

ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN CUENCAS URBANAS EN VENEZUELA CON FINES DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Michael Schmitz¹; Víctor Cano¹; Oscar Andrés López²; Stephanie Klarica³; Adalgiza Pombo⁴; Juan Félix Díaz⁵; José Heredia⁶; Jaime Avendaño⁷; Cecilio Morales¹; y el grupo de riesgo sísmico del proyecto Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos

Forma de citar: Schmitz, M., Cano, V., López, O.A., Klarica, S., Pombo, A., Díaz, J.F., Heredia, J., Avendaño, J., Morales, C., *et al.* 2015. Estudios geofísicos en cuencas urbanas en Venezuela con fines de microzonificación sísmica. *Boletín de Geología*, 37 (1): 17-26.

RESUMEN

En el marco del proyecto de “Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos” se realizan estudios en red entre FUNVISIS y universidades locales, con el fin de determinar la amenaza sísmica en las cuencas sedimentarias de Mérida, Valencia, Maracay, Barcelona y Puerto La Cruz, así como en Valle de La Pascua. Para ello, se están adelantando en estas ciudades estudios geofísicos y geológicos, y hasta el momento se dispone de los mapas preliminares de microzonas sísmicas, basados en estudios sísmicos y del período fundamental de vibración del suelo, los cuales se usarán para el cálculo de la amenaza sísmica en superficie, una vez que finalicen los estudios de amenaza sísmica en roca.

Palabras clave: Riesgo sísmico, amenaza sísmica, cuencas urbanas, microzonificación sísmica, Venezuela.

GEOPHYSICAL STUDIES FOR SEISMIC MICROZONATION IN URBAN SEDIMENTARY BASINS IN VENEZUELA

ABSTRACT

In the scope of the project “Applied Research for Integrated Risk Management in Urban Areas” studies are done in cooperation between FUNVISIS and local universities, aimed to determine the seismic hazard in the sedimentary basins of the cities Mérida, Valencia, Maracay, Barcelona and Puerto La Cruz, as well as Valle de La Pascua. By means of geophysical and geological studies, to the moment, preliminary maps of seismic microzones, based on seismic studies and determinations of the fundamental period of soil vibration, are available. They will be used for calculating the seismic hazard on the soil surface, as soon as the seismic hazard studies at bedrock are finalized.

Keywords: Seismic risk, seismic hazard, urban basins, seismic microzonation, Venezuela.

¹ Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Caracas, mschmitz@funvisis.gob.ve

² Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, UCV, Caracas, oalsf@yahoo.com

³ Universidad de Los Andes, Mérida, klarica@ula.ve

⁴ Universidad de Carabobo, Valencia, granada372@hotmail.com

⁵ Universidad de Oriente, Departamento de Ingeniería Civil, Puerto La Cruz, felproca@gmail.com

⁶ UNEFA, Maracay, herediat57@yahoo.es

⁷ Universidad de Oriente, Centro de Sismología, Cumaná, javendanol@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Un alto porcentaje de la población venezolana se encuentra asentada en zonas de alto riesgo sísmico, geomorfológico, hidrometeorológico y tecnológico, lo que convierte a Venezuela en un país altamente vulnerable ante desastres de origen natural y tecnológico, que han sido evidenciados históricamente con los eventos sísmicos (e.g. Grases, 1990), flujos torrenciales (López, 2010), deslizamientos (Hernández *et al.*, 2008) y tecnológicos (Sánchez, 2010). El rápido crecimiento demográfico y el aumento de la densidad poblacional en las tres últimas décadas han incrementado la cantidad de personas y elementos expuestos a las mismas amenazas/peligros. Esto motivó a la formulación del proyecto “Investigaciones aplicadas a la gestión integral del riesgo en espacios urbanos” que se está realizando desde el año 2008 en el marco de la Misión Ciencia en las áreas metropolitanas de Mérida, Valencia, Maracay, Barcelona y Puerto La Cruz, así como en Valle de La Pascua (FIGURA 1). Desde el punto de vista sísmico, la mayor amenaza está asociada a las zonas cercanas a los principales sistemas de fallas en el norte y la zona andina del país (e.g. Grases, 1990; Audemard *et al.*, 2000).

Para la selección de las ciudades de estudio, se tomaron en cuenta aspectos relacionados con la presencia de las diferentes amenazas en las regiones, así como el desarrollo futuro y el panorama institucional en la región. Para Mérida, destaca la cercanía de la Falla Boconó, el peligro de inundaciones asociado a las quebradas que cruzan la ciudad, el peligro de deslizamientos tanto en las laderas como en el borde de la terraza. Mérida, ciudad con importante crecimiento poblacional, presenta un escenario sólido de instituciones relacionadas con la gestión del riesgo (Centro de Investigación en Gestión del Riesgo – CIGIR, Universidad de Los Andes - ULA). En Valencia y Maracay, aparte de las amenazas sísmicas e hidrometeorológicas por la cercanía de la Falla La Victoria y las cuencas del río Cabriales (Valencia) y de los ríos El Limón y El Castaño (Maracay), respectivamente, hay zonas industriales importantes con potencial amenaza tecnológica. Este último aspecto está dado en Puerto La Cruz por la presencia de la refinería, pero el Área Metropolitana del Norte de Anzoátegui con cuatro ciudades (Barcelona, Lechería, Puerto La Cruz y Guanta) tiene también alta amenaza sísmica por la cercanía de la falla El Pilar, peligro de inundaciones por el río Neverí y amenaza geomorfológica, especialmente en el municipio Guanta. Valle de La Pascua se seleccionó como ciudad con potencial crecimiento futuro en el Eje Norte Llanero.

