



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN EDIFICACIONES Y SERVICIOS
ESENCIALES EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE COPIAPÓ, REGIÓN DE
ATACAMA, CHILE**

Profesor Guía: Gonzalo Sánchez

Hernán Araya Arévalo

Copiapó, Chile 2022

Agradecimientos

A mis padres Gloria Arévalo y Hernán Araya, el apoyo y dedicación que me han entregado día a día, el ejemplo de superación que representan frente a la adversidad, han sido fundamentales para forjarme a ser mejor persona y llegar al término de esta etapa, sin ustedes no hubiera sido posible.

A mi profesor tutor Gonzalo Sánchez, por la paciencia y disposición frente a las inquietudes, su orientación fue esencial para el desarrollo de esta tesis.

A Yesarela Cornejo compañera de carrera, que proporcionó datos de su excelente trabajo de titulación, los que permitieron un estudio mucho más completo.

A Brian Araza Geógrafo del MINVU de Copiapó, por su motivación a generar las conexiones con las autoridades de administración territorial, y colaboración de información geográfica que facilitaron la realización del trabajo.

Resumen

El área urbana de Copiapó hoy se encuentra susceptible a los daños que pueda generar un sismo de alta magnitud, sumado a la no existencia de estudios de riesgo sísmico detallados de la ciudad, dificulta la identificación de zonas vulnerables y sus respectivos planes de acción que van en directo beneficio a la protección de los habitantes.

En este trabajo se presenta un análisis del riesgo sísmico de la infraestructura crítica presente en Copiapó, mediante la recopilación de información ingenieril y la utilización de un mapa de microzonificación sísmica. Lo que permitió comprender de mejor manera la vulnerabilidad sísmica presente en las edificaciones de interés.

En su minoría se pudo establecer que las edificaciones analizadas se encuentran en riesgo sísmico de consideración, esto último debido principalmente por la incompetencia de los suelos frente al paso de las onda sísmicas y la nula claridad frente a la verificación de los cumplimientos especificados por la normativa nacional antisísmica y de ordenamiento territorial, que permitieron estimar el comportamiento a futuro de estas construcciones esenciales ante un sismo esperado en la región, de manera que para las autoridades pertinentes esta información les sea de utilidad para la aplicación efectiva de planes de desarrollo comunal y afines.

Índice

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 Objetivo general.....	1
1.2.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Hipótesis de trabajo	2
1.4 Ubicación y vías de accesos.....	2
1.5 Marco Geotectónico.....	3
1.6 Geología estructural.....	4
1.7 Trabajos previos	7
Capítulo 2: Marco teórico	8
2.1 Ondas sísmicas	8
2.1.1 Ondas primarias (P).....	8
2.1.2 Ondas secundarias (S)	8
2.1.3 Ondas Rayleigh.....	9
2.1.4 Ondas Love	9
2.2 Contexto y Tipos de Sismos en Chile.....	10
2.2.1 Sismos de intraplaca oceánica o “outer-rise” (A).....	10
2.2.2 Sismos de interplaca o Thrust (B).....	10
2.2.3 Sismos intraplaca oceánicos de profundidad intermedia (C)	10
2.2.4 Sismos corticales o superficiales (D)	10
2.3 Método de Nakamura	12
2.4 Riesgos geológicos.....	15
2.5 Importancia de un estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Copiapó	17
2.6 Principales sismos ocurridos en la Región de Atacama	20
2.6.1 Siglo XVIII.....	20
2.6.2 Siglo XIX	21
2.6.3 Siglo XX.....	21
2.6.4 Siglo XXI	25

2.7 Ingeniería Sísmica.....	27
2.7.1 Rigidez	27
2.7.2 Resistencia o capacidad estructural.....	28
2.7.3 Ductilidad	30
2.8 Marco legal.....	31
2.8.1 Normativa nacional relativa a la construcción antisísmica	31
2.8.2 Normativa sobre ordenamiento territorial y/o riesgo sísmico	32
Capítulo 3: Metodología	34
3.1 Etapa preliminar	34
3.2 Etapa de terreno	35
3.3 Etapa de gabinete	36
Capítulo 4: Resultados	38
4.1 Vulnerabilidad y peligrosidad sísmica	38
4.2 Riesgo sísmico	45
Capítulo 5: Discusiones	47
5.1 Establecimientos educacionales	47
5.2 Establecimientos de salud.....	48
5.3 Bomberos	48
5.4 Establecimientos policiales	48
5.5 Servicios de orden y salud.....	49
Capítulo 6: Conclusiones.....	49
6.1 Recomendaciones	50
Bibliografía.....	53
Anexos:	59
Anexo A: Categoría y dirección de las infraestructuras analizadas.....	59
Anexo B: Tablas de vulnerabilidad sísmica	63
Anexo C: Tablas de riesgo sísmico.....	66
Anexo D: Base de datos solicitada a dirección de obras municipales.....	68

Índice de figuras

Figura 1.1.: Mapa de ubicación y accesos a la ciudad de Copiapó (elaboración propia).	2
Figura 1.2: A) Modelo de elevación digital de los Andes, entre los 15° y 40°S. B) Dominios morfoestructurales del segmento flat-slab, CC: cordillera de la Costa, FC: cordillera Frontal. (modificado de Charrier et al., 2007).	4
Figura 1.3: Ubicación de fallas activas y potencialmente activas en el área de estudio (extraído de Rauld et al., 2016).	7
Figura 2.1: Tipos de Ondas sísmicas (extraído de Rauld et al., 2016).	9
Figura 2.2: Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción; A: Intraplaca oceánica, B: Interplaca o Thrust, C: Intraplaca oceánica de profundidad intermedia y D: Corticales (extraído de Rauld et al., 2016).	11
Figura 2.3: Amplificación de la vibración en un sismo de gran magnitud (modificado de Keller y Blodgett, 2004).	13
Figura 2.4: Estructura geológica típica de una cuenca sedimentaria (modificado de Nakamura, 2000).	15
Figura 2.5: Brecha sísmica en la Región de Atacama representada por la flecha en color naranja (modificado de Yáñez, 2020).	18
Figura 2.6: Acoplamiento intersísmico calculado para la región de Atacama. Flecha roja indica una zona de alto grado y la flecha amarilla una de bajo grado (modificado de Yáñez, 2020).	19
Figura 2.7: Periodo de retorno en años de terremotos para la ciudad de Copiapó expresada en la línea roja (modificado de González de Vallejo et al., 2002).	20
Figura 2.8: Curva típica de respuesta estructural para sistemas sujetos a cargas horizontales (modificado de Elnashai & Di Sarno, 2008).	28
Figura 2.9: Definición de resistencia o capacidad estructural (modificado de Elnashai y Di Sarno, 2008).	29
Figura 2.10: Definición de ductilidad estructural (modificado de Elnashai & Di Sarno, 2008).	30
Figura 3.1: Imagen del Hospital Regional de Copiapó San José del Carmen.	36
Figura 3.2: Respuesta sísmica del terreno en el límite urbano de la ciudad de Copiapó.	37
Figura 4.1: Edificaciones y servicios esenciales de la ciudad de Copiapó que se evaluaron en el estudio (elaboración propia).	38
Figura 6.1: Mapa de peligrosidad bajo criterios geomorfológicos que contiene las edificaciones analizadas. El color rojo representa el mayor peligro y el verde el menor (modificado de Larrondo, 2017).	52

Índice de tablas

Tabla 2.1: Procesos geodinámicos que pueden generar riesgos geológicos (modificado de González de Vallejo et al., 2002).....	16
Tabla 2.2: Resumen de eventos telúricos más importantes ocurridos en la Región de Atacama (información de Cáceres, 2018).	26
Tabla 4.1: Detalle de los parámetros aplicados en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Simbología: AL: Albañilería, H: Hormigón, A: Alta, M: media, - : Cumple, -- : No hay información, * : Año de Permiso de edificación sin recepción final, ** : Año de permiso de edificación para regularización, (): Año obtenido en terreno.	39
Tabla 4.2: Resumen de los parámetros evaluados en las edificaciones esenciales y sus respectivos rangos de vulnerabilidad.....	42
Tabla 4.3: Puntuación categorías de vulnerabilidad.....	42
Tabla 4.4: Vulnerabilidad sísmica estimada para los establecimientos educacionales.....	43
Tabla 4.5: Puntuación categorías de peligrosidad.....	45
Tabla 4.6: Puntuación categorías de riesgo.....	45
Tabla 4.7: Riesgo sísmico estimado a los establecimientos educacionales.....	45
Tabla 4.8: Categoría y dirección de las infraestructuras analizadas.....	59
Tabla 4.9: Vulnerabilidad sísmica estimada para los establecimientos de salud.....	63
Tabla 4.10: Vulnerabilidad sísmica estimada para compañías de bomberos.....	64
Tabla 4.11: Vulnerabilidad sísmica estimada para establecimientos policiales.....	64
Tabla 4.12: Vulnerabilidad estimada para servicios de orden y salud.....	65
Tabla 4.13: Riesgo sísmico estimado a los establecimientos de salud.....	66
Tabla 4.14: Riesgo sísmico estimado a las compañías de bomberos.....	66
Tabla 4.15: Riesgo sísmico estimado a establecimientos policiales.....	67
Tabla 4.16: Riesgo sísmico estimado a los servicios de orden y salud.....	67

Capítulo 1: Introducción

1.1 Planteamiento del Problema

Esta propuesta de trabajo reviste especial importancia en la ciudad, dada la nula información que se posee en cuanto al riesgo sísmico y de cómo enfrentarlo. Sumado a esto, en la región de Atacama no ha ocurrido un sismo de gran magnitud ($M_w \geq 8$) hace 100 años, y considerando la ocurrencia de estos eventos en el país, en la región se esperaría un megaterremoto con graves daños a la infraestructura y todo lo que ello conlleva.

Pese a que anteriormente se han hecho algunas aproximaciones para determinar aspectos relativos al riesgo sísmico, urge contar con estudios que logren cuantificar la potencial amenaza y así poder caracterizar el comportamiento de las principales edificaciones de la ciudad frente a sismos de consideración. Copiapó como capital de la Región de Atacama, posee la mayor densidad demográfica en comparación a las demás comunas y actualmente no posee estudios de vulnerabilidad sísmica vinculado a edificaciones y servicios esenciales (hospitales, bomberos, clínicas, etc.), esto hace de la ciudad un punto susceptible a las consecuencias graves que conlleva un sismo de gran magnitud. En este sentido, el estudio del riesgo sísmico resulta una herramienta esencial para la formulación de planes de gestión de desastres, como también en los procesos de planificación urbana.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Identificar zonas con infraestructura crítica, vulnerables a eventos telúricos de gran magnitud que afecten a la zona urbana de Copiapó.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar edificaciones en base a diversos criterios de vulnerabilidad y peligrosidad sísmica estructural.
- Generar una base de datos de información ingenieril de las infraestructuras esenciales de Copiapó.
- Integrar información ingenieril con datos sísmicos de la zona de estudio.
- Determinar obras irregulares ante el cumplimiento de las normas de construcción.

- Evaluar el riesgo sísmico de las edificaciones esenciales consideradas.
- Desarrollar recomendaciones preventivas acordes a cada sector de la ciudad.

1.3 Hipótesis de trabajo

El mapa preliminar de microzonación sísmica de la ciudad de Copiapó (Cornejo y Sánchez, 2018), sugiere diversas zonas vulnerables al paso de las ondas sísmicas, las que coincidirían con sistemas y edificaciones esenciales para la ciudadanía. Ante esta situación, las condiciones ingenieriles de las construcciones, el cumplimiento de las normativas y el ordenamiento territorial definido por entidades públicas, se encontrarían en cuestionamiento según la construcción sismorresistente vigente.

1.4 Ubicación y vías de accesos

El área de investigación se localiza en la ciudad de Copiapó, en la comuna y provincia del mismo nombre, III Región de Atacama. La vía de acceso principal a la ciudad tanto por el norte como por el sur es a través de la ruta 5 (panamericana norte), mientras que el acceso internacional por Argentina se realiza por la ruta 31-CH hasta llegar a Paipote y luego tomar la avenida Copayapu o Los Carrera (ver figura 1.1). Debido a las características urbanas (pavimento asfaltado) de la zona de estudio, la movilización es posible a través de cualquier vehículo de tracción simple.

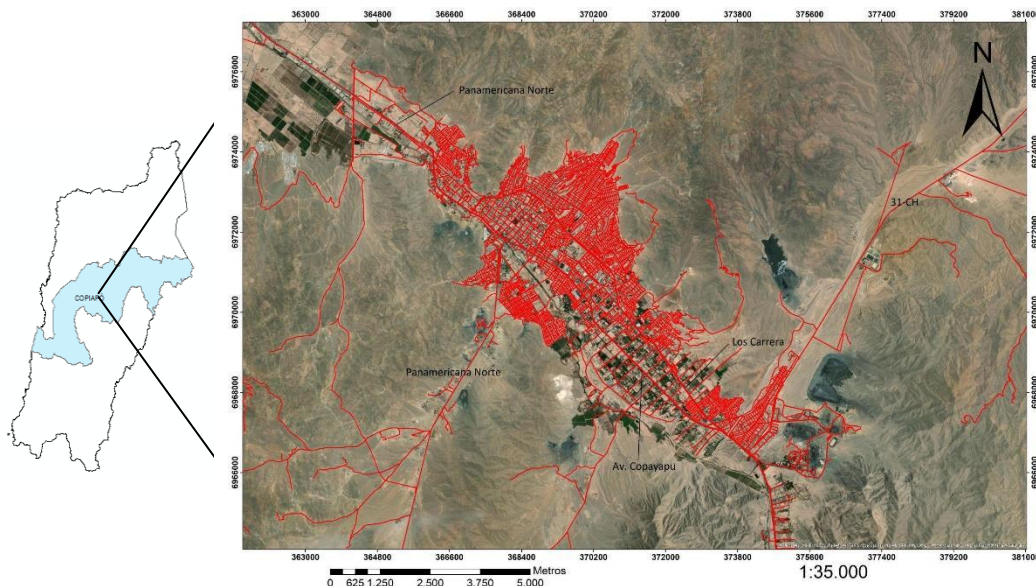


Figura 1.1: Mapa de ubicación y accesos a la ciudad de Copiapó (elaboración propia).

1.5 Marco Geotectónico

La evolución tectónica en el margen oeste del continente sudamericano durante el Paleozoico, estuvo dominada por la acreción de terranes, que llevaron a cabo al desarrollo de fases diastróficas y de rifting. El Mesozoico (Jurásico Temprano-Cretácico Temprano) de los Andes Centrales del norte de Chile, se destacó principalmente por el establecimiento de un conjunto de sistemas de arcos volcánicos y cuencas extensionales de trasarco, producto de la subducción en retroceso de la Placa oceánica de Fénix (Trench Roll-Back Negativo) bajo el margen continental (Coira *et al.*, 1982; Ramos *et al.*, 1986; Mpodozis y Ramos, 1989; Scheuber *et al.*, 1994; Ramos y Alemán, 2000; Charrier *et al.*, 2007; Ramos, 2009; Seton *et al.* 2012). A lo largo del norte de Chile, las evidencias de este proceso han sido frecuentemente atribuidas a la presencia de un conjunto de cuerpos intrusivos e importantes volúmenes de rocas volcánicas del Jurásico Temprano, así como también a potentes series sedimentarias marinas y continentales del Jurásico Superior-Cretácico Temprano (Mpodozis y Ramos, 1990; Mpodozis y Allmendinger, 1993; Arévalo, 2005a y b; Mourgues, 2007; Amilibia *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2013). Tanto las rocas intrusivas como las volcánicas del Jurásico a Cretácico Inferior están afectadas por el Sistema de Fallas Atacama (SFA), que se extiende a lo largo de la cordillera de la Costa alrededor de 1.100 km desde los 20°30' hasta los 29°45' latitud sur (Mpodozis y Ramos, 1990., Brown *et al.*, 1993). Sin embargo, parte importante de las sucesiones volcánicas y sedimentarias jurásicas y cretácicas, se encuentran hoy en día afectados por sistemas estructurales compresivos derivados de la orogenia andina, lo que entrega una clara complejidad tectónica para la región.

Actualmente en el margen occidental de América del Sur, la geometría de la placa de Nazca presenta variaciones latitudinales, alternando segmentos de subducción normal bajo la placa Sudamericana, donde el ángulo de la zona de Benioff es cercano a los 30°, con segmentos de subducción plana que no superan los 10° de inclinación (Barazangi y Isacks, 1976). El área de estudio se encuentra en el *flat slab* denominado "Segmento de subducción plana de Chile central" (Barazangi y Isacks, 1976; Jordan *et al.*, 1983) y definido como "Segmento de subducción plana Pampeano" por Ramos *et al.* (2002), localizado entre los 27-33° Sur (ver figura 1.2). Este segmento de subducción plana se caracteriza por la ausencia de volcanismo activo desde el Mioceno Superior, desarrollo de una tectónica de engrosamiento fino en el antepaís con bloques de basamento hacia el este y por la ausencia de una depresión longitudinal entre la cordillera de la Costa y la cordillera Frontal (Jordan *et al.*, 1983).

La cordillera de la Costa y la cordillera Frontal constituyen dominios morfoestructurales en el sector chileno de la cordillera de los Andes, con marcadas diferencias en su morfología, estratigrafía y estilo de deformación (Moscoso & Mpodozis, 1988). En el sector occidente del orógeno andino, la cordillera de la Costa presenta una deformación de piel fina y de pliegues suaves de gran longitud de onda (Moscoso & Mpodozis, 1988) y en el oriente, la cordillera Frontal chilena está conformada por una serie de pilares de basamento en

compresión limitados por fallas inversas de alto ángulo, distribuidos en franjas de orientación N-S a NNE-SSW (Godoy & Davidson, 1976; Moscoso & Mpodozis, 1988).

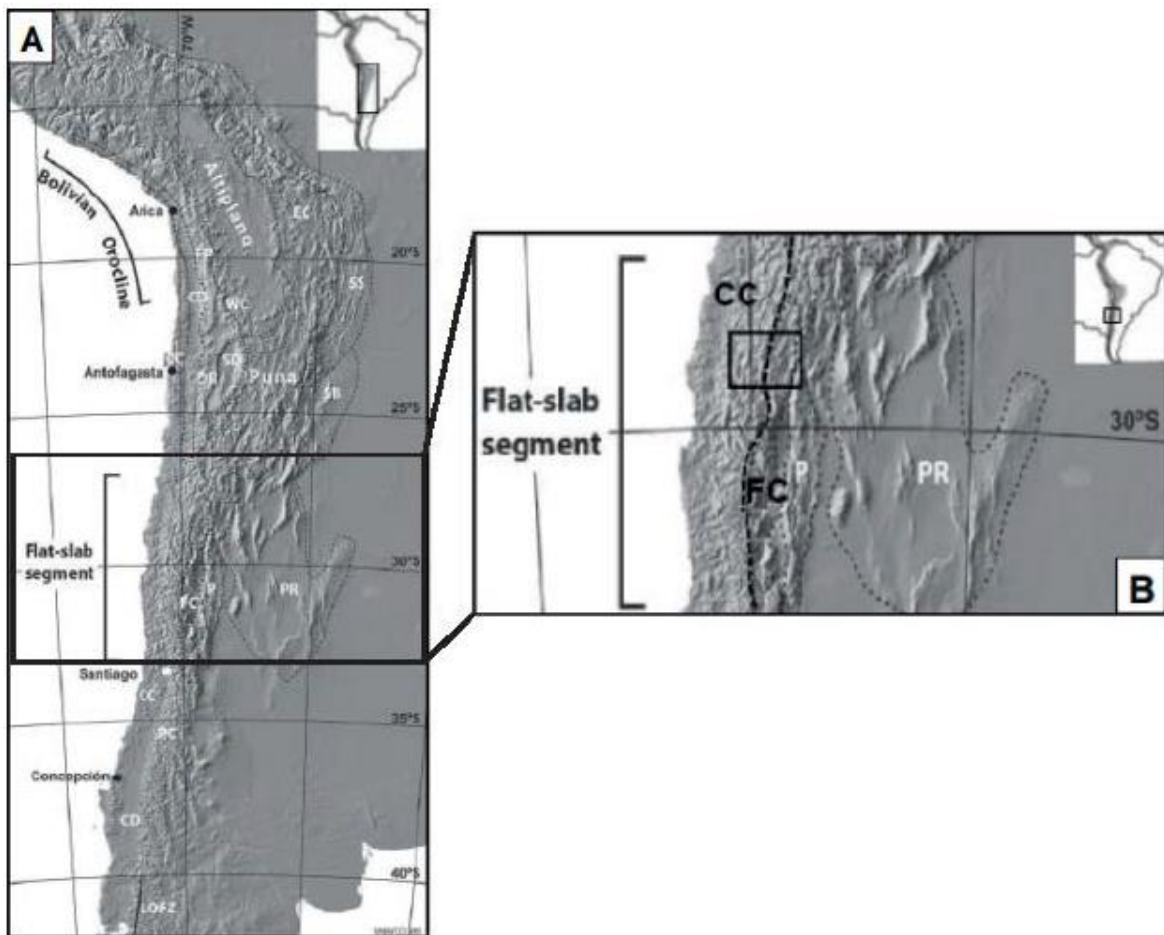


Figura 1.2: A) Modelo de elevación digital de los Andes, entre los 15° y 40°S. B) Dominios morfoestructurales del segmento flat-slab, CC: cordillera de la Costa, FC: cordillera Frontal. (modificado de Charrier et al., 2007).

1.6 Geología estructural

Las estructuras tectónicas primordiales hacen referencia a la Falla de Paipote y al Sistema de Falla de Atacama. Esta última, es una de las estructuras más relevantes de la cordillera de la Costa en el norte de Chile y se extiende desde Iquique hasta Copiapó, con una longitud cercana a los 800 km. En el área de estudio, el Sistema de Falla de Atacama consiste en un gran accidente geológico de dirección N-S (fallas de rumbo). Su rama principal en el sector se interpreta como una zona de cizalla estrecha, de deformación dúctil, de componente principal sinistral, que se encuentra activa desde el Cretácico Inferior tardío a través del emplazamiento de los plutones adyacentes (Larrondo, 2017). Otros autores han propuesto una reactivación y movimientos de componente vertical normal en el Mioceno para este

sistema de fallas en otros segmentos ubicados más al norte, destacándose un alzamiento del bloque occidental con respecto al oriental (Hervé, 1987).

Se han identificado otros sistemas de falla subverticales en la cordillera de la Costa emplazadas en el sector de estudio, con rumbo NW/NNW y componente principal sinistral, representadas por la Falla de Bandurrias y la Falla de San Gregorio (Larrondo, 2017). También se ha descrito un sistema estructural en flor positiva (Faja plegada y corrida de Paipote) enraizado en la Falla Paipote, cuya estructura retrabaja otras más antiguas de comportamiento normal y alto ángulo, desplaza y deforma unidades del Cretácico Inferior a lo largo de la quebrada Paipote y el río Copiapó, y genera un anticlinal de dimensiones kilométricas conocido como el Anticlinorio de Tierra Amarilla (Larrondo, 2017).

El trabajo de Rauld et al. (2016) clasifica las fallas activas como aquellas que presentan evidencias de desplazamiento durante el Holoceno (los últimos 12.000 años); y las fallas potencialmente activas que son aquellas que tienen evidencia de desplazamiento durante el Pleistoceno (2.5 Ma a 12 Ka). En este trabajo se hace alcance a las fallas inactivas que no pertenecen a las categorías anteriores, movimiento más antiguo que 2.5 Ma, lo que incluye el Plioceno 2.5 Ma a 5 Ma, Mioceno a partir de 5 Ma y periodos más antiguos.

Las fallas activas y potencialmente activas en el área de estudio son divididas en dos categorías: las fallas que pertenecen al Sistema de Falla de Atacama, y las fallas que se encuentran en la costa y que afectan a las terrazas marinas. Si bien, no se conoce de manera certera la edad del último movimiento de las fallas que pueden ser consideradas como potencialmente activas, estas deben ser consideradas como activas, bajo un enfoque conservador. Las fallas pertenecientes al Sistema de Fallas de Atacama no han sido estudiadas en detalle en la zona, solo se puede mencionar que corresponden a estructuras de orientación general norte-sur, ubicadas fuera del área urbana, pero dentro de la comuna (ver figura 1.3). Su expresión morfológica no es tan evidente como lo es en la región de Antofagasta, pero se le asocia a una serie de escarpes de falla de alturas de decenas de metros (Rauld et al., 2016).

Las fallas del sistema N-S, son estructuras que presentan evidencias de actividad a lo largo de todo el Sistema de Falla de Atacama (varias centenas de km) y que son consistentes con estructuras de periodos de recurrencia bajos, pero con evidencias de movimientos durante el Holoceno. La amenaza que presenta este sistema es moderada dada la baja recurrencia de los sismos generados, esto se deduce a partir de las edades determinadas para los movimientos dentro de este sistema informadas en la literatura (González et al., 2003; González et al., 2006; Carrizo et al., 2008; Carrizo, 2009). Por relaciones de escala empíricas, de tamaño de ruptura versus magnitud, se puede estimar que sismos producidos en segmentos de falla pertenecientes a este sistema pueden tener magnitudes (M_w) superiores a 6 (Wells y Coppersmith, 1994; Keller y Pinter, 2002).

