 para el terremoto del 2010 (Contreras, en prep.) y de 7,0 y 7,5 para el terremoto de 1985 (Fernández, 2003), considerados las más bajas de la zona para ambos terremotos. Según Fernández (*op. cit.*) esta zona posee una Buena respuesta sísmica.

Según el análisis de microvibraciones, en la zona de estudio esta unidad se presenta con una señal plana, típica de la señal encontrada en mediciones Nakamura en gravas (por ejemplo Leyton *et al.*, 2010). Se espera en esta unidad una baja amplificación sísmica, asociada a una Buena respuesta sísmica durante eventos mayores.

Es necesario mencionar que la respuesta sísmica del basamento rocoso se considera como buena, sin embargo esta clasificación involucra sólo depósitos del relleno sedimentario, por lo que no se incluyó en la zonificación final.

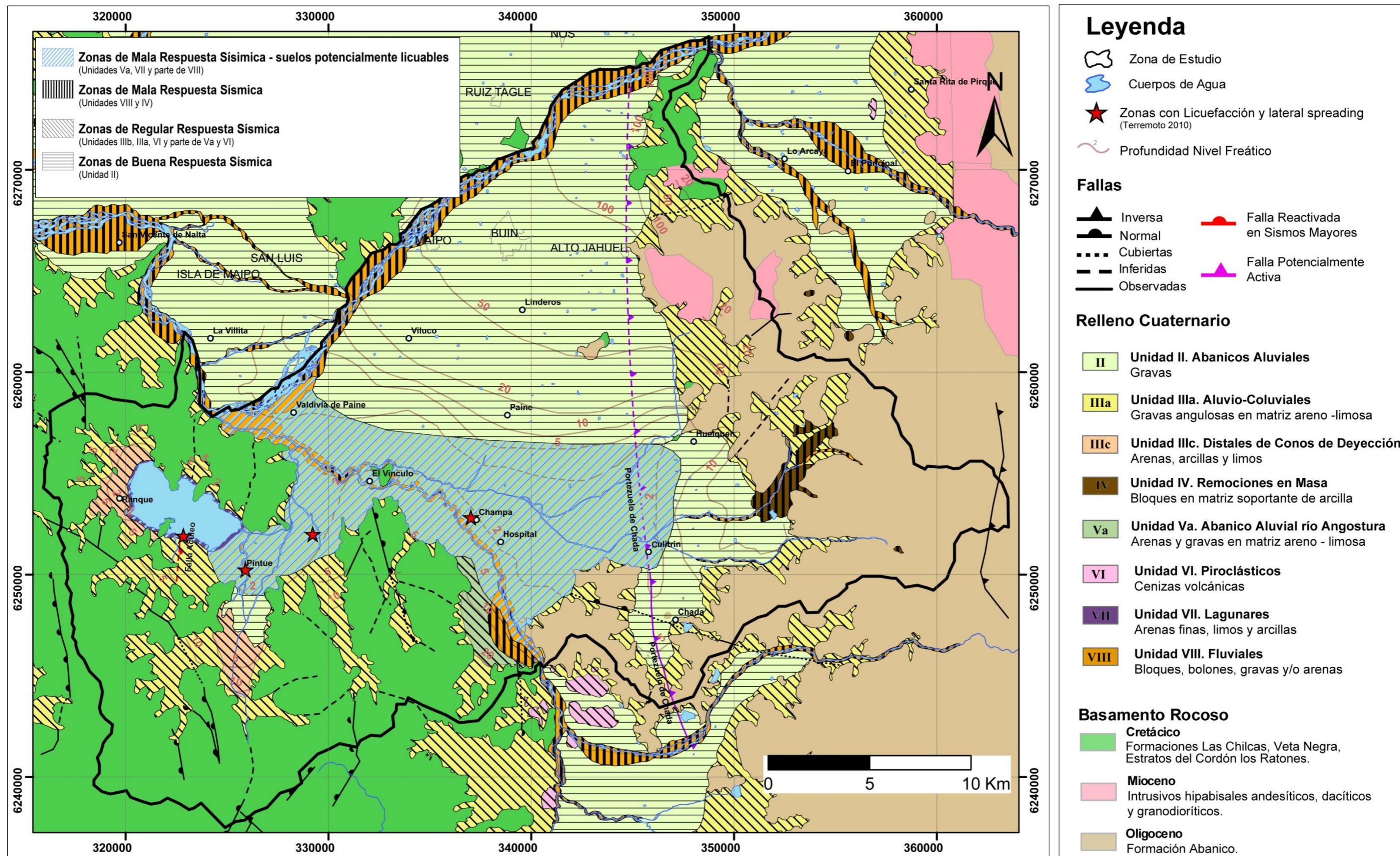


Figura 26. Mapa de zonificación sísmica del área de estudio, basado la respuesta sísmica de los depósitos del relleno sedimentario según características geológicas, mediciones de microvibraciones ambientales Nakamura y antecedentes sísmicos.

7. Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados obtenidos en las comunas de Buin y Paine evidencian una correlación bastante coherente entre las características geológicas, los daños asociados a terremotos de gran magnitud y la medición de microvibraciones ambientales.

El área de estudio posee depósitos principalmente de origen aluvial, fluvial y coluvial, constituidos mayoritariamente por gravas y bloques en matriz areno-limo-arcillosa, con variaciones en su porcentaje, espesor y granulometría. Las unidades geológicas definidas en este trabajo corresponden a:

Unidad	Clasificación Geológica del Relleno Cuaternario de la zona sur de Santiago
Unidad II	Gravas. Asociada a depósitos de abanicos aluviales.
Unidad IIIa	Gravas angulosas en matriz areno – arcillosa. Asociada a depósitos aluvio – coluviales.
Unidad IIIc	Arenas, arcillas y limos. Asociada a depósitos distales de conos de deyección.
Unidad IV	Bloques en matriz soportante de arcilla. Asociada a depósitos de remoción en masa.
Unidad Va	Arenas y gravas en matriz areno – limosa y sedimentos finos. Asociada a depósitos del abanico aluvial del río Angostura.
Unidad VI	Ceniza volcánica. Asociada a depósitos piroclásticos.
Unidad VII	Arenas finas, limos y arcillas. Asociada a depósitos lagunares.
Unidad VIII	Bloques, bolones, gravas y/o arenas, no consolidados. Asociada a depósitos fluviales.

La zona de estudio presenta dos áreas de particular interés, la primera representando la zona de descarga del acuífero principal (franja Valdivia de Paine-Hospital) que, además de presentar un nivel freático bastante somero, posee depósitos asociados principalmente a

arenas y sedimentos finos. La segunda está asociada a la microcuenca de la laguna de Aculeo donde se infiere un basamento rocoso a poca profundidad, es decir, un relleno sedimentario de espesor delgado.

El pasado terremoto del 27 de Febrero del 2010 afectó la zona de estudio generando severos daños en construcciones y obras civiles, incluyendo la aparición de estructuras en depósitos del relleno cuaternario. Los daños más graves ocurrieron en las localidades de Valdivia de Paine, Champa, Abrantes, Pintué y Rangue. Estas tres últimas los daños estuvieron relacionados al fenómeno de licuefacción, el cual se presentó con asentamientos en construcciones, flotación de cuerpos enterrados, grietas sin orientación ni desplazamiento asociado y expulsión de agua. Este fenómeno tuvo lugar particularmente en depósitos con un nivel freático somero (<2 m) y constituidos por arenas. Aparte de las estructuras asociadas a licuefacción, se generaron estructuras en depósitos cuaternarios con orientación y desplazamiento asociado, clasificándolas como fallas reactivadas durante sismos mayores aparentemente sin sismicidad (Falla Naltagua, Falla Aculeo).

Las intensidades del terremoto del 2010 tuvieron como máximo grado el valor 7,0 en las localidades de Rangue, Abrantes, Valdivia de Paine y Champa; y como mínimo grado el valor 6,0 en las localidades de 24 de Abril, Chada, El Tránsito, Viluco, El Rulo, Cerrillo y Águila Norte. En el resto de las localidades (Paine, Alto Jahuel, Maipo, Buin, Linderos, Pintué, Hospital, Culitrín, Huelquén, El Escorial) las intensidades alcanzaron a 6,5. Estas intensidades son menores a las registradas en la zona para el terremoto de marzo de 1985, evidenciando la influencia de la magnitud y de la distancia del evento en la respuesta sísmica. Sin embargo, las mayores intensidades registradas el 2010 coincidieron en su ubicación, con las mayores intensidades de 1985, como sucede también con las intensidades mínimas.

Cabe mencionar que la intensidad MSK no fue suficiente para determinar el real daño observado, ya que sólo considera estadística en edificaciones, haciéndose indispensable la observación en terreno para conocer estructuras y fenómenos propios del suelo generados por terremotos de gran intensidad. Es así como el fenómeno de licuefacción y sus efectos, no fueron evidenciados por la intensidad MSK.

Los resultados de las mediciones de microvibraciones ambientales, según el método de Nakamura, permitieron distinguir tres dominios de señales:

- a) El primero presentando una señal plana con ausencia de pico, ligada a los depósitos de grava (Unidad II) y a los sedimentos finos de las zonas distales de conos de deyección (Unidad IIIc).
- b) El segundo dominio correspondería a tres frecuencias fundamentales de 0,5; 2,0 y 5,0 Hz, presentando variaciones en la amplitud de las razones espectrales H/V según su ubicación, asociadas a depósitos de arenas y gravas en matriz areno – limosa (Unidad Va).
- c) El tercer dominio estaría representado por frecuencias fundamentales entre 1,0 y 2,0 Hz de amplitud media, encontradas principalmente en los depósitos del oriente y del sur de la laguna de Aculeo, correspondiente a gravas angulosas en matriz areno – limosa (Unidad IIIa), a sedimentos finos de las zonas distales de conos de deyección (Unidad IIIc) y a depósitos de arenas y gravas en matriz areno – limosa (Unidad Va).

La medición de microvibraciones ambientales proporcionó información fundamental para el estudio de respuesta sísmica de los depósitos. Sin embargo, algunos de los resultados mostraron señales complejas y su análisis fue limitado. Estos resultados fueron principalmente pertenecientes a la zona de la microcuenca de la laguna de Aculeo y alrededores. Por otra parte, el método de Nakamura no es capaz de mostrar los depósitos ubicados a más de 80 m de profundidad. Esto se estimó debido a que, en los depósitos de gravas de la Unidad II a más de 80 m se encuentra un depósito de material exclusivamente de sedimentos finos con una potencia de 300 m aprox. (unidad hidrogeológica definida como Unidad C por Morales (2002)), el cual no se refleja con frecuencias fundamentales menores a 1 Hz, en señales asociadas a esta unidad geológica.

Los resultados anteriores permitieron definir cuatro zonas según sus características geológicas, medidas de microvibraciones ambientales y daños por terremotos. Estas zonas sugieren la respuesta sísmica esperada de los suelos frente a un evento de gran magnitud.

- **Zona de buena respuesta sísmica** involucra a todos los depósitos compuestos principalmente por gravas (Unidad II), con señal Nakamura plana, correspondiente al dominio (a) y sin daños severos.
- **Zona de regular respuesta sísmica** incluye principalmente a los depósitos coluviales compuestos por bloques en matriz limo-arcillosa (Unidad IIIa) y a los depósitos de ceniza (Unidad VI). Los depósitos coluviales presentaron una variedad de resultados de microvibraciones mostrando: señal plana del tipo (a), frecuencias entre 1,0 y 2,0 Hz relacionadas a las señales tipo (c). El daño asociado se aprecia relativamente bajo.
- **Zona de mala respuesta sísmica** se ubica en depósitos fluviales compuestos por bolones, bloques, arenas, gravas (Unidad VIII) y en depósitos de remociones en masa compuestos por gravas angulares en matriz soportante arcillosa (Unidad IV).
- **Zona de mala respuesta sísmica - suelos potencialmente licuables** está constituida principalmente por depósitos aluviales y lacustres, compuestos por arenas, gravas y sedimentos finos (Unidades Va y VII). Presenta un nivel freático menor a 5 m. Las señales de microvibraciones corresponden al dominio (b) con tres frecuencias fundamentales en 0,5; 2,0 y 5,0 Hz. El daño asociado es severo, presentando en algunas localidades el fenómeno de licuefacción.

Aunque se ha podido llegar a una interpretación coherente y a una correlación con los daños y tipo de sedimentos, para un análisis más exhaustivo y en detalle, es necesario generar mayor cantidad de mediciones (sobre todo en las zonas que presentan más de un pico), conocer en detalle la profundidad del basamento rocoso (estudios gravimétricos y geofísicos) y mejorar la calidad y cantidad de la estratigrafía de pozos en el área de estudio.

En conclusión es necesario destacar la importancia de conocer en detalle la profundidad del nivel freático, ya que representa un factor condicionante para el fenómeno de licuefacción ante un sismo de gran intensidad. En la zona en particular, la licuefacción en ciertas áreas pudo haber estado gatillada fundamentalmente por la larga duración del terremoto.

Finalmente, como recomendación a las autoridades de planificación territorial se sugiere el uso agrícola para los terrenos potencialmente licuables en estas comunas por sobre el uso urbano, ya que en un próximo evento de similares características al ocurrido el 27 de febrero del 2010, la población estaría expuesta a un alto peligro de licuefacción.

8. Referencias

Aguirre, L., 1960. Geología de los Andes de Chile central. Boletín N°9. Instituto de investigaciones Geológicas (IIG), Santiago, 70 pp.

Alfaro, A., 1997. Estimación de los períodos predominantes de los suelos de Barcelona a partir de *microterremots*. Tesis de Master. Universidad Politécnica de Catalunya. España.

Araneda, M., Avendaño, M., Merlo, C., 2000. Modelo gravimétrico de la cuenca de Santiago, Etapa III Final. IX Congreso Geológico Chileno, 2, 404-408.

Arriagada, C., Arancibia, G., Cembrano, J., Martínez, F., Carrizo, D., Van Sint Jan, M., Sáez, E., González, G., Rebolledo, S., Sepúlveda, S., Contreras, E., Jensen, E., Yañez, G., 2011. Nature and tectonic significance of co-seismic structures associated with the Mw 8.8 Maule earthquake, central-southern Chile forearc. *Journal of Structural Geology*.

Ayala Cabrera y Asociados Ltda. 2000. Modelo de Simulación Hidrogeológico Operacional cuencas de los ríos Maipo y Mapocho. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

Astroza, M., Monge, J., 1989. Metodología para determinar el grado de intensidad a partir de los daños. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

Astroza, M., Monge, J., 1991. Seismic microzones in the city of Santiago. Relation damage-geological unit. Proceedings Fourth International Conference on Seismic Zonation, Stanford, California, August, vol. III, pp5595-601.

Barrientos, S., 2010. Terremoto Cauquenes 27 Febrero 2010. Informe técnico actualizado 27 Mayo 2010. Servicio Sismológico. Universidad de Chile.

Carrizo, D., 2009. Presentación de Proceso de Subducción y Ciclo Sísmico. Curso Geodinámica del margen Chileno, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.

Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción, 2004. Establecimiento de un ordenamiento territorial orientado a la protección y uso sustentable del área del Cordón de Cantillana. Informe Final.

Cisternas, M., Torrejón, F., Gorioitía, N., 2011. El terremoto de Santiago del 7 de agosto de 1580. Segundo Simposio de Historia de la Geología. Sociedad Geológica de Chile.

Contreras, J., en preparación. Estudio de los efectos del terremoto del 27 de febrero de 2010 en la zona de las comunas de Buin y Paine de la Región Metropolitana. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.

Departamento de Administración de Recursos Hídricos. 2002. Informe de Zonificación Hidrogeológica para las regiones Metropolitana y V.S.D.T. N°133. Dirección General de Aguas. Santiago.

Falcón, E., Sánchez, J., 1967. Estudio hidrogeológico del revenimiento periódico de los terrenos del área Viluco, Paine, Valdivia de Paine, Provincia de Santiago. Documento Inédito. Instituto de Investigaciones Geológicas.

Farías, M., 2007. Tectónica y erosión en evolución de los Andes Centrales del neógeno. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias, mención Geología. Universidad de Chile.

Fernández, J.C., Milovic J. J., 2000. Unidades Geoambientales de la Cuenca de Santiago. IX Congreso Geológico Chileno, 1, 42-46.

Fernández, J. 2003, Respuesta sísmica de la cuenca de Santiago, Región Metropolitana. Escala 1:100.000. Carta Geológica de Chile N°1.

Fock, A., 2005. Geocronología y tectónica del Neógeno entre los 33 y 34°. Tesis para optar al grado de Magister en ciencias, mención Geología. Universidad de Chile.

Garduño, M., Arreigue, S., Chiesa, L., Israde A., Rodriguez T., Ayala, G. 1998. Las fallas geológicas y sísmicas de la ciudad de Morelia y su influencia en la amplificación del territorio. Ingeniería civil, Vol. 1. No5. P.3-12. México.

González, V., en preparación. Daños geotécnicos en puentes a raíz del terremoto del 27/02/2010. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería Geotécnica, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago.

Ilustre Municipalidad de Paine. 2009. Estudios de Riesgos y Protección Ambiental, Plan Regulador Comunal de Paine.

Ilustre Municipalidad de Paine, 2010. Informe Técnico de Obras. Efectos producidos por terremoto. Proyecto Ampliación escuela Elías Sánchez Ortúzar, Champa. Dirección de Obras Municipales.

Iriarte, S., 2003. Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la cuenca de Santiago, Región Metropolitana de Santiago. Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería.

Jorquera, E. 2008. Estimación del Peligro Sísmico en la Zona Andina de Chile Central. Tesis, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago.

Kramer, S., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. University of Washington. Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics.

