

EDIFICACIONES Y NAPAS FREÁTICAS SUPERFICIALES: Posibilidad de riesgo sísmico y estudio de caso

Buildings and shallow depth ground water: Possibility of seismic risk and case study

Dra. Arqta. Isabel García
Universidad Central
isabel.garcia@ucentral.cl

Participaron como
coautores de este artículo:
Dra. Arqta. Ana María Wegmann
awegman@ucentral.cl
Dr. Arqto. Diego Canales
diego.canales@vtr.net



Detalle figura 8. Vista aérea del edificio Alto Río.

Resumen

El terremoto del 27 de febrero de 2010 demostró la urgencia que existe en materia de evaluación y predicción del comportamiento de edificios frente a sismos de gran intensidad, con el fin de prevenir desastres de gran proporción. Ello obliga a revisar la normativa chilena vigente, incluyendo consideraciones de orden ambiental y de desarrollo sostenible en los planos reguladores y estudios de mecánica de suelos, con el objeto de determinar un emplazamiento justificado de las construcciones. Esto es especialmente prioritario en el caso de edificios de uso público, emplazados en napas freáticas a escasa profundidad.

Palabras clave: Riesgo sísmico, vulnerabilidad, licuefacción, emplazamiento.

Abstract

The earthquake of February 27, 2010 demonstrated the urgency that exists in terms of evaluation and prediction of the behavior of buildings against high intensity earthquakes, in order to prevent disasters of great proportion. This requires revising the current Chilean regulations, including considerations of environmental order and sustainable development in the regulatory plans and studies of soil mechanics, in order to determine a justified location of the buildings. This is especially important in the case of buildings for public use, located in shallow depths of water.

Recibido: 07/11/2017
Aceptado: 15/01/2018

Keywords: Seismic risk, vulnerability, liquefaction, site.

El 27 de febrero de 2010, a las 03:34 horas, toda la población de la zona centro-sur de Chile se vio sobresaltada por un movimiento telúrico que duró cuatro minutos y dejó enormes daños. El sismo alcanzó 8,8 Mw (magnitud de momento) en la Escala de Richter, y su epicentro se localizó a 30 kilómetros de la costa, en una zona de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana, extendiéndose desde Pichilemu hasta la Península de Arauco. Abarcó unos 450 kilómetros de longitud en dirección norte-sur y aproximadamente 150 kilómetros de ancho (Barrientos, 2010), seguido de un violento tsunami que afectó las localidades costeras de la misma zona (Figura 1).



Figura 1. Vista aérea de Constitución tras el tsunami del 27 de febrero de 2010 (El Amaule, febrero de 2013).

Chile es un país con una historia sísmica, registrando terremotos como el mencionado o el de 1960, que alcanzó 9,5 Mw en la Escala de Richter (Servicio Sismológico de la Universidad de Chile, 2018), que fue seguido de un devastador tsunami. Como señala el ingeniero sismológico Sergio Barrientos, si se mide la distancia entre las islas del archipiélago Juan Fernández, en relación a lugares estables del continente sudamericano, como Buenos Aires, se comprueba que esta disminuye con el paso del tiempo, pero en la zona de choque interplaca se produce una deformación elástica que puede llegar a activar la falla en el contacto y producir el terremoto, permitiendo que la placa de Nazca penetre bajo la placa Sudamericana, recuperando parte de su posición previa al inicio del actual ciclo sísmico (Barrientos, 2010), (Figura 2).

