

# DETERMINACIÓN DE MICROZONAS SÍSMICAS PRELIMINARES DEL ÁREA METROPOLITANA DE MÉRIDA

Milgreya Cerrada<sup>1</sup>; Stephanie Klarica<sup>1</sup>; José Choy<sup>1</sup>; Carlos Guada<sup>1</sup>; Reina Aranguren<sup>1</sup>;  
Jaime Laffaille<sup>1</sup>; Fernando Mazuera<sup>2</sup>; Carlos Reinoza<sup>3</sup>; Michael Schmitz<sup>3</sup>;  
Víctor Rocabado<sup>3</sup>; Cecilio Morales<sup>3</sup>; Luis Yegres<sup>3</sup>

**Forma de citar:** Cerrada, M., Klarica, S., Choy, J., Guada, C., Aranguren, R., Laffaille, J., Mazuera, F., Reinoza, C., Schmitz, M., Rocabado, V., Morales, C., y Yegres, L. 2015. Determinación de microzonas sísmicas preliminares del área metropolitana de Mérida. Boletín de Geología, 37 (1): 67-74.

## RESUMEN

Para contribuir con la microzonificación sísmica del área metropolitana de Mérida se realiza una caracterización geofísica del suelo, aplicando métodos de ruido sísmico ambiental, gravimetría y sísmica de refracción, entre otros. A partir de la técnica de ruido sísmico ambiental se obtienen periodos fundamentales que oscilan entre 0,2 y 2 segundos, los cuales presentan una buena correlación con los espesores de los sedimentos, obtenidos a partir de la gravimetría, y cuyos valores varían entre 12 y 130 m. La sísmica de refracción, a través de 62 perfiles sísmicos, establece modelos de velocidades tanto para las ondas P como para las ondas S de las capas más superficiales, hasta una profundidad máxima de 15 m. Todos estos resultados sirven de base para elaborar el mapa preliminar de microzonas sísmicas que clasifica el área metropolitana en tres partes: la zona 1-1 representada por velocidades de ondas de corte (Vs) desde 350 hasta 650 m/s y espesores de sedimentos entre 0 y 60 m; la zona 1-2 con velocidades Vs desde 350 hasta 650 m/s y espesores de sedimentos de más de 60 m y la zona 2-1 con velocidades Vs iguales ó mayores a 650 m/s y con espesores de sedimentos de 0 a 60 m.

**Palabras claves:** sísmica, ruido ambiental, gravimetría, microzonas, Mérida

## PRELIMINARY SEISMIC MICROZONES DETERMINATION OF THE MERIDA METROPOLITAN AREA

### ABSTRACT

To contribute to the seismic microzonation of the Mérida metropolitan area, a geophysical characterization of the soil, applying methods of ambient seismic noise, gravity and seismic refraction, is performed. From the ambient seismic noise technique, fundamental periods ranging from 0.2 to 2 seconds are obtained, which have good correlation with the sediments thicknesses, obtained from gravimetry, that shows values ranging between 12 and 130 m. The seismic refraction, through 62 seismic profiles, establishes velocity models for the shallow layers up to a maximum depth of 15 m for both P and S waves. All these results provide a basis for a preliminary microzonation map that classifies the metropolitan area into three parts: the zone 1-1 with shear wave velocities from 350 to 650 m/s and sediments thicknesses between 0 and 60 m, the zone 1-2 with shear wave velocities from 350 to 650 m/s and sediments thicknesses greater than 60 m, and the area 2-1 with shear wave velocities equal to or greater than 650 m/s and sediments thicknesses between 0 and 60 m.

**Keywords:** seismic noise, gravity, microzones, Mérida.

<sup>1</sup> Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Laboratorio de Geofísica. milgreya@ula.ve

<sup>2</sup> Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Grupo de investigación en geología aplicada.

<sup>3</sup> Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. Departamento de Geofísica.

## INTRODUCCIÓN

El área metropolitana de Mérida se encuentra emplazada sobre sedimentos depositados recientemente, que conforman geoformas de tipo terrazas y abanicos aluviales que se deben a un importante aporte lateral de las formaciones Mucujun, La Quinta, Palmarito, la Asociación Sierra Nevada, y un menor aporte de las formaciones Sabaneta, Capacho, La Luna, San Javier y Aguardiente. Estos depósitos se ven afectados por la existencia de la principal estructura tectónica del occidente del país, como lo es, el sistema de fallas de Boconó, el cual representa un sistema tectónicamente activo. Se considera que la mayoría de los sismos más importantes en la historia de los Andes venezolanos son asociados con este sistema de fallas (<http://www.sismicidad.ciens.ula.ve>). En los últimos años, la ciudad ha experimentado un crecimiento acelerado de la población en zonas que presentan altos grados de amenaza. Por esta razón, en la actualidad, se lleva a cabo el proyecto de gestión integral de riesgo en espacios urbanos (Proyecto FONACIT N°2007000939 de la Misión

Ciencias) a fin de conocer las propiedades físicas del subsuelo que permitan zonificar la ciudad y de esta manera, conocer las áreas que presentan el mismo comportamiento ante eventos sísmicos.