Las fallas ubicadas en el sector de Caldera, al oeste del área de estudio, han sido estudiadas con más detalle (Marquardt et al., 2004; Lavenue, 2005). Estas estructuras corresponden a

fallas de dirección noreste y noroeste que afectan depósitos de terrazas marinas del Cuaternario y han sido interpretadas como generadas en respuesta a cambios en los campos de esfuerzos de la corteza durante este periodo. Algunas de estas fallas son de mecanismo normal, que terminan por definir elementos del paisaje, como el graben de Caldera, y otras son de mecanismo inverso, que resultan en morfologías como el Morro de Copiapó. Las tasas de movimiento de estas fallas son bajas, menores al milímetro por año (Marquardt et al., 2004), pero cómo afectan a depósitos del Holoceno y Pleistoceno deben ser consideradas como fallas activas. A la fecha no existen estudios que permitan determinar la extensión de estas fallas en la plataforma continental bajo el nivel del mar, por lo que no es posible precisar su extensión verdadera y estimar parámetros que permitan aproximar la magnitud estimada para un hipotético sismo generado en estas fallas utilizando relaciones de escala. Sin embargo, las características de estas fallas, como la orientación y la escasa expresión morfológica que presentan, permiten estimar un comportamiento similar al de la falla de Topocalma, que generó el sismo cortical Mw =6.9 del 11 de marzo de 2010 en las cercanías de Pichilemu (Rauld et al., 2016).

Un estudio realizado por Comte et al. (2002) que caracteriza la sismicidad de la zona de estudio, no encontró evidencias de microsismicidad en la corteza, ni la asocia a actividad sísmica cortical de importancia en los registros históricos. Sin embargo, los resultados del trabajo de Marquardt et al. (2004) señalan que las evidencias de deformación en la costa de Atacama durante los últimos 2 millones de años son claros indicadores de la ocurrencia de sismos moderados a grandes, tanto corticales como de subducción, y que las fallas están fuertemente relacionadas con los procesos de carga y descarga de energía que se producen durante el ciclo sísmico de la subducción, y por lo tanto estas fallas tienen el potencial de generar sismicidad. La tasa de deformación es baja (< 1 mm/año), por lo tanto, la recurrencia esperada (del orden de miles de años) y el tamaño reconocible de estas fallas permiten estimar que estas fallas constituyen una amenaza moderada (Rauld et al., 2016).

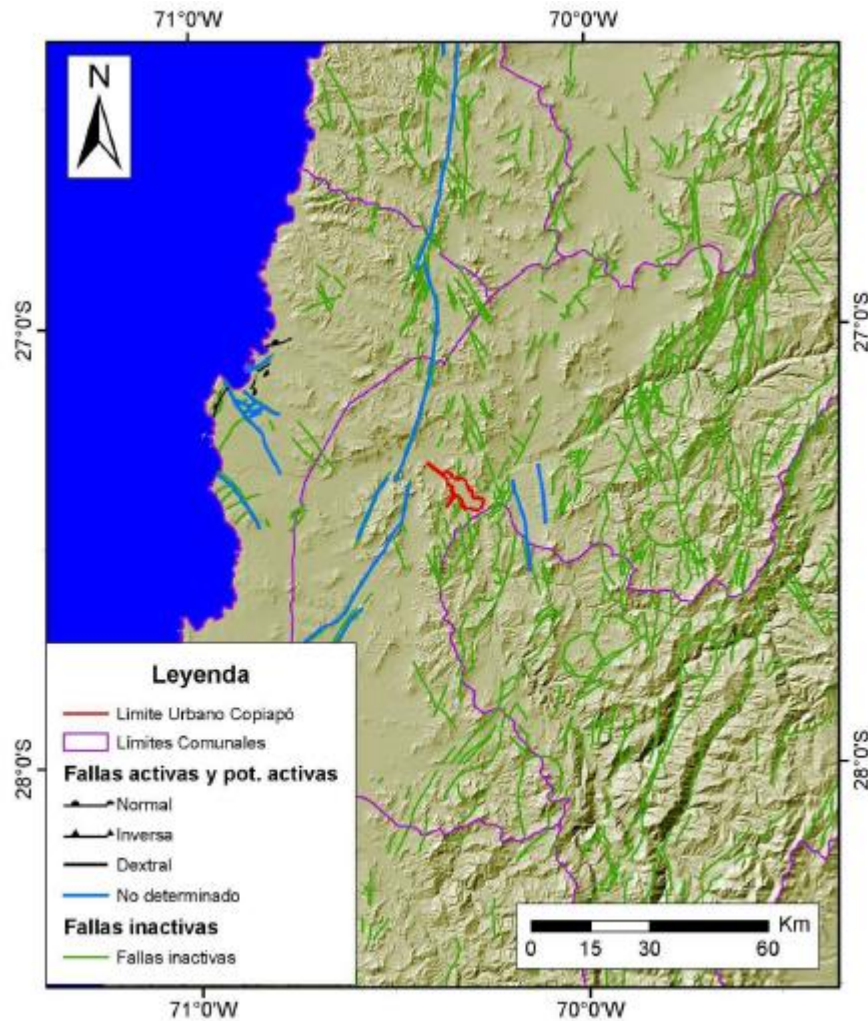


Figura 1.3: Ubicación de fallas activas y potencialmente activas en el área de estudio (extraído de Rauld et al., 2016).

1.7 Trabajos previos

En la ciudad de Copiapó se han desarrollado algunos estudios acerca de sus condiciones sísmicas, pero en su totalidad enfocados de manera muy general. Entre los que destacan está el de Susa (2004), que estimó la probabilidad de ocurrencia de un terremoto de magnitud importante (7.0-7.5) en diversas regiones de nuestro país dentro de un determinado rango de tiempo, obteniendo en la zona de estudio un rango entre 23% al 98% dependiendo del modelo probabilístico.

Otro es el de Tapia et al. (1998) que desarrollaron estudios para evaluar la vulnerabilidad sísmica de todas las ciudades de la zona norte de Chile, entre ellas la de Copiapó. Evaluando la sismicidad de cada zona pudieron establecer el sismo más probable de ocurrir, y sus efectos en cada localidad. Mediante el establecimiento de curvas de vulnerabilidad para los

distintos tipos estructurales presentes en cada ciudad y el correspondiente catastro de edificación, establecieron el nivel de daño a través de un sistema de información geográfica.

Y el de Leyton (2011) donde realizó un mapa a escala regional de la amenaza sísmica, analizando antecedentes recogidos de la literatura y de presentaciones, obteniendo que las mayores intensidades sísmicas se registran en la zona en donde el sustrato es suelo y que las menores intensidades se registran en sustrato rocoso. Todo este análisis lo desarrolló en base a un sismo de 8.8 Mw con profundidad de 30 km y con un período de retorno de 500 años.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas se clasifican en ondas de cuerpo y de superficie. Las ondas de cuerpos viajan por el interior de la corteza terrestre hasta la superficie. Se dividen en dos tipos: ondas primarias (P) o de compresión y ondas secundarias (S) o de corte. Las ondas de superficie se producen por la interacción entre las ondas de cuerpo y la superficie terrestre y su amplitud decrece exponencialmente con la profundidad. Se dividen en ondas Rayleigh y ondas Love, las que junto a las ondas de cuerpo son definidas en detalle por Serafini (2017):

2.1.1 Ondas primarias (P)

De compresión o “longitudinales” que involucran tensión y compresión en el material por el cual se transportan. El movimiento de las partículas es paralelo a la dirección de propagación de la onda (ver figura 2.1), pueden viajar en medios tanto sólidos como líquidos y tienen una velocidad de propagación mayor a las demás ondas, por lo que se observan primero en los sismogramas. Esta última depende de la rigidez y la densidad del material por el cual viajan y es mayor en materiales más rígidos.

2.1.2 Ondas secundarias (S)

De corte o “transversales”, producen deformaciones angulares mientras viajan por el material. El movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la onda (ver figura 2.1) y se dividen en ondas SV y SH dependiendo del plano de movimiento de la partícula (vertical u horizontal). La velocidad de propagación, al igual que las ondas primarias, depende de la rigidez y la densidad del material y es aproximadamente 1,7 veces menor que la velocidad de las ondas primarias. En rocas duras, la velocidad promedio de las ondas de corte es de 1200 m/s, 540 m/s en suelos firmes tipo grava, 300 m/s en suelos arenosos y arcillosos y 150 m/s en suelos blandos.

2.1.3 Ondas Rayleigh

Se producen por la interacción entre ondas P y SV con la superficie terrestre. Se caracterizan por tener un movimiento elíptico retrógrado, es decir, las partículas del material se mueven describiendo una elipse en dirección opuesta a la dirección de propagación de la energía (ver figura 2.1). Dicho movimiento cambia a progrado con la profundidad, pasando por un nodo en el cual no existe movimiento alguno de partícula. El eje vertical de la elipse es siempre el de mayor amplitud. La velocidad de propagación de las ondas de Rayleigh es menor que la de las ondas S, sin embargo, esta velocidad varía en función de la frecuencia de la onda (ondas dispersivas), lo que se traduce en que las diferentes componentes armónicas de las ondas Rayleigh viajan a velocidades diferentes, siempre menores a la velocidad de las ondas de cuerpo. Se consideran las ondas más destructivas debido a su alta amplitud.

2.1.4 Ondas Love

Resultan de la interacción entre las ondas P y SH con la superficie terrestre. El movimiento característico es horizontal paralelo a la superficie, pero perpendicular a la dirección de propagación y no tienen componente vertical (ver figura 2.1). La velocidad de las ondas Love es menor a las ondas Rayleigh y también tienen comportamiento dispersivo, teniendo mayor velocidad a frecuencias más bajas.

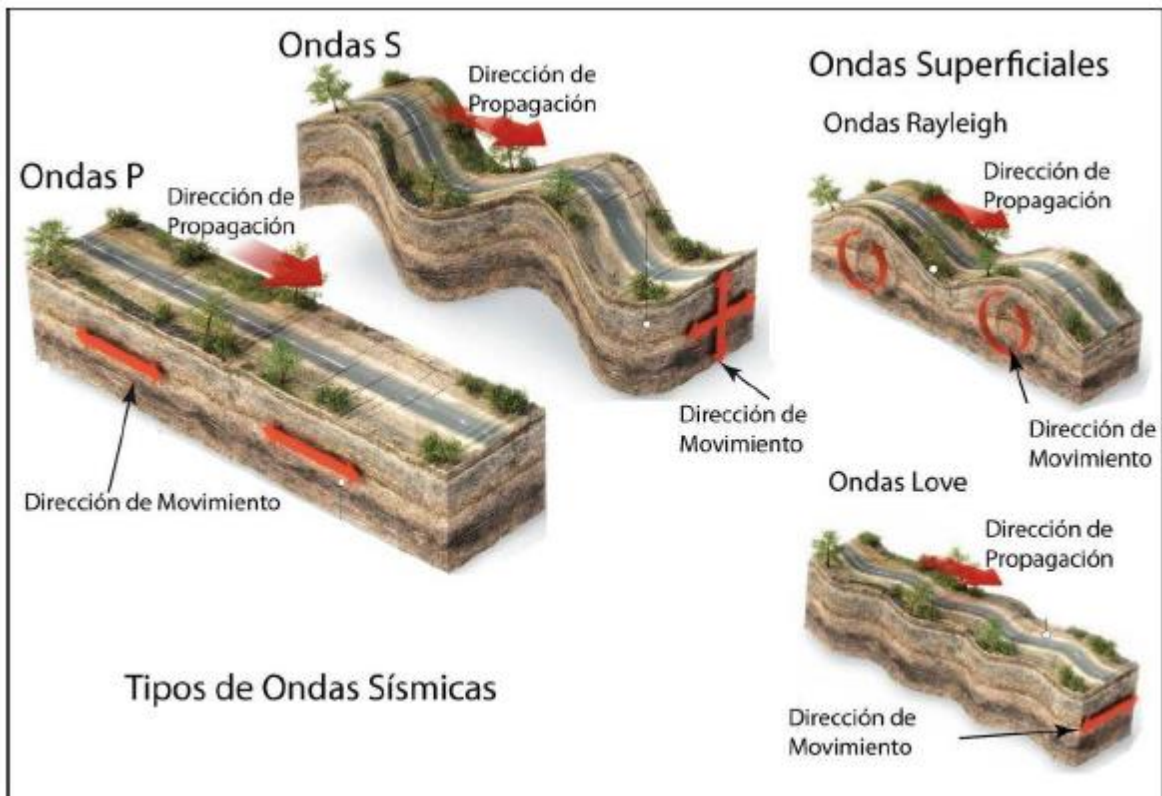


Figura 2.1: Tipos de Ondas sísmicas (extraído de Rauld et al., 2016).

2.2 Contexto y Tipos de Sismos en Chile

Explicado el comportamiento de las diferentes ondas sísmicas que actúan en los movimientos telúricos, es relevante entender sus propagaciones en el contexto de subducción andina. En esta última, se produce acumulación de energía que se libera por sismos de interplaca, que genera campos de esfuerzos en la placa continental, en la oceánica y en la zona de acople entre ambas (Rauld et al., 2016).

El programa de riesgo sísmico de la Universidad de Chile (PRS, 2017) categoriza los terremotos en Chile en cuatro tipos que se diferencian por características propias de las fuentes sismogénicas, el tipo de mecanismo sismológico, la ubicación de la fuente sísmica y la magnitud de los sismos.

2.2.1 Sismos de intraplaca oceánica o “outer-rise” (A)

Se producen por los esfuerzos extensivos de abombamiento en la placa subductante antes de la zona de contacto. A pesar de llegar a tener magnitudes cercanas a $M_w = 6$, prácticamente no causan efectos significativos en áreas pobladas debido a su ocurrencia en zonas mar adentro.

2.2.2 Sismos de interplaca o Thrust (B)

Son generados en el contacto de las placas tectónicas Sudamericana y de Nazca. Se localizan en la costa, extendiéndose desde la fosa hasta unos 50 a 60 km de profundidad. Estos sismos dominan la sismología de la zona central: son los más grandes en magnitud, los más comunes, afectan grandes áreas y pueden causar tsunamis al desplazar verticalmente el fondo oceánico. Sus magnitudes han llegado a fluctuar entre $M_w = 8.0$ y $M_w = 9.5$.

2.2.3 Sismos intraplaca oceánicos de profundidad intermedia (C)

Son aquellos que ocurren al interior de la placa de Nazca, a profundidades comprendidas entre 50 y 200 km. Sus epicentros se sitúan bajo el continente y pueden alcanzar magnitudes hasta del orden de $M_w = 8$, con un alto potencial destructivo y altas aceleraciones máximas reportadas. Se producen por el fracturamiento tensional de la placa de Nazca, es decir, la placa se quiebra por su propio peso.

2.2.4 Sismos corticales o superficiales (D)

Son aquellos generados en fallas geológicas sísmicamente activas, en el interior de la placa continental Sudamericana, principalmente en los sectores precordilleranos y cordilleranos. Ubicados en profundidades menores de 30 km, son sismos menos comunes que los terremotos de Interplaca o Intraplaca oceánicos y de menor magnitud, generalmente menor a $M_w = 7$ o 7.5 . Tienen un efecto mucho más local pero que pueden ser muy

destruictivos en las cercanías del epicentro para magnitudes superiores a $M_w = 6$. Presentan bajos períodos de recurrencia, por lo cual están poco representados en los catálogos sísmicos.

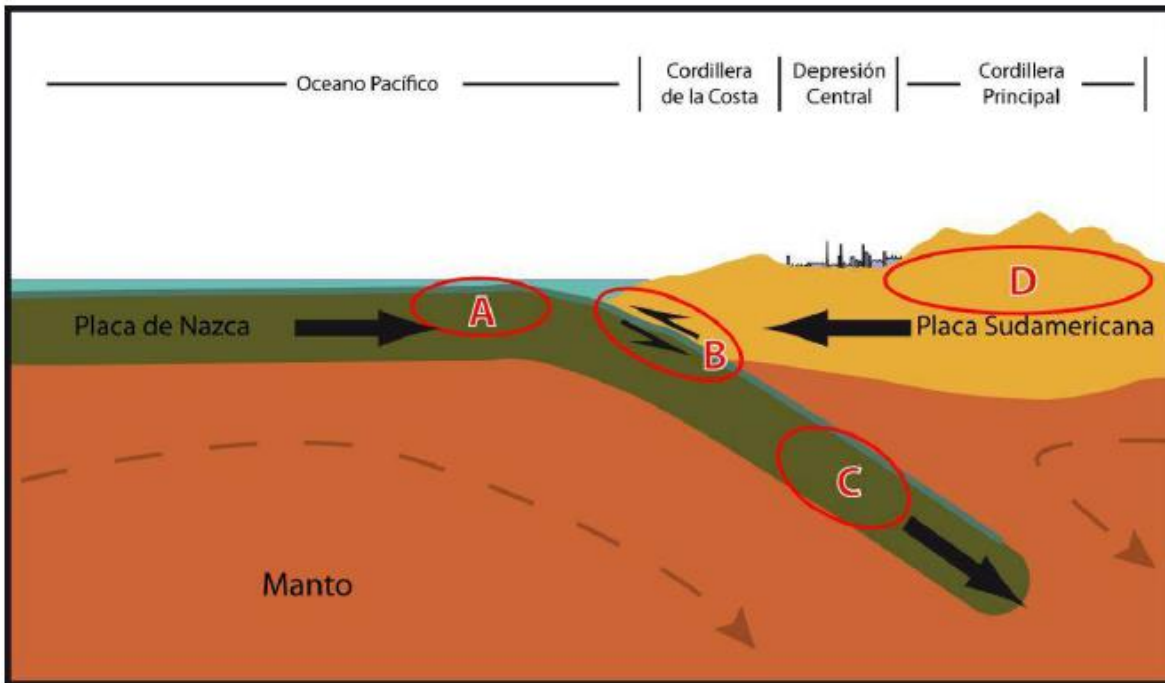


Figura 2.2: Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción; A: Intraplaca oceánica, B: Interplaca o Thrust, C: Intraplaca oceánica de profundidad intermedia y D: Corticales (extraído de Rauld et al., 2016).

Hoy en día para medir los sismos se utilizan principalmente las escalas de magnitud, según Bolt (1993): las que destacan son:

- Richter(1935) conoce y aplica la escala de magnitud local (MI). Es utilizada para calcular magnitudes de sismos superficiales con distancia epicentral menor a 2.000 km.
- B. Gutenberg (1945) desarrolla la magnitud de ondas de cuerpo (M_b), la cual se obtiene a partir de las ondas internas de los sismos y es utilizada principalmente para sismos profundos con distancias epicentrales mayores a 2.000 km y menores a 11.000 km.

- B. Gutenberg y C. F. Richter (1956) realizaron la magnitud de ondas superficiales (Ms), la cual es utilizada para terremotos superficiales con distancia epicentral entre 2.000 km y 17.000 km aproximadamente. Para el cálculo de esta magnitud se considera la amplitud de las ondas superficiales que se generan en la corteza terrestre.
- M. Hanks y H. Kanamori (1979) desarrollaron el cálculo para la magnitud de un sismo denominado momento sísmico (Mw). Esta se obtiene a partir de un espectro de desplazamientos obtenido a partir del sismograma y puede ser utilizada para calcular la magnitud de eventos a diferentes profundidades y diferentes distancias epicentrales.

Por otra parte, se encuentra la escala que fue introducida por Mercalli en 1902, la que fue la base de la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada la cual constaba de 10 grados. En 1904, Cancani, expresando estos grados en términos de aceleración aumenta la escala a 12 grados. Tiempo después la escala fue mejorada por Wood y Neuman 1931 y por Richter en 1958. En países como Estados Unidos se usa la escala de Mercalli utilizando cuestionarios para determinar la destrucción de los terremotos y analizar la distribución regional de los daños (Poblete, 2008).

2.3 Método de Nakamura

El método Nakamura (2000) permite conocer las características de amplificación del suelo en función de la frecuencia usando sólo mediciones de ruido sísmico. Cuando la amplificación corresponde a la producida por la geología local, esta se denomina amplificación por efecto de sitio (ver figura 2.3) y las frecuencias a las cuales esta amplificación existe se denominan frecuencias naturales. La menor frecuencia a la cual se presenta un peak de amplificación es conocida como frecuencia fundamental (Ulloa, 2018).

Cuando una onda pasa a través de una interfase con un contraste de impedancia alto (IC) desde una capa a otra de menor rigidez y compactación, la componente de la onda sísmica asociada a la frecuencia fundamental de la capa más superficial es amplificada en gran manera, produciéndose el efecto de resonancia (Ulloa, 2018). Esto se desarrolla debido a la propagación de una onda elástica a través de un material, el flujo de energía transmitido se mantiene constante y al decrecer la velocidad de propagación de la onda producto de la menor rigidez y compactación de la nueva capa de suelo, la velocidad de partícula de dicha onda debe aumentar (Bommer et al., 1998).

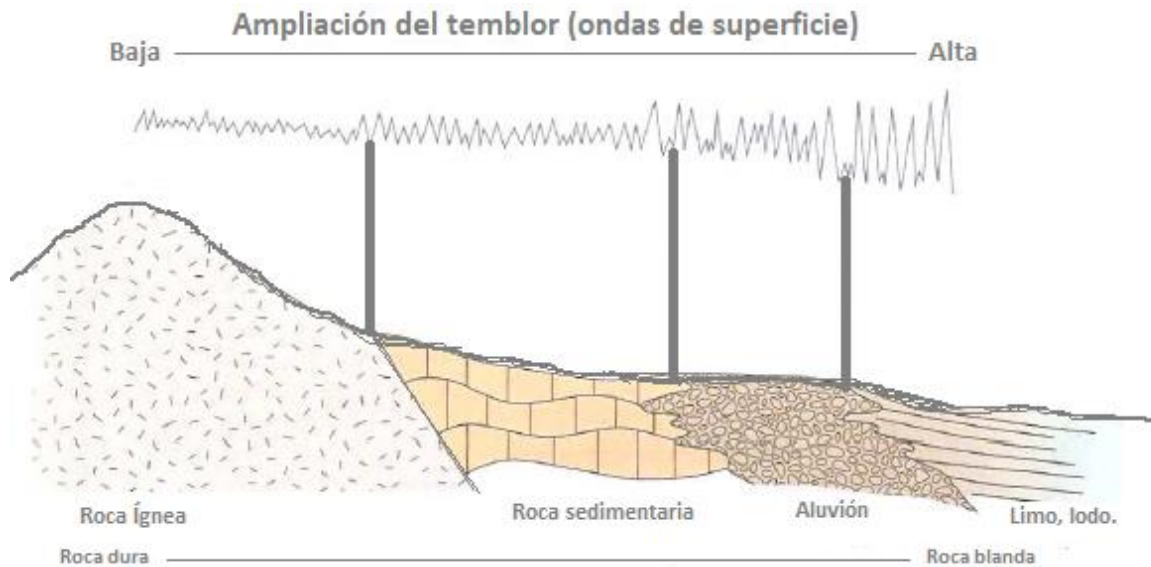


Figura 2.3: Amplificación de la vibración en un sismo de gran magnitud (modificado de Keller y Blodgett, 2004).

Nakamura (2000) menciona que las ondas que causan las vibraciones ambientales registradas en la superficie del suelo son de dos tipos: ondas superficiales (ondas de Rayleigh específicamente) y ondas de cuerpo (ondas P y S). Si alguna fuente superficial genera ondas de cuerpo en un medio formado por una capa elástica sobre una roca con una gran diferencia de impedancia, estas ondas se propagan siguiendo un patrón complejo, que dependerá de la fuente específica que les dio origen y de su localización. Sin embargo, debido a las reflexiones que ocurren en la interfaz suelo-roca, parte de las ondas P y S se mueven desde el basamento hacia la superficie libre donde pueden ser registradas por un sensor (Ritta et al., 2012). Nakamura (2000) expresó el movimiento horizontal (H_f) y vertical (V_f) del suelo en la superficie libre como la suma del movimiento debido a las ondas de cuerpo que viajan desde el basamento más la contribución de las ondas superficiales (ver figura 2.4). Según Ritta et al. (2012) esta superposición conviene hacerla en el dominio de la frecuencia. Por lo tanto, $H_f(\omega)$ y $V_f(\omega)$ son, respectivamente, la transformada de Fourier del movimiento horizontal en la superficie y la transformada de Fourier del movimiento vertical en la superficie considerando, para ambos, la contribución de los dos tipos de onda (de cuerpo y superficiales). Los espectros $H_f(\omega)$ y $V_f(\omega)$ no son útiles para identificar las frecuencias naturales del depósito porque también contienen las frecuencias dominantes de las fuentes que generan las ondas.

