



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

VIVIENDO EXPUESTOS AL PELIGRO SÍSMICO:
ZONIFICACIÓN MICROESCALAR DE EXPOSICIÓN SÍSMICA EN LA CIUDAD
DE TALAGANTE

Memoria para optar al título de Geógrafo

NICOLÁS GONZÁLEZ PEÑA

Profesor Guía: Joselyn Arriagada González

SANTIAGO – CHILE

2022

RESUMEN

El contexto sísmico de la región Metropolitana asociado con diferentes fuentes de sismogénesis ha sido identificado como un peligro para las localidades urbanas y rurales emplazadas en Chile central. La zona de subducción frente a las costas de Valparaíso donde la placa de Nazca subduce bajo la placa sudamericana a una velocidad de convergencia de 6.8 cm/año (Vigny *et al.* 2009) produce sismos de tipo interplaca de gran magnitud como los eventos ocurridos en 1906 de Mw 8.2 y en 1985 Mw 7.9, estimando un periodo de retorno del orden de los 80 y 100 años para sismos mayores a Mw 7.5 (Barrientos, 2007).

La eventual ocurrencia de un sismo superior a Mw 7.5 y que afecte a gran parte de Chile Central suscita la preocupación por la situación ex-ante al desastre que podrían sufrir las viviendas localizadas en ciudades como Talagante. Por ello el presente trabajo de investigación pretende establecer una zonificación micro escalar a nivel de manzanas de la ciudad de Talagante sobre la exposición de las construcciones habitacionales frente a la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud en la región.

La zonificación desarrollada está basada en la comprensión del componente exposición definido en el estudio de riesgo sísmico elaborado por Cardona *et al.* (2017) para el área del cono sur de Sudamérica. Se desarticula la exposición a través de la identificación de la exposición por localización, asociados con las condiciones físicas y naturales como la geomorfología, geología, suelos y respuesta sísmica, y la exposición por elementos activos, asociado con el estado y materialidad de las viviendas y su respuesta ante los movimientos de un sismo.

Los datos fueron recogidos de estudios previos elaborados para la región Metropolitana y que abarcan el área de estudio, la ciudad de Talagante, como la carta geológica de Selles y Gana (2003), la carta geomorfológica de Soto *et al.* (2007), CCUS de CIREN (2005), la respuesta sísmica de Fernández (2003), y los datos de vivienda a nivel de manzana recogidos por INE durante el Censo 2017. La zonificación se ha modelado espacialmente en una cartografía por medio de un análisis multicriterio del programa ArcGIS y su herramienta de análisis espacial *Weighted Overlay*.

Como resultado se ha segmentado el área de la ciudad de Talagante en 5 zonas con niveles de exposición diferente. Resalta el sector oriente de la ciudad donde las viviendas no representan un potencial peligro para sus residentes porque tanto sus suelos como las construcciones son de buena respuesta sísmica. Mientras que el sector norponiente correspondiente a los niveles bajos de terrazas del río Mapocho es identificado como altamente expuesto ya que presentan suelos de material sedimentario no consolidado de mala respuesta sísmica.

La amplificación de ondas sísmicas influenciada por el tipo de suelo representa una exposición alta para las viviendas emplazadas en el sector. La localización de viviendas en la zona de alta exposición implica una atención al estado y mantenimiento de las estructuras y materialidad para reducir los daños acumulados históricos y eventuales colapsos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre, María Peña, y a mis hermanas, Michelle, Victoria, Javiera e Isari, por ser parte importante de mi vida, quienes me dieron la fortaleza y motivación para iniciar este desafío, creyeron en mí y me apoyaron para continuar.

Agradezco a la profesora Joselyn Arriagada por guiarme en este proceso final de la carrera que duró dos años primero con la práctica profesional y luego con la memoria de título, la cual, a pesar de la pandemia, la distancia, las sesiones online, muchos correos y los contratiempos logramos sacar adelante.

Agradezco a mis amigos Manuel, Juan, Pilar, Camila, Javiera y Daniela por acompañarme en este proceso y por regalarme gratos momentos y consejos cuando el estrés me superaba.

Agradezco a mi psicóloga Leslie por ayudarme a reencauzar mi camino y reencontrarme con mi motivación.

En especial agradezco a mi pareja y compañero Victor con quien inicie este proceso en mi vida, quien fue mi apoyo fundamental para continuar hasta el final, me sostuvo cuando las cosas parecían ir mal y con quien comparto este logro. Gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1. Introducción	6
1.2. Planteamiento del problema	7
1.2.1. Contexto de la sismicidad nacional	7
1.2.2. Contexto de la sismicidad de la región Metropolitana	8
1.2.3. Construcción de riesgo	10
1.2.4. Construcción de viviendas expuestas al peligro sísmico	11
1.3. Estado del asunto	13
1.4. Área de estudio	16
1.4.1. Localización	16
1.4.2. Conformación de la ciudad	17
1.4.3. Antecedentes demográficos y económicos	18
1.4.4. Ciudad de Talagante	19
1.5. Objetivos	21

CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

2.1. Exposición	22
2.2. Definición del área de estudio	23
2.3. Procedimiento metodológico	24
2.4. Exposición por localización	25
2.5. Exposición por elementos activos	27
2.6. Zonificación de la exposición	30

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

3.1. Exposición por localización	31
3.1.1. Geología	31
3.1.2. Geomorfología	32
3.1.3. Suelos	33
3.1.4. Respuesta sísmica	34
3.1.5. Exposición por localización de la ciudad de Talagante	35
3.2. Exposición por elementos activos	37
3.2.1. Materialidad	37
3.2.2. Estado de las construcciones	39
3.2.3. Exposición por elementos activos	40
3.3. Zonificación de la exposición	41

CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión	43
4.2. Conclusiones	45

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Índice de figuras

Figura N°1: Sismos según mecanismos de sismogénesis	9
Figura N°2: Cartografía localización de Talagante	17
Figura N°3: Antecedentes demográficos	18
Figura N°4: Pirámide de población del área de estudio	19
Figura N°5: Esquema metodológico general	24
Figura N°6: Proceso metodológico primer objetivo específico	25
Figura N°7: Esquema metodológico segundo objetivo específico	27
Figura N°8: Susceptibilidad de la materialidad	28
Figura N°9: Esquema metodológico tercer objetivo específico	30
Figura N°10: Geología de la comuna de Talagante	31
Figura N°11: Geomorfología de la comuna de Talagante	32
Figura N°12: Capacidad de usos del suelo de la comuna de Talagante	33
Figura N°13: Respuesta sísmica de la comuna de Talagante	35
Figura N°14: Exposición por localización	36
Figura N°15: Respuesta sísmica de la materialidad	37
Figura N°16: Viviendas de Albañilería	38
Figura N°17: Viviendas de hormigón armado	38
Figura N°18: Estado de las viviendas	39
Figura N°19: Exposición por elementos activos	40
Figura N°20: Zonificación de la exposición	41

Índice de tablas

Tabla N°1 Estado del arte sobre sismicidad de Chile	13
Tabla N°2: Estado del arte sobre reconocimiento del peligro sísmico en Chile	14
Tabla N°3: Estado del arte sobre riesgo sísmico.	15
Tabla N°4: Capas, unidades y valores primer objetivo específico	26
Tabla N°5: Exposición según materialidad de viviendas	28
Tabla N°6: Capa, unidades y valores segundo objetivo específico	29

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1. Introducción

A la medianoche del 1° de diciembre de 1928 un sismo interplaca de magnitud Ms 8.0, a una profundidad de 25 km, con un epicentro localizado en las coordenadas 34.87°S - 72.28°O y con una longitud de ruptura de 115 km, azotó la ciudad de Talca durante 30 segundos (Astroza *et al.*, 2005). Como consecuencia hubo más de 300 muertos, miles de heridos y daños por \$50 millones de la época (BND, 2021). La casi completa destrucción de Talca dejó en evidencia que el estado en el cual se encontraban las construcciones y viviendas no era la más adecuada para una ciudad localizada en una zona altamente sísmica.

Las viviendas de Talca eran de arquitectura colonial y neoclásica de materialidad predominantemente adobe y albañilería sin refuerzos las que no resistieron a la intensidad del terremoto. A raíz de ello, en febrero de 1929 se proclamó la Ordenanza General de Construcciones basada en los estudios de ingeniería antisísmica dejada por la experiencia con los terremotos de Messina 1908 en Italia y Tokio 1923 en Japón. El éxito de la normativa se reflejaría en 1939 con el terremoto de Chillan en donde las pocas casas que cumplían con la ordenanza permanecían en pie (Ibáñez, 1989).

El éxito del sistema de albañilería reforzada evidenciado con el terremoto de Chillan, motivaría el posterior desarrollo de la normativa NCh 433 sobre ingeniería antisísmica en el país y continuaría profundizando su contenido alcanzando en la actualidad un nivel de desarrollo semejante a la de países más avanzados en la materia. Sin embargo, aún en muchas ciudades y pueblos rurales se utilizan construcciones que no se ajustan a la norma antisísmica y se continúa habitando en viviendas que no efectúan mantenimiento a las estructuras o a la materialidad, lo que las dispone de una alta exposición al peligro sísmico del país.

A pesar de ser Talca la ciudad más afectada por el terremoto, otras localidades también sintieron sus efectos como en Constitución con olas y marejadas de dos metros o en Putú donde la playa sufrió un levantamiento, y daños al norte de Pelequén y al Sur de Chillan (Astroza *et al.*, 2005). Los efectos de un terremoto tienen alcance en un amplio radio de influencia afectando a otras localidades cercanas al epicentro, por lo que pueblos y ciudades emplazados en una zona sísmica están altamente expuestas a sufrir daños en sus viviendas si no están diseñadas y construidas acorde al contexto sísmico.

La región Metropolitana se ve afectada principalmente por la sismicidad de la zona de subducción frente a la costa de Valparaíso generando grandes terremotos como los de 1906 y de 1985 de magnitudes Mw 8.2 y Mw 7.9 respectivamente (López, 1992). Se estiman periodos de retornos de 83 ± 9 años (Comte *et al.*, 1986) de sismos interplaca sobre los Mw 7.5 para la zona, lo que conlleva a considerar a la región con un alto peligro sísmico. Esta situación implica una amenaza para las ciudades y pueblos rurales emplazados en la región y además de posibles daños en las construcciones que no se encuentren en un estado favorable para hacer frente a un sismo de tal magnitud.

La ciudad de Talagante es una localidad urbana localizada a 35 km de Santiago, con una superficie de 6,33 km² alberga al 76,6% de la población comunal, lo que la faculta de una alta densidad poblacional y una alta concentración de viviendas. Su origen desde la época precolonial la caracteriza de edificaciones añosas, muchas de ellas construcciones coloniales de materialidad a base de tierra como el adobe.

A partir de los años 90' la proliferación de construcciones de viviendas sociales por inmobiliarias que ocupan suelos de mala calidad y baja renta ha ido en expansión debido a la explosión demográfica y la alta demanda habitacional. Además, una reciente ocupación informal se ha asentado al margen del río Mapocho que cruza la comuna por el norte, lo que implica el uso de suelos de alto riesgo.

Tanto el contexto sísmico de la región como el preocupante contexto habitacional de la ciudad de Talagante motivan el presente trabajo de investigación a fin de establecer una zonificación micro escalar a nivel de manzanas de la ciudad de Talagante sobre la exposición de las construcciones habitacionales urbanas frente a la ocurrencia de un sismo de gran magnitud en la región.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Contexto de la sismicidad nacional.

El gran anillo sísmico del Pacífico es uno de los lugares de la Tierra con mayor actividad sísmica y volcánica del planeta. Para los países que se localizan en esta área tectónica es de suma importancia enfocar la atención a las problemáticas geográficas que se desprenden de esta condición, ya que suscitan un estado de alerta permanente a la amenaza sísmica y volcánica, y por lo tanto una urgente necesidad de gestionar el riesgo (Araya, 2007).

Chile, que se encuentra localizado en la parte Sudamericana del anillo sísmico del Pacífico es uno de los países con mayor actividad sísmica de la tierra (Madariaga, 1998). En promedio cada 10 años un terremoto destructor de magnitud próxima a Mw 8.0 ha generado daños en infraestructuras y pérdidas de vidas humanas en alguna parte del territorio nacional (Araya, 2007). Al considerar que desde 1962 se han producido más de 4000 sismos de magnitud superior a Mw 5.0 (Madariaga, 1998) se evidencia del importante contexto sísmico nacional caracterizado por una alta intensidad y recurrencia que alertan la necesidad de gestionar el riesgo sísmico en el país.

Si bien la actividad sísmica en Chile es intensa y recurrente, esta no presenta una distribución homogénea en el territorio nacional; más bien es variable en términos de latitud y longitud, ya que el contacto de la placa de Nazca en subducción a la placa Sudamericana a una velocidad de convergencia de 6.8 cm/año presenta una dinámica tectónica no uniforme en las zonas de acoplamiento (Vigny *et al.*, 2009). Para comprender esta condición se han elaborado zonificaciones que identifican macrozonas en las que la sismicidad tiene un comportamiento local parcialmente homogéneo, pero que está diferenciado al resto de la sismicidad del país.

La zonificación latitudinal propuesta por Barazangi e Isacks (1976) identifica 3 principales segmentos. Las características de la sismicidad de norte a sur difieren en términos de ángulos de inclinación en los que subyace la placa de Nazca por debajo de la Sudamericana, y en términos de profundidad a la que ocurre la sismicidad.

Al norte, del paralelo 15° al 27° S, la placa desciende en un ángulo de 25° a 30° presentando sismicidad a una profundidad entre los 50 a 600 km. Entre los 26° y 33° S la subducción pierde intensidad descendiendo en un ángulo de inclinación de 10° y una sismicidad a 200 km de profundidad. Finalmente, al sur, desde los 33° a los 47° S, la subducción retoma la inclinación identificada al norte del país, pero pierde profundidad no superando los 200 km (Barazangi & Isacks, 1976, en Madariaga, 1998).

La sismicidad también presenta un comportamiento diferenciado en relación con la ubicación longitudinal. En el territorio oceánico se generan sismos interplaca al exterior de la fosa o *outer-rise* atribuidos a la flexión de la placa oceánica al descender en la placa continental (Aránguiz, 2018), mientras que en la zona de contacto de las placas se originan sismos de subducción interplaca o tipo *thrust* asociado al roce de placas en un mecanismo de falla inversa con un plano de falla que posee un ángulo de inclinación bajo (Araya, 2007).

Más al interior del territorio se presenta una sismicidad interplaca de profundidad intermedia de carácter destructor y de profundidad focal cercana a los 90 km, se asocian con el fracturamiento tensional de la placa de Nazca que se quiebra por su propio peso o por el roce con el manto viscoso (Rauld, 2011). Finalmente, la sismicidad interplaca continental correspondiente a sismos superficiales o corticales a menos de 30 km de profundidad se presentan principalmente sobre el plano de Benioff al pie de la cordillera de los Andes y en la precordillera del Norte Grande (Araya, 2007).

Los diversos catálogos de sismicidad en el territorio nacional como los elaborados por CERESIS (1985), Engdahl *et al.* (1995, 1998), Kirby *et al.* (1995, 1996), Araya (2007) disponen de una recopilación de datos sísmicos que permiten generar zonificaciones nacionales y comprender a más detalle la actividad y recurrencia de eventos sísmicos. Los estudios presentados por estos y otros autores dan a conocer la importancia del estudio del contexto sísmico nacional ya que es una amenaza latente para el país, y ya sea en el norte o al sur del país, en la zona costera o en la precordillera, la actividad sísmica y la eventual ocurrencia de un sismo de gran magnitud requieren de una especial atención al panorama ex-ante, como la preparación de las localidades para hacer frente a este peligro.

1.2.2. Contexto de la sismicidad en la región metropolitana.

La sismicidad en la región Metropolitana se caracteriza por la acción de sismos interplaca, sismos interplaca de profundidad intermedia y sismos superficiales. En la figura N°1 (ver Fig. 1) se muestra la sismicidad según NEIC de los sismos ocurridos entre 1973 a 2007 elaborado por Leyton *et al.* (2007) donde se muestra la gran influencia de los sismos interplaca e interplaca de profundidad intermedia en la región Metropolitana.

En cuanto a los sismos superficiales tienen una mayor presencia en la zona precordillerana de Santiago (Leyton *et al.*, 2010).

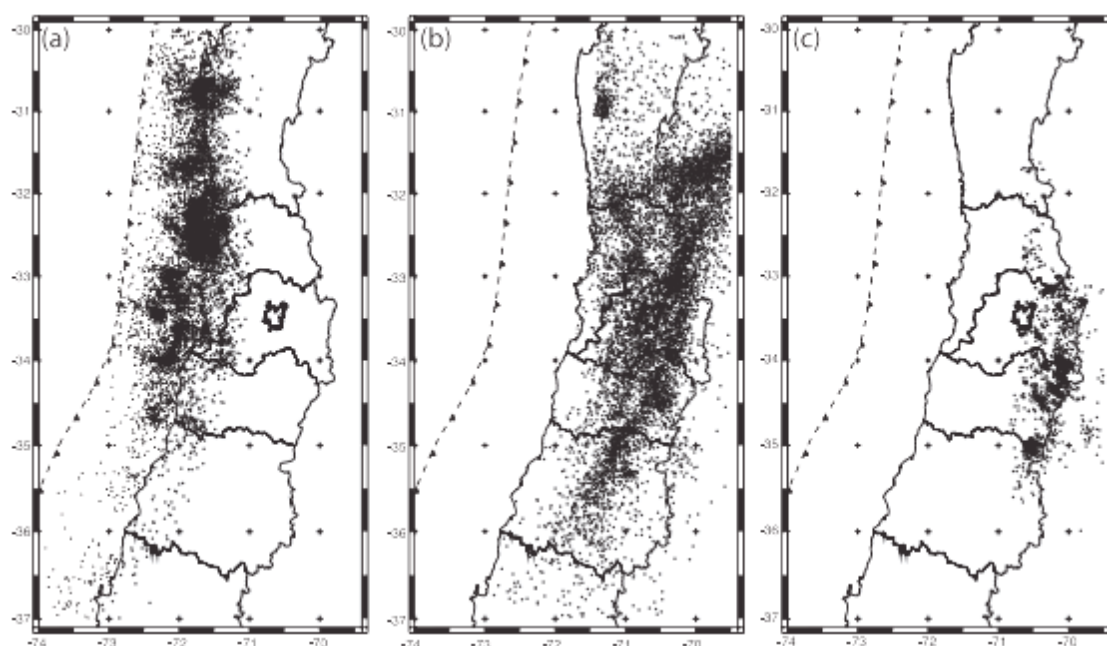


Fig. 1: Sismos según mecanismos de sismogénesis a) sismos interplaca; (b) sismos interplaca de profundidad intermedia; (c) sismos superficiales. Fuente: mapa de la sismicidad por NEIC ocurridos entre 1973-2007, Leyton *et al.*, 2007.

