



Microzonificación Sísmica en Zonas de Geología Compleja. Evaluación del Peligro Sísmico Local en Valdivia, Chile

D. Alvarado⁽¹⁾, G. Valdebenito⁽¹⁾

⁽¹⁾ Académico, Instituto de Obras Civiles Universidad Austral de Chile, gvaldebe@uach.cl ; david.alvarado@uach.cl

Resumen

En el año 1960, la ciudad de Valdivia se vio afectada por el terremoto más potente registrado en la historia humana (Mw=9,5). Los grandes movimientos en superficie fueron amplificados por la mala calidad de los suelos de fundación que conforman la ciudad, los cuales además presentan una distribución espacial muy compleja. Considerando las desastrosas consecuencias de estos eventos, se evidencia la necesidad de contar con estudios actualizados de peligro sísmico local en zonas de elevada sismicidad y geología compleja.

Con el fin de cuantificar los efectos del suelo en la respuesta sísmica, se llevó a cabo un estudio de microzonificación, el cual permitió obtener características dinámicas de los suelos. Se determinó la distribución espacial de los periodos fundamentales de vibración del suelo y una cuantificación de los efectos de sitio a partir de una campaña de campo, donde se midieron 260 puntos de microvibraciones ambientales. Para el procesamiento de las señales se aplicó el método de las razones espectrales H/V de Nakamura, para luego generar mapas de isoperíodos del suelo y efectos de sitio, aplicando técnicas basadas en sistemas de información geográfica. Posteriormente, los parámetros dinámicos del suelo obtenidos a partir de la microzonificación fueron superpuestos con estudios geológicos y geotécnicos. Es destacable que el análisis comparativo de los efectos de sitio resultó ser consistente con los estudios geológicos y de respuesta sísmica en una buena cantidad de sectores de la ciudad de Valdivia, por lo que es posible concluir que la estimación de las amplificaciones locales a partir de las máximas amplitudes de registro resulta ser un buen indicador de los efectos de sitio. Por otra parte, se evidencia aún más la complejidad de la geología local al verificar las variables profundidades al basamento rocoso en distintos puntos de la ciudad.

Palabras clave: Peligro sísmico local, microzonificación sísmica, efectos de sitio, razón espectral H/V de Nakamura

Abstract

In 1960, the city of Valdivia was affected by the strongest earthquake ever recorded in human history (Mw = 9.5). Large surface motion was amplified by the poor quality of the soil, which also have a very complex spatial distribution. Considering the disastrous consequences of these events, the need of evaluating the local seismic hazard in areas of very high seismicity and complex geology are absolutely necessary in order to improve not only the seismological knowledge but also the implementation of local regulations based on a local definition of the seismic demand.

In order to quantify the effects of the soil on the seismic response, a microzonation is carried out in Valdivia, Chile, which allowed obtaining dynamic characteristics of soils. The spatial distribution of the predominant periods of vibration of the ground and a quantification of the site-effects by means of geotechnical and geophysical field surveys is exposed, where 260 exploration points were considered. For the evaluation of the predominant periods and site-effects, ambient microtremors were used applying the spectral H / V Nakamura's method. Based on geoprocessing GIS techniques, soil isoperiods and site-effects were calculated and represented by thematic maps. Subsequently, the dynamic parameters obtained from soil microzonation were compared and calibrated with the available geotechnical and geological data. It is noteworthy that the comparative analysis of the site-effects is absolutely consistent with the geological data and seismic effects observed in past events in Valdivia, so we can conclude that the estimation of local amplifications obtained from the geophysical surveys is a good indicator of site-effects. Moreover, the effects of the complexity of the local geology are even more evident when checking variable bedrock depths in different parts of the city.

Keywords: Local Seismic Hazard, Seismic Microzonation, Site-effects, Nakamura's H/V Spectral Ratio

1 Introducción

En términos generales, es posible definir el riesgo sísmico como la convolución entre la peligrosidad, la vulnerabilidad y el coste, éste último, cuantificado desde el punto de vista urbano con la exposición [1]. El presente estudio apunta a caracterizar de uno de los factores medulares en la definición del riesgo sísmico, esto es, la peligrosidad sísmica local, que considera principalmente las características de respuesta del suelo en la zona de emplazamiento.

