

## ESPEORES DE SEDIMENTOS A PARTIR DE LA INTEGRACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS EN BARQUISIMETO Y CABUDARE, VENEZUELA

CARLOS REINOZA\*, CECILIO MORALES, VÍCTOR ROCABADO, KENNY GARCÍA, CRISTHIAN SÁNCHEZ, JAVIER SÁNCHEZ, RAFAEL ABREU, MICHAEL SCHMITZ

Departamento de Geofísica Aplicada, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas- FUNVISIS. Apartado 76880, El Marqués 1070, Venezuela. \*creinoza@funvisis.gob.ve

Recibido: octubre de 2009

Recibido en forma final revisado: julio de 2011

### RESUMEN

Desde el año 1998, FUNVISIS ha realizado en las ciudades de Barquisimeto y Cabudare estudios geofísicos y geotécnicos con el objetivo de determinar las propiedades físicas así como la profundidad de los sedimentos de la terraza aluvial de la ciudad de Barquisimeto y de la cuenca de tracción de Cabudare. Se determinaron espesores de sedimentos a partir de un modelado gravimétrico 3D considerando la geología local, modelos gravimétricos previos y espesores de sedimentos preliminares estimados a partir de la relación H/V, de información de pozos y de resultados de sismica de refracción. Se utilizaron los valores residuales de la anomalía de Bouguer como datos de entrada para el modelado tridimensional. El resultado final del estudio presenta la información compilada y generada mediante un Sistema de Información Geográfico (SIG), siendo los espesores de sedimentos un dato de entrada fundamental para los cálculos de respuesta dinámica y la definición de microzonas de similar respuesta sísmica en ambas ciudades.

*Palabras clave:* Espesores de sedimentos, Modelado gravimétrico, Sísmica de refracción, Barquisimeto, Venezuela.

## SEDIMENT THICKNESS BASED ON THE INTEGRATION OF GEOPHYSICAL DATA IN BARQUISIMETO AND CABUDARE, VENEZUELA

### ABSTRACT

Since 1998, FUNVISIS has realized geophysical and geotechnical studies in Barquisimeto and Cabudare cities in order to determine the physical properties and the sedimentary thickness of the alluvial terrace of Barquisimeto and the Cabudare pull-apart basin. Sediment thickness in Barquisimeto and Cabudare cities was obtained from 3D gravimetric modelling, considering local geology, previous gravimetric models and sedimentary thickness estimated from H/V relation, boreholes and seismic refraction data. We used residual anomaly values as 3D gravity model input data. Data and results, which are fundamental input for calculating soil dynamic responses and the definition of microzones of similar seismic response in both cities, were integrated in a geographic information system (GIS).

*Keywords:* Sedimentary thickness, Gravimetric model, Seismic refraction, Barquisimeto, Venezuela.

### INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto “Microzonificación sísmica de las ciudades Caracas y Barquisimeto, FONACIT 2004000738, se han desarrollado en el Área Metropolitana de Barquisimeto y Cabudare (AMBC) estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos con el fin de generar el modelo del subsuelo para estimar espesores de sedimentos, para finalmente incorporar estos resultados en el proyecto de microzonificación sísmica, aportando información de entrada para los cálculos de respuesta dinámica de los suelos y la definición de microzonas de similar respuesta sísmica. La base para la

delimitación de las microzonas la constituye la cartografía de las principales formaciones geológicas, en conjunto con la información sobre los espesores de sedimentos y las velocidades sísmicas de los estratos someros (Hernández *et al.* 2006).

El estudio comprende la revisión de la información geológica hecha previamente por Bechtold (2004), así como la revisión de otras fuentes (Giraldo, 1985; Hackley *et al.* 2005; Rodríguez, 2008), el análisis de pozos existentes en la zona realizados por FUNVISIS (GISCA, 2006) y por el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS; Tahal Inge-

nieros, 1970), y la evaluación geofísica del área. Esta última fase comprende la re-evaluación de estudios previos de microtemores (Rocabado *et al.* 2007; De Marco *et al.* 2004; Nobile, 2005), de sísmica de refracción (Morales *et al.* 2008) y gravimetría (De Marco, 2004).

El AMBC comprende las ciudades de Barquisimeto y Cabudare del estado Lara, municipios Iribarren y Palavecino respectivamente, en el centro-occidente de Venezuela (figura 1). La situación local tectónica está enmarcada por la cercanía a la Falla de Boconó de dirección NE-SO, la cual forma parte de un gran cinturón de más de 1200 km de fallas transcurrentes, junto a la falla San Sebastián E-W en el centro de Venezuela y la falla El Pilar en el oriente del país (Singer & Audermard, 1997). La falla de Boconó ha originado varios terremotos, siendo el de 1812 el más destructivo, causando la muerte de 4000 personas en Barquisimeto (Grases, 1990).

