

# Mediciones sísmicas profundas en Caracas para la determinación del espesor de sedimentos y velocidades sísmicas como aporte para el estudio de Microzonificación Sísmica.

Javier Sánchez<sup>1</sup>, Michael Schmitz<sup>1</sup>, Víctor Cano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FUNVISIS, Dpto. de Sismología, jsanchez@funvisis.org.ve, mschmitz@funvisis.org.ve

<sup>2</sup>FUNVISIS, Dpto. de Ciencias de la Tierra, vcano@funvisis.org.ve

## Resumen

Se presenta el Estudio Cortical de Caracas (ECCAR) durante el cual se realizó la adquisición de 8 perfiles sísmicos de refracción. En el marco Inter-institucional, mediante los aportes del proyecto CONICIT S12000000685 (Determinación del espesor sedimentario y caracterización del basamento de la Cuenca Oriental de Venezuela), FUNVISIS y las Alcaldías de los municipios Baruta y Chacao y fundamentalmente de IRIS/PASSCAL Instrument.

El propósito fundamental del proyecto ECCAR es la determinación del espesor de la capa de sedimentos que recubre el basamento rocoso y la evaluación de las velocidades sísmicas, cuyos resultados aportarán información para el proyecto de Microzonificación Sísmica del Municipio Baruta y del área Metropolitana de Caracas. Adicionalmente se realizará la evaluación de los parámetros de adquisición, usados en el proyecto, para su implementación en futuros estudios

Con la información obtenida se realizó la actualización del mapa de espesores de sedimentos de Caracas (Kantak, 2001) con el fin de mejorar la estimación de la profundidad de la roca en el área de Chacao y se obtuvo un estimado de las velocidades de ondas P Y S en la región de Caracas.

## Introducción

En junio y noviembre del 2001 fue realizado el Estudio Cortical de Caracas (ECCAR) durante el cual se realizó la adquisición de 8 perfiles sísmicos de refracción. Agrupados en 3 grupos definidos como perfiles en el área de Chacao, perfiles Cantera y de una línea sísmica identificada como Perfil Largo de Caracas (CPL), la cual posee una longitud de 55 km.

El área de estudio esta ubicada en la región centro-norte de Venezuela, se extiende entre los estados Vargas y Miranda y el Distrito Capital. La figura N° 1 muestra la ubicación del perfil CPL dentro de Venezuela. Los Municipios Chacao y Baruta forman parte del área metropolitana de Caracas, se encuentran en el flanco sur del Macizo montañoso del Ávila, en la región sureste del valle de Caracas. La figura N° 1 b muestra la ubicación de los perfiles (puntos de registro y disparos) dentro del área Metropolitana de Caracas.

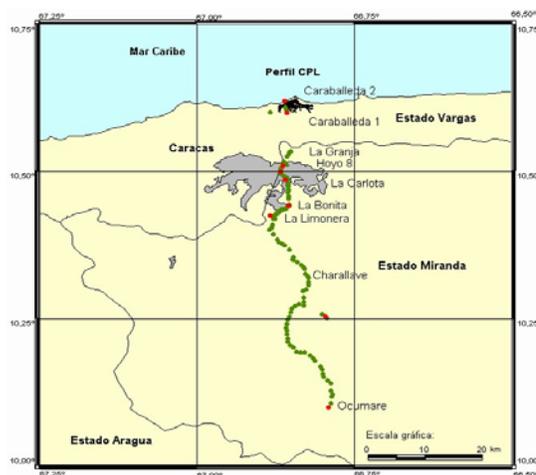
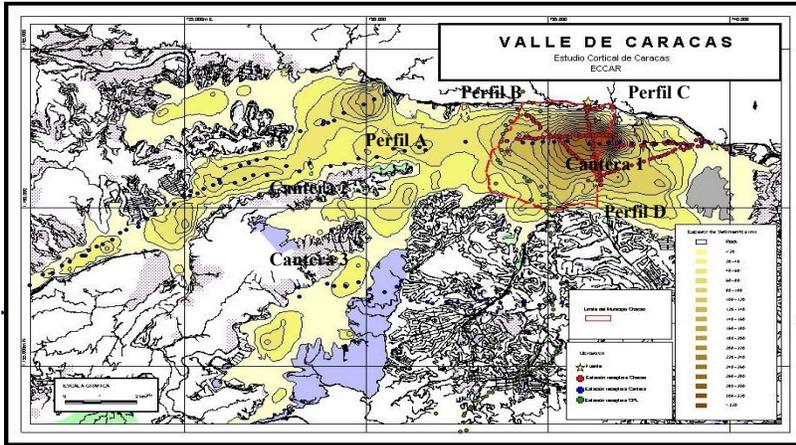