Entre los elementos que permiten cuantificar el peligro sísmico a nivel local, juegan papel fundamental los estudios de microzonificación. Estos estudios revisten una vital importancia, ya que mediante una microzonificación sísmica se puede dividir el territorio en áreas con características dinámicas similares y posteriormente generar directrices constructivas para la correcta edificación antisísmica, particularizando cada obra según el tipo de suelo en que será fundada.

Los métodos utilizados para caracterizar la respuesta del suelo ante un evento sísmico pueden ser clasificados en métodos numéricos y métodos experimentales. Entre los métodos experimentales para considerar efectos locales, han tenido gran aceptación en las últimas décadas los basados en microtemores, o microvibraciones ambientales. Mediante el análisis de las mediciones de microvibraciones ambientales se puede determinar el período fundamental de vibración cuando existe un contraste de impedancia importante entre los estratos que conforman el depósito sedimentario [1]. Para su análisis se han desarrollado una variedad de métodos para determinar las propiedades dinámicas del suelo (período fundamental, amplificación local, velocidad de las ondas de corte, etc.), sin embargo, de las diferentes técnicas que utilizan microtemores, ha tenido una amplia aceptación el método de las relaciones espectrales H/V conocido como método de Nakamura [1].

Hoy en día, debido a que el método de Nakamura sólo requiere analizar los datos registrados por una estación de tres componentes, ha sido un método ampliamente popularizado y se ha convertido en una herramienta fundamental en los estudios de microzonificación realizados en países como España [1], México [1] y Japón [1] entre otros.

El presente estudio se enfoca principalmente en exponer los resultados de la microzonificación sísmica realizada en la ciudad de Valdivia. La estructura general del presente artículo incluye una contextualización del peligro sísmico uniforme a partir de una revisión de estudios realizados por otros autores. Luego, se exponen los antecedentes geológicos y geomorfológicos que caracterizan los suelos ciudad de Valdivia. Posteriormente se describe la campaña de microzonificación sísmica y sus principales resultados, los cuales son expuestos mediante mapas temáticos generados a partir técnicas basadas en sistemas de información geográfica. Estos mapas son superpuestos con los antecedentes geológicos y geomorfológicos a fin de efectuar un análisis comparativo que permita establecer correlaciones con la respuesta sísmica de los suelos.

2 Caracterización sismotectónica y antecedentes de peligro sísmico uniforme para la ciudad de Valdivia

La ciudad de Valdivia se localiza a 73°14' longitud oeste y 39°49' latitud sur. En estas latitudes, al igual que en la mayor parte del territorio chileno, la generación de terremotos se produce principalmente debido al mecanismo subductivo generado por el choque de la placa de Nazca y la placa Sudamericana, formando para la zona de interés un ángulo de inclinación promedio de 28° [1]. Respecto a la tasa de desplazamiento entre las placas, estudios recientes indican que existe una tasa

de convergencia de 6.8 cm/año [1]. Esta colisión hace que el territorio nacional esté afectado principalmente por tres tipos de terremotos o fuentes sismogénicas: de contacto entre placas o interplaca, intraplaca de profundidad intermedia e intraplaca superficial o cortical (Fig. 1). Una revisión más detallada de las fuentes sismogénicas presentes en el territorio nacional puede encontrarse en Leyton et al [1].

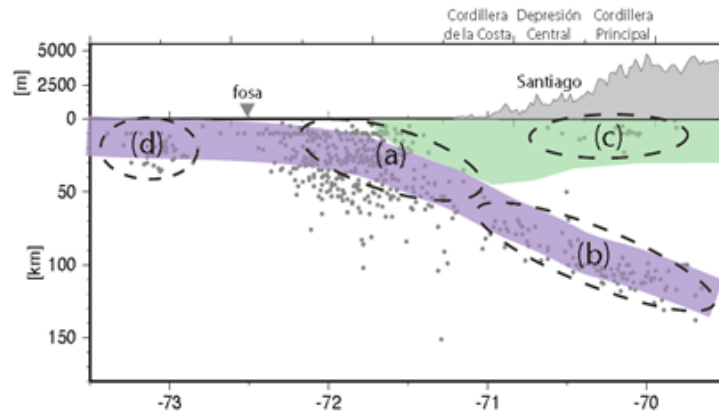


Fig. 1 –Principales fuentes sismogénicas. El color azulado representa la posición esquemática de la placa de Nazca y verde, la placa Sudamericana. Las líneas punteadas indican la posición de las principales fuentes sismogénicas (a) interplaca tipo thrust; (b) intraplaca de profundidad intermedia;(c) corticales y (d) outer-rise. [1]