Lagos, J. 2003. Ignimbrita Pudahuel: caracterización geológico-geotécnica orientada a su respuesta sísmica. Tesis, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago.

Leyton, F., Sepúlveda, S., Astroza, M., Rebolledo, S., González, L., Ruiz, R., Foncea, C., Herrera, M., Lavado, J., 2010. Zonificación sísmica de la cuenca de Santiago, Chile. 10mo Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica.

Nakamura, Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of surface using microtremor on the ground surface. Qr of R.T. r., 30-1.

Macau, A., Figueras, S., Susana, T., Cirés, J., Colas, B., González, M. 2006. Microzonificación sísmica de dos valles Pirenaicos: Andorra y la Cerdanya. 5ta Asamblea hispano-portuguesa de geodesia y geofísica. Sevilla. España

Martín, L., 2009. Escala Macrosísmica Europea 1998. Ministere de la Culture, de L'Enseignement superieur et de la recherche. Conseil de l'Europe. Edición española.

Milovic, J., 2000. Estudio geológico ambiental para el ordenamiento territorial de la mitad sur de la cuenca de Santiago. Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción.

Molina, J., 2011. Intensidades sísmicas del terremoto del 27 de febrero del 2010 en 34 comunas del Gran Santiago. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil.

Morales, F., 2002. Definición de Acuíferos en la cuenca del río Maipo. Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Pastén, C. 2007. Respuesta sísmica de la Cuenca de Santiago. Tesis para optar al título de Magister en Ciencias de la Ingeniería Geotécnica, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago.

Rodríguez, M. 2005. Caracterización de la Respuesta Sísmica de los Suelos. Aplicación a la ciudad de Barcelona. Minor Thesis, Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Ruz & Vukasovic Ingenieros Asociados Ltda. 2010. Informe de Mecánica de suelos. Reparación escuela Elías Sánchez Ortúzar, Champa, Comuna de Paine, Región Metropolitana. Ilustre Municipalidad de Paine.

Sabaj, R., 2008, Identificación y caracterización de estructuras potencialmente activas en la Cordillera de la Costa entre los 33° y 33°45'S. Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento de Geología. Universidad de Chile.

Sellés, D., Gana, P., 2001. Geología del área de Talagante-San Francisco de Mostazal, regiones Metropolitana y Libertador General Bernardo O'Higgins. Carta Geológica de Chile N°74, Subdirección Nacional de Geología, Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapa escala 1:100.000.

Stern, Ch., Amini, H., Charrier, R., Godoy, E., Hervé, F., Varela, J., 1984. Petrochemistry and age of rhyolitic pyroclastic flows which occur along the drainage valleys of the río Maipo and río Cachapoal (Chile) and the río Yaucha and río Papagayos (Argentina). Revista Geológica de Chile, N°23, pp. 39-52.

Thiele, R., 1980. Hoja Santiago. Carta Geológica de Chile N°39, Escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago. 21 pp.

Thomas, H., 1958. Geología de la Cordillera de la Costa entre el valle de La Ligua y la cuesta Barriga. Instituto de Investigaciones Geológicas; Boletín N°2, 86 pp.

Venegas, M., 2006. Amenaza fluvial y viabilidad geográfica de un sistema de explotación de áridos para el manejo estructural de los cauces fluviales en el área de Paine, Comuna de Buin. Memoria para optar al título de Geógrafo. Escuela de Geografía, Universidad de Chile.

Verdugo, R., 2006. Dinámica de suelos – Amplificación Sísmica. Ciclo de Conferencias. Geomecánica Computacional. Universidad Católica de Valparaíso.

ANEXO I

Fotografías



Fotografía 1. Depósito de terraza fluvial del río Maipo, ubicada al norte de Buin. Fotografía orientada hacia el sur. Diferencia textural entre matriz arenosa y matriz cenicienta (más compacta).



Fotografía 2. Nivel superior del depósito de terraza fluvial del río Maipo. Fragmentos angulosos y menores a 10 cm, en matriz soportante de ceniza y fragmentos pómez. Fotografía orientada hacia el oeste.



Fotografía 3. Falla en depósitos cuaternarios, denominada como Falla Aculeo y caracterizada como normal de componente sinistral, subvertical con rumbo aproximado NS, largo aproximado 500 m. Fotografía orientada hacia el norte. (Fotografía: Sofía Rebolledo).



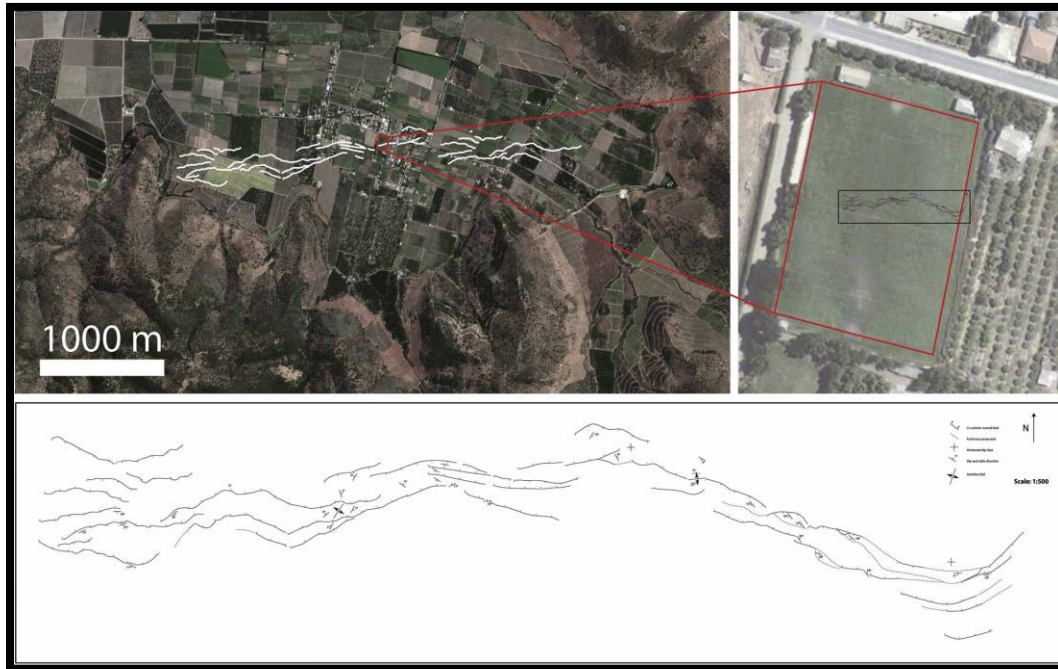
Fotografía 4. Falla en depósitos cuaternarios, denominada como Falla Aculeo y caracterizada como normal de componente sinistral, subvertical con rumbo aproximado NS, largo aproximado 500 m. Fotografía orientada hacia el sur. (Fotografía: Sofía Rebolledo).



Fotografía 5. Falla en depósitos cuaternarios, denominada como Falla de Naltagua, caracterizada como normal, de orientación EW, 1,5 m de ancho y 50 cm de profundidad. (Fotografía: Sofía Rebolledo)



Fotografía 6. Falla en depósitos cuaternarios, denominada como Falla de Naltagua, caracterizada como normal, de orientación EW, 1,5 m de ancho y 50 cm de profundidad. Fotografía orientada hacia el este. (Fotografía: Sofía Rebolledo).



Fotografía 7. Vista superior de la Falla de Naltagua. Falla en depósitos cuaternarios, caracterizada como normal, de orientación EW, 1,5 m de ancho y 50 cm de profundidad. (Fotografía: Arriagada et al. (2011).



**PABELLON EXISTENTE FACHADA NORTE
PASO GRIETAS EN TERRENO**

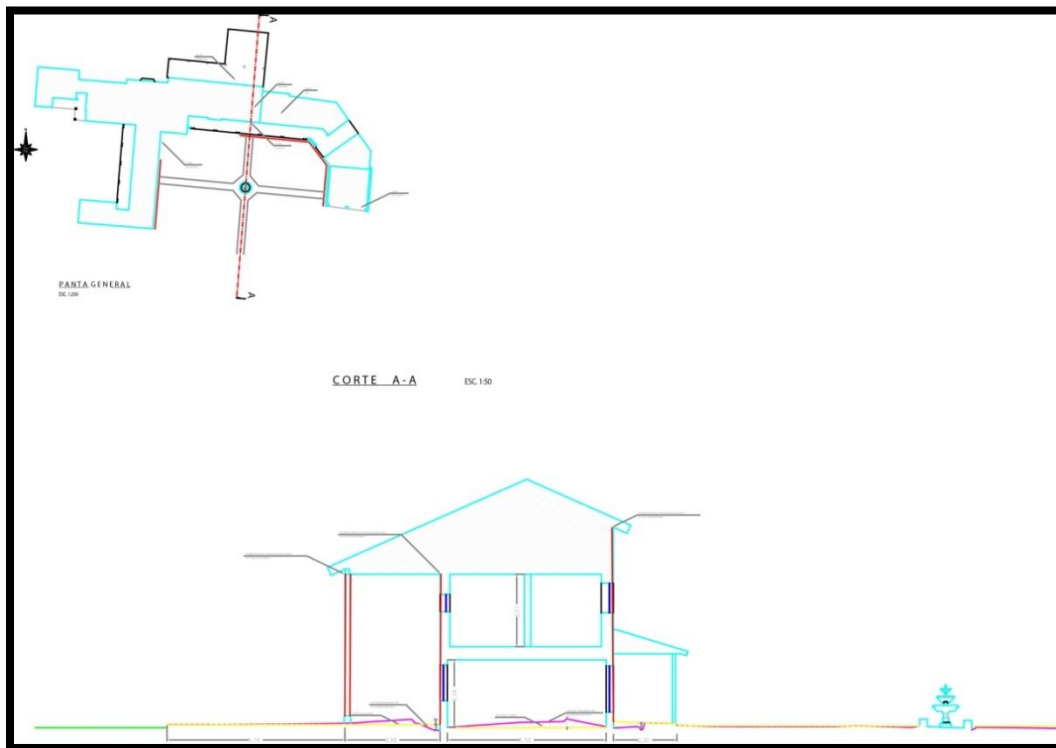


GRIETAS EN TERRENO

Fotografía 8. Grietas en la escuela Elías Sánchez Ortúzar, Champa. (Fotografías: Ilustre Municipalidad de Paine, Departamento de Obras, 2010).



Fotografía 9. Grietas generadas por el terremoto del 2010. Camino principal, Pintué. (Fotografías a más de 1 año ocurrido el terremoto 2010)



Fotografía 10. Plano de casa al sur de la fábrica de Champiñones Abrantes evidenciando asentamiento. La casa fue afectada por grietas generadas por el terremoto del 2010 en depósitos cuaternarios. (Plano: Departamento de Obras, Ilustre Municipalidad de Buin, 2010)



Fotografía 11. Estructura generada por el terremoto 2010 ubicada al norte de la entrada de Alto Laguna, con espaciamiento de 30 cm y profundidades de hasta 1 m, correspondiente a "lateral spreading". Fotografía orientada hacia el oeste, paralela a la orilla de la laguna, distanciada por 5 m aprox. de esta.



Fotografía 12. Estructuras generadas por el terremoto 2010 ubicadas al norte de la entrada de Alto Laguna, con espaciamiento de 30 cm y profundidades de hasta 1 m, correspondiente a "lateral spreading". Fotografía orientada hacia el suroeste.



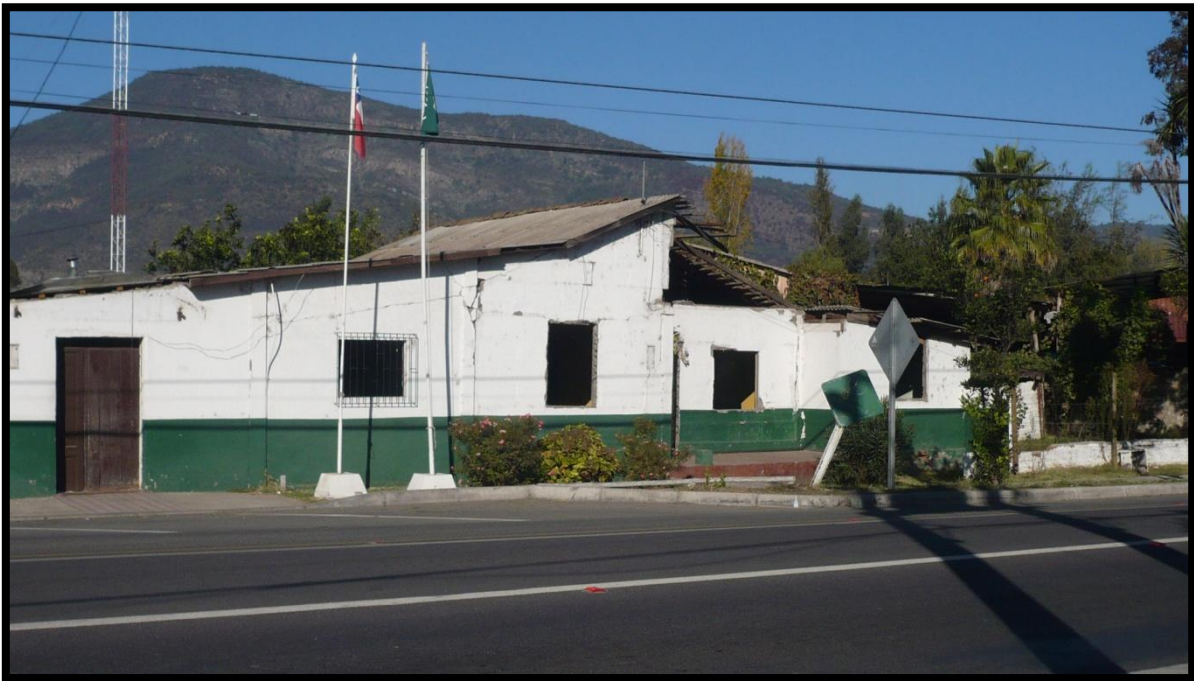
Fotografía 13. Grietas que atravesaron el frontis sur de la Escuela Elías Sánchez Ortúzar en Champa.
(Fotografía: Javiera González)



Fotografía 14. División de uno de los pabellones de la edificación existente, generado en el terremoto 2010.
Asentamiento de la edificación. Escuela Elías Sánchez Ortúzar, Champa.



Fotografía 15. Daño severo en salas y pabellón de la Escuela Elías Sánchez Ortúzar, Champa, generado por el terremoto 2010. Vista norte del pabellón afectado por las grietas.



Fotografía 16. Cuartel de Carabineros de Chile en Champa, afectado por el terremoto 2010. Totalmente inutilizable.



Fotografía 17. Bomberos de la localidad de Champa, afectados por grietas en murallas y suelo, generadas por el terremoto del 2010.



Fotografía 18. Fotografía de dos columnas de adorno de la entrada a los champiñones Abrantes. Una de las columnas quedó sin la esfera de cemento producto del terremoto del 2010.



Fotografía 19. Alambrado público frente a la empresa de champiñones Abrantes, inclinados por el terremoto del 2010.



Fotografía 20. Entrada de la capilla de Abrantes, asentamiento de la estructura. A la fecha, (2011) todavía se puede observar la presencia de agua en superficie. (Fotografía: Javiera González)



Fotografía 21. Estructura en la muralla de la capilla de Abrantes, a mayor detalle se puede observar que el nivel izquierdo descendió producto del asentamiento de la edificación. (Fotografía: Javiera González).



Fotografía 22. Interior de la capilla de Abrantes, el daño observado corresponde a la emersión del piso producto del asentamiento de la edificación. (Fotografía: Javiera González).



Fotografía 23. Daño y asentamiento producto del terremoto del 2010, en una casa cercana la capilla de Abrantes. (Fotografía: Javiera González).



Fotografía 24. Asentamiento en una casa cercana la capilla de Abrantes, producto del terremoto del 2010. (Fotografía: Javiera González).



Fotografía 25. Emersión del piso en casa cercana la capilla de Abrantes, producto del asentamiento generado por el terremoto del 2010. (Fotografía: Javiera González)



Fotografía 26. Asentamiento producto de grietas generadas por el terremoto del 2010, en casa patronal cercana a la empresa de Champiñones Abrantes. (Fotografía: Ilustre Municipalidad de Buin).



Fotografía 27. Asentamiento interior de casa patronal, cercana a la empresa de Champiñones Abrantes, generado por el terremoto del 2010. (Fotografía: Ilustre Municipalidad de Buin).



Fotografía 28. Negocio aledaño a la iglesia de Pintué. Total destrucción post terremoto del 2010. (Fuente: Panoramio.com).



Fotografía 29. Comisaría de Carabineros de Chile en Pintué. Total destrucción debido al terremoto del 2010. (Fuente: Panoramio.com).



Fotografía 30. Casa en Pintué. Total destrucción debido al terremoto del 2010. (Fuente: Panoramio.com)



Fotografía 31. Casa aledaña a la comisaria de Carabineros de Pintué, la cual sufrió asentamiento debido al terremoto del 2010.



Fotografía 32. Casa patronal frente a comisaria de Carabineros en Pintué. Bastante dañadas producto del terremoto del 2010.



Fotografía 33. Casa de Valdivia de Paine. (Fuente: valdiviadepaine.es.tl)



Fotografía 34. Casa de albañilería dañada por el terremoto del 2010, en Valdivia de Paine. (Fuente: valdiviadepaine.es.tl)



Fotografía 35. Monumentos Históricos Nacionales de Rangue, construcciones de adobe antes del terremoto 2010, Capilla de Rangue y Casa Esquina de Rangue (Fuente: Panoramio.com)



Fotografía 36. Monumentos Históricos de Rangue, construcciones de adobe después del terremoto 2010, Capilla de Rangue y Casa esquina de Rangue, con daños severos en sus estructuras.