### MARCO GEOLOGICO

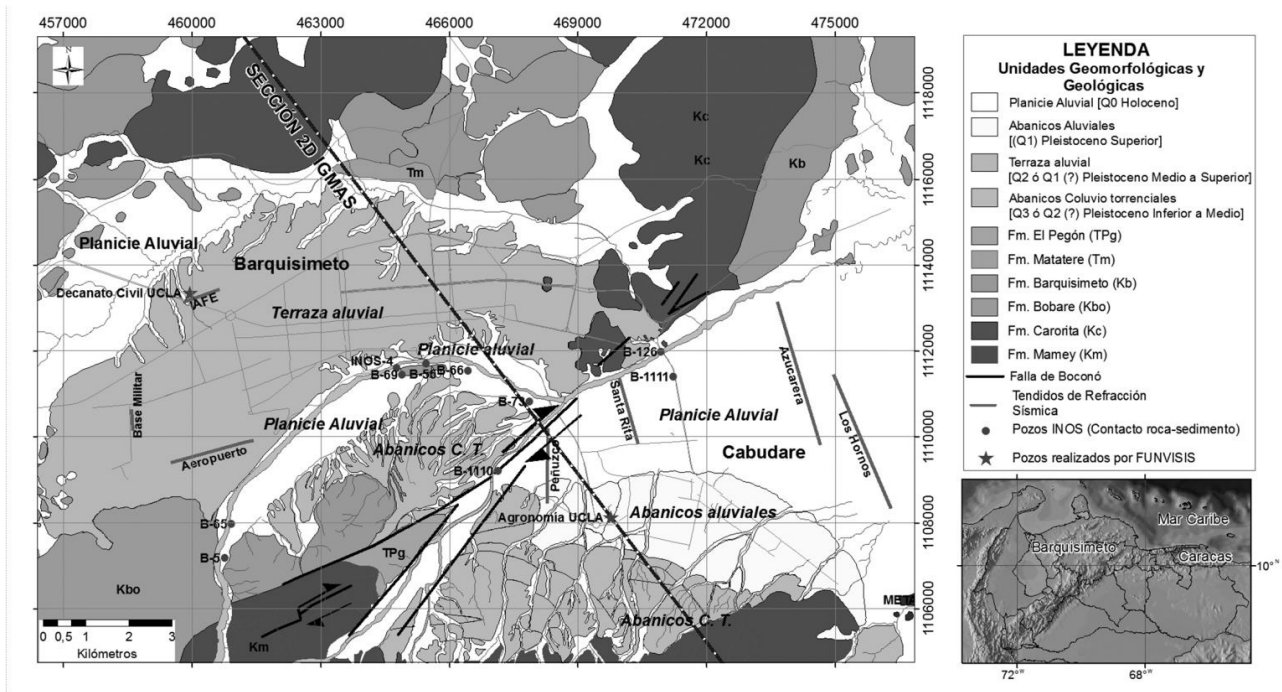
El basamento del AMBC está conformado por las formaciones del Cretácico inferior Mamey, Bobare y Carorita, la Formación Barquisimeto del Cretácico Superior, la Formación Matatere del Paleo-Eoceno, la Formación Pegón del Mio-Plioceno y suprayaciendo, se presentan las unidades sedimentarias cuaternarias atribuidas al Pleistoceno (Terraza de Barquisimeto) y al Holoceno (Rodríguez, 2008). La morfología típica se caracteriza por presentar: (1) un relieve

de colinas residuales y lomas altamente disectadas en los alrededores de Barquisimeto y Cabudare, (2) un paisaje de terraza aluvial, donde se encuentra edificada la ciudad de Barquisimeto, (3) abanicos aluviales y fluvio torrenciales, ubicados al sur de Cabudare y en el Cerro Manzano, y (4) planicie de inundación de los ríos Turbio y Claro que separan las poblaciones de Barquisimeto y Cabudare (Rodríguez, 2008; figura 1).

### MEDICIONES DE MICROTREMORES

Los métodos de ruido ambiental pueden dar una estimación rápida a bajo costo, y confiable de los efectos de sitio (Bard, 1998). Uno de los métodos ampliamente utilizados es la relación espectral H/V (Nakamura, 1989; Bard, 1998) introducido por Nogoshi & Igarashi (1971), donde el periodo fundamental del suelo es interpretado como un pico predominante sobre la elipticidad de las ondas Rayleigh (Lachet & Bard, 1994; Field & Jacob, 1995; Konno & Ohmachi, 1998) siempre que exista un fuerte contraste de impedancia entre los suelos blandos y el basamento rocoso (Bard, 1998).

En el AMBC, se realizaron aproximadamente 1200 mediciones de ruido sísmico ambiental. Los periodos predominantes se encuentran entre 0,2 y 3,0 s, con valores máximos de 0,8 s y 3,0 s en Barquisimeto y Cabudare respectivamente (Rocabado *et al.* 2007). La distribución de los periodos fundamentales es mostrada en la figura 2. Los valores en



**Figura 1.** Mapa de unidades geomorfológicas y geológicas del AMBC (Bechtold, 2004; Rodríguez, 2008). Se muestra la ubicación de pozos (Tahal Ingenieros, 1970; GISCA, 2006; Reinoza *et al.* 2009) y tendidos de sísmica de refracción (Morales *et al.* 2008) usados para ajustar el modelo gravimétrico, así como la localización de una sección 2D del modelo gravimétrico, orientada NO-SE (UTM Zona 19 WGS 84).

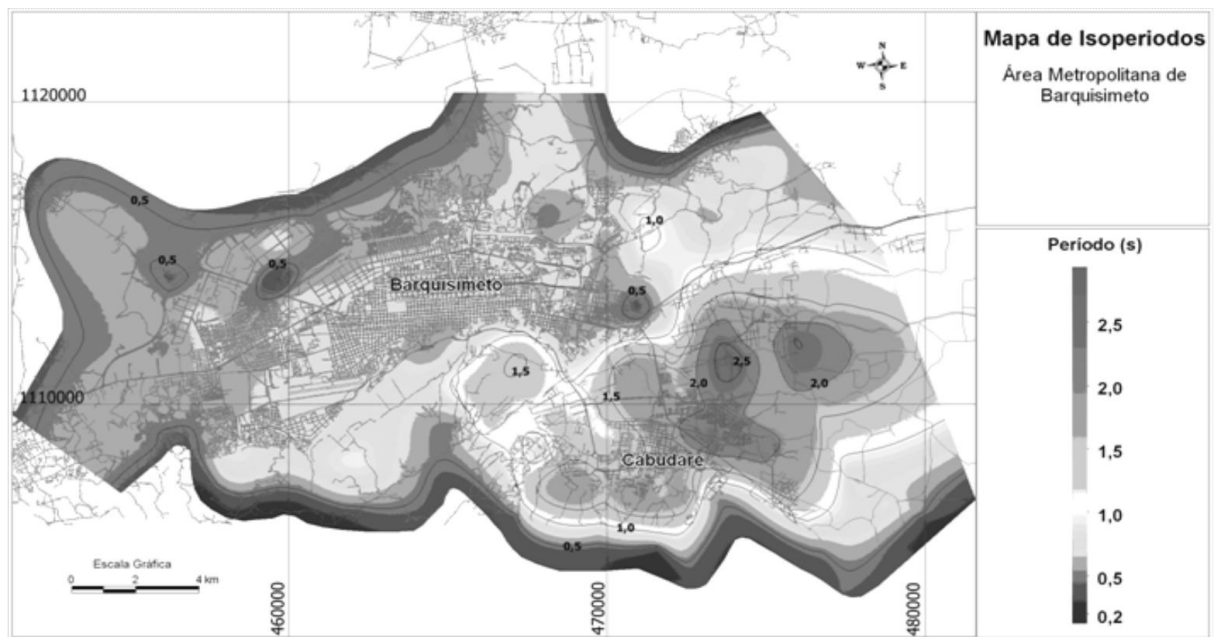


Figura 2. Mapa de isoperíodos del AMBC (Rocabado *et al.* 2007).