## METODOLOGÍA

Los métodos de adquisición y procesamiento desarrollados en este trabajo son los aplicados de manera convencional, por lo tanto se harán las referencias necesarias en donde se explican en detalle cada uno de ellos.

### Ruido sísmico ambiental

Entre los meses de septiembre de 2008 y mayo de 2009, se adquieren un total de 654 estaciones (FIGURA 1), con un espaciado entre ellas de aproximadamente 250 m (Rivera y Yegres, 2009; y Zambrano, 2009) y con una duración de medición entre 20 y 25 minutos para las zonas de mayor tráfico peatonal y vehicular. En este total de datos, se incluyen las estaciones medidas en años anteriores (Mazuera, 2009).

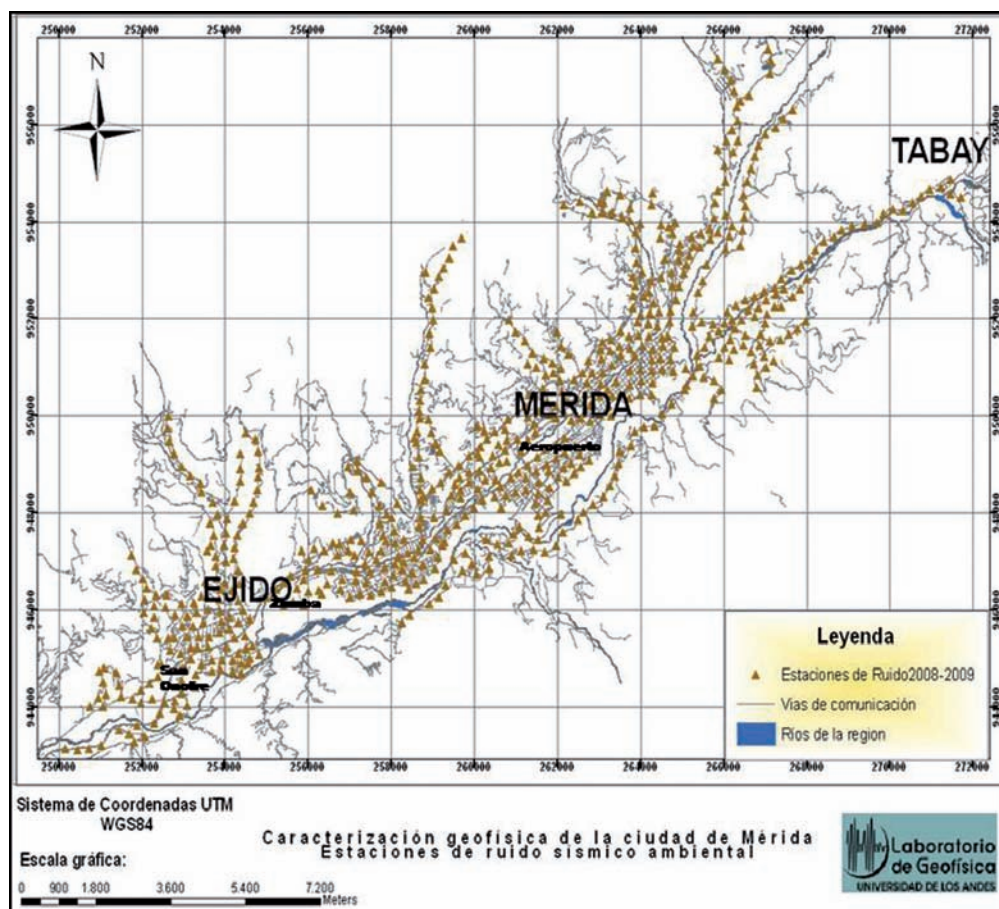


FIGURA 1. Distribución de las estaciones de ruido sísmico ambiental

Para el procesamiento, se utiliza el programa de código abierto “GEOPSY”; en este software se procesan los nuevos datos y los ya obtenidos en adquisiciones anteriores. Este programa permite filtrar los datos, y establecer la relación espectral (H/V) en términos de ondas superficiales, para finalmente poder determinar los periodos fundamentales del subsuelo (FIGURA 2). Es indispensable mencionar que el procesamiento

de los datos es bastante engorroso, debido a que, se observan picos múltiples en las gráficas que, en cierta forma, reflejan la litología compleja que presenta el área metropolitana de Mérida. Para separar los distintos picos, se integran los resultados obtenidos del estudio del MOP (Ministerio de Obras Públicas) del año 1976 y los de la sismica de refracción realizada por el Laboratorio de Geofísica (Cerrada *et al.*, 2010).