Fig. 1

(a) Localización del perfil CPL. Los círculos indican los puntos de recepción (verde) y disparo (rojo) en el proyecto ECCAR.

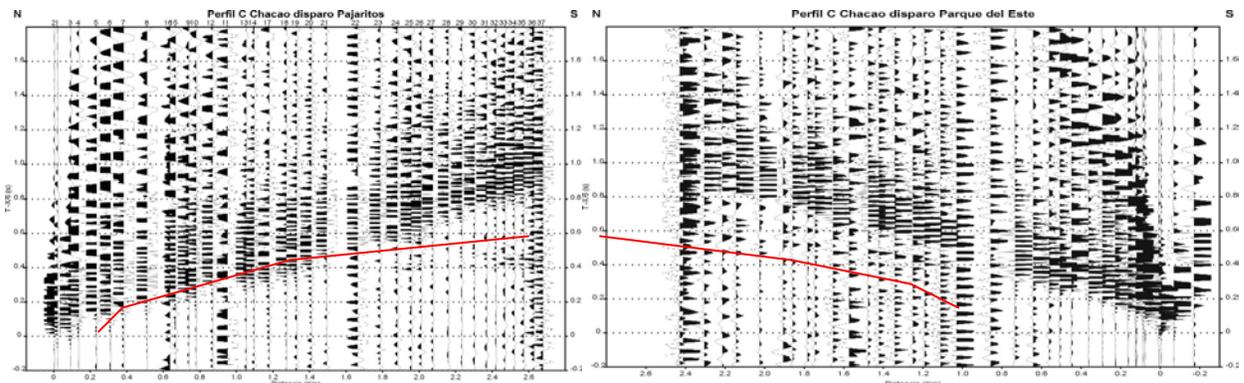


**Fig. 1**  
 (b) Localización de los perfiles dentro del área Metropolitana de Caracas sobre el mapa de espesores de sedimentos (Kantak, 2001) basado en Delaware (1950) y Weston (1969). Los círculos indican los puntos de recepción y disparo en el proyecto ECCAR.