el este y norte de la ciudad de Barquisimeto presentan un rango de periodos de 0,3 a 0,5 s. Hacia el oeste y centro de la ciudad, los valores aumentan de 0,5 a 1,0 s. El 70% de las mediciones resultantes se encuentran en este rango. Hacia el sur, en la cuenca de Cabudare, los periodos predominantes aumentan considerablemente su valor, con un máximo de 2,5 s en el área central (e incremento hacia el noreste) y los valores mínimos varían de 0,3 a 0,5 s hacia el sur, correspondiéndose con los abanicos coluvio-torrenciales que suprayacen a rocas cretácicas de la Formación Mamey. De acuerdo a la relación entre el periodo fundamental y el espesor de sedimentos tomada de estudios previos realizados en Caracas (Rocabado *et al.* 2002), se pudo estimar una profundidad máxima de los sedimentos superior a los 100 m en Barquisimeto y de 400 m de profundidad en Cabudare (Rocabado *et al.* 2007).

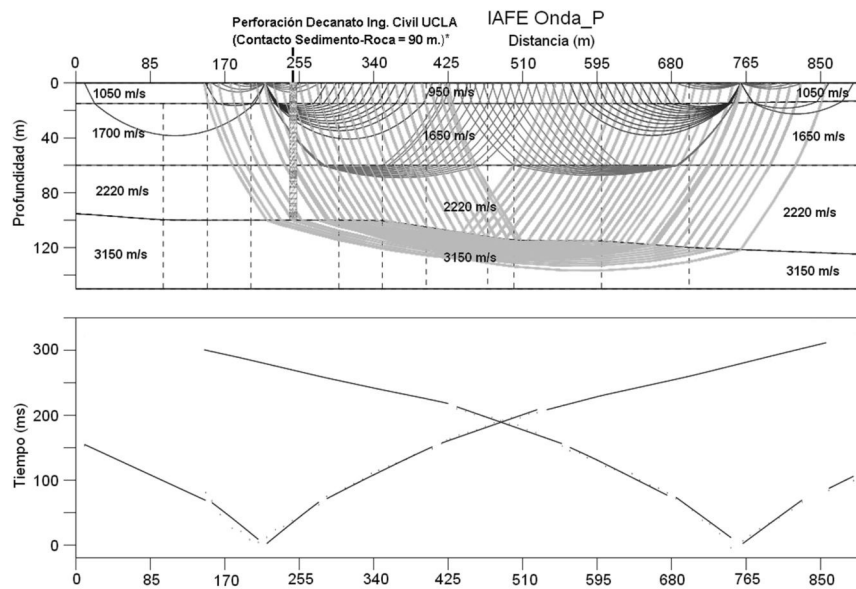
### MEDICIONES DE SÍSMICA REFRACCIÓN

Una campaña de adquisición de sísmica de refracción fue realizada en 2007, la cual consistió de cinco perfiles, uno sobre la terraza de Barquisimeto (IAFE) y el resto distribuido en la cuenca de Cabudare (Peñuzco, Santa Rita, Azucarera, Los Hornos) (figura 1). Los resultados de esta campaña fueron integrados con modelos previos de sísmica de refracción adquiridos en el suroeste de la ciudad, específicamente en el Aeropuerto “Jacinto Lara” y la Base Aérea Militar de Barquisimeto (Morales *et al.* 2008). Las velocidades y profundidades (Tabla 1) se obtuvieron a partir de modelado bidimensional mediante el paquete RAINVR, el cual emplea un algoritmo para el trazado de rayos y cálculo de amplitudes en un medio bidimensional, basándose en un modelo de velocidad parametrizado (Zelt & Smith, 1992).

El perfil IAFE (figura 3) sobre la terraza de Barquisimeto, muestra para el basamento una velocidad de onda P promedio de 3400 m/s y una velocidad de onda S promedio de 1700 m/s. Se identificaron 3 capas de sedimentos cuaternarios (suelo y sedimentos sueltos, sedimentos intermedios y sedimentos consolidados) con velocidades de ondas P y S, de 800 a 2200 m/s y 300 a 1200 m/s, respectivamente, interpretados como sedimentos cuaternarios. La profundidad del basamento se calculó entre los 90 y los 150 m de profundidad. Esta capa fue atribuida a la Formación Bobare (Morales *et al.* 2008). A partir de una reinterpretación de los modelos 2D de datos de sísmica de refracción adquiridos en el suroeste de la ciudad, específicamente en el Aeropuerto “Jacinto Lara” y la Base Aérea Militar de Barquisimeto (De Marco, 2004), se generaron modelos que indican un espesor máximo de sedimentos de 150 metros en esta zona de la ciudad. En los perfiles denominados como “Santa Rita” y “Peñuzco” ubicados al oeste de la cuenca de Cabudare, pertenecientes a la zona de la planicie aluvial del río Turbio, se identificaron igualmente 3 capas de sedimentos cuaternarios (suelo y sedimentos sueltos, sedimentos intermedios y sedimentos consolidados) con velocidades de onda P entre 750 y 2200 m/s y entre 400 y 1200 m/s para las velocidades de onda S. Se determinó un espesor máximo de 280 m y el basamento se interpretó como Formación Mamey con velocidades de ondas P y S de 3400 y 1700 m/s, respectivamente. Hacia el este, en los perfiles “Azucarera” y “Los Hornos”, en la cuenca de tracción de Cabudare, se diferenciaron 3 capas de sedimentos, presentando un espesor máximo de 400 m y con velocidades de ondas P y S de entre 400 a 2500 m/s y 250 a 800 m/s, respectivamente. La base rocosa, al igual que en los perfiles oeste, se interpretó como

**Tabla 1** Velocidades y profundidades calculadas en la terraza aluvial de Barquisimeto, en la planicie aluvial del río Turbio y en la cuenca de tracción de Cabudare (Morales *et al.* 2008).

