

**Daños y efectos del 27-F en la región de La Araucanía:
Desafíos para la Planificación Territorial.**

Mg. Osvaldo Almendra Soto

Analista de Desarrollo Urbano

SEREMI de Vivienda y Urbanismo Region de La Araucanía

oalmendras@minvu.cl

Dr. Galo Valdebenito Montenegro

Instituto de Obras Civiles

Universidad Austral de Chile

gvaldebe@uach.cl

RESUMEN

El día 27 de Febrero del año 2010, nuestro país se vio afectado por una secuencia sísmica que causó daños de diversa consideración, gatillando procesos colaterales debido a los cambios geomorfológicos originados, los cuales incrementaron el riesgo en diversas zonas urbanas modificando radicalmente los esquemas de planificación territorial. Dada esta situación, el Gobierno mediante Decreto N°150 del 27 de Febrero de 2010, dispuso la aplicación de la Ley N°16.282, declarando parte del país como zona de catástrofe. Los daños producidos por el movimiento sísmico y sus réplicas afectaron principalmente el desarrollo de 14 comunas de la región de La Araucanía, poniendo en riesgo la seguridad y calidad de vida de sus habitantes, lo que obligó a adoptar medidas de carácter extraordinario destinadas a enfrentar la emergencia y determinar las soluciones que se requieran para la protección de las personas. Esta situación motivó la elaboración de Estudios de Riesgos e Informes Antisísmicos para Adecuaciones o Actualizaciones de estos Planes Reguladores Comunales y cuyos resultados se verán reflejados en la definición de normas estándares para asegurar la habitabilidad en condiciones de riesgo, garantizar la vida de las personas y el daño controlado de las edificaciones.

Palabras Claves: Riesgos Naturales, Planificación Territorial, Terremoto 27-F, Plan Regulador Comunal

SUMMARY

On February 27 of 2010, our country was affected by a seismic sequence that caused damage of varying degrees, triggering collateral processes due to geomorphological changes caused, which increased the risk by modifying radically different urban planning schemes territorial. Given this situation, the Government Decree No. 150 of February 27, 2010, ordered the application of Law No. 16,282, declaring the country as a disaster area. The damage caused by the earthquake and its aftershocks affected mainly the development of 14 municipalities in the region of La Araucanía, jeopardizing the safety and quality of life of its inhabitants, forced to take extraordinary measures designed to address the emergency and determine the solutions required for the protection of individuals. This prompted the development of Risk Studies and Reports seismic upgrades for these adaptations or Communal Regulating Plans and the results will be reflected in the definition of standards to ensure the habitability standards at risk, protect the lives of people and the controlled damage of buildings.

Keywords: Natural Hazards, Planning, Earthquake 27-F, Communal Regulating Plan

1.- Introducción

Producto de la secuencia sísmica ocasionada el día 27 de Febrero de 2010, varias regiones del país fueron decretadas zonas de catástrofe (Ministerio del Interior 2010). Dentro de los efectos originados se detectaron fenómenos naturales colaterales, como procesos de subsidencia, remoción en masa o licuefacción, los que pueden generar tanto o más daño que el evento en sí, incrementando el riesgo en zonas urbanas y modificando los diseños de planificación territorial. Estos procesos colaterales, bien definidos históricamente, tienden a repetirse en el tiempo, o generan nuevos procesos a raíz de los cambios geomorfológicos, por lo cual se hizo necesario estudiar en detalle estos procesos, con el propósito de predecir situaciones futuras y con ellos establecer pautas de acción que en definitiva constituirán medidas de mitigación del riesgo involucrado (MINVU 2010). De esta forma, se contextualizó el término Riesgo Natural según Ayala (1993) quien lo define como el producto de la probabilidad de ocurrencia de un proceso o manifestación natural que genera efectos en la población o en la infraestructura. Según este autor el riesgo presenta tres factores que son la peligrosidad, la vulnerabilidad y la exposición, que se tienden a confundir, siendo todos muy diferentes, pero complementarios entre sí.