Los sismos interplaca asociada a la convergencia de placas frente a las costas de Valparaíso afectan a la región con una alta sismicidad reflejada en la recurrencia de grandes sismos mayores a Mw 7.5 (Rauld, 2011), como los eventos de 1575, 1647, 1730, 1822, 1906 y 1985 (López, 1992), lo que evidencia un periodo de recurrencia de 83 ± 9 años (Comte *et al.*, 1986). Para Chile central se estima un sismo interplaca mayor a Mw 7.5 cada 80 y 100 años (Barrientos, 2007) y mayores Mw 8.0 cada 250 a 500 años (Barrientos & Ward, 1999).

Los sismos interplaca con epicentros en la región de Valparaíso representan un peligro para la región Metropolitana, ya que estos son sentidos fuertemente en amplias regiones del territorio chileno y argentino (López, 1992). Un temblor generado por un sismo se propaga con la misma magnitud del epicentro en un radio de 20 y 50 km aproximadamente, mientras que las vibraciones sísmicas seguirán propagándose y provocando daños según sea la intensidad y duración del sismo, como también según la naturaleza del material y el diseño estructural de las construcciones (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Aunque con mucha menos frecuencia que los sismos interplaca, los sismos interplaca de profundidad intermedia implican grandes daños para los territorios ya que estos tienen epicentros continentales lo que provoca más destrucción que otros tipos de sismos (Ruiz & Saragoni, 2005). Algunos eventos importantes de este tipo de sismos

ocurrieron en Chillan 1939 y Calama 1950 sobre los Mw 8.0 (Rauld, 2011), y en el caso de la zona central eventos como el de Santiago 1945 de Ms 7.1. Su frecuencia es baja, pero se estima un periodo de recurrencia de 110 años con magnitudes sobre los Mw 7.5 (Barrientos, 1997).

Otra característica de la sismicidad en la región Metropolitana se asocia a la estructura geológica falla de San Ramón (FSR) en la zona precordillerana, la cual representa un peligro sísmico por la eventual ocurrencia de un terremoto superficial que afectaría a la ciudad de Santiago y sus alrededores (Aránguiz, 2018). Eventos sísmicos de esta categoría han afectado a la región con anterioridad y han modelado la geomorfología de la región con escarpes tectónicos en el piedemonte, como también han afectado abanicos aluviales de edad pleistocena a holocena y terrazas fluviales basculadas en el valle del río Maipo (Armijo *et al.*, 2010, en Aránguiz, 2018).

Eventuales sismos interplaca superficiales asociados a la FSR debido su poca profundidad son considerados de gran peligrosidad. Vargas *et al.* (2014) estimó que un nuevo sismo generado por FSR alcanzaría los Mw 7.5 si se activaran los 35 km de longitud de la falla (Aránguiz, 2018). La magnitud de un sismo de este alcance afectaría a la región en su totalidad y con ella a la vasta población emplazada en la gran ciudad de Santiago y en las localidades rurales aledañas.

En cuanto a la respuesta sísmica de las unidades geológicas al interior de la cuenca de Santiago, se ha estimado que unidades de abanicos aluviales constituidas por gravas de matriz areno-arcillosa y los depósitos de cenizas volcánicas tendrían una mala respuesta a sismos de Mw 7.4 a 8.0 grados de intensidad. Mientras que depósitos de abanicos aluviales constituidas por gravas de matriz arenosa, constituidos por bloques y gravas subangulares, depósitos de antiguos abanicos aluviales en el piedemonte al oriente de Santiago y depósitos de antiguos deslizamientos podrían tener de buena a regular respuesta a un sismo de las mismas categorías (SERNAGEOMIN, 2003).

El peligro sísmico que enfrenta la región Metropolitana, tanto por la magnitud del evento, por su mecanismo de sismogénesis o por la respuesta sísmica de las unidades geológicas, geomorfológicas y de suelo, representa una condición intrínseca del territorio de la zona central y a la cual están afectas la población localizada en la región, por lo que plantear estudios pertinentes sobre las formas habitacionales y el estado de las construcciones emplazadas en Santiago y las localidades rurales aledañas es de gran importancia para entender cuán preparado se está para enfrentar un próximo evento sísmico que afecte a la región.

1.2.3. Construcción de riesgo.

Si bien la ciudad de Santiago ha concentrado gran parte de la población del país debido su carácter centralista, es a partir de la modernización llevada a cabo por los procesos de liberación económica instaurados durante la década del 80' que esta tendencia comienza a marcarse. La población emplazada en el Gran Santiago para 1960 representaba el 25,9% de la población del país y para 1992 alcanzaba el 35,6%, lo que equivale a 4.754.901 habitantes, casi un tercio de la población total (De Mattos, 1999).

Paralelo a la explosión demográfica, el crecimiento urbano del Gran Santiago pasó de una ciudad de 17 comunas con límites urbanos definidos por el Plan Regulador Intercomunal de Santiago (PRIS) de 1960 (Aránguiz, 2018), a una Megaciudad fragmentada con periferias expandidas y corredores urbanos (Aguilar, 2002). El alcance regional que adoptó la mancha urbana, que de 31.840 ha en 1970 llegó a abarcar 64.140 ha para el 2002, quedó establecido por el nuevo Plan Regulador Metropolitano de 1994 que para el 2006 con la integración de Melipilla y Talagante albergaría todas las comunas de la región metropolitana (Aránguiz, 2018).

Con el crecimiento urbano y demográfico del Gran Santiago se incrementó la ocupación de zonas expuestas a riesgos en la región Metropolitana. Para 1960 el crecimiento de la ciudad se emplazó sobre depósitos fluviales y aluviales del río Mapocho y río Maipo, sobre la Ignimbrita Pudahuel y en 1994 la urbanización había alcanzado el piedemonte sobre depósitos aluviales y depósitos de remoción en masa como la quebrada de Macul (Aránguiz, 2018). Además, la ocupación sobre la estructura geológica Falla de San Ramón en el frente cordillerano ha significado la construcción de riesgo sísmico al emplazarse en esta zona en el que se han identificado la localización de cuatro clúster sísmicos de alta intensidad que incrementa la exposición a este tipo de amenazas (Rauld, 2011).

La ocupación del suelo incentivada por el libre mercado ha permitido el actuar de inmobiliarias que construyen en zonas de riesgo, pero también ha ignorado a un porcentaje no menor de población empobrecida a merced de las políticas habitacionales que desde finales del siglo pasado ha pretendido corregirse por medio de un sistema de subsidios de vivienda (Ducci, 1997). La construcción de poblaciones ha resultado en el surgimiento de la ciudad de los pobres, lo que Ducci (1997) ha identificado como *“la ocupación de terrenos más baratos ofrecidos por el mercado de suelo urbano, localizados en la periferia, sin equipamiento urbano accesible, en suelos de mala calidad o con problemas de inundaciones, hundimientos o zonas poco atractivas por su cercanía a elementos urbanos molestos como basurales, plantas de tratamiento y cementerios”*. (Ducci, 1997: 106).

Engendrado por las transformaciones espaciales de la megaciudad neoliberal en crecimiento sin regulación y sin consideración del riesgo, han surgido y se han construido espacios urbanos habitados por población empobrecida localizados en zonas expuestas a amenazas y en suelo de mala calidad, en forma de conjuntos habitacionales con viviendas que en términos estructurales y de materialidad no necesariamente están preparadas para emplazarse en una región con una actividad sísmica como la expuesta para la región Metropolitana.

1.2.4. Construcción de viviendas expuestas a peligro sísmico.

La normativa focalizada en la ingeniería antisísmica en el país tiene su origen en 1928 cuando, a partir del terremoto de Talca que dejó 200 muertos, miles de heridos y pérdidas materiales cuantiosas, se promulga en 1935 la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización (Ibáñez, 1989). Esta ordenanza promueve la construcción

en albañilería reforzada la cual para 1939 en el terremoto de Chillán comprobaría su éxito tras constatar que 6 casas que cumplían con las exigencias de la ordenanza habían permanecido en pie en contrapunto al resto de casas que colapsaron (Ibáñez, 1989).

Esta tardía preocupación por la ingeniería antisísmica es simultánea al interés internacional iniciado en la década de los 50 en California (USA) y posteriormente en Japón y Nueva Zelanda (Ibáñez, 1989). Las investigaciones realizadas en estos países permitieron la formulación de NCh 433 en 1972 norma que controla el diseño sísmico de los edificios y que tendría actualizaciones en 1994, 1996 y 2009.

Tras estos eventos, la ingeniería antisísmica chilena comenzaría a especializarse hasta hoy en día que alcanza el éxito suficiente para ser reconocida a nivel internacional. Para las construcciones de acero se disponen la norma redactada por el Instituto Americano de la Construcción de Acero (AICS), para las construcciones de hormigón lo dispuesto por el Instituto Americano de hormigón (ACI), la norma NCh 1928 dispone el diseño para las construcciones de albañilería reforzada, la norma NCh 2123 para las construcciones de albañilería confinada y la norma NCh 1198 para las construcciones de madera.

La principal filosofía que persigue la normativa antisísmica es que las construcciones no sufran daños de ningún tipo provocado por sismos durante los 50 a 70 años de vida útil de un edificio. La estructura podría sufrir daños durante un evento de gran magnitud e incluso tener que demolerse con posterioridad, pero se exige que la estructura no colapse durante el sismo. En el caso de países como Chile con una alta e intensa actividad sísmica el diseño antisísmico se dificulta y hace necesario que la sociedad asuma los altos costos, como también que incorpore la conciencia sísmica a la práctica de la arquitectura, que se controle el proceso constructivo y la mantención de las estructuras y que el diseño antisísmico se ejecute de acuerdo con la norma vigente (Hidalgo *et al.*, 2005).

La incorporación de estos elementos en el diseño de las construcciones emplazadas en zonas sísmicas garantiza la preservación de las vidas humanas y optimiza el uso de recursos económicos del país, pero aun así, la implementación reciente de estas exigencias tolera que aun sigan en pie construcciones no sujetas a esta normativa e incluso que no se consideren dentro de ella normas de dimensionamiento para materiales o sistemas constructivos diferentes a los indicados, como las viviendas a base de tierra y de gran data que son típicas de localidades rurales de origen colonial (Hidalgo *et al.*, 2005)

Las construcciones en tierra fueron típicas en la zona central del país que utilizaron la tierra cruda como el adobe y técnicas mixtas madera-tierra, como el adobillo y la quincha como material y sistema de construcción (Bahamondes *et al.*, 2011). Cerca del 40% de inmuebles patrimoniales localizados en las regiones de O'Higgins y el Maule presentan estas características (Bahamondes *et al.*, 2011). Pueblos rurales en la periferia del Gran Santiago aun presentan construcciones de este tipo en sus cascos históricos, muchas de ellas mal diseñadas y con malos refuerzos y mantención.

Frente a la eventual ocurrencia de un sismo de gran magnitud en la región metropolitana surge el cuestionamiento de cuán preparadas están las viviendas para no colapsar ante el movimiento sísmico. Localidades rurales como Talagante presentan en su zona urbana y casco histórico añosas construcciones de la época colonial y postcolonial, como también y gatillados por la reciente expansión urbana, una proliferación de conjuntos habitacionales, principalmente poblaciones, que se han levantado con la más mínima consideración de un diseño antisísmico en su estructura.

El estudio realizado por Fajnzylber (2011) sobre la estimación de vulnerabilidad de la infraestructura en diferentes ciudades al norte y centro del país frente a un sismo de alta intensidad, concluyó que un terremoto con foco en la zona central del país, principalmente ubicado en la comuna de Peñaflor o Talagante destruiría cerca del 7.4% de las viviendas del país y dañaría cerca del 18.2% (Fajnzylber, 2011). Los efectos de un sismo de esta envergadura tendrían un efecto aún mayor en ciudades como Talagante donde las viviendas y construcciones no se ajustan necesariamente a la norma antisísmica.

La presente investigación pretende dar respuesta a ¿cuáles son las áreas en la ciudad de Talagante que presentan en sus construcciones habitacionales un mejor y/o peor estado para enfrentar un eventual sismo de gran magnitud en la región metropolitana?

1.3. Estado del asunto

Registros de sismos localizados en Chile son proporcionados por diversas bases de datos dispuestas por instituciones nacionales e internacionales que recogen los datos inmediatamente ocurrido el sismo o con posterioridad. Algunas de estas instituciones son el National Earthquake Information Center (NEIC), Harvard Seismology Group, International Seismological Centre (ISC), Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile (CSN), algunos catálogos como el Catálogo de Engdahl que contempla información desde 1964 al 2004, el proporcionado por el Proyecto SISRA (CERESISI, 1985) con información de 1520 al 1981 y la actualización de Araya (2007) con información de 1982 al 2005 (ver Tabla 1).

Autor	Año	Contribución
Labb & Saragoni	1976	Regionalización sísmica para Chile
Baranzangi & Isacks	1976	Segmentación de la placa de Nazca en 5 segmentos de longitud variable
Barrientos	1980	Regionalización sísmica para Chile
CERESISI	1985	Estadísticas sísmicas entregadas por Catálogo de terremotos chilenos entre 1520 - 1881
Cahill & Isacks	1992	Ángulos de subducción
Madariaga	1998	Sismicidad de Chile
Araya	2007	Actualización del catálogo sísmico para Chile desde 1982 – 2005

Tabla 1 Estado del arte sobre sismicidad de Chile. Fuente: Elaboración propia, a partir de revisión bibliográfica.

La disponibilidad de estas bases de datos ha permitido los estudios enfocados en la identificación, análisis y evaluación de las actividad sísmica en el país en relación con la regionalización de la sismicidad propuesta por autores como Labb & Saragoni (1976), Baranzangi & Isacks (1976), Barrientos (1980), Madariaga (1998) que describen y diferencian la sismicidad por regiones en cuanto a mecanismos sismogénicos, ángulos de subducción (Cahill & Isacks, 1992), intensidad y frecuencia (ver Tabla 1).

A partir de la intensa y recurrente actividad sísmica del país, diversos autores han enfocado sus estudios en el reconocimiento y evaluación de la amenaza sísmica que suscita esta condición tectónica para el país, y a establecer modelos que consideren diferentes criterios para la identificación de este primer factor de riesgo. El peligro sísmico definido por Leyton *et al.* (2010) como la probabilidad de exceder un cierto parámetro sísmico durante un lapso de vida útil para una zona definida, se ha estudiado considerando modelos deterministas y probabilísticos, siendo estos últimos los que han alcanzado una mayor aceptación entre los académicos y una mayor afinación conceptual (Leyton *et al.*, 2010) (ver Tabla 2).

Autor	Año	Contribución
Greve	1948	Respuesta sísmica para diferentes zonas de Chile
Lomnitz	1969	Mapa de peligro sísmico en Chile
Algermissen & Perkins	1976	Propuesta de procedimiento probabilístico para la estimación de peligro sísmico
Anderson & Trifunac	1978	Propuesta de procedimiento probabilístico para la estimación de peligro sísmico
Villablanca & Riddell	1985	Estimación del peligro sísmico
Reiter	1990	Propuesta de procedimiento probabilístico para la estimación de peligro sísmico
Romanoff	1999	Peligro sísmico zona central
Astroza <i>et al</i>	2001	Leyes de atenuación
Ruiz	2002 2005	Fórmulas de atenuación y efectos del suelo
Silva	2008	Determinación del peligro sísmico en la región Metropolitana
Leyton <i>et al.</i>	2009 2010	Peligro sísmico probabilístico para la zona central de Chile considerando asociado a cada tipo de fuente sísmica
Rauld	2011	Peligro sísmico asociado a la Falla de San Ramón
Bernal <i>et al.</i>	2014	Modelo para la estimación de la amenaza sísmica

Tabla 2: Estado del arte sobre reconocimiento del peligro sísmico en Chile. Fuente: Elaboración propia a partir de revisión bibliográfica.

Modelos para la estimación del peligro sísmico han sido propuestos por Algermissen & Perkins (1976), Anderson & Trifunac (1978), Reiter (1990) quienes han contribuido con modelos matemáticos para el cálculo de probabilidad de la amenaza

sísmica, los cuales más tarde serían utilizados por Leyton *et al.* (2010) distinguiendo en el modelamiento las fuentes sismogénicas que afectan los territorios. Durante los años 60' algunos estudios se enfocaban en regiones donde la sismicidad se consideraba uniforme, pero a partir de los estudios zonales de Greve (1948) y Lomnitz (1969), los estudios de amenaza sísmica en apuntaron en reconocer las dinámicas locales a una escala más detallada como en la zona central por Romanoff (1999), Silva (2008), Rauld (2011).

Los estudios que reconocen el peligro sísmico han permitido ampliar los análisis a una perspectiva de riesgo sísmico incorporando en la evaluación factores como la exposición y la vulnerabilidad. De esta manera se ha llegado a una comprensión por un lado más localizada de la dinámica sísmica, y por otro, más detallada en cuanto considera aún más criterios para la evaluación de la situación.

Estudios que analizaron el riesgo sísmico fueron elaborados por Esteva (1967), Cornell (1968) y Villablanca & Riddell (1985). Sin embargo, es a partir de los avances en el análisis del peligro sísmico en los años 90' que comienza a estudiarse con mayor profundidad el asunto con autores como Castro (2012) y Marulanda (2013) los cuales ponen atención en la identificación de la vulnerabilidad frente al peligro sísmico y Aránguiz (2018) en términos de exposición (ver Tabla 3).

Autor	Año	Contribución
Esteva	1967	Criterios para la construcción de diseño antisísmico
Cornell	1968	Ingeniería antisísmica
Villablanca & Riddell	1985	Evaluación del riesgo sísmico en Chile
Álvarez <i>et al.</i>	2002	Modelo integrado para riesgo sísmico en edificios
Castro	2012	Análisis de la vulnerabilidad
Marulanda	2013	Modelación probabilística para la estimación de vulnerabilidad
Cardona <i>et al.</i>	2017	Modelo para la evaluación del riesgo sísmico aplicado a la ciudad de Mendoza. Procedimiento para identificar amenaza – exposición – vulnerabilidad.
Aránguiz	2018	Exposición de Santiago a la amenaza sísmica
Carihuinca	2020	Reconocimiento del riesgo sísmico provocado por la FSR en la población localizada en las comunas al oriente de Santiago. Identificación de amenaza – exposición – vulnerabilidad.

Tabla 3: Estado del arte sobre riesgo sísmico. Fuente: Elaboración propia a partir de revisión bibliográfica.

Recientemente Cardona *et al.* (2017) propone un completo modelo para la evaluación del riesgo sísmico en el Cono Sur de Sudamérica el cual aplicaron en detalle a la ciudad de Mendoza en Argentina pero que pretende ser aplicado a diversas otras ciudades localizada a estas latitudes. El caso de Carihuinca (2020) propone un acercamiento a la actividad sísmica en la zona central de Chile analizando el riesgo

sísmico provocado por la Falla de San Ramon y sus efectos en la población emplazada en las comunas al oriente de la ciudad de Santiago en el frente cordillerano.

El presente estudio pretende aplicar una parte del análisis de riesgo sísmico propuesto por Cardona *et al.* (2007) que, si bien comprende un estudio completo en el reconocimiento del peligro sísmico, la exposición y la vulnerabilidad y desde estos componentes la estimación del riesgo sísmico, en este estudio solo concierne el reconocimiento del factor exposición como primer punto de partida para la aplicación del modelo a un nivel local como en la ciudad de Talagante.