| Perfil                              | Vp (m/s)   | Vs (m/s)  | Profundidad (m) | Interpretación                    |
|-------------------------------------|------------|-----------|-----------------|-----------------------------------|
| IAFE<br>(terracea aluvial)          | 1000       | 450       | 15              | Suelo y sedimentos sueltos        |
|                                     | 1650       | 950       | 60              | Sedimentos de baja plasticidad    |
|                                     | 2200       | 1100      | 95 a 120        | Arenas arcillosas con gravas      |
|                                     | 3150       | 1650      | -               | Arenas Formación Bobare           |
| Base Aérea<br>(terracea aluvial)    | 600        | 200       | 2 a 7           | Suelo                             |
|                                     | 1250       | 750?      | 35 a 40         | Sedimentos sueltos                |
|                                     | 2250       | 950?      | 90 a 100        | Sedimentos consolidados           |
|                                     | 3750?      |           |                 | Formación Bobare                  |
| Aeropuerto<br>(terracea aluvial)    | 800        | 450       | 5               | Suelo                             |
|                                     | 1350       | 900       | 60              | Sedimentos sueltos                |
|                                     | 2200-2500  | 1400      | 150             | Sedimentos consolidados           |
|                                     | 3200       | 1900-2000 | -               | Formación-Bobare                  |
| Santa Rita<br>(planicie aluvial)    | 700-800    | 400       | 40 a 70         | Sedimentos sueltos de la cuenca a |
|                                     |            |           |                 | Sedimentos intermedios            |
|                                     | 2650       | 850-1100  | 100 a 280       | Sedimentos consolidados           |
|                                     | 3650       | 1500      | -               | Formación Mamey                   |
| Peñuzco<br>(planicie aluvial)       | 750        | 350       | 10 a 40         | Sedimentos sueltos de la cuenca a |
|                                     | 1300?      | 750-950   | 95              | Sedimentos intermedios            |
|                                     | 2150?      | 1200      | 220             | Sedimentos consolidados           |
|                                     | 3400-3500  | 1700      | -               | Formación Mamey                   |
| Los Hornos<br>(cuenca de tracción)) | 250-350    | 150-250   | 5 a 25          | Suelos y sedimentos sueltos       |
|                                     | 1350-1500? | 300-550   | 40 a 100        | Sedimentos sueltos de la cuenca   |
|                                     | 2500?      | 750-850   | 150 a 340       | Sedimentos consolidados           |
|                                     | 3000-3500  | 1600      | -               | Formación Mamey                   |
| Azucarera<br>(cuenca de tracción)   | 700-800    | 150-300   | 20 a 35         | Suelos y sedimentos suelto        |
|                                     | 1500-1850  | 400-500   | 110 a 140       | Sedimentos sueltos de la cuenca   |
|                                     | 2600       | 700-900   | 250 a 400       | Sedimentos consolidados           |
|                                     | 3400       | 1250      | -               | Formación Mamey                   |



(\*) El pozo está localizado a 150 m (NO) de la sección sísmica.

**Figura 3.** Modelo 2D de velocidades de onda P (IAFE). Se muestra la correlación entre el modelo de velocidades y un perfil geotécnico localizado a 150 m (NO) de la sección sísmica (Morales *et al.* 2008).

Formación Mamey con velocidades de onda P de 3400 y velocidades de onda S de 1700 m/s (Morales *et al.* 2008). Un resumen de los resultados de la sísmica de refracción se muestra en la tabla 1.

### MEDICIONES GRAVIMÉTRICAS

670 mediciones gravimétricas fueron realizadas en el AMBC utilizando un gravímetro SCINTREX CG-3 con una distancia promedio entre estaciones de 500 metros (De Marco *et al.* 2004; Nobile, 2005). Adicionalmente a lo largo de las líneas sísmicas del Aeropuerto y la Base Aérea se realizaron mediciones espaciadas cada 25 metros (De Marco *et al.* 2004). Del procesamiento de estas mediciones se obtuvo un mapa de anomalía de Bouguer (Figura 4; Rocabado *et al.* 2007) con una  $\rho_B=2,67$  g/cc y un nivel de referencia de 0 msnm. Los valores máximos están localizados en las regiones norte, oeste y sureste de la zona de estudio, caracterizadas por afloramientos de las formaciones Barquisimeto y Carorita al norte, formación Bobare al oeste y la formación Mamey al sureste. Los valores mínimos se observan al nor-noreste de la zona, específicamente sobre la cuenca de tracción de Cabudare. El valor mínimo, inferior a los -34 mGals, se muestra en un cierre alargado con una dirección aproximada de N45E por el valle del río Turbio. En la ciudad de Barquisimeto, el valor mínimo alcanza los -20 mGals.

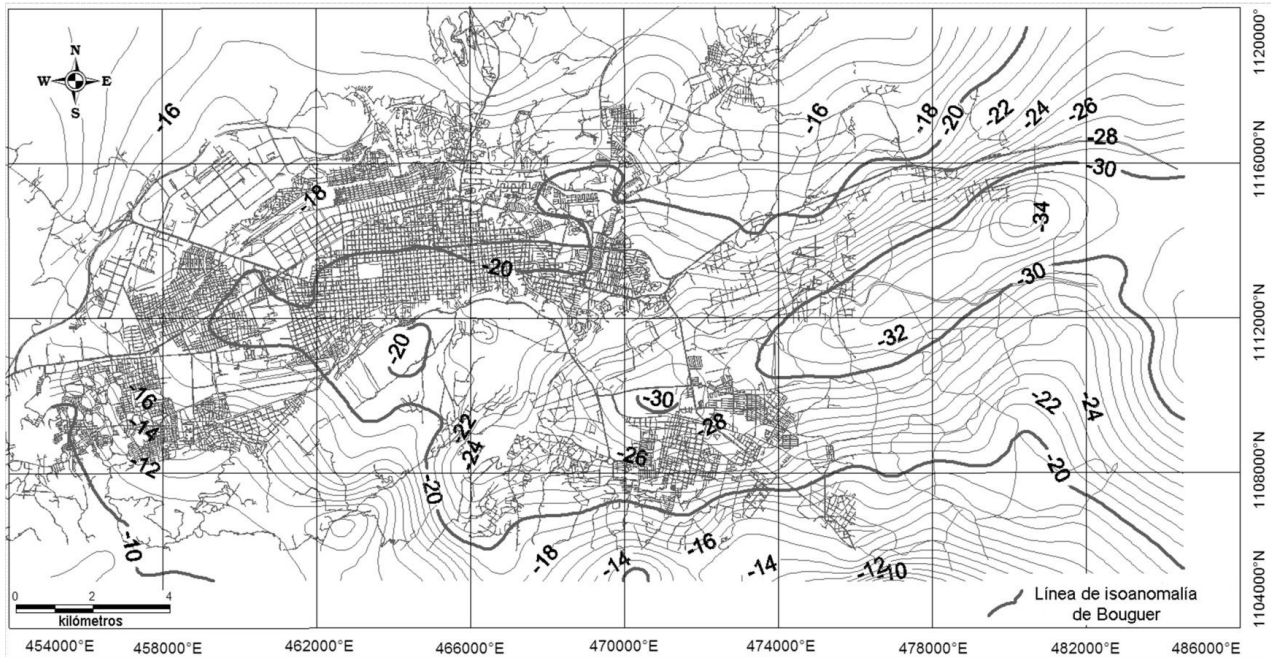
Con el fin de obtener los mapas de componente residual de la anomalía de Bouguer y de esta manera analizar la respuesta de las estructuras geológicas más someras, se