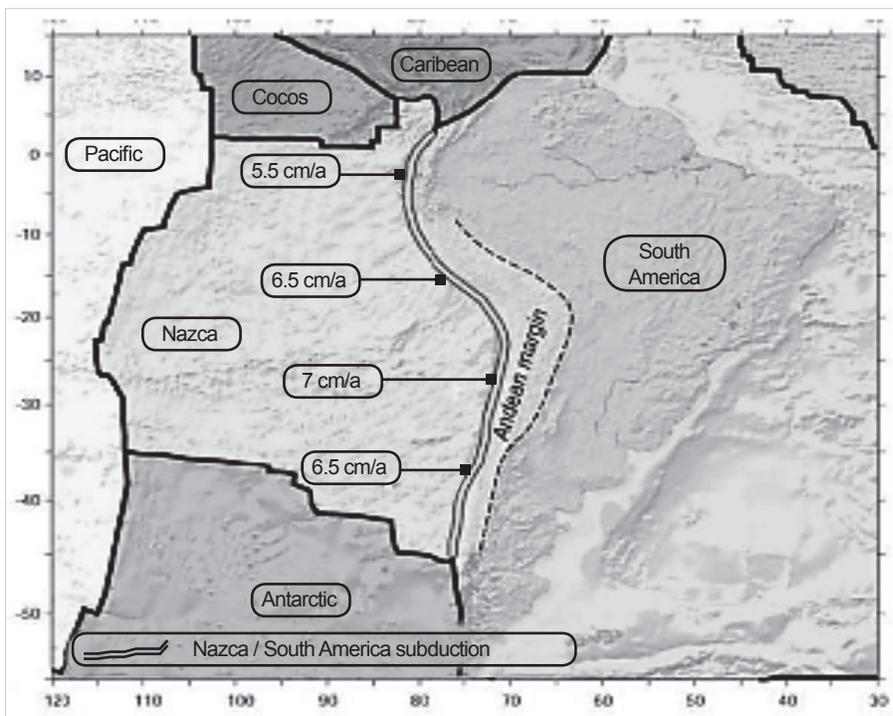


Figura 2. Contexto tectónico de convergencia entre las placas Nazca y Sudamericana (Barrientos, 2010).

Aunque es evidente el riesgo de esta convergencia, la edificación en Chile carece de una fiscalización adecuada para prevenir los riesgos sísmicos. Si bien es cierto existe información recopilada por Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), que identifica la calidad del suelo en zonas edificables dentro de los planos reguladores, especialmente en las localidades costeras, esta pareciera ser insuficiente, y al momento de actuar no se hacen las consultas ni la investigación científica requerida. Por otro lado, aunque las comunas deben disponer de instrumentos de planificación territorial, la falta de esa información obliga a un permanente estudio de las características físicas del territorio y los cambios que este experimenta, permitiendo una cartografía georreferenciada que guíe a los profesionales responsables en la toma de decisiones sobre el uso

de suelo urbano. Desde este prisma, en el presente artículo se busca mostrar los riesgos de los emplazamientos humanos en zonas vulnerables, proponiendo medidas mitigadoras y correctivas.

Entender la vulnerabilidad de las zonas en estudio requiere recordar la diferencia entre el propio fenómeno (terremotos y tsunamis), y las consecuencias generadas por la localización espacial de la población. Un fenómeno es la manifestación del funcionamiento interno de la naturaleza. Algunos de estos acontecimientos, como el viento, son de carácter regular, mientras

otros, como terremotos y tsunamis, son de carácter extraordinario, pero se conoce su ocurrencia. En cambio, un desastre es el resultado de la correlación entre el fenómeno y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas, como el tipo de suelo inestable y la mala construcción de la vivienda (Romero y Maskrey, en Maskrey, 1993). Desde esta perspectiva, cuando dos o más fenómenos naturales se desencadenan en una situación vulnerable (caso del terremoto de 2010), se produce un desastre. Ello encierra un desafío que implica determinar las interacciones entre la población y el medio ambiente, y encontrar



Figura 3. Viviendas Brisa del Sol (Revista Nos).

las respuestas a nivel multidisciplinario que permita a los agentes responsables ordenar adecuadamente el territorio e identificar las áreas más vulnerables, desarrollando la resiliencia de los asentamientos humanos ante los desastres (Torres y Cedeño, 2015; Silva, 2011). En el litoral de la zona centro-sur de Chile, esto solo se ha logrado parcialmente, ya que algunos sectores de la población aún atribuyen los desastres a fuerzas naturales poderosas o sobrenaturales, o incluso a una actuación maléfica de la naturaleza, lo que lleva a reacciones inadecuadas (Romero y Maskrey, en Maskrey, 1993; Pastén, 2016). La importancia de profundizar en esta urgente necesidad ha llevado al Ministerio de la Vivienda y Urbanismo a realizar un trabajo mancomunado con el Instituto de la Construcción y especialistas de otros países latinoamericanos y del Caribe en pos de la firma de un Código de Diseño Sísmico.