A partir de la revisión bibliográfica expuesta y los bastos estudios que aportan al análisis y evaluación del peligro sísmico existente en la zona central, se considera el peligro como un primer factor ya reconocido para el análisis del riesgo sísmico que afecta al área por lo que surge la necesidad de evaluar el componente exposición como siguiente acercamiento a la comprensión del riesgo sísmico en la ciudad de Talagante.

1.4. Área de estudio

El presente trabajo de investigación contempla como área de estudio la ciudad de Talagante, una localidad urbana de la comuna homónima. Se localiza a 35 km al suroeste de Santiago y al igual que ciudades aledañas como Isla de Maipo y Peñaflores parte de la suburbanización y periferia expandida (Aguilar, 2002) interactuando como ciudad satélite y/o barrio dormitorio del área metropolitana (De Mattos, 1999). A continuación, se presenta una descripción de la localización, antecedentes demográficos y características económicas desde un nivel comunal a un nivel local del área de estudio.

1.4.1. Localización.

La comuna de Talagante se localiza entre los 33° 37' y 33° 47' de latitud sur y los 70° 48' y 71° 01' de longitud oeste (PLADECO Talagante, 2015). Fue fundada en 1873 como Villa de Santa María de Talagante y decretada como municipalidad en 1891 (INE, 2001). Iniciado el periodo de regionalización del país en 1980 la comuna es decretada como capital de la provincia homónima que junto con otras 5 provincias forman la región Metropolitana de Santiago (INE, 2001). Finalmente, los límites político-administrativos quedarían definidos por las comunas de Peñaflores al norte, Isla de Maipo al sur, Calera de Tango al este y El Monte al oeste (PLADECO Talagante, 2015).

La superficie de la comuna es de 126,59 km² que se distribuyen porcentualmente en un 87,43% de área rural lo que equivale a 110,68 km² y en un 11,48% de área urbana correspondiente a 14,54 km² (IDE, 2017). La superficie urbana la integran las pequeñas localidades rurales de Lonquén y Roto Chileno localizadas al este de la comuna y la gran área urbana de Talagante localizada al extremo noroeste de la comuna (ver Fig. 2). Esta última resalta como el área de estudio del presente trabajo de investigación que cuenta con una superficie de 6,33 km² definida como distrito censal urbano por el Censo 2017 (INE, 2017).

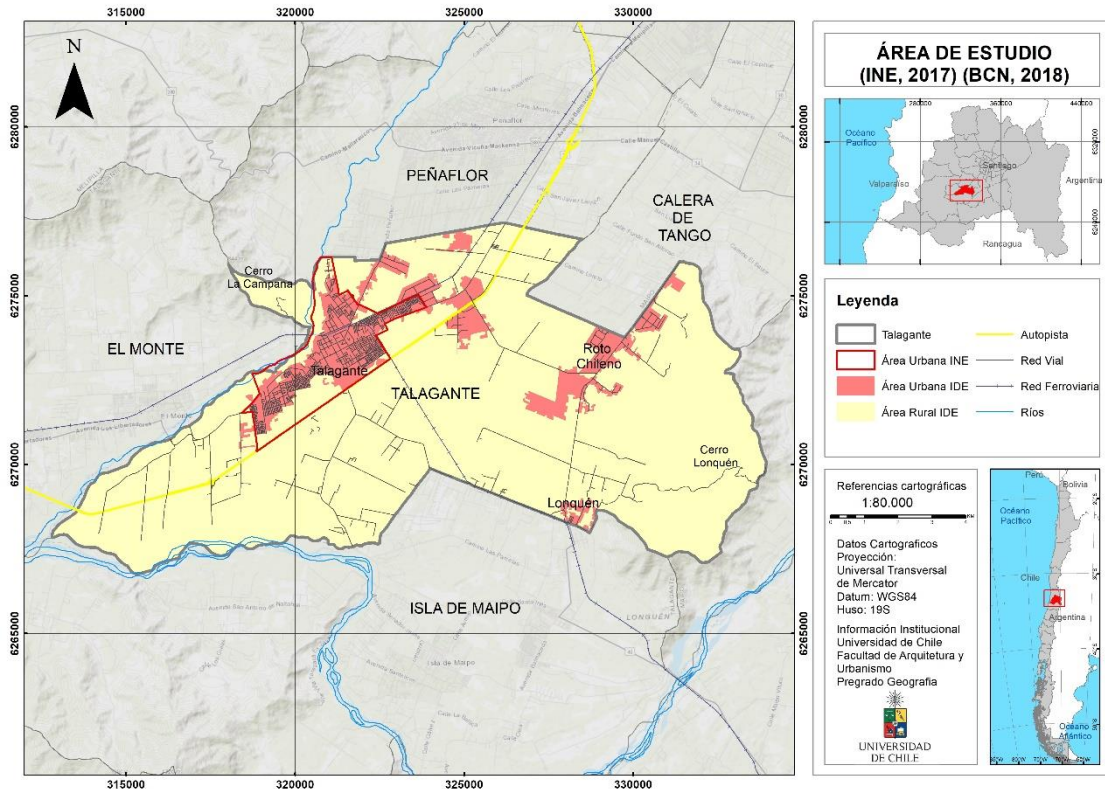


Fig. 2: Cartografía localización de Talagante. Fuente: Elaboración propia a partir de información de BCN, 2018; INE, 2017; IDE, 2017.

1.4.2. Conformación de la ciudad.

La comuna de Talagante surgió desde muy antaño como un pueblo rural al suroeste de Santiago. Antes de su fundación formó parte del territorio de antiguos asentamientos indígenas como la tradición Bato, el Complejo cultural Llolleo y grupos de la cultura Aconcagua (PLADECO Talagante, 2015). Fue parte del territorio Pukara gobernada por Tala Canta Inca Ilabe en la época precolonial (Ordenes, 2013) y de las tierras de encomienda otorgada a los caciques de Talagante durante la época colonial (Contreras, 2017). El paso de estas diferentes formas de asentamiento implicó que durante más de 500 años se levantarán añosas construcciones muchas de las cuales aún siguen en pie.

No es hasta la época postcolonial que Talagante comenzaría a constituirse como un importante pueblo rural con un alto flujo de personas, debido a que era una estancia recurrente para los viajeros que transitaban la ruta que une Santiago con el puerto de San Antonio, hoy Autopista del Sol y camino Melipilla (PLADECO Talagante, 2015). Más tarde la vía ferroviaria trazaría su curso a través de la ciudad lo que permitiría una mayor concentración y circulación de población en la comuna (ver Fig. 2).

Talagante comenzaría a poblarse gradualmente, por lo que las políticas de vivienda consolidadas en la década del 30' y hasta mitad de siglo XX llegarían a dar solución a las demandas habitacionales de la creciente población urbana (Hidalgo, 1999). Para 1980, iniciado el periodo de regionalización de Chile, la ciudad es decretada como

centro provincial de la provincia de Talagante (INE, 2001); por lo tanto, adquiere una mayor importancia a nivel local, una mayor concentración de población y una mayor demanda de viviendas.

1.4.3. Antecedentes económicos y demográficos.

El área rural de la comuna se caracteriza de predios agrícolas los cuales, gracias a la presencia del río Mapocho al norte y del río Maipo al sur (ver Fig. 2) y por la construcción de canales artificiales de riego que han aventajado el acceso al agua, se han podido desarrollar actividades económicas del sector primario como la agricultura y la ganadería, constituyéndose como una importante fuente laboral para la población. También se encuentra en esta área las parcelas de agrado como la principal forma habitacional y sitios no habitados como el cerro La Campana y el cerro Lonquén.

El área urbana en cambio concentra actividades económicas del rubro terciario actuando como principal área comercial. Además, en ella se concentran las operaciones políticas y administrativas de la comuna con la ubicación de las oficinas municipales y gubernamentales locales. En cuanto a habitabilidad a diferencia de las parcelas de agrado del área rural en la ciudad de Talagante se encuentran conjuntos habitacionales como poblaciones, villas y condominios, lo que explica la mayor densidad de población y concentración de viviendas (ver Fig. 3).

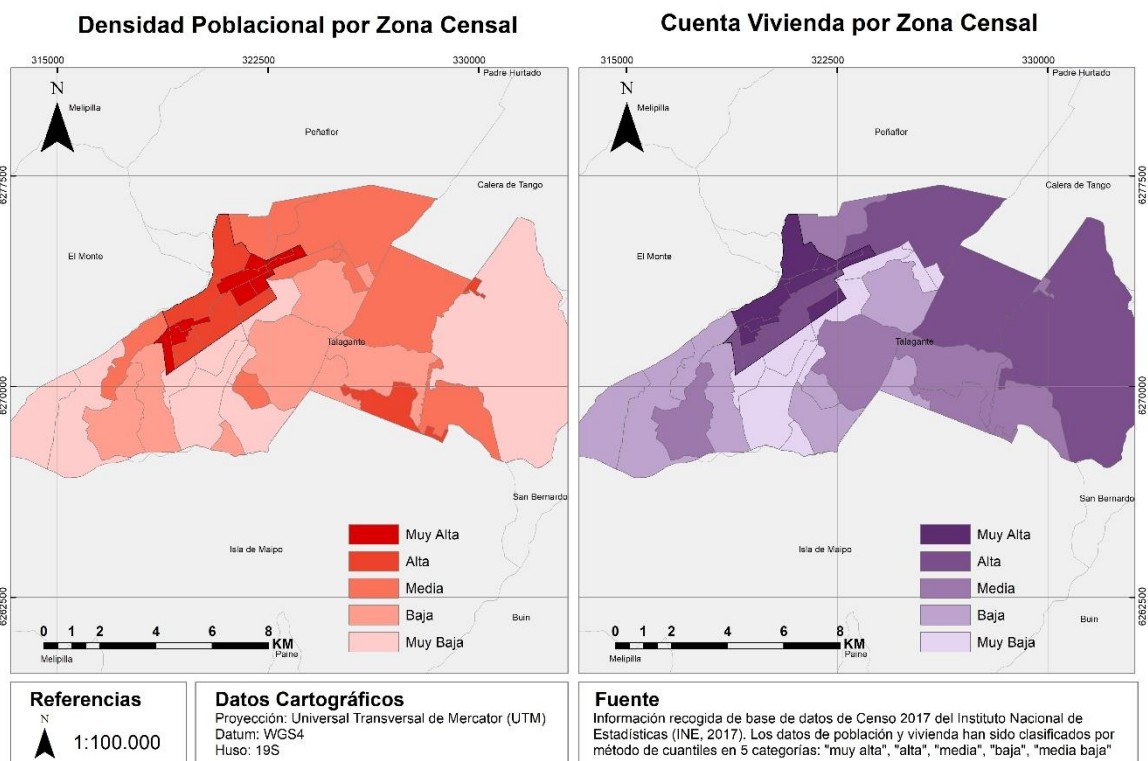


Fig. 3: Antecedentes demográficos. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Censo 2017, (INE, 2017).

Según los datos recogidos por el Censo 2017, la ciudad de Talagante presenta una mayor densidad de población en comparación al resto de la comuna con niveles que alcanzan los 16.077 hab/km² en contraste a los 31 hab/km² que alcanzan algunas localidades censales rurales de la comuna (INE, 2017) (ver Fig. 3, densidad poblacional). Estos antecedentes demográficos también se relacionan con la alta concentración de viviendas en el área de estudio que alcanza niveles muy altos en contrapunto a la muy baja presencia de viviendas en los distritos rurales aledaños (ver Fig. 3, cuenta viviendas).

En términos de población, los datos específicos de la ciudad de Talagante recogidos por el Censo 2017 reflejan que existe una diferencia mínima entre población declarada hombre y mujer con un 49% y un 51% respectivamente. En cuanto a diferencias etarias existe una mayor concentración de población adulta entre 27 y 59 años con un 48,84% de la población total, seguido de población joven de 14 a 26 años con un 15,94% y población adulta mayor de 60 a más años con un 13,97% (INE, 2017) (ver Fig. 4). La tendencia general que se identifica es de una pirámide regresiva con una estructura madura y en envejecimiento.

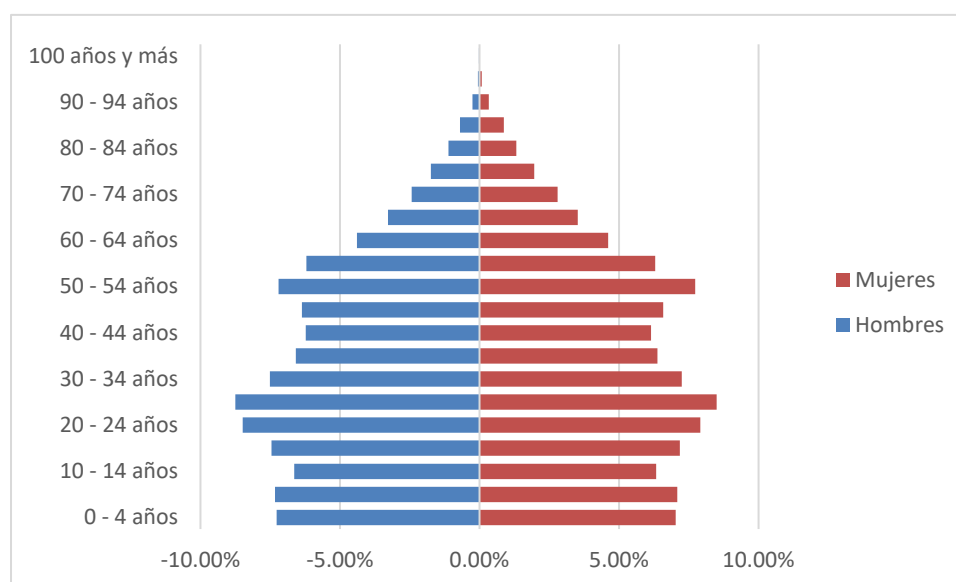


Fig. 4: Pirámide de población del área de estudio. Fuente: elaboración propia con datos de Censo 2017 (INE, 2017).

1.4.4. Ciudad de Talagante.

Actualmente la ciudad presenta un proceso de expansión urbana con una proliferación de población hacia el exterior del área de estudio, principalmente por la construcción de villas, poblaciones y condominios hacia el este y oeste de la comuna, como también por la localización de asentamientos informales desde la década del 80' en la ribera del río Mapocho que delimita la ciudad hacia el norte.

La población que habita la ciudad de una superficie de 6,33 km² corresponde al 76,62% de la población comunal (PLADECO Talagante, 2015) lo que suscita en una alta concentración y demanda habitacional que ha pretendido ser cubierta principalmente con la construcción de viviendas social levantados desde la década del 30' hasta la actualidad,

pero que continua sin ser suficiente para el acelerado crecimiento demográfico que da cabida al surgimiento de asentamientos informales.

El contexto espacial de la ciudad con un centro histórico añoso, arquitectura patrimonial colonial, viviendas sociales construidas por diversas inmobiliarias con diversas normativas habitacionales, asentamientos informales en la ribera del río y una expansión urbana patente, sugiere una preocupación en el presente trabajo de investigación por cuan desigual están expuestas las viviendas en términos del estado de su materialidad frente al peligro sísmico en la región.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Establecer una zonificación sísmica microescalar en el área urbana de Talagante, según construcción habitacional.

1.5.2. Objetivos específicos

1.5.2.1. Analizar la exposición por localización en términos de condiciones físico y naturales de la ciudad de Talagante que tienen relación con los determinantes geológicos, geomorfológico y de suelo locales que suscitan un escenario de peligro sísmico en la región.

1.5.2.2. Analizar la exposición por elementos activos estado de las construcciones habitacionales a nivel de manzana de la ciudad de Talagante en cuanto al estado de la materialidad de las viviendas emplazadas en el área de estudio.

1.5.2.3. Evaluar la exposición a microescala de las diferencias zonales del área de estudio en cuanto al comportamiento de las construcciones habitacionales dentro la ciudad de Talagante ante la ocurrencia de un evento sísmico en la región.

CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

2.1. Exposición

Para la comprensión del riesgo se requiere tanto de los componentes físico como sociales que interactúan entre sí, de tal manera que ambos son elementos activos que inciden en la conformación del estado de riesgo. El quinto informe del IPCC (IPCC, 2014:5) comprende el riesgo como “*potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de sucesos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales sucesos o tendencias*” (CR2, 2018).

El análisis del riesgo se obtiene a partir de la evaluación de sus componentes que abarcan dichas consideraciones sociales y física de los territorios, estos componentes son la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad. Estos conceptos son definidos por IPCC (2014:5) como:

- ✓ **Peligro:** Acaecimiento potencial de un suceso o tendencia físico de origen natural o humano o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales.
- ✓ **Exposición:** La presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos ambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.
- ✓ **Vulnerabilidad:** Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación, entendidas como sensibilidad y capacidad de respuesta.

Comprendiendo estos conceptos que permiten el análisis del riesgo de una perspectiva holística de la situación, en particular el análisis del riesgo sísmico en términos de evaluación probabilística tiene como objetivo “*estimar la distribución de probabilidad de la pérdida económica que puede presentarse en un conjunto de elementos expuestos, dada la ocurrencia de un terremoto particular*” (Cardona *et al.*, 2017:51). Para el análisis de riesgo sísmico Cardona *et al.* (2017) proponen la evaluación de la amenaza como una colección de escenarios en donde cada uno tiene asociado una frecuencia de ocurrencia y una distribución probabilística de intensidades. Con ello se sustenta un primer componente físico y natural del análisis del riesgo sísmico.

En cuanto a los componentes sociales Cardona *et al.* (2017) considera la evaluación de la exposición como el conjunto de activos susceptibles de sufrir daños y

producir pérdidas influenciados por su ubicación geográfica, el valor de reposición y la clase estructural a la que pertenecen. Mientras que la vulnerabilidad se expresa como las características intrínsecas de los elementos expuestos definidas mediante curvas de vulnerabilidad que relacionan la probabilidad de pérdida con la intensidad.

El presente trabajo de investigación pretende analizar el componente exposición dentro del análisis de riesgo sísmico, como primer abordaje de la materia. El análisis de la exposición por localización, es decir cómo se distribuyen las viviendas dentro de un área en relación con las condiciones físicas y naturales del suelo, y la exposición por elementos activos referido a la identificación de construcciones más y menos susceptibles a sufrir daños durante un sismo, permiten comprender este componente dentro del análisis de riesgo sísmico preliminar en el área, y con ello plantear una zonificación que segmenta el área de estudio en diferentes valores de exposición.

2.2. Definición del área de estudio

Para la delimitación de la ciudad de Talagante se disponían de tres fuentes de información vectorial con polígonos para el área de interés, pero delimitaban el área abarcando diferentes zonas. Las tres fuentes de información son:

- ✓ Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN) con mapas vectoriales de las áreas urbanas del territorio chileno.
- ✓ Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE) del Ministerio de Bienes Nacionales con información vectorial de las áreas urbanas consolidadas.
- ✓ Instituto Nacional de Estadística (INE) con información vectorial de las áreas censales del Censo 2017.

