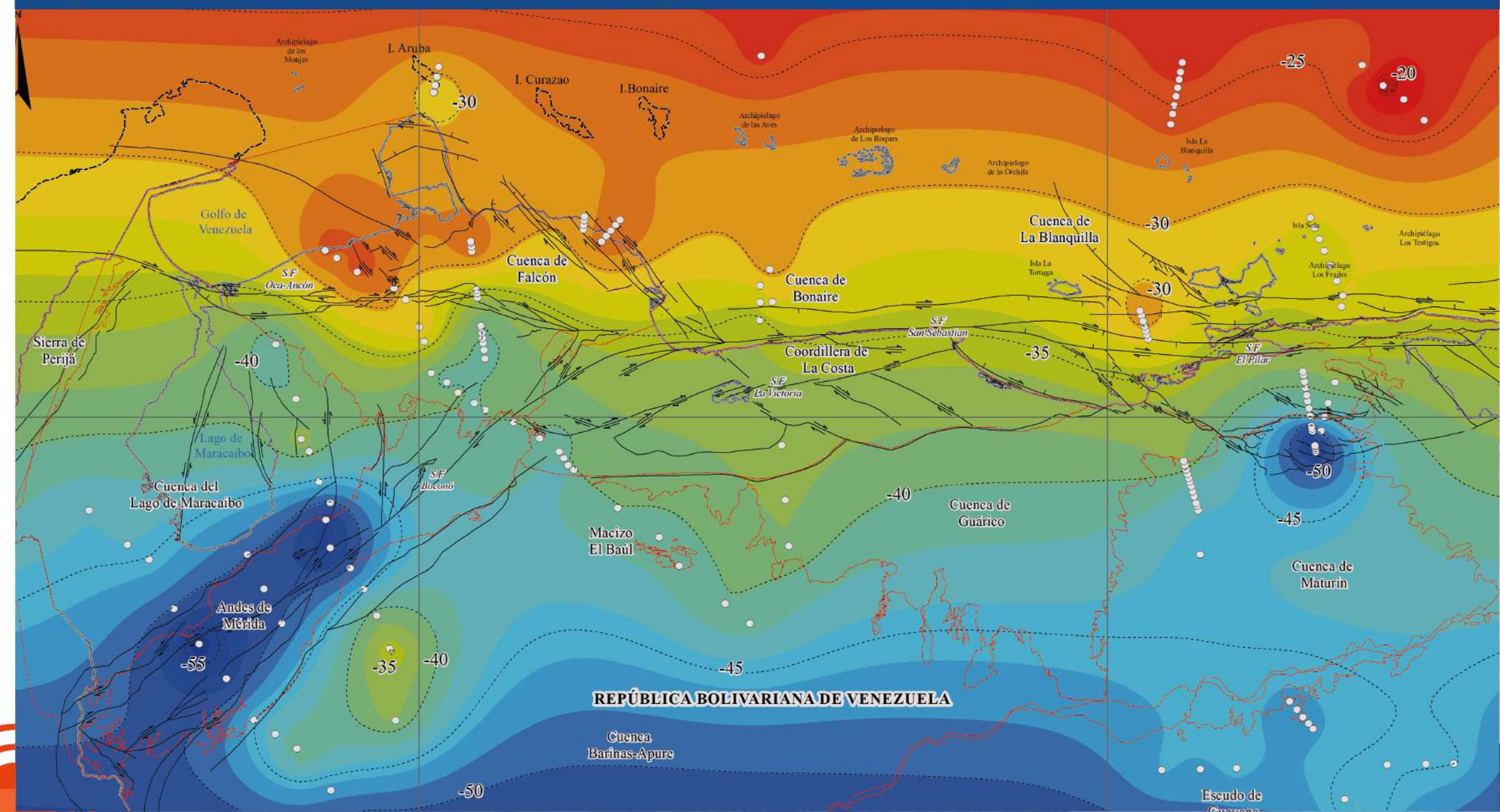


## 2.8 REFERENCIAS

- Audemard, F. A. (2003). Estudios paleosísmicos por trincheras en Venezuela: métodos, alcances, aplicaciones, limitaciones y perspectivas. *Revista Geográfica Venezolana*. 44 (1): 2003 11-46.
- Audemard, F. A. (2005). Paleoseismology in Venezuela: Objectives, methods, applications, limitations and perspectives. *Tectonophysics* 408, 29-61.
- Audemard, F.A., Machette, M., Cox, J., Dart, R. & Haller, k. (2000). Map and Database of Quaternary faults and folds in Venezuela and its Offshore Regions; USGS Open-File report 00-0018. 78p (accessible from USGS webpage).
- Beltrán, C. (1993). Mapa Neotectónico de Venezuela. Departamento de Ciencias de la Tierra, FUNVISIS.
- Beltrán (1994) Trazas activas y síntesis neotectónica de Venezuela a Escala 1:2.000.000. Recursos y Oportunidades. VII Congreso Venezolano de Geofísica.
- Cluff, L. y Hansen, W. (1969). Seismicity and seismic geology of Northwestern Venezuela. Woodward\_Clyde Associate. 2 vol. Shell de Venezuela. 78p Inédito.
- Mapas de: Comisión del Plan Nacional de aprovechamiento de los recursos hidráulicos, (COPLANARH) (1968-1973). Ministerio de Agricultura y Cría, Centro de Investigaciones agronómicas, sección de suelos.
- Singer, A., Rojas, C., y Lugo, M., (1983). Inventario Nacional de Riesgos Geológicos. (estado preliminar) Departamento de Ciencias de la Tierra. Funvisis, serie técnica 03-83. 126 p.
- Soulas, J.P. (1985). Neotectónica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas. En: VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas. 10: 6639-6656.
- Rodríguez, L M., Audemard, F.A. y Rodríguez, J. A. (2006). Casos históricos de licuación de sedimentos inducidos por sismos en Venezuela desde 1530. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V.*, Vol. 21, N°3, pp. 5-32, 2006.
- Viete H. (2012). Evaluación geológica con fines de microzonificación sísmica de la región de Cumaná, estado Sucre . Proyecto LOCTI. (Informe Interno FUNVISIS), pp 110.
- Woodward-Clyde and Associates con 2 trincheras en 1968 (Cluff and Hansen, 1969). Informe interno.



# GEOFÍSICA







### 3.1 INTRODUCCIÓN

Michael Schmitz, Javier Sánchez-Rojas, Freddy Rondón y Keyla Ramírez

A raíz de los proyectos de microzonificación sísmica que se impulsaron después del simposio en conmemoración del terremoto de 1967 en Caracas en el año 1997, y también por el terremoto en Ciriaco este mismo año, se constituyó en el año 2009 el Departamento de Geofísica en FUNVISIS. Esto permitió coordinar las actividades de los proyectos liderados por FUNVISIS, en los cuales se aplicaron diferentes métodos sísmicos como refracción, ReMi, mediciones de ruido ambiental para caracterizar tanto la forma de las cuencas sedimentarias (junto con la integración en modelos gravimétricos; Schmitz et al., 2019), como la calidad de los suelos en los primeros 30 m, el llamado Vs30 (García et al., 2006; Morales et al., 2011; Parra et al., 2016). Mediante la aplicación de métodos geofísicos se puede caracterizar el subsuelo a diferentes escalas, lo que permite entender las modificaciones que sufren las ondas sísmicas al pasar por la tierra. En primera instancia están los métodos sísmicos; a escala de la corteza terrestre se ha utilizado fuentes activas como los son las explosiones para investigar la corteza terrestre y la variación de su espesor en territorio nacional (Schmitz et al., 2021). Sus resultados se pueden combinar con los resultados de los registros de terremotos o también del ruido contenido en los registros, mediante las metodologías de tomografía y funciones receptoras, o también integrar la información en modelos de métodos potenciales como gravimetría y magnetimetría (Sánchez et al., 2010). Dicha información puede ser utilizada para la caracterización de las fuentes sísmicas y la geodinámica de la región. Para la determinación de la configuración del subsuelo somero en las ciudades, un factor importante en la determinación de los efectos de sitio como los efectos de cuenca o de sedimentos blandos, se pueden aplicar diversos métodos geofísicos junto con la evaluación de la geología en la región.

#### Misión:

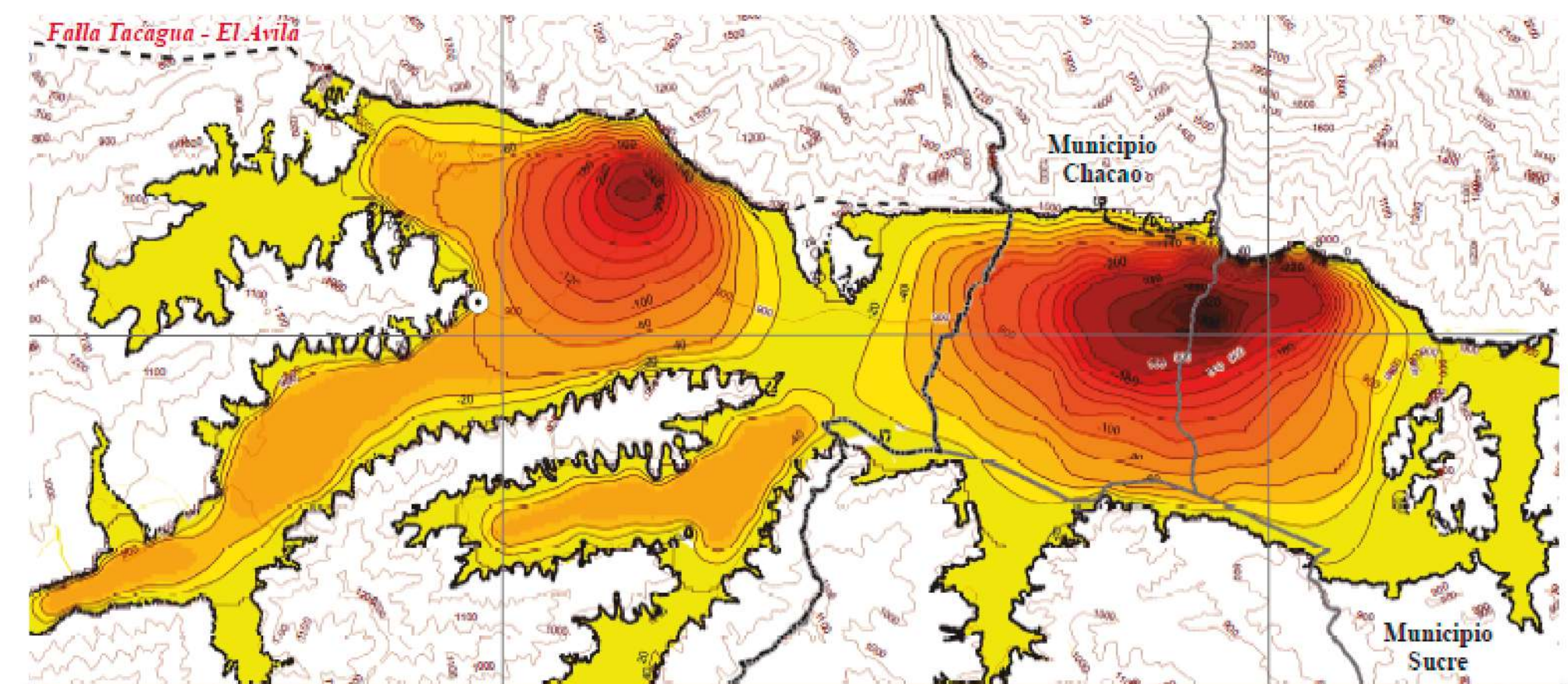
El Departamento de Geofísica de FUNVISIS es un grupo técnico y científico dedicado a ejecutar y promover estudios geofísicos destinados al conocimiento de la estructura y propiedades físicas del subsuelo a diferentes escalas, y así poder atender la demanda de seguridad en la población ante la amenaza sísmica en el territorio nacional.