Ritta et al. (2012) remarca que, si se dispusiera de los espectros del basamento rocoso, es decir $H_b(\omega)$ y $V_b(\omega)$, podríamos realizar los siguientes cocientes:

$$T_h(\omega) = \frac{H_f(\omega)}{H_b(\omega)} \quad T_v(\omega) = \frac{V_f(\omega)}{V_b(\omega)} \quad (1)$$

obteniendo así las funciones de transferencia entre el movimiento en la superficie y en la roca basal, tanto para la componente horizontal $T_h(\omega)$ como para la vertical $T_v(\omega)$, logrando de esta forma eliminar el llamado “efecto de la fuente” y así obtendremos las frecuencias naturales del depósito, pero la dificultad es que usualmente no se dispone de ellos. Nakamura (2000) considera que $H_b(\omega)$ y $V_b(\omega)$ son iguales a los espectros en un afloramiento rocoso, a los que llama $H_r(\omega)$ y $V_r(\omega)$ (ver figura 2.4). Esto podría considerarse como una aproximación, pero rigurosamente no es cierto: los picos de los espectros sí coinciden, pero las magnitudes de $H_r(\omega)$ y $V_r(\omega)$ son menores que las de $H_b(\omega)$ y $V_b(\omega)$. Debido a la problemática de obtener los espectros en el basamento rocoso, Nakamura propone entonces usar una función de la frecuencia T_h^* que se define como el cociente entre las funciones de transferencia $T_h(\omega)$ y $T_v(\omega)$:

$$T_h^*(\omega) = \frac{T_h(\omega)}{T_v(\omega)} \quad (2)$$

Lermo y Chávez-García (1993) mencionan que la función de transferencia $T_h(\omega)$ se divide por $T_v(\omega)$ para “compensar el efecto de la fuente”. Reemplazando $T_h(\omega)$ y $T_v(\omega)$ de las ecuaciones (1) en la (2) se obtiene:

$$T_h^*(\omega) = \frac{T_h(\omega)}{T_v(\omega)} = \frac{\frac{H_f(\omega)}{H_b(\omega)}}{\frac{V_f(\omega)}{V_b(\omega)}} = \frac{H_f(\omega)}{V_f(\omega)} \frac{1}{\frac{H_b(\omega)}{V_b(\omega)}} \quad (3)$$

Usando resultados de sus propias mediciones experimentales, Nakamura determinó que el cociente entre $H_b(\omega)$ y $V_b(\omega)$ es aproximadamente igual a 1, al menos dentro del rango de frecuencias donde se encuentra la frecuencia fundamental del depósito (ω). Este resultado ha sido posteriormente comprobado por otros investigadores (Lermo y Chávez-García, 1994). En ese caso, el cociente $T_h(\omega)/T_v(\omega)$ resulta:

$$T^*_h(\omega) = \frac{T_h(\omega)}{T_v(\omega)} = \frac{H_f(\omega)}{V_f(\omega)} \quad (4)$$

Al cociente $H_f(\omega)/V_f(\omega)$, Nakamura lo llama QTS por las siglas en inglés de Quasi Transfer Spectrum (cuasi-espectro de transferencia). No obstante, la comunidad ingenieril simplemente lo llama cociente H/V. Puede ser demostrado tanto teórica como empíricamente que, independientemente del tipo de ondas y de su importancia relativa en los registros de los movimientos superficiales $H_f(\omega)$ y $V_f(\omega)$, la relación entre éstos (el cuasi-espectro o cociente H/V) presenta un pico en concordancia con la frecuencia fundamental del depósito de suelo (ω) asociada a las vibraciones horizontales (Ritta et al., 2012).

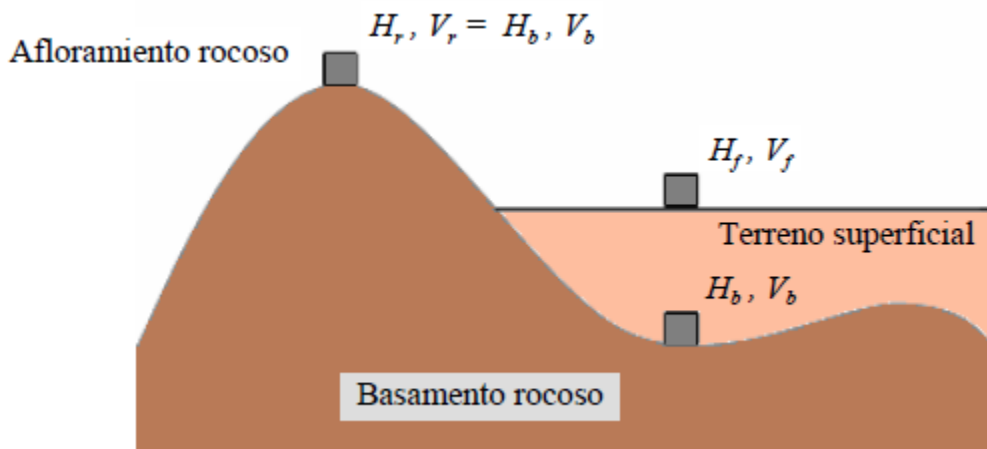


Figura 2.4: Estructura geológica típica de una cuenca sedimentaria (modificado de Nakamura, 2000).

2.4 Riesgos geológicos

La diversa geografía de Chile y sus diversos eventos catastróficos naturales, son producto de los procesos geodinámicos tanto internos (endógenos) como externos (exógenos) de la Tierra (ver tabla 2.1). Los procesos endógenos están determinados por la subducción de las placas Nazca y Antártica por debajo de la Sudamericana a lo largo de toda la línea de costa, lo que produce una gran actividad sísmica y volcánica. El resultado directo de la subducción son áreas montañosas que componen un 80% del paisaje. Esto reviste especial importancia, ya que las características orográficas constituyen factores de base de la mayoría de las amenazas naturales de nuestro país. Por otra parte, los procesos exógenos están determinados por la diferencia latitudinal, la exposición de las grandes vertientes estructurales de la cordillera de Los Andes y de La Costa, el Fenómeno del Niño, la corriente de Humboldt y el anticiclón del Pacífico los cuales se combinan originando una complejidad climática que tiene una incidencia significativa en la generación de las catástrofes naturales que ocurren en Chile (Rauld et al., 2016).

El estudio de Rauld et al. (2016) asocia a los peligros geológicos cuatro conceptos principales: susceptibilidad, vulnerabilidad, amenaza o peligrosidad y riesgo. La susceptibilidad la define como la posibilidad de que una zona sea afectada por un determinado proceso, y que se expresa a través de distintos grados cualitativos y relativos. Además, menciona que este concepto depende directamente de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos de los materiales geológicos o controlados por un factor externo (precipitación, sismos, etc.).

Los distintos elementos expuestos (personas, infraestructura, actividades económicas) en zonas susceptibles los agrupa dentro del concepto de vulnerabilidad, que la define como el grado de daños o pérdidas potenciales como consecuencia de un fenómeno de una intensidad determinada. El concepto de amenaza o peligrosidad lo relaciona a la probabilidad de ocurrencia de un proceso, con un nivel de intensidad determinado dentro de cierto periodo de tiempo y en un área específica. La estimación de la amenaza o peligrosidad, detalla que implica necesariamente una consideración de la variable temporal, es decir, el periodo de recurrencia de un evento. Por otro lado, indica que la amenaza para periodos de retorno infinitos tiende a ser similar a la susceptibilidad.

Por último, el concepto de riesgo se describe como las potenciales pérdidas económicas (directas e indirectas) producto de la ocurrencia de un determinado fenómeno, en función de la amenaza determinada para una zona. Por lo que el riesgo (R) lo define como:

$$R = A * C \tag{5}$$

Donde A corresponde a la amenaza o peligrosidad (probabilidad de que ocurra un evento dado en un periodo de tiempo) y C corresponde al costo (ya sea en vidas, valoración económica, metros de caminos, etc.). Por la anterior ecuación la peligrosidad, está íntimamente relacionada al entendimiento y definición de los riesgos geológicos presentes en el planeta Tierra. Rauld et al. (2016)

Tabla 2.1: Procesos geodinámicos que pueden generar riesgos geológicos (modificado de González de Vallejo et al., 2002).	
Procesos geodinámicos externos	- Deslizamientos y desprendimientos.
	- Hundimientos y subsidencias.
	- Erosión.
	- Expansividad y colapsabilidad de suelos.
Procesos geodinámicos internos	- Terremotos y tsunamis.
	- Vulcanismo.
	- Diapirismo.

Tabla 2.1: Procesos geodinámicos que pueden generar riesgos geológicos (modificado de González de Vallejo et al., 2002).	
Procesos meteorológicos	- Lluvias torrenciales y precipitaciones intensas.
	- Inundaciones y avenidas.
	- Procesos de arroyada
	- Huracanes
	- Tornados.

Para el caso específico del riesgo sísmico, el programa de riesgo sísmico (PRS) de la Universidad de Chile en el año 2017, lo describió como la probabilidad de que las consecuencias sociales o económicas producidas por un terremoto igualen o excedan valores predeterminados, para una localización o área geográfica dada. En la estimación de la amenaza sísmica sugiere considerar, la exposición de personas, estructuras, bienes, y la vulnerabilidad sísmica (en términos estructurales, económicos, sociales). Además, el riesgo sísmico lo considera en torno a sus componentes principales: la amenaza (o peligro sísmico), la exposición (población, edificios, obras civiles, bienes, actividades económicas, servicios públicos, utilidades, infraestructura, expuesta en un área determinada); la vulnerabilidad (susceptibilidad o sensibilidad que posee el sistema ante una perturbación o evento adverso; puede ser social, económica, física, institucional, política, etc.).

Definidas las generalidades teóricas, PRS (2017) propone una estimación cuantitativa del riesgo sísmico siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

- Identificación y caracterización de la amenaza sísmica;
- Identificación y caracterización de los niveles de exposición de la población, los bienes, las redes sociotécnicas;
- Identificación y caracterización de los niveles de vulnerabilidad social-demográfica, socioeconómica, estructural;
- Identificación y caracterización de la resiliencia;
- Evaluación del riesgo sísmico.

2.5 Importancia de un estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Copiapó

Para la situación actual de Copiapó, donde la actividad sísmica por casi un centenario ha sido muy conservadora, amerita la realización de trabajos que estudien en profundidad la actividad sísmica que ha imperado luego del terremoto de 1922 y los probables daños a la

población. El trabajo de Yáñez (2020) refleja de manera correcta la situación descrita para la ciudad, donde la zona comprendida por la región de Atacama, se encuentra en un gap sísmico que se extiende desde la parte sur de Taltal hasta la zona norte de La Serena (ver figura 2.5). En dicha brecha sísmica si bien existe actividad telúrica, esta se considera baja específicamente entre el Sala y Gómez ridge y el Copiapó ridge. Esta actividad es representada por los puntos de la figura 2.5, que fueron identificados por el centro sismológico nacional entre los años 2010-2016 con magnitudes mayores a ML (magnitud local): 2.5.

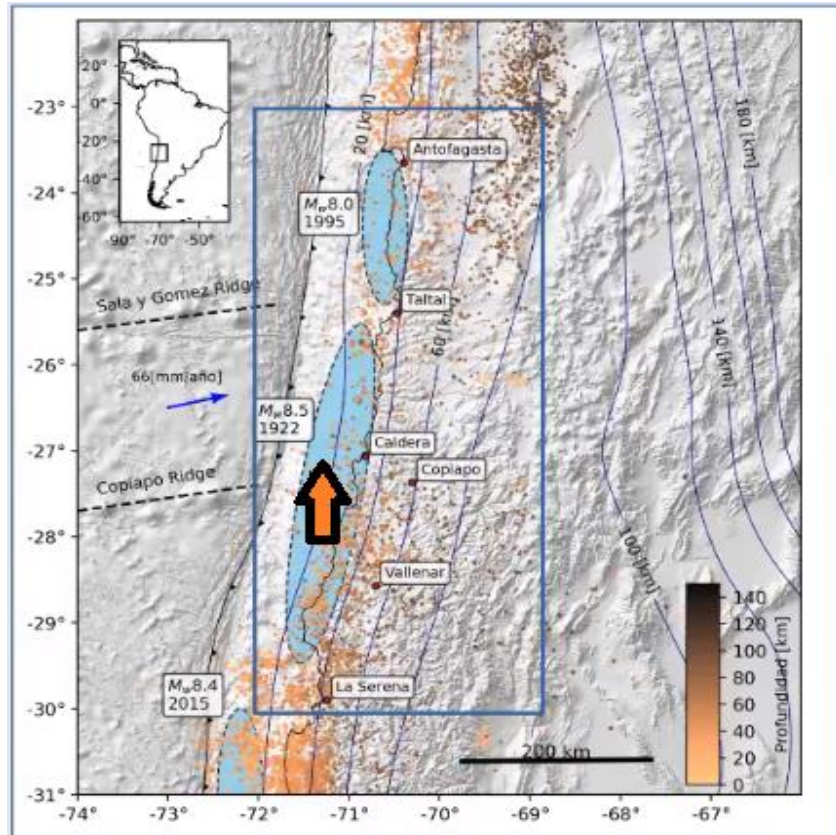


Figura 2.5: Brecha sísmica en la Región de Atacama representada por la flecha en color naranja (modificado de Yáñez, 2020).

Las magnitudes bajas en la zona de estudio, se deben principalmente a las asperezas presentes en el margen convergente, que se traduce en un acoplamiento intersísmico de años. Este modelo fue calculado por Yáñez (2020) a través de velocidades intersísmicas superficiales, cuyos datos son obtenidos en base a una red de GPS y que se les aplica modelaciones matemáticas. Yáñez (2020) obtuvo que la ciudad de Copiapó y gran parte de la zona norte de nuestro país, se encuentra en una zona de alto acoplamiento (ver figura 2.6), confirmando la cualidad sísmica predominante para la ciudad.

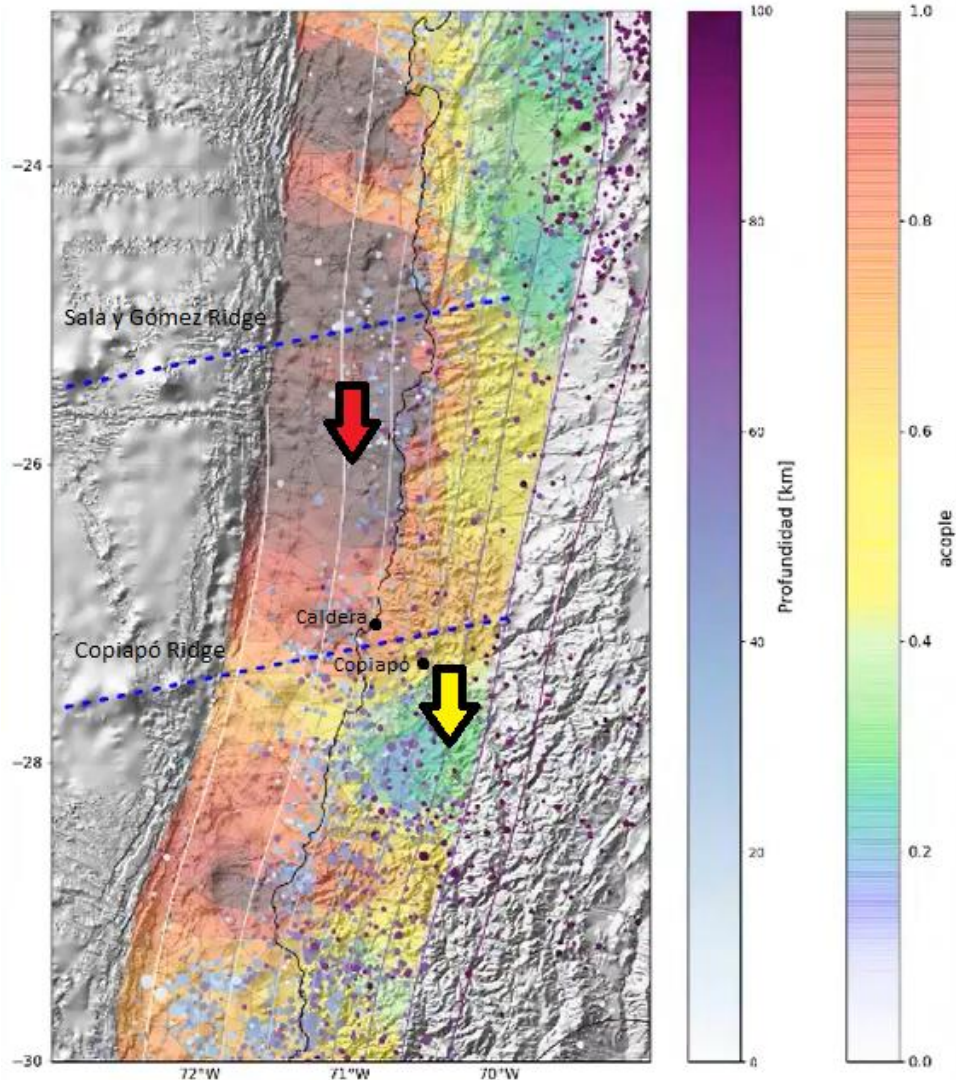


Figura 2.6: Acoplamiento intersísmico calculado para la región de Atacama. Flecha roja indica una zona de alto grado y la flecha amarilla una de bajo grado (modificado de Yáñez, 2020).

Considerando que hay estudios que reflejan el alto acoplamiento en el margen convergente en la zona de la región de Atacama, es imprescindible tener en cuenta el periodo de recurrencia de terremotos que ella posee. En base a su tasa de desplazamiento (66 mm/año), la ciudad de Copiapó posee un rango de retorno de 60-70 años de eventos telúricos de importancia (ver figura 2.7). Ante estos escenarios detallados, la ciudad se encuentra en un inminente suceso sísmico de grandes dimensiones, por lo que desarrollar un análisis de riesgo sísmico se vuelve urgente y valioso, para determinar de manera preliminar los planes de acción frente a un escenario telúrico desfavorable.

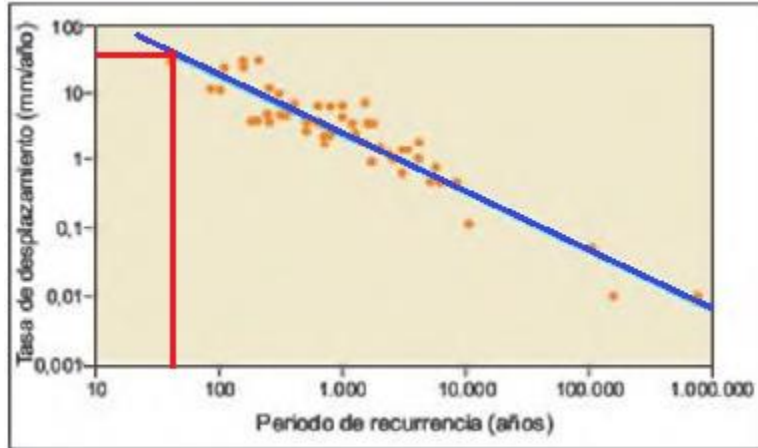


Figura 2.7: Periodo de retorno en años de terremotos para la ciudad de Copiapó expresada en la línea roja (modificado de González de Vallejo et al., 2002).

2.6 Principales sismos ocurridos en la Región de Atacama

2.6.1 Siglo XVIII

Los registros más fidedignos indican que aquellos terremotos cuyos epicentros se cree estuvieron dentro de los límites de la Región de Atacama se remontan a 1796, pero hay algunos autores que indican eventos anteriores, cuyos antecedentes son contradictorios y de fuentes secundarias (Cáceres, 2018). Con lo anterior, no se puede confirmar la ocurrencia de terremotos antes del año 1796, no obstante, sismos predecesores producidos en otras latitudes del país lograron provocar algunos daños en Copiapó. En este caso, destaca el terremoto de 1730 cuyo epicentro se cree estuvo próximo a Valparaíso (Cáceres, 2018). Según los testimonios rescatados el sismo provocó serios daños en Copiapó, cuya magnitud para el Centro Sismológico Nacional (CSN) fue de $M_s=8.7$ (M_s significa magnitud de ondas superficiales) y Lomnitz (2004) lo ubica entre 8.5-9. Finalmente, Cáceres (2018) menciona que se han encontrado evidencias geológicas de un gigantesco tsunami ocurrido en la bahía Cisne. Este se habría producido entre finales del siglo XIII y antes del XVI, calculándose una altura de ola cercana a los 24 m. Según los investigadores, el terremoto (epicentro cercano a Caldera) asociado al gran tsunami tuvo una magnitud entre 8.8-9.4 (M_s) (Abad et al., 2018).

De manera más detallada Cáceres (2018) en su libro describe los diversos sismos ocurridos desde el siglo XVIII hasta la actualidad, donde se destacan los siguientes eventos:

2.6.2 Siglo XIX

-5 de octubre de 1859

El movimiento principal fue horizontal y orientado desde el Norte al Sur prolongándose por cerca de 4 minutos, identificándose alrededor de 216 réplicas en 18 horas. En Copiapó según el informe emitido por el director de obras públicas, se derrumbaron 115 casas y 224 quedaron ruinosas e inhabitables. Ascendieron a grandes sumas de dinero los procesos de reparación de viviendas, espacios públicos y estructura crítica pertenecientes a la ciudad de Copiapó.

En Caldera el daño fue menor, dado que la mayoría de las casas eran de madera. Sin embargo, el mar retrocedió casi 6 m, alejando la línea de costa unos 150 m del muelle, pero volvió al terreno que había abandonado sin violencia y sin originar el menor desastre. En la localidad de Juan Godoy (Chañarcillo), donde el daño fue considerable, una fundición (ubicada entre esta localidad y Copiapó) fue completamente destruida, donde se contabilizaron al menos 9 víctimas fatales.

Lomnitz (2004) asigna una magnitud de 7.5 para este movimiento, mientras que Comte et al. (2002) reportan $M_s=7.6$.

2.6.3 Siglo XX

-4 de diciembre de 1918

Este Terremoto es considerado, junto con el ocurrido el 10 de noviembre de 1922, como uno de los más intensos del siglo XX. Fue percibido con gran vehemencia desde el sur de la región de Antofagasta hasta el norte de la región de Coquimbo e incluso también fue reportado en sectores de Argentina y parte de Uruguay. Aunque la mayor destrucción la sufrió Copiapó, donde gran parte de la ciudad quedó en ruinas, Taltal también se vio seriamente afectado. El movimiento telúrico alcanzó una intensidad X en la escala de Rossi-Forel. Las ondas asociadas al terremoto fueron horizontales, pero en todas direcciones, aunque se reportaron predominancia de verticales de gran violencia y a diferencia de otros terremotos, no se asociaron sonidos subterráneos.

El terremoto se produjo en un momento en el que el país pasaba por un escenario económico adverso y la ciudad de Copiapó aún no se recuperaba de una gran inundación del verano de 1906, por lo que prácticamente todas las viviendas y locales comerciales sufrieron daños. En cuanto a los edificios públicos, la mayoría sufrieron daños de consideración, aunque los menos afectados fueron la intendencia, la tesorería fiscal y el correo, sin embargo, la cárcel (construida en adobes) quedó en ruinas. Según las autoridades de la época, los daños a la infraestructura ascendieron a grandes sumas de dinero y dada la hora en que ocurrió el terremoto, se lamentaron 8 víctimas fatales.

En Caldera el terremoto igual fue sentido con gran intensidad, con ondas orientadas N80°O, sin embargo, no se produjeron grandes estragos debido a que las viviendas estaban construidas en base a madera. Además, el mar inundó la playa tapando casi por completo el muelle, alcanzando 5 m sobre la marea usual. En Puquios el sismo se inició con poco ruido subterráneo, que al progresar produjo daño en todas las edificaciones, se derrumbaron varias casas y murallas en calles a lo largo y transversal a la quebrada Paipote. En Chañaral (se informó una víctima fatal) y Carrizal Bajo solo se reportaron daños menores y avance del mar hacia el muelle por pocos metros. En el caso de Vallenar, las informaciones indican que el movimiento fue percibido con gran intensidad, pero no se tienen registros de daños considerables.

Comte et al. (2002), le asigna a este terremoto una magnitud $M_s=7.8$, Lomnitz et al. (2004) estipuló entre 7-7.5, mientras que el CSN elevó el valor a $M_s=8.2$.

-10 de noviembre de 1922

Hasta la actualidad, este terremoto se posiciona como el más terrible que ha ocurrido en la Región de Atacama durante el siglo XX y el segundo a nivel nacional para el mismo lapso. Este gran movimiento telúrico comenzó de manera horizontal y luego vertical, se hizo sentir con particular intensidad en las partes centrales y australes de la región, concentrándose los daños en Copiapó y peculiarmente en Vallenar. Este evento fue acompañado de un tsunami que afectó a gran parte del Pacífico.

En Copiapó el terremoto generó daños en gran parte de la ciudad, concentrándose en las construcciones de adobe. Del total de las edificaciones en la ciudad, el 40 % se derrumbaron por completo, un 45% quedó en pie, pero fue tal el daño que debieron ser derrumbadas, mientras que sólo un 15% resultó en buen estado o de fácil reparación. Las edificaciones públicas también quedaron en muy mal estado, por lo que las cifras de reparación de las edificaciones de la ciudad bordearon el millón de dólares. La destrucción se extendió por la ciudades y pueblos del valle de Copiapó, generando perjuicios en el pueblo de San Fernando, donde las viviendas de adobe y tapiales se derrumbaron, causando la muerte de varias personas (panorama similar fue informado para Tierra Amarilla).

Pese a los graves daños descritos anteriormente, los mayores estragos fueron evidenciados en Vallenar, donde 740 casas que existían, solo 7 se mantuvieron en estado relativamente bueno, mientras que 41 con daños reparables. El colapso de las construcciones hizo que las angostas calles quedasen repletas de ruinas a lo largo y ancho, provocando que muchas víctimas resultaran sepultadas por los escombros.