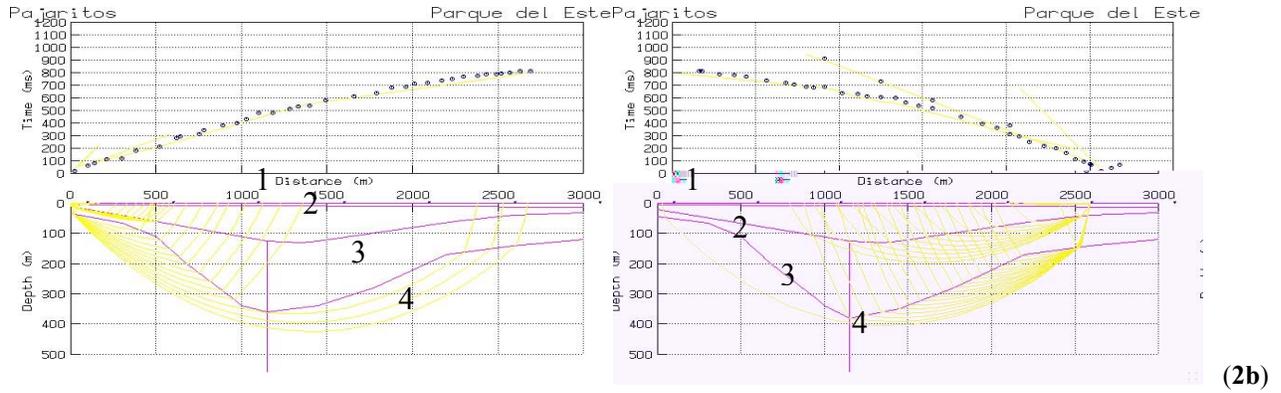
### Metodología y resultados

El estudio en el área de Chacao están distribuido en cuatro perfiles ubicados en el Municipio Chacao e identificados como: perfil Chacao A ubicado entre el Country Club y la Universidad Monte Ávila, perfil Chacao B ubicado entre La Granja y el Parque del Este, perfil Chacao C ubicado entre la Estación de Bomberos Pajaritos y el Parque del Este, perfil Chacao D ubicado entre la Universidad Monte Ávila y el Parque del Este (figura N° 1 b). La línea sísmica identificada como Perfil Largo de Caracas (CPL) esta ubicada entre las poblaciones de Caraballeda, Caracas, Charallave y Ocumare del Tuy, con una longitud de 55 km, 9 puntos de disparos y espaciamiento promedio entre geófonos igual a 500 m. En el área identificada como Cantera La Nacional en Mamera se realizaron 3 perfiles sísmicos ubicados entre: La Cantera y San Bernardino, La Cantera y Los Palos Grandes y entre La Cantera y Filas de Mariche.

Los modelos bidimensionales contienen cuatro capas (Figs. 2 b). La primera capa correspondiente al suelo y sedimentos sueltos del valle con una velocidad máxima de 800 m/s, la segunda capa representa los sedimentos saturados del valle, con una velocidad promedio de 1800 m/s, la tercera capa corresponde a los sedimentos consolidados del valle y posee una velocidad entre 2300 y 2500 m/s, la cuarta y ultima capa representa el basamento rocoso de la cuenca con velocidad entre 3800 y 4100 m/s y profundidad máxima en Los Palos Grandes igual a 360 m.

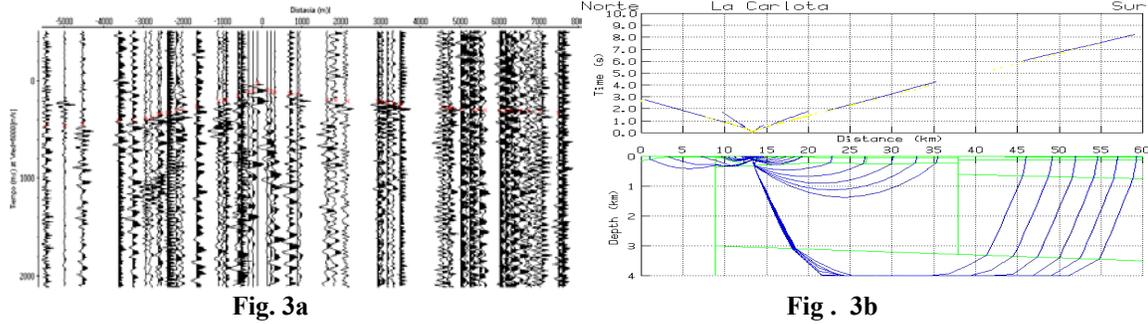


(2a)



**Figura 2**

(a) Secciones sísmicas reducidas del perfil Chacao C; la línea roja indica las primeras llegadas correlacionadas. (b) Modelo bidimensional y trazado de rayos; tiempos de llegada observados y calculados (líneas Amarillas y puntos azules respectivamente los números corresponden a las capas descritas en el texto, líneas amarillas corresponden trazado de rayos. Disparo Pajaritos (izquierda), disparo Parque del Este (derecha).

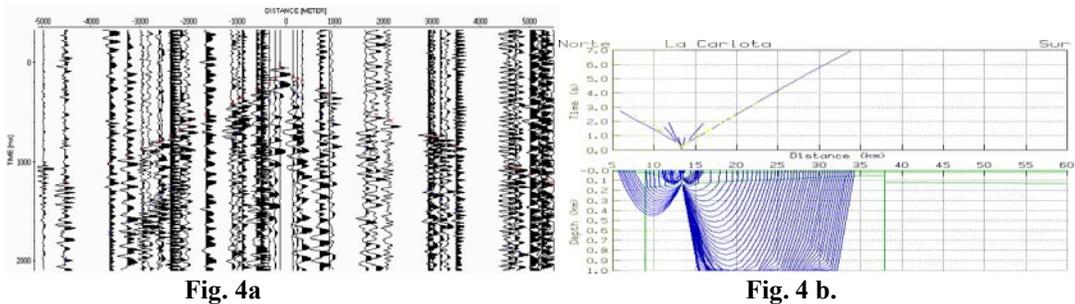


**Fig. 3a**

**Fig. 3b**

**Fig. 3**

(a) Sección sísmicas reducidas del perfil CPL disparo La Carlota, las X rojas indica las primeras llegadas (Pg). (b) Modelo bidimensional y trazado de rayos.