#### Visión:

Ser un departamento con un alto reconocimiento nacional e internacional y una estrecha interacción con investigadores en un contexto interdisciplinario, con el fin de aportar la información requerida para los análisis de la amenaza sísmica y de la configuración geodinámica de Venezuela.

#### Objetivos

- Aportar al conocimiento de la estructura del subsuelo
- Aplicación y desarrollo de metodologías geofísicas novedosas
- Desarrollar estudios de la respuesta sísmica
- Coordinar estudios de microzonificación sísmica
- Investigar procesos geodinámicos



Extracto del mapa de espesores sedimentarios de Caracas. Fuente: Schmitz et al. (2021).

**Portada:** Foto superior: Mediciones sísmicas de reflexión en Los Andes de Mérida.  
**Fuente:** Proyecto GIAME (2015).

**Foto inferior:** Extracto del mapa de espesores corticales.  
**Fuente:** Schmitz et al. (2020a).

**Encabezado:** Recepción del Premio Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación por mejor Grupo de Investigación (2016).



### 3.2 ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN VENEZUELA

Michael Schmitz, Julio J. Hernández, Freddy Rondón, Cecilio Morales, Víctor Rocabado, Javier Sánchez-Rojas, Kenny García, Mónica Paolini, Jélime Aray, Pedro Medina, Luz Rodríguez, Fernando Mazuera, Luis Yegres, Jesús Ávila, Carlos Reinoza, Jesús Moncada, Eduin Amarís, Keyla Ramírez y el grupo de Microzonificación Sísmica

Un alto porcentaje de la población venezolana se encuentra asentada en zonas de alto riesgo sísmico, como se evidencio en los terremotos de Caracas de 1967 y Cariaco 1997, donde se observaron daños por efectos de sitio (amplificación de las ondas sísmicas) y efectos inducidos (efectos geológicos como licuación del suelo, deslizamientos o ruptura de falla en superficie). Con el fin de identificar zonas de respuesta similar al movimiento sísmico y poder ajustar el diseño sísmico de los edificios a los diferentes escenarios dentro de las ciudades, se realizaron estudios de microzonificación sísmica en diferentes ciudades del país. Estos estudios se encuentran en diferentes fases de avance y sus resultados complementarán las indicaciones de la norma Construcciones Sismorresistentes COVENIN 1756-1 (2019).

En los años 2005-2010 se realizó el “Proyecto de Microzonificación Sísmica en las Ciudades Caracas y Barquisimeto” (FONACIT - BID II 2004000738), cuyos resultados finales han sido implementados en ordenanzas municipales (Rodríguez et al., 2005; Reinoza et al., 2011; Schmitz y Singer, 2015; Schmitz y Morales, 2016; Schmitz et al., 2009a, 2009b, 2020a; 2020b). Se desarrollaron actividades que requirieron la participación de diferentes disciplinas científicas y técnicas de forma integrada, así como el manejo coordinado de la información en un Sistema de Información Geográfico (SIG), que permite la utilización y actualización futura de la información elaborada. La definición de las microzonas se basó en la incorporación de la información de carácter geológico, sísmológico, geofísico y geotécnico, adecuadamente procesada e integrada (Hernández et al., 2006).

En la región centro-occidental se adelantaron además estudios en las ciudades Carora, El Tocuyo, Quíbor y Duaca en el marco del proyecto de microzonificación sísmica en el estado Lara (Ávila et al., 2014).

Perforación geotécnica en Barquisimeto (2006).



Perforación geotécnica en Barquisimeto (2006).



Mediciones sísmicas en Cabudare (2007).





Mediciones sísmicas en Cumaná (2001).



Mediciones sísmicas en Cumaná (2001).

En el año 2006 se inició el proyecto “Investigación Aplicada a la Gestión del Riesgo en Espacios Urbanos” (FONACIT 2007000939) en las áreas metropolitanas de Mérida, Valencia, Maracay y Barcelona, así como en Valle de La Pascua. Los resultados parciales han sido utilizados en la planificación urbana y se espera terminar el desarrollo de los espectros en superficie refinados en comparación con los normativos, que conducen a una más precisa estimación de los efectos esperados, y por tanto una confiable herramienta para la mitigación del riesgo sísmico (Schmitz et al., 2015).

En Cumaná se realizaron desde el año 2008 estudios en el marco del “Proyecto de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Cumaná (LOCTI)” (Aray et al., 2015) y en Guarenas-Guatire desde el mismo año en el marco de los proyectos de microzonificación sísmica de la Cooperación Cuba-Venezuela.

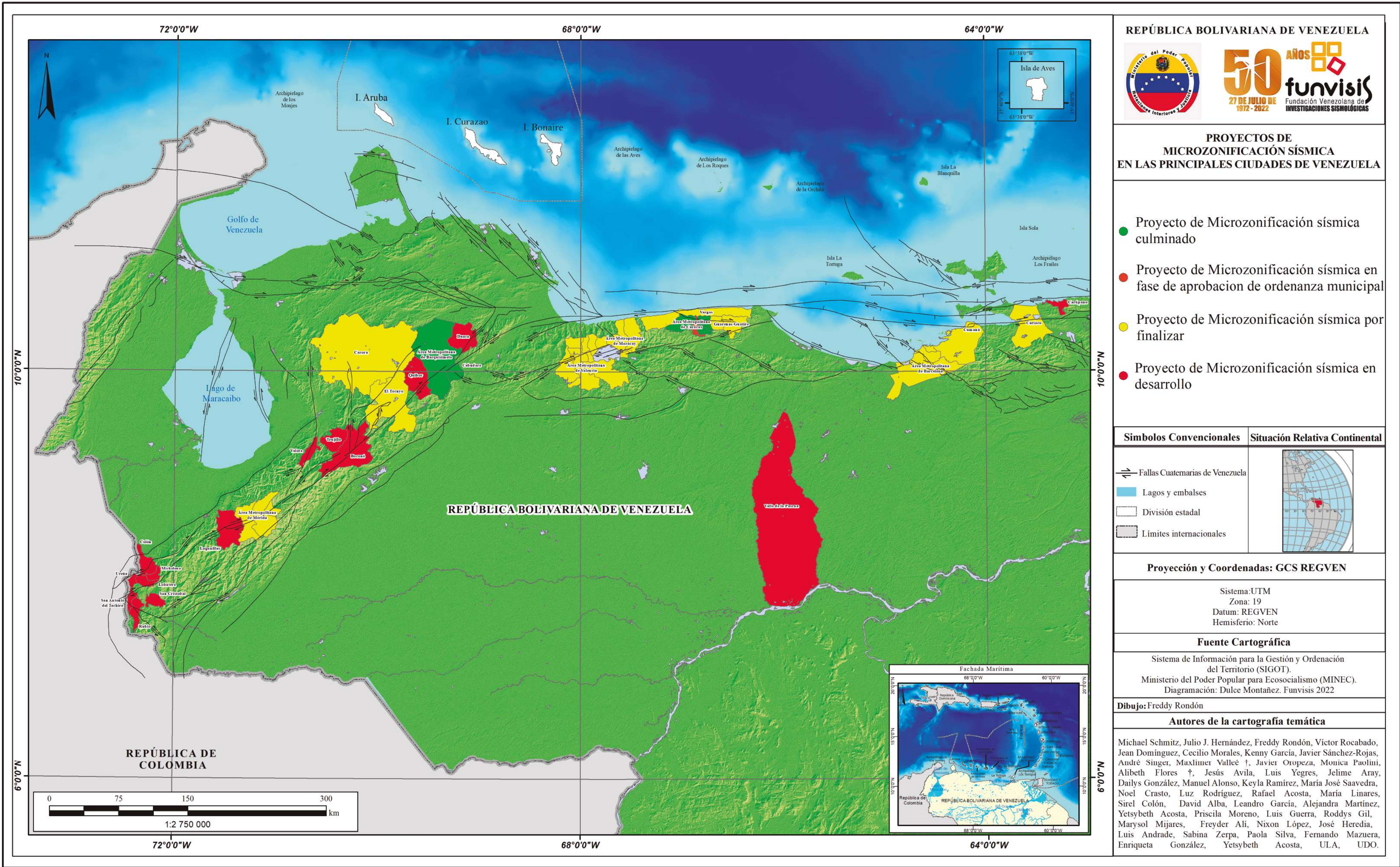
Desde el año 2011 se realizan estudios en Trujillo, Valera y Boconó en el marco del “Proyecto de Microzonificación Sísmica del estado Trujillo (FONACIT 2011001400)” (Mazuera et al., 2015). Además, se lograron avances en las ciudades Carúpano, Cariaco, Lagunillas, San Juan, San Cristóbal, Rubio, San Antonio, Ureña.

Según la metodología propuesta por Hernández et al. (2006), todos estos proyectos contemplan la evaluación del peligro sísmico en roca, el desarrollo de perfiles para la respuesta dinámica mediante análisis lineal equivalente, basados en modelos geomorfológicos, geológicos y geofísicos para la definición de la calidad del suelo somero ( $V_{s30}$ ) y del espesor de los sedimentos hasta el basamento sísmica para la definición de microzonas de similar respuesta sísmica. Se integra la información existente con los resultados de nuevas mediciones geofísicas y evaluaciones geológicas y geotécnicas en campo. Dependiendo de las condiciones locales se estudia además el peligro de deslizamiento de laderas provocado por el terremoto, el peligro de licuación del suelo y las deformaciones permanentes asociados a la ruptura de fallas en superficie. Los resultados finales de los estudios de microzonificación sísmica se implementan en ordenanzas municipales (hasta la fecha se aprobaron ordenanzas en los municipios Iribarren y Palavecino del Área Metropolitana de Barquisimeto así como Libertador, El Hatillo y Sucre del Área Metropolitana de Caracas) y planes de gestión del riesgo sísmico para su mitigación.

Mediciones sísmicas someras en Guarenas (2019).









### 3.3 ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE CARACAS

Michael Schmitz, Julio J. Hernández, Víctor Rocabado, Jean Domínguez, Cecilio Morales, Maxlimer Valleé †, Kenny García, Javier Sánchez-Rojas, André Singer, Javier Oropeza, Alibeth Flores †, Freddy Rondón y el Grupo de Trabajo del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas

La ciudad de Caracas ha sufrido daños por terremotos varias veces en su historia, y el más reciente, el terremoto de M6.6 de 1967, evidenció fuertes efectos de sitio dentro del valle sedimentario. Por tanto, Caracas ha sido objeto de investigaciones de los efectos de sitio desde entonces (e.g. Papageorgiou y Kim, 1991), y se ha desarrollado formalmente un proyecto de microzonificación sísmica en los años 2005 a 2009 (Schmitz et al., 2009; Schmitz y Singer, 2015).

Los principales resultados constituyen espectros de respuesta en diferentes condiciones del subsuelo dentro del valle sedimentario y estimación del peligro de deslizamientos de tierra para áreas de laderas. La metodología utilizada para el desarrollo de la respuesta del suelo comprende la evaluación probabilística del peligro sísmico en los sitios rocosos; identificación de suelo y efectos del sitio de la cuenca con la definición de microzonas de respuesta sísmica similar (Hernández et al., 2006; 2011). Para ello se realizaron amplios estudios geofísicos que permitieron definir los perfiles de suelo desde la roca a la superficie como soporte del análisis de los efectos de sitio y la distribución de microzonas. El peligro sísmico en la zona de Caracas se detalló para PGA (aceleración pico del terreno) y A1 (período de respuesta de 1 segundo), en cuatro macrozonas (Mapa de zonas sísmicas locales). Se desarrollaron perfiles genéricos para la respuesta dinámica mediante análisis lineal equivalente 1D, considerando variaciones en el espesor del sedimento y VS, 30. Los resultados analíticos fueron calibrados y se incluyeron efectos de cuenca 2D-3D aproximados. La distribución de microzonas en el valle (mapa de microzonas sísmicas) es basado en modelos geomorfológicos (mapa de la geología del Cuaternario), geológicos y geofísicos (mapa de los espesores de sedimentos), con perfiles de suelo de pozos profundos, y los períodos predominantes obtenidos por H/V, así como análisis del relieve topográfico en las zonas rocosas.



