

3.3.4 Espesores de materiales no consolidados

En la Figura III-3 se presenta el mapa de espesores de materiales no consolidados, preparado por Climent y Bolaños (1999) para el Area Metropolitana de San José. Para la confección de este mapa se utilizó la información disponible de datos de pozos de investigación de agua subterránea que posee el Servicio Nacional de Aguas, Riego y Avenamiento (SENARA). Se conformó una base de datos inicial con aproximadamente 1300 pozos ubicados entre las coordenadas 510,000-536,000 Longitud Este y 202,000-220,000 Latitud Norte, la cual, luego del proceso de análisis e interpretación fue reducida a 491, en la que se incluyeron aquellos datos que se consideró cumplían con un mínimo de requisitos de calidad, los cuales se definieron en función del detalle de la descripción y claridad en la diferenciación de las litologías.

Para la determinación del espesor en cada uno de los pozos, se consideró como material no consolidado los materiales volcanoclásticos finos descritos como arcillas, limos, arenas muy finas, la mayoría de ellas en correspondencia con cenizas, paleosuelos y lacustres arcillosos, siempre y cuando estos materiales estuvieran en niveles superficiales. También se da la situación en que estos corresponden con depósitos de una gran cantidad de bloques de tamaños variados pero envueltos en una matriz arenosa, limosa, arcillosa o bien una mezcla entre ellas, pero con la característica de que la matriz de material fino domina el comportamiento esfuerzo-deformación del conjunto.

De acuerdo con la definición anterior, se determinó en cada uno de los pozos el contacto inferior del material no consolidado con las litologías subyacentes, ya sean lahares blocosos, ignimbritas, tobas, lavas y rocas sedimentarias (areniscas, lutitas).

Para el procesamiento se utilizó el programa SURFER, que es un programa de contornos basado en una malla de puntos, la cual se genera a partir de la información base disponible (pozos). Por medio de esta malla se generan contornos de igual valor de acuerdo con el parámetro que se esté utilizando (Keckler, 1994), en este caso específico siendo el espesor.

El mapa muestra espesores de materiales no consolidados que varían entre los cero y los 35 metros en toda el área de estudio. En forma general, los espesores menores varían entre los cero y los 10 metros en el sur, suroeste, oeste y noroeste del área de estudio, y hacia el centro y norte los espesores mayores varían entre los 10 y los 35 metros, encontrándose los de mayor espesor hacia el noreste de Santo Domingo de Heredia. El centro de la ciudad de San José se encuentra en una zona bastante homogénea variando el espesor entre los 10 y los 15 metros. Sin embargo, como se ha dicho anteriormente, podría encontrarse variación en forma puntual en cuanto al valor dado por la interpolación. Es importante señalar como puntos singulares los espesores que refleja el mapa, en el parque de La Sabana, al este de Curridabat e inicios de la autopista Florencio del Castillo, y también al norte de la intersección de Guadalupe.

La distribución de los espesores mostrada en la Figura III-3 presenta en algunas zonas la presencia irregular de valles y colinas, con variaciones laterales mayores o menores de acuerdo con la zona y la dirección en la cual se mire.

3.4 CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS

La velocidad de la onda cortante (V_s) es el parámetro geofísico que tradicionalmente ha sido utilizado para caracterizar los depósitos de materiales no consolidados en la dinámica de los suelos. Esta refleja en buena medida la condición físico-mecánica del material. El fenómeno responsable de la amplificación de los movimientos sísmicos es la impedancia que está caracterizada por la velocidad de la onda cortante y la densidad de cada estrato. Dada la importancia de contar con esta información para el Área Metropolitana de San José se realizaron diferentes mediciones geofísicas cuyos resultados se presentan en este apartado.

3.4.1 Mediciones SASW

Para efectos propios del Proyecto de Microzonificación, en agosto de 1997 las instituciones nacionales participantes del mismo en conjunto con técnicos de la Universidad de Panamá y el Instituto Noruego de Geotecnia (NGI) realizaron una campaña de mediciones geofísicas en el Área Metropolitana utilizando el método SASW (Spectral Analysis of Surface Wave). El objetivo de las mismas fue el de medir directamente la velocidad de las ondas cortantes por medio del uso de las ondas superficiales, tipo Rayleigh, registradas en cada prueba mediante arreglos de doce geófonos. Información más completa y detallada sobre estas mediciones puede ser encontrada en Boschini y Flores (1997).

Las pruebas fueron realizadas en siete sitios (Fig. III-4), los cuales fueron escogidos de acuerdo con la presencia de espesores de suelo importantes, desarrollo actual y futuro de infraestructura en la zona, conocimiento de problemas de amplificación de alguno de esos sitios durante sismos pasados y la disponibilidad de información estratigráfica. Las gráficas SASW originales para cada uno de ellos se muestran en la Figura III-5 y en la Tabla III-2 la ubicación exacta por coordenadas.

Dos de estos sitios se localizaron en el área central de la ciudad (*HPT*, Hospital y *PAN*, Parque Nacional) donde se encuentran los edificios de mayor altura; cuatro en la periferia (*HTO*, Hatillo; *RHR*, Rohrmoser; *DES*, Desamparados y *NPQ*, Napoleón Quesada) en la que predominan residencias. Finalmente el sitio denominado La Ribera (*LAR*), zona que tiene un gran crecimiento urbano-industrial.