Dado que la ciudad de Valdivia se encuentra en la zona sur del territorio chileno, la sismicidad que la afecta es menor en relación a las zonas norte y centro del país. Sin embargo, esta menor sismicidad da lugar a la generación de sismos de gran magnitud en intervalos de tiempos mayores. Este fenómeno se atribuye principalmente a la juventud de la Placa de Nazca, producto de la cercanía a la dorsal, y a la rápida convergencia con respecto a la Placa Sudamericana. Esta combinación, condiciona un fuerte grado de acoplamiento mecánico entre las placas mencionadas permitiendo una gran capacidad de acumulación de energía de deformación que se libera en sismos de gran magnitud, destacando el ocurrido el 22 de mayo de 1960 (Mw=9.5).

Resulta importante mencionar que la zona de estudio se ve afecta a una zona de fallas superficiales que se extiende por unos 1200 Km desde la zona de Liquiñe, en la provincia de Valdivia, hasta el Golfo de Penas en el sector del Istmo de Ofqui (Falla Liquiñe-Ofqui). Asociado a esta falla se presentan una serie de sismos de tipo Cortical, sin embargo, estudios recientes indican que la fuente sismogénica de mayor participación en la zona corresponde a los sismos de tipo interplaca, es decir, aquellos situados en la costa y con profundidades menores a 60 Km [1]. Lo anterior, sigue la tendencia nacional que indica que este tipo de sismos son los más frecuentes y por ello, controlan las evaluaciones de peligro sísmico uniforme.

Respecto a los antecedentes de peligro sísmico uniforme para la ciudad de Valdivia, un estudio reciente realizó una evaluación empleando metodologías determinista y probabilista [1]. Para esto se actualizó el catálogo sísmico regional a fin de generar leyes de productividad de Gutenberg-Richter, concluyendo que la mayor sismicidad se asocia a sismos de tipo interplaca, seguido por la sismicidad intraplaca de profundidad intermedia y finalmente la sismicidad cortical con un aporte no menor para magnitudes pequeñas ($4.5 < M_s < 5.5$). Adicionalmente, se calibraron las leyes de atenuación utilizando datos locales, se separaron los eventos por fuente sismogénica y se incorporaron los registros de aceleración del terremoto del 27 de febrero de 2010. Con estos datos, los valores de la evaluación

más desfavorable para la ciudad de Valdivia, indican que es posible esperar valores máximos en términos de PGA en torno a 0.65 g, y en términos de intensidad en torno a 10 IMM. Considerando estos valores se desprende que la ciudad se ve afectada a valores de peligro sísmico uniforme ubicados en un rango muy alto, por lo que se hace presente la necesidad de realizar estudios que consideren las amplificaciones locales de la respuesta sísmica en los suelos de la ciudad.

3 Antecedentes geológicos y geomorfológicos de los suelos presentes en la ciudad de Valdivia

La ciudad de Valdivia está situada en una cuenca desarrollada en la Cordillera de la Costa, caracterizada por la confluencia entre los ríos Calle-Calle y Cruces. La cuenca basal atribuye su origen a grandes movimientos tectónicos, modificándose en el tiempo debido a la erosión marina fluvial. Se constituye principalmente por mica-esquistos de topografía basal muy irregular (conocida en la zona como "piedra laja"), las cuales corresponden a rocas metamórficas antiguas [1].

Luego de una serie de procesos geológicos que incluyen el reciente terremoto de 1960, la mayor parte del suelo natural de la ciudad se desarrolla sobre terrazas de origen fluvial, a una altura promedio de 9 m sobre el nivel del río, las cuales configuran un paisaje de superficies mayoritariamente planas.