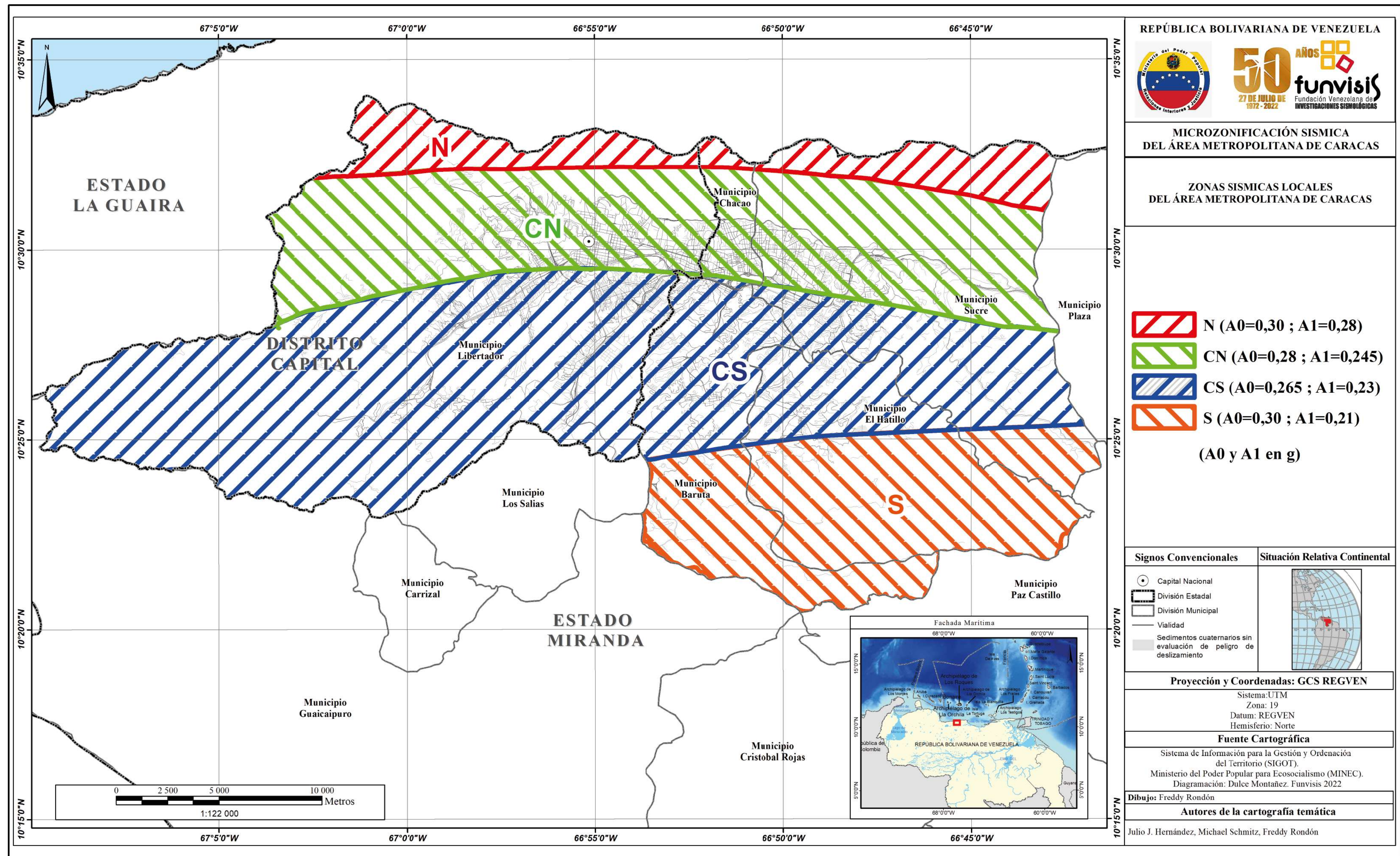
Curso SIG con funcionarios de las alcaldías (2005).

Perforación para instalación de observatorio acelerográfico en Caracas (2005).



El peligro de deslizamiento de tierra provocado lluvias y por terremotos se evalúa utilizando información sobre geología, geomorfología, información geotécnica, pendiente, meteorización y alteraciones antrópicas, empleando una modificación del Método Newmark con intensidades Arias (mapas del peligro de deslizamientos por lluvia y por sismo); así, se pueden identificar áreas prioritarias de intervención (Hernández et al., 2008). Parte del estudio incluye la evaluación de los edificios con respecto a su confiabilidad estructural tipificada, calibrada con los daños del terremoto de Caracas de 1967 (Hernández, 2009). Las prioridades derivadas para la rehabilitación de edificios existentes con respecto a su ubicación dentro de los diferentes microzonas son uno de los temas clave en las ordenanzas que se han desarrollado para los 5 municipios del Área Metropolitana de Caracas. Hasta el momento, tres de ellos han sido publicadas y los 2 restantes están en proceso de aprobación. Una vez publicadas todas las ordenanzas, esperamos que se desarrollen planes de riesgo de desastres sísmicos que fomenten el uso de la información técnica para la mitigación del riesgo de terremotos (Schmitz et al., 2020a).











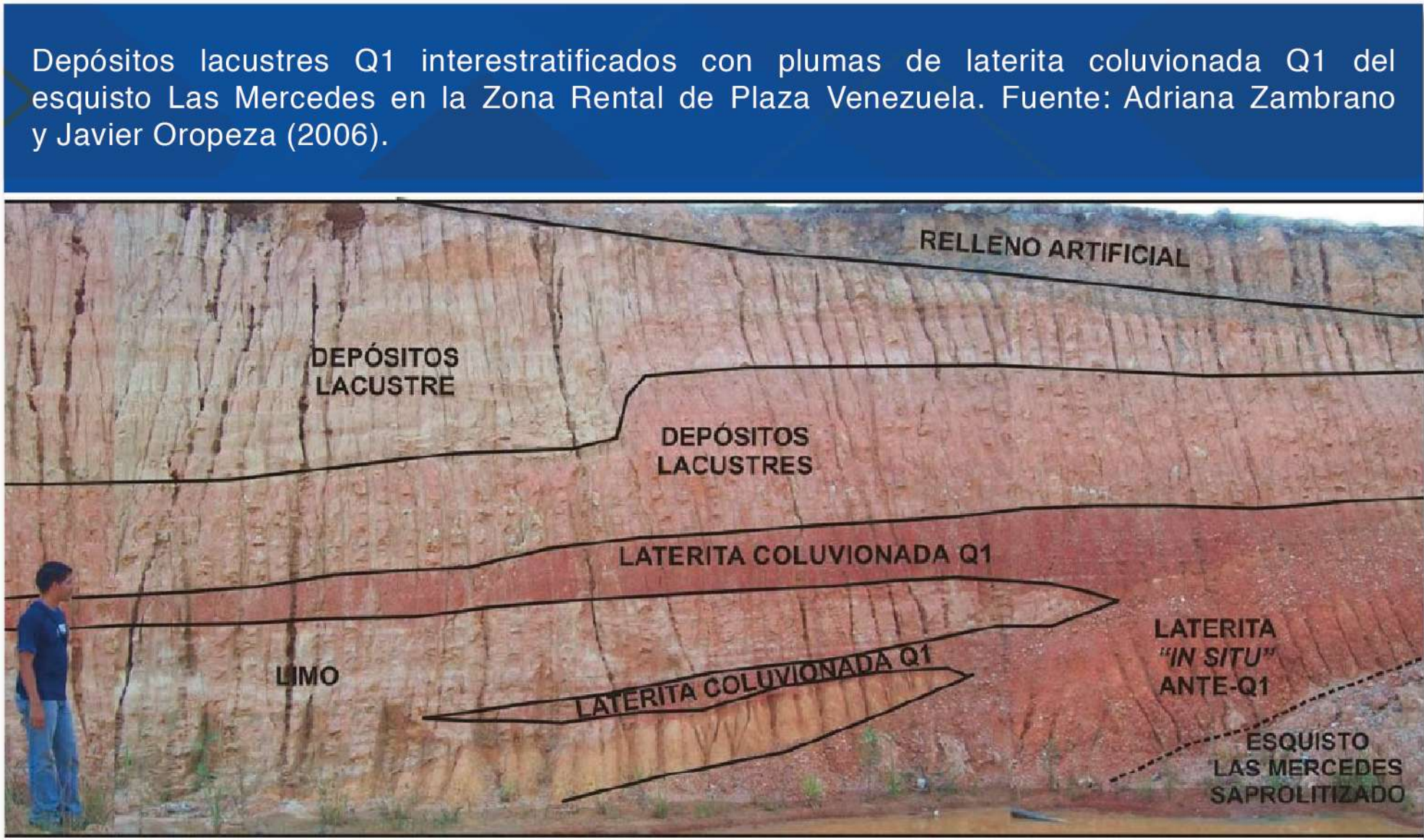
3.3.1 MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS CUATERNARIAS DEL VALLE DE CARACAS

André Singer, Adriana Zambrano, Javier Oropeza y Mauricio Tagliaferro

El referido documento presenta una imagen global de la secuencia de unidades geológicas del subsuelo aluvial del Valle de Caracas donde se asienta la capital del país. Aquellas unidades geológicas fueron discriminadas por fotogeología por medio de criterios morfoestratigráficos y morfotectónicos, así como por medio de observaciones directas de unas 250 fundaciones de edificaciones en construcción concernientes a las características depositacionales y datación relativa de los diversos cuerpos sedimentarios identificados. La leyenda contigua al mapa precisa aquellas características desde las unidades atribuidas al Pleistoceno inferior hasta los depósitos aluviales que integran los diversos cuerpos separados en el Holoceno.

A todo lo largo del registro sedimentario que se extiende desde el Pleistoceno inferior (Q4 y Q3) hasta el Holoceno más reciente (Qoa), es notoria la intervención de fenómenos de deslaves y aludes torrenciales en la sedimentogénesis de la depresión tectónica de ángulo de falla del valle de Caracas, pero con una aparente menor incidencia de aquellos mecanismos de depositación en la unidad Q2 del Pleistoceno medio, donde se evidencia un control climático más marcado en el proceso de sedimentación. El impacto recurrente de procesos altamente dinámicos y convulsivos como los aludes torrenciales en la morfogénesis del Valle de Caracas, explica la ocurrencia de episodios significativos de sumersión y depositación lacustre en las partes más bajas de esta depresión tectónica como resultado de mecanismos de obturación y represamiento lateral del río Guaire.

La desorganización muy profunda del sistema de drenaje natural que resulta del impacto de aquellos mecanismos de sedimentación de alta energía y que se logra reconstituir detalladamente en los últimos eventos de deslaves de gran magnitud ocurridos en época prehispánica por medio de criterios arqueogeológicos, constituye un análogo paleogeodinámico de los eventos de misma naturaleza que devastaron el litoral central en 1999. Aquellos insumos de información geológica son de particular interés para la elaboración de escenarios de riesgo para las obras de urbanismo superficiales y subterráneas en las áreas de mayor exposición del Valle de Caracas ante este tipo de geoamenazas. En la tabla adjunta se presentan la fuentes de información utilizadas en el mapa.