ANEXO II

Mediciones Nakamura

Nombre Punto	Coordenada S	Coordenada W	Fecha	Nombre ilustración	Comuna
Gravas del Maipo	340316	6270254	6 -Abril-2010	Ilustración 1.112900	Buin
Abanico sur estero El Escorial	350837	6252480	6 -Abril-2010	Ilustración 2.133600	Paine
Oeste del Abanico sur estero El Escorial	348611	6252566	6 -Abril-2010	Ilustración 3.141200	Paine
Huelquén	347959	6255502	6 -Abril-2010	Ilustración 4.145100	Paine
Lacustres	341344	6254468	6 -Abril-2010	Ilustración 5.155800	Paine
Gravas de Paine	340269	6258001	6 -Abril-2010	Ilustración 6.163600	Paine
Escuela Champa	336935	6252549	2 -Mayo-2010	Ilustración 7.101700	Paine
Parcela El Vinculo	331580	6254102	2 -Mayo-2010	Ilustración 8.111600	Paine
Carabineros Pintué	325663	6249835	2 -Mayo-2010	Ilustración 9.120300	Paine
Capilla Rangue	319806	6253062	2 -Mayo-2010	Ilustración 10.130700	Paine
Entrada Condominio Bosques de Aculeo	319565	6254690	2 -Mayo-2010	Ilustración 11.135200	Paine
Zona de Falla Aculeo	322761	6251585	2 -Mayo-2010	Ilustración 12.144500	Paine
Champiñones Abrantes	329609	6252011	2 -Mayo-2010	Ilustración 13.155800	Paine
Plaza Valdivia de Paine	328136	6257782	2 -Mayo-2010	Ilustración 14.165200	Buin
Calera de Tango	334213	6278824	2 -Mayo-2010	Ilustración 15.200100	Calera de Tango
Villa de Champa	336518	6252879	18 -Mayo-2010	Ilustración 16.105600	Paine
Carabineros de Champa	336888	6252492	18 -Mayo-2010	Ilustración 17.112800	Paine
Silos del Vinculo	331450	6254446	18 -Mayo-2010	Ilustración 18.120700	Paine
Casa lugareño Javier Fernández	328981	6252014	18 -Mayo-2010	Ilustración 19.130300	Paine
Camino a Laguna Aculeo	326271	6250538	18 -Mayo-2010	Ilustración 20.140000	Paine
Cafetería Los Hornos	323822	6250197	18 -Mayo-2010	Ilustración 21.144400	Paine
Entrada Alto Laguna	322391	6250775	18 -Mayo-2010	Ilustración 22.151700	Paine
Camping Los Álamos	319794	6253805	18 -Mayo-2010	Ilustración 23.155800	Paine
Camino a Peralillo	329993	6254104	18 -Mayo-2010	Ilustración 24.164800	Paine
Valdivia de Paine	328444	6258138	18 -Mayo-2010	Ilustración 25.172600	Buin
Iglesia de Maipo	335003	6266042	18 -Mayo-2010	Ilustración 26.183400	Buin