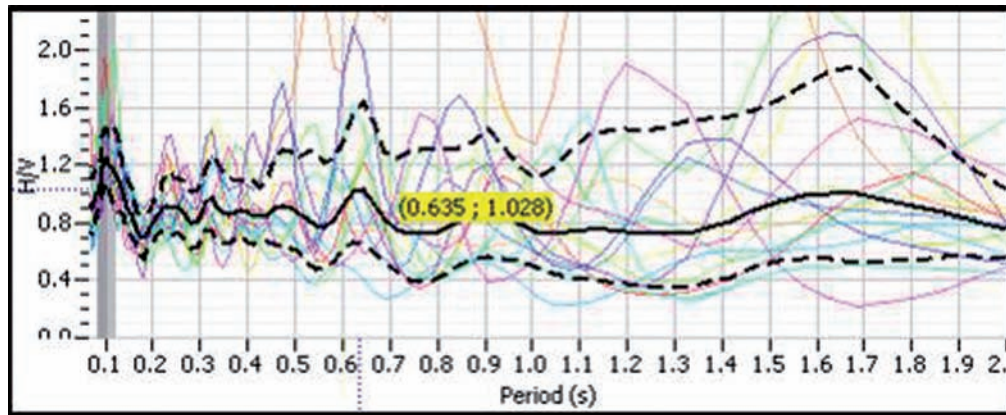


FIGURA 2. Relación espectral (H/V).

### Gravimetría

La adquisición de los datos gravimétricos se lleva a cabo entre los meses de abril y mayo de 2008, obteniéndose un total de 553 estaciones (FIGURA 3), con un espaciado entre ellas de aproximadamente 250 m (Nava, 2009).

Con el fin de obtener resultados de los espesores de sedimentos que sean más acordes a la complejidad geológica de la zona, se utilizó en el modelado gravimétrico, las densidades de las unidades geológicas aflorantes en el área de estudio (Nava, 2009)

### Sísmica de refracción

Durante los años 2007 – 2009, se adquieren un total de 62 perfiles sísmicos someros con longitudes de aproximadamente 94 m en toda el área metropolitana (FIGURA 4), a fin de conocer las velocidades de las ondas P y de las ondas S de las capas más superficiales del área en estudio. A través de siete trabajos finales de grado en sismica de refracción realizados en la Universidad de Los Andes Mérida, se realiza un reprocesamiento de los datos con *Réflex* (licencia de Funvisis) el cual permite ejecutar varios filtros para mejorar las señales y así seleccionar las primeras llegadas tanto de las ondas P como de las ondas S. Para continuar con la etapa de procesamiento, se utiliza el programa

*Rayinvr*, el cual aplica la técnica del trazado de rayos (Zelt y Ellis, 1988), para obtener los modelos 2D de velocidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Mapa de isoperíodos y espesores de sedimentos

Se pueden observar los periodos fundamentales del suelo obtenidos a partir del ruido sísmico ambiental varían entre 0,2 y 2 segundos en toda el área metropolitana de Mérida (FIGURA 5); los periodos bajos en su mayoría se presentan en la parte apical de los diferentes abanicos que se encuentran laterales a la terraza y cercanos a las diferentes formaciones y asociaciones que afloran en el área de estudio (Chacón y Uzcátegui, 2004).

En la FIGURA 6 se puede observar el mapa de contornos de los espesores de sedimentos determinados a partir de la gravimetría y su relación con el mapa de isoperíodos. Se pone en evidencia la variación de espesores del área metropolitana de Mérida que muestra una heterogeneidad importante en la profundidad de los sedimentos. En la parte central de la terraza de Mérida, entre el aeropuerto y el sector de Zumba, se encuentran los mayores espesores (entre 70 y 130 m) formando un área alargada en sentido noreste – suroeste. En la ciudad de Ejido, también se observan estos espesores en la parte suroeste cerca de San Onofre.