La Peligrosidad, hace referencia al conjunto de características que hacen más peligroso a un fenómeno potencialmente dañino, un Peligro; así, pueden ser el calado y la velocidad en una inundación, el caudal de gas y la dirección de los vientos dominantes en un escape químico etc. (Ayala-Carcedo 1990), lo que involucra identificación de fuentes de peligro y su caracterización, como por ejemplo: peligrosidad sísmica, procesos de subsidencia, procesos de derrumbes, aluvionales, procesos de inundabilidad, etc. Por otro lado, la vulnerabilidad está relacionada con la capacidad de respuesta de las construcciones humanas a la activación de una amenaza (Mardones y Vidal 2001). Por último, la exposición se refiere a la población o bienes que están expuestos al fenómeno natural o amenaza, es decir, asentamientos, infraestructura o actividades humanas, correspondiendo por tanto a un problema de localización o selección de sitios de emplazamiento (Ferrando 2003), por lo cual no es lo mismo la condición de riesgo en una zona densamente poblada de una que no lo es, como el caso de zonas turísticas marcadas por una fuerte estacionalidad difícil de cuantificar.

Los trabajos sobre riesgos naturales en Chile se han incrementado paulatinamente desde 1990, destacando por ejemplo, el de Kovacic (1991) quien determinó áreas de riesgo por inundación en la comuna de Vitacura, o Sepulveda (1991) quien realizó un análisis de prevención de riesgos y catástrofes urbanas en Santiago Oriente. En regiones destacan los trabajos de Mardones (1994) quien describió la situación ambiental y de riesgos de la comuna de Talcahuano; y Mardones y Vidal (2001) quienes zonificaron y evaluaron riesgos naturales de tipo geomorfológico como instrumento para la planificación urbana en Concepción. En relación a estudios sobre tsunamis, destacan la simulación del tsunami de 1960 en el centro-sur de Chile de Marcelo Lagos y Dante Gutiérrez (2005) y recientemente el trabajo gestión de la emergencia ante eventos de inundación por tsunami en Puerto Saavedra (2010) de Montenegro y Peña.

2.- Riesgos Naturales y los Instrumentos de Planificación Territorial.

El Riesgo cobra importancia en el marco regulatorio territorial desde la creación del Art. 27 de la Ley 16.282, el cual señala: "fija disposiciones para casos de sismos o catástrofes, estableciendo normas para la reconstrucción en la zona afectada por el sismo de 28 de marzo de 1965 y modifica la ley n° 16.250". Al respecto, la LGUC en el Título III: de la Construcción, Capítulo II Art. 116 bis D).-

establece “La Ordenanza General de esta ley podrá establecer normas especiales y procedimientos simplificados de aprobación y recepción, para la regularización de construcciones existentes y la aprobación de nuevas construcciones que se realicen en zonas que hubieren sido decretadas zona afectada por catástrofe”, en este contexto, es posible simplificar el proceso aprobatorio de los planes reguladores comunales, en las comunas afectadas por el terremoto, siendo necesario para ello contar con Estudios Fundados de Riesgos.

La importancia de un estudio de riesgo radica en la disposición espacial de la población y localización de actividades productivas, con énfasis en asentamientos con condiciones urbanas y según lo dispuesto en Art. 1º, Cap. I de la Constitución Política del Estado, en la Ley 16.282 del Ministerio de Hacienda, Ley General de Urbanismo y Construcción en su Art. 80, y OGUC Art. 2.1.17. De acuerdo con lo establecido en la Ley General de Urbanismo y Construcciones, la Planificación Urbana Comunal se realiza a través del Plan Regulador Comunal, instrumento de planificación de carácter normativo que recoge los lineamientos y normas de los niveles de mayor agregación territorial, como son el Plan Regional de Desarrollo Urbano y/o el Plan Regulador Intercomunal, cuando se cuenta con ellos.

En este contexto, el Plan Regulador como instrumento de planificación, es una herramienta cuyas disposiciones son obligatorias para todo proyecto que se emplace en el área reglamentada, siendo al mismo tiempo el instrumento a través del cual la comuna decide el momento, las prioridades, y las modalidades de expansión del territorio apto para acoger actividades urbanas. Se expresa a través de normas destinadas a cautelar la relación entre los centros urbanos y el medio circundante, así como el uso e intensidad de utilización del suelo, en el espacio público como en el privado, y tanto funcionalmente como en los aspectos morfológicos de la comuna (LGUC 1976). A nivel comunal, las actualizaciones y adecuaciones a la zonificación de los diferentes planes reguladores, vigentes o en procesos aprobatorios, tienen por objetivo incorporar las consideraciones necesarias respecto al riesgo originado en diversas localidades de la región, que permitan mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en ellas.