La geología superficial de la ciudad presenta una distribución espacial bastante compleja. Entre los principales depósitos que conforman la ciudad se incluye: los depósitos fluvio-estuarinos antiguos, los depósitos fluviales y estuarinos recientes, los rellenos artificiales, y las zonas de vegas. Según los mapas geológicos elaborados para la ciudad por el Servicio Nacional de Geología y Minería [1], a cada uno de estos depósitos se le asocia un nivel de amplificación sísmica considerando las intensidades durante el sismo de 1960 (Mw=9.5). Adicionalmente, se califica la aptitud para la construcción de los depósitos en cinco intervalos: muy buena, buena, regular, mala y muy mala, los cuales han sido definidos en base a los problemas geotécnicos esperados y observados durante el terremoto de 1960. A fin de resumir lo anterior, y exclusivamente en base a los estudios de SERNAGEOMIN [1], la Tabla 1 resume las propiedades de los principales depósitos de suelos presentes en la ciudad de Valdivia.

Tabla 1 – Características geotécnicas básicas y respuesta sísmica, Valdivia [1]

Unidad geológica	Descripción	Amplificación sísmica en el terremoto de Valdivia 1960 (Mw=9.5)	Aptitud para la construcción
Relleno Artificial (R)	Composición y espesores muy variables. Contienen arcillas, limos, arenas, gravas, escombros, maderas, desechos y bloques de roca.	Muy alta (Incremento de intensidad sísmica > 3.0 MM)	Muy mala
Vegas (V)	Depósitos de pantano y fluviales recientes. Arcillas y limos con alto contenido de material orgánico y lentes de arena.	Alta (Incremento de intensidad sísmica entre 2.5 y 3.0 MM)	Muy mala
Depósitos fluviales y estuarinos (FE)	Sedimentos recientes constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas con algunos lentes de alto contenido orgánico.	Media-Alta (Incremento de intensidad sísmica entre 2.0 y 3.0 MM)	Regular - Mala (Según sector)
Depósitos fluvio-estuarinos (F)	Secuencia de sedimentos antiguos compuestos de arcillas, limos arenas y gravas.	Media-Baja (Incremento de intensidad sísmica entre 1.5 y 2.5 MM)	Regular - Buena (Según sector)

En síntesis, la amplia variedad de suelos que conforman la ciudad de Valdivia, con propiedades marcadamente diferentes y con una complicada distribución espacial, deja en evidencia la necesidad de contar con estudios adicionales que caractericen de mejor forma las propiedades dinámicas de los mismos.

4 Campaña de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Valdivia

Aspectos metodológicos

El área de estudio abarcó casi en su totalidad el sector urbano de la ciudad de Valdivia. En términos de superficie, la zona de estudio contempla un total aproximado de 25.66 km². Cabe destacar que el espaciamiento entre la gran mayoría de los puntos de medición resultó acorde a las recomendaciones para estudios de microzonificación propuestos por SESAME [1], en donde se sugiere adoptar un espaciamiento inicial de 500 m entre dos puntos adyacentes de registro. No obstante, en el caso del sector céntrico de la ciudad, el espaciamiento entre puntos fue mucho menor, por lo cual es el sector de estudio que posee la mayor densidad de puntos por km² (88 Puntos/km²). Se adoptó este criterio en el plan de trabajo en vista de que evidentemente en este sector se concentra la mayor cantidad de actividades de la ciudad, lo cual enfocado desde el punto de vista del riesgo sísmico, determinará una alta exposición en la zona acorde a la mayor densidad poblacional que esta posee.

Para la adquisición de datos de microvibraciones ambientales se emplearon equipos triaxiales que presentan curvas de respuesta plana en velocidad (geófonos). Se utilizaron equipos GeoSIG y equipos Micromed Tromino, realizando mediciones de 15 a 20 minutos de duración a tasas de muestreo de 50, 100 y 128 Hz, en función de las características del equipo utilizado. Para la toma de datos en terreno, los equipos son adecuadamente orientados según norte magnético, georreferenciados y configurados para la captura de datos usando los transductores de velocidad en alta ganancia, como es característico para mediciones de microvibraciones ambientales.