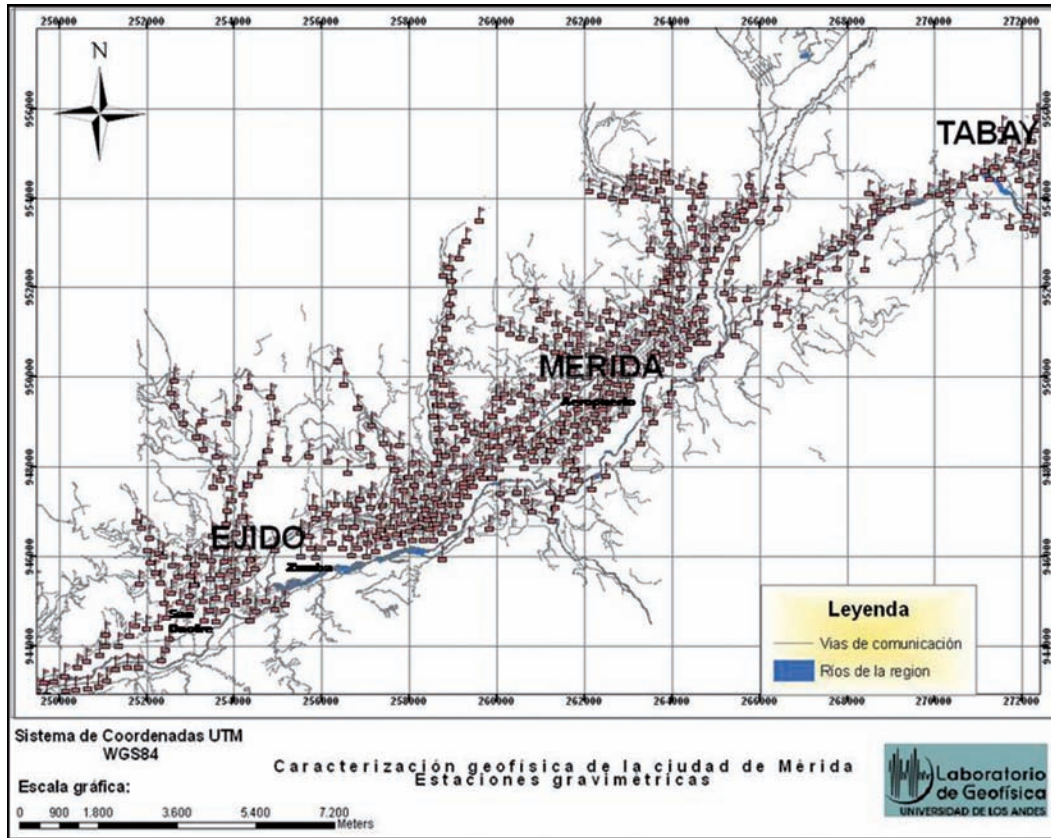


FIGURA 3. Distribución de las estaciones gravimétricas.

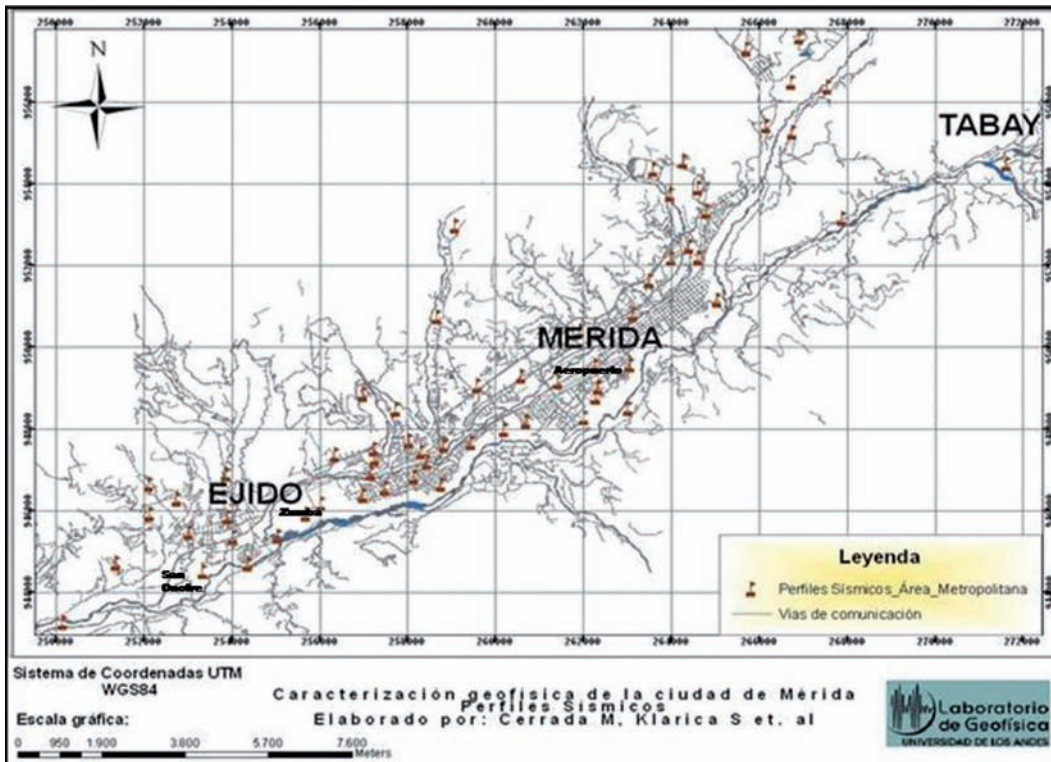


FIGURA 4. Distribución de los perfiles de sísmica de refracción.