3.- Procesos naturales asociados al terremoto del 27-F en La Araucanía

El gran terremoto, magnitud $M_w=8.8$, ocurrido el 27 de Febrero a las 03:34 a.m. (hora local) en la zona central de Chile, se originó debido al desplazamiento súbito de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana en un área que se extiende aproximadamente desde la Península de Arauco por el sur hasta el norte de Pichilemu, cubriendo unos 450 km de longitud en dirección prácticamente norte-sur por un ancho de unos 150km. La ubicación aproximada del epicentro fue: S 35.85°, W 72.72°, con una profundidad focal de 35 km (Boroschek et al. 2010). El hipocentro se ubicó entre las ciudades de Constitución y Concepción en las coordenadas geográficas S 35.85°, W 72.72° (Fig. 1), a una profundidad de 35 km y a 7 km costa afuera de en la región del Maule por un mecanismo focal de falla inversa subductiva (Valdebenito 2010).

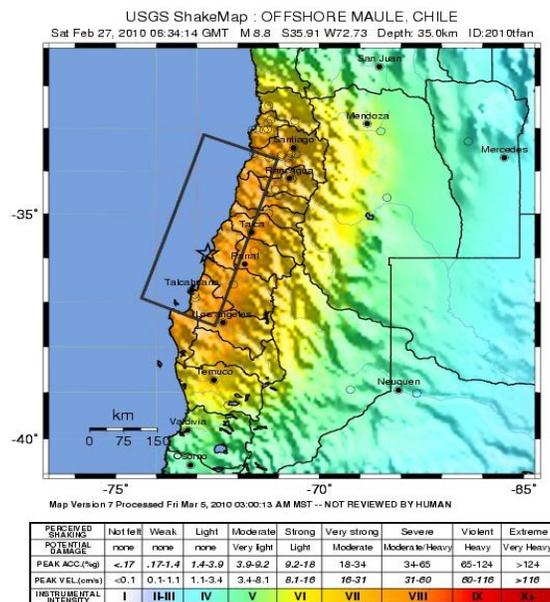


Fig. 1 Epicentro y área más afectada durante la secuencia sísmica del 27 de febrero de 2010 (USGS 2010).

Debido a los cuantiosos daños generados, tanto por el terremoto y posterior tsunami, el Gobierno mediante Decreto N°150, del 27 de Febrero de 2010, dispuso la aplicación de la Ley N°16.282, declarando a parte del país como zona de catástrofe (Ministerio del Interior 2010). El área más afectada comprendió el tramo entre las regiones de Valparaíso y La Araucanía, área donde existe la mayor concentración poblacional, con aproximadamente 13 millones de habitantes, un 80% de la población de Chile. En las regiones del Maule y el Biobío, el terremoto alcanzó una intensidad IX en la escala de Mercalli, arrasando gran parte de ciudades como Constitución, Concepción, Cobquecura y el puerto de Talcahuano. En las regiones Metropolitana, de O'Higgins y La Araucanía, el sismo alcanzó una intensidad VIII provocando destrucción en zonas urbanas y rurales. Cerca de 500 mil viviendas sufrieron daño severo, dejando cerca de 2 millones de damnificados, convirtiéndose en la peor tragedia natural en Chile desde 1960 (MINVU 2010).

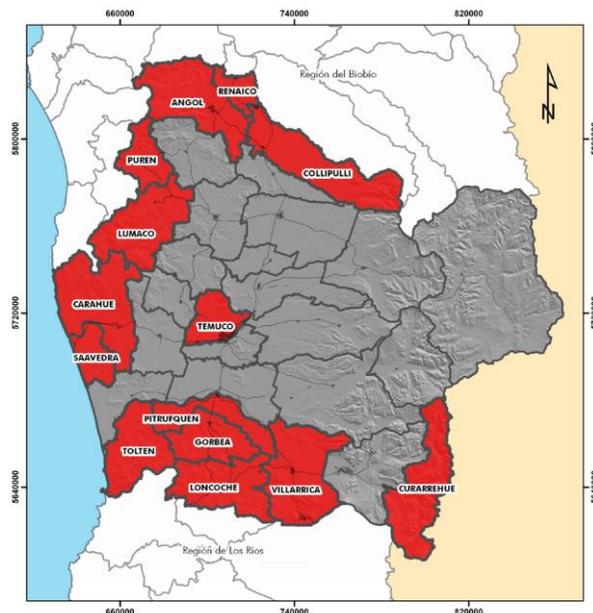


Fig. 2 Comunas cuyos PRC fueron afectadas por el terremoto

Los principales procesos generados producto del terremoto del 27-F en la región de La Araucanía corresponden a remociones en masa, de licuefacción subsidencia e inundaciones por tsunami.