Riesgos en la zona de estudio

Aunque los profesionales vinculados al área de la construcción y la arquitectura conocen el riesgo de la sismicidad en Chile, es necesario profundizar en los estudios relacionados al suelo donde se asientan las estructuras y el diseño requerido por éstas, a lo que se suma la urgente necesidad de superar la inconsistencia entre la legislación vigente y la elaboración de instrumentos de planificación y ordenamiento territorial que eviten la ocupación de espacios expuestos a amenazas.

En la zona de estudio, una de las amenazas más importantes es la *licuefacción* o

licuefacción del suelo como producto de los sismos, transformándose en un fluido incapaz de soportar las estructuras edificadas sobre éste (Wakamatsu, 2012). Ese riesgo presenta condiciones favorables en Concepción, a raíz de los sedimentos depositados por el río Biobío, un somero nivel freático y la ejecución de rellenos sobre humedales, lo que es visible en los conjuntos de viviendas como Portal del Centro, Los Presidentes, Brisa del Sol (Figura 3), Buena Vista y Bayona, entre otros (González y Verdugo, 2014).

Un estudio de 1992 permitió la modificación de los planos reguladores en varios municipios litorales de la región del Biobío, incluyendo normas urbanísticas, uso del suelo, densidades e índices de constructibilidad, entre otros, pero es necesaria una legislación que evite el establecimiento de poblaciones en zonas vulnerables (Mardones, 2012). En base a ello, es posible señalar dos aspectos trascendentales: la coherencia entre esas zonas vulnerables y el desarrollo de políticas públicas eficientes para actuar ante fenómenos como los sismos. Desde esta perspectiva, los establecimientos vitales (centros educativos, de salud o policiales) no deben edificarse en zonas de riesgo, y las viviendas situadas en esas zonas deberían reforzarse estructuralmente mientras las personas son reubicadas. Este aspecto es reconocido en la *Política Nacional de Desarrollo Urbano* del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2014), que aún no cuenta con una reglamentación, por lo que es necesario continuar profundizando en la gestión de los desastres, incorporándolos en los instrumentos de ordenación territorial.

Otra área expuesta a vulnerabilidad es la costa al sur del puerto de San Antonio, específicamente la playa de Lollole surgida después de la construcción del puerto. La línea de costa es un espacio geomorfológicamente dinámico y no presenta buenas condiciones para asentamientos humanos, ya que la napa freática se encuentra a 1,5 m de la superficie y la densidad de las arenas es baja a mediana (Claret, 1982) a medida que se aleja de la costa, favoreciendo subsidencias de terreno y exponiendo la zona a tsunamis.

El geógrafo Johnny Claret identifica dos áreas de inundación: una de peligro inminente (correspondiente a la línea roja) y otra de peligro potencial (ubicada entre la línea segmentada amarilla y la línea roja de la fotografía aérea), mientras que el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), plantea que la zona de máxima inundación está dada por la línea azul (Figuras 4 y 5). Dichos antecedentes permiten identificar como vulnerable la zona baja de Tejas Verdes, en la cercanía del río Maipo y el estero El Sauce, y la población Ampliación Boca de Maipo (González, 2005).

Otra zona vulnerable es el balneario de Pichilemu, donde existe infraestructura hospitalaria y educativa emplazada en zonas amenazadas, obligando a la Municipalidad a reubicar dichas funciones en zonas seguras (Lorca, 2013, Figura 6).

Relación entre edificación y suelo

La relación entre edificación y suelo es evidente al analizar el terremoto del 3 de marzo de 1985. Dicho movimiento telúrico, cuyo epicentro se localizó a los 33°14' lat. S y 70°02' long. W (Quinta región de Valparaíso, comuna de Algarrobo), dañó un extenso territorio de la zona central de Chile, a raíz del cambio en la microestructura de los suelos. La densificación de arenas dañó y destruyó edificios, y paralizó las actividades en varios sitios de carga y descarga en los puertos de Valparaíso y San Antonio. Al ser rellenos artificiales, los daños podrían haberse evitado si la compactación alcanzara una densidad relativa moderadamente más alta (en un orden de 60%) al tiempo de construcción o durante los trabajos de reparación debido al terremoto de 1971 (Flores, 1993). La densificación de depósitos de arena suelta causó en dicho sismo varios tipos de daños;