**Fig. 4a**

**Fig. 4 b.**

**Fig. 4**

(a) Sección sísmica disparo La Carlota, X de color rojo marcan las primeras llegadas de la ondas P (Pg) y x de color azul primeras llegadas de las ondas S (Sg). (b) Modelo bidimensional y trazado de rayos.

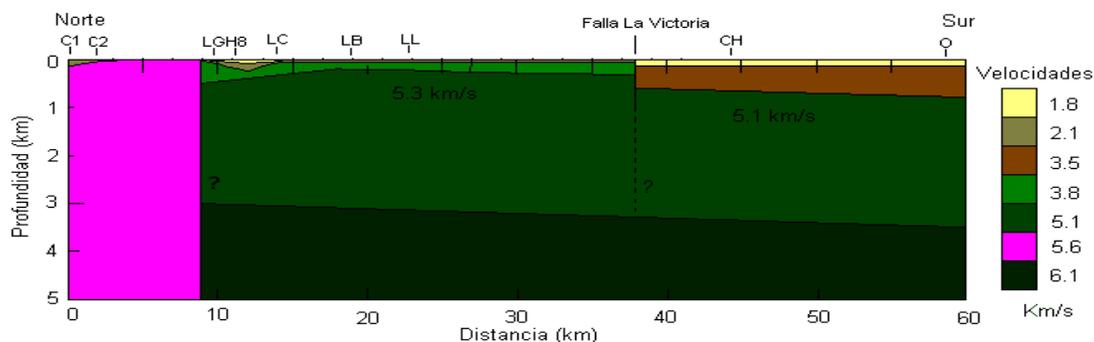


Fig. 5a

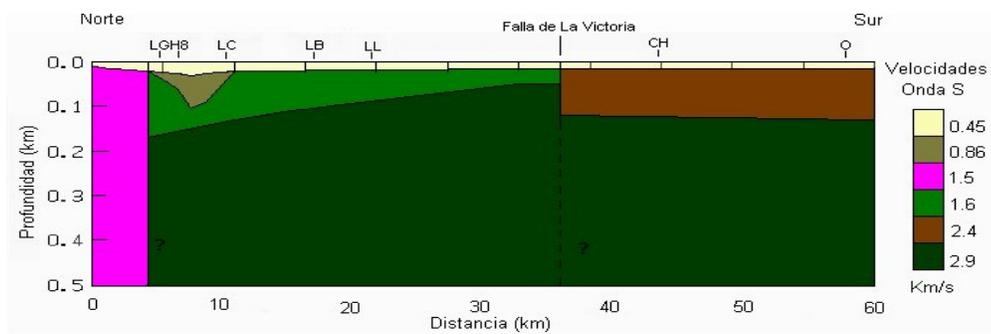


Fig. 5b

Fig. 5

- (a) Modelo bidimensional de velocidades de ondas P del perfil CPL.  
 (b) Modelo bidimensional para onda S, C1=Caraballeda, C2= Caraballeda, LG=La Granja, H8=Conuntry/Hoyo 8, LC=La Carlota, LB=La Bonita, LL=La Limonera.

### Mapa de espesor de sedimentos del área de Chacao

A partir de la información obtenida con el modelaje bidimensional de los datos sísmicos se realizó la actualización del mapa de espesores de sedimentos de Caracas (Kantak, 2001) con el fin de mejorar la estimación de la profundidad de la roca en el área de Chacao. El mapa de espesor de sedimentos del Área Metropolitana de Caracas (Kantak, 2001) es el producto de la integración (SIG) de datos geológicos y geofísicos generados principalmente antes y después el sismo de Caracas de 1967 (Delaware, 1950; Weston, 1969; Singer, 1977).