En cuanto a la remoción en masa estos fueron procesos puntuales en Temuco, Portal Queule, Puerto Saavedra, Gorbea y Tijeral. Sin embargo fueron procesos más complejos y dañinos en Pitrufquén y Mininco, donde se generaron grietas en quebradas ribereñas y áreas de escarpes, en Lumaco se originó remoción en masa traslacional de rocas metamórficas, en Carahue se observaron diferentes tipos de procesos de remoción en masa muy complejas dado el emplazamiento y crecimiento de la localidad, en Angol se registraron remociones en masas compuestas, rotacionales y trasnacionales, así como derrumbes en quebradas ribereñas, y en Villarrica se generó un proceso de remoción en masa con afloramientos de napas subterráneas, producto de rellenos no controlados, situación que causó la muerte de cuatro personas.

En segunda instancia, la licuefacción fue un fenómeno registrado en Temuco y en la costanera de Villarrica, pero donde este proceso presentó su mayor impacto fue en Purén, sector de Boyero, donde se generó un juego de grietas con aberturas cercanas a los 30 cm en un área aproximada de 30 hectáreas.

El fenómeno de subsidencia se observó principalmente en Angol, donde varias manzanas fueron afectadas producto de la amplificación sísmica originada por un canal subterráneo en el casco antiguo de la ciudad.

Finalmente, procesos de tsunami fueron advertidos en Puerto Saavedra y Queule, causando daños en infraestructura portuaria y embarcaciones menores, sin generar fenómenos de inundación con efectos directos sobre viviendas.

La remoción en masa corresponde a fenómenos que involucran el movimiento de material creador de laderas por influencia de la gravedad sin la asistencia de algún agente de transporte fluido diferenciándose específicamente procesos de deslizamientos y derrumbes, ambos son

característicos de medios sólidos, en los cuales existe una superficie de despegue que delimita el material desplazado del inmóvil o subyacente (Ayala-Carcedo & Olcina 2002). Los orígenes son de tipo interno, es decir que afectan las características y resistencia de los materiales; y externas, ya que aumentan el esfuerzo o tensión al que son sometidos los materiales (Borja-Baeza & Alcántara-Ayala, 2004).



Fig. 3 Proceso de remoción en masa, Pitrufuén.



Fig. 4 Proceso de remoción en masa, Lumaco.



Fig. 5 Grieta principal, Pitrufuén.

La licuefacción es un proceso natural que ocurre en determinados tipos de suelo y tiene como consecuencia la pérdida brusca de su resistencia mecánica ante un esfuerzo dinámico rápido natural, sismo, o artificial, tronadura (Ayala-Carcedo & Olcina 2002) y ocurre generalmente en arenas o arenas limosas sueltas, saturadas y limpias, también ha sido observada en gravas, limos poco plásticos y especialmente en depósitos blandos de arenas en la costa, sistemas fluviales y bordes de lagos saturados debido a niveles freáticos altos (Perucca et al. 2006).

Estas situaciones obligaron a adoptar medidas de carácter extraordinario destinadas a enfrentar la situación de emergencia y determinar las soluciones que se requieran para la protección de las personas, a través de la adecuación y/o actualización de los planes reguladores de las comunas afectadas.



Fig. 6 Procesos de subsidencia y licuefacción, costanera de Villarrica.



Fig. 7 Proceso de licuefacción, comuna de Purén

METODOLOGÍA

A continuación se presentan las etapas relevantes de la metodología utilizada en la elaboración de los estudios fundados de riesgos de las comunas de Villarrica, Purén, Lumaco, Collipulli y Pitrufquén, para mostrar los principales resultados de un caso de aplicación.

1.- Caracterización geotécnica

Se realizó una recopilación y revisión de antecedentes geológicos y geotécnicos para definir la calidad y aptitud de los suelos de fundación. Este punto, complementario al de peligrosidad sísmica, fue analizado en las zonas especialmente vulnerables a través de campañas de campo (sondajes, calicatas) para determinar estratigrafías y evaluar en laboratorio parámetros geomecánicos y así caracterizar dichas zonas e identificar suelos potencialmente licuables y la aptitud de suelo fundacional.

2.- Parcelación, catastro estructural y líneas vitales.