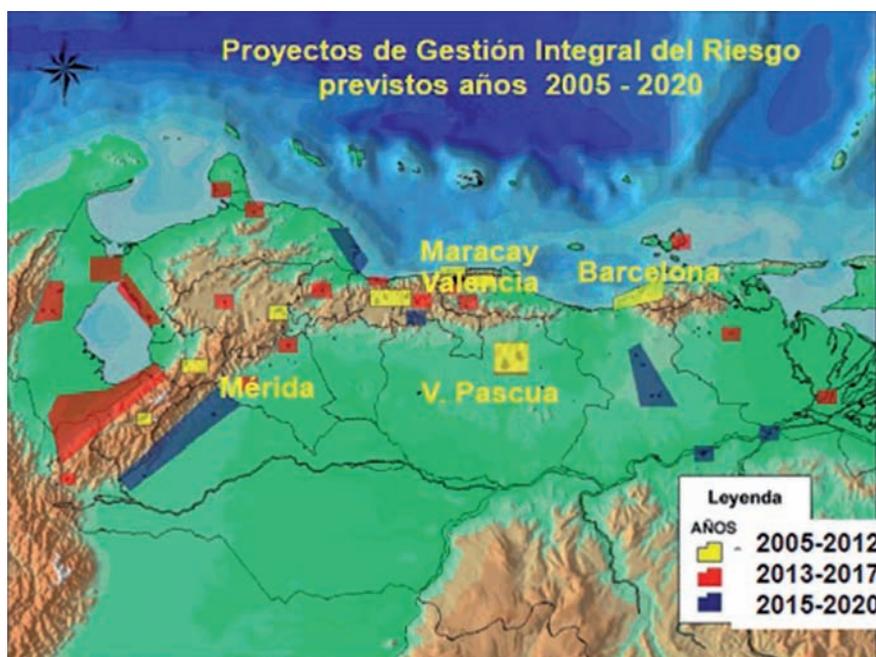


FIGURA 1. Ubicación de las ciudades en estudio y los proyectos de gestión integral del riesgo socio natural y tecnológico planteados a realizarse hasta el año 2020.

El proyecto se concentra en la consolidación de redes locales de investigación, en el caso del riesgo sísmico conformadas principalmente por los investigadores

de la Universidad de Los Andes (ULA) (Mérida), la Universidad de Carabobo (Valencia), la Universidad Nacional Experimental de las Fuerzas Armadas

(UNEFA) y el núcleo Maracay de la Universidad Central de Venezuela (UCV) (Maracay) y la Universidad de Oriente (UDO) (Puerto La Cruz y Cumaná), junto con los aliados regionales como el Centro de Investigación en Gestión Integral del Riesgo (CIGIR), el Instituto de Protección Civil y Administración de Desastres del estado Mérida (INPRADEM) y la Fundación para el Desarrollo de la ciencia y la Tecnología (FUNDACITE) en Mérida, Protección Civil en Valencia, Maracay, Guárico y Anzoátegui y la gobernación del estado Anzoátegui. Los aliados locales son los actores principales para la transferencia de tecnología a instituciones nacionales, regionales, locales y comunitarias. Al culminar los estudios en el marco del presente proyecto, se plantea la realización de estudios en otras ciudades de las regiones en cooperación entre FUNVISIS y los investigadores locales (FIGURA 1).

Se adelantan igualmente trabajos de evaluación de la vulnerabilidad a través de una priorización de intervención de las edificaciones (López *et al.*, 2011), con el fin de elaborar mapas de riesgo sísmico en las ciudades de estudio.

Este trabajo se enfoca en la evaluación de la amenaza sísmica en superficie, a nivel de amenaza regional, siguiendo los conceptos de Cornell (1968), y se coordina entre las instituciones participantes a través de talleres, en los cuales se introdujeron los principales parámetros para el cálculo de la amenaza sísmica con el programa CRISIS 2007 (Ordaz *et al.*, 2007), disponible libremente en la *web*. Para la evaluación de los efectos de sitio se elaboraron en las zonas de Barcelona/Puerto La Cruz, Valencia, Maracay y Mérida los mapas preliminares de microzonas sísmicas, cuyo desarrollo se presenta en este trabajo.

EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA EN ROCA

El objetivo del estudio de amenaza sísmica es la determinación del movimiento sísmico esperado en un sitio, en roca, asociado a determinado periodo de retorno. El movimiento se suele caracterizar por un espectro de amenaza uniforme, el cual contiene el valor de la aceleración del terreno. La amenaza sísmica puede expresarse como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado, o la probabilidad de excedencia a un nivel de intensidad de movimiento del terreno (*e.g.* aceleración en unidades de g) en un tiempo determinado. Posteriormente, se incorpora la información geológica/geofísica del subsuelo para

determinar el espectro para las distintas condiciones de suelo. Un modo de expresar la amenaza es en términos de espectros de aceleraciones horizontales para un amortiguamiento fijo de 5% y para un período de retorno de 475 años y una probabilidad de excedencia de 10%, en concordancia con la norma de edificaciones sismorresistentes (COVENIN, 2001). La amenaza será evaluada a partir de la identificación y evaluación de los efectos de las fallas geológicas activas o potencialmente activas en las regiones. Para integrar los grupos de trabajo de las diferentes zonas de estudio, se inició en el año 2010 la evaluación de la amenaza sísmica mediante talleres multidisciplinarios, con la participación de investigadores de las regiones ya mencionadas. En estos talleres se sentaron las bases metodológicas para la elaboración de los modelos sismogénicos como insumo principal para el cálculo de la amenaza sísmica. Como herramienta principal para el cálculo se utilizará el programa CRISIS 2007 (Ordaz *et al.*, 2007). Para el análisis de la amenaza se deben definir la geometría de las fallas y sus parámetros sismogénicos, las leyes de atenuación NGA (Abrahamson *et al.*, 2008), la sismicidad de la zona y las áreas fuentes con su respectiva sismicidad. Una vez obtenida la amenaza en roca se calcula la respuesta dinámica en superficie, utilizando la información del subsuelo.

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS MODELOS DE SUBSUELO

La información del subsuelo en las ciudades estudiadas en el marco del proyecto se expresa en función de microzonas de igual respuesta sísmica, para las cuales se calculará la respuesta dinámica en superficie, en analogía con la metodología elaborada para el proyecto de microzonificación sísmica de Caracas (Hernández *et al.*, 2006). La definición de las microzonas sísmicas se basa en la caracterización del subsuelo a través de la velocidad de las ondas de corte promedio de los primeros 30 m (V_{s30}) y el espesor de sedimentos en las cuencas sedimentarias. Para ello se siguen de manera general los siguientes pasos: 1) Determinación del mapa de isoperíodos a partir de mediciones de ruido ambiental y la relación espectral de las componentes horizontales y verticales H/V (Bard, 1999). 2) Determinación de los valores de V_{s30} basados en los valores de números de golpes SPT obtenidos de perforaciones geotécnicas existentes, convertidos a velocidades de ondas de corte mediante fórmulas existentes (*e.g.* Imai and Yoshimura, 1970), o a través del análisis de mediciones sísmicas medidas *in situ*

utilizando la metodología ReMi (Louie, 2001). Para complementar la información para zonas sin cobertura de datos o de difícil acceso, se aplica el análisis de la topografía siguiendo la metodología propuesta por Wald and Allen (2007). 3) Determinación de los espesores sedimentarios y de las velocidades de ondas de corte para los estratos sedimentarios a través de recopilación de información existente (perforaciones) y estudios geofísicos. La determinación de los espesores sedimentarios se basa principalmente en la relación entre el período fundamental del depósito sedimentario y la velocidad promedio de las ondas de corte para todo el espesor ($T=4H/V_s$) (Kramer, 1996). Con el aporte de los valores de V_{s30} , $V_{s_{inf}}$, el promedio de las velocidades de ondas de corte entre el basamento rocoso y la capa superficial de 30 m de espesor y los valores de período (T), Rocabado *et al.*, (2011) ampliaron su utilización con el fin de obtener mayores detalles mediante la fórmula expuesta en la ecuación 1.

$$H = \frac{T \cdot V_{s_{inf}}}{4} + 30 \cdot \left(1 - \frac{V_{s_{inf}}}{V_{s_{30}}}\right) \quad (1)$$

Los valores de V_s se obtienen mediante mediciones sísmicas de refracción y mediciones de ReMi (Louie, 2001). Se utiliza también la información de perforaciones profundas, realizadas para la instalación de observatorios acelerográficos en cada una de las ciudades. 4) En analogía con los resultados del proyecto de microzonificación sísmica de Caracas (Schmitz *et al.*, 2011), se usan los siguientes rangos para la delimitación de los mapas de microzonas preliminares: para la calidad del suelo superficial valores de V_{s30} se definen tres clases con los valores menores a 185 m/s, entre 185 y 325 m/s y mayores a 325 m/s, y para los espesores de sedimentos cuatro clases con los valores menores a 60 m, entre 60 m y 120 m, entre 120 m y 220 m y mayores a 220 m.