reprocesaron las 670 mediciones adquiridas considerando una densidad de 2,67 g/cc y un nivel de referencia de 650 msnm, que representa la cota promedio de altura (msnm) del área de estudio. Para determinar los valores de la componente residual y aislar la señal regional, una separación regional-residual de la anomalía de Bouguer (reprocesamiento) fue realizada siguiendo la metodología de aproximación polinómica. La regresión polinómica se realizó a partir de los datos de anomalía de Bouguer para diferentes grados, posteriormente se definió cualitativamente y cuantitativamente (bondad de ajuste) la expresión polinómica de segundo orden, siendo ésta la de mejor correlación con las estructuras geológicas presentes en el área. El mapa de componente residual de la anomalía de Bouguer es presentado en la figura 5.

### MAPA DE ESPESOR DE SEDIMENTOS

#### Modelado gravimétrico tridimensional

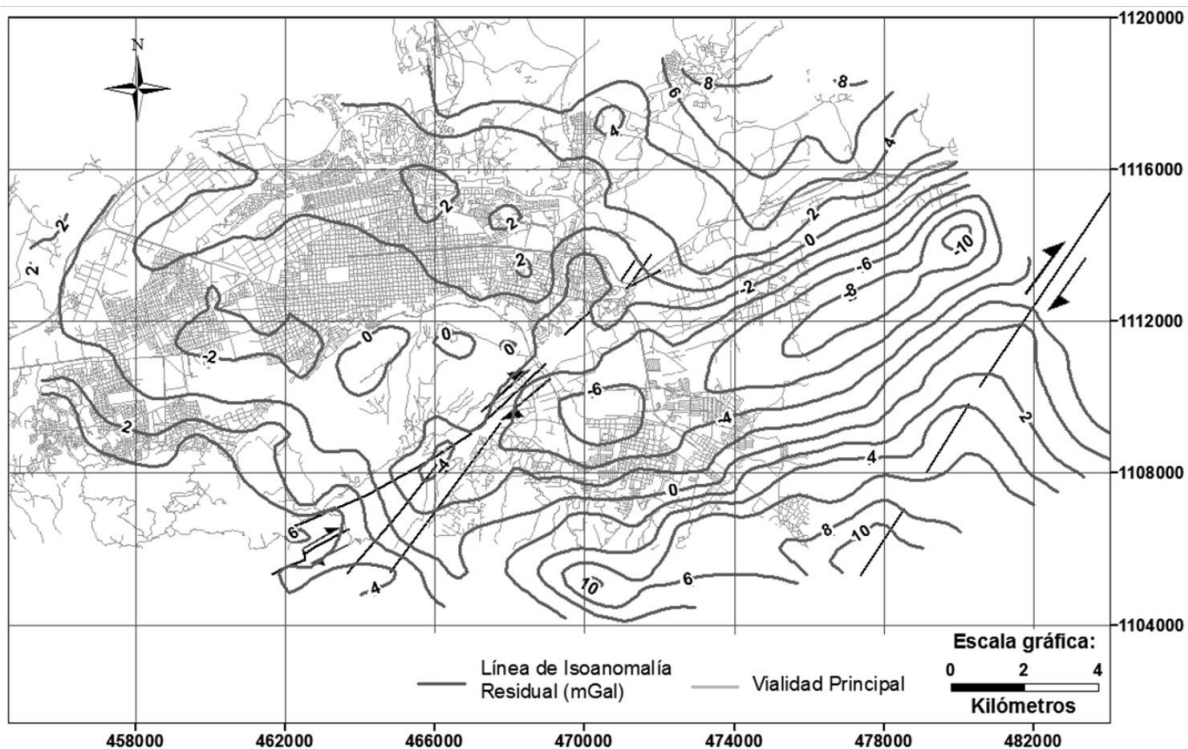
Los espesores de sedimentos se calcularon a partir de un modelado gravimétrico 3D utilizando el programa IGMAS (3D Interactive Gravity Magnetic Application System) (Götze & Lahmeyer, 1988; Schmidt & Götze, 1998). Se diseñaron 43 de secciones bidimensionales (2D) orientadas NO-SE, paralelas a la sección 2D IGMAS mostrada en la figura 2 (hacia el noreste y suroeste de esta sección). Para la definición de estas secciones se consideró la geología regional (Giraldo, 1985; Hackley *et al.* 2005; Rodríguez, 2008), espesores preliminares de sedimentos según resultados de la relación H/V (Rocabado *et al.* 2007), resultados del mode-



**Figura 4.** Mapa de curvas de isoanomalías de Bouguer del AMBC para una densidad de Bouguer de 2,67 g/cc y nivel de referencia 0 msnm. (Rocabado *et al.* 2007).

lado gravimétrico bidimensional de De Marco *et al.* (2004) y profundidades del contacto roca-sedimento según modelos de sísmica de refracción (Morales *et al.* 2008) y pozos (Tahal Ingenieros, 1970; GISCA, 2006). De igual forma, los mapas de isoperiodos, anomalía de Bouguer (Rocabado *et al.* 2007) y componente residual, permitieron visualizar la posible morfología del subsuelo y establecer de manera

previa las regiones de aparente complejidad. Posteriormente, se utilizaron los valores obtenidos de la separación residual de la anomalía de Bouguer como datos de entrada para el ajuste del modelado. Las densidades se consideraron a partir del modelado de De Marco *et al.* (2004), la descripción litológica de las unidades geológicas (PDVSA, 2007) y la interacción con el programa IGMAS (Tabla 2).