En las visitas a terreno, se identificaron y caracterizaron sectorizadamente las tipologías estructurales predominantes en el área de estudio. El catastro identificó diversas tipologías en las manzanas de estudio y comprobó la existencia de edificios especiales, los cuales se analizaron aparte debido a su importancia, según lo establecido en la norma Nch 433 Of 96 modif. 2009. En cada manzana se identificaron los barrios existentes, con énfasis en manzanas con topologías y datos similares y estructuras que presentaron un daño notable o que eran muy antiguas. Para el catastro de líneas vitales se elaboró una base de datos con información de su infraestructura, ubicación y estado actual para la generación de fichas SNIT. A su vez, esta base de datos permite armar escenarios de daño directo, gracias a funciones de vulnerabilidad (adaptadas a nuestro país) del reporte ATC-25.

3.- Peligrosidad sísmica

En esta etapa se caracterizó la dinámica de los suelos mediante el método de la razón espectral H/V de Nakamura (1989) para obtener períodos fundamentales de vibración de suelo, basado en el registro de microtemblores, y así estimar efectos de sitio y correlacionar estos resultados con la geología local. Para esto se realizó una campaña de microzonificación sísmica, en la cual se subdividió el área de estudio y se realizaron mediciones de microvibraciones ambientales empleando equipos sismológicos de alta sensibilidad y rango dinámico. Los aparatos utilizados fueron equipos GeoSIG triaxiales (Geófonos) los cuales registran ondas de frecuencia comprendidas entre 4.5 Hz y 50 Hz. Se realizaron mediciones de 20 minutos cada una, donde el distanciamiento entre puntos de medición dependió de las características propias de cada zona. En el caso de zonas urbanas la subdivisión se hizo por manzanas, tomando puntos aproximadamente cada 300 metros, mientras que en las zonas de riesgo (subsistencia, remoción en masa, grietas, licuefacción, etc) se incrementó la densidad de mediciones para lograr una buena estimación de los parámetros dinámicos de los suelos.

4.- Vulnerabilidad en Estructuras Urbanas, Líneas Vitales y Construcciones Esenciales

Se determinó mediante Matrices de Probabilidad de Daño, las cuales permiten conocer, dada una cierta intensidad sísmica, la distribución del nivel de daño esperado. Estas matrices relacionan la intensidad con el grado de daño para un tipo de edificio o estructura y cada matriz de probabilidad de daño está definida para una cierta intensidad sísmica. La escala de intensidades usada para el análisis de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras urbanas es la EMS-98, que define 12 tipos de

intensidades desde I: No percibido, hasta XII: Devastación total, considerando cuatro grandes categorías definidas por materiales dominantes empleados en la construcción de su sistema resistente: Mampostería, Hormigón Armado, Metal y Madera. Para el análisis de vulnerabilidad de las líneas vitales en las zonas afectadas, se usaron funciones de vulnerabilidad, para describir el desempeño esperado o asumido de cada línea vital. Esta metodología está diseñada para infraestructura y tipología de suelo estadounidense, por lo tanto en este estudio se usaron estas funciones de vulnerabilidad adecuadas al contexto nacional, interpolando sus valores, en algunos casos, bajo el criterio de daño observado en terremotos anteriores de Chile, incluyendo el del 27-F del 2010.

RESULTADOS

A modo de concentrar la atención en la metodología utilizada, se muestran los resultados obtenidos en la localidad de Pitrufrquén como caso de aplicación.

1.- Caracterización Geotécnica

En base a la estratigrafía y análisis realizados en laboratorio se revela que en este sector predominan los suelos gravosos, bien graduados, de plasticidad nula, de compacidad baja a media. La matriz del suelo es arena limosa, presenta una buena condición de fundabilidad, siendo apta para cualquier tipo de edificación, pudiendo usarse sistemas de fundación aislados sin problemas. Se estudiaron de forma específica los suelos para los sectores específicos evaluados en Pitrufrquén determinando que no existe el riesgo de licuefacción, ya que no cumplen con las características básicas de los suelos licuables, tales como suelos finos no plásticos y presencia de napas en niveles superficiales (MINVU 2011). Con respecto a los problemas geotécnicos evidentes durante el trabajo de campo, éstos se presentaron sólo en las laderas del río. De las grietas informadas por SERNAGEOMIN (2010), quedaban muy pocos registros, principalmente porque los vecinos del área las taparon y rellenaron.