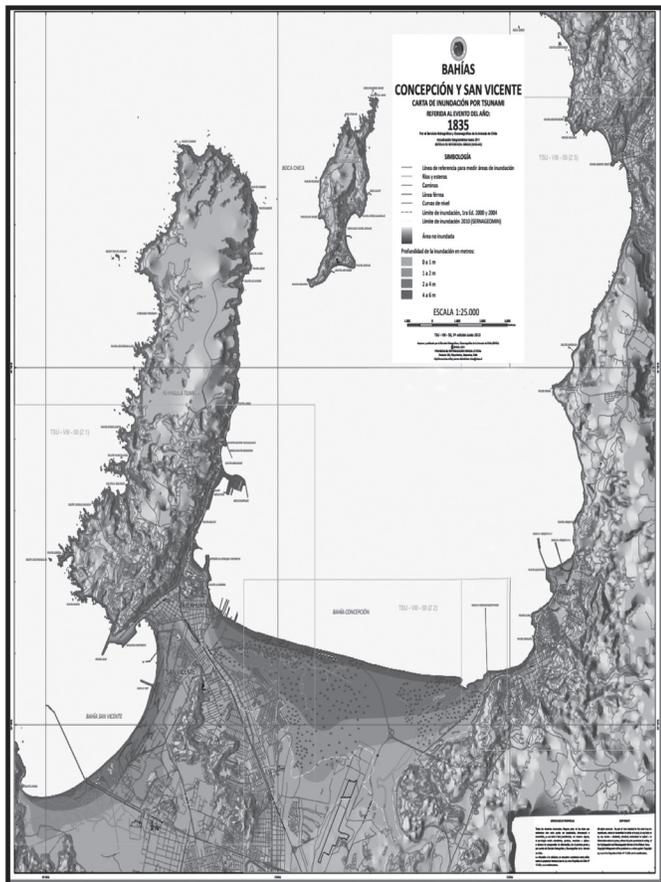


Figura 4. Mapa de riesgos bahía de Concepción-San Vicente (SHOA).

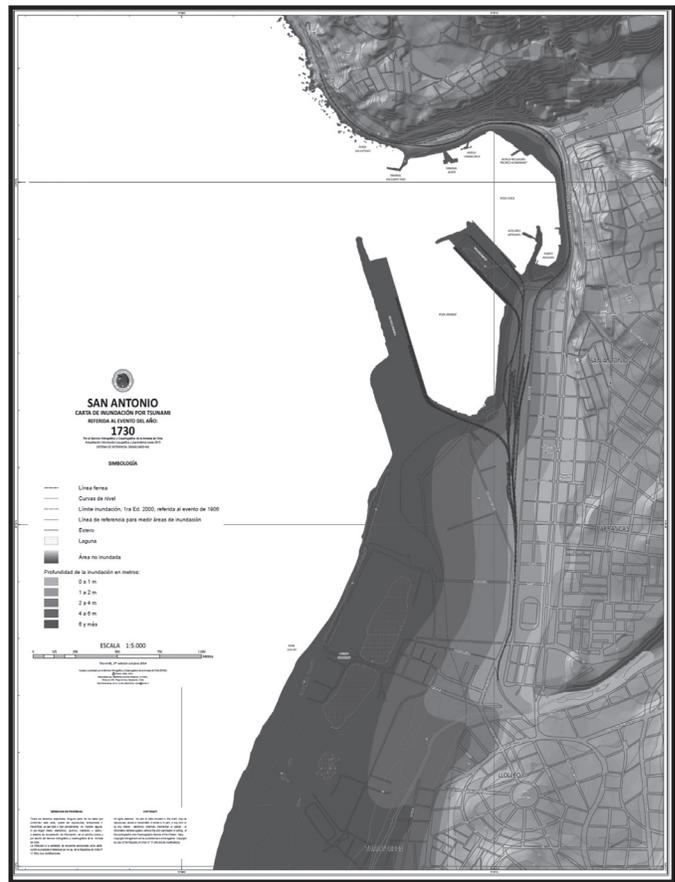


Figura 5. Carta de tsunami de San Antonio. (FUENTE: SHOA).

los factores de origen fueron cambios de volumen asociados con variaciones en el índice de huecos (Troncoso, 1992; Tabla N° 1).