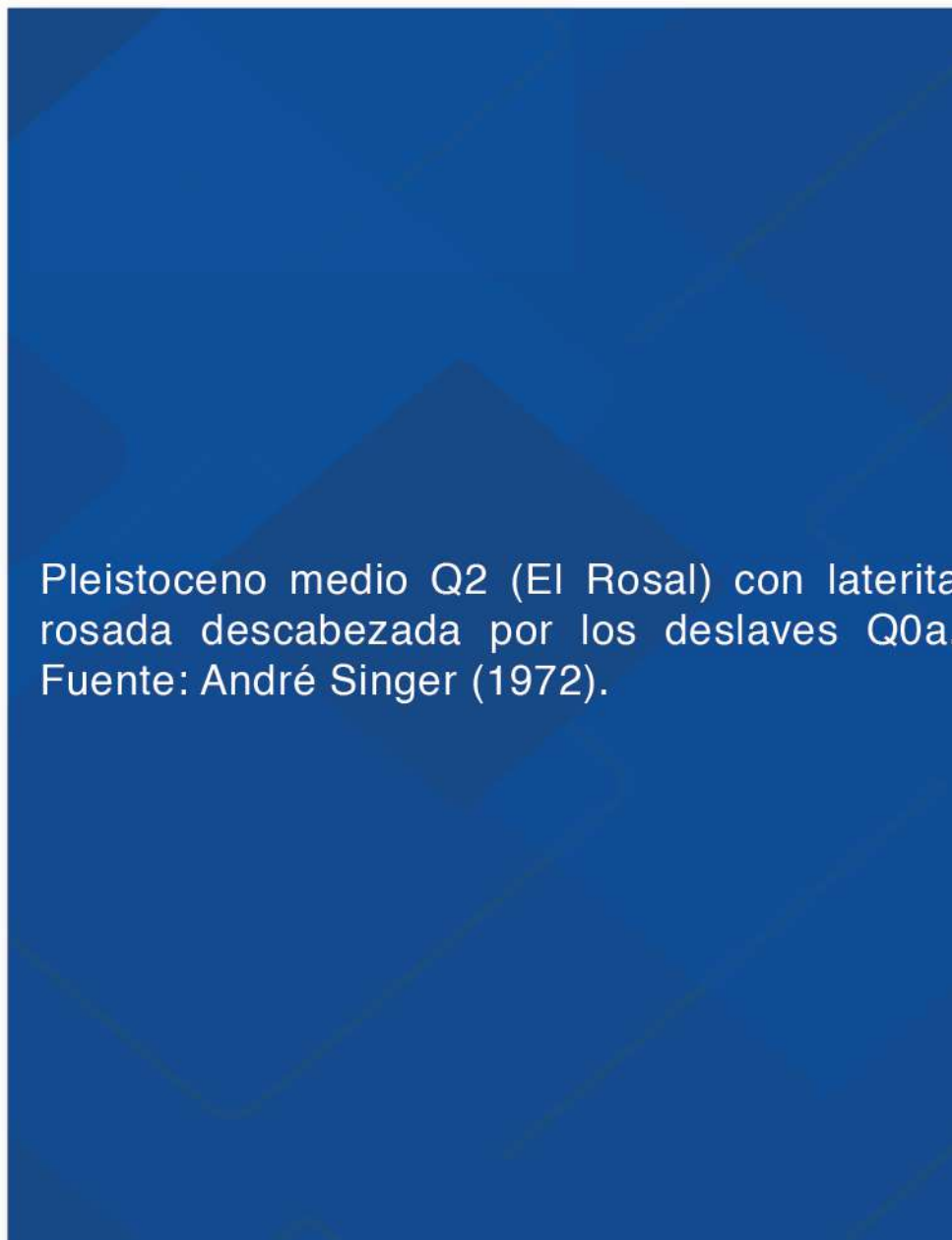


| Fuentes de Información Base en el Mapa Cuaternario de Caracas                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -Escombros arqueológicos de época colonial a moderna                                                                                                                                                                                                                                                             |
| La extensión de la capa más espesa de estos escombros es interpretada a partir de los trabajos de arqueología urbana de Mario Sanoja e Iraida Vargas-Arenas reunidos en el año 2002 en: El agua y el poder: Caracas y la formación del Estado colonial caraqueño: 1567-1700. Banco Central de Venezuela, 224 p.  |
| -Yacimientos arqueológicos prehispánicos soterrados                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 1. Hacienda Uslar, Montalbán, Periodo IV Neo-Indio.                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 2. El Pinar, Urb. El Paraíso, Período IV Neo-Indio.<br>Cruxent José María (1982). Arqueología Cronológica de Venezuela, Vol. I, 322-324 Reedición, Armitano.                                                                                                                                                     |
| 3. ex-Parque de Recreación El Conde, final Periodo III Neo-Indio. Singer, André (1977). Tectónica Reciente. morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el Valle de Caracas. Memorias Seminario Internacional de Riesgo Geológico OEA-FUNVISIS-UCV, CEDI-FUNVISIS, 41 p.                                          |
| 5. Urb. Los Naranjos, pozo B, Paseo Las Mercedes, Periodo IV Neo-Indio. Jam, Pedro. (1958). Una estación arqueológica en el Valle de Caracas. Antropológica. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, N° 5, 44-48.                                                                                               |
| 6. Urb. Boleita Norte, Antigua Cervecería Zulía. Este sitio entregó una punta de flecha pedunculada lascada de cuarzo lechoso, encontrada en estratigrafía bajo 3 metros de aluviones por el Geólogo Franco Urbani (UCV), la cual podría pertenecer al periodo I Meso-Indio e inclusive al Periodo II Neo-Indio. |
| -Yacimientos arqueológicos prehispánicos de superficie                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 4. Urb. Los Naranjos, pozo A, Calle Roraima, posiblemente Periodo II a III Neo-Indio. Jam, Pedro. (1958). op. cit. p 47.                                                                                                                                                                                         |
| -Datación C14:                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Excavación, Metro de Caracas Línea 4, Nuevo Circo, cortesía F. Audemard (FUNVISIS) y Roberto Centeno. Arcillas grises ubicadas a 7 metros de profundidad arrojaron una edad C14 de 10460 +60 B. P. (Muestra Beta - 181503 Ccs-02-03.).                                                                           |





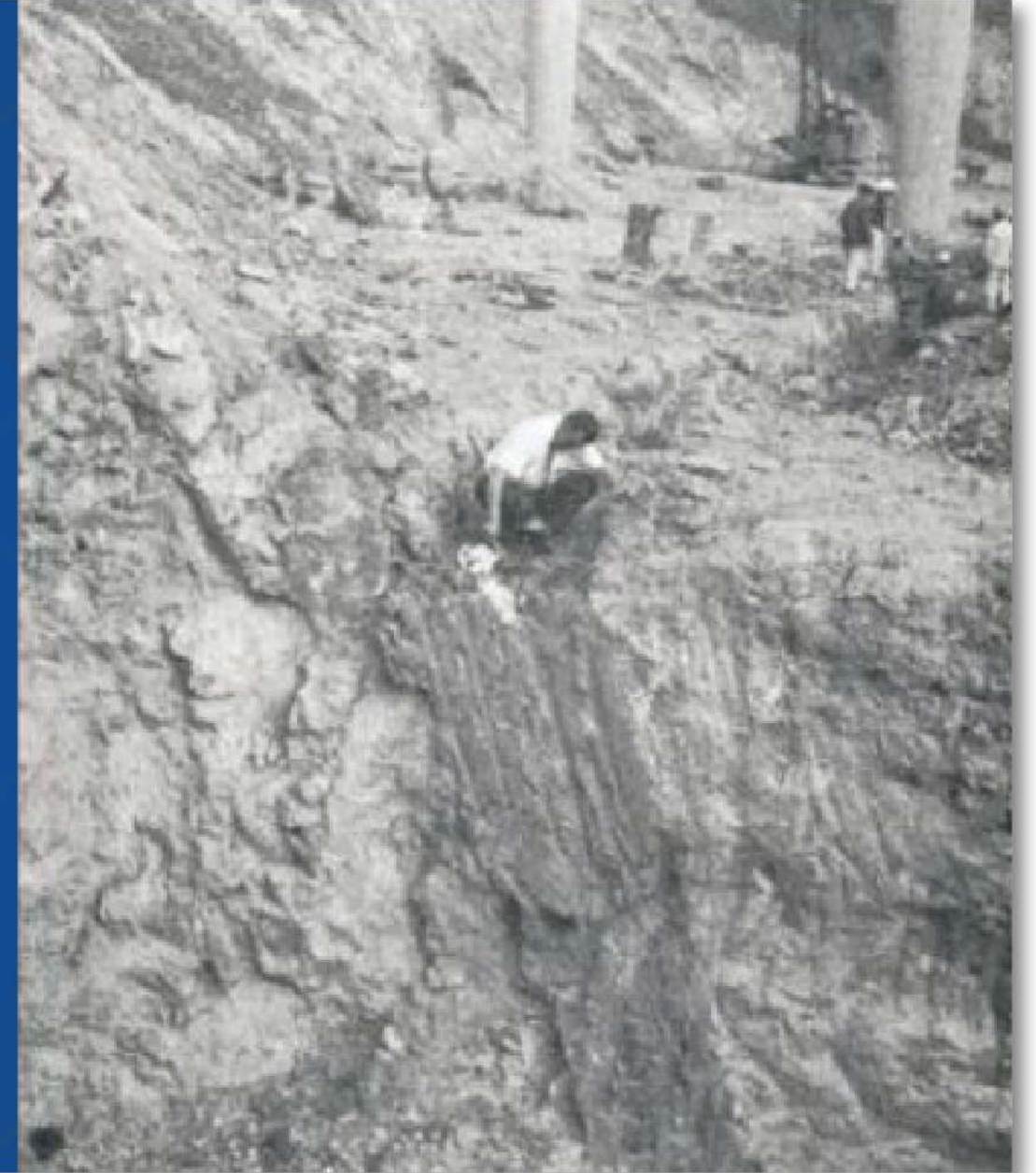
Pleistoceno medio Q2 (El marqués, parte baja) con los latosuelos sobreimpuestos marrón pardo sobre ocre anaranjado-rosado.  
Fuente: André Singer (1972).



Pleistoceno medio Q2 (El Rosal) con laterita rosada descabezada por los deslaves Q0a.  
Fuente: André Singer (1972).



Vista al este de una brecha de falla arcillosa (gouge de falla) con buzamiento sur encontrada durante la construcción de la Av. Boyacá (Cota Mil) sobre la traza activa de la falla del Ávila en la salida hacia San Bernardino.  
Fuente: Circular N° 37 de la Sociedad venezolana de Geólogos (1969).



Vista al este de una brecha de falla N45°W 70N) encontrada en excavación en la Urbanización Ávila al pie de la Cota mil cortando gneises milonitizados a la izquierda y esquistos anfíbolíticos a la derecha.  
Fuente: André Singer.