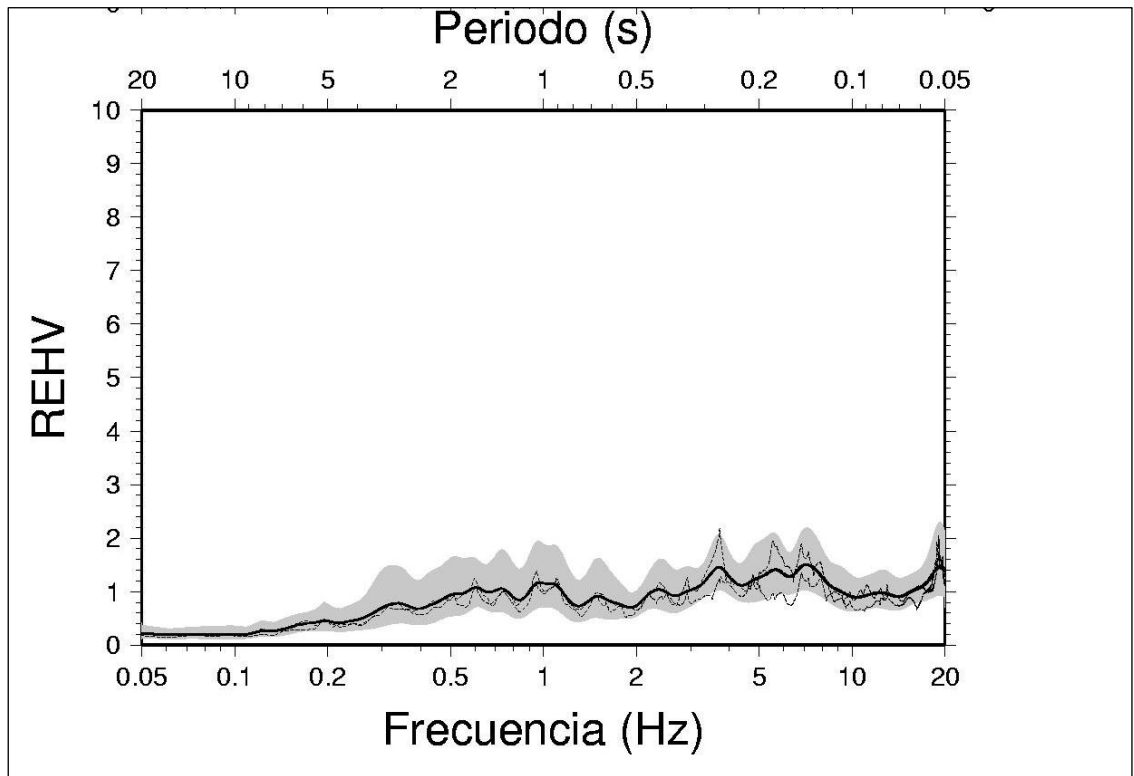


Ilustración 1.112900

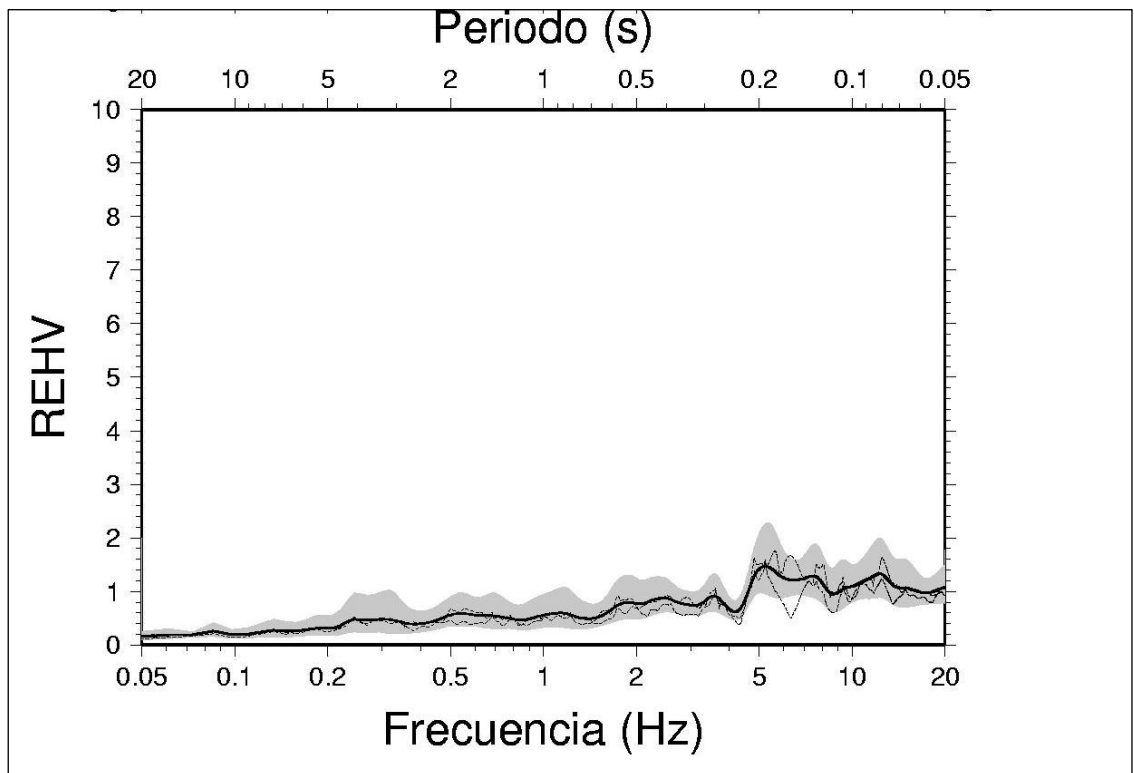


Ilustración 2. 133600

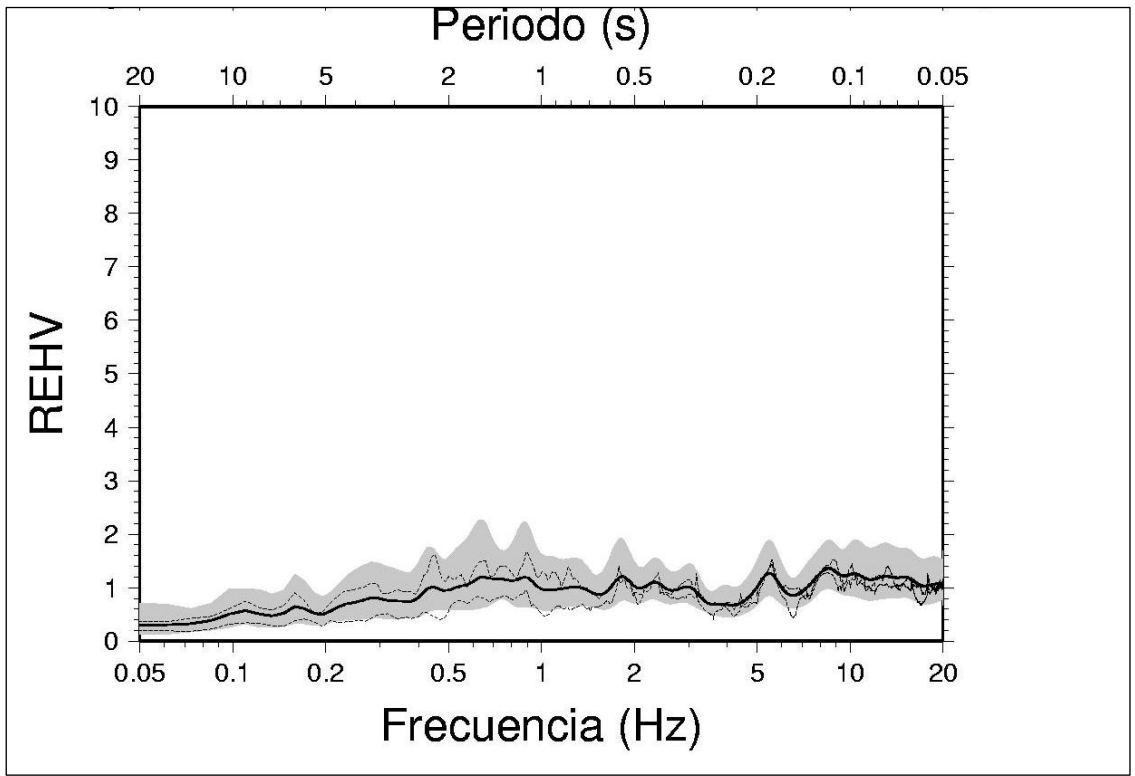


Ilustración 3. 141200

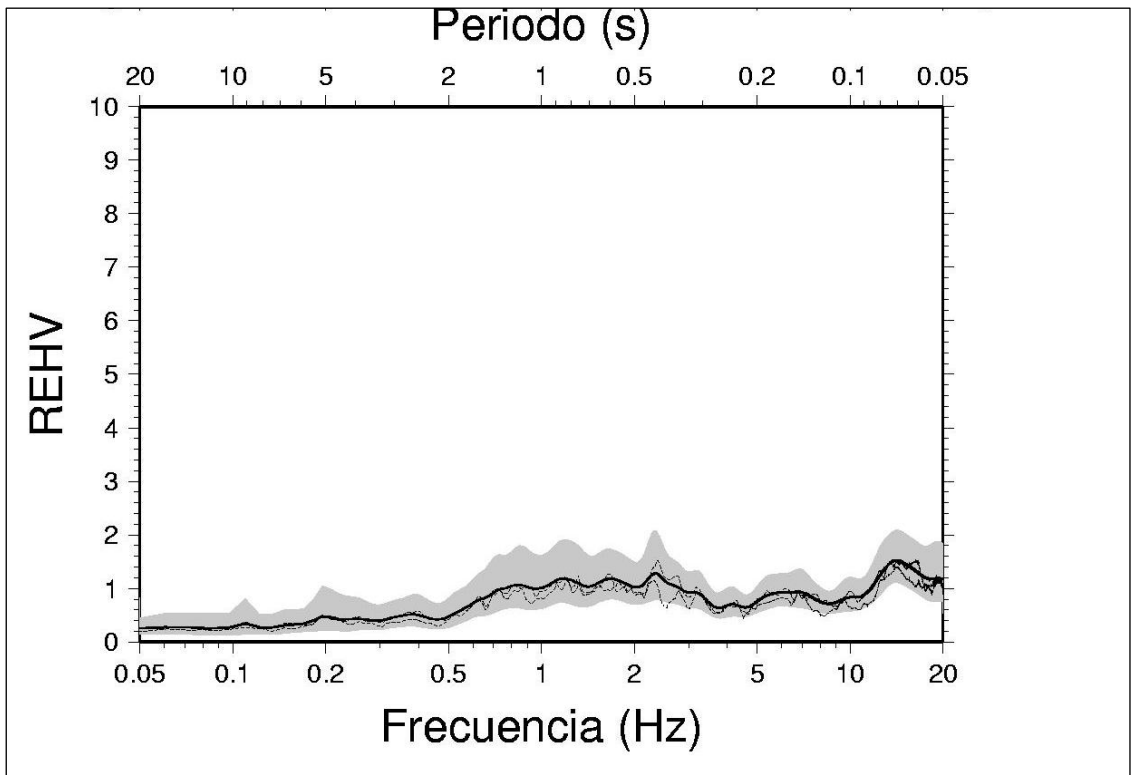


Ilustración 4. 145100

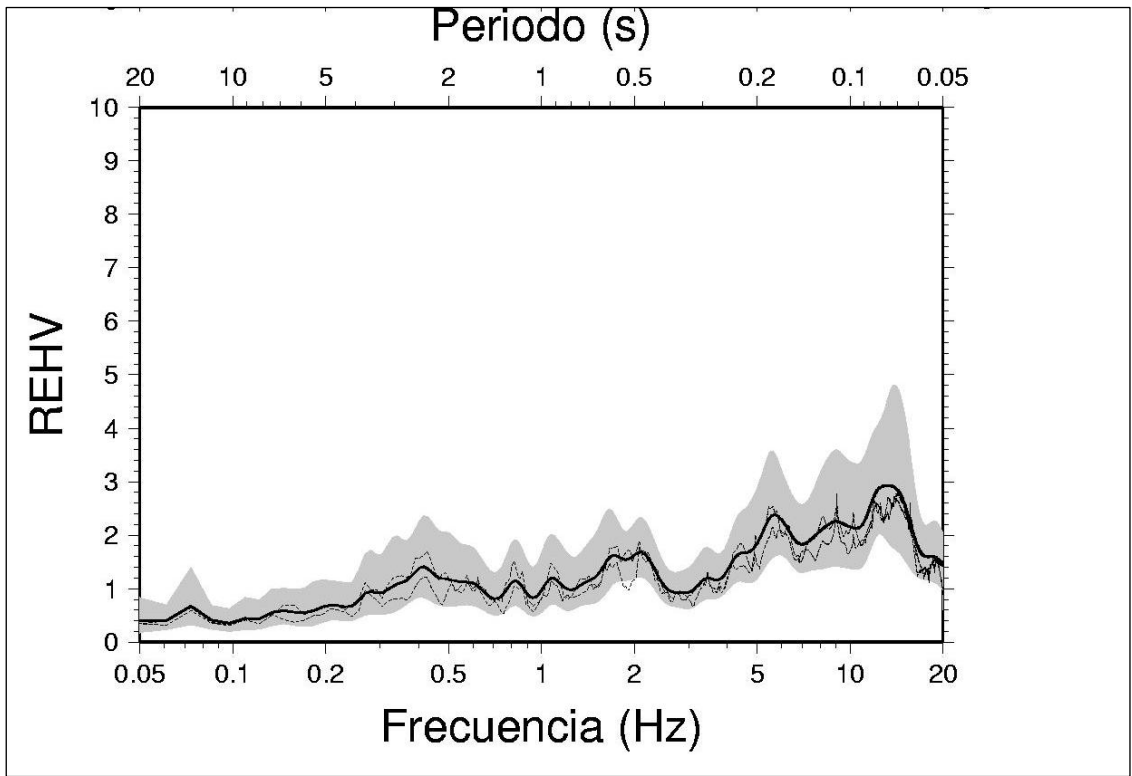


Ilustración 5. 155800

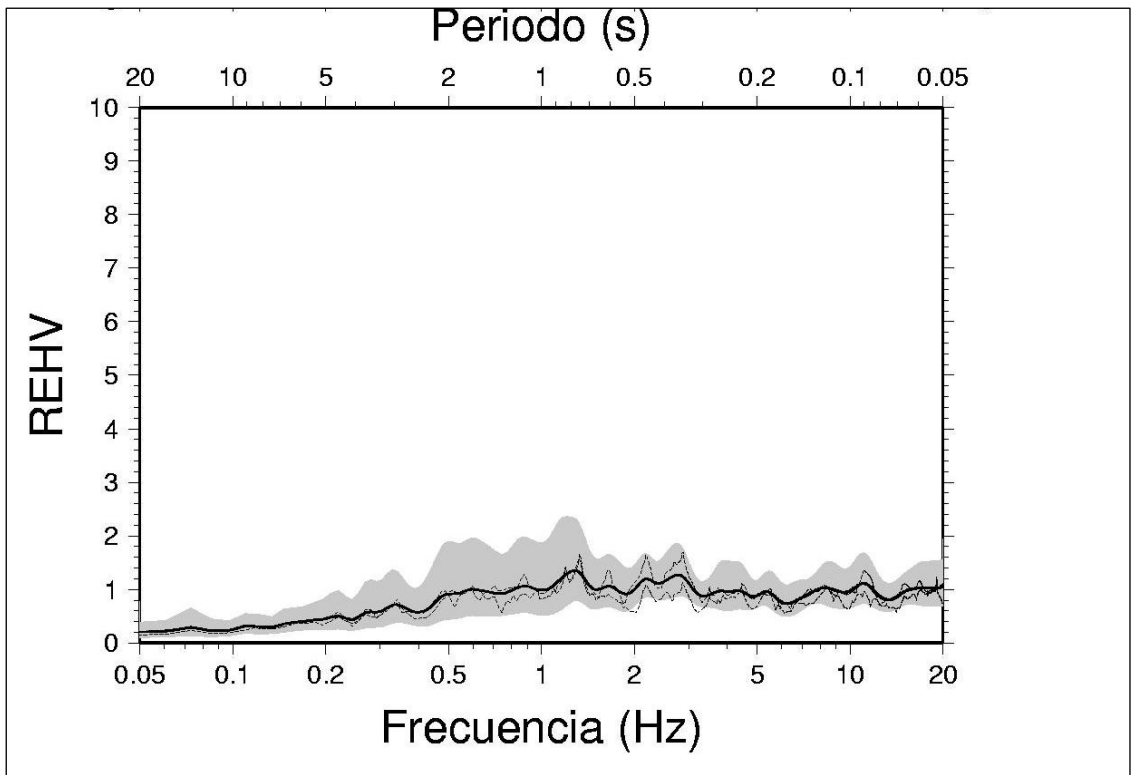


Ilustración 6. 163600

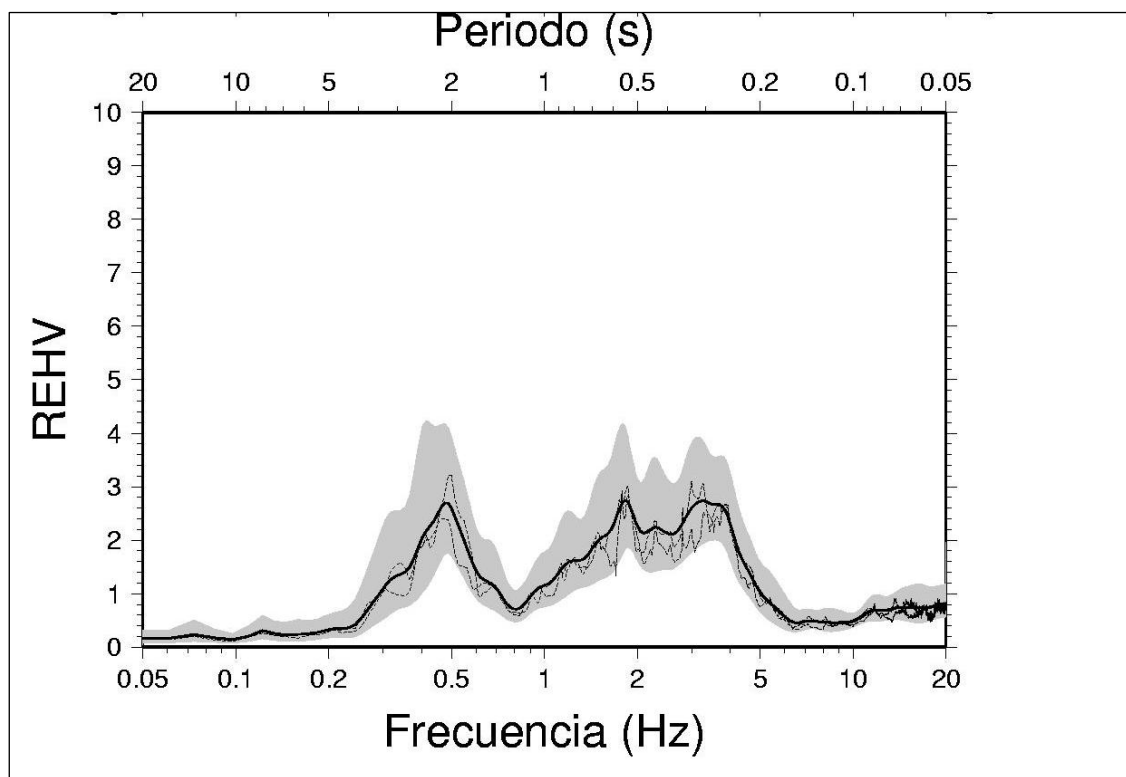


Ilustración 7.101700

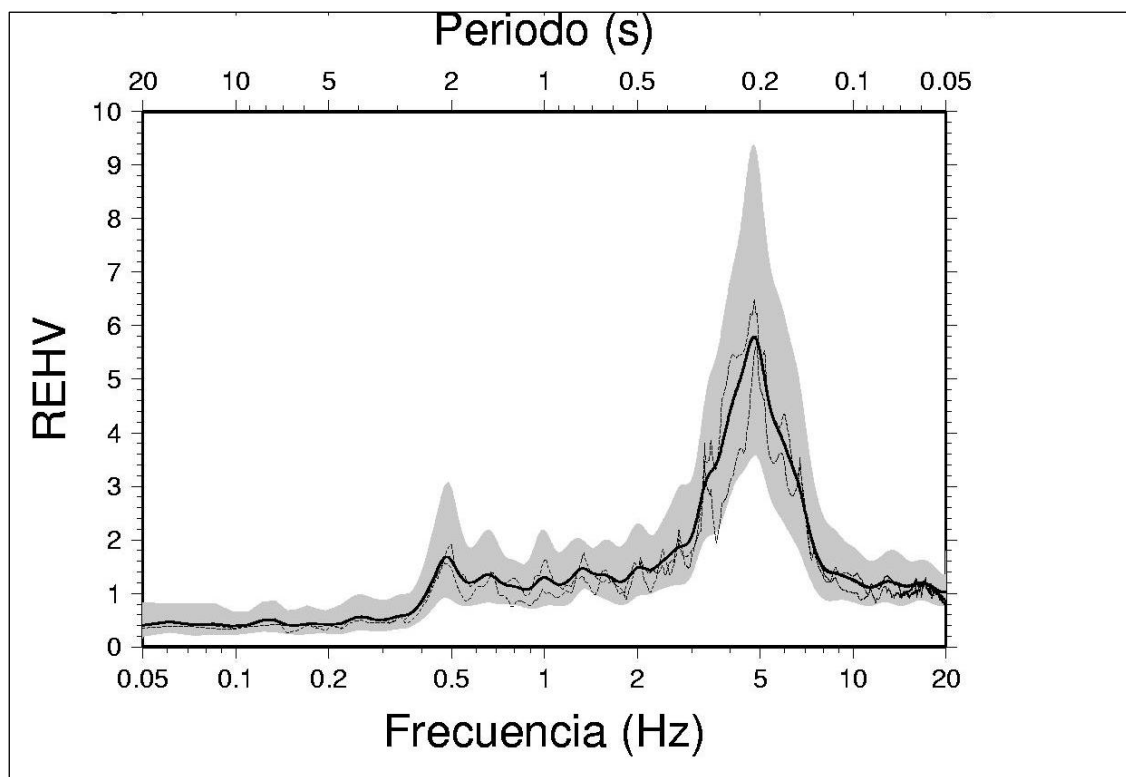


Ilustración 8. 111600

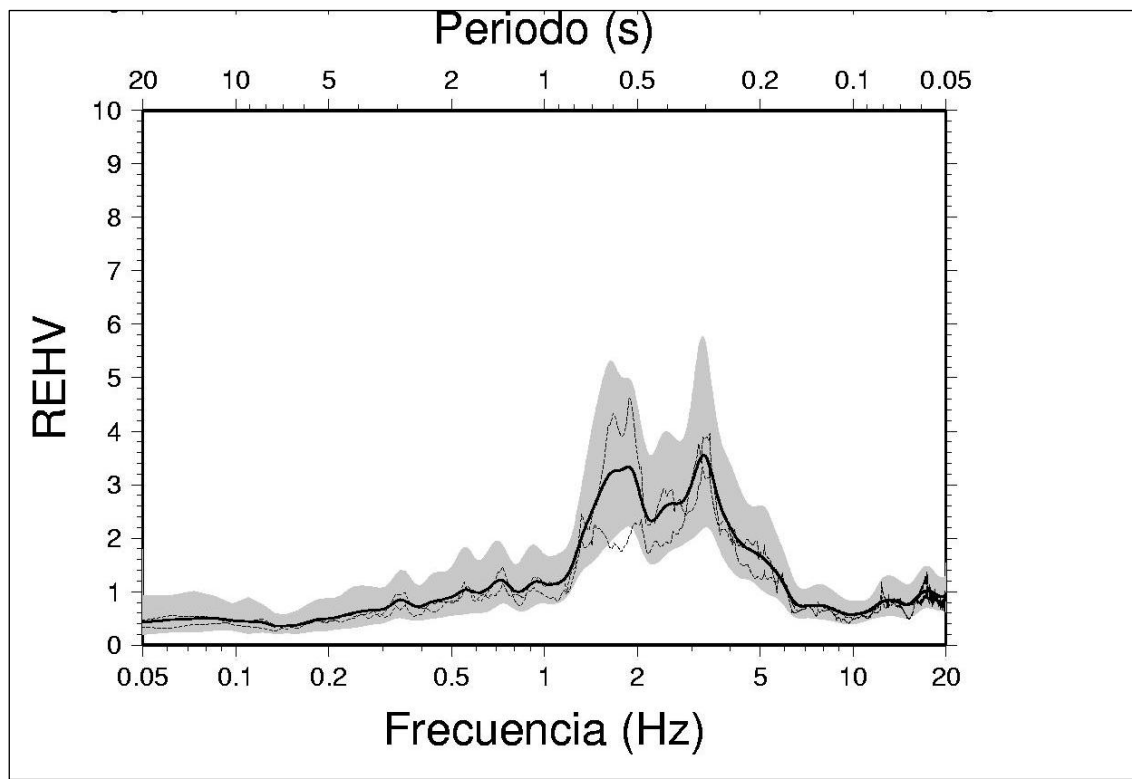


Ilustración 9. 120300

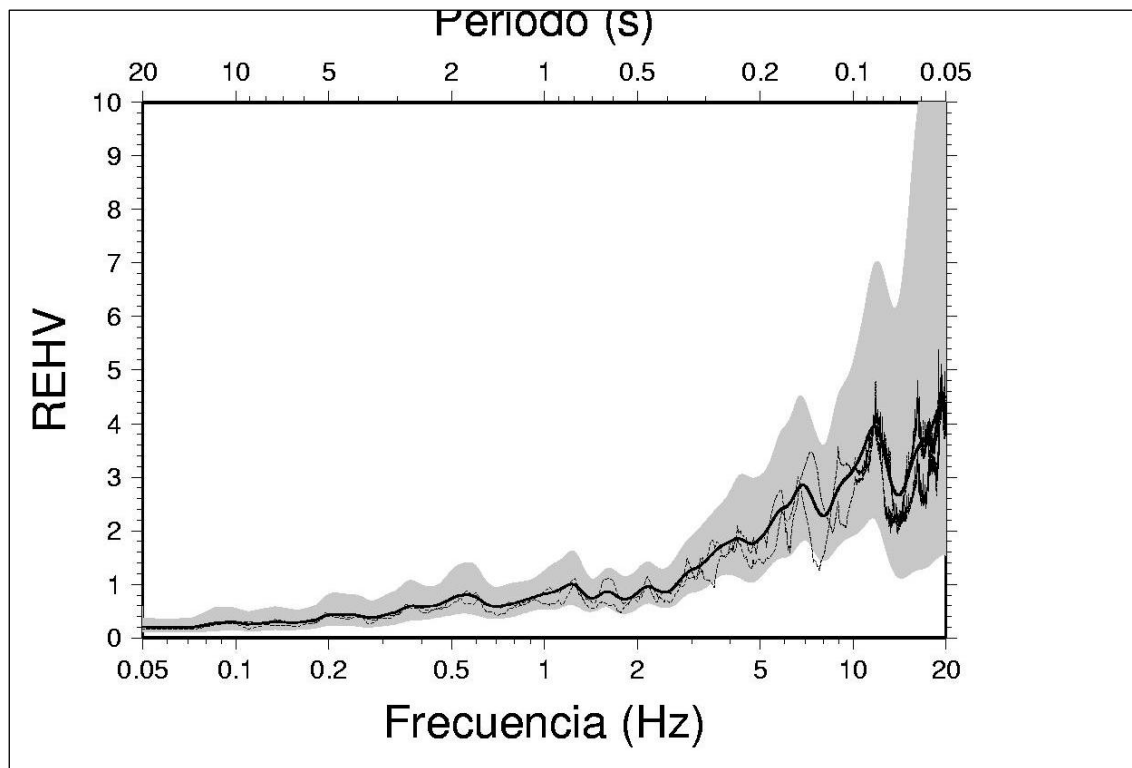


Ilustración 10. 130700

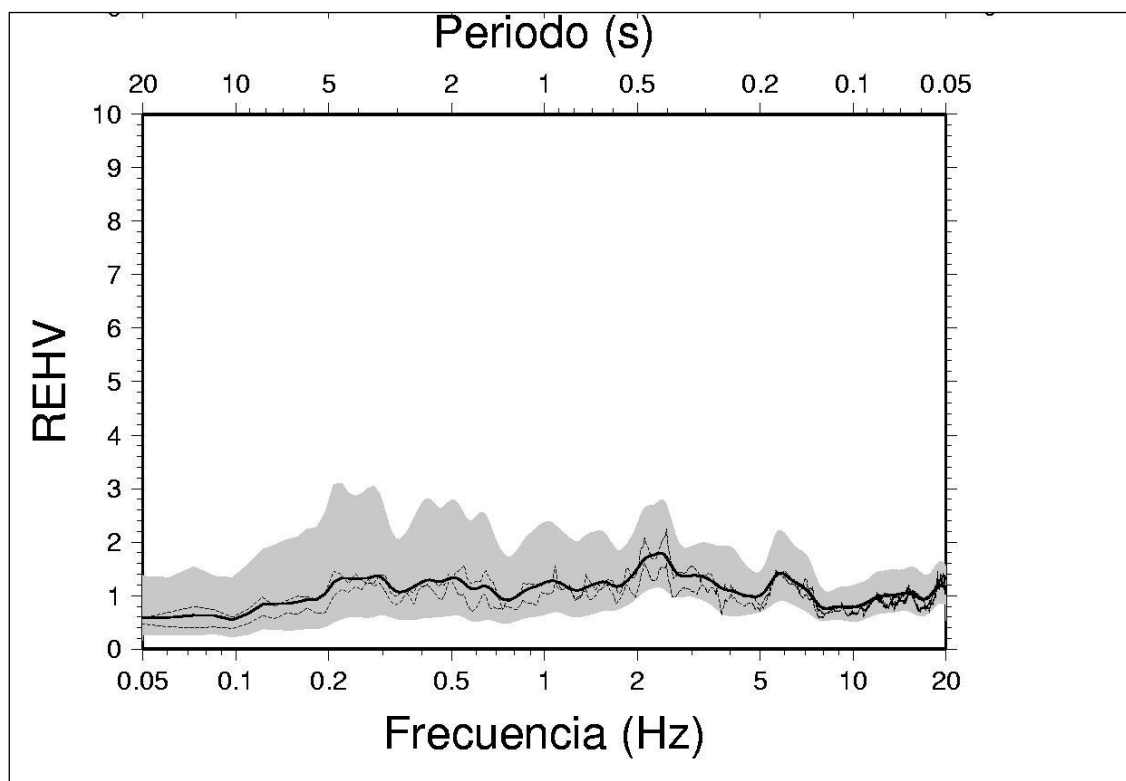


Ilustración 11. 135200

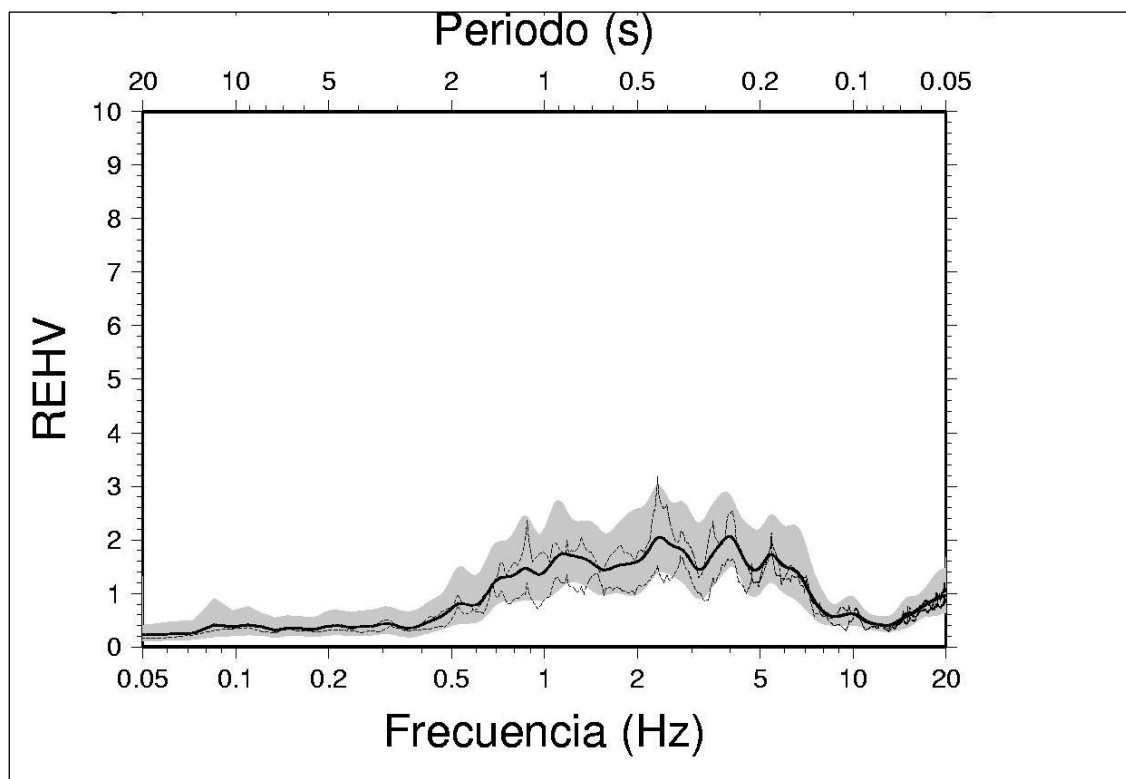


Ilustración 12. 144500

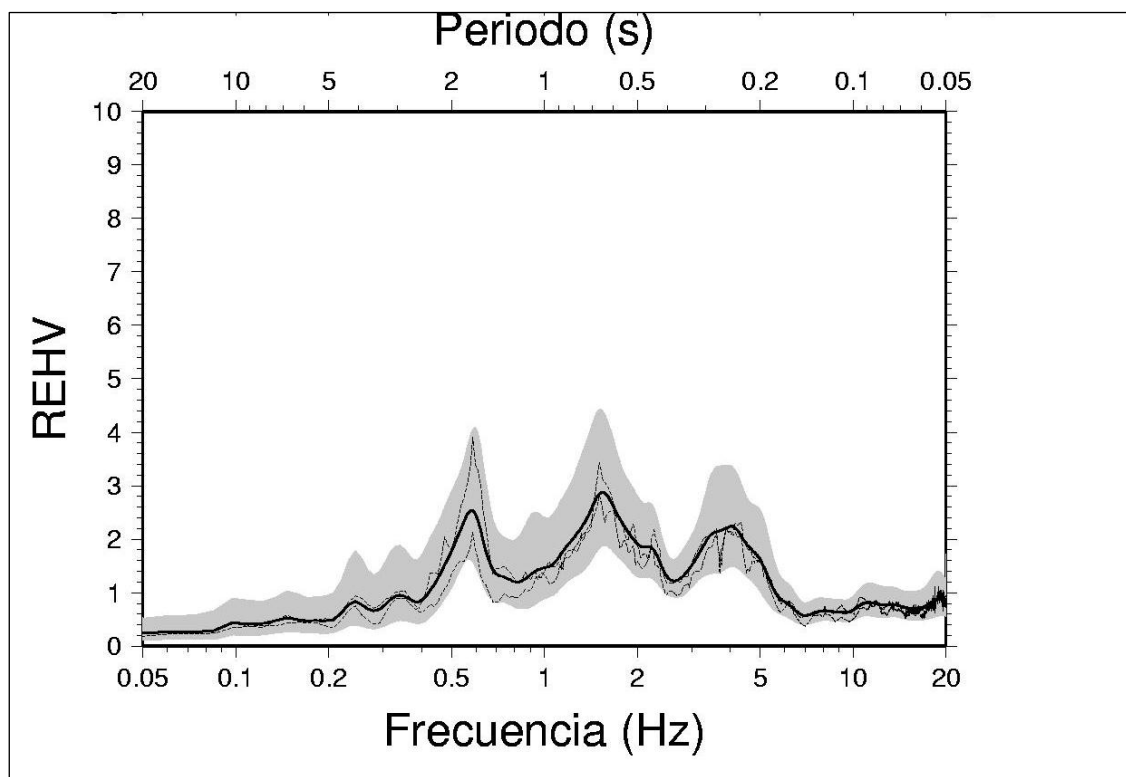


Ilustración 13. 155801

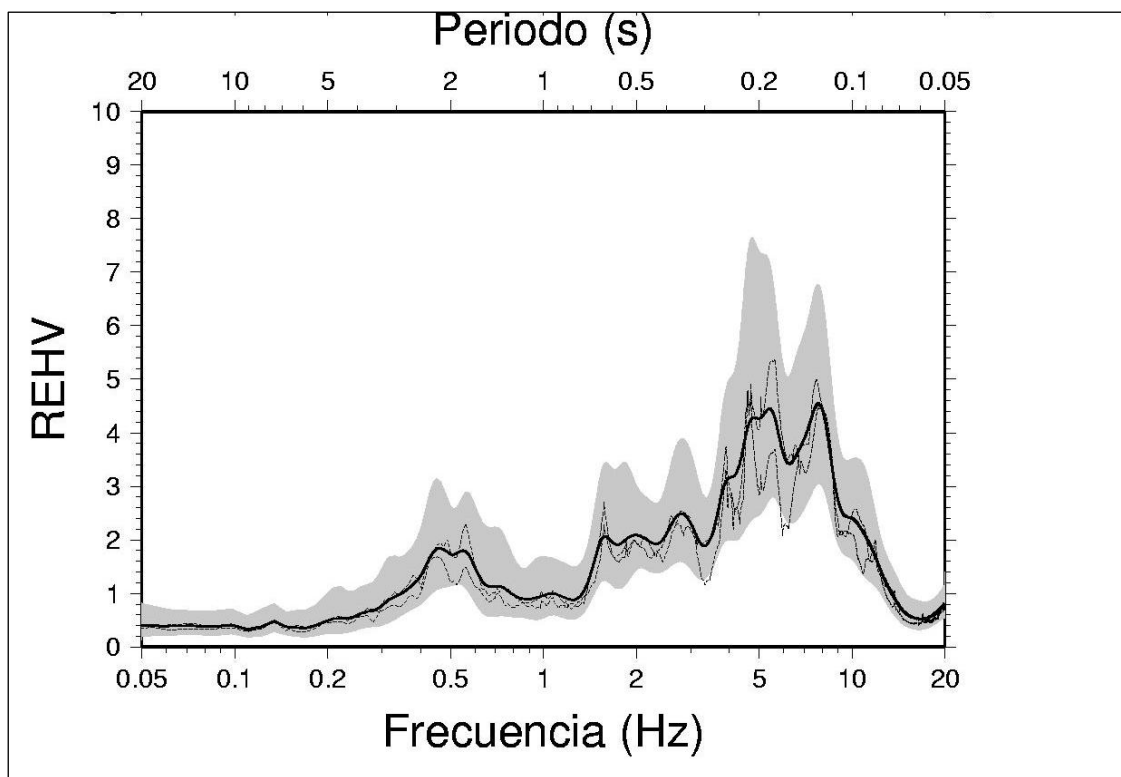


Ilustración 14. 165200

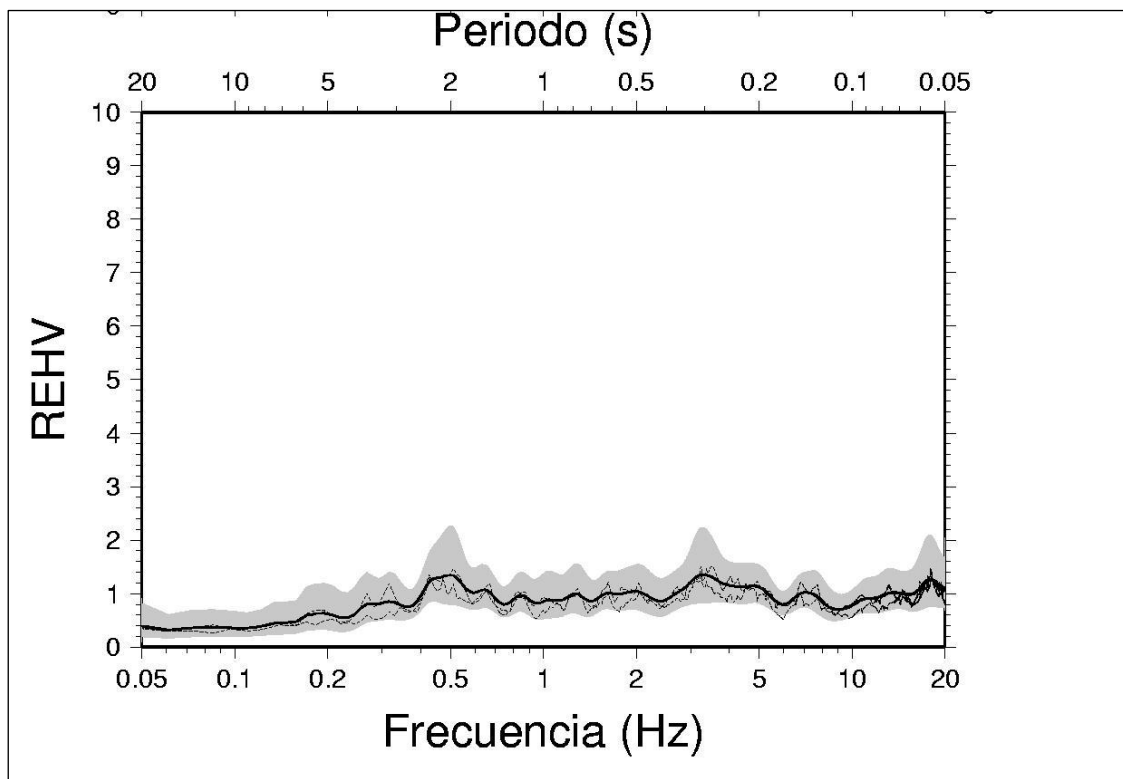


Ilustración 15. 200100

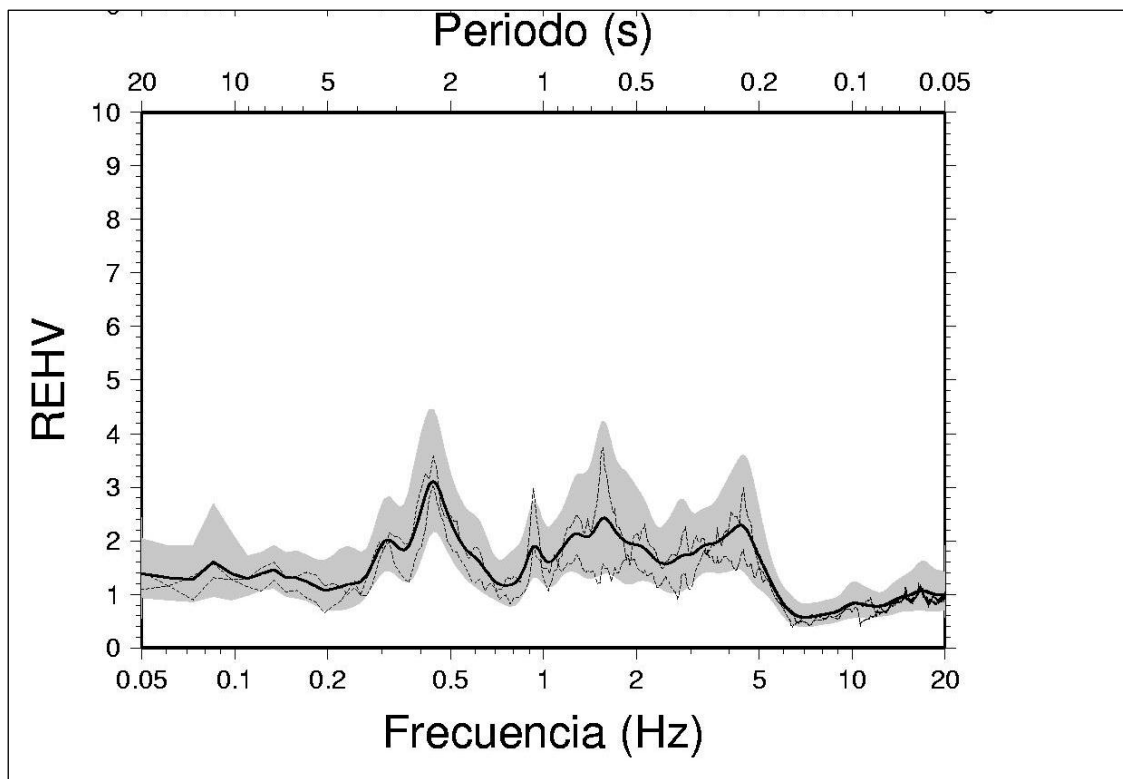


Ilustración 16. 105600

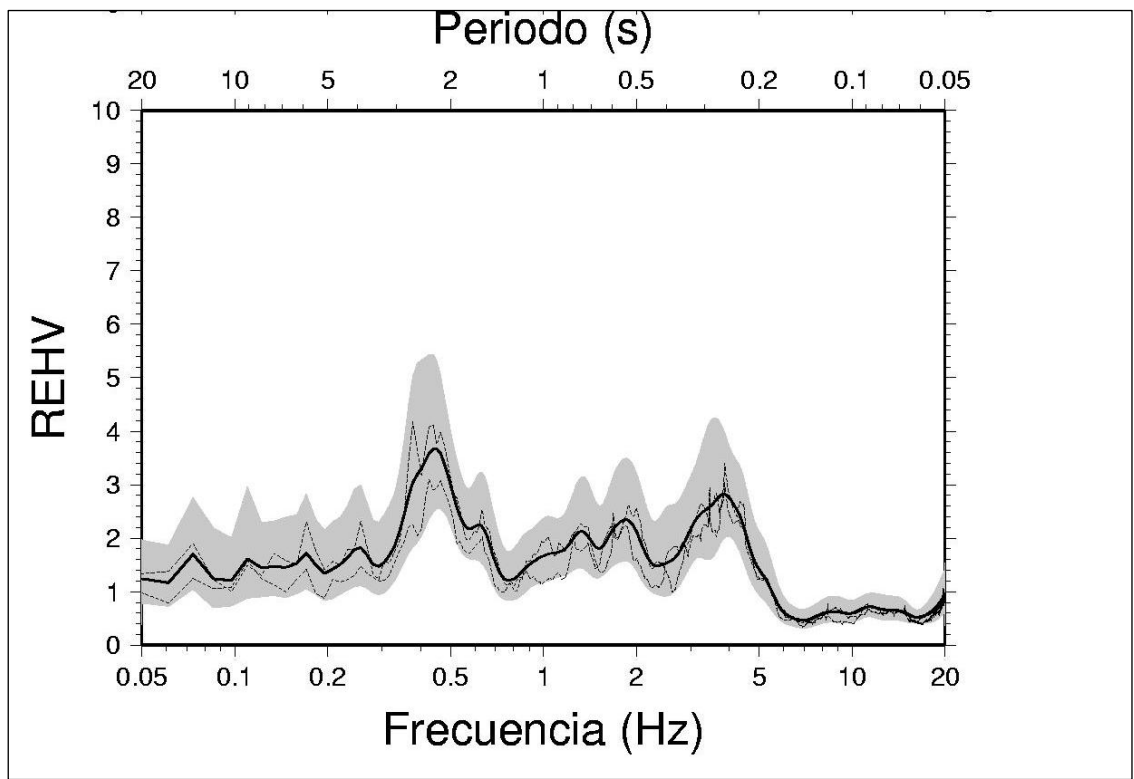


Ilustración 17. 112800

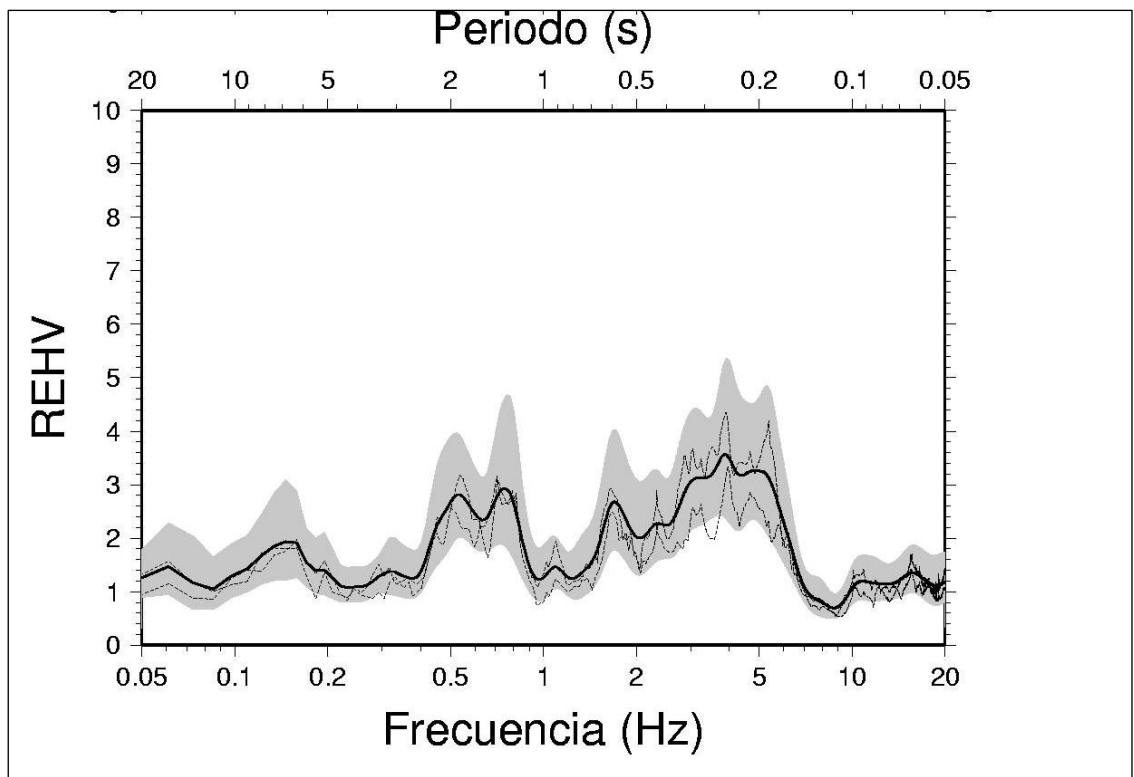


Ilustración 18. 120700

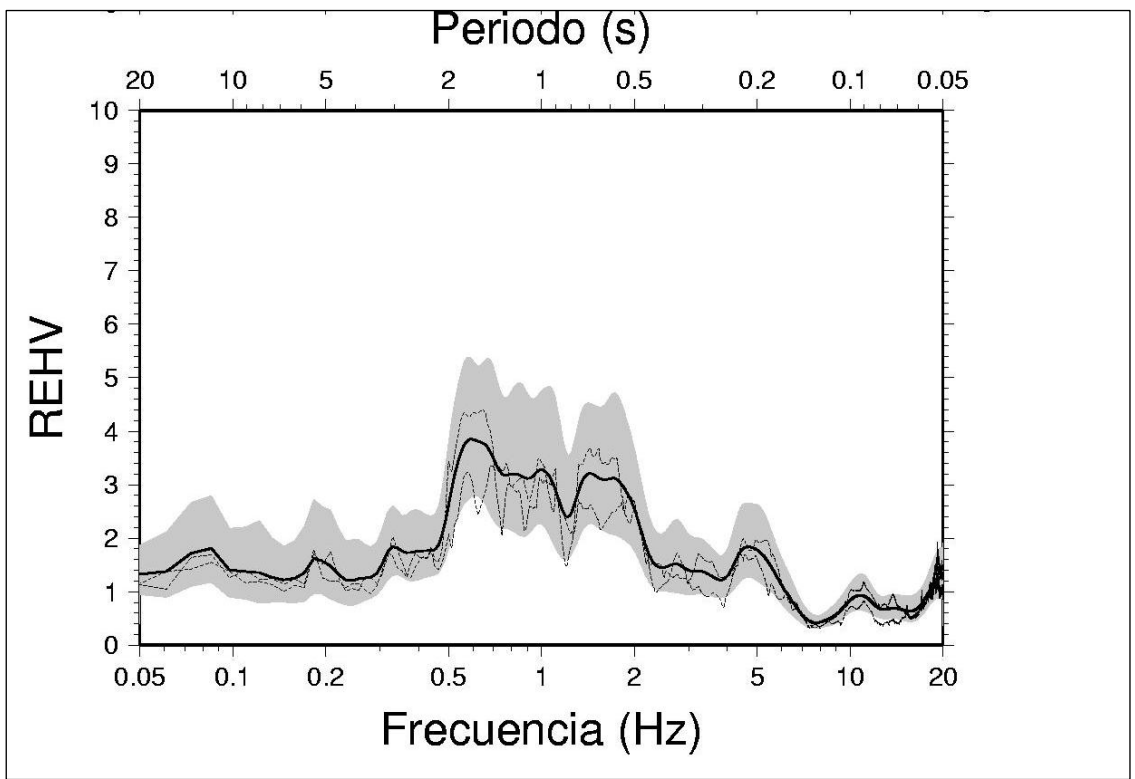


Ilustración 19. 130300

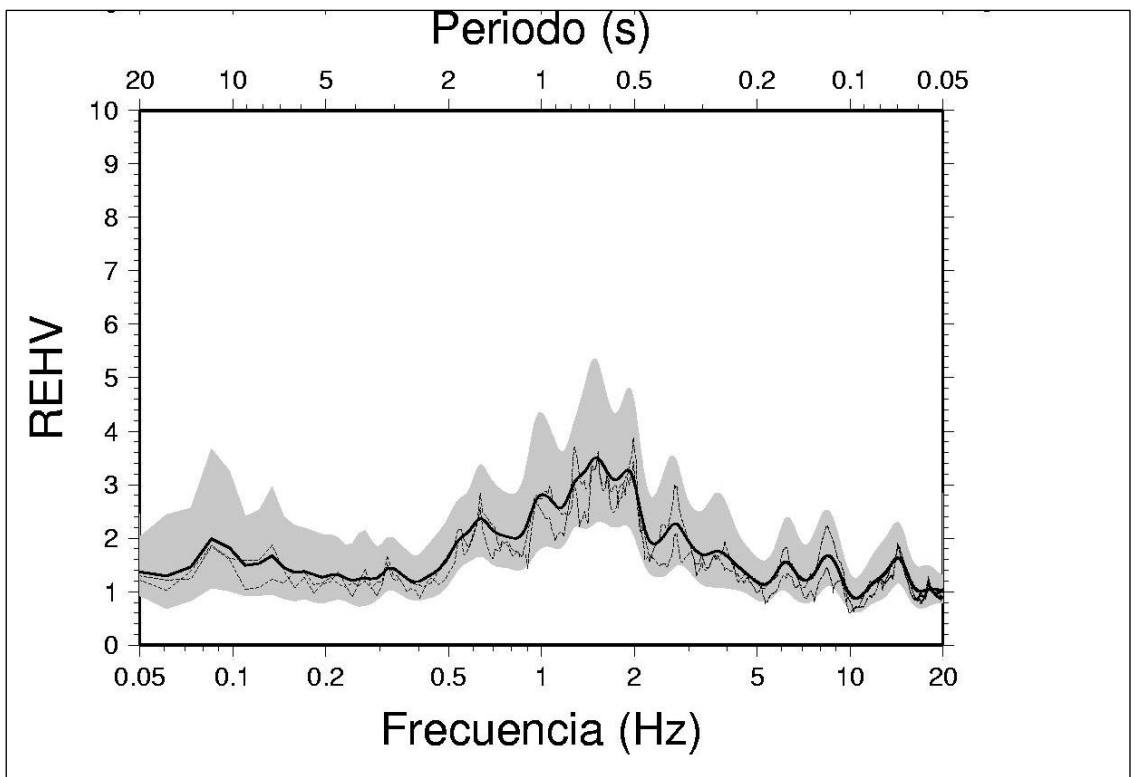


Ilustración 20. 140000

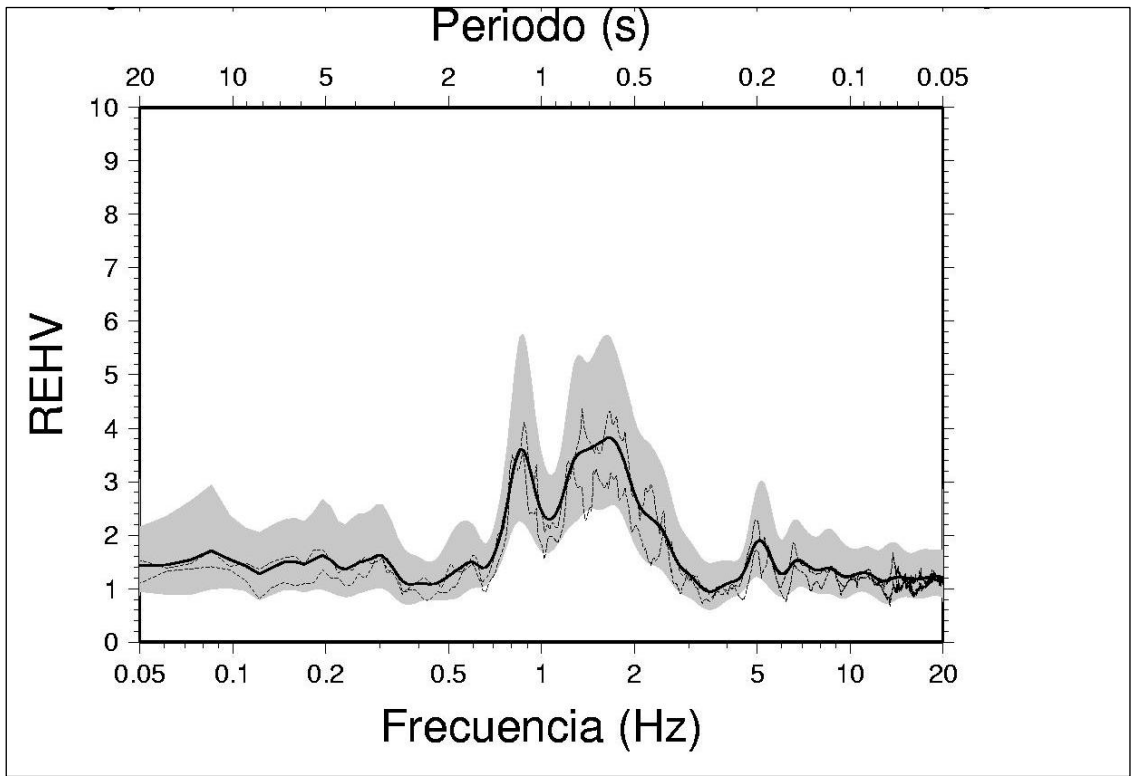


Ilustración 21. 144400

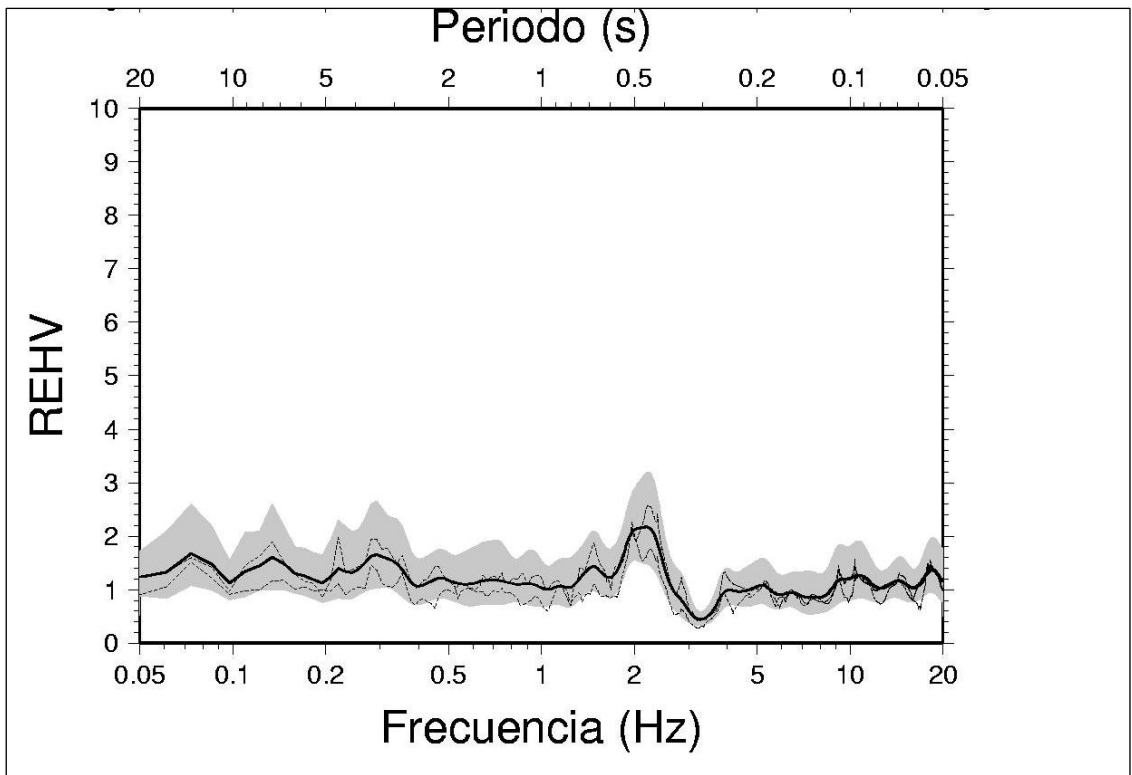


Ilustración 22. 151700

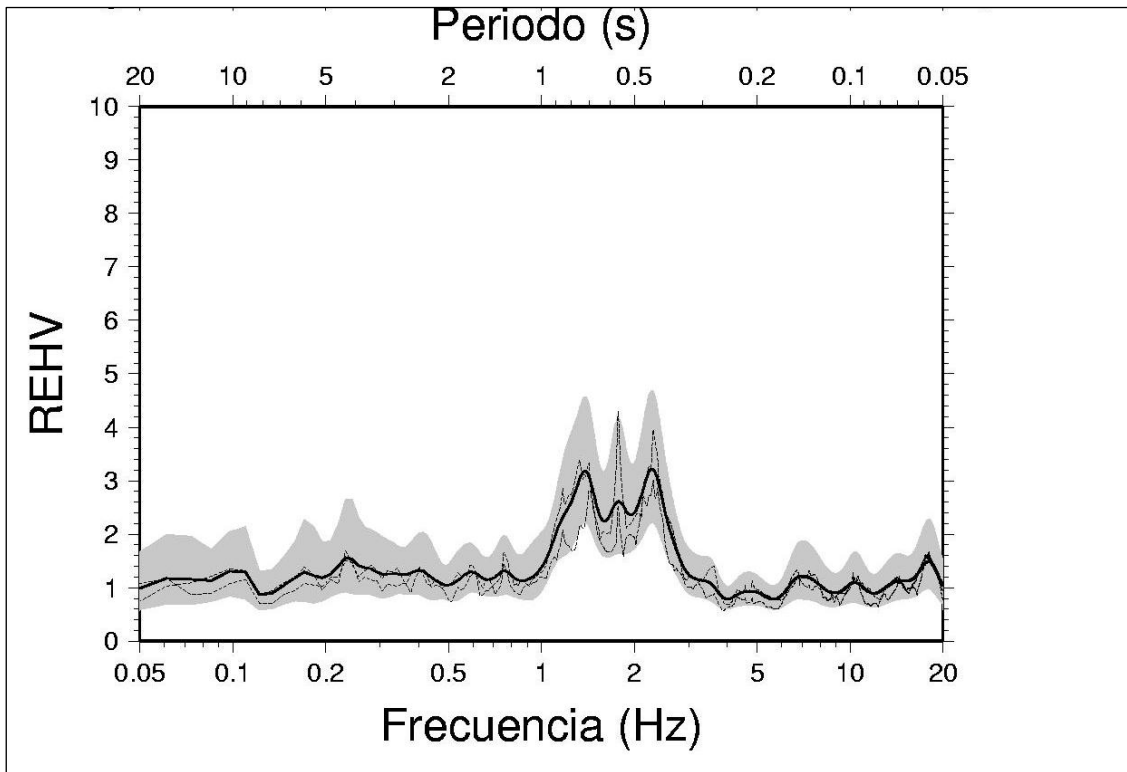


Ilustración 23. 155800

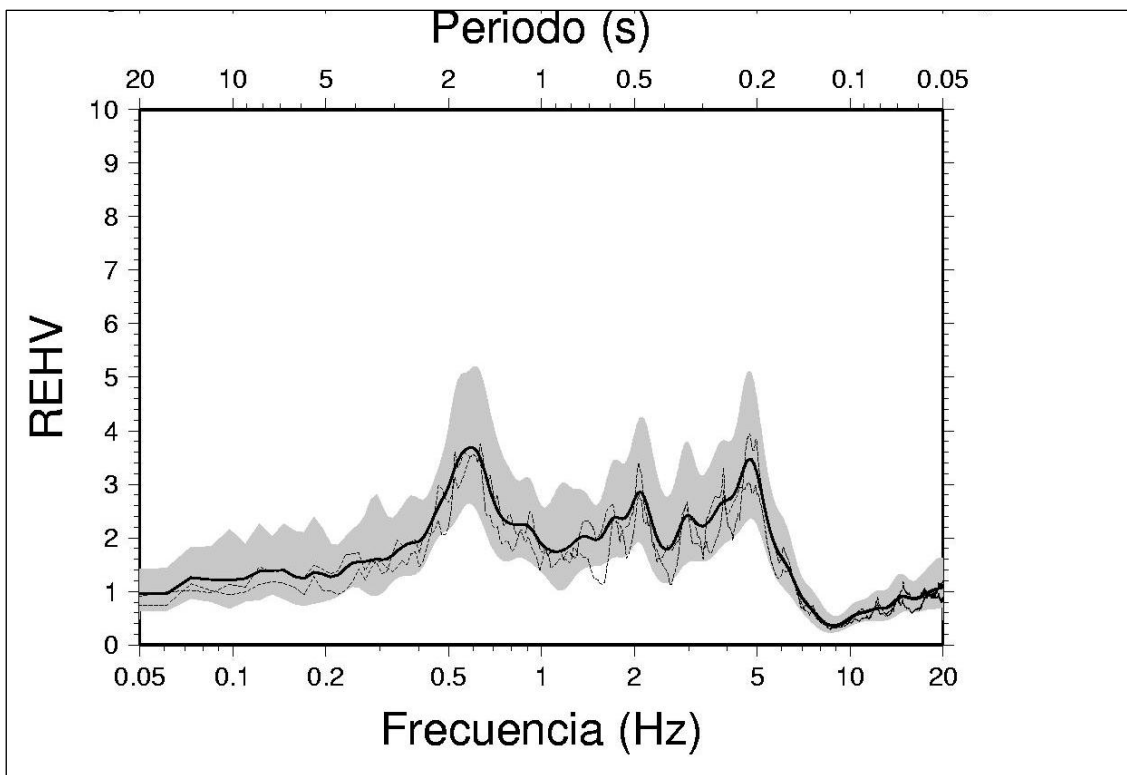


Ilustración 24. 164800

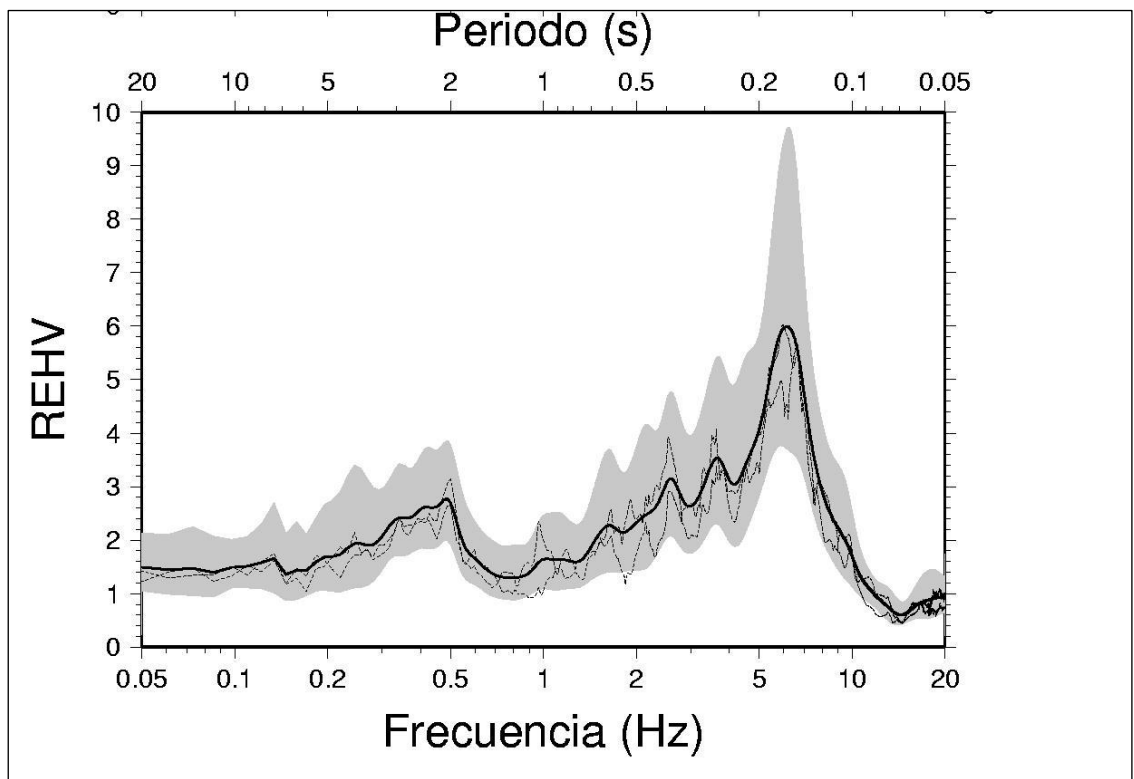


Ilustración 25. 172600

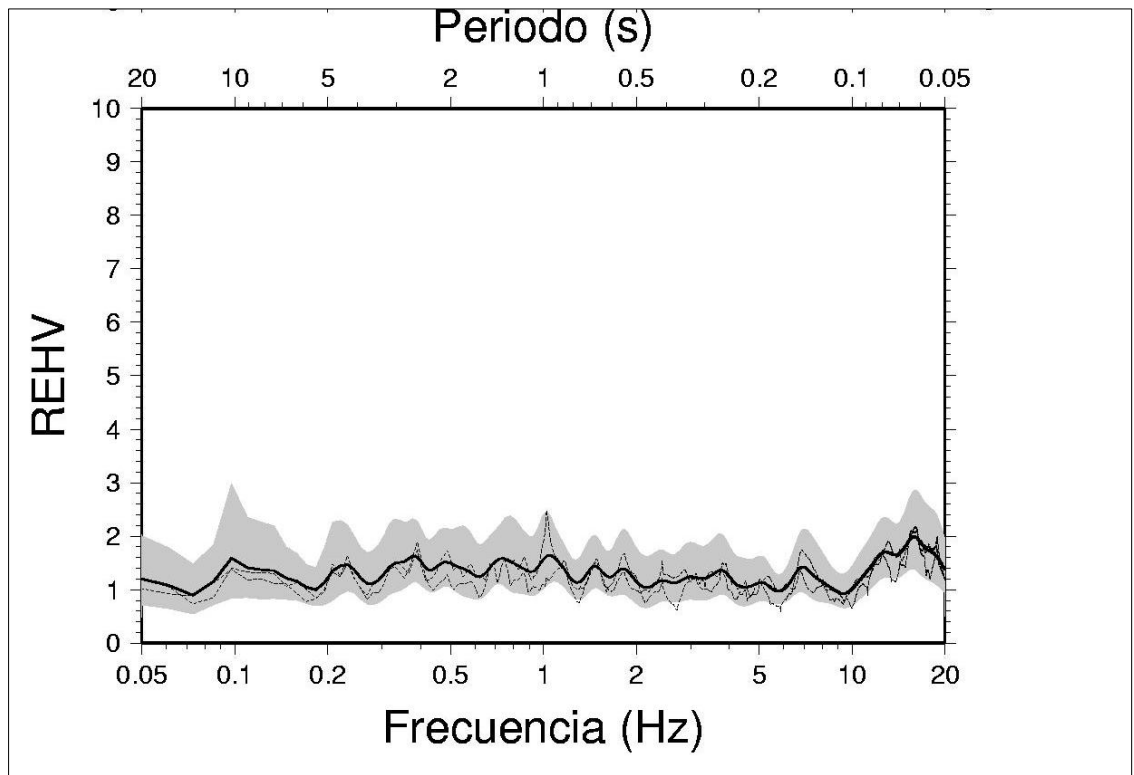


Ilustración 26. 183400

ANEXO III

Estratigrafía de Pozos y Calicatas

Se presentan la estratigrafía de pozos y calicatas públicamente emitidos, registrados con coordenadas UTM (WGS 84 -19S) obtenida de cuatro fuentes: Morales (2002), Falcón et al. (1967), Aguas Andinas, Municipalidad de Paine.

DETALLE

Pozo: Número de pozo, algunos modificados de su fuente original

PS: Profundidad superior del nivel

PI: Profundidad inferior del nivel

P: Profundidad del Pozo

C: Clasificación otorgada al nivel.

G: Gravas, **C:** Finos (Arcillas y limos), **S:** Arenas, **R:** Roca, - : sin información

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
5	0,0	65,0	65,0	Gravas muy gruesas, arenas y gravas, poco limo arc	G	333970	6261055	morales 2002
6	0,0	72,0	72,0	Arenas gravas muy gruesas, limo arcillas menos de 2	G	335800	6258950	morales 2002