Se escogió la información vectorial dispuesta por el Instituto Nacional de Estadística (INE) el cual segmentaba la información considerando distritos y áreas censales haciendo una distinción entre áreas urbanas y localidades rurales. Además, se incluye información a nivel de manzana lo que permite la disposición de los datos del segundo objetivo específico al nivel de escala requerido para la investigación.

2.3. Procedimiento metodológico

El presente trabajo de investigación pretende generar una zonificación de la exposición de la ciudad de Talagante, frente al peligro sismo de la región derivado de la sismogénesis de subducción interplaca generadora de grandes terremotos superiores a Mw 7.5 en periodos de retorno de 83 ± 9 años (Comte *et al.*, 1986) en la zona de subducción frente a las costas de Valparaíso y que afectan a la región Metropolitana como durante los eventos de 1906 y 1985. Otros mecanismos de subducción generadores de terremotos son lo de tipo subducción interplaca de profundidad intermedia que para Chile Central tiene un periodo de recurrencia de 110 años con eventos sobre Mw 7.5

(Barrientos, 1997) que también han afectado a la región Metropolitana con anterioridad como el evento de Santiago 1945.

Para la elaboración de la zonificación se analizó la exposición considerando dos características del área de estudio (1) la exposición por localización (2) la exposición por elementos activos. En el caso de la primera se analizaron las condiciones físicas y naturales como la geología, la geomorfología, los suelos y la respuesta sísmica de las unidades principales. En el caso de la segunda se analizaron las viviendas en cuanto a su estado aceptable, recuperable e irrecuperable y en términos de la materialidad de sus paredes exteriores, techo y suelo (ver Fig. 5).

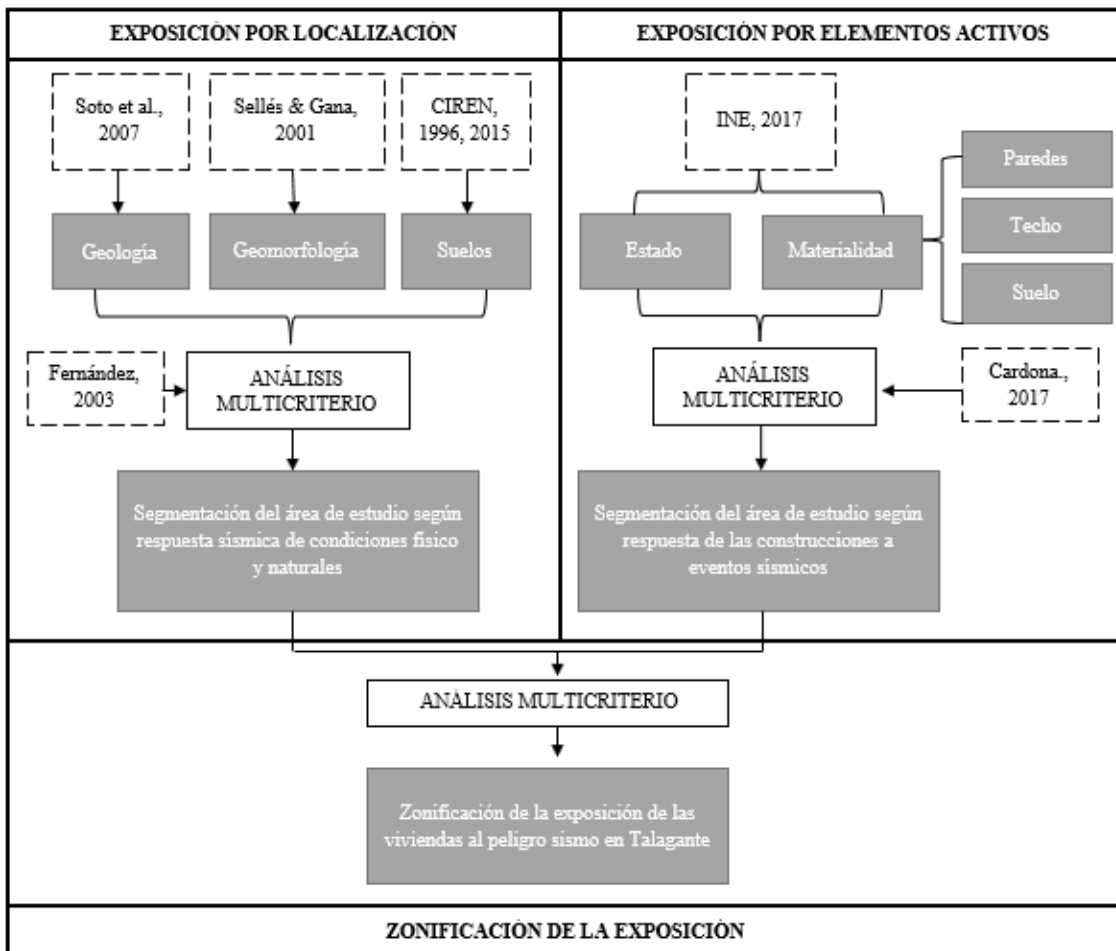


Fig. 5: Esquema metodológico general. Fuente: Elaboración propia.

La información recopilada fue trabajada en formato vectorial en el programa ArcGIS y convertida a formato raster para ser espacialmente analizada por medio de un análisis multicriterio generado por ArcMap con su herramienta superposición ponderada o *Weighted Overlay* para finalmente obtener como resultados por una parte los resultados del primer objetivo específico modelados espacialmente en una cartografía con la segmentación del área de estudio en función de la respuesta sísmica de las unidades consideradas, y como segunda parte los resultados del segundo objetivo específico modelados en una cartografía de segmentación del área de estudio según la respuesta de las viviendas ante un evento sísmico en la región.

La zonificación resultante se obtuvo a partir del raster de exposición por localización y del raster de exposición por elementos activos elaborados con anterioridad. A través de la herramienta de análisis espacial Algebra de Mapas o *Map Algebra* de ArcGIS se multiplicaron las capas con la calculadora raster, obteniendo como resultado una zonificación microescala a nivel de manzana de la exposición en niveles de alto, regular y bajo de las viviendas en la ciudad de Talagante ante un eventual sismo de gran intensidad.

2.4. Exposición por localización

Para el análisis de la exposición por localización de las viviendas en la ciudad de Talagante se procedió metodológicamente a partir del esquema resumen de la Fig. 6 (ver Fig. 6). En este se exponen los elementos utilizados con sus respectivas fuentes que aportan la información pertinente para la comprensión de las condiciones físicas y naturales del área de estudio, para luego trabajar la información recopilada en el software de modelamiento espacial ArcMap de ArcGIS a través de un análisis multicriterio por superposición ponderada de raster o *Weighted Overlay* y finalmente obteniendo como resultado una cartografía de exposición por localización.

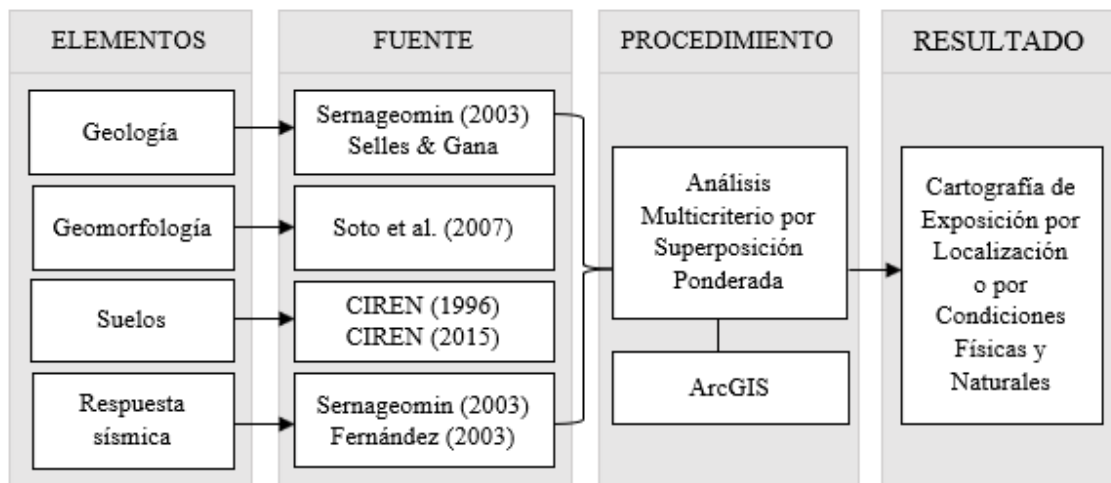


Fig. 6: Proceso metodológico primer objetivo específico. Fuente: elaboración propia.

La información geológica se obtuvo a partir de la carta geológica nacional de SERNAGEOMIN (2003), la cual para el área de estudio se basó en la carta geológica de Sellés & Gana (2001) de la serie geológica de Talagante – San Francisco de Mostazal, en tanto que para la información geomorfológica se ocupó el material cartográfico de la carta realizada por Soto *et al.* (2007) de la sección central y occidental de la cuenca de Santiago en la región Metropolitana, que a su vez está basado en la taxonomía geomorfológica realizada por Araya-Vergara (1985, 1988, 1996) como base conceptual para el análisis de ambientes de montaña y fondo de valle.

Los datos de suelo se obtuvieron de la información vectorial de CIREN (2015) sobre Clases de Capacidad de Usos de Suelos (CCUS) del estudio agrológico de la región Metropolitana, complementada con la serie de suelos Lonquén del estudio agrológico de

CIREN (1996). Esta es la información de suelos que se pudo acceder a través de la biblioteca digital de CIREN dentro de sus archivos de libre uso, sin embargo, para un análisis más exhaustivo del suelo en el área implica un manejo de información con más alcance de detalles. Finalmente, la respuesta sísmica se obtuvo de la cartografía de SERNAGEOMIN (2003) elaborada por Fernández (2003) para el sector occidental de la cuenca de Santiago y extendida por Von Igel *et al.* (2004) al resto de la región Metropolitana, que en base a las curvas de nivel trabajadas por Menéndez (1992) se establece una respuesta sísmica de las unidades geológicas en relación con el sismo interplaca de Valparaíso de 1985.

Para el procesamiento de los datos estos se trabajaron en el programa ArcGIS con la herramienta de análisis espacial de superposición ponderada. Para el respectivo análisis multicriterio la información vectorial recogida de las diferentes fuentes fue recortada al área de interés y posteriormente convertida en formato raster para ser reclasificada en valores de bajo, regular y alta exposición. Los criterios para la reclasificación son expuestos en la Tabla 4 (ver Tabla 4), donde se muestran las capas utilizadas, las unidades presentes en el área de estudio y los valores asignados según los determinantes de respuesta sísmica expuestos por SERNAGEOMIN (2003).

	BAJA EXPOSICIÓN	REGULAR EXPOSICIÓN	ALTA EXPOSICIÓN
GEOLOGÍA	Secuencias sedimentarias intruidas por rocas plutónicas (Kia2) (Ki2m) y posteriores intrusiones dioríticas y andesíticas (Ksg) (Ksh)	Secuencias sedimentarias (Q1) de depósitos aluviales del río Mapocho	Secuencias sedimentarias (Qf) de depósitos fluviales adosados al río Maipo
GEOMORFOLOGÍA	Sistema de vertientes de afloramientos rocosos en rocas graníticas y rocas volcánicas	Formas de acumulación, formas de glaciares, formas palustres y terrazas fluvial pleistocénica	Formas de terrazas fluvial holocénicas
SUELOS	Suelos profundos con texturas de finas a gruesas. CCUS: Clases I y II	Suelos poco profundos con pedregosidad excesiva. CCUS: Clases III y IV	Suelos poco profundos o con mal drenaje. CCUS: Clases V, VI, VII, VIII
RESPUESTA SÍSMICA	Roca (A). Sustratos de roca sólida	Depósitos de abanicos aluviales (B) (C). Rellenos profundos de matriz franco-arenosa	Depósitos fluviales recientes (D) (E). Rellenos poco profundos de matriz limo-arcillo-arenosa

Tabla 4: Capas, unidades y valores asignados para el análisis multicriterio del primer objetivo específico. Fuente: elaboración propia en base a SERNAGEOMIN (2003).

La cartografía resultante expone una primera zonificación del área urbana de Talagante a una escala 1:20.000 donde se han superpuesto las capas con las variables físicas y naturales analizadas. Esta primera información corresponde a la exposición por localización que muestra las zonas dentro del área con niveles altos, regulares y bajos en términos de la respuesta sísmica del suelo frente a un eventual sismo mayor a Mw 7.5 esperado para la región, de similares características que el ocurrido en Valparaíso en 1985.

2.5. Exposición por elementos activos

El análisis de los elementos activos que proporcionan información sobre la condición de exposición de las viviendas emplazadas en el área de estudio consistió en primera instancia en la identificación de las características que presentan las viviendas según los datos proporcionados por INE recogidos en el Censo (2017). Estos datos se centran en los tipos de paredes, techo y suelo de las viviendas, además de una observación general del estado de ésta. Una vez recopilada la información se procedió a reclasificarlos según el análisis de exposición de la materialidad de las construcciones planteado por Cardona *et al.* (2017). Luego se proyectó la información en el programa de modelamiento espacial ArcGIS con el fin de realizar un análisis multicriterio por superposición ponderada y así obtener como resultado la cartografía de exposición por elementos activos (ver Fig. 7).

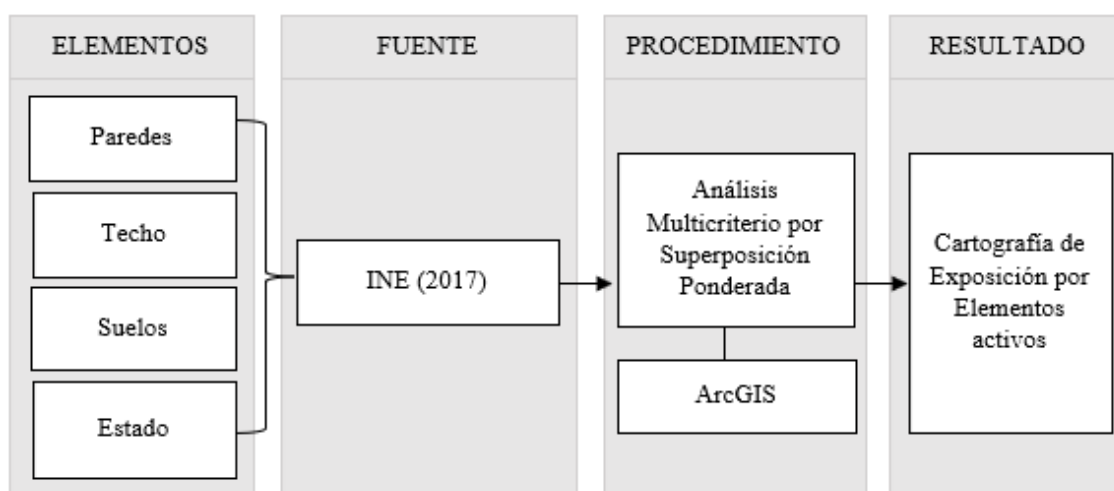


Fig. 7: Esquema metodológico segundo objetivo específico. Fuente: elaboración propia.

Para analizar la respuesta de las viviendas frente a un sismo se utilizó la información proporcionada por Cardona *et al.* (2017) en su investigación sobre riesgo sísmica en el cono sur de Sudamérica precisamente en la ciudad de Mendoza. Dentro de su planeamiento metodológico evalúa el comportamiento de las construcciones según tipo de materialidad y su respuesta en termino de daños frente a la intensidad de un sismo. De ello se desprende que construcciones de pórticos de concreto, de madera o de chapa de metal o fibrocemento son más resistentes a los daños, mientras que las construcciones no tecnificadas o de adobe presentan una alta exposición debido a su alta probabilidad de sufrir daños o colapsos ante un evento de gran magnitud (ver Tabla 5).

	BAJA	REGULAR	ALTA
MATERIALIDAD	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pórticos de concreto ✓ Madera ✓ Chapa de metal o fibrocemento 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mampostería confinada ✓ Mampostería reforzada 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No tecnificado ✓ Adobe

Tabla 5: Exposición según materialidad de viviendas. Fuente: Cardona *et al.* (2017).

La información sobre la susceptibilidad de la materialidad de construcción de las viviendas ha sido clasificada en base al gráfico elaborado por Cardona *et al.* (2017) donde se muestra la función de vulnerabilidad física de los elementos expuestos que indica la distribución de probabilidad de pérdida en relación con la intensidad producida durante un escenario específico (ver Fig. 8). Como se aprecia en la Fig. 8 cada tipo constructivo, principalmente lo asociado con la materialidad de las paredes exteriores de las viviendas, se relaciona con una función de vulnerabilidad respectiva. En el caso de materialidades como adobe y mampostería confinada presentan una alta susceptibilidad a sufrir daños a poca intensidad, mientras que la madera, fibrocemento y pórticos de concreto presentan valores más resistentes a los movimientos provocados por un evento sísmico.

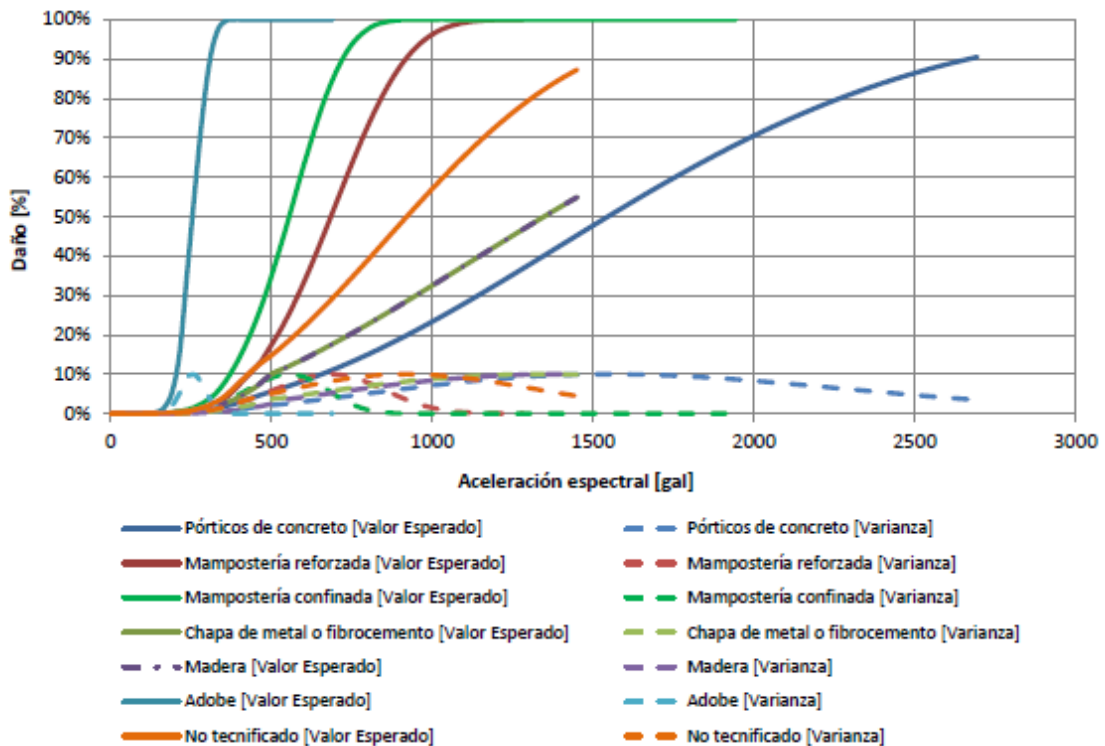


Fig. 8: Susceptibilidad de materiales de construcción frente al movimiento provocado por un sismo. Fuente: Cardona *et al.* (2017)

Los datos que se han utilizado han sido obtenidos de la base de datos dispuesta por el INE del Censo 2017, específicamente se han seleccionado los datos relacionados a las viviendas por manzanas de área censal urbana sobre tipo de paredes exteriores, techo,

suelo de la vivienda y estado que presentan las construcciones. Esta información fue clasificada según la evaluación realizada por Cardona *et al.* (2017) reasignando valores de alta, regular y baja exposición como se muestra en la Tabla 6, con el fin de modelar un análisis espacial de las construcciones en el área de estudio (ver Tabla 6).