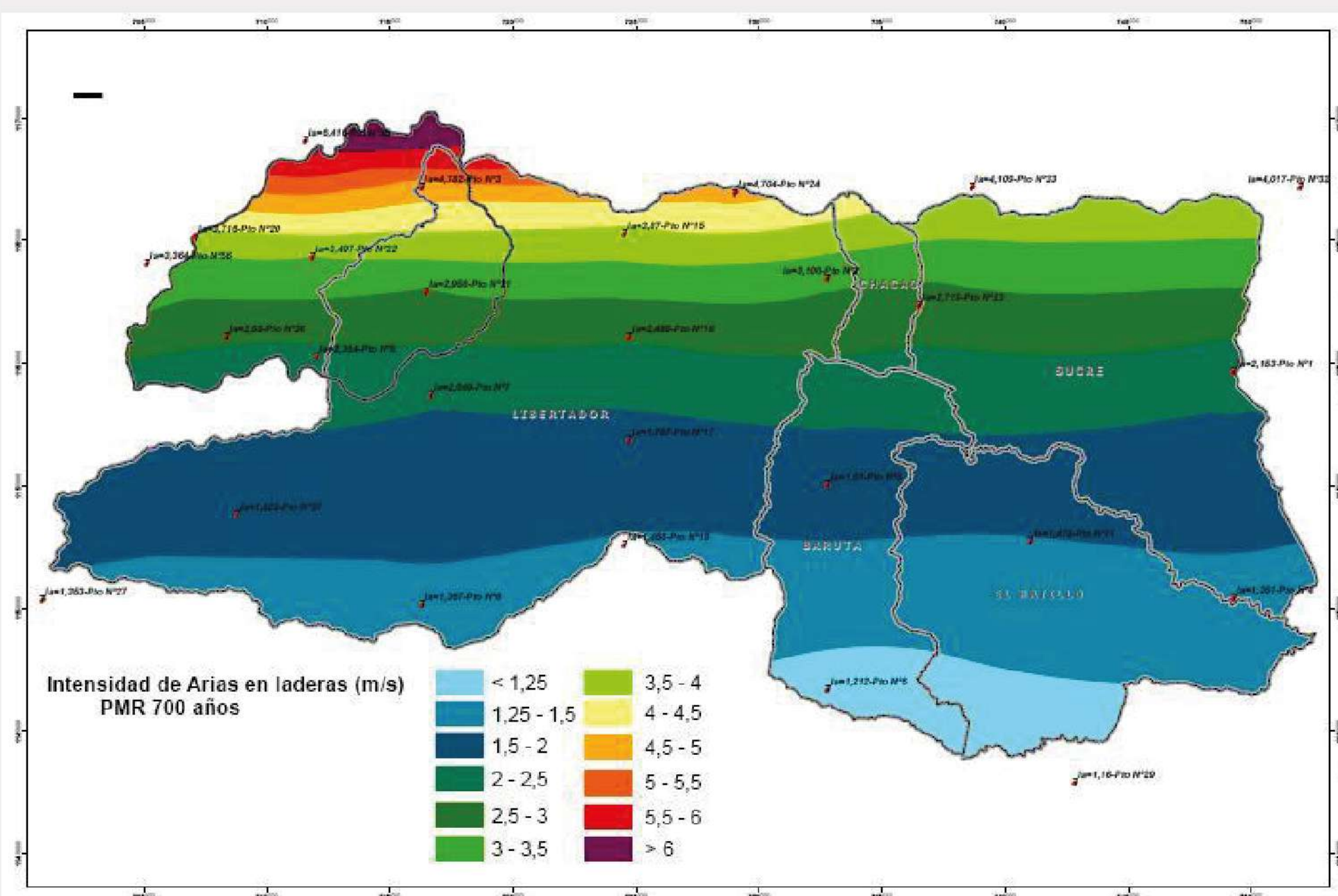


### 3.3.2 PELIGRO DE DESLIZAMIENTOS EN CARACAS

Julio J. Hernández, Maxlimer Valleé †, Michael Schmitz, Javier Oropeza, Mauricio Tagliaferro y Piero Feliziani

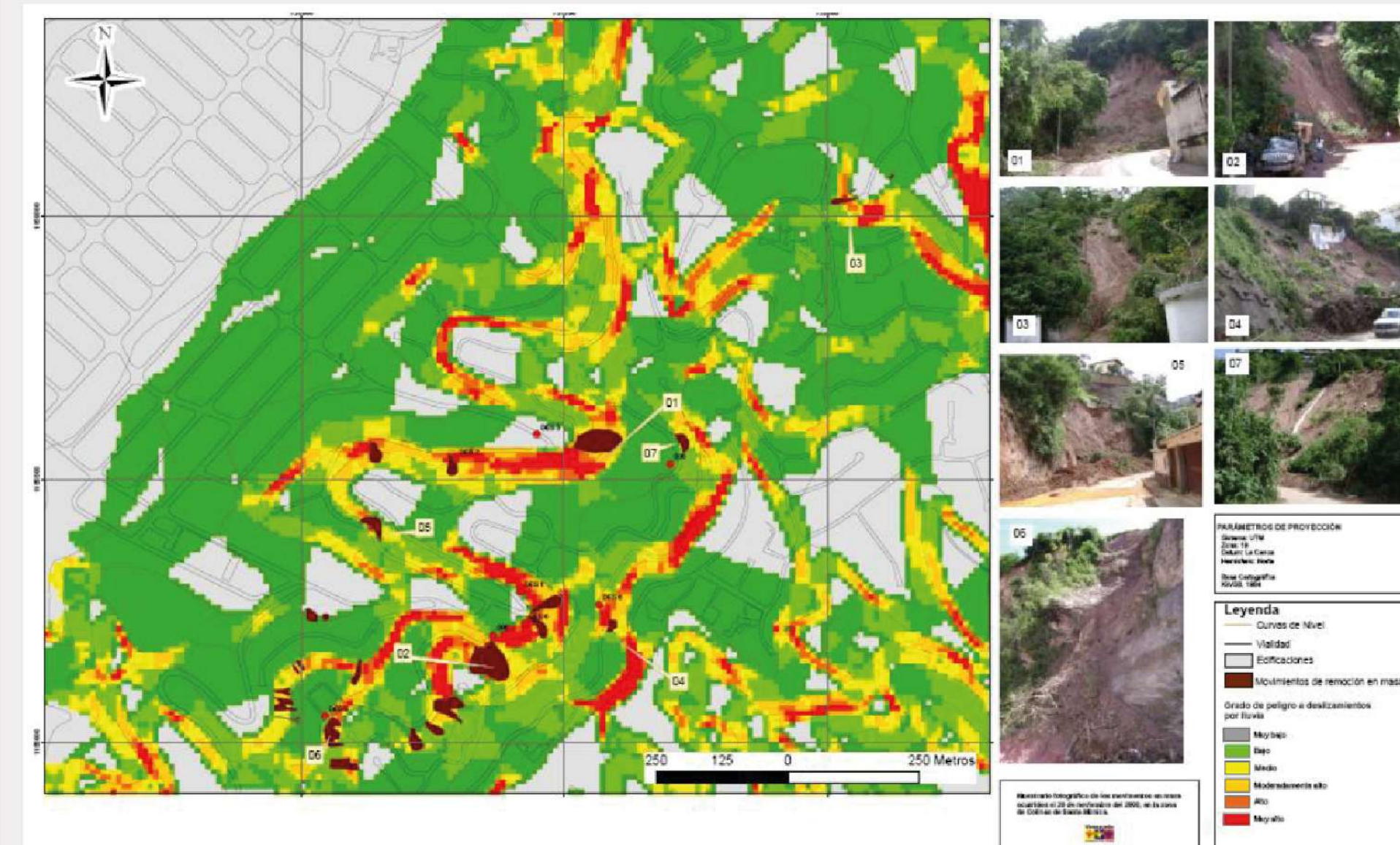
En el marco del proyecto de microzonificación sísmica del Área Metropolitana de Caracas se evaluó el peligro sísmico de deslizamiento a escala 1:25000, el cual está condicionado por la cercana ubicación de la ciudad a varios sistemas de fallas asociadas al borde de las placas Caribe y Suramérica. Como soporte se contó con información geológica geomorfológica y geotécnica previamente desarrollada en el llamado Sector Central a escala 1:10000, así como con modelos digitalizados de elevación. Se efectuó una caracterización geotécnica de las laderas que toma en cuenta sus características litológicas, estructurales, clinométricas y de geodinámica externa, incluyendo la intervención antrópica. Se obtuvieron mapas de orientación geotécnica y susceptibilidad a los deslizamientos traslacionales; estos fueron calibrados en el subsector de la Urb. Alto Prado con información a escala 1:2500, correlacionándolos con los deslizamientos previos o latentes causados por lluvias.

Amenaza sísmica como intensidades de Arias en el Área Metropolitana de Caracas para PMR = 700 años. Fuente: Hernández et al. (2008).

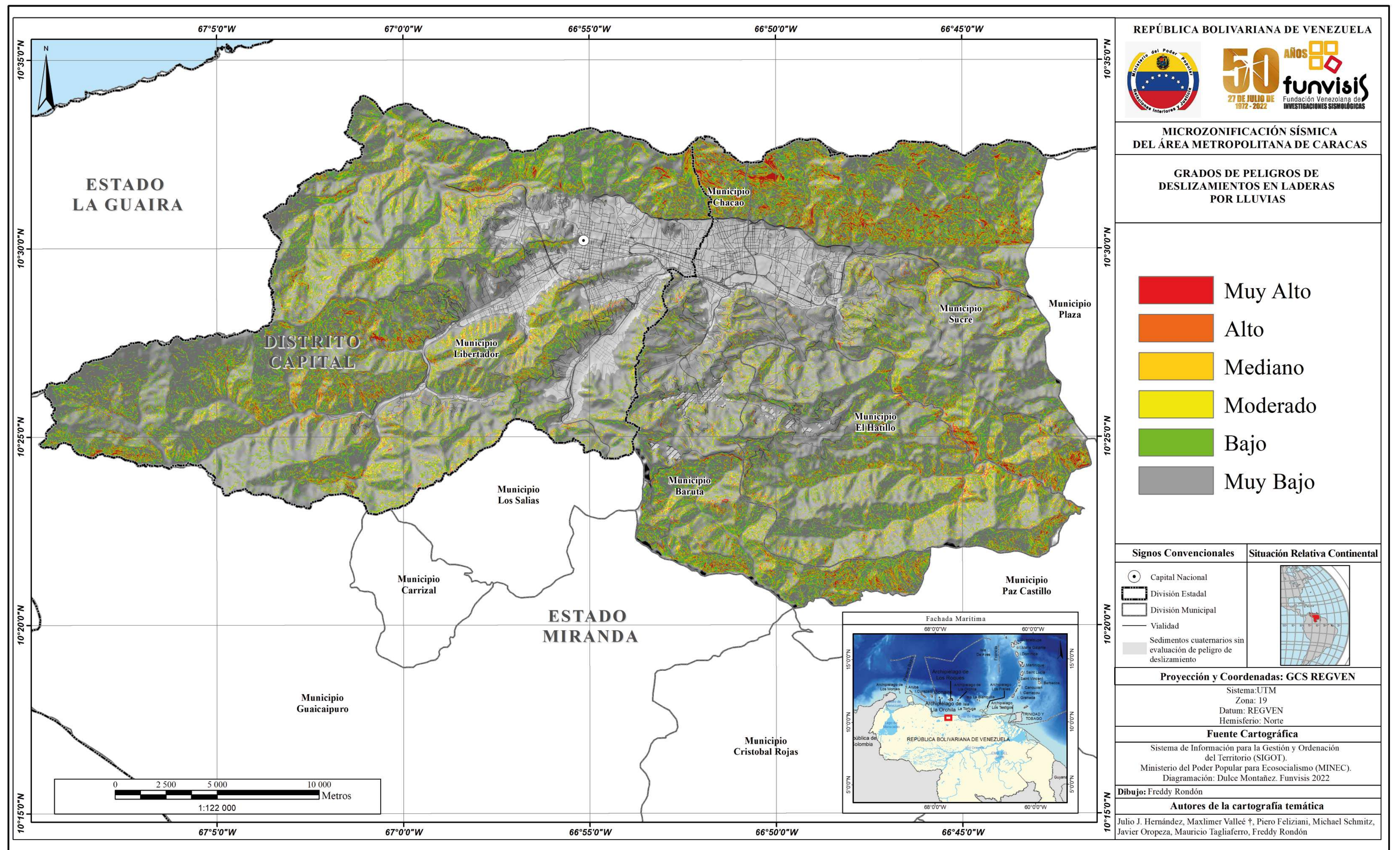


Para la evaluación del peligro sísmico se utilizó una estimación de deformaciones de Newmark correlacionada con intensidades de Arias (ver mapa); éstas se obtuvieron mediante un análisis de amenaza sísmica, asumiendo un período medio de retorno de 700 años, valor similar al normativo para las edificaciones masivas. Adicionalmente, para completitud del estudio se estimó el peligro de deslizamientos por lluvia. El peligro de deslizamientos por sismo se evaluó para suelo semi-saturado y el peligro de deslizamientos por lluvias para suelo saturado. Se identificaron seis niveles de peligro en los mapas, los cuales podrán ayudar a guiar las decisiones de priorización de estudios especiales e implementación de medidas de mitigación (Hernández et al., 2008).