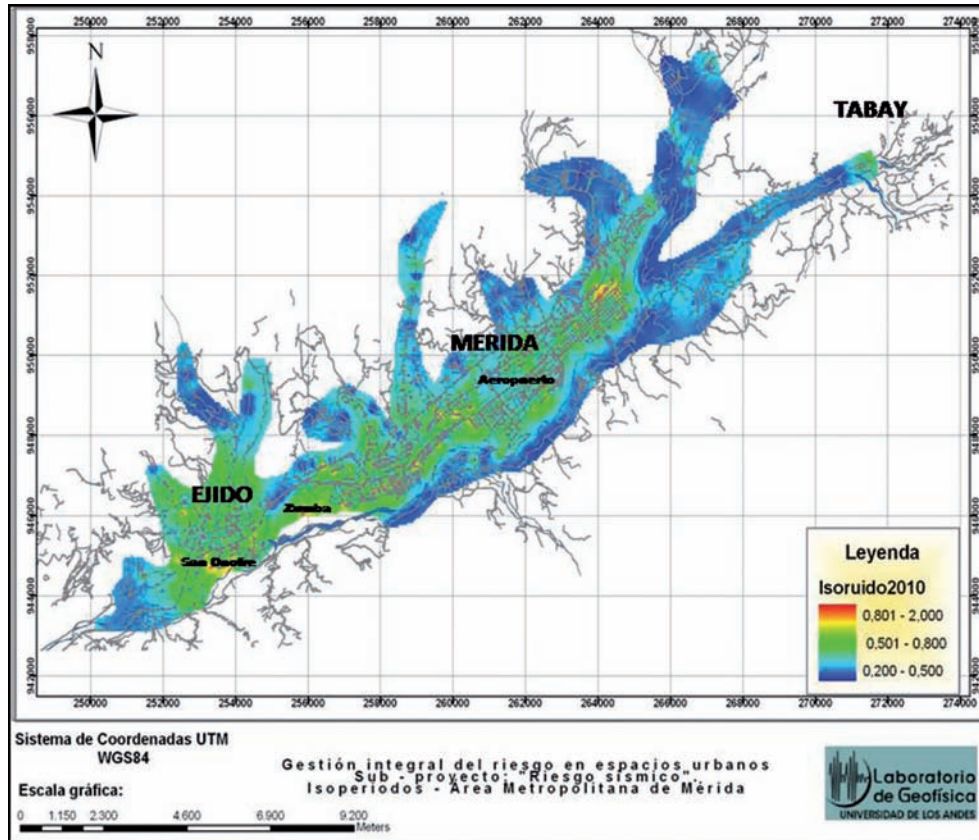


FIGURA 5. Isoperiodos del área metropolitana (en segundos).