MAPAS DEL SUBSUELO PARA EL DESARROLLO DE MICROZONAS SÍSMICAS

Períodos fundamentales de vibración del suelo

En las ciudades bajo estudio se realizaron las mediciones de microtremores (Bard *et al.*, 1999) para la elaboración de mapas del período predominante de vibración del suelo. En Valle de La Pascua todavía está en elaboración el mapa, pero en las demás ciudades ya se tienen los mapas finales de isoperíodos del suelo (Vernáez *et al.*, 2011; TABLA 1), como por ejemplo en Mérida (FIGURA 2a). En el Área Metropolitana de Mérida, los valores de período, basados en 654 mediciones de ruido ambiental, oscilan entre 0,2 s y 1 s para Mérida y Ejido, mientras que Tabay presenta una variación entre 0,2 s y 0,5 s. Los menores valores de período se encuentran hacia la zona norte de la terraza y el extremo sur del río Chama, mientras que los máximos valores (0,6 a 1 s) se localizan en la zona central de la terraza de Mérida. En el Área Metropolitana del norte de Anzoátegui, entre Barcelona y Guanta, se midieron 400 sitios. Los menores valores de período fueron reportados en el Puerto La Cruz con valores hasta 0,7 s, mientras los valores mayores se observan en Lechería y Barcelona entre 0,5 y 1,3 s, con un registro máximo de 2 s en Barcelona (FIGURA 3b). En Maracay, donde se midieron 315 puntos, los períodos varían entre 0,2 s a 3 s, con los mayores valores al sur de la ciudad (1,7 a 3 s), acercándose al Lago de Valencia, disminuyendo los valores hacia el norte (0,2 a 0,7 s). En Valencia, como resultado de 530 puntos de medición, se obtuvieron valores de período entre 0,3 s y 2,8 s para toda la zona de estudio (FIGURA 4a). Los menores valores (0,3 s) se encuentran hacia la zona norte de la ciudad, cercanas a la montaña, y los valores máximos (1,4 s a 2,8 s) se ubican en la zona sur-oeste de la ciudad (El Tocuyito).

TABLA 1. Avance de los proyectos de microzonificación sísmica en las ciudades.

Producto/Ciudad	Área Metropolitana del norte de Anzoátegui				
	Mérida		Valencia	Maracay	Valle de la Pascua
Amenaza sísmica en superficie					
Amenaza sísmica en roca					
Geología de superficie o geomorfología	X	X			
Períodos predominantes del suelo	X	X	X	X	X
Espesores de sedimentos	X	X	X	X	
Vs30	X	X	X	X	
Microzonas sísmicas	X	X	X	X	

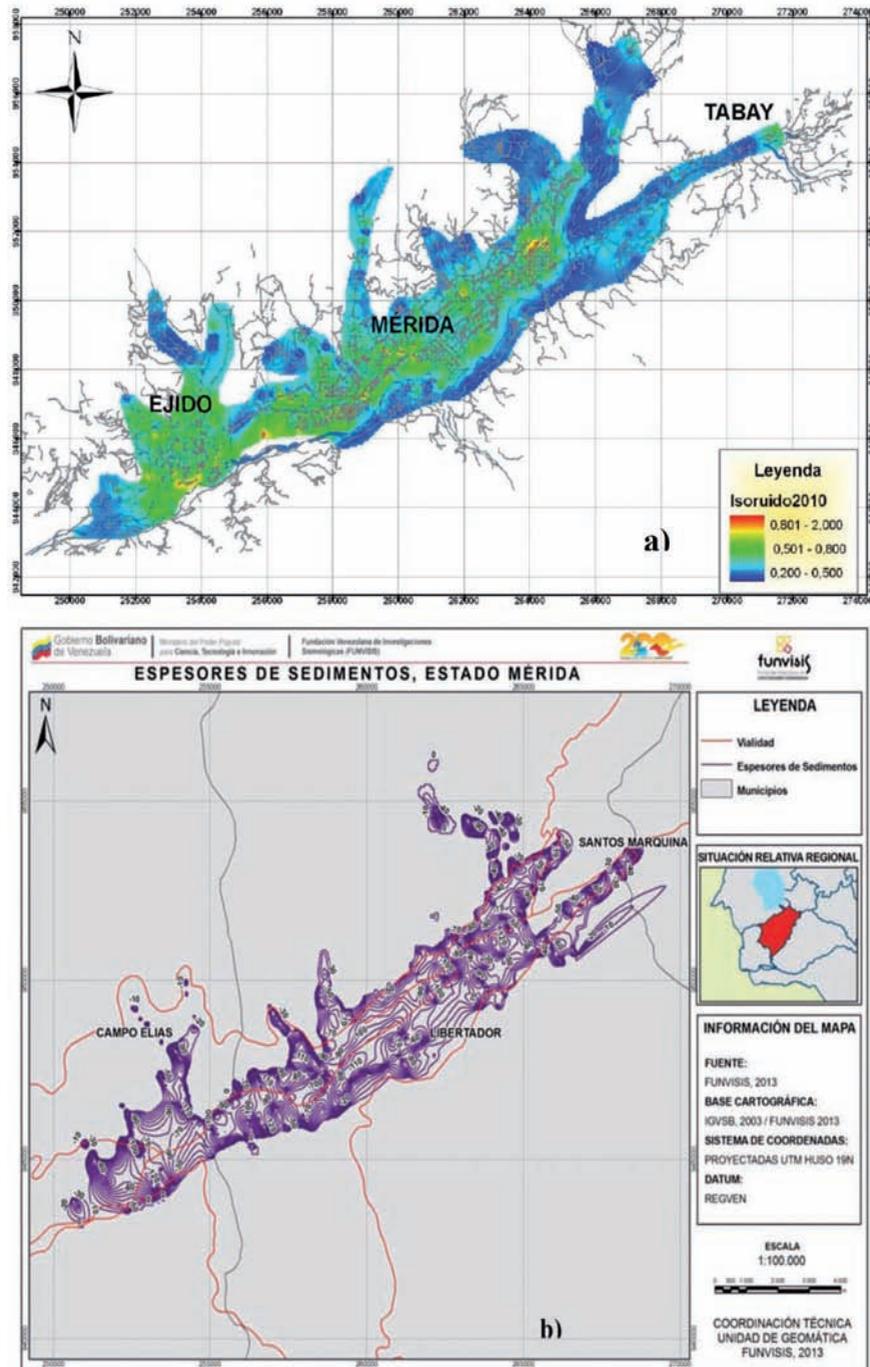


FIGURA 2. (a) Mapa de isoperíodos, (b) mapa de isoperíodos de sedimentos de Mérida.