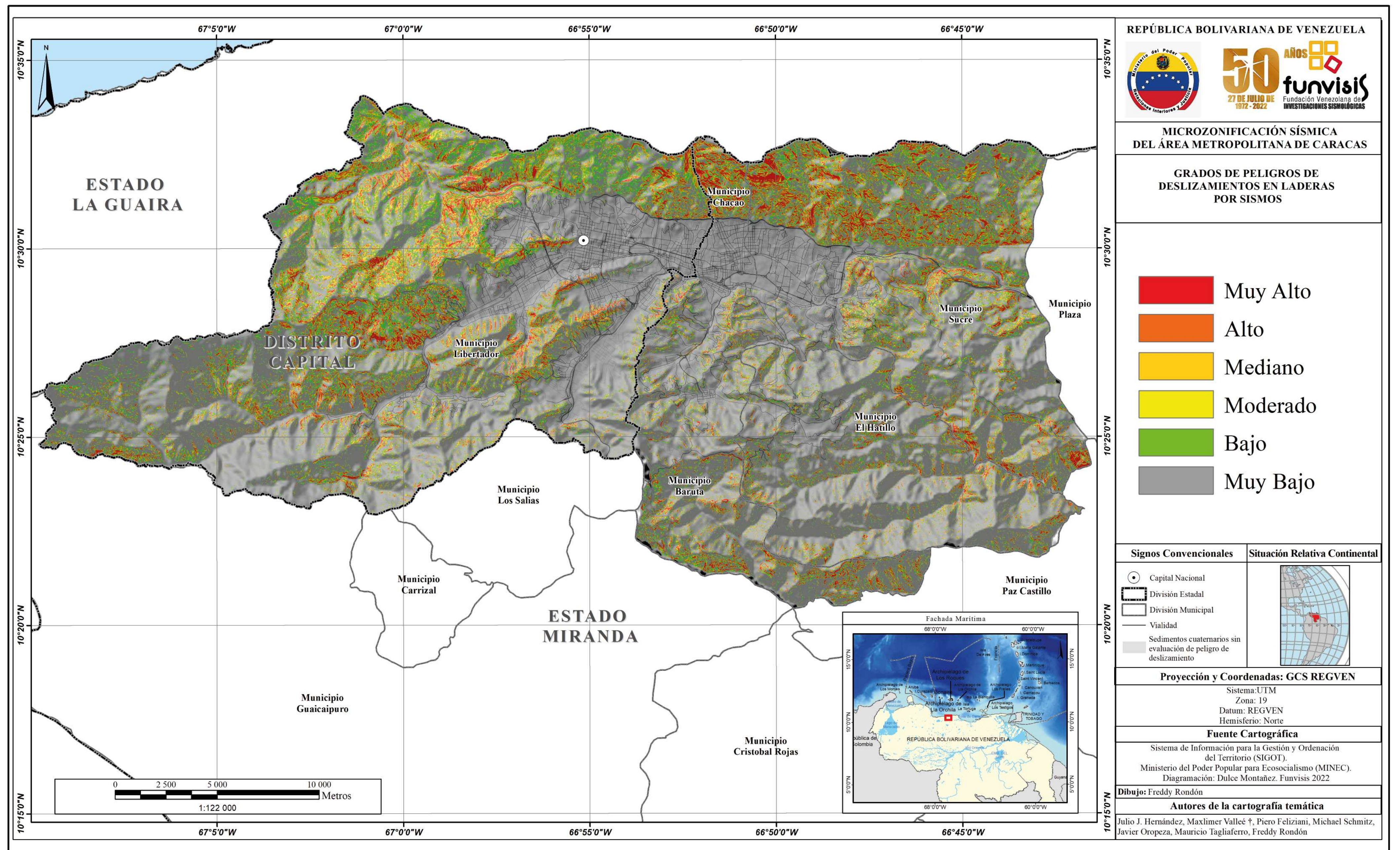
Peligro de deslizamientos por lluvias: Calibración con eventos ocurridos a raíz de las lluvias fuertes de noviembre de 2008 en Baruta (Comparación de los eventos con la amenaza identificada en el mapa) Evidencia para la importancia de las modificaciones antrópicas. Fuente: Valleé et al. (2009).













### 3.3.3 ESPESORES DE SEDIMENTOS EN CARACAS

Michael Schmitz, Eduin Amarís, Javier Sánchez-Rojas, Víctor Rocabado, Jesús Moncada, Peter Kantak

Dentro del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas la determinación de los espesores de sedimentos ocupa un lugar prioritario, ya que muchos de los edificios de mediana altura dañados en el terremoto de 1967 estuvieron ubicados en zonas de gran espesor de sedimentos con efectos de cuenca, lo cual fue determinado mediante mediciones sísmicas después del terremoto.

Se realizaron estudios para determinar el espesor de los sedimentos, entre ellos mediciones sísmicas de refracción (Sánchez et al., 2005), mediciones de ruido ambiental (estimaciones de profundidad de los períodos predominantes) (Rocabado et al., 2011), perforaciones geotécnicas y la recopilación de información de pozos de agua de diferentes épocas (décadas de 1950 a recientes). Esta información fue integrada en un detallado modelo gravimétrico 3D, con toda la información del subsuelo para el valle de Caracas como puntos de control. Se determina un espesor máximo de los sedimentos de unos 350 m en la zona Los Palos Grandes - Dos Caminos y unos 220 m en San Bernardino (Amarís et al., 2011).



Recepción de equipos de medición sísmica ("Texan") del IRIS-Instrument Centre, Funvisis (2001).

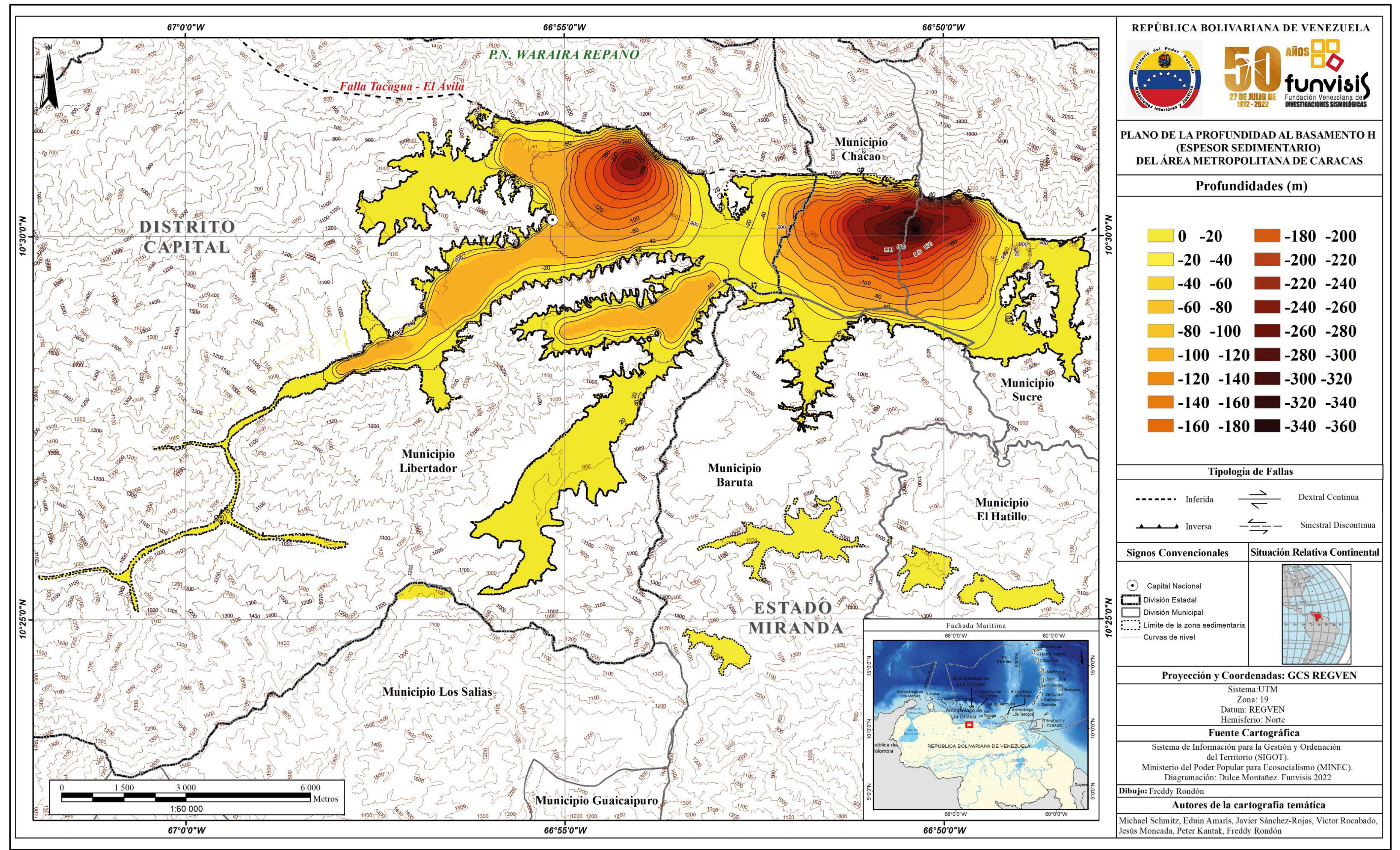


Perforación para mediciones sísmicas (izquierda) y búsqueda de puntos de medición (derecha) en Caracas (2001).



La información resultante se muestra para espesores variables y para su aplicación en las microzonas se agrupan en 4 rangos de profundidad (0-60, 0-120, 120-220 y > 220 m), de acuerdo con el alcance del análisis dinámico paramétrico de la respuesta del suelo, y se utiliza como la base para la definición de los límites entre las microzonas de respuesta sísmica similar dentro del valle (Schmitz et al., 2020a).







### 3.4 INVESTIGACIONES GEODINÁMICAS

Michael Schmitz, Franck Audemard, Fernando Mazuera, Carlos Reinoza, José Choy, José Cruces, Jesús Ávila, Luis Yegres, Kenny García, Luz Rodríguez, Franco Urbani, Nuris Orihuela, Claudia Quinteros, Herbert Rendón, Antonio Ughi, Miguel Bosch, Santiago Yépez, Wuilian Torres, Crelia Padrón, Laura Piñero, Mónica Paolini, Cristhian Sánchez, Stephanie Klarica †, Francisco Araujo, Javier Sánchez, André Singer, Jélimé Aray, Jesús Moncada, Milgreya Cerrada, Martín Rengifo, Patxi Vizcarret, Sara Mata, Mauricio Bermúdez, Mariano Arnaíz, Jesús González, Manuel Bolívar, Rafael Ramírez, Pedro Camacho, Pedro Medina, Marvin Barquero, Freddy Rondón, Santiago Yepez, Keyla Ramírez, María Saavedra, Noel Crasto y los grupos de trabajo GEODINOS y GIAME

Las investigaciones geodinámicas se desarrollan con el fin de entender la dinámica de la zona norte de Venezuela a través de la exploración de las estructuras de la litosfera terrestre a diferentes escalas utilizando métodos geofísicos, geológicos y geodésicos, entre otros. Aparte de varios proyectos de enfoque local, se desarrollaron 2 proyectos interdisciplinarios inter-institucionales, el primero llamado GEODINOS (Geodinámica Reciente del Límite Norte de la Placa Sudamericana) destinado a investigar la interacción de las placas tectónicas del Caribe y de Sudamérica a partir del año 2002 (Schmitz et al., 2014a) y el segundo llamado GIAME (Geociencia integral de los Andes de Mérida) con un enfoque en los procesos relacionados al levantamiento y las estructuras internas y externas de los Andes de Mérida a partir del año 2012 (Schmitz et al., 2014b). Bajo el liderazgo de FUNVISIS se unieron investigadores de las universidades nacionales UCV, USB, ULA, UNEFA y UDO, institutos de investigación FIICPDI, PDVSA-INTEVEP, IGVSB y ABAE, así como PDVSA Petróleo S.A.. Los esfuerzos nacionales se complementaron con los proyectos internacionales BOLIVAR (Broadband Onshore-Offshore Lithospheric Investigations of Venezuela and the Antilles Arc Region) (Levander et al., 2006; 2014) y CARMA (CARibbean-Merida Andes) (Cornthwaite et al., 2021) bajo el liderazgo de la Universidad Rice (EEUU) incluyendo investigadores de las universidades Indiana, California, Texas, Minnesota (EEUU); también se incorporaron cooperaciones con IS-Terre (Francia) y GFZ (Alemania) entre las mas destacadas.