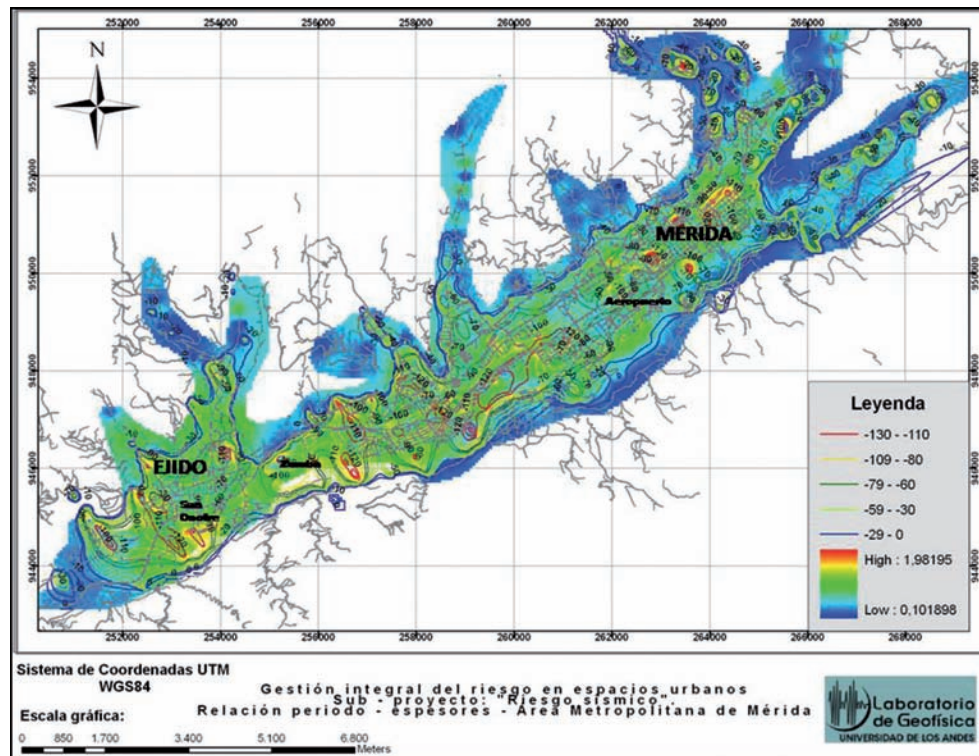


FIGURA 6. Integración gravimetría – ruido sísmico.



Finalmente, se concluye que de manera muy general, existe cierta relación entre ambos métodos geofísicos; es decir donde se encuentran los mayores periodos (0,8 – 2 seg) se tienen mayores espesores (entre 70 y 130 m), y donde tenemos los periodos más bajos (0,2 – 0,5 seg) observamos los menores espesores con un mínimo de 12,4 m; sin embargo existen lugares en donde no hay una relación entre ambos métodos, por lo que es necesario densificar las mediciones gravimétricas y las de ruido sísmico ambiental en estas zonas (específicamente en el sector de Zumba donde se observa bastante heterogeneidad en los resultados de ambos métodos).

### **Velocidad de la onda de corte de los 30 primeros metros de profundidad (Vs30)**

A partir de los resultados obtenidos de los perfiles de sísmica refracción, se determinan las velocidades de la onda de corte de los primeros 10, 20 y 30 metros de profundidad respectivamente (Vs10, Vs20 y Vs30), a fin de conocer los cambios de velocidad a estas profundidades. Sólo se muestra, en la FIGURA 7, la distribución de los Vs30 que varía entre 185 y 1004 m/s indicando, según la norma COVENIN (COVENIN 1756:2001) y según la clasificación del “National Earthquake Hazards Reduction Program” (NEHRP 302, 1997), la presencia en el área metropolitana de Mérida de suelos densos ( $180 \text{ m/s} < V_s < 360 \text{ m/s}$ ), suelos muy densos ( $360 \text{ m/s} < V_s < 760 \text{ m/s}$ ), y suelos tipo roca ( $760 \text{ m/s} < V_s < 1500 \text{ m/s}$ ).

### **Mapa de microzonas preliminares**

El mapa de microzonas preliminares se elabora tomando en cuenta los espesores de sedimentos obtenidos por la integración de los datos de gravimetría, ruido sísmico, sísmica de refracción y Vs30 descritos anteriormente. Es importante mencionar que es un mapa preliminar debido a que se continúan afinando los resultados obtenidos por los métodos geofísicos, realizando nuevas mediciones indispensables (líneas REMI).

La FIGURA 8 muestra tres zonas definidas: *la zona 1-1* representa la zona con velocidades de la onda de corte (Vs30) entre 350 y 650 m/s y con espesores entre 0 y 60 m; *la zona 1-2* se refiere a la zona con velocidades entre 350 y 650 m/s y profundidades mayores a 60 m; y *la zona 2-1* con velocidades igual o mayor a 650 m/s y con espesores entre 0 y 60 m. Todos estos datos se han adaptado a rangos establecidos por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS, para que sean homogéneos con los mapas de microzonas realizados en Caracas y Barquisimeto. Los mismos serán adaptados, a futuro, a la particularidad del área metropolitana de

Mérida cuando se tengan los resultados definitivos de todos los datos geofísicos. Cada microzona está limitada por las formaciones y asociaciones geológicas aflorantes en el área metropolitana de Mérida.

## **CONCLUSIONES**

El subsuelo del área metropolitana de Mérida, según los estudios geofísicos realizados, presenta una gran heterogeneidad de sus propiedades físicas que se explica por los diferentes materiales provenientes de fuentes de aporte como: la Asociación Sierra Nevada, La Granodiorita del Carmen y las formaciones: Palmarito, Mucujun, La Quinta, Sabaneta, Capacho, La Luna, San Javier y Aguardiente.