7	0,0	40,0	72,0	Ripio y arena, limo arcilla menos de 10%.	G	341443	6258865	morales 2002
7	40,0	70,0	72,0	Ripio y arenas gravas, limo arcilla 30%	G	341443	6258865	morales 2002
7	70,0	72,0	72,0	40% limo arcilla, ripio arena	C	341443	6258865	morales 2002
8	0,0	70,0	72,0	Ripio arenas gravas, limo arcilla menos 20%. Nivele	G	341532	6258783	morales 2002
8	70,0	72,0	72,0	40% limo arcilla, ripio arena.	C	341532	6258783	morales 2002
9	0,0	27,0	51,0	sin informacion	-	343390	6258565	morales 2002
9	27,0	51,0	51,0	Ripio arena poca arcilla.	G	343390	6258565	morales 2002
10	0,0	20,0	52,0	Arenas gravas muy gruesas, limo arcilla menos de 30	G	348885	6254105	morales 2002
10	20,0	52,0	52,0	Limo arcilla sobre 45, arena y gravas muy gruesas.	C	348885	6254105	morales 2002
11	0,0	8,0	60,0	relleno estabilizado	-	346880	6255460	Aguas andinas
11	8,0	14,0	60,0	ripio, grava, arena, 35% arcilla	G	346880	6255460	Aguas andinas
11	14,0	20,0	60,0	ripio, grava, arena, 50% arcilla	C	346880	6255460	Aguas andinas
11	20,0	21,0	60,0	ripio, grava, arena, 30% arcilla	G	346880	6255460	Aguas andinas
11	21,0	31,0	60,0	arenas, poco ripio, 75%arcilla	C	346880	6255460	Aguas andinas
11	31,0	33,0	60,0	ripio, grava, arena, 30% arcilla	G	346880	6255460	Aguas andinas
11	33,0	50,0	60,0	arena, ripio, limo, 60-80% arcilla	C	346880	6255460	Aguas andinas
11	50,0	60,0	60,0	90% arcilla,arena fina	C	346880	6255460	Aguas andinas
12	0,0	2,0	80,0	Tierra vegetal	C	349141	6255239	Aguas andinas
12	2,0	8,0	80,0	60%bolones, 20% arena, 20% gravas	C	349141	6255239	Aguas andinas
12	8,0	18,0	80,0	50% arcilla, 30%arena, 20% roca	G	349141	6255239	Aguas andinas
12	18,0	44,0	80,0	50% grava, 30% arena, 20% arcilla	C	349141	6255239	Aguas andinas
12	44,0	64,0	80,0	50% roca, 20% arena, 15% grava, 15% arcilla	G	349141	6255239	Aguas andinas
12	64,0	80,0	80,0	50% roca descompuesta, 20% roca solida, 30% arcilla	R	349141	6255239	Aguas andinas
13	0,0	2,0	80,0	Tierra vegetal	C	348804	6255581	Aguas andinas
13	2,0	28,0	80,0	30% bolones, 30% arcilla, 20% arena, 20% grava	G	348804	6255581	Aguas andinas
13	28,0	48,0	80,0	30% roca, 30% grava, 20% arcilla, 20% arena	G	348804	6255581	Aguas andinas
13	48,0	80,0	80,0	40% roca descompuesta, 25% grava, 20% arena, 15% ar	R	348804	6255581	Aguas andinas
14	0,0	1,0	72,0	Tierra vegetal	C	341303	6258477	Aguas andinas
14	1,0	3,0	72,0	Ripio, bolones medianos, arena, 15% arcilla	G	341303	6258477	Aguas andinas
14	3,0	14,0	72,0	Ripio, bolones medianos, arena, 5% arcilla	G	341303	6258477	Aguas andinas

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
14	14,0	34,0	72,0	Ripio, bolones medianos, arena, 10% arcilla	G	341303	6258477	Aguas andinas