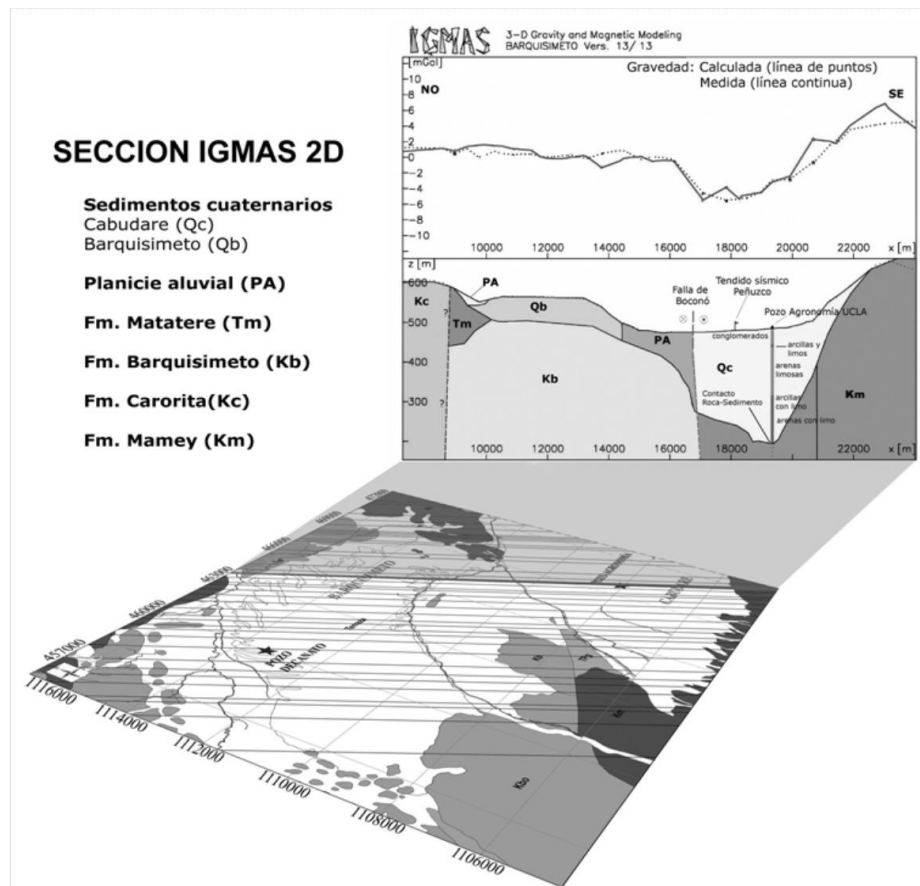
**Figura 5.** Mapa de componente residual de la anomalía de Bouguer del AMBC para una densidad de Bouguer de 2,67 g/cc y un nivel de referencia de 650 msnm según polinomio de segundo orden.

**Tabla 2.** Valores de densidades de las rocas consideradas para el modelo gravimétrico.

| Unidades (Formaciones)                  | Densidad (g/cc) (De Marco, 2004) | Densidad (g/cc) Descripción Litológica | Densidad (g/cc) Modelo gravimétrico IGMAS |
|---|----------------------------------|--|---|
| Sedimentos cuaternarios sin diferenciar | 1,80-2,00                        | -                                      | 1,80                                      |
| Tpeg (El Pegón)                         | -                                | 2,03                                   | 2,10                                      |
| Tm (Matatere)                           | 2,69                             | 2,32                                   | 2,20                                      |
| Kb (Barquisimeto)                       | 2,67                             | 2,52                                   | 2,53                                      |
| Kc (Carorita)                           | 2,71                             | 2,47                                   | 2,48                                      |
| Km (Mamey)                              | 2,71                             | 2,71                                   | 2,518                                     |
| Kbo (Bobare)                            | -                                | 2,32                                   | 2,51                                      |
| Metamórficas sin diferenciar            | -                                | -                                      | 2,64                                      |

En la figura 6 se muestra una sección 2D en la cual se aprecia principalmente la disposición de las unidades conformadas por sedimentos, principal interés del modelado. Se muestra la unidad que conforma la terraza de Barquisimeto (Qb), la planicie aluvial (PA) del Río Turbio y los sedimentos cuaternarios de la cuenca de tracción de Cabudare (Qc). Concluido el ajuste del modelado, los valores de espesores de sedimentos se extrajeron del modelo con la herramienta IVIS3D (Klesper, 1988), que genera una tabla de datos con las profundidades del contacto sedimento-roca y sus res-

pectivas coordenadas. Para construir el mapa de isóneas de los espesores de sedimentos se interpolaron los valores utilizando el método de vecino natural (Figuras 7a y 7b). En la terraza de Barquisimeto se observan espesores de sedimentos que superan los 140 metros, específicamente en la zona donde está ubicado el Aeropuerto “Jacinto Lara” y en otro sector ubicado aproximadamente a 2 km en dirección Norte del Aeropuerto. En la cuenca de Cabudare los mayores espesores de sedimentos superan los 380 metros. El mapa de espesores mostrado en la figura 7b muestra las iso-



**Figura 6.** El mapa en la base muestra la disposición NO-SE de las cuarenta y tres (43) secciones que comprenden el modelo gravimétrico tridimensional, sobre el mismo se proyecta en detalle una de las secciones bidimensionales (2D) diseñadas en el programa IGMAS.