Para alcanzar los objetivos planteados, se realizó la interpretación interdisciplinaria de varios métodos geológicos y geofísicos, tal como el mapeo geológico y geotectónico, la identificación de la morfología de fallas activas y campos de esfuerzos mediante mediciones de GPS (Reinoza et al., 2015), el análisis petrológico de trincheras y dataciones, los métodos potenciales como la gravimetría, la magnetometría y la magnetotelúrica, la sísmica de refracción profunda y la sismología (tomografía y funciones de receptores) con la evaluación de escenarios geodinámicos.

El trabajo apunta hacia la integración de este conjunto de datos mediante un Sistema de Información Geográfica, el cual permitirá la interrelación y visualización de todos los parámetros de estudio para su interpretación conjunta. El estudio de la geodinámica del límite norte del continente Sudamericano y de los Andes Venezolanos es de gran importancia para el conocimiento del riesgo sísmico en Venezuela, pues la mayor parte de la población reside en zonas que están directamente expuestas a los fenómenos generados por este margen activo. Tal es el caso de la abrupta morfología producto de la interacción de la placa Sudamericana con la placa del Caribe y la sismicidad asociada a los movimientos relativos de estas dos placas, así como la relación de la placa del Caribe en subducción por debajo del bloque de Maracaibo y su importancia para la generación de los Andes de Mérida. El conocimiento en detalle de las estructuras litosféricas ayuda en la localización de los eventos telúricos y a un mejor conocimiento de las fallas tectónicas activas, mientras que los modelos geodinámicos asociados favorecen una mejor comprensión de la amenaza sísmica a la cual está expuesta la población. A su vez, estos conocimientos contribuyen a definir aquellos procesos que formaron las cuencas neógenas del país, su mayor fuente de hidrocarburos.

### 3.5 MAPA DEL ESPESOR DE LA CORTEZA EN VENEZUELA

Michael Schmitz, Keyla Ramírez, Fernando Mazuera, Jesús Ávila, Luis Yegres, Natalio Reyes y los grupos de trabajo sísmica activa de los proyectos GEODINOS y GIAME

La corteza terrestre forma parte de la litosfera, la cobertura rígida de la tierra, que tiene espesores entre 50-80 km debajo de los océanos y hasta 300 km, con un promedio de aproximadamente 130 km, debajo de los continentes. La corteza se divide del manto litosférico por la discontinuidad de Mohorovičić (o breve Moho), que separa rocas con propiedades físicas fundamentalmente diferentes con fuertes variaciones de su espesor. El estudio de la estructura interna de la corteza y las variaciones de su espesor ayuda a identificar provincias geológicas y proporciona modelos de referencia para estudios sismológicos.

Con tal fin se realizaron desde los años 80 estudios sísmicos de gran ángulo con fuentes controladas (explosiones), el primero en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (1984) para establecer parámetros para la localización de los sismos en la región. Como parte de las Investigaciones Geodinámicas en FUNVISIS se realizaron en el año 1998 mediciones sísmicas en el Escudo de Guayana utilizando las voladuras de la mina Cerro Bolívar y en el año 2001 mediciones con voladuras controladas en un perfil conectando el Escudo de Guayana con la costa del Caribe en Barcelona. En el marco de los proyectos GEODINOS y BOLIVAR se realizaron en el año 2004 mediciones sísmicas a lo largo de 4 perfiles N-S entre la Cuenca de Venezuela en el Norte y las cuencas de antepaís en los Llanos al Sur, así como un 5to perfil en la Cuenca de Grenada al NE de Trinidad y Tobago. En el año 2014 se midieron en el marco del proyecto GIAME 3 perfiles con orientación NO – SE que cruzaron los Andes de Mérida, con un perfil perpendicular en la cuenca de Falcón y conexiones perpendiculares en los Andes; sobre este mismo perfil se hicieron en el año 2015 mediciones sísmicas de reflexión y registros de los sismos.

Preparación y revisión de equipos Texan para ser usados en el estado Guárico en el marco del proyecto GEODINOS (2004).



El uso de las vibraciones naturales de la tierra (sismos, vibraciones ambientales) permite el estudio de la litósfera con varios métodos, siendo el análisis de las funciones receptoras un método muy eficiente para mapear discontinuidades como el Moho. Se elaboraron mapas del espesor del Moho con las estaciones de la red sísmológica nacional y de estaciones temporales en el marco de los proyectos GEODINOS/BOLIVAR y GIAME/CARMA. De la placa del Caribe va aumentando el espesor cortical de la Cuenca de Venezuela con 20-25 km a unos 35 km en la costa (con excepción de la zona de Falcón donde se observa un adelgazamiento a menos de 30 km espesor) y 40-45 km en Los Llanos y El Escudo de Guayana, respectivamente. Valores superiores a 50 km se observan en la Cuenca de Maturín y en la parte Sur de los Andes de Mérida (e.g. Schmitz et al., 2021).



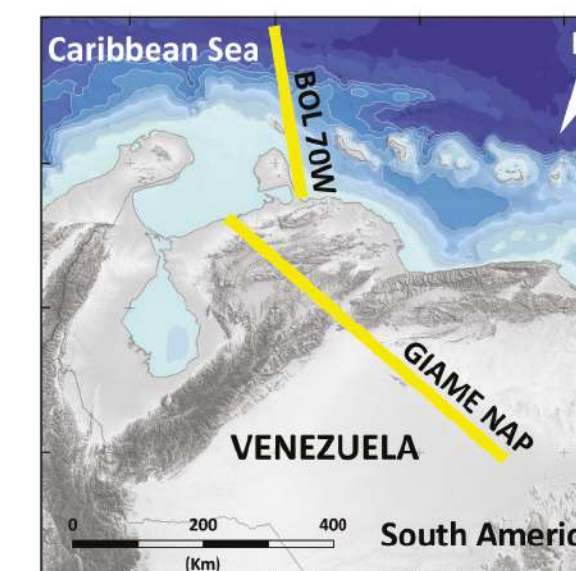
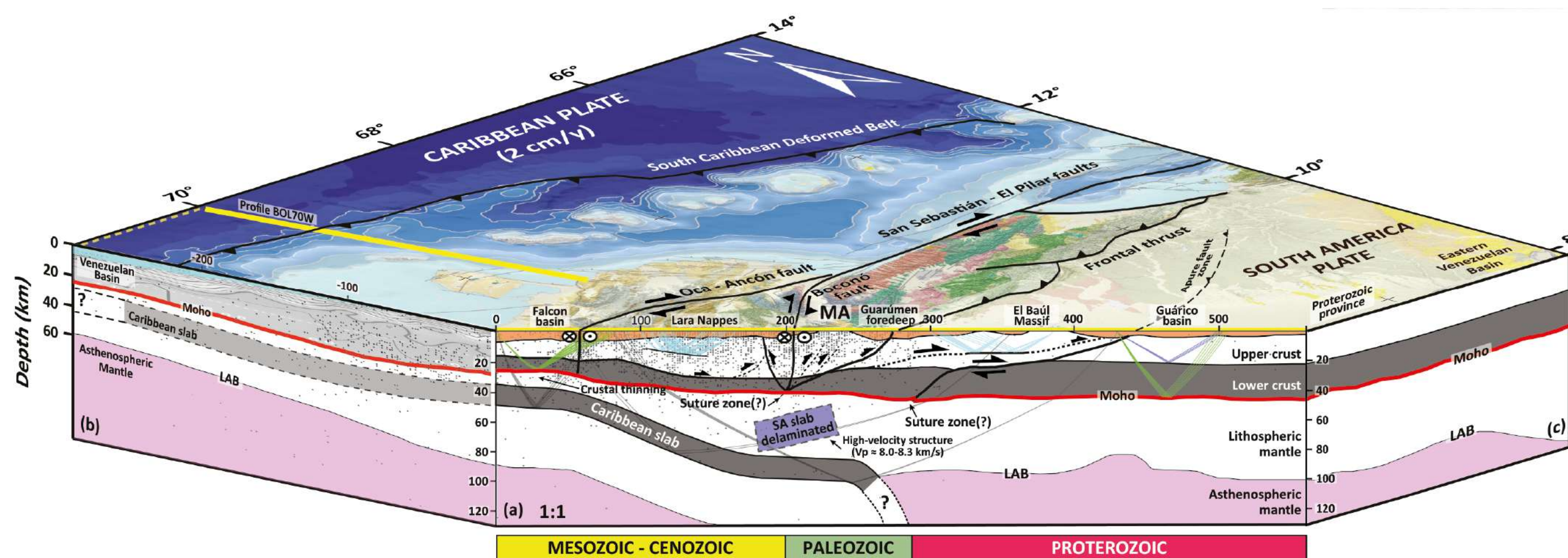
Proyecto GEODINOS, 2003: Perforación de pozos para una voladura, estado Falcón.



Proyecto GEODINOS, 2003: carga de explosivos, estado Falcón.

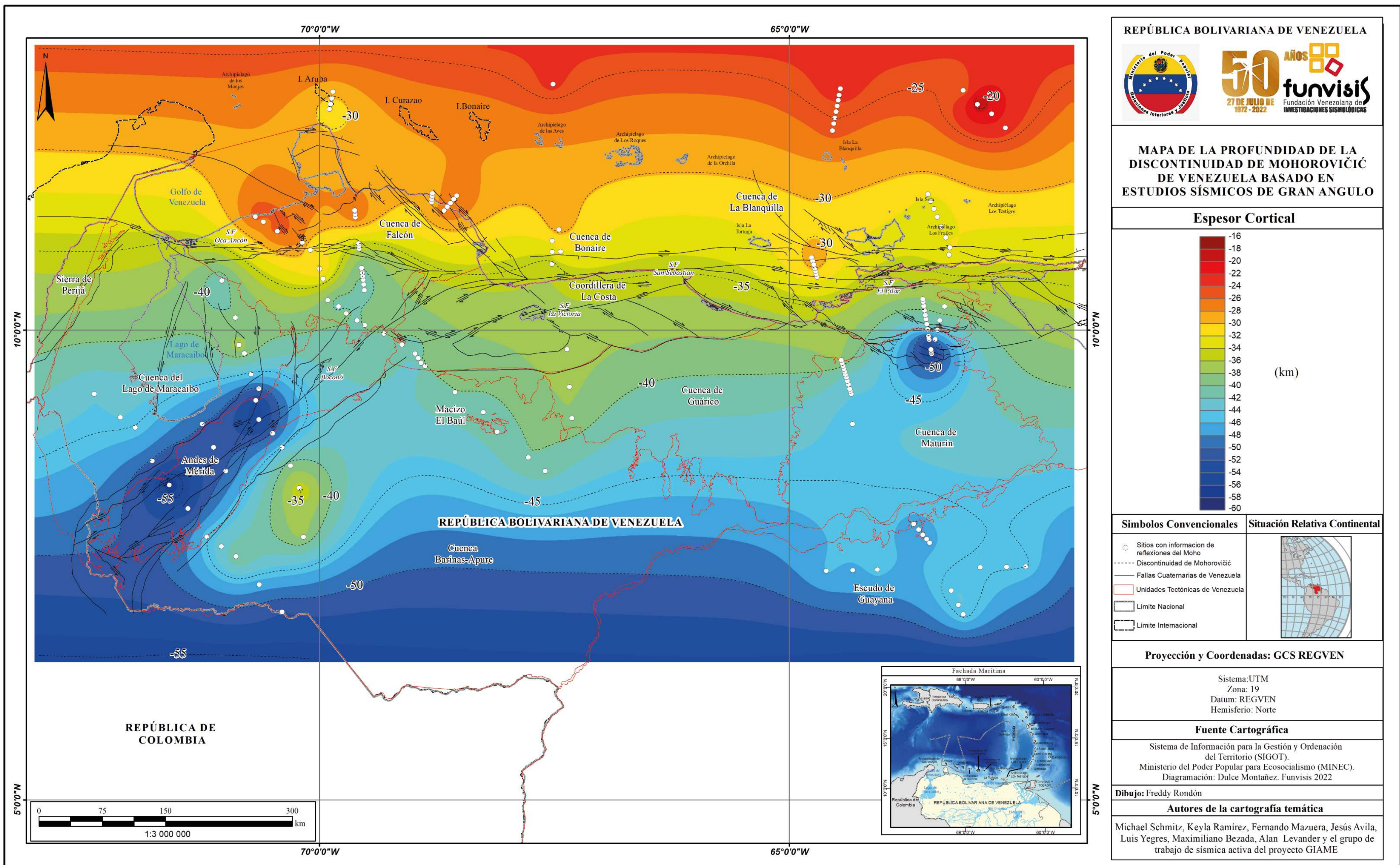


Proyecto GEODINOS, 2004: Preparación y observación de las voladuras del Cerro Bolívar, estado Bolívar.