Velocidades de propagación de ondas de corte en los primeros 30 m (V_{s30})

Se analizaron las perforaciones geotécnicas disponibles en las ciudades, con el fin de elaborar los mapas de velocidad de ondas de corte en los primeros 30 m (V_{s30}). Igualmente, se aplicó el análisis de la topografía siguiendo la metodología propuesta por Wald and Allen

(2007) de manera de obtener mapas preliminares de ondas de V_{s30} (FIGURA 3a, ejemplo Barcelona-Guanta). Los valores para la parte sedimentaria generalmente se ubican entre 185 y 325 m/s, con algunas zonas de menor valor. En Maracay se ubica una extensa franja de bajas velocidades V_{s30} (menor a 185 m/s) cercana al Lago de Valencia, y zonas de menor extensión en el centro de la ciudad (FIGURA 5a).

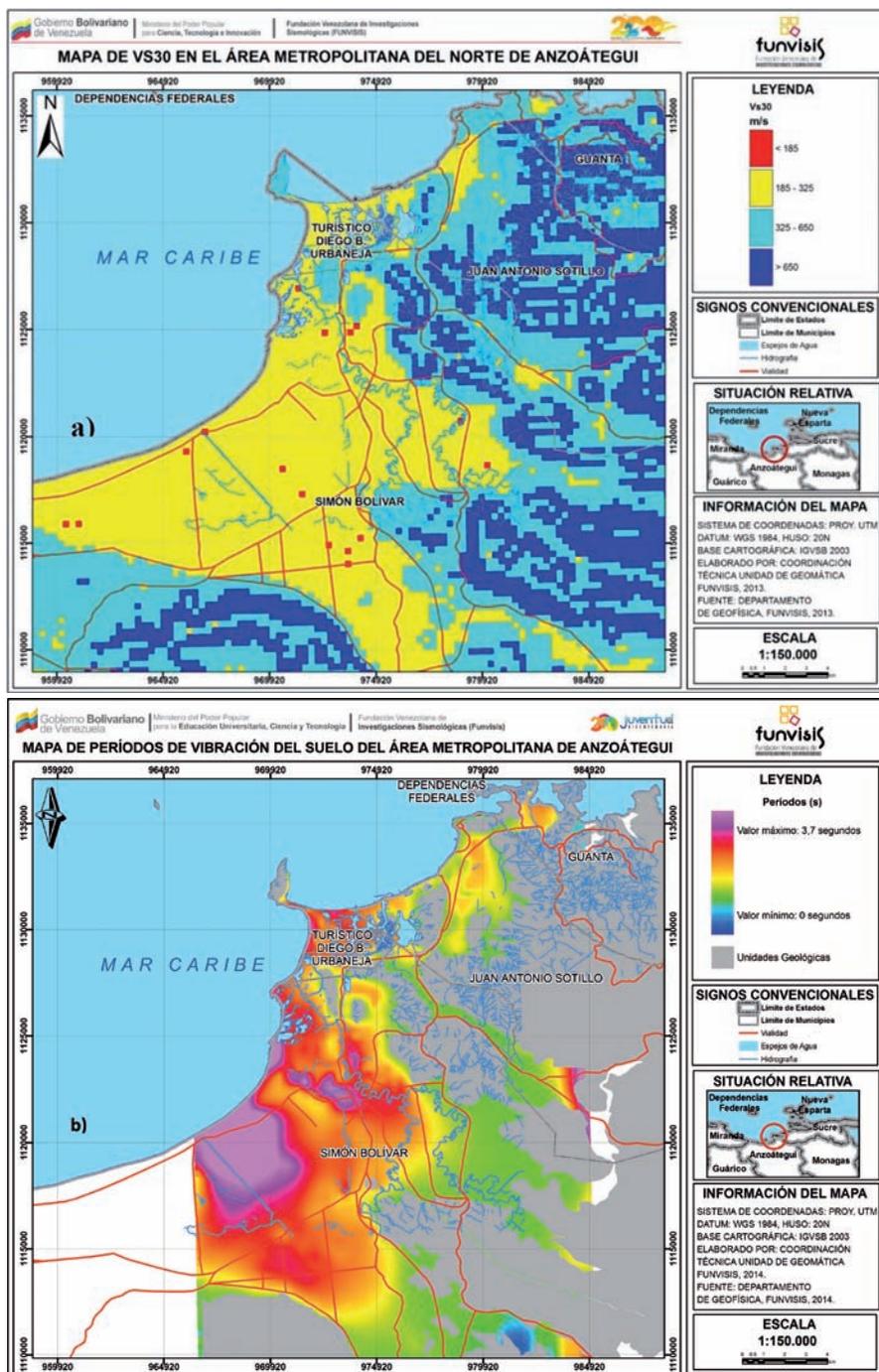


FIGURA 3. (a) Mapa de Vs30, (b) períodos de vibración del suelo en el Área Metropolitana del norte de Anzoátegui.