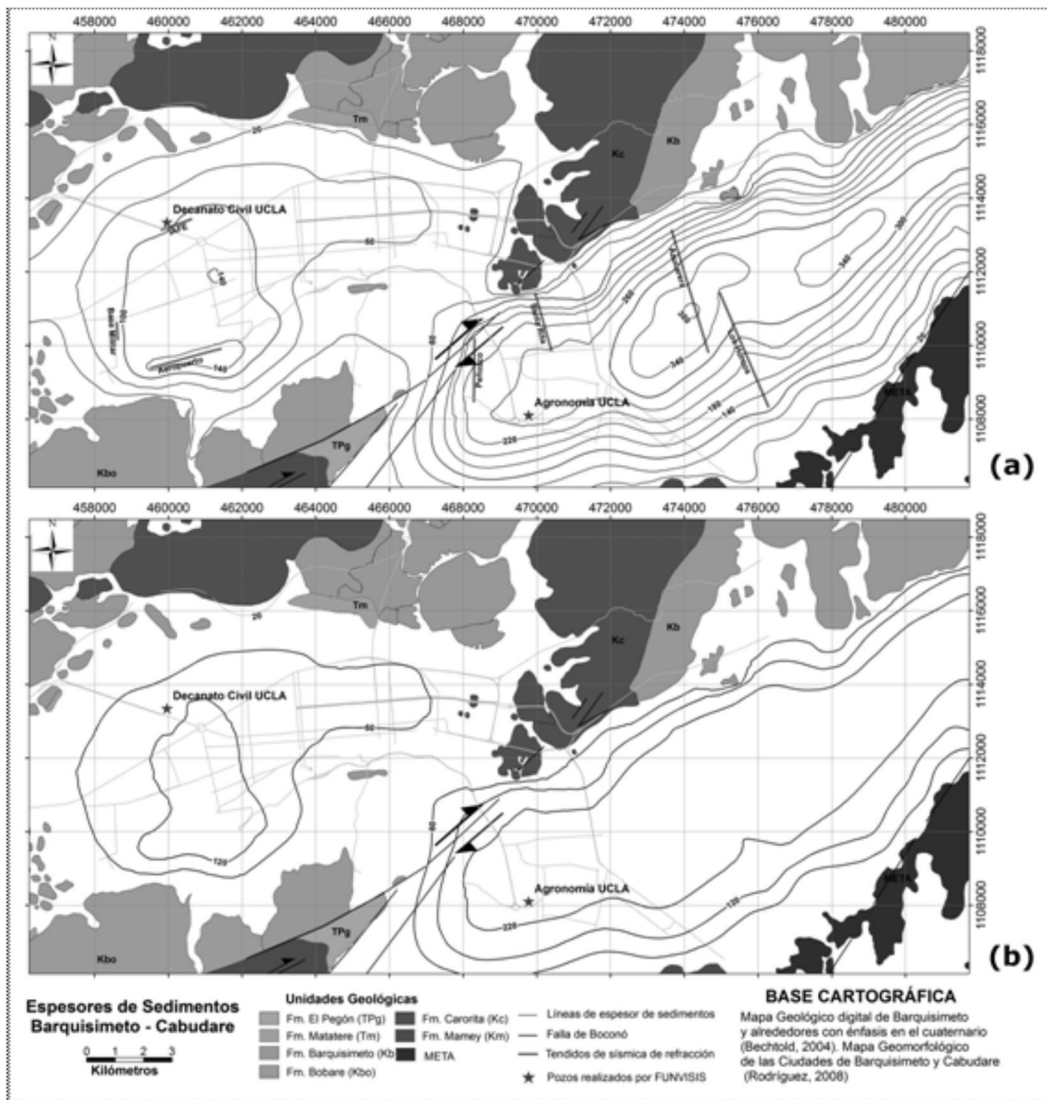
líneas de 60, 120 y 220 metros de espesores de sedimentos. Esta división fue usada en analogía con los grupos de espesores de sedimentos definidos en Caracas basados en las similitudes de la respuesta dinámica (Schmitz *et al.* 2011).

## CONCLUSIONES

La construcción del modelo gravimétrico tridimensional corresponde a una fase final de integración de la información para generar un mapa de espesores de sedimentos del AMBC. Para tal fin se revisaron la geología local y regional, los resultados de mediciones de microtremores, la estimación de los espesores de sedimentos a partir de la relación H/V, los resultados de las mediciones de sísmica

de refracción y gravimetría. Adicionalmente; se integró la información de perforaciones de FUNVISIS e INOS. Como dato de entrada para el ajuste de las curvas de gravedad en el programa IGMAS se utilizaron los datos de la componente residual de la anomalía de Bouguer según aproximación polinómica de segundo orden.

En el mapa de espesores resultante se determinó que los valores de espesor de sedimentos superan los 140 metros en la terraza de Barquisimeto y superan los 380 metros en la cuenca de tracción de Cabudare. Los resultados de este trabajo son un dato de entrada fundamental para los cálculos de respuesta dinámica de los suelos y la definición de microzonas en ambas ciudades.



**Figura 7.** (a) Mapa de espesor de sedimentos del AMBC. (b) Mapa de espesor de sedimentos mostrando las isolíneas 60, 120 y 220 m de espesor. Esta división fue usada en analogía con los grupos de espesores de sedimentos definidos en Caracas basados en las similitudes de la respuesta dinámica (Hernández *et al.* 2010; Schmitz *et al.*, 2011).



## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Armada de la República Bolivariana de Venezuela por el préstamo del gravímetro CG-3. A la gobernación del Estado Lara y a las alcaldías de Iribarren y Palavecino por el apoyo prestado al desarrollo del trabajo. De igual forma, expresamos nuestro agradecimiento a la Prof. Nurys Orihuela y al Ing. Aldo Cataldi por sus comentarios y sugerencias. A la UCLA por el apoyo prestado y, finalmente, a todas aquellas personas: pasantes, tesistas, investigadores, ligados o no a la fundación que trabajaron en los trabajos de campo y/o que han aportado algo en la definición de esta zona. Este trabajo ha sido una contribución al proyecto FONACIT 200400738.