Post-procesamiento de las señales de microvibraciones ambientales

El procedimiento para el procesamiento de las señales de vibraciones ambientales se basa en el trabajo publicado por Nakamura [1], el cual propone que la razón espectral entre la componente horizontal y la vertical (H/V) del registro de microvibraciones en superficie, permite determinar el período fundamental de vibración del suelo.

En base a esto, en lo que respecta a los equipos GeoSIG, los datos registrados son convertidos a formato SEISAN, para luego ser procesados en un programa de LINUX, sistema operativo Ubuntu o Macintosh. El procesamiento de los datos en los equipos TROMINO es realizado en el software Grilla V 6.1. Este software permite además verificar el cumplimiento de nueve criterios de aceptación SESAME [1] para la obtención de curvas H/V confiables. Con el fin de que las señales procesadas cumplan con estos criterios, estas pueden ser ajustadas mediante un post-proceso que incluye un filtrado de la señal en el tiempo, la variación del tamaño de las ventanas y el ajuste del suavizado utilizando ventanas de tipo triangular.

Cuantificación de los efectos de sitio

Aunque la principal información buscada al analizar las curvas H/V es la frecuencia fundamental de los depósitos de suelo, el valor de máxima amplitud asociada a dicha frecuencia puede ser considerado como un indicativo de los contrastes de impedancia en el lugar de estudio, ya que los valores máximos se asocian a fuertes contrastes de velocidad en la propagación de las ondas en el suelo [1].

Al respecto, un estudio realizado en el marco del proyecto SESAME [1], efectuó comparaciones entre la relación H/V de vibraciones ambientales y la relación estándar espectral de terremotos usando un sitio de referencia. Aunque se obtuvieron buenos resultados al comparar el valor de la frecuencia fundamental obtenida al utilizar ambos métodos, se demuestra que no está científicamente justificada la utilización de la amplitud máxima de la relación H/V como un factor real de amplificación del sitio. Sin embargo, la tendencia general es que la máxima amplitud H/V subestima la amplificación real del sitio, es decir, se concluye que la máxima amplitud de la relación espectral H/V puede ser considerado como un límite inferior de la amplificación real del sitio [1]. Consecuente con esto, otros estudios han demostrado que la presencia de un pico de gran amplitud indica que existe un fuerte contraste entre la capa de sedimento y el basamento rocoso [1].

A la luz de lo anterior, es posible afirmar las amplitudes altas evaluadas usando la técnica de Nakamura se asocian a mayores amplificaciones del movimiento sísmico. Es por esto que con el fin de cuantificar éstos efectos, se han formulado intervalos que estiman las amplificaciones locales, basándose en el extenso catálogo de microvibraciones obtenidos durante la campaña, para distintos tipos de suelo, ordenados de menor a mayor amplitud, y según el tipo de equipo de registro. En base a esto, se han definido cuatro intervalos: bajo, medio, alto y muy alto, los cuales son graficados en una escala de colores que definirá el mapa de efectos de sitio expuesto más adelante. Es importante notar que el análisis de las máximas amplitudes de registro constituye solo una primera aproximación al problema de evaluación de efectos de sitio.

Mapas de resultados y discusión

Los mapas de isoperíodos del suelo y efectos de sitio para la ciudad de Valdivia se generaron mediante la aplicación de técnicas de geoprocésamiento al conjunto de resultados obtenidos. Se utilizó el programa ArcGis Versión 9.3, georreferenciando los puntos en base al datum y elipsoide de referencia WGS 84. Para la interpolación de los valores entre puntos vecinos se utilizó la técnica de interpolación "topogrid".

Con el fin de generar una representación gráfica adecuada de la distribución de los periodos fundamentales de vibración del suelo, se procedió a clasificar los valores en seis intervalos, a cada uno de los cuales se le asigna un color distintivo. En base a lo anterior, el mapa de isoperíodos del suelo se expone en la Fig. 2.