En Freirina aproximadamente el 40% de las casas fueron destruidas. De manera similar a lo que ocurrió en Vallenar, el cuartel de Carabineros y la cárcel cedieron, generando 3 víctimas fatales. Si bien la mayor destrucción se desarrolló en las ciudades interiores de la región, las

zonas costeras entre Antofagasta y Coquimbo sufrieron por el consecuente tsunami que entre veinte a treinta minutos arrasó con extensas cuerdas de algunas de estas, concentrándose la destrucción en Chañaral y Coquimbo, seguido por Caldera y Huasco. Particularmente en Chañaral se registraron tres salidas del mar, a las 00:15, 00:30 y 1:25. El agua alcanzó una altura entre 2.4 m y 3 m, inundando las partes bajas de la ciudad, que resultó en 200 m tierra adentro. Por otra parte, en Caldera las salidas del mar tuvieron dos avances principales, uno a las 00:10 y otro a las 3:00, alcanzando una altura de un poco más de 2 m. Estos flujos provocaron la destrucción de las bodegas del ferrocarril y el andén de pasajeros, así como la remoción de varios carros los que fueron arrastrados por casi 500 m desde su posición original.

La cantidad de víctimas reportadas es la más elevada que un fenómeno sísmico haya provocado en la región ascendiendo a cerca de 800, número que incluye tanto a las del terremoto, como del posterior tsunami. De aquel total, 550 aproximadamente se produjeron en Vallenar.

Para la época en que este terremoto sucedió la Red Sismológica Nacional ya se encontraba en funcionamiento (desde 1908) y Copiapó ostentaba una estación de segundo orden en la que se ubicaba un péndulo de Wiechert de dos componentes. Lamentablemente la violencia del evento provocó que el instrumental se volcara, impidiendo el registro de la magnitud. Estudios relativamente recientes fueron realizados por Richter (en Lomnitz, 1970), Beck et al. (1998) y Comte et al. (2002), los cuales asignan magnitudes de 8.4, $M_s=8.3$ y $M_s=8.5$, respectivamente, sustentados en los registros históricos que se encuentran repartidos a lo largo de varias estaciones alrededor del globo. En cambio, estudios más recientes como Carvajal et al. (2016) le otorga una magnitud de 8.5 a 8.6 (basadas en la amplitud del tsunami ocurrido en Japón), situándose entre los primeros cinco de mayor magnitud ocurridos en Chile. El epicentro de este terremoto ha sido un tema de debate, donde las postulaciones de los autores no se condicen con la generación de un tsunami, por lo que el libro sitúa su epicentro en un punto cercano a la zona costera de Vallenar.

-18 de abril de 1939

Aconteció con una intensa sacudida en Copiapó. Varias casas y negocios resultaron dañados. Entre los edificios públicos que presentaron deterioros, se destaca el correo y el telégrafo, Carabineros, el laboratorio de la Caja de Crédito Minero y el Liceo de Hombres. En Caldera numerosos edificios resultaron averiados, donde no se reportaron víctimas fatales. En Chañaral el terremoto también fue percibido con gran intensidad, pero no se tiene registros de desgracias personales. Solo el comercio local tuvo que lamentar pérdidas en sus mercaderías.

Según el Centro Sismológico Internacional (ISC) y el CSN, el sismo fue de $M_s=7.4$.

-2 de agosto de 1946

Sucedió con sacudidas orientadas NOO-SSE que afectaron a la ciudad de Copiapó. El sismo provocó la caída de cornisas, tabiques, tendido telefónico y eléctrico, lo que generó gran pánico en la población observándose en varios sectores desmayos y signos de desesperación. Además, causó un extenso deterioro en las edificaciones de la ciudad. El cuartel de Carabineros quedó inhabitable y en la sección pulmonar del hospital se vino abajo por completo, lamentándose la muerte de un paciente. La misma situación ocurrió en la escuela Bernardo O'Higgins, donde una alumna fue alcanzada por un derrumbe, que desencadenó en su muerte. Entre los edificios gubernamentales afectados se destacan los de la intendencia y de la tesorería provincial, donde ocurrieron graves daños en la estructura e inmobiliario. No se han especificado estudios para determinar la magnitud de este terremoto.

-3 de agosto de 1978

Sucedió en las provincias de Chañaral y Copiapó, prolongándose por tres minutos. Caída de murallas se reportaron en la pared del hospital que da a la calle Los Carrera, mientras que en la ex Universidad Técnica del Estado (actual Universidad de Atacama) y en el cuartel de bomberos fueron registrados serios desperfectos en sus respectivas estructuras. Uno de los mayores inconvenientes fue el corte en el suministro eléctrico durante el sismo, dado a los desperfectos que sufrieron las subestaciones de la época, lo que trajo consigo un apagón generalizado en la región.

Las cifras oficiales indicaron 2135 casas dañadas, 39 inhabitables y 11 completamente destruidas, que generaron al menos 200 damnificados. Comte et al. (2002), reportó una magnitud $M_s=6.7$, mientras que el CSN estimó una $M_s=7.0$ y una profundidad de 49 km, con su epicentro localizado a 20 km al SE de Chañaral.

-4 de octubre de 1983

Aconteció en la parte norte de la región de Atacama y se registraron 72 viviendas destruidas y 1200 dañadas, resultando 472 personas damnificadas. De las casas, 56 se ubicaron en Diego de Almagro, mientras que allí el 80% de las viviendas restantes sufrieron daños. Una víctima fatal fue reportada en la mina San Luis, ubicada a 50 km al norte de Chañaral.

Según el CSN este terremoto alcanzó una Magnitud $M_s=7.3$ y tuvo una profundidad de 14 km, sin embargo, el centro sismológico internacional le asignó una $M_w=7.6$ (M_w significa magnitud de momento) con una profundidad de 40 km, siendo esta última la más certera basado en las consecuencias que provocó el sismo.

2.6.4 Siglo XXI

-30 de enero de 2013

Aconteció con un intenso ruido subterráneo seguido inmediatamente por dos remezones que alcanzaron la magnitud del terremoto, siendo percibido hasta la región de Valparaíso. A pesar de la magnitud del movimiento, los perjuicios fueron de menor consideración. En el sector céntrico los daños pasaron por derrumbes de murallas, aflojamiento de ventanales y cielos falsos. Además, los servicios básicos fueron interrumpidos en varios sectores de la ciudad quedando el 21% de la población sin suministro eléctrico. Por otra parte 400 hogares sin agua y muchos otros con problemas de baja presión, incluso, ocurrió el colapso del servicio de telefonía móvil. Aunque se registraron heridos de poca consideración, la única víctima fatal reportada fue producto de un infarto.

En Vallenar los daños fueron de mayor gravedad que en Copiapó, registrándose varios hogares con vidrios quebrados y afines, reportándose también derrumbes de material desde los flancos de los cerros que se encuentran próximos a la entrada norte de la ciudad. En la parte norte del litoral atacameño, Caldera y Chañaral, el evento sísmico solo produjo alarma en la población. El epicentro se ubicó a 46 km al NE de Huasco y tuvo una magnitud de 6.7 (magnitud local) y una profundidad de 52.2 km. Hasta las 23:00 se registraron siete réplicas sobre $M_w=4$.

-1 de septiembre de 2020

Según ONEMI se percibió a las 00:09 en las regiones de Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana. Cuya magnitud máxima fue de $M_w=7.0$ a 60 km al N de Huasco, con una profundidad focal de 10 km, la que se registró en las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla. Posteriormente ocurrieron una serie de réplicas en la región, destacándose una de $M_w=6.2$ a 45 km al N de Huasco y otra de $M_w=6.3$ a 67 km al NO de Huasco. En cuanto a los efectos de estos movimientos telúricos, solo se registraron algunos daños de albañilería en viviendas de la comuna de Copiapó, rodados en rutas interiores y ruta 5 (comuna de Vallenar), y cortes de suministro eléctrico en la comuna de Tierra Amarilla. No se registraron personas lesionadas ni tampoco alertas de tsunamis en la costa.

Tabla 2.2: Resumen de eventos telúricos más importantes ocurridos en la Región de Atacama (información de Cáceres, 2018).

Fecha	Magnitud	Daños
30 de marzo del 1796	Ms= 7.7	Graves en infraestructura residencial.
11 de abril del 1819	Ms= 8.3	3.000 personas sin hogar. Tsunami que abarcó parte importante del litoral del país.
26 de mayo del 1851	Ms= 7.5	Leves a moderados. Numerosas viviendas con destrucción total cercanas a cerros.
5 de octubre del 1859	Ms= 7.6	Se derrumbaron 115 casas y 224 quedaron ruinosas e inhabitables. Lamentablemente hubo 9 víctimas fatales en cercanías de la localidad de Juan Godoy.
13 de agosto del 1868	Ms=8.5	Variables. Se registraron 6 muertes en Carrizal Bajo.
9 de mayo del 1877	Ms= 8.5	Moderados a graves. Tsunami en la ciudad de Chañaral, que afectó a la mitad de la población.
8 de junio del 1909	Ms= 7.6	Graves en infraestructura residencial. Se reportaron 2 fallecidos por derrumbe.
4 de diciembre del 1918	Ms= 8.2	Graves en infraestructura residencial y crítica. Se informaron 9 fallecidos.
10 de noviembre del 1922	Ms= 8.5	Muy graves en infraestructura residencial y esencial. Se reportó un número de fallecidos cercano a 800. Tsunami que afectó a gran parte de la costa pacífica.
18 de abril del 1939	Ms= 7.4	Leves a moderados en infraestructura de vivienda y crítica.
3 de agosto del 1978	Ms= 7.0	Moderados a graves en edificaciones residenciales y esenciales. Se reportaron 200 damnificados y ningún fallecido.
4 de octubre del 1983	Mw= 7.6	Graves en obras residenciales. Se reportó un fallecido en la mina San Luis.
18 de abril del 2002	Mw= 6.6	Graves en edificaciones céntricas y residenciales.

Tabla 2.2: Resumen de eventos telúricos más importantes ocurridos en la Región de Atacama (información de Cáceres, 2018).		
Fecha	Magnitud	Daños
30 de abril del 2006	Mw= 6.5	No se registraron daños asociados o víctimas.
30 de enero del 2013	MI= 6.7	Leves a moderados en infraestructura céntrica. Colapso en suministro de agua y telefonía móvil en la ciudad de Copiapó. Se informó 1 fallecido.
25 de julio del 2016	Mw= 6.1	Leves en obras céntricas.
1 de septiembre del 2020	Mw= 7.0	Leves en edificaciones residenciales.

2.7 Ingeniería Sísmica

Con el objetivo principal de mitigar y minimizar los efectos de los sismos en la humanidad, se ha motivado el surgimiento de la ingeniería sísmica como rama de la ingeniería civil que se interesa por la protección de la sociedad y recursos materiales de los efectos de un terremoto, limitando el riesgo sísmico a niveles socio-económicos aceptables. Con el pasar del tiempo, la ingeniería sísmica se ha convertido en una disciplina que involucra especialistas de otras áreas del conocimiento tales como: geólogos, sismólogos, ingenieros estructuralistas, ingenieros geotécnicos, arquitectos, urbanistas y científicos (Marte, 2014).

El diseño sismo-resistente tiene como objetivo fundamental que las estructuras sean capaces de resistir terremotos de baja intensidad sin sufrir daños considerables, sismos moderados con daños factibles de reparar y sismos de gran intensidad que no provoquen el colapso (Marte, 2014). Ante estos requerimientos, son fundamentales los siguientes conceptos:

2.7.1 Rigidez

Se define como la capacidad de un elemento o un conjunto de elementos estructurales de resistir desplazamientos cuando está sujeto a determinadas acciones (ver figura 2.8). Este parámetro es expresado como la relación de fuerza y desplazamiento. Este valor no es constante en la estructura. En la figura 2.8, K es la rigidez para un desplazamiento δ requerido y su correspondiente fuerza resistente V. La rigidez gráficamente es la pendiente

tangente a un punto cualquiera en la curva o la derivada de esa función en un punto dado (Marte, 2014).

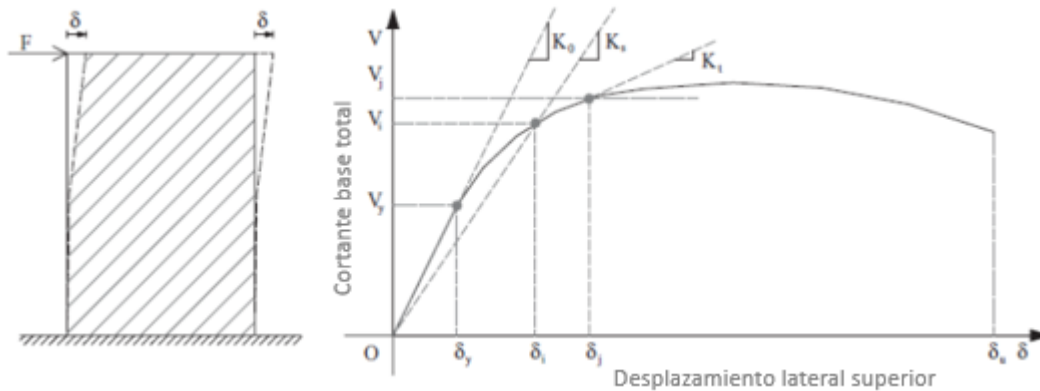


Figura 2.8: Curva típica de respuesta estructural para sistemas sujetos a cargas horizontales (modificado de Elnashai & Di Sarno, 2008).

En la figura 2.8, la pendiente inicial K_0 es la rigidez elástica de la estructura, mientras la rigidez secante es la pendiente K_s de la línea correspondiente a un nivel de carga dado. La rigidez inicial K_0 es más alta que la rigidez secante K_s para materiales convencionales de construcción. Variaciones en rigidez en el rango inelástico son usualmente expresadas por la rigidez tangente K_t la cual es la pendiente tangente a la curva de respuesta (Marte, 2014).

En el diseño sísmico, la rigidez lateral es esencial para: el control de las deformaciones, prevenir inestabilidad tanto local como global, prevenir daño no estructural y asegurar el confort de la gente durante terremotos de nivel bajo a medio. Finalmente, los factores que influyen en la rigidez de la estructura son las propiedades de los materiales, propiedades de la sección, propiedades del elemento estructural y de las propiedades del sistema (Marte, 2014).

2.7.2 Resistencia o capacidad estructural

Es la capacidad de un elemento o un sistema estructural de resistir cargas que depende del uso de la estructura. La resistencia es usualmente definida en función del tipo de acción. Las resistencia axial, momento y cortante son empleadas para cuantificar la capacidad de una estructura y sus elementos en ingeniería sísmica. En la curva de capacidad que se muestra en la figura 2.9, la capacidad cortante V de la estructura es definida tanto por (V_y), que es aquel cortante resistente que define el límite elástico, como por la máxima resistencia cortante (V_{max}). De manera similar, se puede graficar la resistencia axial y la de

momento. La primera en función al desplazamiento provocado por la carga axial y la segunda en términos de rotación (Marte, 2014).

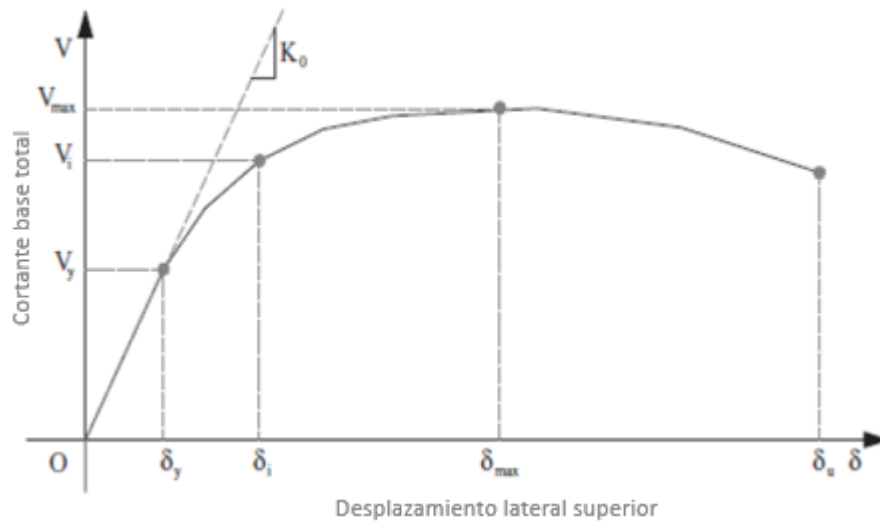


Figura 2.9: Definición de resistencia o capacidad estructural (modificado de Elnashai y Di Sarno, 2008).

Es importante destacar que la evaluación de la capacidad estructural se vuelve incierta debido a la aleatoriedad en las propiedades de los materiales, por las propiedades geométricas (sección y longitud de elemento) y por la calidad de la construcción. Los terremotos producen fuerzas laterales proporcionales al peso de la estructura (la resultante de estas fuerzas sísmicas es conocida como cortante basal), por lo que una adecuada capacidad cortante, axial y de flexión es requerida por la estructura para hacer frente a las fuerzas sísmicas de cada piso y a esa fuerza total. La combinación de cargas verticales con horizontales durante un evento sísmico, incrementa el nivel de tensión en los elementos y uniones. Si este total de tensiones excede la capacidad de cada elemento, el fallo estructural es inminente (corresponde a un estado límite de daño estructural). Sin embargo, el daño no perjudica la integridad de la estructura como un todo (Marte, 2014).

La resistencia sísmica total de una estructura, no es la suma de cada una de las resistencias de sus componentes (estos componentes estructurales interactúan de manera compleja). Las cargas cíclicas pueden causar pérdida de resistencia en los elementos y uniones entre ellos, principalmente disminución en la capacidad axial y cortante, lo cual se refleja en una disminución considerable en la capacidad global de la estructura. Es de gran importancia considerar una distribución adecuada de resistencia tanto en planta como en elevación, ya que son requisitos fundamentales para evitar altas concentraciones de daño (Marte, 2014).

2.7.3 Ductilidad

Es la habilidad de un elemento o sistema estructural de deformarse más allá del límite elástico con aceptable reducción de la rigidez y resistencia. En la figura 2.10, se establece una comparación entre la respuesta estructural de una estructura dúctil y frágil. En la figura, la curva A (estructura frágil) y curva B (estructura dúctil), muestran la relación cortante-desplazamiento para sistemas estructurales con la misma rigidez y resistencia, pero con distinto postpeak de comportamiento inelástico. Estructuras frágiles fallan a pocas deformaciones inelásticas después de alcanzar su resistencia máxima, donde el colapso se vuelve repentino e impredecible. Opuestamente, las estructuras dúctiles son capaces de mantener mayor cantidad de deformación inelástica luego de haber alcanzado el peak más alto de resistencia cortante, manteniendo la rigidez y resistencia en rangos aceptables (Marte, 2014).

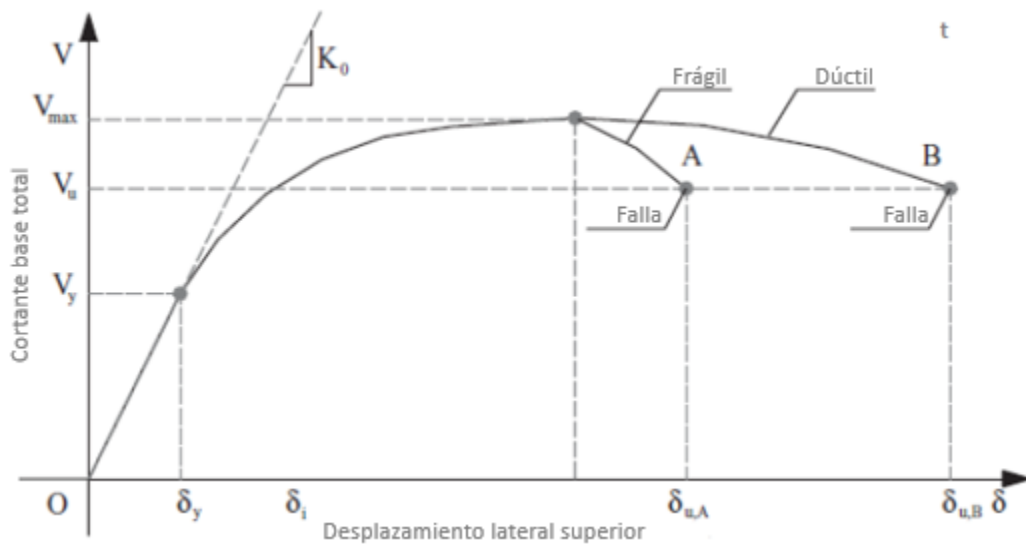


Figura 2.10: Definición de ductilidad estructural (modificado de Elnashai & Di Sarno, 2008).

La mayoría de las estructuras son diseñadas por razones económicas para comportarse inelásticamente bajo fuertes terremotos. Las amplitudes de respuesta de terremoto inducidas por vibraciones, dependen del nivel de energía de disipación de las estructuras, el cual es una función de su habilidad para absorber y disipar energía a través de deformaciones dúctiles. Los factores que influyen en la ductilidad son las propiedades del material, propiedades de la sección, propiedades de los elementos estructurales y las propiedades de los sistemas estructurales (Marte, 2014).

2.8 Marco legal

2.8.1 Normativa nacional relativa a la construcción antisísmica

En nuestro país el encargado de crear las normas técnicas es el Instituto Nacional de Normalización (INN), que es una fundación de Derecho Privado, creada por la CORFO, como un organismo técnico sin fines de lucro (Sáez, 2011). Su principal objetivo es “la elaboración y difusión de las normas chilenas (NCh), la evaluación de la conformidad, la coordinación de la Red Nacional de Metrología y la capacitación en materias de sistemas de gestión de la calidad y normas específicas. Lo anterior con el fin de fortalecer los componentes de la calidad nacional, favoreciendo su competitividad en el mercado tanto interno como a nivel internacional (Sáez, 2011).

Sáez (2011) menciona que el cumplimiento de las normas técnicas no es obligatorio, pero en el caso de la construcción, las normas se han ido incorporando a la legislación nacional y es así como la ordenanza determina el cumplimiento obligatorio de estas. En cuanto al estudio de dichas normas técnicas, que es la labor que interesa del INN, la creación de esta norma puede emanar del mismo INN, o del sector público o privado. Ante la solicitud, se inicia la elaboración de un anteproyecto de la norma, en el que se toman como antecedentes normas internacionales, regionales, extranjeras o antecedentes técnicos nacionales. El anteproyecto se estudia por un comité técnico que es constituido por todo aquellos que estén interesados en el tema (desde empresas privadas hasta laboratorios, universidades o ministerios), los que harán las observaciones que estimen conveniente y así generarán un proyecto de norma.

Una vez que se tenga un texto definitivo que haya pasado por el visto bueno del Comité Técnico, la norma es presentada ante el Consejo Técnico de la INN junto a un informe del procedimiento de estudio, para su aprobación. Solo una vez aprobada, la norma es enviada al Ministerio respectivo (el que tenga competencia en el tema normalizado), para su oficialización y publicación en el Diario Oficial (Sáez, 2011).

Las principales bases técnicas del diseño sísmico en Chile según PRS (2017) son:

- **Norma NCh 433. Of. 96. de diseño sísmico de edificios:**

Esta norma fija disposiciones sobre diseño estructural, modelos de análisis, diseño de fundaciones, diseño de elementos secundarios. Se divide el territorio nacional en tres zonas sísmicas y se propone una zonificación sísmica propia por comunas en la Región

Metropolitana de Santiago. Considera 4 tipos de suelos de fundación y 4 categorías de edificios según sus usos.

Luego del terremoto del Maule de 2010, se llevó a cabo una revisión de esta norma que terminó en la incorporación de nuevos espectros de diseño sísmico (a partir de registros del 27F-2010) y un mejoramiento de la clasificación del suelo. Sin embargo, no se modificó la macrozonificación de referencia.

- **Norma NCh 2369 de diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales:**

Esta norma fue diseñada en vista de otorgar mayor seguridad a las instalaciones industriales con respecto a la norma NCh 433, y busca evitar el colapso de las estructuras y además de mantener la continuidad de operación de la industria nacional.

El artículo 4.1.6 de esta norma técnica señala que para la ubicación de la instalación industrial se deben considerar otros fenómenos tales como el efecto de sitio, los riesgos de maremotos, el potencial desplazamiento por fallas y/o deslizamiento de tierras, y la licuefacción. Define la dimensión crítica de las obras (obras peligrosas, vitales o esenciales).

- **Norma NCh 2745 de análisis y diseño sísmico de edificios con aislación sísmica:**

Norma publicada en 2003 para el diseño de edificios que cuentan con aislación sísmica como sistema de reducción de vibraciones.

- **Norma NCh 3. Of. 1961 de escala de intensidad de los fenómenos sísmicos:**

Esta norma establece la escala de grados para estimar la intensidad de los fenómenos sísmicos.

2.8.2 Normativa sobre ordenamiento territorial y/o riesgo sísmico

En este tipo de normativa destaca la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC), cuyo texto legal se publicó como DFL N° 458 el 13 de abril del año 1976, aun cuando la ley ya existía con varias décadas de anticipación, originándose después del terremoto de Talca del año 1929. La ley se compone de 4 títulos, de un título final y de artículos transitorios (Sáez, 2011). Es el cuerpo legal que contiene los principios, atribuciones, potestades,

facultades responsabilidades, derechos, sanciones y demás normas que rigen a los organismos, funcionarios, profesionales y particulares en las acciones de planificación urbana, urbanización y las construcciones, que se desarrollen en todo el territorio de la nación (PRS, 2017).