Espesores de sedimentos

La información proveniente de los períodos fundamentales, así como de las velocidades Vs30, fueron utilizadas para la estimación de los espesores de sedimentos en las ciudades, como es el caso de Valencia (FIGURA 4). Los espesores están generalmente por debajo de 200 m en el centro de la ciudad, y aumentan a

valores mayores a 300 m en el suroeste. El próximo paso consiste en la incorporación del modelado gravimétrico, actualmente en curso, el cual ayudará a ajustar también la profundidad del basamento rocoso, como por ejemplo en el centro de Valencia, donde se ha ejecutado en el año 2011 una perforación para la instalación de un observatorio acelerográfico, que llegó a 240 m de profundidad sin alcanzar roca.

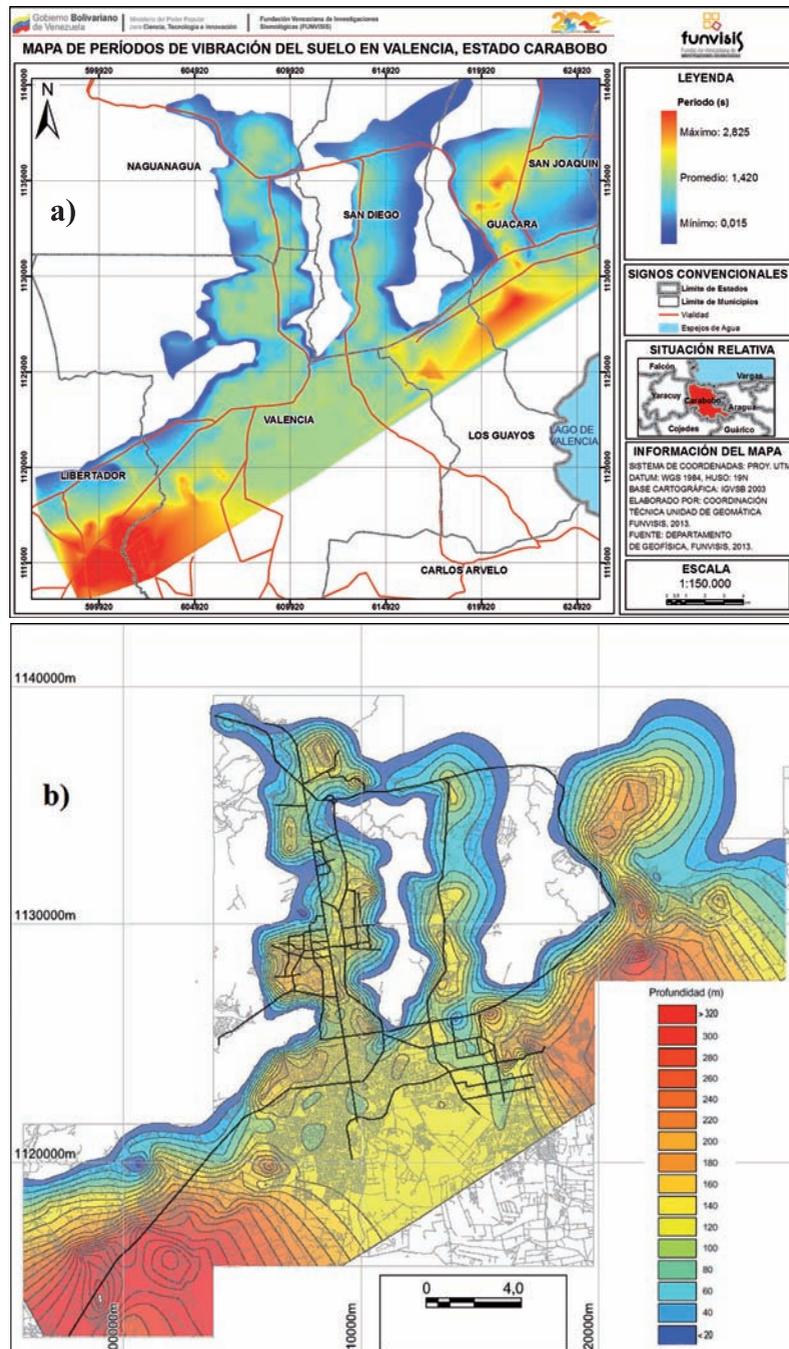


FIGURA 4. (a) Mapa de períodos de vibración del suelo, (b) espesores de sedimentos en Valencia.

En Mérida, las variaciones de los espesores se ubican generalmente entre 100 y 130 m (FIGURA 2b), con un máximo de 145 m en el borde sur de la terraza, corroborado por la perforación para observatorio acelerográfico. En Tabay, los espesores sedimentarios no superan los 50 m, mientras en Ejido pueden alcanzar localmente 120 m.

En el área metropolitana del norte de Anzoátegui, los mayores espesores, hasta 150 m, se alcanzan en

Lechería y Barcelona. Sin embargo, la perforación realizada en la gobernación del estado Anzoátegui llegó a 160 m sin alcanzar roca. En Puerto La Cruz y Guanta, los espesores escasamente superan los 50 m.