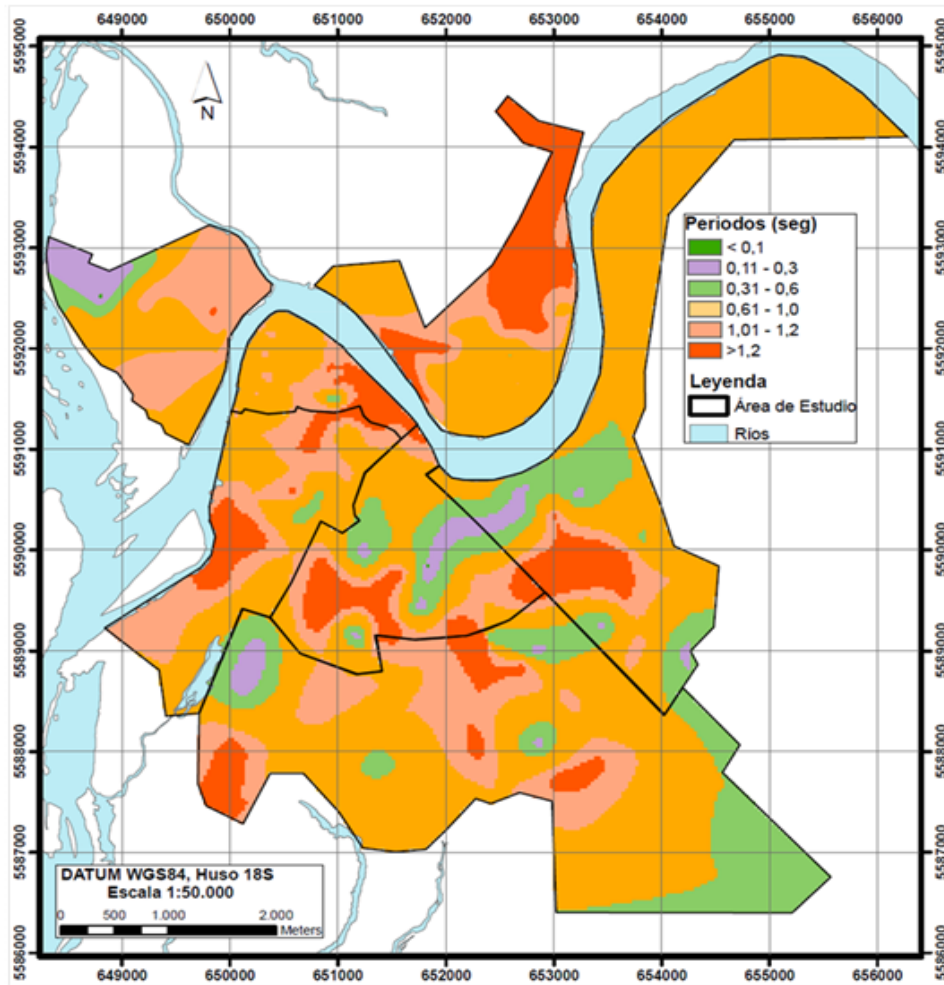


Fig. 2 Mapa de isoperiodos del suelo - Valdivia. (S/E)

Observando el mapa, se aprecia que la mayor parte de los depósitos de suelo de la ciudad presentan periodos sobre 0.6 segundos. Luego de superponer estos resultados con los mapas geotécnicos y geológicos, no fue posible identificar una correlación evidente entre los periodos del suelo y la geología local. Esta condición se atribuye principalmente a las variables profundidades que presenta el basamento rocoso en los distintos sectores de la ciudad, lo cual influye directamente en la estimación de los periodos según el modelo dinámico del subsuelo definido para la aplicación del método de Nakamura.

En lo que respecta a la cuantificación de los efectos de sitio en base a la escala de amplificación dinámica definida, se puede observar lo siguiente (Fig. 3).