En el mapa de espesores de sedimentos (Fig. 6) se observa que la orientación de la cuenca es predominantemente este-oeste, con una profundidad máxima de basamento rocoso igual a 360 m en Los Palos Grandes. En la región norte del Municipio Chacao decrece el espesor de sedimentos hasta aflorar el basamento al pie del Ávila. En la zona Sur se observa una disminución gradual del espesor de sedimentos, específicamente en el Parque de Este la profundidad promedio del basamento es de 120 metros. Destacan la presencia de accidentes en la topografía del basamento rocoso en Los Palos Grandes y al noroeste del Parque del Este, los cuales alcanzan 360 y 140 m de profundidad respectivamente evidenciando el alto nivel de complejidad en la geometría de la cuenca. Dichas irregularidades están en concordancia con los datos de pozos ubicados en el área (Kantak, 2001)

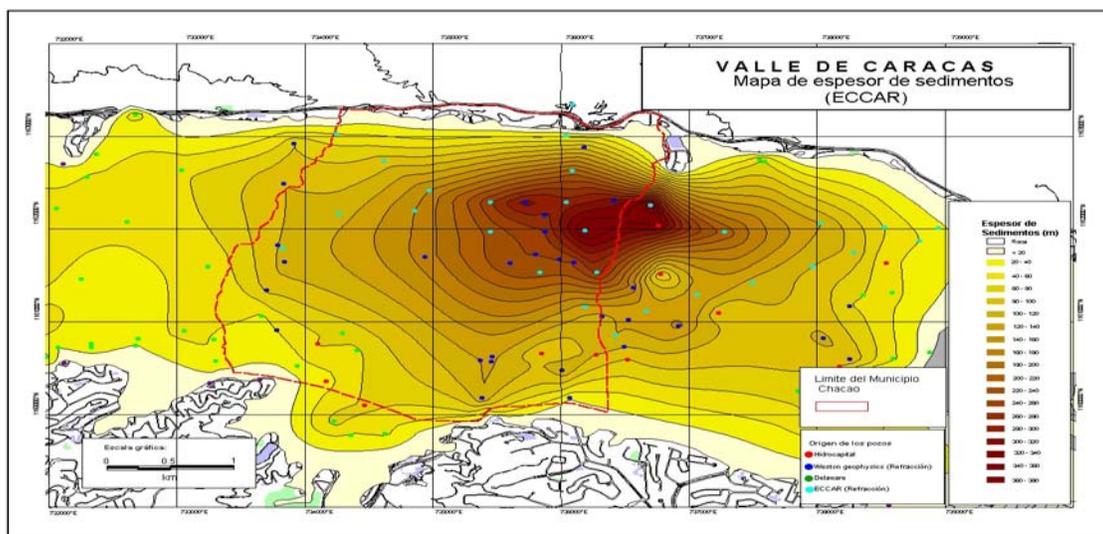


Fig. 6

Mapa de espesores de sedimentos actualizado a partir del experimento ECCAR, 2001

## Conclusiones

A partir de la nueva información obtenida se actualizó el mapa de espesor de sedimentos de Caracas (Weston, 1969; Kantak, 2001), a través de un sistema de Información Geográfica (SIG – MapInfo).

En Chacao se obtuvieron los espesores de los sedimentos y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, registrándose una profundidad máxima de 360 m en Los Palos Grandes. La forma de la cuenca en su parte más profunda está más acentuada en el sentido norte-sur respecto a la información previa, lo que puede tener implicaciones importantes debido a que el modelaje de la respuesta sísmica indica una dependencia de la amplificación y de la frecuencia de las ondas sísmicas no sólo del espesor de sedimentos sino también del relieve del subsuelo y de la característica y ubicación de la fuente (Schmitz et al, 2002).