La LGUC determina que las Dirección de Obras Municipales son los organismos encargados de aplicar y fiscalizar que se cumplan todas las normas legales y reglamentarias sobre urbanismo y construcciones en su respectiva comuna (PRS, 2017). Este texto corresponde a la base del derecho urbanístico y de construcción chileno, junto con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Esta última corresponde al cuerpo reglamentario de la LGUC, la que contiene la regularización de los procedimientos administrativos, el proceso de la planificación urbana, la urbanización de los terrenos, la construcción y los estándares técnicos de diseño y construcción exigibles en la urbanización y la construcción. Asimismo, esta Ordenanza introduce la Planificación Urbana Intercomunal que regula el desarrollo físico de áreas pertenecientes a diversas comunas y que se integran en una unidad urbana. En estas zonas se deberá definir las áreas de riesgo de nivel intercomunal. Mediante estudios de mayor detalle, los planes reguladores comunales podrán precisar o disminuir dichas áreas de riesgo y zonas no edificables. Además, la OGUC define el Plan Regulador Comunal, delegando dicha responsabilidad a los Municipios, los que deben realizar un diagnóstico territorial de su comuna (PRS, 2017).

La OGUC al definir las “áreas de riesgo”, señala que ellas se entienden como: aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limitan a determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos (PRS, 2017).

Así mismo, la ley 20.444 del 28 de mayo de 2010, crea el Fondo Nacional de la Reconstrucción y establece mecanismos de incentivo tributario a las donaciones efectuadas en caso de catástrofes, el Fondo Nacional de la Reconstrucción está formado por las donaciones y otros aportes que efectúe el sector privado, para financiar la construcción, reconstrucción, reposición, remodelación, restauración o rehabilitación de infraestructura, instalaciones, patrimonio histórico arquitectónico de zonas patrimoniales o zonas típicas, obras y equipamiento afectados por terremotos, maremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, aluviones u otras catástrofes que puedan ocurrir en el territorio nacional, y establece mecanismos de incentivo tributario a tales donaciones o aportes (PRS, 2017).

Capítulo 3: Metodología

3.1 Etapa preliminar

En esta etapa se llevó a cabo la recopilación de información histórica relacionada a las infraestructuras esenciales presentes en la ciudad de Copiapó, las que fueron facilitadas por la SEREMI del MINVU Atacama, y complementadas con otras edificaciones en base a los criterios que se establecieron en este trabajo. En detalle se realizaron los siguientes procedimientos:

- Selección de todos los servicios policiales, de orden y salud, de bomberos, y los de salud. En cuanto a los establecimientos educacionales se eligieron en base a su matrícula que superará los 1.000 alumnos o representará una de las mayores matrículas de los sectores de la ciudad (norte, centro y sur), y que se encontrará cercano a otro edificio esencial. Todas estas infraestructuras fueron identificadas a través de los datos otorgados por MINVU Atacama y por la plataforma google maps. En el caso específico de los servicios de salud, fueron identificados y analizados en las bases de la dirección de salud municipal de la ciudad, y los establecimientos educacionales en las plataformas del MINEDUC y del departamento de administración de educación municipal (DAEM).
- Identificación de los edificios esenciales en el programa Arcgis 10.4.1, de manera de poder organizar las rutas que se realizaron en terreno (ver figura 4.1).
- Selección de los parámetros de vulnerabilidad necesarios para realizar un análisis, los cuales fueron los siguientes:
 - La altura o niveles de la obra: es considerado producto de efectos de resonancia sísmica en edificaciones con niveles mayores a 2.
 - El año principal de edificación: se contempla para estimar el cumplimiento de las normas de construcción de la obra mayor en metros cuadrados.
 - Incumplimiento de normas técnicas (NCh): se considera para detallar qué correcciones se deben aplicar a futuro en la infraestructura.
 - Estado de conservación: las malas condiciones de mantenimiento de los materiales aumentan la inestabilidad de la obra.
 - Materiales predominantes de construcción: hay materiales de construcción que otorgan mayor estabilidad a la infraestructura con respecto a otros.

- Predios circundantes: frente a un evento sísmico mayor es la vulnerabilidad sísmica si existe un elevado número de elementos expuestos.
- Observaciones: se recalcan detalles claves en la vulnerabilidad de la estructura, como por ejemplo presencia de material ligero, evidente deterioro, grietas al interior. También se utiliza esta sección para informar de obras que se encuentran en construcción.
- Estos parámetros son expresados a través de la confección de una tabla (ver tabla 4.1), esta fue complementada con el listado numerado de las direcciones correspondientes a los puntos de interés (ver tabla 4.8). Todos los parámetros fueron considerados en base a metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, observaciones de terreno, tal es el caso de los predios circundantes.

3.2 Etapa de terreno

Se llevaron a cabo 7 días de terreno en los cuales se realizaron las siguientes labores:

- Se recabó información acerca de las condiciones estructurales actuales de las edificaciones seleccionadas, como el número de pisos/plantas, el material de construcción predominante, estado de la infraestructura, predios circundantes y año de construcción principal (solo en algunas obras, las faltantes fueron consultadas en la dirección de obras municipales).
- Se visitaron cada una de las edificaciones seleccionadas, donde la evaluación estructural se realizó en base a sus fachadas principales (ver figura 3.1), y en menor proporción, a las construcciones menores. El levantamiento de datos se inició en la zona norte de la ciudad, para luego finalizar en la zona de Paipote.



Figura 3.1: Imagen del Hospital Regional San José Del Carmen.

3.3 Etapa de gabinete

Finalizada la recopilación de datos pertenecientes a las infraestructuras objetivos, se procedió a realizar las siguientes actividades:

- Digitalización de toda la información de terreno en formato Excel, donde se complementó el año de construcción con la base de datos solicitada a la dirección de obras municipales (DOM) de la ciudad (ver anexo D).
 - Nota: En el caso del cumplimiento de las normas técnicas de construcción, el DOM declara que no es responsable de la indagación o fiscalización de la edificación sismorresistente. Ante esta situación, se supuso que las normas de construcción estaban en cumplimiento según el año de recepción principal (perteneciente a las estructuras que superen los $1000 m^2$ y la mayor en m^2 , en el caso que las edificaciones sean menores a $1000 m^2$).

- Se confeccionó un mapa de isofrecuencias con datos facilitados por Cornejo y Sánchez (2018), aplicando la herramienta de interpolación kriging ordinario lineal a través del software Arcgis 2.4.1 (ver figura 3.2). La aplicación de este método de interpolación es debido a que es considerado el mejor método para procesar la información obtenida de manera experimental.

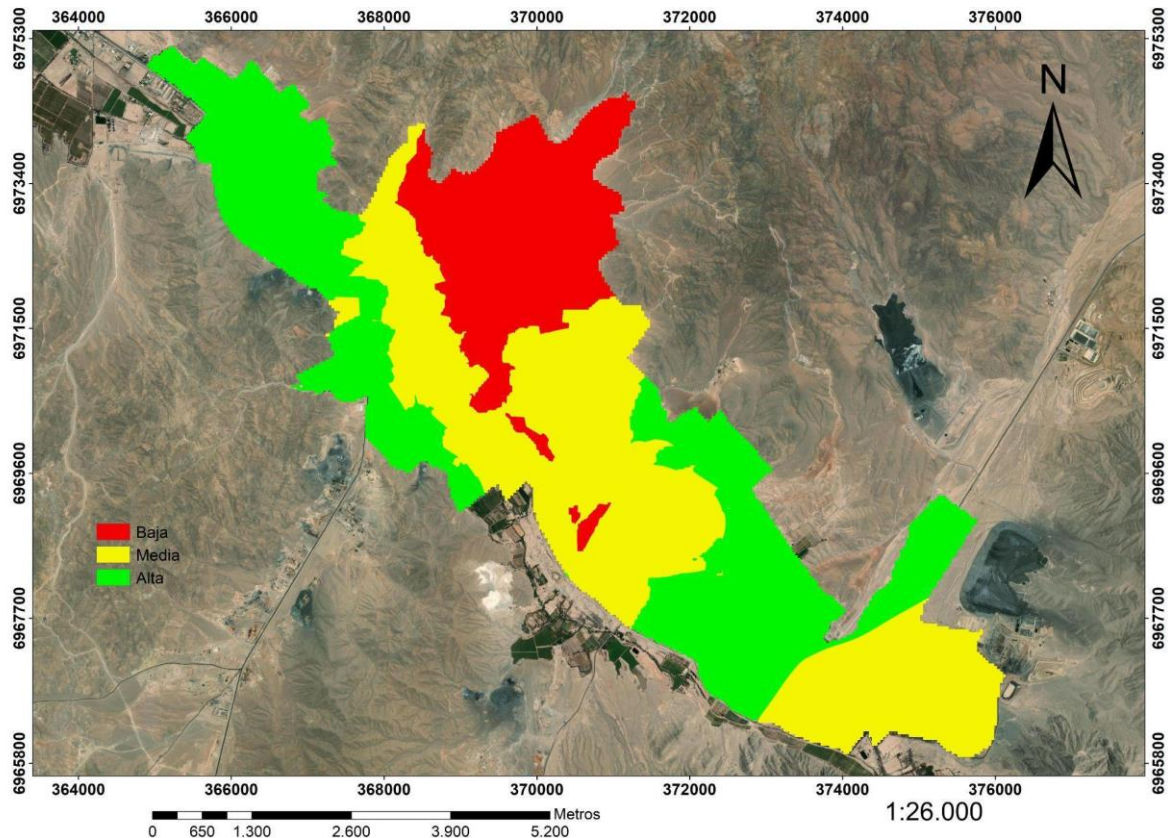


Figura 3.2: Respuesta sísmica del terreno en el límite urbano de la ciudad de Copiapó.

- Se evaluó el riesgo mediante la peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de cada una de las edificaciones seleccionadas, mediante el desarrollo de tablas para cada grupo de servicios esenciales (servicios de orden y salud, bomberos, estaciones policiales, establecimientos educacionales y de salud). La vulnerabilidad sísmica se determinó en base a los parámetros evaluados en terreno (ver tabla 4.2) y se le asignó una escala de puntuación (ver tabla 4.3) para su estimación final, misma situación para el peligro (ver tabla 4.5) y riesgo sísmico (ver tabla 4.6). Para determinar este último, se cruzaron los valores de la peligrosidad y de la vulnerabilidad (ver tabla 4.7).

Capítulo 4: Resultados

4.1 Vulnerabilidad y peligrosidad sísmica

Se evaluaron un total de 79 infraestructuras (ver figura 4.1) esenciales distribuidas en los sectores norte, centro y sur del área urbana de la ciudad de Copiapó. Se consideraron diversos aspectos (estructurales y afectación a personas), tanto por estudios internacionales como los definidos en este estudio, con el propósito de que el resultado final sea el más representativo posible.



Figura 4.1: Edificaciones y servicios esenciales de la ciudad de Copiapó que se evaluaron en el estudio (elaboración propia).

Cada una de las infraestructuras analizadas se les describió su dirección y fueron categorizadas según su funcionamiento esencial. En el anexo A se puede ver el detalle en la tabla 4.8.

A continuación, se muestra el detalle de los parámetros aplicados en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica para cada una de las edificaciones. Los parámetros utilizados fueron:

Tabla 4.1: Detalle de los parámetros aplicados en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Simbología: AL: Albañilería, H: Hormigón, A: Alta, M: media, - : Cumple, -- : No hay información, * : Año de Permiso de edificación sin recepción final, ** : Año de permiso de edificación para regularización, (): Año obtenido en terreno.

N° Infraestructura	N° de plantas/Altura	Material de construcción principal	Estado de la construcción	Predios circundantes	Qué normas técnicas NO cumple (NCH)	Año de construcción principal	Observaciones
1	1	AL	M	5	2123	1998	Salas nuevas con material ligero
2	1, 2, 3	H	M	15	--	1999*	
3	1	H	A	7	430	1980()	
4	1, 2, 3	AL	M	2	2123,433,430	1988()	
5	2	H	M	3	--	--	
6	2	H	A	2	-	2017	
7	1, 2	H	M	0	430,433	1994	Perímetro deteriorado
8	1, 2	H	A	12	430,433	1991	
9	1, 2	H	A	2	430, 433	2003	
10	2	H	A	7	430,433	2005	
11	1, 2	H	M	0	430,433	2005	Algunas salas con internit
12	1	H	A	2	430	2005	
13	1	H	A	2	430	2005	
14	1	H	A	3	430	1992	
15	1	H	A	3	430	1992	
16	1	H	A	3	430	1987	
17	1	H	A	1	--	1988*	
18	2	H	A	6	430	2007	
19	2	H	A	4	--	--	
20	1	H	A	4	--	--	Se construye al lado de las dependencias actuales
21	1	H	A	6	--	--	
22	1, 2	H	A	13	-	2009	
23	1, 2	H	A	2	--	2014*	

Tabla 4.1: Detalle de los parámetros aplicados en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Simbología: AL: Albañilería, H: Hormigón, A: Alta, M: media, - : Cumple, -- : No hay información, * : Año de Permiso de edificación sin recepción final, ** : Año de permiso de edificación para regularización, (): Año obtenido en terreno.

N° Infraestructura	N° de plantas/Altura	Material de construcción principal	Estado de la construcción	Pedios circundantes	Qué normas técnicas NO cumple (NCH)	Año de construcción principal	Observaciones
24	4	AL	M	10	433, 1928	2008()	
25	2	H	A	8	--	--	
26	3	H	A	1	--	--	
27	1	AL	A	2	--	--	
28	2, 3	H	M	3	-	2020**	Grietas al interior
29	2, 3	H	M	3	-	2020**	Grietas al interior
30	4	H	A	2	-	2016	
31	1	H	M	2	430	2002	Estructura deteriorada en sector lateral
32	1, 3	H	A	7	-	2012	
33	2	H	A	9	430,433	1993	
34	3	H	A	5	--	1980*	
35	3, 8	H	A	17	-	2013,2016	
36	2, 3	H	A	7	430,433	1998*, 2006	
37	1, 3	H	A	17	--	--	
38	2	H	M	4	430,433	2000	Material ligero segundo piso
39	2	H	A	4	430,433	2003**	
40	2	AL	A	1	433	2003,2005	
41	1, 2, 3	H	A	1	430,433	2004	
42	3	H	A	0	--	1999*	
43	2, 3	H	A	8	430,433	2005**	
44	2, 3	H	A	24	--	2006 *	
45	2, 3	H	A	2	-	2014	
46	3	H	A	7	430,433	2005	
47	2, 3	H	A	0	--	2007*	
48	2	H	A	4	--	2003*	
49	2	H	A	3	--	2007*	
50	5	H	A	3	--	--	
51	3	H	A	2	--	--	
52	12	AL	A	2	-	2015	

Tabla 4.1: Detalle de los parámetros aplicados en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Simbología: AL: Albañilería, H: Hormigón, A: Alta, M: media, - : Cumple, -- : No hay información, * : Año de Permiso de edificación sin recepción final, ** : Año de permiso de edificación para regularización, () : Año obtenido en terreno.

N° Infraestructura	N° de plantas/Altura	Material de construcción principal	Estado de la construcción	Pedios circundantes	Qué normas técnicas NO cumple (NCH)	Año de construcción principal	Observaciones
53	1, 2	H	A	1	430,433	2007	
54	1	H	A	7	430	2003	
55	1	AL	A	0	--	--	
56	1	AL	A	1	-	2005	
57	1	H	A	1	430	1999	
58	1	AL	A	12	2123	1999,2004	
59	1, 3	H	A	3	430,433	2005	
60	1	H	A	2	-	2021	
61	1	H	M	0	430	2003	
62	2	H	A	0	--	--	
63	1, 2	AL	A	14	433	2004	
64	3	H	A	5	--	2001, 2006*	
65	1, 2	H	A	6	-	2020**	
66	2	AL	A	1	--	--	
67	1	H	A	4	--	--	
68	1	H	A	2	--	2007*	
69	2	AL	A	3	-	2005	
70	1	AL	A	2	--	--	
71	1, 3	H	A	3	430,433	2001	
72	2, 3	H	A	11	430,433	1998	
73	1	H	A	12	430	1999**	
74	1	AL	A	2	-	2016	
75	1	H	M	12	--	--	Perímetro deteriorado
76	1, 2	H	M	3	-	2010	Grietas en perímetro
77	1, 2	AL	A	19	-	2013,2017	
78	1, 2	H	A	2	430,433	2001	
79	2	AL	A	5	433	2007,2019 **	

Los parámetros (se agregó flujo de personas) y sus respectivos rangos de vulnerabilidad se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.2: Resumen de los parámetros evaluados en las edificaciones esenciales y sus respectivos rangos de vulnerabilidad.

Parámetro	Rangos de vulnerabilidad			
	4	1	2	3
Afectación viviendas circundantes	Sin información	Baja	Media	Alta
Resonancia por altura (plantas)	Sin información	1 o 2	3	4 o más
Incumplimiento de normas (NCh)	Sin información	Ninguna	Una	Dos o más
Material de construcción principal	Sin información	Hormigón armado	Albañilería	Madera
Calidad de respuesta del terreno	Sin información	Alta	Media	Baja
Estado de la construcción	Sin información	Buena	Media	Deteriorada
Flujo de personas	Sin información	Baja	Media	Alta

Se proponen 4 categorías de vulnerabilidad para los escenarios de impacto de las edificaciones analizadas:

Tabla 4.3: Puntuación categorías de vulnerabilidad.

Muy alto	4
Alto	3
Medio	2
Bajo	1

A continuación, se muestra la tabla con el cruce de información entre la infraestructura analizada (columna 1) y los parámetros de vulnerabilidad (columnas 2 a 8) correspondientes a los establecimientos educacionales analizados. A cada parámetro se le asigna un valor o rango (ver tabla 4.4) para llegar a calcular el promedio de impacto de vulnerabilidad sísmica (columna 9). Para mayor visualización, se designa los colores fríos para bajos valores y cálidos para altas categorías de vulnerabilidad.

Tabla 4.4: Vulnerabilidad sísmica estimada para los establecimientos educacionales.								
Infraestructura	Afectación viviendas circundantes	Resonancia por altura	Incumplimiento de normas (NCh)	Material de construcción principal	Respuesta del terreno	Estado de la construcción	Flujo de personas	Total
Scuola Italiana Giuseppe Verdi	1	1	2	2	1	2	3	2
Escuela Técnico Profesional	1	2	3	2	1	2	3	2
Escuela Manuel Rodríguez	1	1	3	1	2	2	3	2
Colegio Particular "San Lorenzo"	1	1	3	2	2	1	3	2
Escuela Luis Cruz Martínez	1	1	3	1	2	1	3	2
Escuela Isabel Peña Morales	1	1	3	1	2	1	3	2
Escuela Hernán Márquez Huerta	1	1	3	1	2	2	3	2
Liceo Politécnico Belén	2	2	3	1	2	2	3	3
Liceo Sagrado Corazón	2	1	3	1	2	2	3	2
Escuela Cristo Redentor	2	1	3	1	2	1	3	2
Liceo Católico Atacama	2	1	2	2	2	1	3	2
Escuela Carlos María Sayago	1	2	3	1	2	1	3	2
Instituto Comercial Alejandro Rivera Díaz	2	2	3	1	2	1	3	2
Liceo Mercedes Fritis Mackenney	1	2	1	1	3	1	3	2
Escuela Libertador Bernardo O'Higgins	1	2	3	1	3	1	3	2
Liceo de Música	1	1	3	1	2	1	3	2
Jardín Infantil Alicanto	1	1	2	1	1	1	2	1
Escuela Las Canteras	1	1	1	2	3	1	3	2
Escuela María Inza Pizarro	1	1	2	1	3	1	3	2
Escuela San Vicente de Paul	1	1	2	2	3	1	3	2
Escuela los Estandartes	1	2	3	1	3	1	3	2
Colegio San Agustín de Atacama	2	1	2	2	2	1	3	2
Colegio Cervantino	1	1	1	1	2	1	3	2
Escuela Diferencial Pukara	1	1	1	2	1	1	3	2
Escuela Vicente Sepúlveda Rojo	1	2	3	1	3	1	3	2
Colegio Buen Pastor	2	2	3	1	2	1	3	2

Tabla 4.4: Vulnerabilidad sísmica estimada para los establecimientos educacionales.								
Infraestructura	Afectación viviendas circundantes	Resonancia por altura	Incumplimiento de normas (NCh)	Material de construcción principal	Respuesta del terreno	Estado de la construcción	Flujo de personas	Total
Escuela de Artes Marta Colvin	1	1	2	1	2	1	3	2
Colegio Capianni	1	1	1	2	2	1	2	2
Colegio Estación	1	2	1	1	1	2	3	2
Colegio San Francisco De La Selva	2	1	1	2	2	1	3	2
Colegio Almenar	1	1	3	1	1	1	3	2
Colegio San Agustín de Atacama 2	1	1	2	2	2	1	3	2
Escuela Abraham Sepúlveda Pizarro	2	2	4	1	1	2	3	3
Escuela Las Brisas	1	1	4	1	3	2	3	3
Eco Escuela Qupa Yapu	1	1	4	2	1	1	2	2
Colegio Adventista	2	2	4	1	2	1	3	3
Liceo Fernando Ariztia	1	1	4	1	1	1	3	2
Escuela Laura Robles Silva	1	1	4	1	2	1	3	2
Escuela Pedro León Gallo	1	1	4	1	3	1	3	2
Escuela Bruno Zabala Fredes	1	1	4	1	2	1	3	2
Jardín Infantil Campanita	1	1	4	2	2	1	2	2
Jardín Infantil Amanecer	1	1	4	1	3	1	2	2
Liceo José Antonio Carvajal	2	2	4	1	2	1	3	3
Escuela El Chañar	1	2	4	1	3	1	3	3

En el caso de la peligrosidad sísmica, para la ciudad de Copiapó se consideró la puntuación más alta. Esto debido a que la ciudad actualmente se encuentra en una zona cercana de alto acoplamiento intersísmico y en un rango de años propicios para generar un sismo de grandes dimensiones. Dicho evento tendría una magnitud cercana o igual a $M_w = 8.5$, basándose en la historia sísmica de la ciudad. Las categorías y sus puntuaciones son las siguientes:

Tabla 4.5: Puntuación categorías de peligrosidad.	
Alta	3
Media	2
Baja	1

4.2 Riesgo sísmico

Para la estimación del riesgo sísmico, se cruzaron las puntuaciones de la vulnerabilidad y peligrosidad sísmica. En función de estos resultados, el riesgo se dividió en 3 niveles:

Tabla 4.6: Puntuación categorías de riesgo.	
Alto	9
Medio	6
Bajo	3

Tabla 4.7: Riesgo sísmico estimado a los establecimientos educacionales.			
Infraestructura	Vulnerabilidad	Peligrosidad	Total
Scuola Italiana Giuseppe Verdi	2	3	6
Escuela Técnico Profesional	2	3	6
Escuela Manuel Rodríguez	2	3	6
Colegio Particular "San Lorenzo"	2	3	6
Escuela Luis Cruz Martínez	2	3	6
Escuela Isabel Peña Morales	2	3	6
Escuela Hernán Márquez Huerta	2	3	6
Liceo Politécnico Belén	3	3	9
Liceo Sagrado Corazón	2	3	6

Tabla 4.7: Riesgo sísmico estimado a los establecimientos educacionales.

Infraestructura	Vulnerabilidad	Peligrosidad	Total
Escuela Cristo Redentor	2	3	6
Liceo Católico Atacama	2	3	6
Escuela Carlos María Sayago	2	3	6
Instituto Comercial Alejandro Rivera Diaz	2	3	6
Liceo Mercedes Fritis Mackenney	2	3	6
Escuela Libertador Bernardo O'Higgins	2	3	6
Liceo de Música	2	3	6
Jardín Infantil Alicanto	1	3	3
Escuela Las Canteras	2	3	6
Escuela María Ianza Pizarro	2	3	6
Escuela San Vicente de Paul	2	3	6
Escuela los Estandartes	2	3	6
Colegio San Agustín de Atacama	2	3	6
Colegio Cervantino	2	3	6
Escuela Diferencial Pukara	2	3	6
Escuela Vicente Sepúlveda Rojo	2	3	6
Colegio Buen Pastor	2	3	6
Escuela de Artes Marta Colvin	2	3	6
Colegio Capianni	2	3	6
Colegio Estación	2	3	6
Colegio San Francisco De La Selva	2	3	6
Colegio Almenar	2	3	6
Colegio San Agustín de Atacama 2	2	3	6
Escuela Abraham Sepúlveda Pizarro	3	3	9
Escuela Las Brisas	3	3	9
Eco Escuela Qupa Yapu	2	3	6
Colegio Adventista	3	3	9
Liceo Fernando Ariztia	2	3	6

Tabla 4.7: Riesgo sísmico estimado a los establecimientos educacionales.			
Infraestructura	Vulnerabilidad	Peligrosidad	Total
Escuela Laura Robles Silva	2	3	6
Escuela Pedro León Gallo	2	3	6
Escuela Bruno Zabala Fredes	2	3	6
Jardín Infantil Campanita	2	3	6
Jardín Infantil Amanecer	2	3	6
Liceo José Antonio Carvajal	3	3	9
Escuela El Chañar	3	3	9
Liceo Tecnológico	3	3	9

Para ver la vulnerabilidad y riesgo sísmico de las restantes edificaciones analizadas, ver anexo B y anexo C respectivamente.