2.1.- Catastro urbano

En la zona de estudio se parcelaron 35 manzanas a lo largo de la ribera del río Toltén y que corresponde al área más afectada por el 27-F. Esta área está formada por varios barrios, con tipología predominante de Pórticos y paneles de madera, donde lo que varía entre ellos es la data, siendo la mayoría de 30 a 40 años, con un gran porcentaje de condición preexistente regular y deterioro de grado muy leve. La mayoría de estas estructuras son casas, que presentan autoconstrucción y remodelación de las estructuras originales. Se evaluó dentro de los edificios de importancia especial un Centro de Salud, el cual fue remodelado y aún no se inauguraba al momento del catastro. Este edificio poseía muros de hormigón armado en muy buenas condiciones. En la misma manzana, se evaluó el edificio de Policía de Investigaciones, estructura de un piso con muros de hormigón armado y muy poco deterioro. Ninguno de estos edificios presentó fallas para el terremoto del 27-F.

2.2.- Catastro líneas vitales

Las tipologías de líneas vitales encontradas en Pitrufrquén corresponden a:

a) Líneas Vitales que permiten la movilidad:

Como línea vital principal se catastró la Ruta 5 sur, que atraviesa Pitrufrquén. Está conformada por una carpeta asfáltica de alto estándar. Con aproximadamente 10 años, posee una condición preexistente buena, deterioro nulo y nivel de importancia muy alta. También se catalogó como línea vital

la vía férrea de Pitrufuquén. Su data es de aproximadamente 100 años, su condición pre-existente es mala, su deterioro es Moderado y su grado de importancia Alto.

b) Líneas Vitales asociadas con el aprovisionamiento:

Se identificó la planta de subestación eléctrica CGE, conformada por pórticos de acero liviano, con aproximadamente 20 años, una condición pre-existente buena, deterioro muy leve e importancia muy alta. También se detectó una línea de transmisión de alta tensión de celosía de acero galvanizado con una importancia muy alta como línea vital, una condición preexistente buena y un deterioro nulo. De importancia muy alta se catastraron dos estanques elevados de agua potable. El más antiguo, de aproximadamente 50 años, presenta una condición pre-existente regular y un deterioro Moderado, mientras que el otro posee una condición pre-existente buena y un deterioro muy leve.

c) Líneas Vitales que posibilitan la comunicación:

Se encontraron tres sistemas de comunicación: una antena de comunicaciones CGE, en celosía metálica, de aproximadamente 20 años de edad, condición pre-existente buena y deterioro muy leve; una antena de telefonía móvil de perfil de acero tubular, con alrededor de 5 años, condición pre-existente buena y deterioro muy leve; y otra antena de telefonía móvil, conformada de celosía metálica, con una data de 10 años, una condición pre-existente buena y deterioros muy leves. Las dos primeras son de categoría Importante y la tercera de Importancia alta.

3.- Peligro sísmico

Aplicando la técnica de la razón espectral de Nakamura al registro de señales de microvibraciones, se registraron períodos entre 0.287 seg. y 0.78 seg. Las variaciones de los períodos dominantes, evidencian comportamientos dinámicos distintos en el suelo. Ahora, en términos de efectos de sitio, podemos ver que para Pitrufuquén, más de un 65% de la superficie correspondiente a la zona analizada se encuentra en una condición de amplificación media, valor que implica incrementos leves en la peligrosidad por este concepto. Se debe tener cierta consideración con superficies donde se obtuvieron amplificaciones altas y muy altas (23% y 4% respectivamente), ya que si bien no representan la mayoría del área estudiada, eventualmente se generarían en estas zonas mayores amplificaciones del movimiento sísmico.