Mediante los disparos efectuados en La Carlota, La Bonita y La Limonera pertenecientes al perfil CPL. Se observa un estrato superficial con espesor entre 10 y 15 m y una velocidad  $V_p$  de 1800 m/s ( $V_s = 450$  m/s). Su espesor aumenta considerablemente entre los disparos La Granja y La Carlota (Municipio Chacao), donde alcanza 200 m de profundidad. Este primer estrato es interpretado como sedimento saturado (en el valle de Caracas), relleno o roca meteorizada. Es importante destacar que el distanciamiento de los equipos de registro de aproximadamente 300-500 m no permite deducir estructuras más detalladas y el espesor de 10-15 m para el estrato de 1800 m/s es considerado como un valor promedio para la zona. Debajo sigue un estrato con una velocidad  $V_p$  de 2100 m/s hasta una profundidad de 400 m en el valle de Caracas (interpretado como sedimentos consolidados) y un máximo de 150 m en el sur de Caracas, donde es interpretado como roca profundamente meteorizada, perteneciente a las formaciones Las Mercedes y Las Brisas. A mayor profundidad sigue un estrato con una velocidad  $V_p$  de 3800 m/s, correspondiente a la roca de las formaciones Las Mercedes y Las Brisas. A partir de 250 m de profundidad se encuentran velocidades mayores a 5000 m/s, que se asocian a las mismas formaciones metamórficas. A partir de una profundidad de 3 km se observa un aumento de la velocidad a 6100 m/s, lo que se interpreta como el basamento cristalino. Los disparos ubicados en Charallave y Ocumare del Tuy poseen una marcada diferencia en las velocidades con respecto a los disparos ubicados en el área metropolitana de Caracas, sobre las formaciones Las Mercedes y Las Brisas. Esta diferencia es causada por el cambio de litología en dichas unidades litoestratigráficas, las cuales se encuentran en contacto por la falla de La Victoria.

En el modelo de velocidades de ondas S no se pudo detallar todos los estratos identificados en el modelo de velocidades de ondas P. El modelo posee un estrato superficial de 450 m/s es seguido por un segundo estrato de 1600 m/s hasta 100 - 200 m de profundidad y 2900 m/s debajo, sin tener información de profundidades mayores a 500 m.

## Agradecimientos

Una nota de especial agradecimiento a los participantes de las actividades de campo.

Muchas gracias a INPARQUES, Caracas Country Club, Alcaldía de Chacao, Alcaldía de Baruta, Base Aérea Generalísimo Francisco de Miranda (La Carlota), a los señores Nicolás d'Ambrosio (Administradora La Limonera C.A.), Italo Guerra, Abelardo Acosta y al Universidad Monte Ávila por los permisos de perforación y voladuras. Especialmente a la Cantera Nacional (Mamera) por el permiso de registrar la voladura de la cantera en el sitio. Agradecemos el apoyo de L. Pregitzer (CAVIM), Mateo (OSERCO) por las perforaciones y voladuras, a DC Chacao por el apoyo logístico. Agradecemos especialmente al IRIS/PASSCAL Instrument Centre, por el préstamo de 193 equipos TEXAN de registro sísmico y apoyo técnico para la realización del proyecto y a todos los que estaban asociados al desarrollo del proyecto. Proyecto financiado por FUNVISIS y parcialmente por CONICIT No. S1-2000000685 con fondos adicionales para perforación y voladuras de los convenios FUNVISIS - Alcaldía Baruta y FUNVISIS - Alcaldía Chacao.

## Referencias

- DELAWARE (Seismographic Service Corporation of Delaware/Tulsa, EEUU), 1950. Informe sobre investigaciones de aguas subterráneas del valle de Caracas. Unpublished, Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), Ministerio de Obras Públicas, 189 pp.
- Kantak P., 2001. Espesores de los sedimentos y principales unidades geológicas del Valle de Caracas. In: Proceedings of the International Workshop “Study on Countermeasures for Earthquake Disaster in Caracas” (1999 2001), Caracas, Venezuela, Serie Técnica No. 1-2001, FUNVISIS, Caracas, 99-104.
- Schmitz, M, Enomoto, T, Ampuero, J.-P., Rocabado, V, Kantak, P, Sánchez, J., Rendón, H., González, J, Abeki, N, Vilotte, J.-P., Navarro, M. & Delgado, J, 2002. Seismic Microzoning Study in Chacao district, Caracas, Venezuela. 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, 9-13 September 2002, extended abstract, submitted, 10 pp.
- Singer, A., 1977. Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas, Venezuela. V Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 4:1861-1902.
- Weston Geophysical Engineers International INC, 1969. Investigaciones Sísmicas en el Valle de Caracas y en el Litoral Central (bajo la planificación y supervisión de la Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo), Caracas, 22 pp.