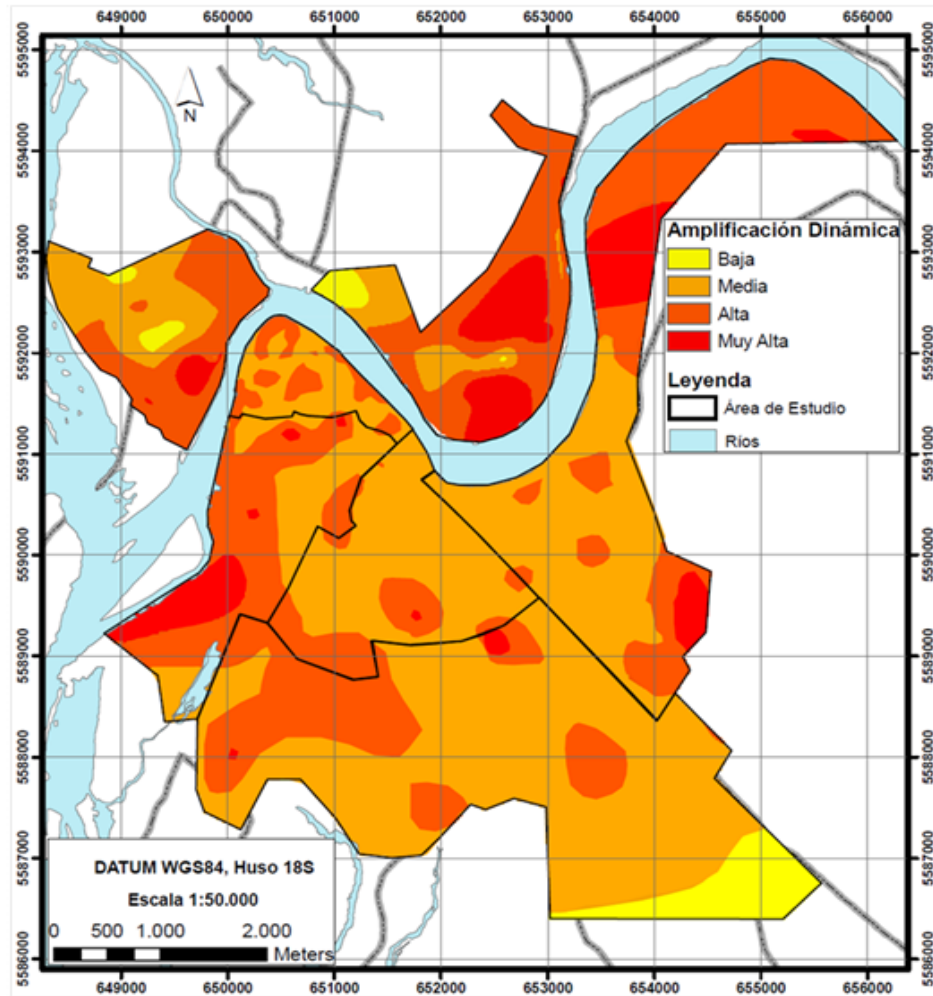


Fig. 3 Mapa efectos de sitio - Valdivia. (S/E)

Si se superponen los niveles de amplificación dinámica obtenidos con los mapas geológicos elaborados por el Servicio Nacional de Geología y Minería [1], es posible observar claras correlaciones en zonas donde se obtuvieron factores de amplificación altos y muy altos, con lugares donde existen rellenos artificiales y vegas, más específicamente en las riberas del río Calle-Calle y el importante sector de rellenos en la parte central de la ciudad. Según estudios previos, estos sectores evidencian una mala aptitud para construcción, y presentaron amplificaciones sísmicas de importancia para el terremoto de 1960. Por otra parte, en sectores donde predominaron los factores de amplificación sísmica en niveles medios, existe un amplio predominio de los sedimentos fluvioestuarinos de regular a buena aptitud para la construcción.

El hecho de que en una buena cantidad de sectores de la ciudad de Valdivia el análisis de los efectos de sitio resultara ser consistente con los estudios geológicos y de respuesta sísmica, indica que la estimación de las amplificaciones locales a partir de las máximas amplitudes de registro suele ser un buen indicador de los efectos de sitio.

5 Conclusiones

A partir del presente estudio es posible concluir que los estudios de microzonificación sísmica complementados con estudios geológicos y geotécnicos constituyen un insumo fundamental para establecer zonas homogéneas donde los depósitos de suelos presenten similar respuesta dinámica.