14	34,0	39,0	72,0	Ripio, bolones medianos, arena 5% arcilla	G	341303	6258477	Aguas andinas
14	39,0	47,0	72,0	Ripio, arena, gravilla, 30% arcilla	G	341303	6258477	Aguas andinas
14	47,0	59,0	72,0	Ripio, arena, gravilla, zona estratificada, 40% arc	C	341303	6258477	Aguas andinas
14	59,0	70,0	72,0	Ripio, arena, gravilla, 20% arcilla	G	341303	6258477	Aguas andinas
14	70,0	72,0	72,0	Bolones ripio, arena, 40% arcilla	C	341303	6258477	Aguas andinas
15	0,0	1,0	50,0	Tierra vegetal	C	330810	6258000	Aguas andinas
15	1,0	4,0	50,0	60% arena fina y 40% arcilla	C	330810	6258000	Aguas andinas
15	4,0	16,0	50,0	60% grava gruesa, 30% arena gruesa y 10% arcilla	G	330810	6258000	Aguas andinas
15	16,0	22,0	50,0	50% arena gruesa, 30% bolones y 20% arcilla	G	330810	6258000	Aguas andinas
15	22,0	46,0	50,0	50% bolones pq±os20% aren grues20%grv grues10%arc	G	330810	6258000	Aguas andinas
15	46,0	50,0	50,0	40% bolones, 30% arena gruesa y 30% arcilla	G	330810	6258000	Aguas andinas
177	0,0	5,0	58,0	arcilla y tierra vegetal	C	327785	6257298	Aguas andinas
177	5,0	10,0	58,0	arcilla, arena, poco ripi	C	327785	6257298	Aguas andinas
177	10,0	19,0	58,0	arcilla, poca arena	C	327785	6257298	Aguas andinas
177	19,0	22,0	58,0	arcilla y arena	C	327785	6257298	Aguas andinas
177	22,0	40,0	58,0	arena y arcilla	S	327785	6257298	Aguas andinas
177	40,0	41,0	58,0	arena, ripio y arcilla	S	327785	6257298	Aguas andinas
177	41,0	46,0	58,0	arcilla y arena	C	327785	6257298	Aguas andinas
177	46,0	48,0	58,0	arcilla, arena, poco ripi	C	327785	6257298	Aguas andinas
177	48,0	51,0	58,0	arena, ripio, poca arcill	S	327785	6257298	Aguas andinas
177	51,0	55,0	58,0	arcilla, poca arena	C	327785	6257298	Aguas andinas
177	55,0	58,0	58,0	no se lee	-	327785	6257298	Aguas andinas
176	0,0	4,5	65,0	arcilla y tierra vegetal	C	327791	6257345	Aguas andinas
176	4,5	7,0	65,0	ripio, arena y arcilla	G	327791	6257345	Aguas andinas
176	7,0	19,0	65,0	arcilla, ripio, arena fin	C	327791	6257345	Aguas andinas
176	19,0	23,5	65,0	arena fina	S	327791	6257345	Aguas andinas
176	23,5	33,0	65,0	arena, poca arcilla y rip	S	327791	6257345	Aguas andinas
176	33,0	37,0	65,0	arena fina y arcilla	S	327791	6257345	Aguas andinas
176	37,0	41,5	65,0	arena, ripio y arcilla	S	327791	6257345	Aguas andinas
176	41,5	44,0	65,0	arena y ripio fino	S	327791	6257345	Aguas andinas
176	44,0	47,0	65,0	arena y arcilla	S	327791	6257345	Aguas andinas

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
176	47,0	50,0	65,0	ripio fino, arena, arcill	G	327791	6257345	Aguas andinas