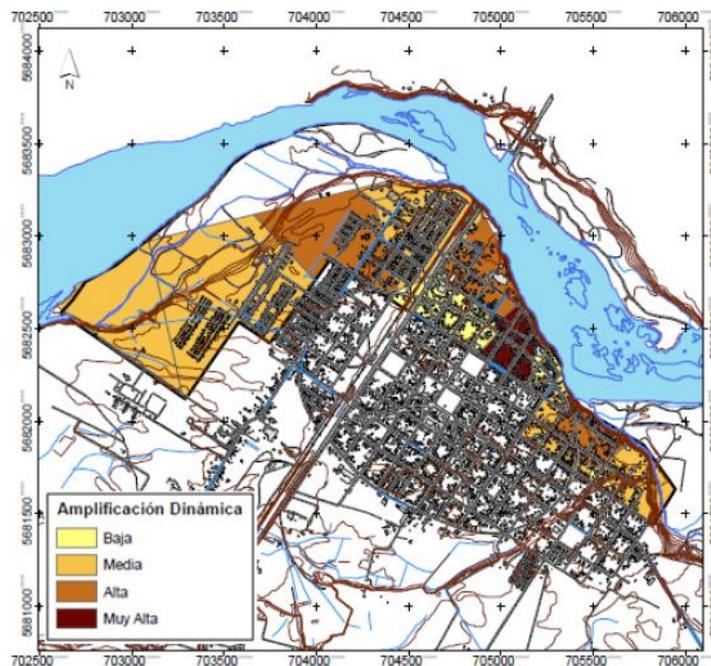


Fig. 8 Mapa de efectos de sitio para la zona de estudio

3.1. Efectos de sitio. Estimación de las amplificaciones locales.

Dado que las amplitudes evaluadas usando la técnica de Nakamura corresponden a una función de transferencia, amplitudes altas se asocian a mayores amplificaciones del movimiento sísmico, lo que sumado al extenso catálogo de valores de amplificación para distintos tipos registros determinados en diferentes localidades, permitieron subdividir las amplificaciones del suelo obtenidas en cuatro intervalos: bajo, medio, alto y muy alto. Este análisis permitió construir un mapa que estima las amplificaciones locales que experimentaría el suelo de fundación (Figura 8). En base a estos resultados es recomendable además realizar estudios que analicen posibles efectos de amplificación topográfica producto del talud prácticamente vertical que se presenta en el borde del río.

4.- Vulnerabilidad Sísmica en Estructuras Urbanas, Líneas Vitales y Construcciones Esenciales

El análisis del catastro estructural de vulnerabilidad sísmica del sector de estudio en Pitrufquén, determinó que la mayor parte del parque edificado de la zona clasifica como de vulnerabilidad media. No se identificaron edificios en condición de vulnerabilidad muy alta, así como tampoco se identificaron edificios de clase no vulnerables. Al cuantificar las clases de vulnerabilidad en términos de superficie y distribuirlo porcentualmente se obtuvo que la clase de vulnerabilidad es media y representa más del 30% del área de estudio, y se asocia típicamente a viviendas unifamiliares de uno o dos pisos, de paneles de madera o albañilería, la mayoría de autoconstrucción y data variable, seguido por la clase muy poco vulnerable, que se asocia a estructuras de menor data y mejor calidad constructiva.

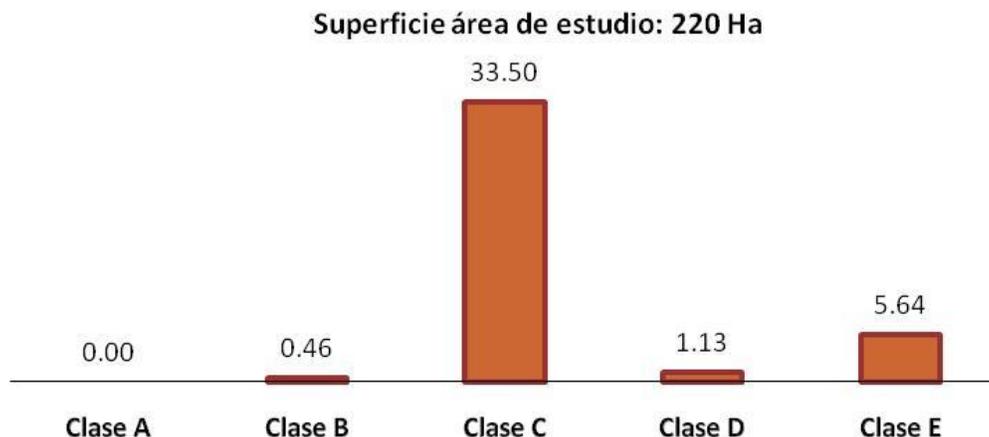


Fig. 9 Distribución de clases de Vulnerabilidad con respecto al área de estudio (%)

La adaptación metodológica de la ATC 25, permitió determinar que en este caso que para intensidades de Mercalli bajas (<6), el daño directo es muy bajo, y que para la condición del sismo esperado de período de retorno de 475 años (10% de probabilidad de excedencia en 50 años), es decir para $I = 6.9$, aumenta ligeramente el daño directo. De los sistemas analizados, son las antenas de comunicaciones las menos vulnerables, con porcentajes de daño prácticamente nulos, y las máximas, se asocian a la subestación eléctrica, con un 6% de daño directo. Para sismos más intensos, aumenta evidentemente el daño directo, pudiendo llegar a valores superiores al 18% en el estanque antiguo de la planta de tratamiento de agua potable, y sobre el 22% para la subestación eléctrica, considerando en ambos casos un sismo de intensidad 9.