Respecto del análisis de la distribución espacial de los periodos fundamentales del suelo, no fue posible establecer una correlación directa con los distintos suelos que componen la geología local. Este hecho se atribuye principalmente a las variables profundidades del basamento rocoso, lo cual influye directamente en la estimación de los periodos según el modelo dinámico del subsuelo definido para la aplicación del método de Nakamura.

En contraste con lo anterior, el análisis de los efectos de sitio resultó ser consistente con los estudios geológicos y de respuesta sísmica en una buena cantidad de sectores de la ciudad de Valdivia. Destaca en particular el hecho de que se obtuvieron altos factores de amplificación en sectores ribereños del río Calle Calle y en lugares donde existen rellenos artificiales y vegas, los cuales según estudios anteriores presentaron amplificaciones sísmicas de importancia para el terremoto de 1960 y evidencian una muy mala aptitud para construcción. A la luz de estos resultados, es posible concluir que la estimación de las amplificaciones locales a partir de las máximas amplitudes de registro suele ser un buen indicador de los efectos de sitio.

6 Agradecimientos

A la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI), por el patrocinio brindado al presente proyecto.

A la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción que financió parte de este trabajo.

Al Gobierno Regional de la Región de Los Ríos, por la asesoría y facilitación de información cartográfica.

A la Dirección de investigación y desarrollo de la Universidad Austral de Chile, por el apoyo financiero entregado a este proyecto.

7 Referencias

- [1] Valdebenito G (2011): Estudio de Riesgo – Informe antisísmico y adecuación estudio PRC Región de La Araucanía. *Valdivia, Chile*.
- [2] Bonnefoy-Claudet S, Cornou C, Bard P.Y, Cotton F, Moczo P, Kristek J, Fäh D (2006): H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations. *Geophysical Journal International, Volume 167, pp 827-837*.
- [3] Nakamura Y (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly report of railway technical research institute, Volume 30(1), pp 25-33*.
- [4] Alfaro A, Navarro M, Sánchez J, Pujades L (1999): Microzonificación sísmica de Barcelona usando el método de Nakamura. Ventajas y limitaciones. *Murcia, España, pp 273-278*.
- [5] Lermo J, Chavez-García F (1994): Are microtremors useful in site response evaluation. *Bulletin of Seism. Soc. American, San Francisco, pp 1350-1364*.
- [6] Mirzaoglu M, Dýkmen U (2003): Application of microtremors to seismic microzoning procedure. *Journal of the Balkan Geophysical Society, Volume 6(3), pp 143-156*.

- [7] Santibáñez O (2013): Evaluación del Peligro Sísmico Uniforme en la Región de Los Ríos Usando Enfoques Probabilista y Determinista. *Tesis para optar al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles, Universidad Austral de Chile, Valdivia.*
- [8] Lorito S, Romano F, Atzori S, Tong X, Avallone A, McCloskey J, Cocco M, Boschi E, Piatanesi A (2011): Limited overlap between the seismic gap and coseismic slip of the great 2010 Chile earthquake. *Nature Geoscience, Volume 4, pp 173-177.*
- [9] Leyton F, Ruiz S, Sepúlveda S (2010): Reevaluación del peligro sísmico probabilístico en Chile central. *Andean Geology, Volume 37, No 2, pp. 455-472.*
- [10] Servicio Nacional de Geología y Minería (2004): Geología para el ordenamiento territorial: Área de Valdivia, Región de los Ríos. Mapa 6: Características Geotécnicas Básicas y Respuesta Sísmica. *Santiago, Chile.*
- [11] SESAME European Research Project (2004): Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations. Measurements, Processing and Interpretation. *European Commission – Research General Directorate.*
- [12] Bard P, Duval A, Lebrun B, Lachet C, Riepl J, Hatzfeld D (1997): Reliability of the H/V technique for site effects measurement: an experimental assessment. *Seventh International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, July 19-24, Istanbul, Turkey.*
- [13] Bard P (1999): Microtremor measurement: a tool for site effect estimation?. The Effects of Surface Geology on Seismic Motion. *Balkema, Rotterdam, pp 1251–1279.*