176	50,0	60,0	65,0	ripio, arcilla, arena	G	327791	6257345	Aguas andinas
176	60,0	64,5	65,0	arcilla	C	327791	6257345	Aguas andinas
232	0,0	0,2	72,0	tierra vegetal	V	341331	6258411	Aguas andinas
232	0,2	2,8	72,0	ripio, bolones medianos,	G	341331	6258411	Aguas andinas
232	2,8	24,0	72,0	ripio, bolones medianos,	G	341331	6258411	Aguas andinas
232	24,0	37,0	72,0	ripio, bolones, arena, 10	G	341331	6258411	Aguas andinas
232	37,0	46,0	72,0	ripio, gravilla, arena, 2	G	341331	6258411	Aguas andinas
232	46,0	53,2	72,0	ripio, arena, gravilla, 4	G	341331	6258411	Aguas andinas
232	53,2	58,0	72,0	ripio, arena, gravilla, 3	G	341331	6258411	Aguas andinas
232	58,0	70,0	72,0	ripio, arena, gravilla, 1	G	341331	6258411	Aguas andinas
232	70,0	72,0	72,0	bolones duros, ripio, are	G	341331	6258411	Aguas andinas
329	0,0	1,0	100,0	ripio, arena, grava, bolo	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	1,0	2,0	100,0	ripio, arena, grava, bolo	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	2,0	14,0	100,0	grava, bolones, ripio y a	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	14,0	18,0	100,0	grava, bolones y arena, a	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	18,0	20,0	100,0	bolones, grava, arena, BL	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	20,0	21,0	100,0	grava, bolones, arena, ar	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	21,0	36,0	100,0	bolones, grava, arena, ri	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	36,0	42,0	100,0	arena, ripio, BLOQUES AIS	S	341274	6258434	Aguas andinas
329	42,0	48,0	100,0	ripio, bolones, arena, li	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	48,0	67,0	100,0	grava, arena fina a grues	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	67,0	68,0	100,0	grava, arena fina a grues	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	68,0	71,0	100,0	grava, arena fina a grues	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	71,0	72,0	100,0	grava, arena fina a grues	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	72,0	76,0	100,0	grava, arena fina a grues	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	76,0	79,0	100,0	grava, arena fina a grues	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	79,0	93,0	100,0	grava, arena fina a grues	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	93,0	94,0	100,0	grava, arena fina a grues	G	341274	6258434	Aguas andinas
329	94,0	100,0	100,0	grava, arena fina a grues	G	341274	6258434	Aguas andinas
222	0,0	0,3	72,0	tierra vegetal	V	341238	6258480	Aguas andinas
222	0,3	2,3	72,0	ripio, bolones, arena, 15	G	341238	6258480	Aguas andinas