## REFERENCIAS

- BARD, P.-Y. (1998). *Microtremor measurement: a tool for site effect estimation?* Proceedings of the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, pp. 1251–1279, eds Irikura, K., Kudo, K., Okada, H. & Sasatani, T., Balkema, Rotterdam.
- BECHTOLD, M. (2004). *Mapa geológico digital de Barquisimeto y alrededores con énfasis en el cuaternario: Informe inédito*, FUNVISIS, Caracas.
- DE MARCO, R. (2004). *Caracterización geofísica de la terraza aluvial de Barquisimeto, Estado Lara: integración de sísmica refracción, ruido sísmico ambiental y gravimetría: Trabajo especial de grado*, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Caracas, 200 p.
- DE MARCO, R., BECHTOLD, M., AUDEMARD, F., SÁNCHEZ, J., ROCABADO, V., SCHMITZ, M. (2004). *Caracterización geofísica / geológica de la terraza de Barquisimeto, estado Lara: Integración de ruido Sísmico ambiental, sísmica de refracción, gravimetría y geología*. XVIII Seminario de Geotecnia, Caracas, CD, 12 pp.
- FIELD, E.H. & JACOB, K.H. (1995). *A comparison and test of various site-response estimation techniques, including three that are not reference-site dependent*. BSSA, 85, 1127-1143.
- GIRALDO, C. (1985). *Néotectonique et seismotectonique de la région d'El Tocuyo\_San Felipe (Vénézuéla centro-occidentale)*. Tesis de Doctorado, U.S.T.L, Montpellier II, 121 p. Inédito.
- GISCA, (2006). ING-IF-P-100566 Rev. 0, *Servicios de consultoría para la realización de estudios de exploración del subsuelo en la ciudad de Barquisimeto, Estado Lara*, Informe inédito para el proyecto FONACIT 2004000738, 45 p.
- GÖTZE, H. J. & LAHMEYER, B. (1988). *Application of three-dimensional interactive modeling in gravity and magnetics*. Geophysics, 53 (8), 1096-1108.
- GRASES, J. (1990). *Terremotos destructores del Caribe 1502 – 1990*. 1a Ed. ORCYT –UNESCO, Montevideo, Uruguay, 132 pp.
- HACKLEY, P.C., URBANI, F., KARLSEN, A.W., GARRITY, C.P. (2005). *Geologic shaded relief map of Venezuela: USGS Open-file Report 2005-1038*. <http://pubs.usgs.gov/of/2005/1038/>
- HERNÁNDEZ, J., SCHMITZ, M., AUDEMARD, F. (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.
- KONNO, K. & OHMACHI, T. (1998). *Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor*. BSSA, 88, 228-241.
- KLESPIER, C. (1998). *IVIS-3D: A tool for interactive 3D-visualisation of gravity models*. Physics and Chemistry of The Earth, 23 (3), 279-28.
- LACHET, C. & BARD, P.Y. (1994). *Numerical and theoretical investigations on the possibilities and imitations of Nakamura's technique*. J. Phys. Earth, 42, 377-397.
- MORALES, C., REINOZA, C., SÁNCHEZ, C., ÁVILA, J. SCHMITZ, M. (2008). *Modelado sísmico bidimensional de las cuencas de Barquisimeto y Cabudare en el Edo. Lara-Venezuela, a través del análisis de perfiles de refracción sísmica: XIV Congreso Venezolano de Geofísica*. 8 p.
- NAKAMURA, Y. (1989). *A method for dynamic characteristics estimation of surface using microtremor on the ground surface*. QR of RTRI, Vol 30, No 1.
- NOBILE, J. (2005). *Caracterización geofísica de la cuenca pull-apart de cabudare, noroccidente de Venezuela*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Simón Bolívar, Ingeniería Geofísica, Sartenejas, 114 p.
- NOGOSHI, M. & IGARASHI, T. (1971). *On the amplitude cha-*

- racteristics of microtremor (part 2). Jour. Seism. Soc. Japan, 24, 26-40.
- PDVSA. (2007). *Léxico estratigráfico de Venezuela* (3a ed.). www.pdvsa.com/lexico.
- REINOZA, C., ROCABADO, V., MORALES, C., ÁVILA, J., SCHMITZ, M., GARCÍA, K., SÁNCHEZ, J., SÁNCHEZ, C., DE MARCO, R., SOLÓRZANO, A., VARGUILLAS, P., URBANI, F. (2009). *Espesores y características de los sedimentos profundos. Informe técnico final: Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto* (FONACIT 200400738), FUNVISIS, vol. 2, 207-247.
- ROCA BADO, V., SCHMITZ, M., GONZÁLEZ, J., ANDRADE, L., VI LORIA, A., ENOMOTO, T., ABEKI, N., DELGADO, J. (2002). *Seismic microzonation study in Barquisimeto, Venezuela*. 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, 9 – 13 September 2002. Extended abstract. 7 pp.
- ROCA BADO, V., SCHMITZ, M., SÁNCHEZ, J., REINOZA, C. (2007). *Geophysical studies in Barquisimeto metropolitan area, Venezuela, as contribution to a seismic microzonation Study*: 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering June 25-28, 2007 Paper No. 1425.
- RODRÍGUEZ, L. (2008). *Evaluación de geoamenazas con fines de microzonificación sísmica en las ciudades de Barquisimeto y Cabudare, Edo. Lara*: Trabajo especial de grado, Universidad Simón Bolívar, Magister en Ciencias de la Tierra, Sartenejas, 111 p.
- SCHMIDT, S. Y H. J. GÖTZE. (1998). *Interactive visualization and modification of 3D models using GIS functions*. Phys. Chem. Earth. 23 (3), 289-295.
- SINGER, A. Y F. A. AUDEMARD. (1997). *Aportes de Funvisis al desarrollo de la geología de fallas activas y de la paleosismología para los estudios de amenaza y riesgo sísmico*. Publicación Especial Academia de las Ciencias Naturales, Matemáticas y Físicas 33, 25-38.
- SCHMITZ, M., HERNÁNDEZ, J. AND THE CARACAS SEISMIC MICROZONING PROJECT WORKING GROUP. (2011). *Principal results and basic methodology of the Caracas, Venezuela, seismic microzonation project*. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering January 2011, 10-13, Santiago, Chile, 13 pp.
- TAHAL INGENIEROS CONSULTORES DE VENEZUELA, S.A. (1970). *Estudio para el desarrollo de los recursos de aguas subterráneas en las regiones de Valencia, Barquisimeto, Coro, Pedregal, Maracaibo: Volumen V, Región de Maracaibo*, Informe. Instituto Nacional de Obras Sanitarias.
- ZELT, C.A. & SMITH, R. B. (1992). *Seismic travelttime inversion for 2D crustal velocity structure*. Geophys. J. Int., 108; 16-34.