En el conjunto residencial Canal Beagle de Viña del Mar fue posible observar la influencia de la propagación de ondas. La mayoría de esas edificaciones se emplazaban en una alta meseta, próxima a bordes de taludes, mientras otras se encontraban en un valle angosto más o menos plano al pie de esa meseta. Las fundaciones se apoyaban en depósitos aluviales formados por capas de gravas con interstratificaciones de limos firmes y arcillas duras. Eran zapatas aisladas rectangulares y zapatas continuas de 0,90 m y 1 m de ancho y 1,5 m. de profundidad. Por el emplazamiento, las ondas se ampliaron, dañando severamente la gran mayoría de los edificios ubicados en la meseta alta, los cuales debieron ser demolidos (Flores, 1993).

La falla de fundaciones a raíz de la reducción de resistencia al corte, asociada

Tabla N° 1: condiciones de suelo y daños en el terremoto de 1985.			
Efecto	Causa	Consecuencia	Ejemplos típicos
Amplificación de los movimientos del terreno.	Topografía y geomorfología.	Fuerte destrucción cercana a los bordes y en topes y cumbres de cerros.	Conjunto residencial Canal Beagle.
Resonancia.	Periodo predominante del terreno similar al periodo natural del edificio.	Daños estructurales en edificios altos fundados en terrenos compresibles.	Edificios de varios pisos en Viña del Mar.
Aumento en las presiones de suelos sobre estructuras de contención.	Interacción suelo-estructura.	Inclinación y colapso de muros de contención.	Valparaíso y San Antonio.
Agrietamiento en el coronamiento de terraplenes.	Propagación de ondas superficiales.	Tensiones de tracción en las partes más vulnerables de presas (coronamiento).	Presa Loncha y terraplenes de caminos.

(FUENTE: Flores, 1993).

al aumento de las presiones de poros y licuefacción, fue visible en puentes, muros de contención, terraplenes y edificios. En varios sitios del puerto de San Antonio, se produjo una licuefacción en forma de flujo de arena (Santibañez, 2006).

Los estudios de daños generados por este movimiento telúrico, han permitido la creación de normativas sísmicas adaptables a las exigencias constructivas (NCh 433 of. 1996, revisada en 2009, 2010 y 2012).



Figura 6. Relocalización de infraestructura de Pichilemu a zonas seguras. (El Marino). Servicios públicos localizados en zonas de riesgo por Tsunami: 1. Hospital de Pichilemu. 2. Jardín infantil Gotitas de Amor F. Integra. 3. Inspección Provincial del Trabajo. 4. Instituto de Previsión Social. 5. Dirección Provincial de Vialidad. 6. Liceo Municipal Agustín Ross Edwards. 7. Registro Civil e Identificación. 8. Gobernación Cardenal Caro. 9. Sede Social Adulto Mayor.

Casos particulares

Algunos casos particulares ilustran la pertinencia de esta norma sísmica. Tras la demolición del edificio *Alto Río* de Concepción luego del terremoto de 2010, un estudio del Instituto de Investigación y Ensayo de Materiales (IDIEM), de la Universidad de Chile, determinó problemas en el diseño y construcción de la estructura, y una calificación inadecuada del suelo de tipo 2, cuando en realidad era tipo 3 (Figura 7).

Otro informe realizado para el edificio *Don Tristán* de Maipú por el ingeniero René Lagos, reveló el incumplimiento de la norma sísmica y los requerimientos de armadura. Las losas de hormigón armado del sistema de pisos no contaban con el espesor suficiente y se detectaron deficiencias en los muros de albañilería, en el perímetro y los pilares. Además, el sistema de cargas laterales del edificio era inadecuado e insuficiente, dado que

en los muros interiores y el 50% de las fachadas se discontinuaban en el piso zócalo, cayendo sobre pilares de pequeña dimensión.

Conclusiones

La falta de fiscalización del cumplimiento de los planos reguladores y los otros instrumentos de planificación territorial ha favorecido la construcción en suelos especialmente expuestos a sismos de gran envergadura, lo cual evidencia la necesidad de implantar medidas que eviten la construcción en estos sectores, contribuyendo al desarrollo de una cultura preventiva frente a los riesgos naturales.