Capítulo 5: Discusiones

5.1 Establecimientos educacionales

Se obtuvieron un total de 7 infraestructuras en alto riesgo, 37 en riesgo medio y 1 en bajo riesgo sísmico. Este gran número de centros educacionales con riesgo sísmico alto y medio, se debe principalmente a el incumplimiento y la desregularización de las normas sismorresistentes, la ubicación en sectores donde el terreno presenta una precaria respuesta frente a sismos y al flujo de personas que en muchos casos superan las 1000 personas. De los 45 establecimientos, 13 no se encuentran regularizados en cuanto a la normas de construcción que rigen en el país (Escuela Abraham Sepúlveda Pizarro, Escuela Las Brisas, Eco Escuela Qupa Yapu, Colegio Adventista, Liceo Fernando Ariztia, Escuela Laura Robles Silva, Escuela Pedro León Gallo, Escuela Bruno Zabala Fredes, Jardín Infantil Campanita ,Jardín Infantil Amanecer, Liceo José Antonio Carvajal ,Escuela El Chañar y el Liceo Tecnológico), según los datos obtenidos por la dirección de obras municipales (DOM). Para la realización de este estudio, se decidió evaluar con la máxima gravedad (puntuación 4) el incumplimiento o no regularización de estas normativas, generando que varios

colegios se encuentren con una vulnerabilidad sísmica alta. Cabe aclarar, que para una mayor precisión en la estimación del riesgo sísmico se debe contemplar la regularización ante DOM el estado que hoy se encuentran estas edificaciones, y de esta manera, poder gestionar los planes de acción frente a eventos telúricos.

5.2 Establecimientos de salud

De un total de 14 edificaciones, 1 en alto riesgo sísmico, 10 en medio riesgo (SAPU-Paipote, CESFAM-Paipote, SAPU-Dr. Bernardo Mellibovsky, CESFAM-Dr. Bernardo Mellibovsky, CESFAM-Manuel Rodríguez, CESFAM-Pedro León Gallo, Clínica Atacama, CESFAM-Santa Elvira, SAPU-El Palomar y el CESFAM-Candelaria de Rosario) y 3 en bajo riesgo (CESFAM-Juan Martínez, CESFAM-Rosario-Palomar y el SAR Paipote). La única obra que resultó en alto riesgo sísmico corresponde al Hospital Regional, debido a la baja calidad de respuesta del terreno donde se encuentra, la afectación a viviendas circundantes y por la gran cantidad de personas que transitan diariamente en el recinto de salud. El CESFAM-Santa Elvira, SAPU-El Palomar y el CESFAM-Candelaria de Rosario no se encuentran regularizados ante el DOM, por lo que su categoría se eleva a una vulnerabilidad sísmica media. Es oportuno por lo tanto normalizar las recepciones definitivas de estos recintos ante el organismo competente, para que sean una ayuda efectiva y no dificulten la atención a la población frente a una circunstancia catastrófica.

5.3 Bomberos

Ninguna obra resultó en alto riesgo, 4 dependencias en medio riesgo (Primera compañía, Segunda compañía, Tercera compañía y Cuarta compañía) y 3 en bajo riesgo sísmico (Segunda compañía "Pompa Italia", Sexta compañía y la Compañía de Paipote). Gran parte de ellas se encuentran con sus años principales de recepción en las bases del DOM, excepto la tercera compañía de la ciudad. Los daños que pueden producirse en estas construcciones esenciales que resultaron con riesgo sísmico moderado, se generarán fundamentalmente por estar ubicadas en áreas de deficiente respuesta sísmica y por el preocupante estado de las edificaciones en lo que respecta a materiales construidos y mantención.

5.4 Establecimientos policiales

De las construcciones analizadas una obtuvo un riesgo alto, 5 riesgo medio (infraestructuras desregularizadas) y ninguna obtuvo un riesgo sísmico bajo. La edificación de alto riesgo sísmico hace referencia al Cuartel de la PDI, que resultó con esta categoría primordialmente por el incumplimiento de la normativa de construcción y por la resonancia que puede llegar a desarrollar producto del número de plantas que posee. Todas se encuentran desregularizadas (Subcomisaría Pedro León Gallo, Segunda comisaría, Laboratorio criminalístico PDI, Retén Paipote y el Cuartel especialidades de carabineros) según lo

informado por el DOM, excepto el cuartel de la PDI. Por lo que, junto a este escenario y la ubicación en terrenos de baja respuesta sísmica, explican que los centros policiales de la ciudad se califiquen como vulnerables sísmicamente desde un punto de vista crítico.

5.5 Servicios de orden y salud

Se estudiaron 7 inmuebles, de los que uno resultó en alto riesgo sísmico, 6 en medio riesgo (Municipalidad, ONEMI, Gobernación Provincial, el Minvu (Seremi), Servicio de Salud del Gobierno y la Dirección de Salud Municipal) y ninguno en bajo riesgo. La estructura de alto riesgo sísmico corresponde al Gobierno regional, cuya puntuación alta se debe principalmente al proceso de resonancia que puede llegar a desarrollar producto de su gran altura y por su elevada probabilidad de afectar a viviendas circundantes. En cuanto a los servicios desregularizados frente a las normas de construcción se encuentran la ONEMI, Gobierno Regional, Gobernación Provincial, Minvu (Seremi) y la Dirección de Salud Municipal. Dicha situación, genera gran inquietud debido al gran número de establecimientos involucrados, ya que son fundamentales para el manejo y ordenamiento frente a cualquier escenario geológico desfavorable.

Capítulo 6: Conclusiones

En base al mapa de respuesta sísmica realizado para la zona de estudio, se identificó que el área norte y partes del sector sur de la ciudad, son terrenos competentes frente al paso de las ondas sísmicas. En el caso del extremo sur de la ciudad (Paipote) y la superficie central (específicamente el terreno que se encuentra hacia el NE), son los más incompetentes ante escenarios sísmicos de gran envergadura, por lo que las infraestructuras vitales presentes en estas áreas se encuentran con mayor vulnerabilidad sísmica.

Los centros esenciales considerados en este estudio, comprende a todas las infraestructuras presentes en la zona urbana de Copiapó, que poseen un papel importante (centros de albergue y acopio, centros salud, organismos gubernamentales y regionales, etc.) frente a catástrofes naturales. Solo en los establecimientos educacionales se limitó su selección, por lo que se recomienda a futuro realizar un estudio a mayor escala y así entregar información mucho más completa de estas edificaciones a las instituciones competentes.

En cuanto a la información ingenieril que se reunió en terreno, indicó que las condiciones estructurales de los edificios esenciales considerados son aceptables frente a un evento

sísmico de importancia. Las edificaciones presentan material base en hormigón o ladrillos en su totalidad, y ninguna en madera o adobe afortunadamente. Aunque en algunas dependencias se detectaron muros deteriorados (Escuela Las Brisas, Colegio Estación, Primera y Segunda Compañía, Cuarta Compañía y Escuela Manuel Rodríguez) y en establecimientos educacionales se identificó e informaron que han utilizado material ligero para la construcción de salas (Scuola Italiana Giuseppe Verdi, Escuela Hernán Márquez Huerta y Liceo Sagrado Corazón), si bien es en su minoría estos casos, igual es aconsejable corregir dichas situaciones para disminuir su vulnerabilidad estructural.

El análisis del riesgo sísmico a edificios esenciales, arrojó que 10 se encuentran en alto riesgo, 62 en medio riesgo y 7 en bajo riesgo. Estos números pueden generar cierta incertidumbre, por lo que estas cifras deben tomarse como meros indicadores, ya que pueden ser de gran relevancia para las instituciones a cargo de la protección a la población, y fundamentales para difundir una voz de alerta de las irregularidades, como también el incumplimiento de la normativa de construcción sismorresistente que hoy presentan un gran número de infraestructuras esenciales (en total 27 de las obras estudiadas).

La metodología empleada en este trabajo es relativamente sencilla, accesible y rápida. Sus resultados pueden llegar a ser conservadores dentro de la complejidad que implica tener en control todos los parámetros que influyen en el riesgo sísmico de un determinado lugar. Pero la información recabada en este estudio geológico-ingenieril es fundamental como base de datos para los organismos de planificación urbana (MINVU, DOM, etc.), de manera que sea un hito inicial para mejorar los procedimientos actuales, en lo que respecta a la protección de la ciudadanía.

6.1 Recomendaciones

Los diferentes sectores de la ciudad que albergan infraestructura esencial analizada presentan diversa geomorfología y por ende diversa peligrosidad (ver figura 6.1). El sector norte se caracteriza por llanura aluvial aterrizada (depósitos fluviales) y abanicos antiguos, el sector centro mayormente está construido en la llanura aluvial aterrizada y en abanicos actuales, y el sector sur casi en su totalidad de obras se encuentran en depósitos aluviales y coluviales antiguos (Paipote), que representan un fondo de quebrada torrencial (Larrondo, 2017). En base a la información detallada, se sugiere que los planes de urbanización futuros se concentren en los sectores céntrico y extremo norte, siempre y cuando el sustrato sea de depósitos fluviales que representan la llanura aluvial aterrizada,

ya que en comparación a las demás geoformas presentan mayor aceptabilidad frente al paso de ondas sísmicas. Para los sectores NE de la ciudad y Paipote, se recomienda aplicar programas que conlleven obras esenciales con infraestructura de última tecnología antisísmica o derechamente no considerar la construcción, principalmente por presentar geoformas que albergan depósitos aluviales y coluviales, que se caracterizan por una pobre respuesta sísmica.

Es aconsejable contar con los mayores estándares de construcción y con estudios detallados del comportamiento de los suelos (profundidad del basamento, procesos de licuefacción, piezometría, etc.), de modo que la planificación urbana y ordenamiento territorial, cumplan con creces la seguridad y tranquilidad civil. Así mismo se aconseja considerar la instalación de edificios esenciales considerando la zonificación presentada y analizada en este estudio.

Se recomienda complementar este estudio, mediante el análisis de todas las edificaciones restantes con apoyo profesional apto, robustecer los factores de incidencia en la vulnerabilidad sísmica (índice de densidad de muro disponible, geometría de las plantas, etc.), y la realización de un trabajo detallado acerca de las frecuencias naturales de cada una de las infraestructuras críticas presentes en la ciudad.

Como recomendación final es fundamental proponer y realizar protocolos de evacuación frente a fenómenos telúricos, con el fin de que sea de público conocimiento a la ciudadanía, y esta última se encuentre educada y resiliente frente a eventos de catástrofe. Para eso es relevante que organismos principales como la Municipalidad, MINVU, SERNAGEOMIN y ONEMI, se encuentren en constante cooperación frente a la normativa sobre ordenamiento territorial y/o riesgo sísmico (sobre todo cumpliendo con la ordenanza general de urbanismo y construcción), para poder subsanar y mejorar los diseños actuales de las futuras construcciones esenciales que van a ir en directo beneficio a toda la población de Copiapó.

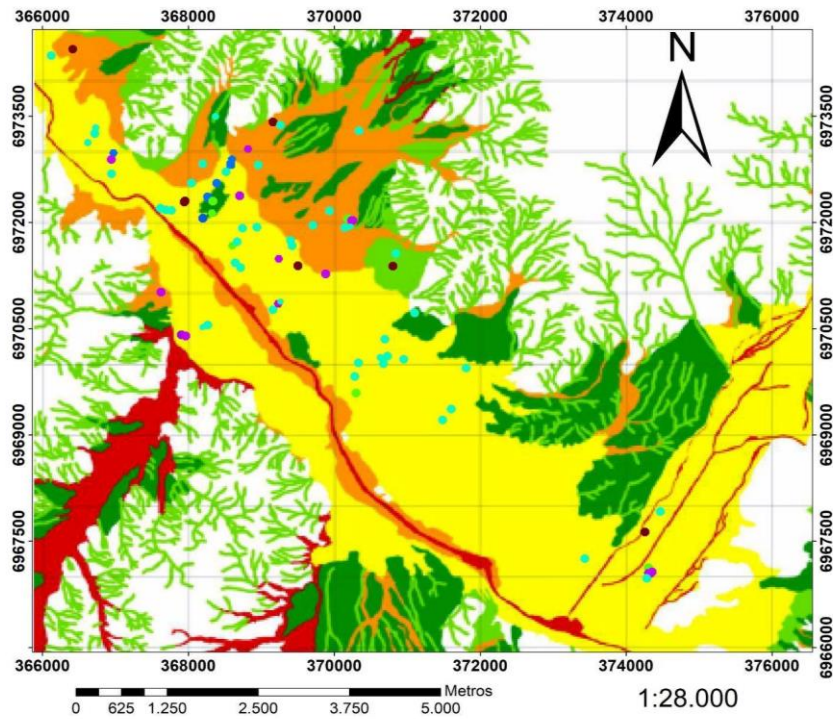


Figura 6.1: Mapa de peligrosidad bajo criterios geomorfológicos que contiene las edificaciones analizadas. El color rojo representa el mayor peligro y el verde el menor (modificado de Larrondo, 2017).

Bibliografía

Abad, M., Izquierdo, T., Cáceres, M., Bernárdez, E., Rodríguez-Vidal, J. 2018. First geological evidence of a prehistorical tsunami in the southern Edge of the Atacama Desert (Chile). Geophysical Research Abstracts, Vol. XX. EGU General Assembly. EGU2018-9160.

Amilibia, A., Sàbat, F., McClay, K.R., Muñoz, J.A., Roca, E., Chong, G. 2008. The role of inherited tectono-sedimentary architecture in the development of the central Andean mountain belt: insights from the cordillera de Domeyko. Journal of Structural Geology 30: 1520-1539.

Arévalo, C. 2005a. Carta Copiapó, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Escala 1:100.000. Serie Geología Básica, 91.

Arévalo, C. 2005b. Carta Los Loros, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Escala: 1:100.000. Serie Geológica Básica, 92.

Arévalo, C., 1995. Mapa Geológico de la Hoja Copiapó, Región de Atacama. 1 mapa 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Documentos de Trabajo N° 8.

Arévalo, C. y Welkner, D. 2008. Geología del Área Carrizal Bajo-Chacritas Región de Atacama. Carta Geológica de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Escala: 1:100.000. Serie Geológica Básica, 111.

Barazangi, M., & Isacks, B. 1976. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. Geology, 4, 686-692.

Beck, S., Barrientos, S., Kausel, E., Reyes, M. 1998. Source characteristics of historic earthquakes along the central Chile subduction zone. Journal of South America Earth Science 11(2): 115-129.

Bolt, B. 1993. "Earthquake". W. H. Freeman and Company, New York.

Bommer, J., Salazar, W., & Samayoa, R. 1998. Riesgo sísmico en la región metropolitana de San Salvador. Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA).

Cáceres, M. 2018. Atacama Sísmica: un compendio de eventos telúricos ocurridos en la región de Atacama desde el siglo XVIII. Copiapó, Chile: Ediciones On Demand. 162p.

Carrizo, D. 2009. Naturaleza sísmica de las fallas activas de la cordillera de la Costa del norte de Chile y su relación con la zona de acoplamiento sísmico de subducción. Actas XII Congreso Geológico Chileno. D. d. G. U. d. Chile. Santiago: CD-ROM.

Carrizo, D., González, G. y Dunai, T. J. 2008. "Constricción Neógena en la cordillera de la Costa, norte de Chile: neotectónica y datación de superficies con ^{21}Ne cosmogénico." *Revista Geológica de Chile* 35(1): 1 - 38.

Carvajal, M., Cisternas, M., Gubler, A., Catalán, P., Winckler, P., Wesson, R. 2016. Reexamination of the magnitudes for the 1906 and 1922 Chilean earthquakes using Japanese tsunami amplitudes: Implications for source depth constraints. *Journal of Geophysical Research – Solid Earth* 122(1): 4-17.

Charrier, R., Pinto, L., Rodríguez, P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile. En: MORENO, T., GIBBONS, W. (Eds.). *The Geology of Chile*. The Geological Society. pp. 24-114.

Comte, D., Hassler, H., Dorbath, L., Pardo, M., Monfred, T., Lavenu, A., Pontoise, B., Hello, Y. 2002. Seismicity and stress distribution in the Copiapó northern Chile subduction zone using combine on- and off-shore seismic observations. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 132(1-3): 197-217.

Coira, B. L., Davidson, J. D., Mpodozis, C., Ramos, V. A. 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile. *Earth Science Review* 18: 303-332.

Cornejo Y. y Sánchez G. 2018. "Análisis preliminar de riesgo sísmico mediante microvibraciones en la ciudad de Copiapó, Región de Atacama, Chile". XV Congreso Geológico Chileno, Concepción, Chile.

Elnashai, A. S., y Di Sarno, L. 2008. *Fundamentals of Earthquake Engineering*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

Franco, S. 2017. Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña del Mar: Estimación de la profundidad del basamento rocoso en la Cuenca del Marga Marga a partir de Mediciones Espectrales H/V. Tesis de pregrado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

Godoy, E., & Davidson, J. 1976. Pilares tectónicos en compresión de edad miocena superior en los Andes del norte de Chile (22-30°S), Congreso Geológico Chileno. B87-B103.

González, G., Cembrano, J., Carrizo, D., Macci, A. y Schneider, H. 2003. The link between forearc tectonics and Pliocene-Quaternary deformation of the Coastal cordillera, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 16(5): 321-342.

- González, G., Dunai, T., Carrizo, D. y Allmendinger, R. 2006. Young displacements on the Atacama Fault System, northern Chile from field observations and cosmogenic ^{21}Ne concentrations. *Tectonics* 25(3).
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. 2002. *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educación. 744p.
- Hervé, M. 1987. Movimiento sinistral en el Cretácico Inferior de la zona de Falla Atacama, al norte de Paposo (24 OS) Chile. *Revista Geológica de Chile*, No. 31, p. 37-42.
- Jordan, T. E., Allmendinger, R. W., Brewer, J. A., Ramos, V. A., & Ando, C. J. 1983. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. *Geological Society of America Bulletin*, 101, 341-361.
- Keller, E., Blodgett, R., 2004. *Riesgos Naturales*. Pearson Education, 448 p. Madrid.
- Larrondo, L. 2017. Análisis morfoestratigráfico y geomorfológico del entorno de la ciudad de Copiapó (Atacama, Chile). Paleohidrología y evolución geológica reciente. Tesis para optar al título profesional de Geólogo. Universidad de Atacama, Copiapó, Chile.
- Lavenu, A. 2005. Fallas cuaternarias en Chile. *SERNAGEOMIN, Boletín* (n.62): 71 p., Santiago.
- Lermo, J. and Chávez-García, F.J. 1993. Site effect evaluation using spectral ratios with only onestation, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83(5):1574-1594.
- Lermo, J. and Chávez-García, F.J. 1994. ¿Are microtremors useful in site response evaluation?, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(5):1350- 1364.
- Leyton, F. 2011. Primer Seminario de Riesgos Naturales, dentro del proceso de elaboración del plan regional de ordenamiento territorial (PROT) de Atacama, Copiapó.
- Lomnitz, C. 2004. Major earthquakes of Chile: a historical survey, 1535-1960. *Seismological Research Letters* 75(3): 368-378.
- Lomnitz, C. 1970. Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1955. *Geologische Rundschau* 59(3): 938-960.
- Marquardt, C., Lavenu, A., Ortlieb, L., Godoy, E., Comte, D. 2004. Coastal neotectonics in Southern Central Andes: uplift and deformation of marine terraces in Northern Chile (27°S). *Tectonophysics*, Volume 394, Issues 3-4, 10 December 2004, Pages 193-219.
- Marte, C. 2014. Calibración de umbrales de daño sísmico para el análisis de fragilidad sísmica de estructuras de hormigón armado mediante análisis estático no lineal ("Push-Over"). Tesis para optar al título de máster de Ingeniería Estructural y de la Construcción. Universidad de Cataluña, España.

Martínez, F., Arriagada, C., Peña, M., Del Real, I., Deckart, K. 2013. The structure of the Chañarcillo Basin: An example of tectonic inversion in the Atacama region, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 42: 1-16.

Moscoso, R., & Mpodozis, C. 1988. Estilos Estructurales en el Norte Chico de Chile (28-31°S), Regiones de Atacama y Coquimbo. *Revista Geológica de Chile*, 15 (2), 151-156.

Mourgues, F. A. 2007. La transgression du Crétacé Inférieur au Nord du Chili. Biostratigraphie, Paléontologie (Ammonites) Stratigraphie Séquentielle et Tectonique Syngénétique. PhD thesis. Francia. Universidad de Toulouse III.

Mpodozis, C. y Ramos, V. 1989. The Andes of Chile and Argentina. En: ERICKSEN, G. E., CAÑAS, M. T., REINEMUND, J. A. (Eds.). *Geology of the Andes and Its relation to Hydrocarbon and Mineral Resources: Circum-pacific Council for Energy and Mineral Resources. Earth Science Series 11: 59-90.*

Mpodozis, C. y Allmendinger, R., 1993. Extensional tectonics, Cretaceous Andes, northern Chile (27°S). *Geological Society of American Bulletin* 105 (11): 1462-1477.

Mpodozis, C. y Ramos, V.A., 1990. The Andes of Chile and Argentina. En: ERICKSEN, G. E., CAÑAS, M. T., REINEMUND, J. A. (Eds.). *Geology of the Andes and Its relation to Hydrocarbon and Mineral Resources: Circum-pacific Council for Energy and Mineral Resources. Earth Science Series 11: 59-90.*

Nakamura, Y. 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. In *Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering (Vol. 2656)*. New Zealand: Auckland.

Poblete, J. 2008. Determinación experimental de la intensidad de Mercalli modificada para Chile. Tesis de pregrado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Prisma Ingeniería. 2002. Análisis Zona Inundación Río Copiapó Comunas de Tierra Amarilla y Copiapó, III Región. MOP. Informe Interno.

Programa de Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile (PRS). 2017. Informe del Programa de Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile Santiago Resiliente Etapa 3. Informe.

Ramos, V. 2009. Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. *Geological Society of America Memoirs* 204: 31-65.

Ramos, V. 1986. El diastrofismo oclóyico: un ejemplo de tectónica de colisión durante el Eopaleozoico en el Noreste Argentino. *Revista del Instituto de Ciencias Geológicas* 6: 13-28.

Ramos, V. y Alemán, A. 2000. Tectonic Evolution of the Andes. En: CORDANI, U. G., MILANI, E. J., THOMAZ FILHO, A., CAMPOS, D. A. (Eds.). Tectonic evolution of South America. Río de Janeiro. International Geological Congress 31: 635-685.

Ramos, V., Cristallini, E., & Pérez, D. 2002. The Pampean flat-slab of the Central Andes: Journal of South American Earth Sciences. 15, 59-78.

Rauld, R., Kunstmann, A., Urresty, C. y Peñalva, M. 2016. Plan regulador comunal de Copiapó – Estudio de riesgos. Ilustre Municipalidad de Copiapó.

Ritta, R.J., Suárez, L.E., y Pando, M.A. 2012. Determinación del periodo fundamental del suelo usando vibración ambiental y el cociente espectral Horizontal/ Vertical. Asociación Argentina de Mecánica Computacional (Vol. XXXI). pp 1399-1419.

Saez, J. 2011. Normativa nacional antisísmica en materia de construcción. Bases y proyecciones. Memoria para optar al título profesional de Abogado. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Scheuber, E., Bogdanic T., Jensen, A. y Reutter, K-J. 1994. Tectonic Development of the North Chilean Andes in Relation to Plate Convergence and Magmatism Since the Jurassic. En: Reutter, K.-J., Scheuber, E. y Wigger, P. (Eds.). Tectonics of the Southern Central Andes, Berlin, Springer. pp 121-139.

Serafini, F. 2017. Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña Del Mar: Estimación de la profundidad del basamento rocoso en la cuenca del Marga Marga a partir de mediciones espectrales H/V. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

Seton, M., Müller, R.D., Zahirovic, S., Gaina, C., Torsvik, T., Shephard, G., Talsma, A., Gurnis, M., Turner, M., Maus, S. y Chandler, M. 2012. Global continental and ocean reconstructions since 200 Ma. Earth-Science Reviews (113): 212-270.

Susa, D. 2004. Evaluación del peligro sísmico asociado a sismos de tipo interplaca en Chile y sur del Perú utilizando una distribución bi-paramétrica de Weibull. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil.

Tapia, P., Roldán, W. y Villacis, C. 1998. Vulnerabilidad sísmica de las ciudades del norte de Chile: Arica, Antofagasta y Copiapó. Proyecto Risk Assesment Diagnosis Urban System Tools (RADIUS) realizado por el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Católica del norte y expertos de GeoHazard International.

Ulloa, R. 2018. Aplicación del método de Nakamura H/V, para estudiar el riesgo sísmico en la zona comprendida por el despliegue de estaciones IMAD. Tesis de pregrado para optar al título de Geofísico. Universidad de Concepción, Chile.

Wells, D.L., and Coppersmith, K.J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, and surface displacements: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 84, p. 974-1002.

Yañez, V. 2020. Acoplamiento interplaca a partir de datos GNSS en la brecha sísmica de la región de Atacama. Tesis para optar al título de magister ciencias mención geofísica. Universidad de Chile, Chile.

Anexos:

Anexo A: Categoría y dirección de las infraestructuras analizadas.