	BAJA	REGULAR	ALTA
PAREDES EXTERIORES	<ul style="list-style-type: none"> - Materialidad en las paredes exteriores con hormigón armado - Materialidad en las paredes exteriores con tabique forrado por ambas caras (madera o acero) 	<ul style="list-style-type: none"> - Materialidad en las paredes exteriores con albañilería: bloque de cemento, piedra o ladrillo - Materialidad en las paredes exteriores con tabique sin forro interior (madera u otro) 	<ul style="list-style-type: none"> - Materialidad en las paredes exteriores de adobe, barro, quincha, pirca u otro artesanal tradicional - Materialidad en las paredes exteriores con materiales precarios (lata, cartón, plástico, etc.)
CUBIERTA DE TECHO	<ul style="list-style-type: none"> - Materialidad en la cubierta del techo con tejas o tejuelas de arcilla, metálicas, de cemento, de madera, asfálticas o plásticas - Materialidad en la cubierta del techo de planchas metálicas de zinc, cobre, etc. o fibrocemento (tipo pizarreño) - Materialidad en la cubierta del techo de fonolita o plancha de fieltro embreado 	<ul style="list-style-type: none"> - Materialidad en la cubierta del techo de losa hormigón 	<ul style="list-style-type: none"> - Materialidad en la cubierta del techo sin cubierta sólida del techo - Materialidad en la cubierta del techo de materiales precarios (lata, cartón, plástico, etc.) - Materialidad en la cubierta del techo de paja, coirón, totora o caña
PISO	<ul style="list-style-type: none"> - Materialidad en el piso de parquet, piso flotante, cerámico, madera, alfombra, flexit, cubrepiso u otro similar; sobre radier o vigas de madera. 	<ul style="list-style-type: none"> - Materialidad en el piso de radier sin revestimiento - Materialidad en el piso de baldosa de cemento 	<ul style="list-style-type: none"> - Materialidad en el piso de capa de cemento sobre tierra - Materialidad en el piso de tierra
ESTADO	Viviendas con materialidad aceptable	Viviendas con materialidad recuperable	Viviendas con materialidad irrecuperable

Tabla 6: Capa, unidades y valores asignados para el análisis multicriterio del segundo objetivo específico. Fuente: elaboración propia en base a Cardona *et al.* (2017).

Los datos fueron seleccionados a través del programa Redatam7 según el área censal urbana correspondiente al área de estudio, han sido modelados espacialmente a nivel de microescala en el programa ArcGIS, según los polígonos de manzanas proporcionados por INE (2017). La información vectorial reclasificada fue modelada en análisis multicriterio por superposición ponderada obteniendo como resultado la cartografía de exposición por elementos activos de la ciudad de Talagante.

2.6. Zonificación de la exposición

Para el análisis de la zonificación se han multiplicado las capas elaboradas en los primeros dos objetivos específicos (ver Fig. 9). Los resultados del primer objetivo específico segmentan el área de estudio en términos de la respuesta sísmica de los suelos y las unidades geomorfológicas y geológicas que la condicionan física y naturalmente, en tanto que los resultados del segundo objetivo específico segmentan el área en cuanto a la respuesta y comportamiento de las viviendas según su materialidad de construcción frente a un movimiento sísmico.

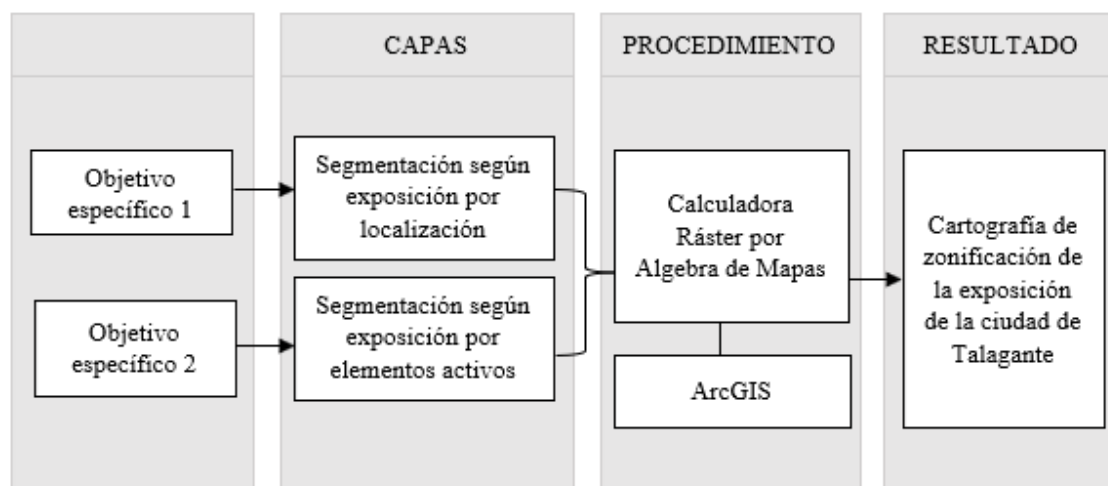


Fig. 9: Esquema metodológico tercer objetivo específico. Fuente: Elaboración propia.

Las capas respectivas de cada objetivo específicos fueron trabajadas en formato raster ya que estas fueron modeladas espacialmente con la herramienta calculadora raster de análisis espacial del programa ArcGIS multiplicando las capas y obteniendo como resultado una cartografía de la zonificación de la exposición de la ciudad de Talagante. Las unidades obtenidas están clasificadas en valores de muy alta, alta, regular, baja y muy baja exposición, definiendo en cada uno de estos niveles diferentes estados de análisis para su atención ex-ante al desastre.

Los niveles muy bajo y bajo corresponden a sectores dentro del área que no representan un peligro mayor frente a posibles movimientos sísmicos debido a la buena respuesta sísmica de los suelos y de la materialidad de construcción de las viviendas. Mientras que el nivel regular requiere de una mayor atención al estado de las construcciones ya que, si bien están emplazados en suelos con buena respuesta sísmica, la mala mantención de las viviendas emplazadas en este sector podrían representar un peligro para sus residentes.

Los niveles muy alto y alto corresponden a sectores que representan un peligro alto frente a movimientos sísmicos, ya que de acuerdo con el análisis de la exposición realizada corresponden a sectores dentro del área urbana de Talagante que presentan una mal estado de sus construcciones y/o están emplazados en suelos de mala respuesta sísmica que amplifican las ondas e implican posibles daños frente al post-desastre.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

3.1. Exposición por localización

3.1.1. Geología

Se identifican en la comuna la Cordillera de la Costa y la Depresión Intermedia como los principales y grandes dominios morfoestructurales mayores que caracterizan la geología estructural y tectónica del área de estudio (ver Fig. 10). La Cordillera de la Costa se compone de la formación Lo Prado en el llamado cerro La Campana con secuencia volcánica intruida por plutones datados en 114-104 Ma y con intercalaciones sedimentarias marinas del Cretácico inferior (Ki2m) que también están presentes al noroeste de Peñaflor y al oeste de San Vicente de Naltagua (Sellés & Gana, 2001).

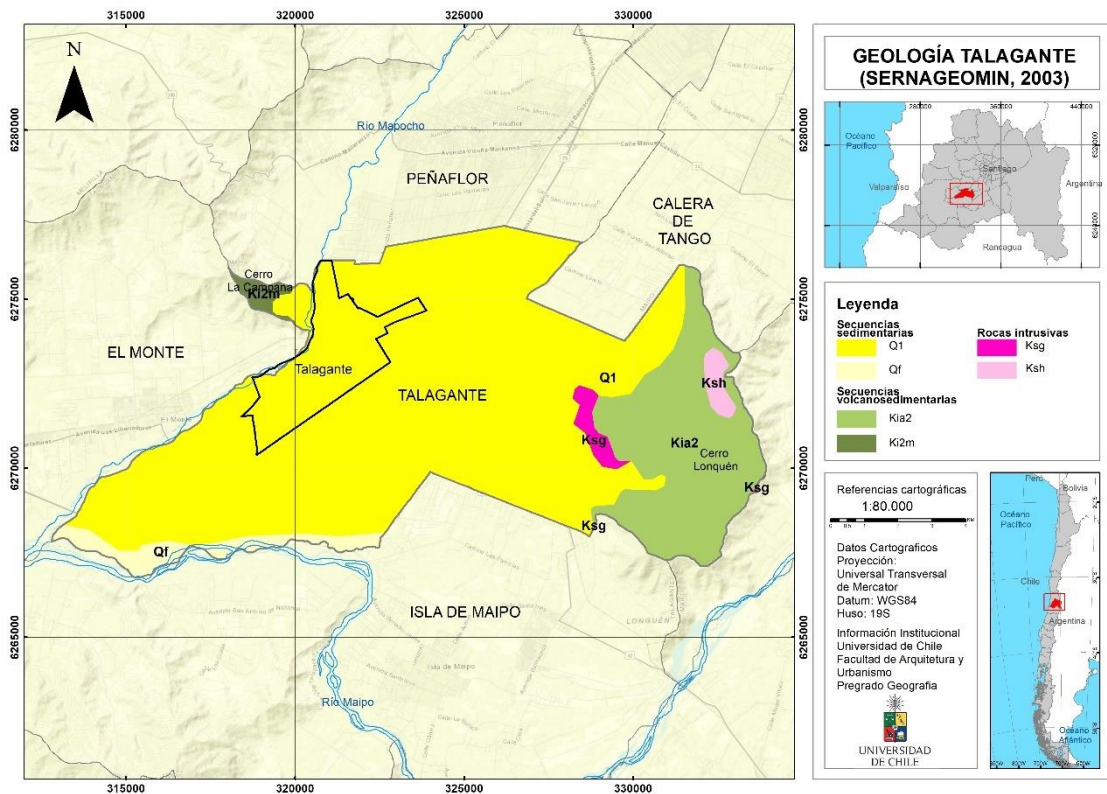


Fig. 10: Geología de la comuna de Talagante. Fuente: Sernageomin, 2003.

Además, se identifica la presencia de la formación Las Chilcas en el cerro Lonquén, correspondientes a secuencias sedimentarias y volcánicas del Cretácico superior (Kia2) intruida por rocas plutónicas de 89 y 83 Ma con posteriores intrusiones andesíticas y dioríticas durante el Cretácico superior alto (Ksh) (Ksg) (Sélles & Gana, 2001).

En el caso de la Depresión Intermedia, gran parte de la comuna de Talagante se caracteriza por una geología asociada a secuencias sedimentarias Pleistoceno-Holoceno (Q1, Qf) relacionadas con los cursos fluviales activos del río Mapocho al norte y del río Maipo al sur de la comuna. Corresponden a sedimentos pobre y moderadamente consolidados con predominio de gravas y gravas arenosas en depósitos aluviales del río

Mapocho y depósitos fluviales antiguos aterrazados entre 3 y 20 metros sobre el curso fluvial actual con cobertura de suelo bien desarrollados adosado al río Maipo (Sellés & Gana, 2001).

3.1.2. Geomorfología

En términos geomorfológicos la identificada formación Lo Prado presente en el cerro La Campana al norte de la comuna corresponde a afloramientos rocosos asociados a un sistema de vertiente modeladas en rocas graníticas con relieves de media y baja montaña, suavizados, de poca pendiente y vegetación del tipo estepa de Acacia caven (Soto *et al.*, 2007). Mientras que, en el sector oeste de la comuna, la formación Las Chilcas presente en el cerro Lonquén se asocia a un sistema de vertientes en rocas volcánicas en el que se distinguen también formas de glacis de tipo coluvial correspondiente a formas de base de vertientes heredadas del Cuaternario por el que actúan flujos de detritos canalizados por los talwegs preexistentes (Soto *et al.*, 2007) (ver Fig. 11).

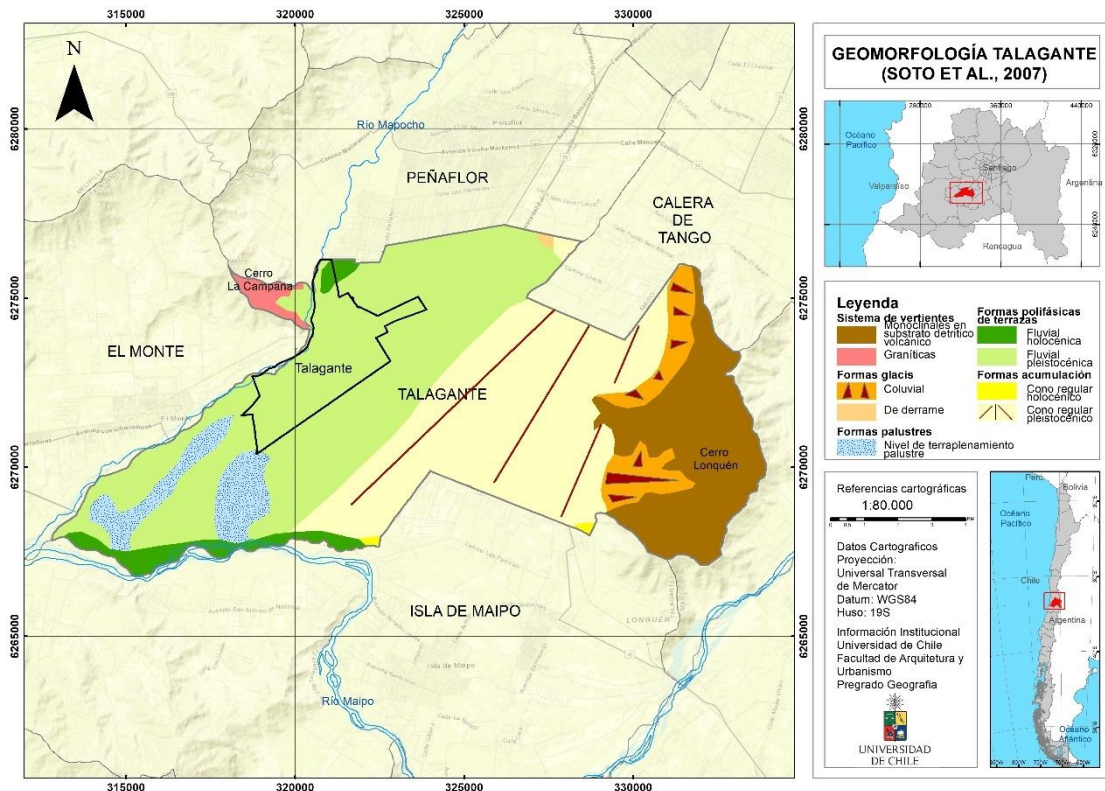


Fig. 11: Geomorfología de la comuna de Talagante. Fuente: Carta Geomorfológica Soto *et al.*, 2007.

En la unidad morfoestructural identificada como Depresión Intermedia se reconocen formas de acumulación, formas palustres y formas polifásicas de terrazas. En la primera, un cono regular pleistocénico de baja pendiente se distingue en el sector central de la comuna que está asociado a procesos deposicionales de las cuencas montañosas de los ríos Maipo y Mapocho (Soto *et al.*, 2007). En el segundo, hacia el

sector suroeste de la comuna se distinguen formas palustres con dinámicas de terraplenamiento.

El tercero, en el sector noroeste de la comuna se distinguen formas polifásicas de terrazas donde se identifican cuatro niveles de terrazas de dos periodos diferentes. Los dos niveles más bajos corresponden a terrazas fluviales holocénicas con rodados frescos, sin suelo y una condición de inundación estacional en T° y episódica en T'. Los dos siguientes niveles corresponden a T1 y T2 definidas como niveles de terrazas aluvial pleistocénicas (Soto *et al.*, 2007). En estas últimas se emplaza el área de estudio de esta investigación.

3.1.3. Suelos

En términos generales, en la comuna de Talagante se distingue un suelo Mollisol derivados de sedimentos aluviales mezclados, moderadamente planos y de profundidad entre los 60 a 80 cm que se presentan ocupando terrazas aluviales antiguas del río Mapocho. El sector de Talagante-Peñaflor, según la serie Lonquén, la clasificación textural corresponde al tipo franco arenosa fina descrita en el estudio agrológico de CIREN (1996). Sin embargo, a continuación, se presenta la información con mayor detalle a partir de los datos de CCUS de CIREN (2005) (ver Fig. 12).

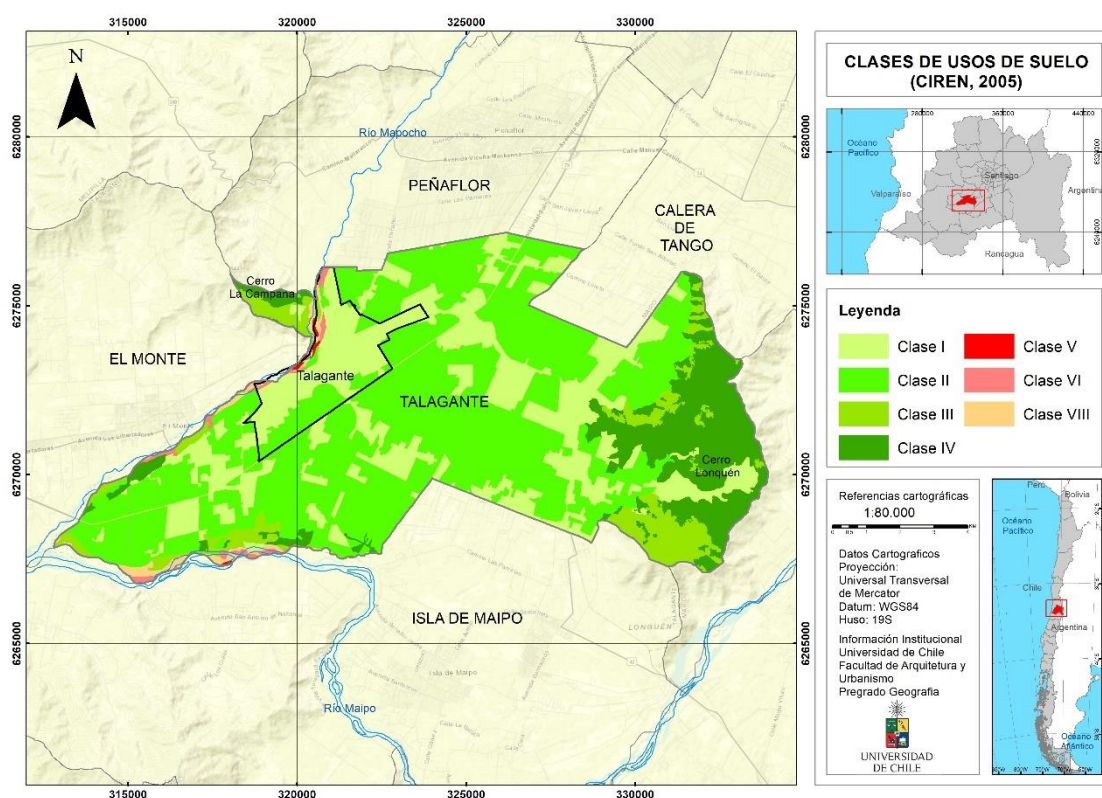


Fig. 12: Capacidad de usos del suelo de la comuna de Talagante. Fuente: CIREN, 2005.