La academia se enfrenta a un desafío sin precedentes, colaborando en la generación de mapas de registro de suelo en zonas de riesgo, utilizando datos aportados por las edificaciones nuevas, ampliaciones que tengan memoria de cálculo y estudio de

mecánica de suelos (DDU 264 del 10 de Enero de 2014 y DDU 273 del 25 de Agosto de 2014), contribuyendo así a un desarrollo urbano sostenible de un país como Chile, que se enfrenta a una posición de peligro permanente a raíz de sus condiciones climáticas y de vulnerabilidad ante eventos naturales como los sismos, vulnerabilidad evidenciada en la debilidad de algunos materiales de construcción, el inadecuado mantenimiento y el emplazamiento en sectores expuestos a licuefacción.

Es importante también una constante revisión y actualización de las normas constructivas y de los instrumentos de planificación territorial, y facilitar el intercambio de experiencias con países con riesgos similares, lo cual ya ha sido enunciado por la *Elaboración Colaborativa de un Código Modelo de Diseño Sísmico para América Latina y el Caribe* de 2017, y avanzar en el desarrollo de lineamientos que permitan tomar decisiones adecuadas de ordenamiento territorial, lo que redundará en un mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes expuestos a estas vulnerabilidades.

Referencias bibliográficas

- Barrientos, S.** (2010). "Informe sismológico Terremoto de Cauquenes", Santiago, Servicio Sismográfico Universidad de Chile.
- Claret, J.** (1982). "Estudio del subsuelo de San Antonio", Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Flores, R.** (1993). *Ingeniería sísmica en Chile. El caso del sismo del 3 de marzo de 1985*, Santiago, Ediciones Pedagógicas Chilenas y Hachette, .
- González, C.** (2005). "Estudios de áreas de riesgo geomorfológico de la zona urbana y de expansión de la comuna de San Antonio, V Región", Memoria para optar al título profesional de Geógrafo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Geografía.
- González, J.; Verdugo, R.** (2014). "Sitios afectados por licuefacción a causa del terremoto 27-F. Santiago de Chile", ponencia presentada en el VIII Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica, Santiago, Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Sociedad Chilena de Geotecnia.
- Instituto de la Construcción de Chile y MINVU,** (2017). Santiago de Chile; "Elaboración Colaborativa de Código Modelo de Diseño Sísmico para América Latina y El Caribe", Santiago.
- MINVU,** (2012). NCh 433 Of. 96
- MINVU,** (2014). "Política Nacional de Desarrollo Urbano, Santiago, MINVU".



Figura 7. Vista aérea del edificio Alto Río (EMOL).

MINVU, (2017). "Elaboración de código modelo de diseño sísmico para América Latina y el Caribe", documento oficial.

Lorca, J, (2013). "Riesgos y desarrollo en la zona costera de Pichilemu, VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins", Memoria para optar al título profesional de Geógrafo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Geografía.

Lozano, O, (2008). "Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos de las edificaciones en centros urbanos", en Ramírez Cortés, F. "La gestión del riesgo urbano en América Latina. Recopilación de artículos", Panamá, UNISDR.

Mardones, M, (2010). "Riesgos naturales: prevenir, educar, informar", en Punto de Fuga, N° 8, Universidad de Concepción.

Maskrey, A, (1993). "Los desastres no son

naturales", Limón, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres de América Latina.

Pastén, V, (2016). "Planificación y resiliencia en zonas de riesgo. Estudio de caso, comuna de Constitución Urbana, VII Región del Maule, Post 27F", Tesis para optar al grado de Magister en Urbanismo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Santibañez, D, (2006). "Determinación del potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar", Tesis para optar al título de Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería en Construcción.

Silva, N, (2011). "Vulnerabilidad sísmica estructural en viviendas sociales y evaluación preliminar de riesgo sísmico en la Región Metropolitana", Tesis para optar al grado de

Magister en Ciencias, Mención Geofísica, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geofísica.

Troncoso, J, (1992). *Fundamentos de ingeniería geotécnica antisísmica*, Santiago, Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile.

Torres, P; Cedeño, A, (2015). *Ecurbanismo y habitabilidad regional. Contribuciones de América Latina*, México, Universidad Autónoma Metropolitana.

Wakamatsu, K, (2015). "Recurrence of Liquefaction at the same site induced by the 2011 Great East Japan Earthquake Compared with Previous Earthquakes", ponencia presentada en el 15° Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica, Lisboa.