En lo que respecta a la relación gravimetría/ruido sísmico, se presenta una relación directa entre ambos métodos geofísicos, observándose que las zonas con los periodos más altos presentan los mayores espesores de sedimentos. En la parte central del área metropolitana de Mérida, entre el aeropuerto y el sector de Zumba, se observan los mayores espesores (entre 70 y 130 m) formándose una zona alargada en sentido noreste – suroeste. En la parte suroeste de la ciudad de Ejido, cerca de San Onofre, se observan también estos espesores. Los valores más bajos tanto de periodos como de espesores se encuentran principalmente en la parte apical de los abanicos y en las zonas donde la roca está más superficial.

En el mapa de Vs30 (FIGURA 7), se observa claramente que las velocidades de las ondas de corte predominantes para los primeros 30 m de profundidad se encuentran en un rango entre 185 y 1004 m/s, indicando que las capas más superficiales se clasifican como suelos muy densos y tipo rocas según las normas COVENIN y la clasificación NEHRP.

El mapa de microzonas preliminares representa una primera aproximación, producto de la correlación de todos los métodos geofísicos estudiados, obteniéndose tres microzonas predominantes: *la zona 1-1* se refiere a la zona con velocidades de la onda de corte (Vs30) entre 350 y 650 m/s y espesores entre 0 y 60 m; *la zona 1-2*, con velocidades entre 350 y 650 m/s y profundidades mayores a 60 m y *la zona 2-1*, con velocidades igual o mayor a 650 m/s y espesores entre 0 y 60 m.

Es importante mencionar que todos estos resultados serán definitivos cuando se realicen e interpreten otros estudios como pueden ser: perforaciones a grandes profundidades (hasta el basamento rocoso), líneas REMI (Refracción por microtemores) que abarquen mayor

longitud. Esto permitirá conocer las velocidades de ondas de corte a diferentes profundidades inclusive las del basamento rocoso, los cuales son datos importante

para estimar las características dinámicas del suelo que es requerido para la planificación del emplazamientos de estructuras sismorresistentes.

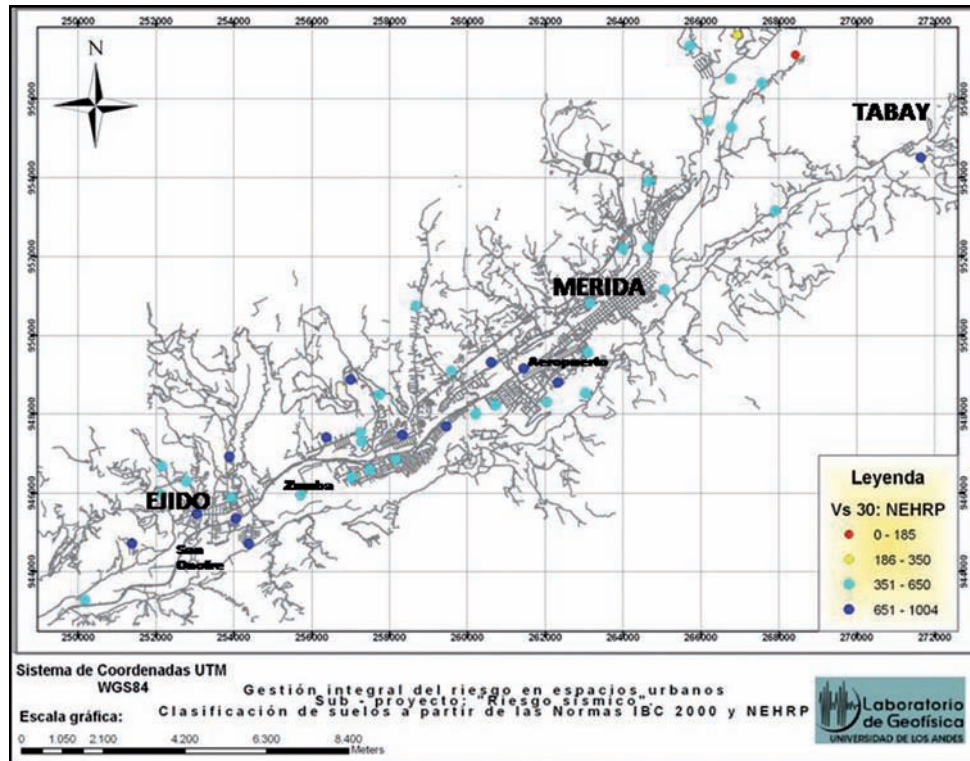


FIGURA 7. Velocidades de la onda de corte (Vs30).