Asociada con las formas de vertientes graníticas de la formación Lo Prado en el cerro La Campana y las vertientes monoclinales en substrato detrítico volcánico en la formación Las Chilcas en el cerro Lonquén se identifican suelos de clase III y IV según la clasificación de Clase de Capacidad Uso de Suelos (CCUS) de CIREN (ver Fig. 12).

Mientras que asociado con los niveles de terrazas fluviales holocénicas de los ríos Maipo y Mapocho se identifican suelos de clase V, VI y VIII. Estos suelos se caracterizan por presentar limitaciones variadas de severas a muy severas para su uso agrícola ya que presentan condiciones inadecuadas para los cultivos en el caso de clase V, VI y VII y sin valor agrícola, ganadero o forestal en clase VIII (CIREN, 2015).

A pesar de aquello, gran parte de la comuna presenta clases de suelo aptas para el cultivo desde clase I a IV, principalmente clases I y II que se caracterizan por poseer pocas limitaciones agrícolas a diferencia de III y IV que requieren de una adecuada elección del cultivo y prácticas especiales de conservación (CIREN, 2015). Estas en general corresponden a suelos moderadamente inclinados y profundos, de textura medias para la clase I y II y finas a gruesas para la clase III y IV, con niveles de drenaje, erosión y de pedregosidad en el perfil de ligera a moderada respectivamente.

3.1.4. Respuesta sísmica

Las vibraciones provocadas por un sismo de gran magnitud se experimentan de un mismo grado aproximadamente en un radio de 20 y 50 km desde epicentro, pero estas seguirán propagándose e irán interactuando con el medio causando destrucción según diversos factores como la intensidad, la duración de las vibraciones, la naturaleza del material sobre el que descansan las estructuras y el diseño de las estructuras (Tarbuck & Lutgens, 2005:325). El suelo es uno de los principales factores en la amplificación de ondas sísmicas, ya que si el suelo es de sedimentos blancos o sedimentos no consolidados se experimentará un daño estructural mayor, que si hay suelos rocosos o sustrato de roca sólida (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Utilizando como escenario sísmico el terremoto de Valparaíso de 1985 de Mw 7.9 que afectó a gran parte de la región Metropolitana, Fernández (2003) determinó cualitativamente la respuesta sísmica de las unidades geológicas de la cuenca de Santiago, en especial del relleno sedimentario (SERNAGEOMIN, 2003).

En la comuna de Talagante, la mejor respuesta sísmica la presentan las unidades geológicas asociadas a sustratos de roca sólida del cerro La Campana y el cerro Lonquén en ellas la amplitud de onda disminuye, mientras que la respuesta de las unidades de relleno sedimentario van empeorando su respuesta sísmica en función del estado de los sedimentos.

Una buena respuesta sísmica la presentan los sedimentos asociados a los depósitos de abanicos aluviales constituidos por gravas de matriz arenosa con niveles freáticos profundos (>20 m) del sector norte de la comuna, mientras que los depósitos de abanicos aluviales del centro sur de la comuna presentan una regular respuesta sísmica al estar constituidos por gravas de matriz areno-limo-arcillosas con niveles freáticos poco profundos (<20 m) (SERNAGEOMIN, 2003).

La unidad con peor respuesta sísmica está asociada con los depósitos de cauces fluviales recientes como el de los ríos Maipo y Mapocho que delimitan la comuna hacia

el oeste, estos están compuestos por materiales sin cohesión, con granulometría variable entre ripios y limos (SERNAGEOMIN, 2003) (ver Fig. 13).

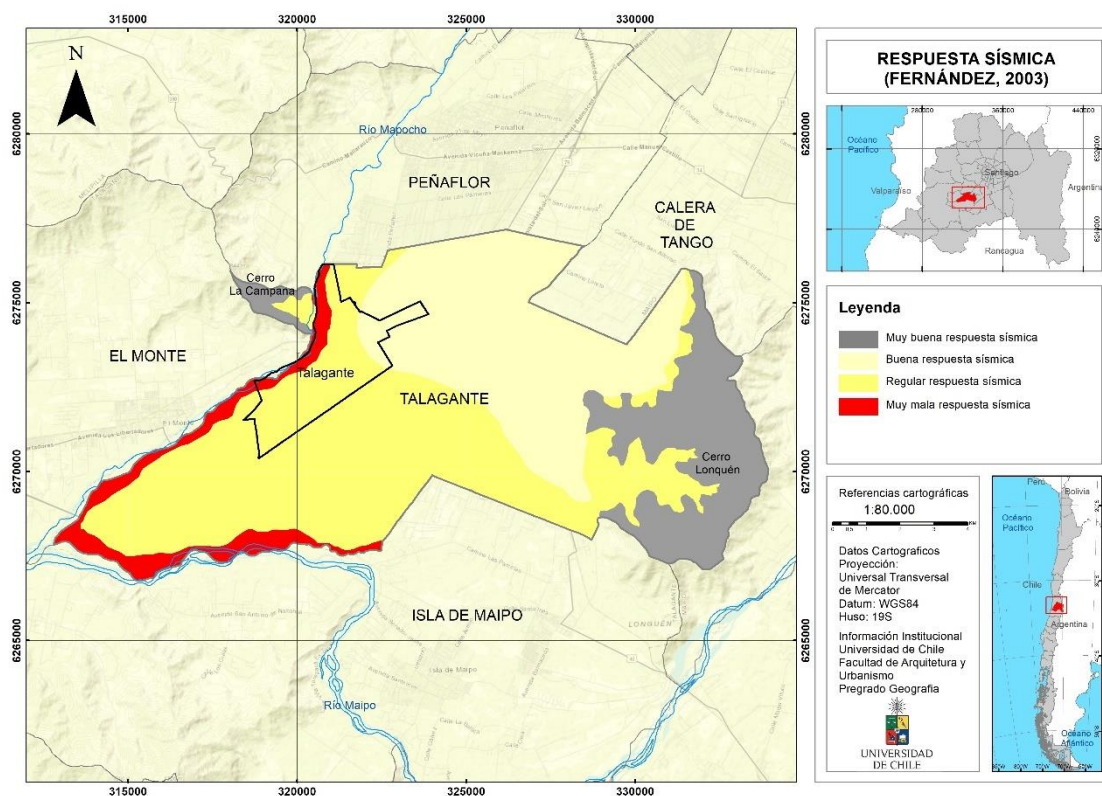


Fig. 13: Respuesta sísmica de la comuna de Talagante. Fuente: SERNAGEOMIN, 2003.

3.1.5. Exposición por localización de la ciudad de Talagante

Gran parte de la ciudad presenta niveles de exposición regulares frente al peligro sísmico en la región, debido a la respectiva respuesta sísmica que presentan las unidades geológicas, geomorfológicas y las condiciones del suelo expuestas anteriormente. La ciudad se emplaza principalmente sobre secuencias sedimentarias Pleistoceno-Holoceno relacionado con antiguos depósitos aluviales del río Mapocho, que a su vez son identificadas por Soto *et al.* (2007) como a niveles de terrazas aluvial pleistocénica (T1 y T2). La características del suelo descritas por CIREN (1996) de texturas franco arenosa fina, plana y moderadamente profunda la asocian a una respuesta sísmica regular según Fernández (2003) frente a la propagación de ondas sísmicas de un potencial evento interplaca frente a las costas de Valparaíso similar al terremoto de 1985.

El sector al oriente de la ciudad presenta una baja exposición debido a que, en relación con la identificación de Soto *et al.* (2017), corresponden a antiguos depósitos de abanico aluviales de la cuenca de Santiago. Mientras que, la zonificación realizada por Fernández (2003) los define como una zona de buena repuesta al estar constituido por gravas en matriz arenosa con niveles freáticos profundos (>20 m), lo que las condicionaría como suelos de baja amplificación de ondas sísmicas (ver Fig. 14).

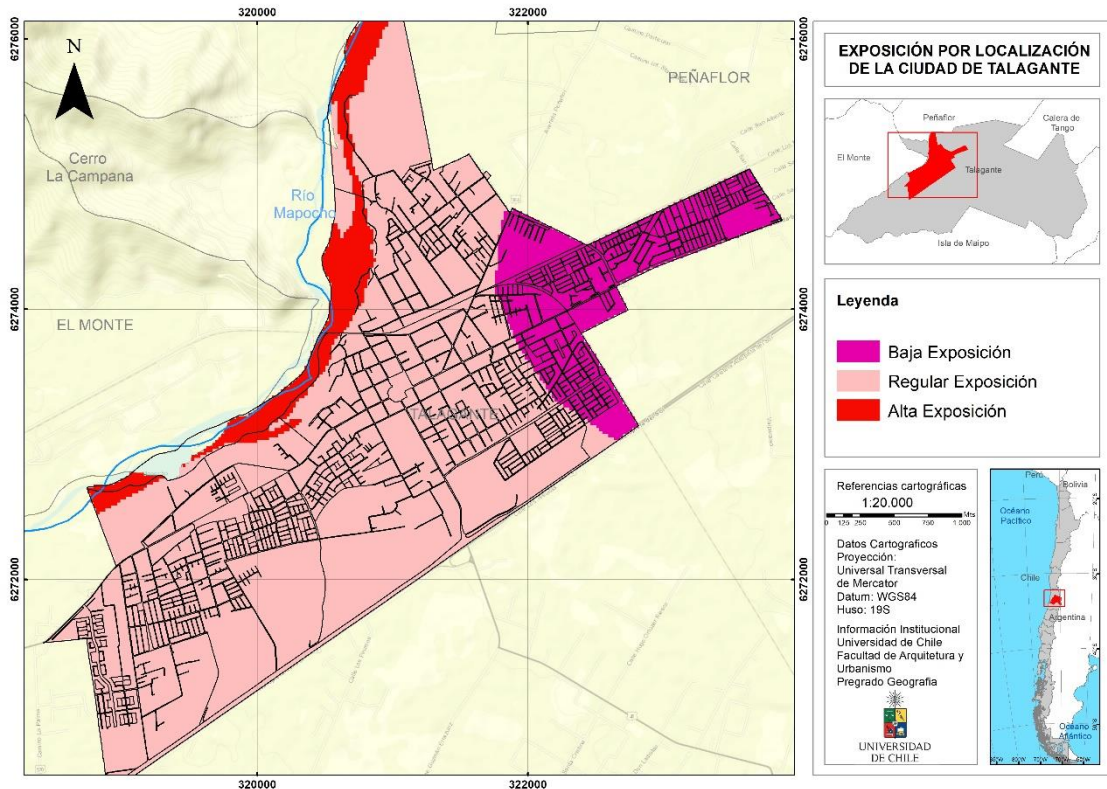


Fig. 14: Exposición por localización de la ciudad de Talagante. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, estas condiciones físico y naturales no se presentan de igual modo en el sector más próximo al río Mapocho donde se ha evaluado una situación de alta exposición frente a un evento sísmico importante (ver Fig. 14). Esta zona de la ciudad de Talagante se caracteriza por sedimentos no consolidados relacionados con cursos actuales activos del río Mapocho, lo que Soto *et al.* (2007) estableció como terrazas fluviales holocénicas de niveles bajos T° y T' con rodados frescos, sin suelo y en una condición de inundación. Estas características del suelo sin cohesión y granulometría variable de ripios a limos para Fernández (2003) son considerados de mala respuesta sísmica debido a que influye en la amplificación de ondas sísmicas.

La ciudad de Talagante tiene una situación de exposición diferenciada en tres niveles. En la cercanía al río Mapocho las construcciones del tipo habitacional se encuentran en una mayor exposición a sufrir daños durante un evento sísmico de gran magnitud ($> M_w 7.5$) por las condiciones físicas y naturales que presentan los suelos de esta zona, en comparación al resto de viviendas emplazadas en las terrazas altas del río Mapocho que presentan una mejor respuesta sísmica y una regular o baja exposición por localización.

3.2. Exposición por elementos activos

3.2.1. Materialidad

En general, la ciudad de Talagante presenta construcciones con una materialidad de buena y regular respuesta sísmica. Al ponderar los datos de las variables cubierta de techo, suelo y paredes exteriores a nivel de manzana recogidas durante el Censo 2017 se aprecia que se registraron pocas viviendas con techos y suelos de materialidad ligera susceptibles a sufrir daños durante eventos sísmicos. Sólo dos manzanas que se observan en la cartografía presentan malas respuestas sísmicas según los datos levantados en el Censo (ver Fig. 15).

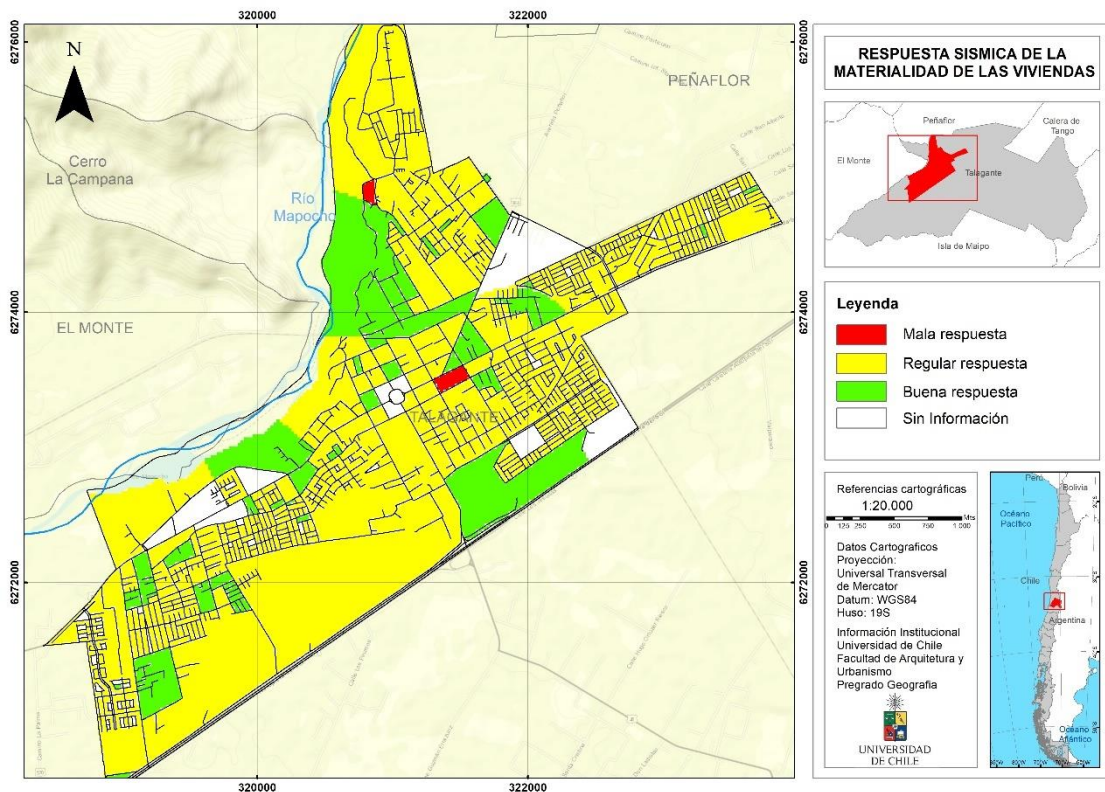


Fig. 15: Respuesta sísmica de la materialidad de las viviendas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INE, 2017.

En cuanto a las paredes exteriores, gran parte de las construcciones en la ciudad de Talagante presentan viviendas de albañilería de tipo mampostería confinada con bloques de cemento, piedra o ladrillo y de tipo mampostería reforzada lo que implica una exposición regular ante el peligro sísmico. La presencia de este tipo de vivienda se debe a que corresponden por una parte a construcciones hechas por constructoras privadas o a que son diseñadas de la mano de las políticas habitacionales de subsidios dirigidas por el Ministerio de Vivienda para responder a la demanda habitacional de la comuna.

Gran parte de la superficie estudiada corresponde a emplazamientos de extensas villas con viviendas de 1 a 2 pisos y diseñadas por inmobiliarias que prefieren el tipo de construcción de albañilería de mampostería confinada o reforzada. La presencia de este tipo de materialidad es más abundante hacia los límites del área urbana debido a la

reciente expansión de la ciudad hacia los suelos disponibles para este tipo de usos habitacional diseñado por el Plan Regulador de la comuna.



Fig. 16: Viviendas de Albañilería en villa Los Presidentes en Talagante.
Fuente: Imagen extraída de Google Earth.

Otras manzanas de la comuna presentan una baja exposición con construcciones de tipo hormigón armado o de tipo tabiquería forrados con madero y/o acero. Este tipo de construcciones se consideran más resistentes a los movimientos provocados por eventos sísmicos y por lo tanto se reconocen como poco probables de sufrir daños o colapsos. Construcciones de tipo hormigón armado se encuentra principalmente en manzanas con locales comerciales, instituciones públicas o privadas de salud y educacional y en barrios residenciales como muestra la Fig. 17 (ver Fig. 17).



Fig. 17: Viviendas de hormigón armado en barrio Alto del Sol en Talagante.
Fuente: Imagen extraída de Google Earth.

3.2.2. Estado de las construcciones

Una de las variables recogidas por el Censo 2017 para las zonas censales urbanas fue la del estado de la materialidad de las viviendas si eran aceptables, recuperables e irrecuperables. A partir de la modelación espacial de estos datos (ver Fig. 18) se observa que gran parte de la ciudad presenta una situación de construcciones aceptables y recuperables, lo que reafirma las variables analizadas sobre respuesta sísmica de la materialidad de las viviendas expuestas en el punto anterior.