Tabla 4.8: Categoría y dirección de las infraestructuras analizadas.			
N°	Infraestructuras evaluadas	Categoría	Dirección
1	Scuola Italiana Giuseppe Verdi	Establecimiento educacional	Volcán Doña Inés N°542
2	Escuela Abraham Sepúlveda Pizarro	Establecimiento educacional	Juan Martínez N°351
3	CESFAM-Juan Martínez	Establecimiento educacional	Batallones de Atacama S/N
4	Escuela Técnico Profesional	Establecimiento educacional	Avenida Ramon Freire N°100
5	ONEMI	Servicios de orden y salud	Batallones de Atacama N°251
6	Segunda compañía "Pompa Italia"	Bomberos	Carmen Vilches N°1021
7	Escuela Manuel Rodríguez	Establecimiento educacional	Aurora de Chile N°2951
8	Colegio Particular "San Lorenzo"	Establecimiento educacional	Callejón Pedro León Gallo N°450
9	Escuela Luis Cruz Martínez	Establecimiento educacional	Los Carreras N°4169
10	Escuela Isabel Peña Morales	Establecimiento educacional	Los Carreras N°2999
11	Escuela Hernán Márquez Huerta	Establecimiento educacional	Arturo Prat S/N
12	SAPU-Paipote	Servicio de salud	Las Delicias S/N
13	CESFAM-Paipote	Servicio de salud	Las Delicias S/N
14	SAPU-Dr. Bernardo Mellibovsky	Servicio de salud	Los Loros S/N
15	CESFAM-Dr. Bernardo Mellibovsky	Servicio de salud	Los Loros S/N
16	CESFAM-Manuel Rodríguez	Servicio de salud	Luis Flores S/N
17	CESFAM-Santa Elvira	Servicio de salud	Los Aromos S/N
18	Sexta compañía	Bomberos	Avenida Los Loros N°2478
19	Tercera compañía	Bomberos	Nicolas Rojas N°1739
20	Subcomisaria Pedro León Gallo	Policías	Los Loros S/N
21	SAPU-El Palomar	Servicio de salud	Vicuña S/N
22	CESFAM-Rosario-Palomar	Servicio de salud	Chacabuco N°671

Tabla 4.8: Categoría y dirección de las infraestructuras analizadas.

N°	Infraestructuras evaluadas	Categoría	Dirección
23	CGU- Candelaria Rosario	Servicio de salud	Vallenar S/N
24	Cuartel PDI	Policías	Atacama N°1098
25	Segunda comisaria	Policías	O'Higgins N°751
26	Laboratorio criminalístico PDI	Policías	Los Carrera N°691
27	Retén Paipote	Policías	Pedro Aguirre Cerda N°1080
28	Segunda compañía	Bomberos	Atacama N°461
29	Primera compañía	Bomberos	Atacama N°461
30	CESFAM-Pedro León Gallo	Servicio de salud	Flora Normilla N°1007
31	Cuarta compañía	Bomberos	Eusebio Lillo S/N
32	Clínica Atacama	Servicio de salud	José M. Infante N°861
33	Municipalidad	Servicio de orden y salud	Chacabuco N°857
34	Minvu (Seremi)	Servicio de orden y salud	Atacama N°711
35	Hospital Regional	Servicio de salud	Los Carrera N°1320
36	Liceo Politécnico Belén	Establecimiento educacional	Infante N° 407
37	Liceo Tecnológico	Establecimiento educacional	Avenida circunvalación N°1605
38	Liceo Sagrado Corazón	Establecimiento educacional	Chañarcillo N°350
39	Escuela Cristo Redentor	Establecimiento educacional	Chañarcillo N°420
40	Liceo Católico Atacama	Establecimiento educacional	Yerbas Buenas N°67
41	Escuela Carlos María Sayago	Establecimiento educacional	Del Río N°1489
42	Escuela El Chañar	Establecimiento educacional	Avenida el Chañar N°1245
43	Instituto Comercial Alejandro Rivera Diaz	Establecimiento educacional	Los Carrera N° 435
44	Liceo José Antonio Carvajal	Establecimiento educacional	Avenida Henríquez N°198
45	Liceo Mercedes Fritis Mackenney	Establecimiento educacional	Avenida Henríquez N°575
46	Escuela Libertador Bernardo O'Higgins	Establecimiento educacional	Portales N°499

Tabla 4.8: Categoría y dirección de las infraestructuras analizadas.

N°	Infraestructuras evaluadas	Categoría	Dirección
47	Escuela Laura Robles Silva	Establecimiento educacional	Corcovado N°1375
48	Escuela Pedro León Gallo	Establecimiento educacional	Miraflores N°860
49	Escuela Bruno Zabala Fredes	Establecimiento educacional	Oriente 3B Santa Elvira N°73
50	Gobierno Regional	Establecimiento educacional	Los Carrera N°645
51	Gobernación Provincial	Establecimiento educacional	Chacabuco N°520
52	Servicio de salud del Gobierno	Servicio de salud	Chacabuco N°681
53	Liceo de Música	Establecimiento educacional	Andrés Bello N°170
54	Jardín Infantil Alicanto	Establecimiento educacional	Vicuña N°0736
55	Jardín Infantil Campanita	Establecimiento educacional	Los aromos N°2047-2123
56	Escuela Las Canteras	Establecimiento educacional	Secundino Pérez S/N Población Las Canteras
57	Escuela María Inés Pizarro	Establecimiento educacional	Los Héroes N°454
58	Escuela San Vicente de Paul	Establecimiento educacional	Williams Rebolledo Ampl. Arturo Prat N° 1611
59	Escuela los Estandartes	Establecimiento educacional	Salitrera Laguna N° 1777
60	SAR Paipote	Servicio de salud	Arturo Prat S/N
61	Bomberos Paipote	Bomberos	Rahue N°1357
62	Liceo Fernando Ariztia	Establecimiento educacional	Collipulli N°1601
63	Colegio San Agustín de Atacama	Establecimiento educacional	Francisco De Aguirre N°480
64	Colegio Adventista	Establecimiento educacional	Los Carreras N°1106
65	Colegio Cervantino	Establecimiento educacional	Francisco de Aguirre N°161
66	Dirección de Salud Municipal	Servicio de orden y salud	Chacabuco N° 857
67	Cuartel de Especialidades Carabineros	Policías	Avenida Copayapu N° 3302
68	Jardín Infantil Amanecer	Establecimiento educacional	Antofagasta 1289

Tabla 4.8: Categoría y dirección de las infraestructuras analizadas.

N°	Infraestructuras evaluadas	Categoría	Dirección
69	Escuela Diferencial Pukara	Establecimiento educacional	Las Heras N°360
70	Eco Escuela Qupa Yapu	Establecimiento educacional	Juan Martínez N°434
71	Escuela Vicente Sepúlveda Rojo	Establecimiento educacional	Eusebio Lillo N°997
72	Colegio Buen Pastor	Establecimiento educacional	Guillermo Matta N°316
73	Escuela de Artes Marta Colvin	Establecimiento educacional	Francisco de Aguirre N°448
74	Colegio Capianni	Establecimiento educacional	Francisco de Aguirre N°465
75	Escuela Las Brisas	Establecimiento educacional	Pasaje Fresia Cartavio N°349
76	Colegio Estación	Establecimiento educacional	11 de septiembre N°6449
77	Colegio San Francisco De La Selva	Establecimiento educacional	Los Carrera N°3391
78	Colegio Almenar	Establecimiento educacional	Callejón José Joaquín Vallejo N°971
79	Colegio San Agustín de Atacama 2	Establecimiento educacional	Leónidas Pérez N°2986

Anexo B: Tablas de vulnerabilidad sísmica.

Tabla 4.9: Vulnerabilidad sísmica estimada para los establecimientos de salud.								
Infraestructura	Afectación viviendas circundantes	Resonancia por altura	Incumplimiento de normas (NCh)	Material de construcción principal	Respuesta del terreno	Estado de la construcción	Flujo de personas	Total
CESFAM-Juan Martínez	1	1	2	1	1	1	2	1
SAPU-Paipote	1	1	2	1	2	1	2	2
CESFAM-Paipote	1	1	2	1	2	1	2	2
SAPU-Dr. Bernardo Mellibovsky	1	1	2	1	3	1	2	2
CESFAM-Dr. Bernardo Mellibovsky	1	1	2	1	3	1	2	2
CESFAM-Manuel Rodríguez	1	1	2	1	2	1	2	2
CESFAM-Rosario-Palomar	1	1	1	1	1	1	2	1
CESFAM-Pedro León Gallo	2	3	1	1	3	1	3	2
Clínica Atacama	2	2	1	1	3	1	3	2
Hospital Regional	3	3	1	1	3	1	3	3
SAR Paipote	1	1	1	1	2	1	2	1
CESFAM-Santa Elvira	1	1	4	1	2	1	2	2
SAPU-El Palomar	1	1	4	1	1	1	2	2
CESFAM-Candelaria de Rosario	1	1	4	1	1	1	2	2

Tabla 4.10: Vulnerabilidad sísmica estimada para compañías de bomberos.

Infraestructura	Afectación viviendas circundantes	Resonancia por altura	Incumplimiento de normas (NCh)	Material de construcción principal	Respuesta del terreno	Estado de la construcción	Flujo de personas	Total
Primera compañía	1	2	1	1	2	2	1	2
Segunda compañía	1	2	1	1	2	2	1	2
Segunda compañía "Pompa Italia"	1	1	1	1	1	1	1	1
Tercera compañía	1	1	4	1	3	1	1	2
Cuarta compañía	1	1	2	1	3	2	1	2
Sexta compañía	1	1	2	1	2	1	1	1
Compañía de Paipote	1	1	2	1	1	2	1	1

Tabla 4.11: Vulnerabilidad sísmica estimada para establecimientos policiales.

Infraestructura	Afectación viviendas circundantes	Resonancia por altura	Incumplimiento de normas (NCh)	Material de construcción principal	Respuesta del terreno	Estado de la construcción	Flujo de personas	Total
Cuartel PDI	2	3	3	2	2	2	2	3
Subcomisaría Pedro León Gallo	1	1	4	1	3	1	1	2
Segunda comisaria	1	1	4	1	2	1	1	2
Laboratorio criminalístico PDI	1	2	4	1	2	1	2	2
Retén Paipote	1	1	4	2	2	1	1	2
Cuartel especialidades de carabineros	1	1	4	1	2	1	1	2

Tabla 4.12: Vulnerabilidad estimada para servicios de orden y salud.

Infraestructura	Afectación viviendas circundantes	Resonancia por altura	Incumplimiento de normas (NCh)	Material de construcción principal	Respuesta del terreno	Estado de la construcción	Flujo de personas	Total
Servicio de Salud del Gobierno	3	3	1	2	2	1	2	2
Municipalidad	1	1	3	1	3	1	2	2
ONEMI	1	1	4	1	1	2	1	2
Gobierno Regional	2	3	4	1	2	1	2	3
Gobernación Provincial	1	2	4	1	2	1	2	2
Minvu (Seremi)	1	2	4	1	2	1	2	2
Dirección de Salud Municipal	1	1	4	2	3	1	1	2

Anexo C: Tablas de riesgo sísmico.

Tabla 4.13: Riesgo sísmico estimado a los establecimientos de salud.			
Infraestructura	Vulnerabilidad	Peligrosidad	Total
CESFAM-Juan Martínez	1	3	3
SAPU-Paipote	2	3	6
CESFAM-Paipote	2	3	6
SAPU-Dr. Bernardo Mellibovsky	2	3	6
CESFAM-Dr. Bernardo Mellibovsky	2	3	6
CESFAM-Manuel Rodríguez	2	3	6
CESFAM-Rosario-Palomar	1	3	3
CESFAM-Pedro León Gallo	2	3	6
Clínica Atacama	2	3	6
Hospital Regional	3	3	9
SAR Paipote	1	3	3
CESFAM-Santa Elvira	2	3	6
SAPU-El Palomar	2	3	6
CESFAM-Candelaria de Rosario	2	3	6

Tabla 4.14: Riesgo sísmico estimado a las compañías de bomberos.			
Infraestructura	Vulnerabilidad	Peligrosidad	Total
Primera compañía	2	3	6
Segunda compañía	2	3	6
Segunda compañía "Pompa Italia"	1	3	3
Tercera compañía	2	3	6
Cuarta compañía	2	3	6
Sexta compañía	1	3	3
Compañía de Paipote	1	3	3

Tabla 4.15: Riesgo sísmico estimado a establecimientos policiales.

Infraestructura	Vulnerabilidad	Peligrosidad	Total
Cuartel PDI	3	3	9
Subcomisaría Pedro León Gallo	2	3	6
Segunda comisaria	2	3	6
Laboratorio criminalístico PDI	2	3	6
Retén Paipote	2	3	6
Cuartel especialidades de carabineros	2	3	6

Tabla 4.16: Riesgo sísmico estimado a los servicios de orden y salud.

Infraestructura	Vulnerabilidad	Peligrosidad	Total
Servicio de salud del gobierno	2	3	6
Municipalidad	2	3	6
ONEMI	2	3	6
Gobierno Regional	3	3	9
Gobernación Provincial	2	3	6
Minvu (Seremi)	2	3	6
Dirección de Salud Municipal	2	3	6

Anexo D: Base de datos solicitada a dirección de obras municipales.

PLANILLA DE ORD.DOM N° 2131172 de fecha 27/07/2021
 INFORMACIÓN REQUERIDA POR TRANSPARENCIA MUNICIPAL(Correo Electrónico de fecha 22/06/2021 (MU-2143).

N°	EDIFICACIÓN	DIRECCIÓN	ROL AVALUO	EXPEDIENTE	PERMISO	RECEPCIÓN
1	SCUOLA ITALIANA GIUSSEPPE VERDI	Volcán Doña Inés N°542	38-16	1.- Exp.N°2.576 2.- Exp.N°3.928	1.- Permiso de Edificación N°066 de fecha 18/04/1995. Sup.751,22m2 2.- Permiso de Edificación N°137 de fecha 17/05/2001.Sup.417,37m2	1.- Recepción Definitiva N°202 de fecha 25/11/1998
2	ESC.ABRAHAM SEPULVEDA PIZARRO	JUAN MARTINEZ N°351	1.- 24-1 2.- 24-1 3.- 24-5	1.- Exp.N°3466 2.- Exp.N°6666 3.- Exp.N°9866	1.- Permiso de Edificación Obra Nueva N°174 de fecha 24/08/1999. Sup.2.884,89 m2 2.- Permiso de Edificación Ampliación N°187 de fecha 21/12/2005. Sup.535,50 m2 3.- Permiso de Obra Menor, Ampliación menor a 100 m2 N°167 de fecha 16/08/2013. Sup.15,14 m2	2.- Recepción Definitiva N°350 de fecha 30/12/2005. 3.- Recepción Definitiva N°285 de fecha 29/08/2013
3	CESFAM-Juan Martínez	Batallones de Atacama S/N				
4	ESCUELA TECNICO PROFESIONAL	AVENIDA RAMON FREIRE N°100	113-1	Exp.N° 1678		
5	Onemi	Batallones de Atacama 251	23-70			
6	Segunda compañía "Pompa Italia"	Carmen Vilches N° 1021	770-20	Exp.N°10.595	1.- Permiso de Edif.N° 160 de fecha 14/09/2016. Sup.614,41m2	1.- Recepción Definitiva N°200 de fecha 02/11/2017.
7	ESCUELA MANUEL RODRIGUEZ	AURORA DE CHILE N°2951	1103-01	1.- Exp.N°2.282 2.- Exp.N°6.544	1.- Permiso de Edif. N°184 de fecha 11/11/1993. Sup.1.132,63 m2 2.- Permiso de Edif. Regularización N° 049 de fecha 17/03/2005 Sup.790,12 m2. 3.- Permiso de Edif. N° 143 de fecha 31/03/2010. Sup.203,21 m2	1.- Recepción Definitiva N°055 de fecha 31/03/1994. 2.- Recepción Definitiva N°67 de fecha 13/03/2005. 3.- Recepción Definitiva N°469 de fecha 09/07/2010.
8	COLEGIO PARTICULAR "SAN LORENZO"	CALLEJON PEDRO LEON GALLO N° 450	586-12	1.- Exp. N°1.771. 2.- Exp. N°2.104. 3.- Exp.N°7.196 4.- Exp.N°7.771 4.- Exp.N°7.771	1.- Permiso de Edif.N°11 de fecha 01/02/1991. Sup.1.162,22 m2. 2.- Permiso de Edif.N°007 de fecha 12/02/1993. Sup.410,38 m2. 3.- Permiso de Edif.N°142 de fecha 24/04/2008. Sup.468,62 m2 4.- Permiso de Edif.N°726 de fecha 13/10/2008. Sup.720,29 m2. 5.- Permiso de Edif.N°175 de fecha 30/08/2013. Sup.28,7 m2.	1.- Recepción Definitiva N°106 de fecha 12/09/1991. 3.- 4.- Recepción Definitiva N° 024 de fecha 25/01/2018, de los permisos 726 y 175 (Total de 748,99 m2)
9	ESCUELA LUIS CRUZ MARTINEZ	LOS CARRERAS N°4169	579-8	1.- Exp.N°1.136 2.- Exp.N°3.965	1.- Permiso de Edif.N°07 de fecha 23/02/1987. Sup.529,20 m2. 2.- Permiso de Edif.N°176 de fecha 19/06/2001. Sup.644,67 m2.	2.- Recepción Definitiva Parcial N°207 de fecha 04/12/2003.
10	ESC. ISABEL PEÑA MORALES	LOS CARRERAS N°2999	350-28	1.- Exp. N° 3.342 2.- Exp. N°6.290 3.- Exp. N°6.539	1.- Permiso de Edificación N°031 de fecha 04/03/1999. Sup.112,84 m2. 2.- Permiso de Edificación N°135 de fecha 06/10/2003. Sup.135,78 m2. 3.- Permiso de Edificación N°044 de Regularización de fecha 17/03/2005. Sup.1.366,72 m2.	1.- Recepción Definitiva N°079 de fecha 14/05/1999. 2.- Recepción Definitiva N°247 de fecha 27/08/2004. 3.- Recepción Definitiva N°062 de fecha 17/03/2005
11	ESC. HERNAN MARQUEZ HUERTA	ARTURO PRAT N°5354	3062-1	1.-Exp. N°3348 2.- Exp.N°6.219 3.- Ex. N°6.535 4.- Exp. N°6.219 5.- Exp. N°6.219 6.- Exp. N°6.219 7.- Exp. N°8.000	1.- Permiso de Edificación N°037 de fecha 10/03/1999. Sup.175,96 m2. 2.- Permiso de Edificación Ampliación Obra Nueva N°050 de fecha 03/04/2003. Sup.1.929 m2. 3.- Permiso de Edificación Regularización N°040 de fecha 17/03/2005. Sup.1.009,20 m2. 4.- Permiso de Edificación N°112 de fecha 15/06/2006. Sup.33,51 m2. 5.- Permiso de Edificación N°102 de fecha 30/05/2006. Sup.799,25 m2. 6.- Permiso de Edificación N°106 de fecha 15/02/2008. Sup.64,03 m2. 7.- Permiso de Edificación N°153 de fecha 04/06/2009. Sup. 175,86 m2.	1.- Recepción Definitiva N°084 de fecha 19/05/1999 2.- Recepción Definitiva N°347 de fecha 30/12/2005. 3.- Recepción Definitiva N°58 17/03/2005. 4.- Recepción Definitiva N°167 de fecha 13/03/2007. 5.- Recepción Definitiva N°136 de fecha 21/06/2006. 6.- Recepción Definitiva N°044 de fecha 15/02/2008. 7.- Recepción Definitiva N°629 de fecha 14/08/2009.
12	SAPU-Paipote; Cefam Paipote	Las Delicias N°1021 Copiapó	3113-002	1.- Exp. N°1.940 2.-Exp. N°6.481 3.- Exp. N°10.004	1.- Permiso de Edificación N°021 de fecha 20/02/1991. Sup.350 m2 2.- Permiso de Edificación N°158 de fecha 05/11/2004. Sup.630,5m2 3.- Permiso de Edificación N°041 de fecha 17/02/2014. Sup.51,41m2	1.- Recepción Definitiva N°054 de fecha 08/06/1992 2.- Recepción Definitiva N°384 de fecha 30/12/2005 3.- Recepción Definitiva N°001 de fecha 06/01/2015
13	CESFAM-Paipote	Las Delicias S/N Copiapó				

N°	EDIFICACIÓN	DIRECCIÓN	ROL AVALUO	EXPEDIENTE	PERMISO	RECEPCIÓN
14	SAPU-Dr. Bernardo Mellibovsky	Los Loros S/N Copiapó				
15	CESFAM-Dr. Bernardo Mellibovsky	Los Loros N°1947 Copiapó	992-12	1.- Exp.N°1.947 2.- Exp.N°6.486	1.- Permiso de Edificación N°028 de fecha 12/03/1992 Sup.554,0 m2 2.- Permiso de Edificación N°163 de fecha 18/11/2004. Sup.57,57 m2	1.- Recepción Definitiva N°143 de fecha 31/12/1992
16	CESFAM-Manuel Rodríguez	Pasaje Erasmo Escala N°2015 esquina Av.Luis Flores N°538 Copiapó		Exp.N°1.125	1.- Permiso de Edificación N° 084 de fecha 16/12/1986. Sup. 323,61 m2.	Recepción Definitiva N°013 de fecha 30/04/1987
17	CESFAM-Santa Elvira	Los Aromos S/N Copiapó	637-01	Exp.N°1.443	Permiso de Edificación N°52 de fecha 29/04/1988. Sup.514,48 m2	Recepción Definitiva N° de fecha
18	Sexta Compañía de Bomberos	Avenida Los Loros 2478	2209-09		Permiso de Edificación N°167 de fecha 08/09/2007.Sup.429,50 m2	Recepción Definitiva N°225 de fecha 16/08/2007.
19	Tercera Compañía de Bomberos	Nicolás Rojas 1739				
20	Subcomisaría Pedro León Gallo	LOS LOROS S/N				
21	SAPU-El Palomar	Vicuña S/N Copiapó				
22	CESFAM-Rosario-Palomar	Salitrera Paposó N°1011	9600-44	Exp.N°7.190	1.- Permiso de Edificación N°135 de fecha 10/04/2008. Sup. 1.944,30 m2. 2.- Permiso de Edificación N°113 de fecha 05/06/2012. Sup.44,93 m2	1.- Recepción Definitiva N°091 de fecha 19/02/2009.
23	CGU- Candelaria Rosario (cesfam)	Vallenar N°1003 Copiapó	444-15	1.- Exp.N°3.222 2.- Exp.N°3.222 3.- Exp.N°8.021 4.- Exp.N°8.021	1.- Permiso de Edificación N°102 de fecha 10/06/1998. Sup.87,99 m2. 2.- Permiso de Edificación N°109 de fecha 14/06/2006. Sup. 4,95 m2 3.- Permiso de Edificación N°175 de fecha 25/06/2009. Sup. 58,20 m2 4.- Permiso de Edificación N°248 de fecha 24/10/2014. Sup.130,27 m2	1.- Recepción Definitiva N°075 de fecha 14/05/1999. 2.- Recepción Definitiva N°218 de fecha 05/10/2005. 3.- Recepción Definitiva N°634 de fecha 17/09/2009.
24	CUARTEL PDI	Atacama N° 1098	222-18			
25	Segunda Comisaria	O'HIGGINS 751				
26	PDI	LOS CARRERA 691	158-69			
27	Retén Paipote	Pedro Aguirre Cerda N°1080				
28	Segunda Compañía de Bomberos	Atacama 461	136-22	Exp. N°11.780	1.- Permiso de Edificación N°011 de fecha 23/01/2020, Sup.1.402,96 m2 (Regularización Ley 21.031)	Recepción Definitiva N°16 de fecha 23/01/2020
29	Primera Compañía de Bomberos	Atacama 461	136-22	Exp. N°11.780		
30	CESFAM-Pedro León Gallo	Flora Normilla 1051	239-8	Exp. N°9.853	Permiso de Edificación N°153 de fecha 19/07/2013. Sup. 2.267,10m2	Recepción Definitiva N°191 de fecha 21/09/2016
31	Cuarta Compañía de Bomberos	Eusebio Lillo N°701	448-4	1.- Exp. N°1.405 2.- Exp. N°2.794	1.- Permiso de Edificación N°14 de fecha 20/01/1980. Sup.190,1 m2 2.- Permiso de Edificación N°88 de fecha 04/04/1996. Sup.308.11 m2	2.- Recepción Definitiva N°083 de fecha 15/07/2002
32	Clínica Atacama	José M. Infante 861	180-06/07/1717	Exp. N°8167	1.- Permiso de Edificación Obra Nueva N°331 de fecha 28/08/2009, Sup.3.642, 84 m2 2.- Permiso de Edificación Obra Nueva N°028 de fecha 13/01/2011, Sup.136,23 m2	Resolución de Recepción Definitiva de Obras de Edificación N°319 de fecha 14/08/2012 (Permisos 331 y 028)
33	Municipalidad	Chacabuco 857	187-18	Exp.N°2.143	Permiso de Edificación N°046 de fecha 26/05/1993, Sup.3.160m2	Resolución de Recepción Definitiva de Obras de Edificación N°102 de fecha 06/12/1993.
34	Minvu (Seremi)	Atacama 711	139-15	Exp. N°729	Permiso de Edificación N°027 de fecha 11/08/1980.	