En Maracay, se presenta un incremento de los espesores de norte a sur con espesores mayores a 300 m al sur de la Autopista Regional del Centro, siendo confirmado este valor por la perforación

del observatorio acelerográfico realizada en el año 2011 hasta una profundidad de 300 m en la zona del Parque Metropolitano, 400 m al norte de la Autopista Regional del Centro, sin alcanzar roca.

Microzonas sísmicas preliminares

En analogía con las clases de espesores y Vs30 elaboradas en Caracas (Schmitz *et al.*, 2011), se

elaboraron los mapas preliminares de microzonas sísmicas (FIGURA 5, ejemplo Maracay). Mientras que en Mérida se ubican solamente zonas con espesores hasta 120 m y suelos intermedios y densos, y en Barcelona suelos con espesores máximos hasta 220 m, en Maracay y en Valencia se presentan las cuatro clases de espesores de sedimentos, con una presencia importante de suelos blandos (Vs30 menor a 185 m/s) en Maracay.

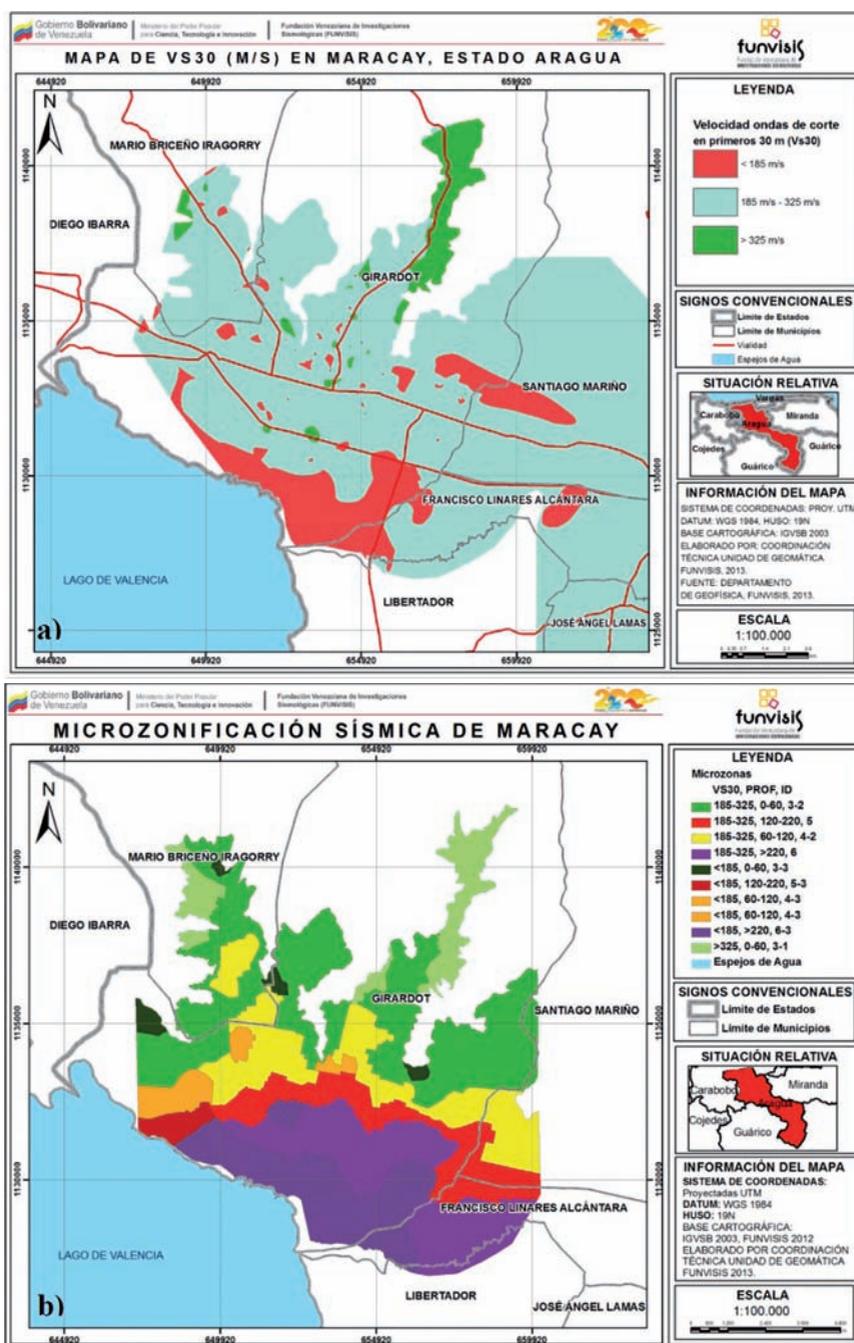


FIGURA 5. (a) Mapa de Vs30, (b) mapa preliminar de microzonas sísmicas de Maracay a partir de valores de Vs30 (m/s) y espesor de sedimentos (m).