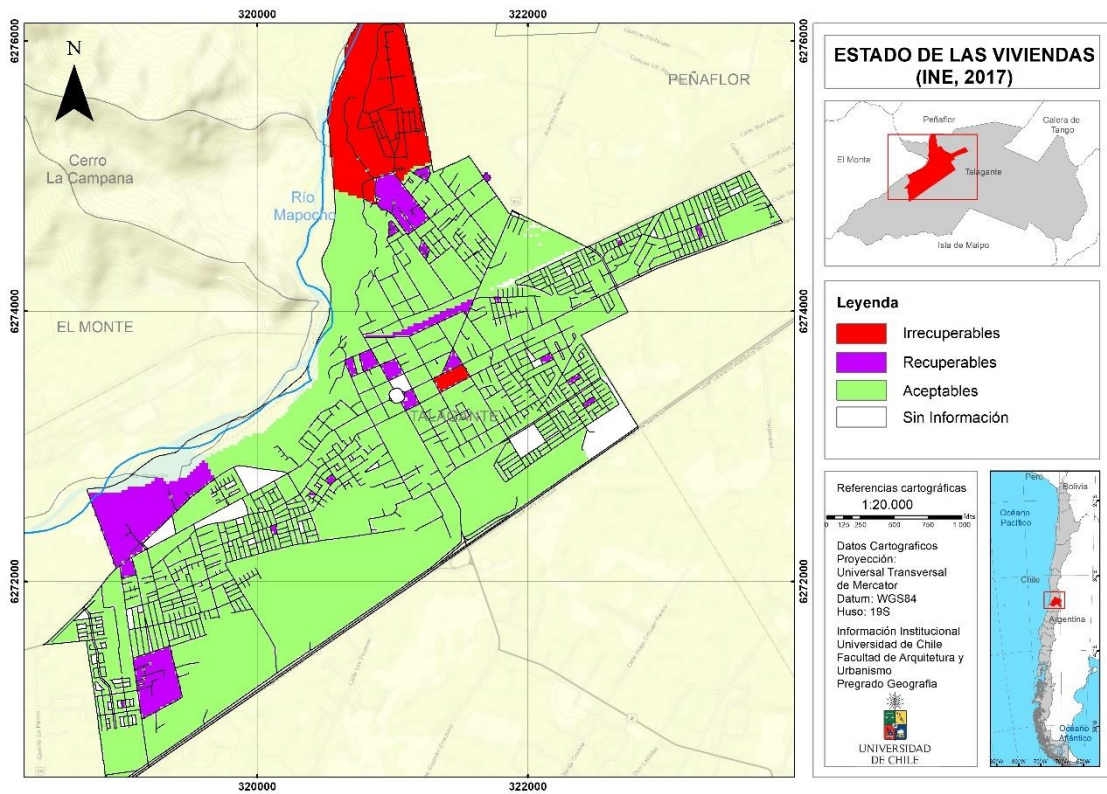


Fig. 18: Estado de las viviendas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INE, 2017.

Sin embargo, tanto en el análisis de la materialidad como en el estado de las construcciones se aprecia que una manzana en particular presenta una condición de mala respuesta y estado irrecuperable. Por medio de un análisis foto interpretativo a través de Google Earth se observa que la manzana en cuestión pertenece al sector comercial de la ciudad y que a la fecha de recogidos los datos del Censo 2017 la manzana presentaba sitios eriazos que para 2018 había sido ocupados por nuevos establecimientos comerciales. Esto explicaría que los datos de esta manzana presentan características de mala respuesta sísmica y de un estado irrecuperable, pero que ya a la fecha las nuevas construcciones levantadas en el sector tendrían otras características.

En cuanto al sector norte del área de estudio se aprecia una manzana que presenta un estado de construcciones irrecuperables al igual que con los datos de paredes exteriores recogidas por el Censo 2017 donde se consideró como una manzana con viviendas de materialidad artesanal tradicional (adobe, barro, quincha, pirca, etc.) y/o de materiales

precarios (lata, cartón, plásticos, etc.). Sin embargo, este polígono corresponde a un recinto militar (Fabricas y Maestranzas del Ejercito – FAMA E), por lo que se desconocen los motivos de presentar este tipo de materialidad en sus viviendas, aunque según la información del Censo en este polígono se emplazan 12 viviendas y habitan 18 personas.

3.2.3. Exposición por elementos activos

Se consideran elementos activos a todas aquellas viviendas que a partir de su materialidad de construcción y estado presentan un alto nivel de exposición frente a un evento sísmico importante. En la ciudad de Talagante se ha dispuesto la información a nivel de manzana y con ello se ha identificado que cada manzana presenta más de un tipo de materialidad, por lo que se ha ponderado la presencia de viviendas con un alto nivel de exposición por sobre las de nivel regular o bajo. La existencia de este tipo de construcciones en una o más cantidad en una manzana significa un posible daño o colapso de la estructura, pero también un relevante efecto en construcciones aledañas por lo que poner atención a este tipo de viviendas es de gran importancia para el análisis (ver Fig. 19).

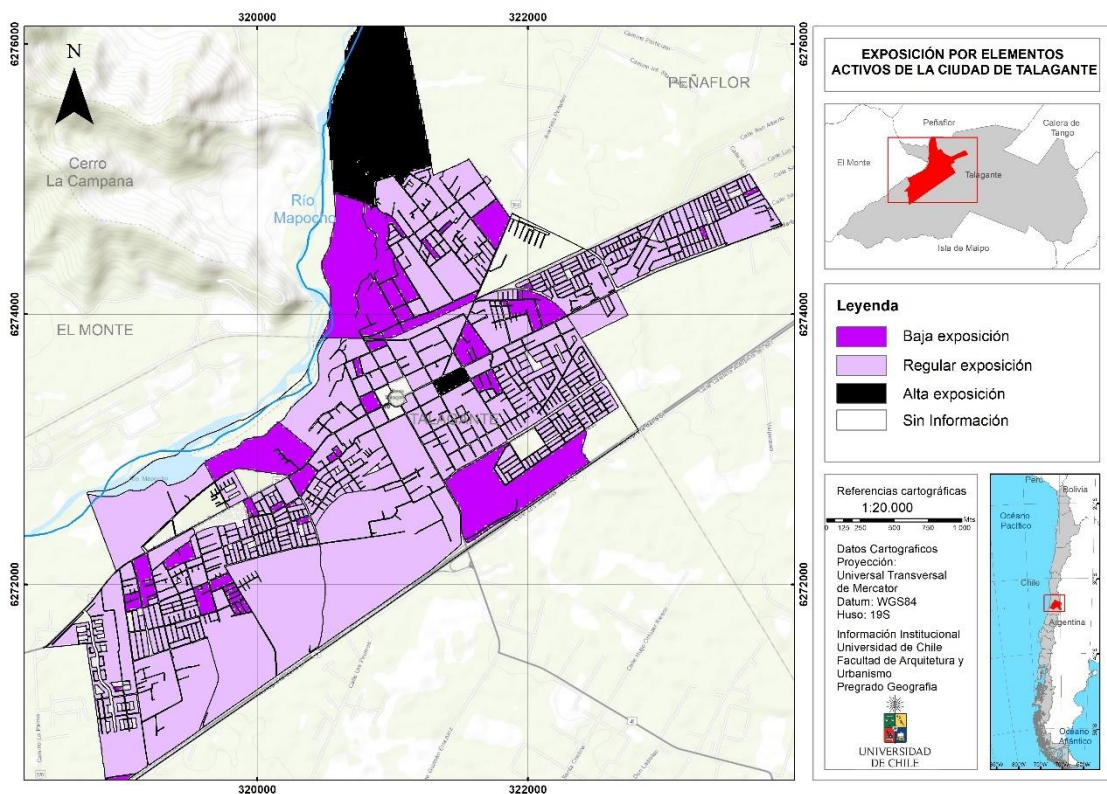


Fig. 19: Exposición por elementos activos de la ciudad de Talagante. Fuente: Elaboración propia a partir de datos INE (2017).

Excluyendo las dos manzanas mencionadas que presentan condiciones particulares, el resto del área de la ciudad de Talagante adscrita al PRMS (Plan Regular Metropolitano de Santiago) que la define como un área de uso de suelo habitacional mixto y espacio de uso público, presenta viviendas y construcciones de estado aceptable y recuperable con materialidad de buena y regular respuesta ante un evento sísmico, por lo

que para efectos de esta investigación se ha zonificado la exposición por elementos activos en niveles bajos y regulares.

3.3. Zonificación de la exposición

La información modelada espacialmente respecto a la exposición por localización asociada con el emplazamiento de las viviendas en suelos de mala respuesta sísmica y la exposición por elementos activos en términos del estado de las construcciones y su potencial alcance de sufrir daños durante un evento de gran magnitud como en el terremoto de Valparaíso de 1985 concluyen como resultado una zonificación general del área de estudio a nivel de manzana en cuanto a la exposición de las viviendas en niveles muy alto, alto, regular, bajo y muy bajo (ver Fig. 20).

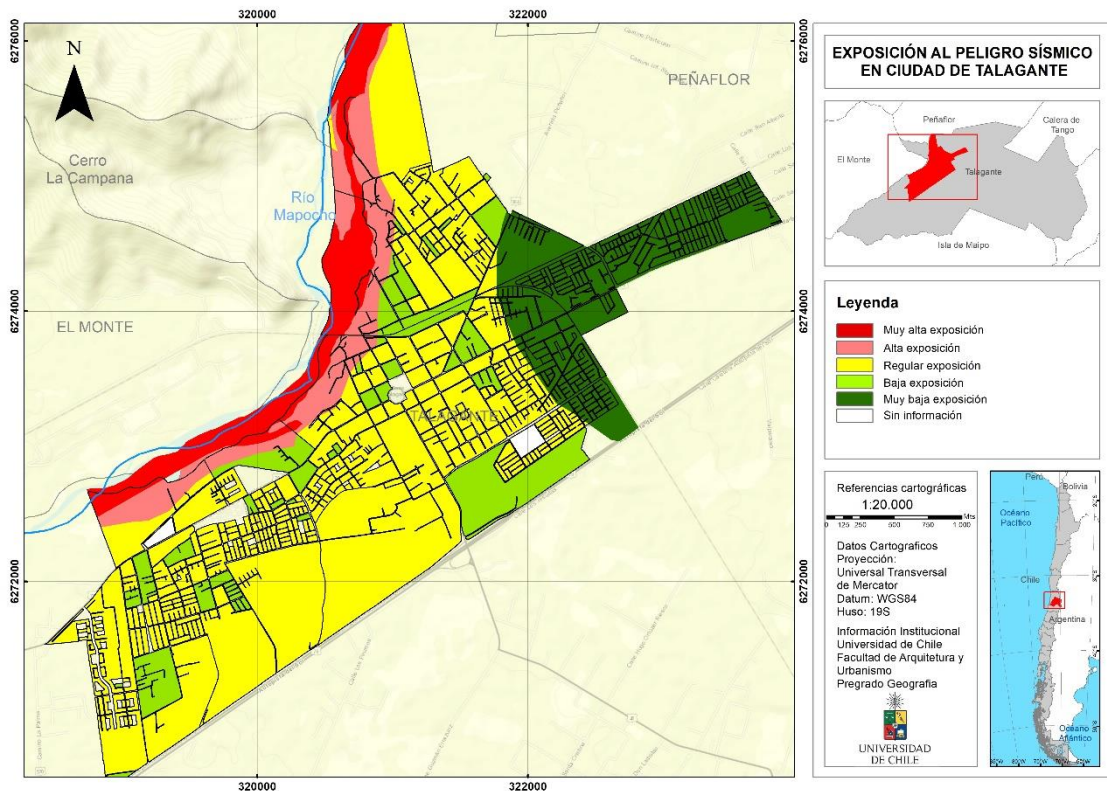


Fig. 20: Zonificación de la exposición resultante en la ciudad de Talagante. Fuente: elaboración propia.

La zonificación obtenida da cuenta de que las viviendas emplazadas en suelos de buena respuesta sísmica por sus condiciones físicas y naturales que se localizan en los niveles altos de las terrazas aluviales asociadas a la acción del río Mapocho durante el Pleistoceno-Holoceno, sumado con la construcción de viviendas que se adecuan a la regulación antisísmica del país generan zonas con niveles de exposición bajos y muy bajos para hacer frente a un terremoto.

En caso contrario, las construcciones que no consideran estos factores se encuentran altamente expuestas a sufrir daños durante un evento de gran magnitud. Para la zonificación analizada, las viviendas ubicadas en las terrazas más bajas del cauce del río Mapocho y que además presentan una materialidad precaria y un diseño no tecnificado

representan un gran interés para el análisis del riesgo porque implican una condición de mayor exposición para las personas que habitan en estos sectores de la ciudad de Talagante.

El análisis zonal del área de estudio ha resultado en la segmentación de la ciudad en 5 sectores con características y condiciones diferenciadas frente a su respectivo comportamiento ante un evento sísmico en la región, estas son:

- 1) Zona de muy baja exposición. Este sector corresponde a la parte oriente de la ciudad donde las viviendas no representan un potencial peligro para sus residentes, ya que, frente al análisis desarrollado, ni su localización o sus elementos activos están expuestos ante daños provocado por un sismo porque tanto sus suelos como las construcciones son de buena respuesta sísmica.
- 2) Zona de baja exposición. Este sector corresponde a determinadas manzanas del área de buena respuesta sísmica que debido al tipo de construcciones altamente resistentes ante movimientos sísmicos disminuye sus niveles de exposición.
- 3) Zona de regular exposición. Este sector corresponde a las manzanas que emplazadas en suelos de buena respuesta sísmica presentan construcciones medianamente resistentes ante movimientos sísmicos posicionándolas en términos medios frente a los otros niveles revisados.
- 4) Zona de alta exposición. Asociados con los niveles de terrazas altos del río Mapocho los suelos de este sector son de mala respuesta sísmica según lo descrito por Fernández (2003). La amplificación de ondas sísmicas influenciada por el tipo de suelo representan una exposición alta para las viviendas emplazadas en el sector. La localización de viviendas en esta zona de alta exposición implica una atención al estado y mantenimiento de las estructuras y materialidad para reducir los daños acumulados históricos y eventuales colapsos.
- 5) Zona de muy alta exposición. Dentro de las variables analizadas, las condiciones físicas y naturales asociado con las características geomorfológicas y de suelo identifican que los niveles bajos de terrazas del río Mapocho y los suelos de material sedimentario no consolidado de mala respuesta sísmica representan una condición de muy alta exposición. De localizarse viviendas en este sector del área estudiada representaría un interés mayor para el diseño estructural y materialidad antisísmicas de las construcciones.

Se desprende de los resultados obtenidos que las zonas con muy alta y alta exposición sísmica están asociadas con la exposición por localizados de las viviendas principalmente en suelos de mala respuesta sísmica evaluados con las variables físicas y naturales, mientras que las zonas de una exposición regular y baja se asocia más a la exposición por elementos activos evaluados a través de las variables de materialidad y estado de las viviendas.

CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Discusión

A partir del análisis espacial de la exposición de las viviendas en la ciudad de Talagante, se ha evidenciado que los suelos más cercanos a la ribera del río Mapocho se encuentran altamente expuestos a una mala respuesta sísmica en caso de ocurrir un evento sísmico de alta intensidad en la región. Las viviendas emplazadas en las terrazas aluviales T1 y T2 estarían ventajosamente más protegidas que las terrazas fluviales T° y T' que presentan una mala respuesta sísmica debido a que la constituyen suelos de sedimentos no consolidados.

El 17 de junio de 1986 y el 16 de julio de 1987 los niveles bajos de las terrazas fluviales fueron afectadas por los aumentos del caudal del río Mapocho influenciada por las intensas lluvias que se registraban como las más altas en 30 años (Ferrando, 2000). Este registro evidencia que T° y T' no sólo representan una alta exposición al peligro sísmico, sino que también a otras amenazas como las crecidas del río, lo que las condiciona como un sector del área urbana de Talagante de gran importancia para el análisis del riesgo en la comuna.

El Plan Regulador de la comuna de Talagante denomina a este sector como Parque Talagante – Río Mapocho legitimando el alto riesgo que representa por las crecidas del río y por las modificaciones del cauce, por lo que dispone de su uso como área verde y espacio público, equipamiento de deporte, culto, cultura, esparcimiento y recreación al aire libre, comercio complementario a los equipamientos permitidos, junto con un porcentaje máximo de ocupación de suelo del 3%, y un coeficiente máximo de constructibilidad de 0,06 (Plan Regulador Talagante, 2022).

Sin embargo, a pesar de la alta exposición de este sector a peligros asociados con sismos en la región e intensas lluvias y a su limitado tipo de uso de suelo permitido que excluye lo habitacional, en los niveles de terrazas más bajas se localizan el campamento Ribera del Río al norte y el campamento Almirante Latorre al sur, ambos asentamientos informales de paulatina expansión durante los últimos años (Echeverría, 2019).

La ocupación de la ribera del río Mapocho en la sección por Talagante a comienzos del siglo XX se atribuye al uso del río como balneario y como espacio de esparcimiento hasta mediados de siglo. Posteriormente comenzaron a localizarse asentamientos informales que periódicamente fueron afectadas por crecidas del río como las de 1986, 1987 y 2002 (Echeverría, 2019). Sin embargo, los asentamientos informales continuaron ocupando la ribera del río expandiéndose paulatinamente ya que para el 2009 había alrededor de 25 familias, mientras que en 2015 se registraron unas 65. Hacia el año 2018, más de 100 familias habitaban el campamento, lo que significa un crecimiento de casi 80 viviendas en un rango de diez años (Echeverría, 2019).

Estos antecedentes dentro del área de estudio, específicamente en el sector identificado como de muy alta exposición ante el peligro sísmico reconocido en esta investigación como los niveles bajos de las terrazas fluviales del río Mapocho de suelos

sedimentarios poco consolidados, dan cuenta de la importancia del análisis del riesgo dentro del campo de la geografía. La presente investigación aborda principalmente el análisis del componente exposición como elemento preliminar, ya que el riesgo también contempla la identificación de la amenaza y de la vulnerabilidad como componentes holísticos para la evaluación del riesgo.

Como parte de la metodología propuesta por Cardona (2017) en la zonificación del riesgo sísmico en el cono sur de Sudamérica, donde propone el procedimiento para la identificación de la amenaza, exposición y vulnerabilidad y el respectivo modelamiento espacial para segmentar un área en zonas más y menos riesgosas, es que la presente investigación se centra en analizar la exposición en términos de exposición por localización y por elementos activos.

El uso de esta metodología ha permitido descomponer el concepto de exposición en elementos de análisis a mayor detalle entendiendo sus particularidades como lo son las condiciones físicas y naturales propias del área y los elementos activos asociados con las construcciones y sus susceptibilidades a sufrir daños, en este caso considerando como construcciones solo a las viviendas emplazadas en el área y excluyendo otro tipo de construcciones como infraestructuras viales o construcciones industriales.

Este procedimiento metodológico ha permitido analizar la exposición como componente complejo dentro del análisis del riesgo entendiéndolo separado del resto de componentes y modelándolo espacialmente a través de una zonificación del área. Sin embargo, esta comprensión preliminar requiere del análisis de los otros componentes, amenaza y vulnerabilidad, para la evaluación detallada del riesgo sísmico, ya que la situación de riesgo es una mirada holística e interdisciplinar de los diversos elementos que confluyen en su comprensión.