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
222	2,3	10,0	72,0	ripio, bolones, arena, 5%	G	341238	6258480	Aguas andinas
222	10,0	18,0	72,0	bolones, arena, arcilla	G	341238	6258480	Aguas andinas
222	18,0	37,5	72,0	ripio, bolones medianos,	G	341238	6258480	Aguas andinas
222	37,5	40,0	72,0	bolones duros, ripio grue	G	341238	6258480	Aguas andinas
222	40,0	45,5	72,0	ripio, arena, gravilla, a	G	341238	6258480	Aguas andinas
222	45,5	47,0	72,0	bolones, arena fina, arci	G	341238	6258480	Aguas andinas
222	47,0	51,0	72,0	bolones medianos, arena,	G	341238	6258480	Aguas andinas
222	51,0	55,0	72,0	bolones medianos, arena,	G	341238	6258480	Aguas andinas
222	55,0	59,0	72,0	arena fina, ripio, gravil	S	341238	6258480	Aguas andinas
222	59,0	70,0	72,0	ripio, arena, gravilla, p	G	341238	6258480	Aguas andinas
222	70,0	72,3	72,0	bolones duros, ripio, are	G	341238	6258480	Aguas andinas
231	0,0	0,5	72,0	tierra vegetal	V	341346	6258509	Aguas andinas
231	0,5	2,7	72,0	ripio, bolones medianos,	G	341346	6258509	Aguas andinas
231	2,7	14,0	72,0	ripio, bolones medianos,	G	341346	6258509	Aguas andinas
231	14,0	34,0	72,0	ripio, bolones medianos,	G	341346	6258509	Aguas andinas
231	34,0	39,0	72,0	ripio, bolones medianos,	G	341346	6258509	Aguas andinas
231	39,0	47,0	72,0	ripio, arena, gravilla, 3	G	341346	6258509	Aguas andinas
231	47,0	59,0	72,0	ripio, arena, gravilla, Z	G	341346	6258509	Aguas andinas
231	59,0	70,0	72,0	ripio, arena, gravilla, 2	G	341346	6258509	Aguas andinas
231	70,0	72,0	72,0	bolones duro, ripio, aren	G	341346	6258509	Aguas andinas
336	0,0	2,0	148,0	tierra vegetal, bolones a	V	338262	6265825	Aguas andinas
336	2,0	4,0	148,0	arena gruesa a fina, bolo	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	4,0	6,0	148,0	grava gruesa a fina, aren	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	6,0	10,0	148,0	arena gruesa, grava grues	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	10,0	21,0	148,0	arena gruesa, grava grues	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	21,0	25,0	148,0	arena gruesa a fina, grav	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	25,0	34,0	148,0	arena gruesa a fina, grav	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	34,0	36,0	148,0	arena gruesa a fina, grav	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	36,0	83,0	148,0	arena gruesa a fina, grav	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	83,0	86,0	148,0	arena gruesa a fina, arci	S	338262	6265825	Aguas andinas
336	86,0	89,0	148,0	bolones, arena gruesa a f	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	89,0	96,0	148,0	arena gruesa a fina, grav	G	338262	6265825	Aguas andinas

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
336	96,0	97,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	97,0	98,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	98,0	99,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	99,0	100,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	100,0	101,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	101,0	102,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	102,0	103,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	103,0	104,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	104,0	105,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	105,0	106,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	106,0	107,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	107,0	108,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	108,0	109,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	109,0	110,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	110,0	111,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	111,0	112,0	148,0	bolones, grava gruesa a m	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	112,0	113,0	148,0	grava gruesa a fina, aren	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	113,0	114,0	148,0	grava gruesa a fina, aren	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	114,0	115,0	148,0	grava gruesa a fina, aren	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	115,0	116,0	148,0	grava gruesa a fina, aren	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	116,0	117,0	148,0	grava gruesa a fina, aren	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	117,0	118,0	148,0	bloques, grava gruesa, ar	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	118,0	119,0	148,0	bloques, grava gruesa, ar	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	119,0	120,0	148,0	bloques, grava gruesa, ar	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	120,0	121,0	148,0	bloques, grava gruesa, ar	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	121,0	122,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	122,0	123,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	123,0	124,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	124,0	125,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	125,0	126,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	126,0	127,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	127,0	128,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
336	128,0	129,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	129,0	130,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	130,0	131,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	131,0	132,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	132,0	133,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	133,0	134,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	134,0	135,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	135,0	136,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	136,0	137,0	148,0	grava gruesa, poca arena	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	137,0	138,0	148,0	bloques, grava gruesa, ar	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	138,0	139,0	148,0	bloques, grava gruesa, ar	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	139,0	140,0	148,0	bloques, grava gruesa, ar	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	140,0	141,0	148,0	bloques, poca arena grues	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	141,0	142,0	148,0	bloques, poca arena grues	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	142,0	143,0	148,0	bloques, poca arena grues	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	143,0	144,0	148,0	bloques, poca arena grues	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	144,0	145,0	148,0	bloques, poca arena grues	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	145,0	146,0	148,0	bloques, poca arena grues	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	146,0	147,0	148,0	bolones, arena gruesa, gr	G	338262	6265825	Aguas andinas
336	147,0	148,0	148,0	bolones, arena gruesa, gr	G	338262	6265825	Aguas andinas
335	0,0	1,0	180,0	tierra vegetal	V	339884	6265972	Aguas andinas
335	1,0	16,0	180,0	bolones medianos, arena,	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	16,0	24,0	180,0	bolones, grava gruesa a m	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	24,0	37,0	180,0	grava gruesa, bolones, ar	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	37,0	70,0	180,0	grava gruesa a media, bol	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	70,0	73,0	180,0	bolones y bloques, grava	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	73,0	94,0	180,0	grava gruesa a media, poc	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	94,0	100,0	180,0	grava gruesa, bolones, ar	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	100,0	101,0	180,0	grava gruesa, bolones, ar	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	101,0	105,0	180,0	bolones, grava gruesa y m	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	105,0	111,0	180,0	grava gruesa, arena media	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	111,0	119,0	180,0	grava gruesa a fina, aren	G	339884	6265972	Aguas andinas

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
335	119,0	124,0	180,0	bolones, grava media a gr	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	124,0	130,0	180,0	grava gruesa, arena media	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	130,0	135,0	180,0	boones, grava media a gru	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	135,0	140,0	180,0	grava gruesa a media, bol	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	140,0	166,0	180,0	bolons, grava media a gru	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	166,0	174,0	180,0	grava gruesa, arena fina	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	174,0	178,0	180,0	arcilla variable 11.3% a	G	339884	6265972	Aguas andinas
335	178,0	180,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	339884	6265972	Aguas andinas
273	0,0	2,0	150,0	tierra vegetal, limo arci	V	339326	6266197	Aguas andinas
273	2,0	5,2	150,0	limo arcilloso, grava	C	339326	6266197	Aguas andinas
273	5,2	10,7	150,0	arena, grava, bolones, po	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	10,7	20,8	150,0	grava, bolones, arena, po	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	20,8	29,5	150,0	bolones, grava, arena, po	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	29,5	31,2	150,0	arena gruesa	S	339326	6266197	Aguas andinas
273	31,2	38,5	150,0	grava, bolones, arena, po	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	38,5	50,2	150,0	bolones, grava, arena, ar	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	50,2	53,0	150,0	conglomerado, grava, aren	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	53,0	79,6	150,0	grava, arena, bolones, ar	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	79,6	84,0	150,0	bolones, grava, arena, ar	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	84,0	96,0	150,0	grava, bolones, arena, ar	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	96,0	102,0	150,0	bolones, grava, arena, ar	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	102,0	106,0	150,0	grava, arena, poca arcill	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	106,0	109,0	150,0	arena, grava, arcilla	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	109,0	114,0	150,0	arena, grava, poca arcill	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	114,0	116,0	150,0	grava, arena, arcilla	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	116,0	120,0	150,0	arena, grava, arcilla	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	120,0	126,0	150,0	bolones, grava, arena, ar	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	126,0	131,0	150,0	arena, bolones, grava, po	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	131,0	133,0	150,0	bolones, arena, grava, ar	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	133,0	139,0	150,0	grava, arena, bolones, po	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	139,0	142,0	150,0	arena, bolones, grava, ar	G	339326	6266197	Aguas andinas
273	142,0	150,0	150,0	arena, grava, bolones, ar	G	339326	6266197	Aguas andinas

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
187	0,0	82,0	168,0	antepozo conglomerado se	G	339728	6266332	Aguas andinas
187	82,0	104,0	168,0	conglomerado, ripio, bolo	G	339728	6266332	Aguas andinas
187	104,0	106,0	168,0	arena, grava, bolones y p	G	339728	6266332	Aguas andinas
187	106,0	112,0	168,0	conglomerado, ripio, aren	G	339728	6266332	Aguas andinas
187	112,0	116,0	168,0	arena, grava, bolones y p	G	339728	6266332	Aguas andinas
187	116,0	120,0	168,0	conglomerado, grava, bolo	G	339728	6266332	Aguas andinas
187	120,0	158,0	168,0	conglomerado, arena arcil	G	339728	6266332	Aguas andinas
187	158,0	164,0	168,0	arena, grava y poca arcil	G	339728	6266332	Aguas andinas
187	164,0	168,0	168,0	conglomerado, arcilla, gr	G	339728	6266332	Aguas andinas
166	0,0	1,0	152,0	tierra vegetal	V	340668	6268333	Aguas andinas
166	1,0	3,0	152,0	ripio y arena	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	3,0	7,0	152,0	ripio arena y bolones	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	7,0	39,0	152,0	bolones, ripio, arena, po	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	39,0	50,0	152,0	bolones, ripio y arena	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	50,0	53,0	152,0	bolones, ripio, arena, po	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	53,0	63,0	152,0	bolones, ripio, arena	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	63,0	92,0	152,0	bolones, ripio, arena poc	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	92,0	106,0	152,0	ripio bolon, poca arcilla	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	106,0	110,0	152,0	ripio, bolones, arena, NA	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	110,0	122,0	152,0	arcilla, ripio, arena y b	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	122,0	124,0	152,0	ripio, arena, bolones	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	124,0	126,0	152,0	ripio, limo, bolones	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	126,0	138,0	152,0	ripio, arena, bolones	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	138,0	142,0	152,0	ripio, arena, arcillas	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	142,0	148,0	152,0	ripio, arena	G	340668	6268333	Aguas andinas
166	148,0	152,0	152,0	ripio, arcilla, arena	G	340668	6268333	Aguas andinas
334	0,0	1,0	180,0	tierra vegetal	V	340683	6268338	Aguas andinas
334	1,0	5,0	180,0	grava gruesa a media, arc	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	5,0	23,0	180,0	bolones, grava gruesa a m	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	23,0	40,0	180,0	grava gruesa, arena grues	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	40,0	58,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	58,0	94,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
334	94,0	95,0	180,0	bolones, grava gruesa	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	95,0	100,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	100,0	101,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	101,0	102,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	102,0	103,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	103,0	104,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	104,0	105,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	105,0	106,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	106,0	107,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	107,0	108,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	108,0	109,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	109,0	110,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	110,0	111,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	111,0	112,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	112,0	113,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	113,0	114,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	114,0	115,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	115,0	116,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	116,0	117,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	117,0	118,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	118,0	119,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	119,0	120,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	120,0	121,0	180,0	grava gruesa a fina, limo	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	121,0	122,0	180,0	grava gruesa a fina, limo	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	122,0	123,0	180,0	grava gruesa a fina, limo	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	123,0	124,0	180,0	grava gruesa a fina, limo	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	124,0	125,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	125,0	126,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	126,0	127,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	127,0	128,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	128,0	129,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	129,0	130,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
334	130,0	131,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	131,0	132,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	132,0	133,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	133,0	134,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	134,0	135,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	135,0	136,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	136,0	137,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	137,0	138,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	138,0	139,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	139,0	140,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	140,0	141,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	141,0	142,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	142,0	143,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	143,0	144,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	144,0	145,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	145,0	146,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	146,0	147,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	147,0	148,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	148,0	149,0	180,0	grava gruesa a media, are	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	149,0	150,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	150,0	151,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	151,0	152,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	152,0	153,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	153,0	154,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	154,0	155,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	155,0	156,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	156,0	157,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	157,0	158,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	158,0	159,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	159,0	160,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	160,0	161,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	161,0	162,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
334	162,0	163,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	163,0	164,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	164,0	165,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	165,0	166,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	166,0	167,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	167,0	168,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	168,0	169,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	169,0	170,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	170,0	171,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	171,0	172,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	172,0	173,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	173,0	174,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	174,0	175,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	175,0	176,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	176,0	177,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	177,0	178,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	178,0	179,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
334	179,0	180,0	180,0	grava media a fina, arena	G	340683	6268338	Aguas andinas
321	0,0	39,0	170,0	gravas arenosas, bolones	G	341696	6268790	Aguas andinas
321	39,0	120,0	170,0	arenas y gravas, arcillas	G	341696	6268790	Aguas andinas
321	120,0	154,0	170,0	arenas y gravas, arcillas	G	341696	6268790	Aguas andinas
321	154,0	162,0	170,0	arenas y arcillas 18 a 36	S	341696	6268790	Aguas andinas
321	162,0	170,0	170,0	arenas y arcillas 58 a 83	C	341696	6268790	Aguas andinas
323	0,0	47,0	170,0	gravas arenosas, bolones,	G	341623	6268809	Aguas andinas
323	47,0	120,0	170,0	arenas, gravas, bolones,	G	341623	6268809	Aguas andinas
323	120,0	150,0	170,0	arenas, gravas, bolones,	G	341623	6268809	Aguas andinas
323	150,0	156,0	170,0	arenas, arcillas 24 a 49%	S	341623	6268809	Aguas andinas
323	156,0	162,0	170,0	arenas, arcillas 20 a 48%	S	341623	6268809	Aguas andinas
323	162,0	170,0	170,0	arenas limosas, arcillas	C	341623	6268809	Aguas andinas
113	1,0	23,5	37,0	bolones, grava, arcilla	G	332599	6261092	FALCON et al
113	23,5	34,5	37,0	grava, gravilla, arena	G	332599	6261092	FALCON et al
113	34,5	37,0	37,0	arcilla, arena	C	332599	6261092	FALCON et al

POZO	PS	PI	P	ESTRATIGRAFIA	C	ESTE	NORTE	FUENTE
114	1,0	25,9	65,0	ripio, arena, arcillas	G	333661	6260737	FALCON et al
114	25,9	26,3	65,0	ripio, arcilla,arena	G	333661	6260737	FALCON et al
114	29,0	37,0	65,0	ripio, arena, arcillas	G	333661	6260737	FALCON et al
114	37,0	49,0	65,0	ripio, arcilla,arena	G	333661	6260737	FALCON et al
114	49,0	55,0	65,0	arena, poco ripio	S	333661	6260737	FALCON et al
114	55,0	65,0	65,0	ripio, arena y limo	G	333661	6260737	FALCON et al
115	0,0	4,3	64,5	tierra vegetal, arcilla	C	327190	6258004	FALCON et al
115	4,3	7,0	64,5	ripio,arena arcilla	G	327190	6258004	FALCON et al
115	7,0	19,0	64,5	arcilla, ripio, arena fina	G	327190	6258004	FALCON et al
115	19,0	23,0	64,5	arenas finas	S	327190	6258004	FALCON et al
115	23,0	33,0	64,5	arena, poca arcilla, ripio	S	327190	6258004	FALCON et al
115	33,0	36,5	64,5	arena fina, arcilla	S	327190	6258004	FALCON et al
115	36,5	41,5	64,5	arena, ripio , poca arcilla	S	327190	6258004	FALCON et al
115	41,5	44,0	64,5	arena, ripio fino	S	327190	6258004	FALCON et al
115	44,0	47,0	64,5	arena, arcilla	S	327190	6258004	FALCON et al
115	47,0	50,0	64,5	ripio fino, arena, arcilla	G	327190	6258004	FALCON et al
115	50,0	60,0	64,5	ripio, arcilla, arena	G	327190	6258004	FALCON et al
115	60,0	64,5	64,5	arcilla	C	327190	6258004	FALCON et al
116	0,0	5,0	57,0	tierra vegetal, arcilla	C	327050	6257747	FALCON et al
116	5,0	10,0	57,0	arcilla, arena, poco ripio	C	327050	6257747	FALCON et al
116	10,0	22,0	57,0	arcilla, arena	C	327050	6257747	FALCON et al
116	22,0	40,0	57,0	arena, arcilla	S	327050	6257747	FALCON et al
116	40,0	41,0	57,0	arena, ripio, arcilla	S	327050	6257747	FALCON et al
116	41,0	48,0	57,0	arcilla, arena, poco ripio	C	327050	6257747	FALCON et al
116	48,0	51,0	57,0	arena, ripio, poca arcilla	S	327050	6257747	FALCON et al
116	51,0	55,0	57,0	arcilla, poca arena	C	327050	6257747	FALCON et al
116	55,0	57,0	57,0	arcilla, arena, poco ripio	C	327050	6257747	FALCON et al

Listado de calicatas de la Escuela Elías Sánchez Ortúzar, Diego Portales N°1161, Champa. Fuente: Informe de Mecánica de suelos, otorgado por la Ilustre Municipalidad de Paine, Junio 2010. Las coordenadas fueron extraídas del programa *Google Earth*, según la ubicación del informe. Nombres de calicatas modificados del original.

DETALLE: **PI:** Profundidad inferior del nivel, **PS:** Profundidad superior del nivel

CALICATA	C. ESTE	C. NORTE	NIVEL	PI	PS	ESPESOR	UNIDAD
C1	336955	6252546	1	0	0,4	0,4	Relleno
			2	0,4	1	0,7	Arcilla
			3	1	2,5	1,4	Arena limosa
			4	2,5	2,8	0,3	Arena limosa
			5	2,8	3,2	0,4	Arena limosa
C2	336993	6252549	1	0	0,3	0,3	Relleno
			2	0,3	1,3	1	Relleno
			3	1,3	3,2	1,9	Arena limosa
			4	3,2	3,6	0,4	Arcilla
C3	336951	6252563	1	0	0,5	0,5	Relleno
			2	0,5	1,6	1,1	Arcilla
			3	1,6	2,2	0,6	Arcilla
			4	2,2	3	0,8	Arcilla
C4	336953	6252569	1	0	0,6	0,6	Relleno
			2	0,6	0,8	0,2	Arcilla
			3	0,8	2,2	1,4	Arena limosa
			4	2,2	3,1	0,9	Arcilla
C5	336953	6252594	1	0	0,4	0,4	Relleno
			2	0,4	0,7	0,3	Arcilla
			3	0,7	2,9	2,2	Arcilla
			4	2,9	3,2	0,3	Limo