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Mediante estudios geofísicos del subsuelo en las ciudades de Mérida, Valencia, Maracay y Barcelona-Puerto La Cruz se determinaron mapas preliminares de microzonas de igual respuesta sísmica. Las evaluaciones del subsuelo se basan en mediciones sísmicas, mediciones de ruido ambiental y observaciones geotécnicas y de pendientes topográficas. Dichos mapas pueden servir para la orientación de los trabajos geofísicos en curso, así como para la transferencia de conocimiento y evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones por parte de los investigadores locales que conforman la red de conocimientos, establecida en torno al proyecto de “Investigación aplicada a la gestión integral del riesgo en espacios urbanos”. Las mediciones gravimétricas que se encuentran en ejecución en las ciudades Valencia, Maracay y en el Área Metropolitana del Norte de Anzoátegui, permitirán el ajuste de los espesores de sedimentos y con ello de los mapas de microzonas sísmicas. Para determinar la amenaza sísmica en superficie de cada microzona sísmica, deben elaborarse los espectros de amenaza uniforme en roca, que servirán de base para el cálculo de los espectros de respuesta en superficie.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto financiado por FONACIT (2007000939) en el marco de la Misión Ciencia. Además de los autores, los demás miembros del grupo de riesgo sísmico del proyecto Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos son: Víctor Rocabado, Mónica Paolini, Eduin Amarís, Oscar Ramírez, Elieser Sanzonetti, Milgrea Cerrada, Adriana Pérez, Rafael Torres, Luis Yegres, Alexi Suárez, Enriqueta González, Leonardo Alvarado, Herbert Rendón, Gloria Romero, Carlos Reinoza, Luz Rodríguez, José Choy y Herwart Viète.

REFERENCIAS

Abrahamson, N., Atkinson, G., Boore, D., Bozognia, Y., Campbell, K., Chiou, B., Idriss, I. M., Silva, W., and Youngs, R. 2008. Comparisons of the NGA ground-motion relations, *Earthquake Spectra*, 24: 45–66.

Audemard, F.A., Machette, M., Cox, J., Dart, R., and Haller, K. 2000. Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and its Offshore Regions. US Geological Survey Open-File Report 00-0018. Include map at scale 1:2.000.000 and 78-page report.

Bard, P.Y. 1999. Microtremor measurements: a tool for site effect estimation? In: Irikura, K., Kudo, K., Okada, H., and Sasatani, T. (eds.), *The Effects of Surface Geology on Seismic Motion - Recent progress and new Horizon on ESG Study*. Vol 3. Balkema, Rotterdam, 28p.

Cornell, C. 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58: 1583-1606.

COVENIN. 2001. Edificaciones sismorresistentes. Norma venezolana COVENIN 1756:2001. Comisión Venezolana de Normas Industriales, FONDONORMA, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Infraestructura, FUNVISIS, Caracas.

Grases, J. 1990. Terremotos destructores del Caribe 1502-1990. 1ra ed., Orcyt-Unesco, Montevideo, Uruguay, 132p.

Hernández, J.J., Schmitz, M., Audemard, F., y Malavé, G. 2006. Marco conceptual del proyecto de microzonificación de Caracas y Barquisimeto. VIII Congreso Venez. de Sismol. e Ing. Sísmica, Valencia, Venezuela, Memorias en CD, pp. 8.

Hernández, J.J., Valleé, M., Feliziani, P., Schmitz, M., Oropeza, J., Tagliaferro, M., Castillo, A., y Cano, V. 2008. Peligro sísmico de deslizamientos en laderas de Caracas. Conferencia 50 Aniversario de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG), Caracas, Memorias en CD, pp. 14.

Imai, T., and Yoshimura, M. 1970. Elastic Wave Velocity and Dynamics Characteristics of the Soft Ground. *Soils and Foundation*, 18 (1):17-22.

Kramer, S.1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.

López, J.L. (Ed.), 2010. Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Aportes científico-tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos. Instituto Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV, 808p.

López, O.A., Coronel, G., Ascanio, W., Rojas, R., Rengel, J., González, J., Páez, V., y Olbrich, F. 2011. Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico. Informe Técnico, FUN019-2011.

Louie, J. 2001. Faster, Better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction Microtremor arrays.

Bulletin of the Seismological Society of America, 91(2): 347-364.

Ordaz, M., Aguilar, A., y Arboleda, J. 2007. CRISIS 2007, Módulo de cálculo de amenaza sísmica de CAPRA (Evaluación Probabilística de Riesgo para América Central). Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Rocabado, V., Schmitz, M., Hernández, J.J., y Morales, C. 2011. Relación entre período del suelo y profundidad de los sedimentos para la ciudad de Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería UCV, 25 (2): 141–151.

Sánchez, I. 2010. Diagnóstico de las posibles amenazas tecnológicas existentes en la zona industrial I de San Vicente estado Aragua. Trabajo Especial de Grado. Universidad Nacional Abierta.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Morales, C., Domínguez, J., Rocabado, V., Valleé, M., Tagliaferro, M., Delavaud, É., Singer, A., Amarís, E., Molina, D., González, M., Leal, V. y el grupo de trabajo del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas. 2011. Principales resultados y recomendaciones del proyecto de microzonificación sísmica en Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería UCV, 26 (2): 113–127.

Vernáez, G. y 55 co-autores. 2011. Informe Técnico de Avance correspondiente al Segundo Año del Proyecto de investigación aplicada a la gestión integral del riesgo en espacios urbanos (FONACIT 2007000939). FUN 012-2011, 229 pp.

Wald, D., and Allen, T. 2007. Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification: Bulletin of the Seismological Society of America, 97 (5):1379–1395.

Trabajo recibido: mayo 15 de 2012
Trabajo aceptado: septiembre 19 de 2014