N°	EDIFICACIÓN	DIRECCIÓN	ROL AVALUO	EXPEDIENTE	PERMISO	RECEPCIÓN
35	Hospital Regional	Los Carrera 1320	266-1	1.- Exp.N°3.808 2.- Exp.N°8.200 3.- Exp.N°10.959 4.- Exp.N°10.959 5.- Exp.N°8.200	1.- Permiso de Edificación N°011 de fecha 15/01/2011. Sup.29.193,17 m2. 2.- Permiso de Remodelación N°364 de fecha 21/09/2009. Sup. 42.148,55 m2 3.- Permiso de Edificación N° 217 de fecha 06/06/2017, Sup.51 m2 4.- Permiso de Edificación N°004 de fecha 10/01/2019. Sup.531,37m2 5.- Permiso de Edificación N°448 de fecha 30/10/2009. Sup.265,82 m2	1.- Recepción Definitiva Parcial N°203 de fecha 05/07/2013. Sup. 28.413,55 m2 2.- Recepción Definitiva Parcial N°201 de fecha 04/10/2016. Sup.13.696,80 m2; Recepción Definitiva N°01 de fecha 06/01/2017, Sup.26,50 m2. Sup. Total 42.136,85 (ajuste por mod.N°084 de fecha 31/08/2016). 3.- Recepción Definitiva N°141 de fecha 17/07/2017. 4.- Recepción Definitiva N°185 de fecha 23/10/2020. 5.- Recepción Definitiva N° 174 de fecha23/03/2010.
36	LICEO POLITECNICO BELEN	1-4.- INFANTE N° 407 5.- INFANTE N° 427	1-4.- 166-23 5.- 106-25	1.- Exp.N°1.001 2.- Exp.N°3.291 3.- Exp.N°6.562 4.- Exp.N°6.562 5.- Exp.N°4.560	1.- Permiso de Edificación N°47 de fecha 14/08/1985. Sup.255,43 m2 2.- Permiso de Edificación N° 189 de fecha 05/11/1998. Sup.2.997,68 m2 (Acogida a la Ley 19.532). 3.- Permiso de Edificación N°067 de fecha 15/04/2005 Sup.1.286,36 m2 4.- Permiso de Edificación N°083 de fecha 21/04/2006. Sup.17,20 m2 5.- Permiso de Edificación N°101 de fecha 19/02/2002. Sup.830,52 m2	1.- Recepción Definitiva N°32 de fecha 25/09/1985. 2.- Recepción Definitiva N° de fecha 3 y 4 Recepción Definitiva N°115 de fecha 03/05/2006, Sup. Total 1.303,86 m2 5.- Recepción Parcial N°080 de fecha 20/04/2004. Sup.315,64 m2
37	LICEO TECNOLOGICO	AVDA.CIRCUNVALACION N°1605	1856-1	8744-8509-6759-7218-6545-2873		
38	Liceo Sagrado Corazón	Chañarillo N°350	115-4	1.- Exp.N°3.631 2.- Exp.N°3.631 3.- Exp.N°9.909	1.- Permiso de Edificación N°079 de fecha 29/03/2000. Sup. 4.013,06 m2 2.- Permiso de Edificación N°537 de fecha 22/12/2009. Sup.69,21 m2 3.- Permiso de Edificación N°214 de fecha 10/01/2013 Sup.95,70 m2	1.- Recepción Definitiva N°031 de fecha 23/03/2000. 2.- Recepción Definitiva N°441 de fecha 23/09/2011
39	Escuela Cristo Redentor	Chañarillo N°420	1.- 116-16 2.- 116-17	Exp. N°6.201	1.- Permiso de Edificación (Regularización) N°027 de fecha 21/02/2003. Sup. 4.717,96 m2 2.- Permiso de Edificación (Ampliación mayor a 100 m2) N°019 de fecha 20/01/2010. Sup.112,50 m2	1.- Recepción Definitiva N°243 de fecha 07/08/2003 y Resolución Complementaria de Recep.Definitiva N°145 de fecha 07/08/2003. 2.- Recepción Definitiva N°102 de fecha 16/02/2010.
40	Liceo Católico Atacama	Yerbas Buenas N°67		1.- Exp.N°1.331 2.- Exp.N°1.332 3.- Exp.N°1.453 4.- Exp.N°3.809 5.- Exp.N°5.585 6.- Exp.N°6.369 7.- Exp.N°6.724	1.- Permiso de Edificación N°202 de fecha 30/12/1982. Sup.159,10 m2 2.- Permiso de Edificación N°203 de fecha 30/12/1982. Sup.481,42m2 3.- Permiso de Edificación N°62 de fecha 08/06/1988. Sup.249,37 m2 4.- Permiso de Edificación N°12 de fecha 15/01/2001. Sup.1.051,12 m2 5.- Permiso de Edificación N°143 de fecha 13/09/2002. Sup.1.027,30 m2 6.- Permiso de Edificación N°036 de fecha 31/03/2004Sup.616,86 m2 7.- Permiso de Edificación N°061 de fecha 21/03/2006. Sup.821,14 m2 (Acogida a la Ley 19.532)	1.- Recepción Definitiva N°07 de fecha 12/01/1988. 2.- Recepción Definitiva N°07 de fecha 12/01/1988. 3.- Recepción Definitiva N° de fecha 30/12/1988. 4.- Recepción Definitiva N°199 de fecha 27/11/2003 5.- Recepción Definitiva Parcial N°200 de fecha 13/09/2003. Sup.242,72 m2; Recepción Definitiva N°165 de fecha 29/06/2005. Sup. 784,58 m2. 6.- Recepción Definitiva N°166 de fecha 29/06/2005 7.- Recepción Definitiva Simultanea N°078 de fecha 21/03/2006
41	Escuela Carlos María Sayago (Escuela El Palomar)	Calle Del Río N°1.505	9600-034	Exp.N°4.426.	1.- Permiso de Edificación Obra Nueva N°652 de fecha 10/12/2001. Sup.3.062,31. 2.- Permiso de Edificación Ampliación Obra Menor N°103 de fecha 16/07/2004. Sup. 108,00 m2	1.- Recepción Definitiva N°014 de fecha 12/01/2004.
42	Escuela El Chañar	Av. el Chañar N°1245		Exp.N°3329	1.- Permiso de Edificación Obra Nueva N°018 de fecha 19/02/1999. Sup.2.887,935 m2 F552.- Permiso de Edificación Modificación N°245 de fecha 06/12/2000. Sup.11,19 m2	

N°	EDIFICACIÓN	DIRECCIÓN	ROL AVALUO	EXPEDIENTE	PERMISO	RECEPCIÓN
43	Instituto Comercial Alejandro Rivera Díaz	Los Carrera N° 435	156-25	1.- Exp.N°1043 2.- Exp.N°3005 3.- Exp.N°3005 4.- Exp.N°4.686 5.- Exp.N°4.686 6.- Exp.N°4.687 7.- Exp.N°6.531 8.- Exp.N°7.712	1.- Permiso de Edificación N°02 de fecha 07/01/1986, Sup. 652,5 m2 2.- Permiso de Edificación N°017 de fecha 31/01/1997, Sup.90 m2 3.- Permiso de Edificación N°126 de fecha 02/09/1997, Sup.22 m2. 4.- Permiso de Edificación N°230 de fecha 17/04/2002, Sup.1.384,00 m2 5.- Mod. Permiso de Edificación N°064 de fecha 25/04/2003, Sup.28,74 m2 6.- Permiso de Edificación N°231 de fecha 17/04/2003, Sup.137,00 m2. 7.- Permiso de Edificación N°036 de fecha 17/03/2005, Sup.3.003,102 m2 (Regularización Ley 19.532) 8.- Permiso de Edificación N°158 de fecha 16/05/200/, Sup.270,00m2	1.- Recepción Definitiva S/N de fecha 31/03/1986. 2.- Recepción Definitiva N°045 de fecha 31/03/1997 3.- Recepción Definitiva N°137 de fecha 29/10/1997. 4 y 5 Recepción Definitiva N°069 de fecha 25/04/2003, Sup. 1.412,74 m2 6.- Recepción Definitiva N°070 de fecha 25/04/2003 7.- Recepción Definitiva Simultanea N°054 de fecha 17/03/2005 8.- Recepción Definitiva N°130 de fecha 16/05/2008.
44	Liceo José Antonio Carvajal	Av. Henríquez N°198	1209-01	Exp.N°6.760	Permiso de Edificación N°113 de fecha 16/06/2006, Sup.8.917m2	
45	Liceo Mercedes Fritis Mackenney	Av. Henríquez N°589	261-86	Exp.N°9.718	1.- Permiso de Edificación N°189 de fecha 12/12/2012, Sup.10.373,47 m2 2.- Res.Mod.Proy. de Edificación N°204 de fecha 29/08/2014, modifica Sup. Total 10.569,92 m2	Recepción Definitiva N°344 de fecha 02/09/2014
46	Escuela Libertador Bernardo O' Higgins	Portales N°599	188-026	1.- Exp. N°6220 2.- Exp.N°7.222	1.- Permiso de Edificación Obra Nueva N°051 de fecha 03/04/2003. Sup.3.394,93. 2.- Permiso de Edificación Ampliación Mayor a 100 m2 N°168 de fecha 30/06/2008 Sup.594,82	1.- Resolución de Recepción Definitiva N°041 de fecha 28/02/2005 2.- Recepción Definitiva N°183 de fecha 09/06/2008.
47	Escuela Laura Robles Silva	Corcovado N°1375	1098-012	Exp.N°6.888	1.- Permiso de Edificación Obra Nueva N°057 de fecha 02/04/2007. Sup.7.611,65	
48	Escuela Pedro León Gallo	Miraflores N°860	311-15	1.- Exp.N°2.583 2.- Exp.N°6.222 3.- Exp.N°6.534 4.- Exp.N°7.254 5.- Exp.N°8.340	1.- Permiso de Edificación N°074 de fecha 03/05/1995. Sup.259,18. 2.- Permiso de Edificación N°053 de fecha 03/04/2003. Sup.1.952,59 3.- Permiso de Edificación Regularización N°039 de fecha 17/03/2005. Sup.360,00 m2 4.- Permiso de Edificación N°202 de fecha 27/06/2008. Sup.330,78 m2 5.-Permiso de Edificación N°511 de fecha 11/02/2009. Sup.73,89 m2	1.- Recepción Definitiva N°076 de fecha 23/06/1995 3.- Recepción Definitiva N°057 de fecha 17/03/2005 4.- Recepción Definitiva N°270 de fecha 24/07/2008. 5.- Recepción Definitiva N°1.032 de fecha 16/12/2009
49	Escuela Bruno Zabala Fredes	Oriente 3B Santa Elvira 73	637-02	Exp. N°6887	1.- Permiso de Edificación Obra Nueva N°056 de fecha 02/04/2007. Sup.4.405,04 m2 2.- Permiso de Edificación Permiso de Regularización N°048 de fecha	
50	Gobierno Regional	Los Carrera N°645		Exp. N°675	Permiso de Edificación N°33 de fecha 06/12/1978. Sup.m2	
51	Gobernación Provincial	Chacabuco N°520		Exp. N°611	Permiso de Edificación N°10 de fecha 03/08/1976. Sup.m2	
52	Servicio de salud del Gobierno	Chacabuco N°681	167-34	Exp. N°7.736	Permiso de Edificación N°11 de fecha 23/01/2013. Sup.14.075,53 m2	Recepción Definitiva N°177 de fecha 28/09/2015
53	Liceo de Música	Andrés bello N°170	1207-017 y Lote 3A Subdivisión N°125/2004	Exp. N°6.558	Permiso de Edificación N°063 de fecha 01/04/2005, Sup. 5.659,00 m2	Recepción Definitiva N°297 de fecha 19/10/2007.
54	Jardín Infantil Alicanto	Vicuña N°0736	9620-6		Permiso de Edificación N°1.048 de fecha 03/09/2002, Sup.904,28 m2	Recepción Definitiva N°003 de fecha 03/01/2003
55	Jardín Infantil Campanita	Los Aromos N° 2047-2123				
56	Escuela Las Canteras	Secundino Pérez S/N Pob. Las Canteras	660-1	1.- Exp.N°2.899 2.- Exp.N°3.209 3.- Exp.N°6.540 4.- Exp.N°7.789 5.- Exp.N°6.540	1.- Permiso de Edificación N°208 de fecha 08/08/1996. Sup.246,12 m2 2.- Permiso de Edificación N°087 de fecha 15/05/1998. Sup.455,58 m2 3.- Permiso de Edificación N°045 de fecha 17/03/2005. Sup.1.916,09 m2 4.- Permiso de Edificación N°744 de fecha 23/10/2008. Sup.142,33 m2 5.- Permiso de Edificación N°252 de fecha 20/11/2012. Sup.67,24 m2	1.- Recepción Definitiva N°092 de fecha 16/08/1996. 2.- Recepción Definitiva N°204 de fecha 03/12/1998. 3.- Recepción Definitiva N°063 de fecha 17/03/2005. 4.- Recepción Definitiva N°430 de fecha 30/10/2008. 5.- Recepción Definitiva N°174 de fecha 14/05/2014

N°	EDIFICACIÓN	DIRECCIÓN	ROL AVALUO	EXPEDIENTE	PERMISO	RECEPCIÓN
57	Escuela María Lanza Pizarro	Los Héroes N°450	287-07	1.- Exp.N°2.361 2.- Exp.N°3.346 3.- Exp.N°6.538 4.- Exp.N°7.806. 5.- Exp.N° 3.584	1.- Permiso de Edificación N°035 de fecha 21/02/1994. Sup.1.868,7 m2 2.- Permiso de Edificación N°035 de fecha 08/03/1999. Sup.38,64 m2 3.- Permiso de Edificación Regularización N°043 de fecha 17/03/2005. Sup.42 m2. 4.- Permiso de Edificación N°762 de fecha 13/11/2008. Sup. 62,40 m2 5.- Permiso de Edificación Regularización N°028 de fecha 31/02/2000. Sup. 45,32 m2	1.- Recepción Definitiva N°066 de fecha 29/04/1999. 2.- Recepción Definitiva N°62 de fecha 23/04/1999. 3.- Recepción Definitiva N°61 de fecha 17/03/2005 5.- Recepción Definitiva N°012 de fecha 31/01/2000
58	Escuela San Vicente de Paul	Williams Rebolledo Ampl. Arturo Prat N° 1611	1964-2	1.- Exp.N°912 2.- Exp.N°1.371 3.- Exp.N°1.574 4.- Exp.N°3.368 5.- Exp.N°6.159 6.- Exp.N°6.217	1.- Permiso de Edificación N°23 de fecha 11/05/1984. Sup.313,50m2 2.- Permiso de Edificación N°242 de fecha 30/12/1997. Sup.317,52 m2 3.- Permiso de Edificación N°53 de fecha 01/08/1989. Sup.108 m2 4.- Permiso de Edificación N°58 de fecha 09/04/1999. Sup.1.756,39 m2 (Acogida a la Ley 19.532) 5.- Permiso de Edificación N°1.710 de fecha 13/12/2002 Sup.284,90 m2 6.- Permiso de Edificación N°045 de fecha 31/03/2003. Sup.1.049,39 m2	3.- Recepción Definitiva N°053 de fecha 23/11/1989. 4.- Recepción Definitiva Simultanea N°054 de fecha 09/04/1999. 5.- Recepción Definitiva N°127 de fecha 23/12/2002 6.- Recepción Definitiva N°117 de fecha 04/06/0004.
59	Escuela Básica Villa Los Salares (Ex-Estandartes)	Antofagasta esquina Latorre, Ampliación Prat.		Exp. N°6.223	Permiso de Edificación N°054 de fecha 03/04/2003. Sup.3.590,57 m2	Recepción Definitiva N°159 de fecha 23/06/2005.
60	SAR Paipote	Arturo Prat N°6.939	3113-1	Exp. N°11.674	Permiso de Edif.N°175 de fecha 19/07/2019. Sup.582,49 m2	Recepción Definitiva N°075 de fecha 28/04/2021
61	Bomberos Paipote	Rahue N°1357	3103-1	Exp. N°6.008	Permiso de Edif.N°1.566 de fecha 09/10/2002. Sup.356,80 m2	Recepción Definitiva N°023 de fecha 11/02/2003
62	Liceo Fernando Ariztia	Collipulli N°1601	3035-4			
63	Colegio San Agustín de Atacama	Francisco De Aguirre N°480	567-28	Exp.N°6332	1.- Permiso de Edificación Obra Nueva N°179 de fecha 09/12/2003. Sup.1.357,38 m2. 2.- Permiso de Edificación N°018 de fecha 26/01/2006. Sup.429,68 m2. 3.- Permiso de Edificación (Regularización) N°202 de fecha 12/08/2019. Sup.667,59 m2.	1.- Recepción Definitiva N°039 de fecha 27/02/2004. 2.- Recepción Definitiva N°55 de fecha 24/02/2006. 3.- Recepción Definitiva (Simultanea) N°229 de fecha 12/08/2019
63	Colegio San Agustín de Atacama	Leónidas Pérez N°2986	330-8	Exp.N° 6.766	1.- Permiso de Edificación N°122 de fecha 30/05/2019. Sup.1.273,53 m2. (Regularización Ley 21.052) 2.- Permiso de Edificación N°121 de fecha 11/07/2006. Sup.2.314,45 m2.	1.- Recepción Definitiva (Simultanea) N° 136 de fecha 30/05/2019. 2.- Recepción Definitiva N°061 de fecha 28/02/2007
64	Colegio Adventista	Los Carreras N°1106	252-13	1.- Exp. N°1.692. 2.- Exp. N°4.366. 3.- Exp.N°6.318. 4.- Exp.N°6.762.	1.- Permiso de Edif.N°068 de fecha 06/06/1990. Sup.211,20 m2 2.- Permiso de Edif.N° 589 de fecha 25/10/2001. Sup.1.132,11 m2. 3.- Permiso N°164 de fecha 18/11/2003. Sup.502,32 m2 4.- Permiso N°115 de fecha 19/06/2006. Sup.2.387,73 m2	1.- Recepción Definitiva N°063 de fecha 23/04/1999. 2.- Recepción Definitiva N°096 de fecha 25/10/2001. 3.- Recepción Definitiva N°192 de fecha 20/11/2003.
65	Colegio Cervantino	Francisco de Aguirre N°161	564-3	1.- Exp. N°6.604. 2.- Exp. N°6.604.	1.- Permiso de Edificación N°117 de fecha 12/08/2005. Sup.1.520,33 m2 2.- Permiso de Edif.N°111 de fecha 22/07/2020. Sup.2.191,98 m2. (Regularización Ley 21.052)	1.-Recepción Definitiva 255 de fecha 30/09/2005. 2- Recepción Definitiva (Simultanea) N° 140 de fecha 22/07/2020
66	Dirección de Salud Municipal	Chacabuco N° 857	188-6			
67	Cuartel de Especialidades Carabineros	Av. Copayapu N° 3302	569-2			
68	Jardín Infantil Amanecer	Antofagasta 1289	992-01	Exp.N°7.055	Permiso de Edificación N°256 de fecha 10/11/2007, Sup.959,11 m2	
69	Escuela Diferencial Pukara	Las Heras N°360	24-58	Exp.N°6.530	Permiso de Edificación Regularización N°035 de fecha 17/03/2005. Sup. 452,04 m2	Recepción Definitiva N°053 de fecha 17/03/2005

N°	EDIFICACIÓN	DIRECCIÓN	ROL AVALUO	EXPEDIENTE	PERMISO	RECEPCIÓN
70	Colegio Buen Pastor	Guillermo Matta N°316	233-22	1.- Exp. N°3.208 2.- Exp. N° 6.533 3.- Exp. N°8.018	1.- Permiso de Edificación Obra Nueva N°086 de fecha 15/05/1998. Sup. 2.873,34 m2. 2.- Permiso de Edificación Ampliación Menor a 100 m2 N°038 de fecha 17/03/2005. Sup. 67,44 m2. 3.- Permiso de Edificación Ampliación Mayor a 100 m2 N°172 de fecha 19/06/2009. Sup. 203,92 m2.	1.- Recepción Definitiva N°111 de fecha 24/7/1998. 2.- Recepción Definitiva N°56 de fecha 17/03/2005.
71	Escuela Vicente Sepúlveda Rojo	Eusebio Lillo N°997	448-1	1.- Exp. N°2.141 2.- Exp. N°2.557 3.- Exp. N°2.850 4.- Exp. N°2.941 5.- Exp. N°3.516 6.- Exp. N°7.211 7.- Exp. N°8.030 8.- Exp. N°8.030 9.- Exp. N°8.030	1.- Permiso de Edificación N°044 de fecha 26/05/1993. Sup.458,06 m2. 2.- Permiso de Edificación N°046 de fecha 15/03/1995. Sup.54,0 m2. 3.- Permiso de Edificación N°150 de fecha 07/06/1996. Sup.524,66 m2. 4.- Permiso de Edificación N°261 de fecha 25/10/1996. Sup.77,75 m2. 5.- Permiso de Edificación N°230 de fecha 29/10/1999. Sup.2.126,52 m2. 6.- Permiso de Edificación N°157 de fecha 16/05/2008. Sup.270,0 m2. 7.- Permiso de Edificación N°184 de fecha 02/07/2009. Sup.64,03 m2. 8.- Permiso de Edificación N°106 de fecha 28/05/2013. Sup.25,36 m2. 9.- Permiso de Edificación N°253 de fecha 20/11/2013. Sup.66,78 m2.	2.- Recepción Definitiva N°036 de fecha 27/03/1995. 3.- Recepción Definitiva N°115 de fecha 30/09/1996. 5.- Recepción Definitiva N°038 de fecha 16/04/2001. 6.- Recepción Definitiva N°129 de fecha 16/05/2008. 7.- Recepción Definitiva N°238 de fecha 14/04/2010. 8.- Recepción Definitiva N°162 de fecha 13/06/2013.
72	Eco Escuela Qupa Yapu	Juan Martínez N°434				
73	Escuela de Artes Marta Colvin	Francisco de Aguirre N°448	567-29	Exp.N°3.411	1.- Permiso de Edificación N°108 de fecha 01/06/1999, Sup.531,22 m2. (Regularización Ley 19.583) 2.- Permiso de Edificación N°172 de fecha 16/09/2015, Sup.490,78 m2 3.- Permiso de Edificación N°111 de fecha 11/07/2016, Sup.140,33 m2	1.- Recepción Definitiva Simultanea S/N de fecha 01/06/1999. 2.- Recepción Definitiva N°237 de fecha 16/11/2015. 3.- Recepción Definitiva N°153 de fecha 02/08/2016
74	Colegio Capianni	Francisco de Aguirre N°465	563-14	Exp.N°10.515	Permiso de Edificación Obra Nueva N°061 de fecha 30/05/2016. Sup. 380,55 m2.	Recepción Definitiva de Obras de Edificación N°164 de fecha 19/08/2016.
75	Escuela Las Brisas	Pasaje Fresia Cartavio N°349	206-81	Exp.N°6.733		
76	Colegio Estación	11 de Septiembre N°6449	3524-5	1.- Exp.N°6.984 2.- Exp.N°7.785 3.- Exp.N°6.984 4.- Exp.N°6.984 5.- Exp.N°6.984	1.- Permiso de Edificación N°171 de fecha 17/08/2007, Sup.252,77 m2 2.- Permiso de Edificación N°740 de fecha 21/10/2008, Sup. 208,51 m2 3.- Permiso de Edificación N°002 de fecha 22/01/2009, Sup.154,0 m2 4.- Permiso de Edificación N°002 de fecha 05/01/2010, Sup.368,43 m2 5.- Permiso de Edificación N°049 de fecha 19/03/2012, Sup.4,48 m2	1.- Recepción Definitiva N°364 de fecha 26/12/2007. 2.- Recepción Definitiva N°014 de fecha 14/01/2009 3.- Recepción Definitiva N°099 de fecha 28/02/2009 4.- Recepción Definitiva N°441 de fecha 25/06/2010 5.- Recepción Definitiva N°299 de fecha 31/07/2012
77	Colegio San Francisco de La Selva	Los Carrera N°3391	566-28	Exp.N°6689	1.- Permiso de Edif.N°021 de fecha 31/01/2006, Sup.2.973,16 m2. 2.- Permiso de Edif.N°182 de fecha 08/05/2017, Sup.1.076,00 m2.	1.- Recepciones Definitivas Parciales desde el 2008 al 2013. 2.- Recepción Definitiva N°146 de fecha 21/07/2017
78	Colegio Almenar	Callejón José Joaquín Vallejo N°971	574-32	Exp.N°3.567	1- Permiso de Edif.N°010 de fecha 14/01/2000, Sup.724,12 m2. (Regularización Obra Nueva) 2.- Permiso de Edificación N°036 de fecha 01/02/2001. Sup.48,98m2 3.- Permiso de Edificación N°150 de fecha 26/108/2005. Sup.601,03 m2	1 y 2 Recepción Definitiva N°018 de fecha 07/02/2001. Sup. Total 724,12 m2 y 48,98 m2. 3.- Recepción Definitiva N°170 de fecha 28/10/2005.
78	Colegio Almenar	Callejón José Joaquín Vallejo N°971	574-33	Exp.N°9.434	Permiso de Edif.N°415 de fecha 20/09/2011, Sup.639,4 m2.	Recepción Definitiva N°053 de fecha 07/02/2012
78	Colegio Almenar	Callejón José Joaquín Vallejo N°971	574-38		Permiso de Edif.N°300 de fecha 24/06/20101, Sup.142,0 m2. Jardín Infantil	Recepción Definitiva N°451 de fecha 01/07/2020.