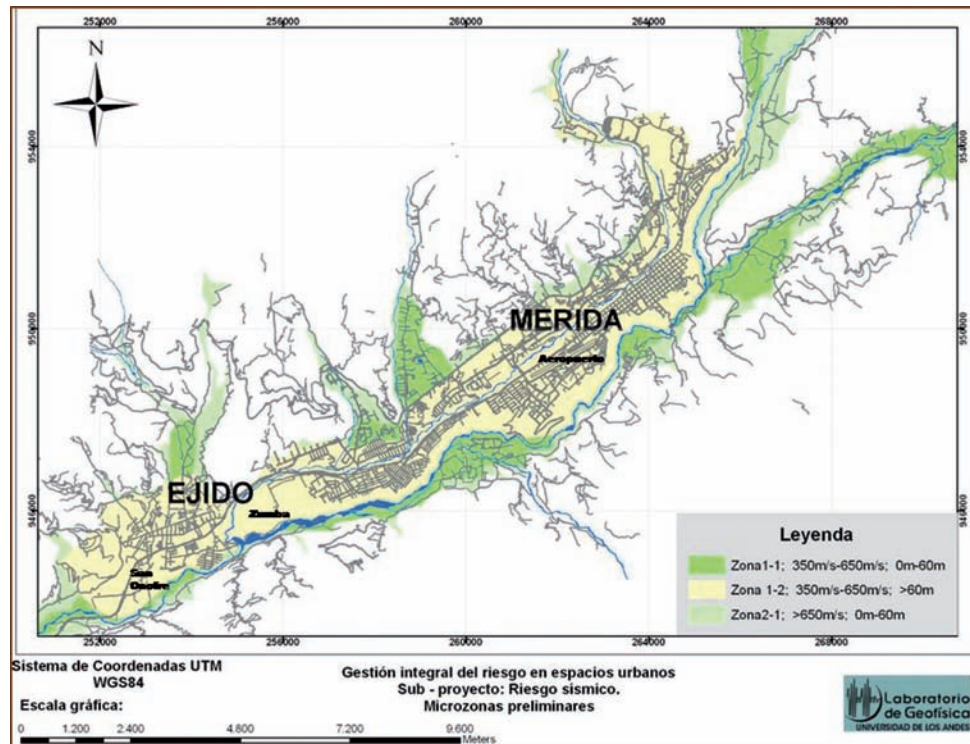


FIGURA 8. Microzonas sísmicas preliminares del área metropolitana de Mérida

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece el apoyo económico a este trabajo por parte del proyecto FONACIT N°2007000939 (Misión Ciencias), a los miembros del Laboratorio de Geofísica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes y al personal de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS).

## **REFERENCIAS**

Cerrada, M., Klarica, S., y Reinoza, C. 2010. Modelado geofísico a través de sísmica de refracción utilizando la técnica del trazado de rayos, del área metropolitana de la ciudad de Mérida, Venezuela. Modelos computacionales en ingeniería. Mérida. X Congreso Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Venezuela, pp. 7-12.

Chacón, G., y Uzcátegui, A. 2004. Caracterización Geomorfológica de la Terraza de Mérida y sus alrededores. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo no publicado, Universidad de Los Andes, Mérida, 256p.

COVENIN. 2001. Edificaciones sismorresistentes. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), FONDONORMA, MCT, MINFRA, FUNVISIS, Caracas, 113p.

Mazuera, F., González, L., Rocabado, V., y Klarica, S. 2009. Determinación de Períodos fundamentales del suelo de la ciudad de Mérida, Venezuela, a partir de mediciones de ruido sísmico ambiental. Ciencia e Ingeniería, 30 (1): 57-68.

Ministerio de Obras Públicas. 1976. Microzonificación Sísmica de la Meseta de Mérida. Caracas, 169p.

Nava, R. 2009. Estimación de espesores de sedimentos a partir de modelado gravimétrico con fines de Microzonificación Sísmica: Área Metropolitana de la Ciudad de Mérida, Estado Mérida. Trabajo final de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo. Universidad de Los Andes, Mérida, 218p.

NEHRP. 1997. BSSC program on improved seismic safety provisions, 334p.

Rivera, Y., y Yegres, L. 2009. Caracterización geofísica del subsuelo de la zona noreste del Área Metropolitana de Mérida, a partir de la adquisición de datos de ruido sísmico ambiental y sísmica de refracción. Trabajo final de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo. Universidad de Los Andes, Mérida, 284P.

Zambrano, O. 2009. Determinación del modelo geofísico del subsuelo mediante la aplicación de datos de ruido sísmico ambiental y sísmica de refracción de la zona suroeste del Área Metropolitana de Mérida. Trabajo final de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo. Universidad de Los Andes, Mérida, 230P.

Zelt, C.A., and Ellis, R.M. 1988. Practical and efficient ray tracing in two – dimensional media for rapid travelttime and amplitude forward modeling. Canadian Journal of Exploration Geophysics, 24: 16-31.

---

---

Trabajo recibido: abril 25 de 2012  
Trabajo aceptado: agosto 22 de 2014