La zonificación se ha presentado en diversas cartografías concluyendo con una cartografía final que recoge la información de las variables identificadas y entregando una segmentación de la exposición en niveles desde muy alto a muy bajo. Esto ha permitido reconocer dentro del área de estudio la presencia de zonas que sí están altamente expuestas al peligro sísmico y que por las condiciones tanto del suelo como de la materialidad de sus construcciones difieren al resto de zonas que presentan una exposición más baja. Esta segmentación del área es posible a raíz de la metodología utilizada que permite entender el área en cuanto a sus diferenciadas características analizadas a una escala de gran detalle como la utilizada microescala de 1:20.000.

El principal resultado obtenido ha sido reconocer la alta exposición que presenta la zona de la ribera del río Mapocho, donde se localizan viviendas en los niveles bajos de las terrazas fluviales. Esta zona presenta suelos con mala respuesta sísmica ya que propagan y amplifican las ondas sísmicas lo que en una condición de acumulación hace susceptibles las viviendas a sufrir daños en sus estructuras. Esta situación se acrecienta aún más si la materialidad y el estado de las construcciones no es el óptimo y adecuado en una región sísmica, como es el caso de la región en estudio ya que presenta una alta e

intensa actividad sísmica condicionada por sismogénesis interplaca en la zona de contacto frente a las costas de Valparaíso.

El análisis del riesgo sísmico requiere de una mirada holística e interdisciplinar para la identificación de la amenaza, exposición y la vulnerabilidad, por lo que la zonificación desarrollada en la presente investigación debe complementarse con la evaluación del resto de componentes del riesgo y así comprender la situación sísmica del área a profundidad.

La amenaza sísmica identificada se extrajo de los estudios de riesgo y sismicidad elaborado por diversos autores a nivel nacional y regional que evalúan y describen en términos generales el comportamiento de las diferentes unidades geológicas, geomorfológicas y de suelo de la región, por lo que generar un análisis particular de la amenaza sísmica en la ciudad de Talagante aportaría mayor comprensión y mayor detalle del área de estudio.

La escala utilizada de 1:20.000 requiere de un gran nivel de detalle de la información por lo que se debe acceder a datos de mayor precisión para el modelamiento espacial de la ciudad de Talagante. Los datos utilizados disponibles en INE (2017) y recogidos en el Censo 2017 no se encuentran a un nivel de detalle de viviendas unitarias, sino que solo a nivel de manzana, y entendiendo que una manzana está compuesta por varias viviendas el análisis por cada una de ellas aportaría más información en el reconocimiento de particularidades.

Por último, se ha identificado que la variable suelo es la que aporta mayor comprensión en el análisis de la exposición en términos de la respuesta sísmica, por lo que acceder al levantamiento de información sobre las diferentes clases texturales presentes en el área, pedregosidad, profundidad y niveles freáticos permitiría segmentar el área con mayor precisión. En la presente investigación se ha considerado la CCUS del estudio agrologico de CIREN (2015) ya que es la información de libre disposición a la que se pudo acceder.

4.2. Conclusiones

El presente trabajo de investigación aporta una zonificación micro escalar a nivel de manzanas de la ciudad de Talagante sobre la exposición de las construcciones habitacionales frente a la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud en la región. La preocupación por los efectos de un sismo sobre las viviendas radica en la alta e intensa actividad sísmica presente en el país, especialmente en la sección de Chile Central, ya que la propagación de las ondas sísmicas expone a las ciudades emplazadas en la región, como en el caso de la ciudad de Talagante localizado a 35 km de Santiago y a 94 km de Valparaíso.

La condición de peligro ante la ocurrencia de un eventual sismo de gran magnitud en la región se relaciona con la situación de exposición en la que se encuentran las ciudades emplazadas en Chile Central. Sin embargo, a partir del análisis de variables de diversas índoles se ha podido evidenciar que el área de una ciudad se encuentra

diferenciadamente expuesta ante el peligro sísmico, como se ha analizado en el caso de la ciudad de Talagante.

El planteamiento metodológico propuesto por Cardona *et al.* (2017) en el análisis del riesgo del cono sur de Sudamérica, ha permitido profundizar en el componente exposición y comprenderlo a través de la localización y los elementos activos. En el caso del primero las condiciones físicas y naturales como la geología, geomorfología, suelo y respuesta sísmica de las principales unidades ha permitido identificar que los suelos asociados con depósitos sedimentarios recientes mal consolidados como los presentes en los niveles bajos de las terrazas fluviales del río Mapocho en Talagante representan suelos de mala respuesta sísmica y por lo tanto las viviendas emplazadas en esta zona están altamente expuestas a sufrir daños durante un evento sísmico.

Recientes asentamientos informales se han localizados desde finales de la década del 90' en la zona identificada como de alta exposición al peligro sísmico, aun cuando el plan regulador de Talagante ha definido estos suelos como de uso de área verde excluyendo su uso habitacional.

La exposición por localización identificada se acrecienta al identificar los elementos expuestos activos asociados con el estado de las construcciones y la materialidad de las viviendas que según el tipo presentan una mejor o menor respuesta sísmica a dañarse o colapsar durante eventos de gran magnitud.

Se identifican que tipos constructivos como en el adobe, barro, quincha, pirca u otro artesanal tradicional y materiales precarios como lata, cartón, plástico, etc. presentes en la ciudad de Talagante están altamente expuestos a dañarse, mientras que pórticos de concreto, madera, chapa de metal o fibrocemento son más resistentes a los movimientos de un sismo. Viviendas emplazadas en suelos de buena respuesta sísmica y que presentan materiales de construcción resistentes a los daños se localizan en la zona oriente de la ciudad de Talagante, por lo que presenta una exposición baja en contraste a la zona de la ribera del río Mapocho.

El análisis desarrollado da cuenta que el área de una ciudad se encuentra diferenciadamente expuesto y que por medio de una zonificación de la exposición considerando la localización y los elementos activos es posible comprender a un gran nivel de detalle el alcance de un evento sísmico de gran magnitud en relación con la respuesta sísmica de las unidades presentes en el área. El estado de las viviendas y su grado de exposición aportan a la evaluación de la situación ex-ante al desastre provocado por la construcción de riesgo en el país.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, A. (2002). Las mega-ciudades y las periferias expandidas. Revista EURE (Vol. XXVIII, N°85), pp. 121-149, Santiago de Chile, diciembre 2002.
- ALGERMISSEN, S., PERKINS, D. (1976). A probabilistic estimate of maximum acceleration in rock in the contiguous United States. U.S. Geological Survey Open-Fil Report, pp. 76-416.
- ALGERMISSEN, S., KAUSEL, E., HANSON, S., THENHAUS, P. (1992). Earthquake hazard in Chile. Revista Geofísica (N°37), pp. 195-218.
- ALVAREZ, M., FISCHER, T., DE LA LLERA, J., RIDELL, R. (2002). Un modelo integrado para el análisis del riesgo sísmico en edificios. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica (N°8). CD-ROM. Valparaíso.
- ANDERSON, J., TRIFUNAC, M. (1978). Uniform risk functional for characterization of strong earthquake ground motion. Bulletin of the Seismological Society of America 68 (1), pp. 205-218.
- ARÁNGUIZ, T. (2018). Evaluación historiográfica de la exposición de Santiago a la amenaza sísmica de la Falla de San Ramón y su posible relación con el terremoto del 13 de mayo de 1964. Memoria de título. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- ARAYA, P. (2007). Catálogo actualizado de intensidades sísmicas para Chile. Memoria de título. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- ARMIJO, R., RAULD, R., THIELE, R., VARGAS, G., CAMPOS, J., LACASSIN, L., KAUSEL, E. (2010). The West Andean thrust, the San Ramon fault, and the seismic hazard for Santiago, Chile. *Tectonics*.
- ASTROZA, M., MOYA, A., SANHUEZA, S. (2002). Estudio comparativo de los efectos de los terremotos de Chillán de 1939 y de Talca de 1928. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, N°8. CD-ROM. Valparaíso.
- ASTROZA, M., SANDOVAL, M., KAUSEL, E. (2005). Estudio comparativo de los efectos de los sismos chilenos de subducción del tipo interplaca de profundidad intermedia. Jornadas de sismología e ingeniería antisísmica, (N°9). CD-ROM. Concepción.
- BAHAMONDES, M., CONTRERAS, S., HURTADO, M., JORQUERA, N., VARGAS, J. (2011). La arquitectura en tierra frente al sismo: conclusiones y reflexiones tras el sismo de Chile del 27 de febrero de 2010. Revista Conserva, N°16, pp. 39-54.
- BARANZANGI, M., ISACKS B. (1976). Spatial distribution of earthquake and subduction of the Nazca plate beneath South America. Revista Geology (N°4), pp. 686-692.
- BARRIENTOS, S. (1980). Regionalización sísmica de Chile. Tesis Doctoral. Universidad de Chile. Santiago de Chile.

- BARRIENTOS, S. (1997). Central Chile: An example of quasi-static crustal behavior. *Island Arc*, 6 (3). pp. 281-287.
- BARRIENTOS, S. (2007) Earthquakes in Chile. En: Moreno, T., Gibbons, W. *The Geology of Chile*. London, Geological Society. pp. 263-287.
- BARRIENTOS, S., WARD, S. (1990). The 1960 Chile earthquake: inversion for slip distribution from surface deformation. *Geophysical Journal International*, 103 (3). pp. 589-598.
- BERNAL, G. (2014). Metodología para la modelación, calculo y calibración de parámetro de la amenaza sísmica para la evaluación probabilística del riesgo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- BIBLIOTECA NACIONAL DIGITAL (BND). (2021). Terremoto del 1 de diciembre de 1928, Talca. Memoria chilena. Biblioteca Nacional de Chile. Recuperado de <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-97866.html>
- CAHIL, T., ISACKS, B. (1992). Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. *Revista Journal of Gephysical Research* (N°97), pp. 17503-17529.
- CARDONA, O., BERNAL, G., ZULOAGA, D., SALGADO-GALVES, M., GONZALEZ, D. (2017). Amenaza y riesgo sísmico del cono sur. *REDER 1* (N°1), pp. 43-69.
- CARIHUINCA, M. (2020). Modos de habitar un escenario de riesgo sísmico. Tesis Doctoral, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- CASTRO, L. (2012). Formalización y mejora del proceso de gestión de riesgos ante sismos, a través de un análisis holístico de la vulnerabilidad. Caso de estudio: Región de Tarapacá. Tesis Doctoral. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA (CR2) (FONDAP 15110009) (2018) Guía de referencia para la plataforma de visualización de simulaciones climáticas. Proyecto Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad, mandatado por el Ministerio del Medio Ambiente. Julio de 2018. Disponible en www.cr2.cl
- CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN). (1996). Estudio Agrologico de la Región Metropolitana. Descripción de suelos, materiales y símbolos. Recuperado de <https://www.ciren.cl/>
- CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN). (2015). Estudio Agrologico de la Región Metropolitana. Materiales y símbolos. Recuperado de <https://www.ciren.cl/>
- CENTRO REGIONAL DE SISMOLOGÍA DE SUDAMERICA (CERESIS). (1985). Catálogo de terremotos para América del Sur: Chile. Proyecto SISRA. Programa de mitigación de los efectos de los terremotos en la Región Andina.

- COMTE, D., EISENBERG, A., LORCA, E., PARDO, M., PONCE, L., SARAGONI, R., SINGH, S., SUARÉZ, G. (1986). The 1985 central Chile earthquake: A repeat of previous great earthquakes in the region. *Science*, 233, pp. 393-500.
- CONTRERAS, H. (2017). Los Caciques de Talagante durante el siglo XVIII. Legitimidad, prestigio y poder. 1718-1791. *Revista Cuadernos de Historia* (N°18), pp. 139–167.
- CORNELL, C. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America* (N°58), pp. 1583-1606
- DE MATTOS, C. (1999). Santiago de Chile, globalización y expansión metropolitana: lo que existía sigue existiendo. *Revista EURE* (Vol. XXV, N°76), pp. 29-56, Santiago de Chile, diciembre 1999.
- DUCCI, M. (1997). Chile: el lado oscuro de una política de vivienda exitosa. *Revista EURE* (Vol. XXIII, N°69), pp. 99-115, Santiago de Chile, julio 1997.
- ESTEVA, L. (1967). Criterios para la construcción de espectros de diseño sísmico. Memoria de la 3er simposio panamericano de estructuras. Caracas, Venezuela.
- ENGDAHL, E., VAN DER HILSET, R., BERROCAL, J. (1995). Imaging of subducted lithosphere beneath South America. *Revisit Geophys. Res. Lett.*, (22), pp. 2317-2320.
- ENGDAHL, E., VAN DER HILSET, R., BERROCAL, J. (1998). Global teleseismic earthquake relocation with improve travel times and procedures for depth determination. *Revista Bull. Seismol. Soc. Am.*, (88), pp. 722-743.
- FERNÁNDEZ, J.C. (2003). Respuesta sísmica de la cuenca de Santiago, Región Metropolitana de Santiago. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta geológica de Chile. Serie Geología Ambiental N°1. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- GREVE, F. (1948). Determinación del coeficiente de seguridad antisísmico para diferentes zonas de Chile. *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas* (N°5). Universidad de Chile. Santiago de Chile
- HIDALGO, P., GELMI, J., NUÑEZ, D., MAGNA, C. (2005). Respuesta sísmica inelástica de edificios estructurados con muros de hormigón armado. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas, 16-19 de noviembre de 2005. Concepción – Chile.
- HIDALGO, R. (1999). La vivienda social en Chile: la acción del Estado en un siglo de planes y programas. *Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* (Vol. 1, N°45), Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 1999.
- IBAÑEZ, J. (1989). Breve historia de la ingeniería antisísmica. *Revista AUCh*, (5, N°21), pp. 95.99.
- INFRAESTRUCTURA DE DATOS GEOESPACIALES (IDE). (2017). Área urbana consolidada. Información vectorial. Ministerio de Bienes Nacionales. Recuperado de

<https://www.ide.cl/index.php/planificacion-y-catastro/item/1845-area-urbana-consolidada>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). (2001). Chile: historia de la división político-administrativa 1810-2000. Santiago, 2001. Recuperado de https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=Ot9RYEb_emUC&oi=fnd&pg=PA73&dq=division+politica+de+chile&ots=TdJJ6j5muu&sig=UR1xIQH7Jymj6LD82SRHqIqYa_h0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). (2017). Entrega final Censo 2017. Base de datos Censo 2017. Recuperado de <http://www.censo2017.cl/>

IPCC. (2014). Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Suiza: IPCC.

KHAZARADZE, G., KLOTZ, J. (2003). Short and long-term effects of GPS measured crustal deformation rates along the South-central Andes. *Revista Journal of Geophysical Research* (N°108), pp. 1-13.

KIRBY, S., OKAL, E., ENGDAHL, E. (1995). The 9 June 94 Bolivian deep earthquake: an exceptional event in an extraordinary subduction zone. *Revista Geophys. Res., Lett.* (22), pp. 2233-2236.

KIRBY, S. ENGDAHL, E., DELINGER, R. (1996). Intermediate-depth intraslab earthquake and arc volcanism as physical expressions of crustal and uppermost mantle metamorphism in subducting slabs. *Revista Geophys Mon*, (96), Washington D.C.

LABB, J., SARAGONI, G. (1976). Sismicidad de Chile. Publicaciones SES I 7/76, Sección Estructuras, Depto. Obras Civiles, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago de Chile.

LEYTON, F., RUIZ, S., SEPULVEDA, S. (2010). Reevaluación del peligro sísmico probabilístico en Chile Central. *Revista Andean Geology* (37, N°2), pp. 455-472

LOMNITZ, C. (1969). An earthquake risk map of Chile. *Proceedings of the fourth World Conference on Earthquake Engineering* (N°1), pp. 147-153.

LOPÉZ, L. (1992). Estudio geofísico de los suelos de fundición para una zonificación sísmica del sector sur de la cuenca de Santiago. Memoria de título. Universidad de Chile. Santiago de Chile.

MADARIAGA, R. (1998). Sismicidad de Chile. *Revista Física de la Tierra* (N°10), pp. 221-258.

MARULANDA, M. (2013). Modelación probabilística de pérdidas económicas para sismo para la estimación de la vulnerabilidad fiscal del Estado y la gestión financiera del riesgo soberano. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.

- MENÉNDEZ, P. (1991). Atenuaciones de las intensidades del sismo del 3 de marzo de 1985 en función de la distancia a la zona de ruptura y del tipo de suelo. Memoria de título. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- MUNICIPALIDAD DE TALAGANTE. PLADECO. (2015). Diagnostico comunal PLADECO 2014-2018. Ilustre Municipalidad de Talagante. Junio de 2015. Recuperado de <https://www.munitalagante.cl/pladeco>
- ORDENES, M. (2013). La Quintrala en la memoria colectiva chilena: construcción y representación simbólica. XIV Jornadas Interescuelas/Departamentos de Historia. Departamento de Historia de la Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza. Recuperado de <https://cdsa.aacademica.org/000-010/1034.abstract>
- RAULD, R. (2011). Deformación cortical y peligro sísmico asociado a la Falla San Ramón en el frente cordillerano de Santiago, Chile Central (33°S). Tesis Doctoral. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- REITER, L. (1990). Earthquake hazard analysis: issues and insights. Columbia University Press. New York.
- ROMANOFF, F. (1999). Estudio del peligro sísmico en la Región Metropolitana. Memoria de título. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- RUIZ, S. (2002). Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos principales de sismogénesis y el efecto del suelo y las asperezas. Memoria de título. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- RUIZ, S., SARAGONI, G. (2005). Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos de sismogénesis y los efectos del suelo. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. IX jornadas. 16-19 de noviembre de 2005. Concepción. Chile.
- SELLÉS, D., GANA, P. (2001). Geología del área Talagante – San Francisco de Mostazal, Regiones Metropolitana de Santiago y del Libertador Bernardo O’Higgins. Carta geológica de Chile. Serie geología básica, N°74, 30p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- SOTO, M-V., CASTRO, C., RODOLFI, G., MARKER, M., FERNÁNDEZ, R., PADILLA, R., RUGIERO DE SUOZA, V. (2007). Carta geomorfológica de la sección central y occidental de la Región Metropolitana de Santiago. Invest. Geogr. Chile, N°39.
- SILVA, N. (2008). Caracterización y determinación del peligro sísmico en la Región Metropolitana. Memoria de título. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- TARBUCK, E., LUTGENS, F., TASA, D. (2005). Ciencias de la tierra. Pearson Educación S.A. Madrid.
- VARGAS, G., KLINGER, Y., ROCKWELL, T., FORMAN, S., REBOLLEDO, S., BAIZE, S., ARMIJO, R. (2014). Probing large intraplate earthquakes at the west flank of the Andes. *Geology*.

VIGNY, C., RUDLOFF, A., RUEGG, J., MADARIAGA, R., CAMPOS, J., ALVAREZ, M. (2009). Upper plate deformation measured by GPS in the Coquimbo Gap. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, pp. 86-95.

VILLABLANCA, R., RIDDELL, R. (1985). Evaluación del riesgo sísmico en Chile. Departamento de Ingeniería Estructural. Universidad Católica de Chile. DIE 85-4.

VON IGEL, B., NARANJO, J.A., WALL, R. (2004). Respuesta sísmica de la Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-04-25. 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.