Modelo esquemático de la litósfera al Norte de los Andes de Mérida. Fuente: Mazuera et al. (2019).



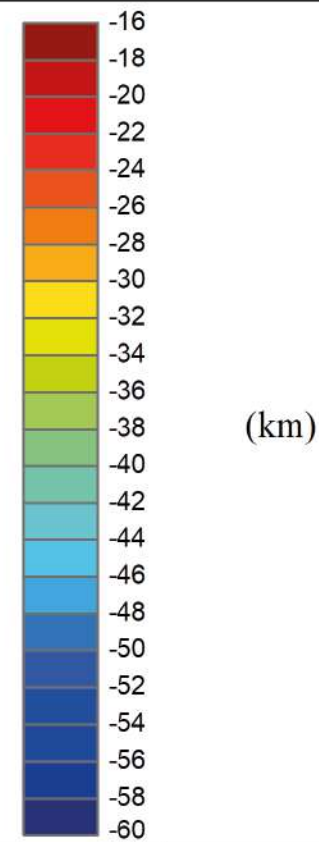


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA



MAPA DE LA PROFUNDIDAD DE LA DISCONTINUIDAD DE MOHOROVICIC DE VENEZUELA BASADO EN ESTUDIOS SÍSMICOS DE GRAN ANGULO

Espesor Cortical



Simbolos Convencionales

- Sitios con informacion de reflexiones del Moho
- Discontinuidad de Mohorovičić
- Fallas Cuaternarias de Venezuela
- Unidades Tectónicas de Venezuela
- Limite Nacional
- Limite Internacional

Situación Relativa Continental



Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Sistema: UTM  
Zona: 19  
Datum: REGVEN  
Hemisferio: Norte

Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).  
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).  
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022

Dibujo: Freddy Rondón

Autores de la cartografía temática

Michael Schmitz, Keyla Ramirez, Fernando Mazuera, Jesús Avila, Luis Yegres, Maximiliano Bezada, Alan Levander y el grupo de trabajo de sismica activa del proyecto GIAME



## 3.6 REFERENCIAS

- Amarís, E., Schmitz, M., Murphy, V., (2011). Map of sediment thickness as primary input for the Caracas Seismic Microzoning Project. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Santiago de Chile, Paper Nr. MOSAM, 12 pp.
- Aray, J., Rocabado, V., Sánchez-Rojas, J., Morales, C., Schmitz, M., Álvarez, F., 2015. Resultados de estudios geofísicos realizados en la ciudad de Cumaná como aporte al proyecto de microzonificación sísmica de la ciudad. X CONVESIS, Cumaná, trabajo in extenso, 6 pp, en CD.
- Ávila, J., Oropeza, J., Gómez, A., Schmitz, M., García, K., (2014). Integración de datos geofísicos y geológicos para la microzonificación sísmica de Carora, estado Lara. Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra (GEOS), 46(1), 1-17.
- Cornthwaite, J., Bezada, M.J., Miao, W., Schmitz, M., Prieto, G.A., Dionicio, V., Niu, F., Levander, A., (2021). Caribbean slab segmentation beneath northwest South America revealed by 3-D finite frequency teleseismic P-wave tomography. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22, e2020GC009431. <https://doi.org/10.1029/2020GC009431>
- COVENIN 1756-1, (2019). Construcciones sismorresistentes. Parte 1: Requisitos, Comisión Venezolana de Normas Industriales, FODENORCA, Caracas, <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1756-1-2019.pdf>
- García, K., Morales, C., Sánchez, J., Schmitz, M., (2006). Determinación de velocidades de ondas de corte (Vs30) en el Área Metropolitana de Caracas, a partir de conversión SPT-velocidad de ondas de cortes, análisis de ondas superficiales y sísmica de refracción. VIII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Valencia, Memorias en CD, 9 pp.
- Hernández JJ., (2009). Confiabilidad sísmica-estructural de edificaciones existentes de Caracas. Proyecto Pensar en Venezuela, C.I.V., Jornadas 18 y 19 de septiembre de 2009, 107 p.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., Audemard, F., Malavé, G., (2006). Marco conceptual del proyecto de microzonificación de Caracas y Barquisimeto. VIII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Valencia, 2006, Memorias en CD, 8 pp.
- Hernández, J.J., Valleé, M., Feliziani, P., Schmitz, M., Oropeza, J., Tagliaferro, M., Castillo, A., Cano, V., (2008). Peligro sísmico de deslizamientos en laderas de Caracas. 50 Aniversario de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG), 6 al 9 de noviembre 2008, Caracas, Memorias, 14 p.
- Hernández, J.J., Schmitz, M., Delavaud, É., Cadet, H., Domínguez, J., (2011). Espectros de respuesta sísmica en microzonas de Caracas considerando efectos de sitio 1D, 2D y 3D. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 26, Nº 2, pp. 49-66.
- Levander, A., Schmitz, M., Avé Lallemand H.G., Zelt, C.A., Sawyer, D.S., Magnani, M.B., Mann, P., Christeson, G., Wright, J., Pavlis, D., Pindell, J., (2006). Evolution of the Southern Caribbean Plate Boundary. *EOS*, Vol. 87, Nr. 9, pp. 97, 100.
- Levander, A., Bezada, M., Palomeras, I., Thurner, S., Masy, J., Humphreys, E., Niu, F., Schmitz, M., Gallart, J., Carbonell, R., Miller, M., (2014). Subduction-Driven Recycling of Continental Margin Mantle Lithosphere, *Nature*, 515, 253-256.
- Mazuera, F., Sánchez, J., Cerrada, M., Rocabado, V., Schmitz, M., Morales, C., Yegres, L., García, K., Matos, S., Romero, M., Prieto, A., Carmona, N., Sánchez, T., García, O., Calderón, A., Linares, M., (2015). Investigación aplicada a la gestión del riesgo sísmico en las ciudades de Valera, Trujillo y Boconó, estado Trujillo, con fines de microzonificación sísmica. X CONVESIS, Cumaná, trabajo in extenso, 11 pp, en CD.

- Mazuera, F., Schmitz, M., Escalona, A., Zelt, C., Levander, A. and the GIAME active seismic working group, (2019). Lithospheric structure of northwestern Venezuela: implications for the understanding of continental margins evolution. *JGR* 124, doi: 10.1029/2019JB017892.
- Morales, C., Hernández, J.J., Schmitz, M., Cano, V., Tagliaferro, M., (2011). Velocidades promedios de ondas de corte en los primeros 30 m de profundidad (Vs30), inferidos a partir del relieve en el Área Metropolitana de Caracas. *Revista de la Facultad de Ingeniería UCV*, 26 (2), 161–168.
- Oropeza, J., Singer, A., (2011). Propuesta geológica de microzonas sísmicas para la ciudad de Caracas. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, Vol. 26, Nº 2, pp. 129-140.
- Papageorgiou, A.S., Kim, J., (1991). Study of the propagation and amplification of seismic waves in Caracas valley with reference to the 29 July 1967 earthquake: SH waves. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 81, 2214-2233.
- Parra, J., Morales, C., Schmitz, M., Cerrada, M., Linares, M., Sánchez Rojas, J., (2016). Analogía entre valores de Vs30 calculados para ciudades venezolanas a partir del relieve y refracción por microtemores. VII Coloquio de Microzonificación Sísmica, Mérida, resumen in extenso.
- Pousse Beltran, L., Pathier, E., Jouanne, F., Vassallo, R., Reinoza, C., Audemard, F., Doin, M.P., Volat, M., (2016). Spatial and temporal variations in creep rate along the El Pilar fault at the Caribbean-South American plate boundary (Venezuela), from InSAR. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, doi:10.1002/2016JB013121.
- Reinoza, C., Morales, C., Rocabado, V., García, K., Sánchez, C., Abreu, R., Schmitz, M., (2011). Espesores de sedimentos a partir de la integración de datos geofísicos en Barquisimeto y Cabudare, Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 26 (2), 67–76.
- Reinoza, C., Jouanne, F., Audemard, F.A., Schmitz, M., Beck, C., (2015). Geodetic exploration of strain along the El Pilar Fault in northeastern Venezuela, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120, 1993-2013.
- Rocabado, V., Schmitz, M., Hernández, J.J., 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*, 26 (2), 141–151.
- Rodríguez, L., Singer, A., Rocabado, V., (2005). Evidencias geomorfológicas de fenómenos de sufusión-tubificación-colapso en el tope de la terraza pleistocena de Barquisimeto. IV Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Barquisimeto, noviembre 2005, en CD, Serie Técnica FUNVISIS No. 1, 2005, 235-239
- Rodríguez, L., Diederix, H., Torres, E., Audemard, F., Hernandez, C., Singer, A., Bohorquez, O., Yepez, S., (2018). Identification of the seismogenic source of the 1875 Cucuta earthquake on the basis of a combination of neotectonic, paleoseismologic and historic seismicity studies. *Journal of South American Earth Sciences*, 82, 274-291.
- Sánchez, J., Schmitz, M. y Cano, V., (2005). Mediciones sísmicas profundas en Caracas para la determinación del espesor de sedimentos y velocidades sísmicas. *Boletín Técnico del IMME*, Vol. 43, No. 2, 49-67.
- Sánchez, J., Götze, H.-J., Schmitz, M., (2010). A 3-D lithospheric model of the Caribbean-South American plate boundary. *International Journal of Earth Sciences*, 100, 7, 1697-1712.
- Schmitz, M., Morales, C. (Editores), (2016). Microzonificación sísmica del Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare, FUNVISIS, 2016, 161 pp.
- Schmitz, M., Singer, A. (Editores), (2015). Microzonificación sísmica de Caracas. FUNVISIS, Aldaldía de Chacao 171 pp.
- Schmitz, M., Hernández, J.J., Morales, C., Tagliaferro, M., Valleé, M., Leal, V., Rocabado, V., Cano, V., Audemard, F., Aguilar, I., Caraballo, E., Urbani, F., Rendón, H., Palma, M., Vásquez, R., Romero, G., López, R., Rodríguez, J., Molina, D., González, J., Araque, J., Ollarves, R., Rodríguez, L., Azuaje, J., Singer, A., Zambrano, A., Oropeza, J., García, K., González, M., Flores, Y., Villar, M. Justiniano, A., Moncada, J., Amarís, E., Sánchez, J., Domínguez, J., Hernández, A., Delavaud, E., Alvarado, L., Vilotte, J.-P., Feliziani, P., Castillo, A., Zamora, J.