BIBLIOGRAFÍA

ATC-25. Seismic vulnerability and impact of disruption of lifelines in the conterminous United States. Federal Emergency management Agency. 555 Twin Dolphin Drive. 1991. Suite 550. Redwood City. CA 94065.

AYALA FRANCISCO. Estrategias para la reducción de desastres naturales. Investigación y Ciencia. 1993. Mayo. p. 6-13.

AYALA-CARCEDO FRANCISCO & JORGE OLCINA. Riesgos naturales. 2002. Editorial Ariel Ciencia. Barcelona, España.

AYALA-CARCEDO, FRANCISCO. Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación a la definición de tipos de mapas de riesgos geológicos. *Boletín Geológico y Minero*, ITGE, 1990. Madrid, Vol. 101-3, 456-467.

BORJA BAEZA ROBERTO & IRASEMA ALCÁNTARA AYALA. Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla. *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 2004. Núm: 53, pp. 7-26

BOROSCHEK RUBEN, RUBEN SOTO, LEON RUIZ, DIANA COMTE. Terremoto Centro Sur de Chile 27 de Febrero de 2010. Informe Preliminar No. 3, 2010. Departamento de Ingeniería Civil y

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

FERRANDO, Francisco. En torno a los desastres “naturales”: Tipología, conceptos y reflexiones. Boletín del Instituto de la Vivienda 2003. Vol. 18, N° 047. [En línea]. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

GOBIERNO DE CHILE, MINISTERIO DEL INTERIOR Decreto N° 150 del Ministerio del Interior declara como zona afectada por la catástrofe derivada del terremoto a las regiones V, VI, VII, VIII, IX y Metropolitana. 2010.

KOVACIC S. Determinación de áreas de riesgos por inundación en la comuna de Vitacura. Revista Geográfica de Chile Terra Australis. 1991. N° 34.

LAGOS MARCELO & GUTIERREZ DANTE. Simulación del tsunami de 1960 en un estuario del Centro-Sur de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2005, vol. 33, p.5-18.

LEY GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIÓN (LGUC), MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. Santiago. (1976). Revisado el 22 de Abril del 2011 desde http://www.minvu.cl/opensite_20061113165630.aspx

MARDONES, M. *ET AL*. Zonificación y evaluación de riesgos naturales, en el área metropolitana de Concepción. Informe Final Fondecyt. 1995. 92-0251.

MARDONES, MARIA Y CLAUDIA VIDAL. La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológicos: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *Revista EURE*. 2001. 27 81: 97-122.

MONTENEGRO-ROMERO TATIANA; PEÑA-CORTÉS FERNANDO. Gestión de la emergencia ante eventos de inundación por tsunami en Chile: el caso de Puerto Saavedra. *Revista de Geografía Norte Grande*. 2010. Volumen 47, 63-80 pp.

NAKAMURA YUTAKA (1989) A method for dynamics characteristic estimation of surface using microtremors on the ground surface. *Quarterly Report of Railway Tech. Res. Inst.*, pp. 25 – 33.

PERUCCA, LAURA, MIGUEL ÁNGEL PEREZ Y CARLOS NAVARRO. 2006. Fenómenos de licuefacción asociados a terremotos históricos. Su análisis en la evolución del peligro sísmico en Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina* 61:567-578.

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (SERNAGEOMIN) Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010. Informes preliminares varias comunas. 2010. Temuco.

SEPULVEDA NAVARRETE, M. ANTONIETA. Prevención de riesgos y catástrofes urbanas. El caso de Santiago oriente, La Dehesa-Lo Barnechea *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*. 1991. N° 34. PP. 91-104.

SECRETARÍA REGIONAL MINISTERIAL DE VIVIENDA Y URBANISMO DE LA REGIÓN DE LOS RÍOS. Informe de Situación de Comunas Costeras en las regiones de La Araucanía y Biobío tras el sismo del 27 de Febrero De 2010. Gobierno de Chile. 2010.

SECRETARÍA REGIONAL MINISTERIAL DE VIVIENDA Y URBANISMO DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANIA. Estudio de riesgo – informe antisísmico y adecuación estudio PRC de Pitrufquén, region de La Araucania. Etapa IB recopilación de información y estudios de campo. Caracterización geológica y geotécnica de Pitrufquén. 2011. 51 pp.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS) (2010). ShakeMap us2010txak: Offshore Bio-Bio, Chile.
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/global/shake/2010txai/>

VALDEBENITO, GALO. Mw = 8.8, 27 FEBRERO 2010, CHILE: ANATOMIA DE UN DESASTRE, Conferencia Magistral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 2010.