Geológicamente, los seis primeros sitios se encuentran localizados en zonas de lahares y cenizas del Cuaternario (Denyer y Arias, 1991). Los suelos superficiales de los sitios *DES*, *PAN* y *HTO* son arcillas de color grisáceo o café oscuro, de mediana a alta plasticidad con espesores que varían entre dos y cinco metros, y se caracterizan por provocar problemas a obras civiles debido a cambios de volumen. El sitio *LAR* se encuentra en la formación Barva del Pleistoceno-Holoceno descritas por Echandi (1981),

conformada por coladas de lava andesíticas y andesítico-basálticas provenientes del macizo del volcán Barva y otros centros de emisión localizados al este. Los suelos superficiales son limos de alta plasticidad de color café, de baja a regular consistencia, con un espesor aproximado de 15 metros que hace contacto con la toba y cuya consistencia mejora con la profundidad.

Sitio de Medición	Localización (Lamberdt)	Prueba Geofísica Realizada (trabajo de campo)		
		SAWS	R.S.	R.E.
Napoleón Quesada (NPQ)	214,100 529,600	X	-	-
Parque Nacional (PAN)	213,200 528,700	X	-	-
Hospital (HPT)	212,800 526,800	X	-	-
Rohrmoser (RHR)	214,300 522,800	X	-	-
La Ribera (LAR)	219,700 517,800	X	X	-
Hatillo (HTO)	211,800 524,700	X	X	X
Curridabat (CUR)	212,200 532,500	-	X	X
Sabana (SAB)	213,300 525,100	-	X	X
Tibás (TIB)	215,100 527,100	-	-	X
Universidad (UCR)	214,400 531,500	-	X	X
Parque La Paz (PLP)	210,600 528,500	-	-	X
Desamparados (DES)	208,000 531,000	-	X	X
	209,200 529,300	X	-	-
Escazú (ESC)	213,700 520,300	-	X*	-

* Prueba Down Hole

R.S. Refracción Sísmica

R.E Resistividad Eléctrica

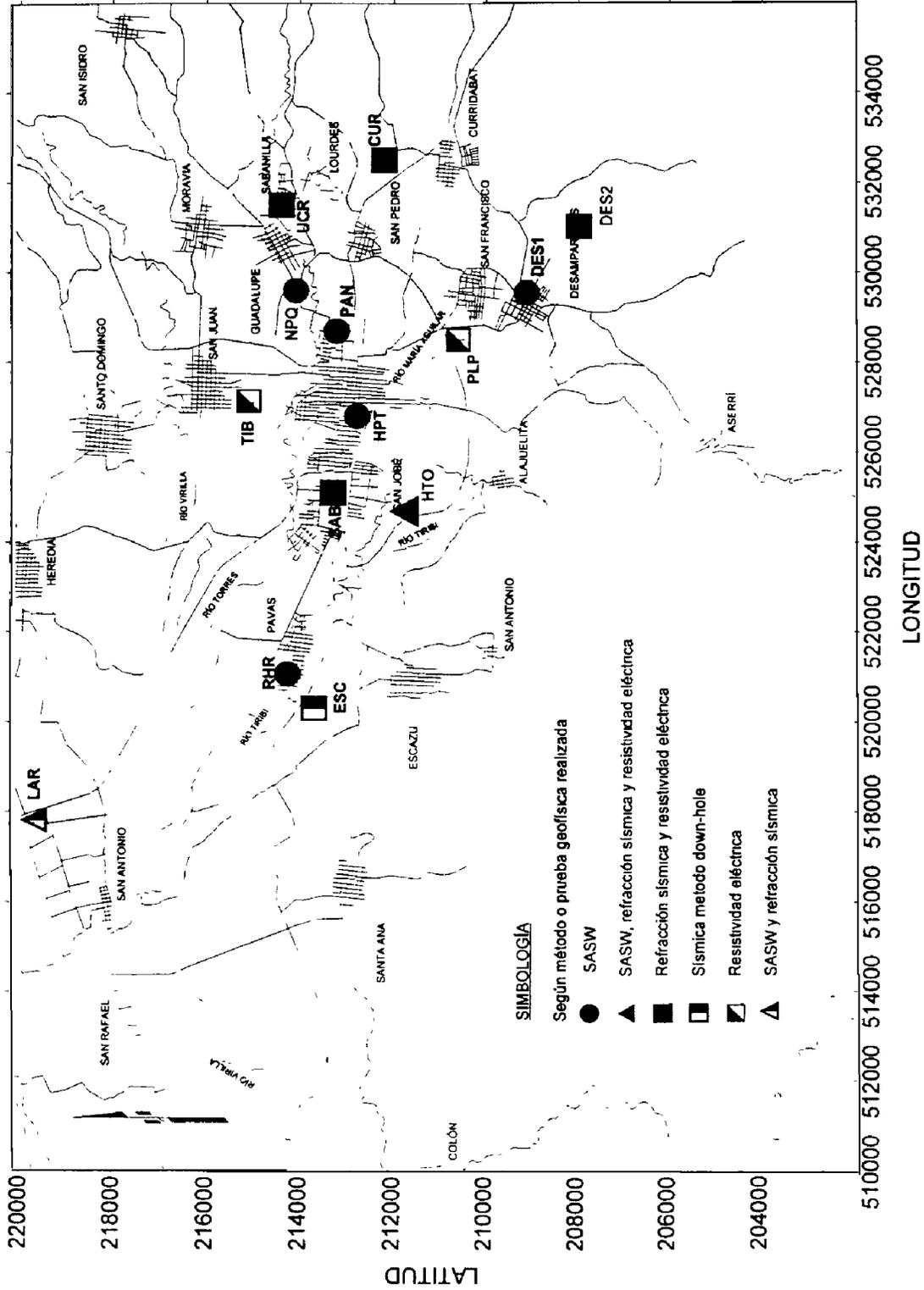


Fig. III-4 Mapa de ubicación de sitios de medición de pruebas geofísicas

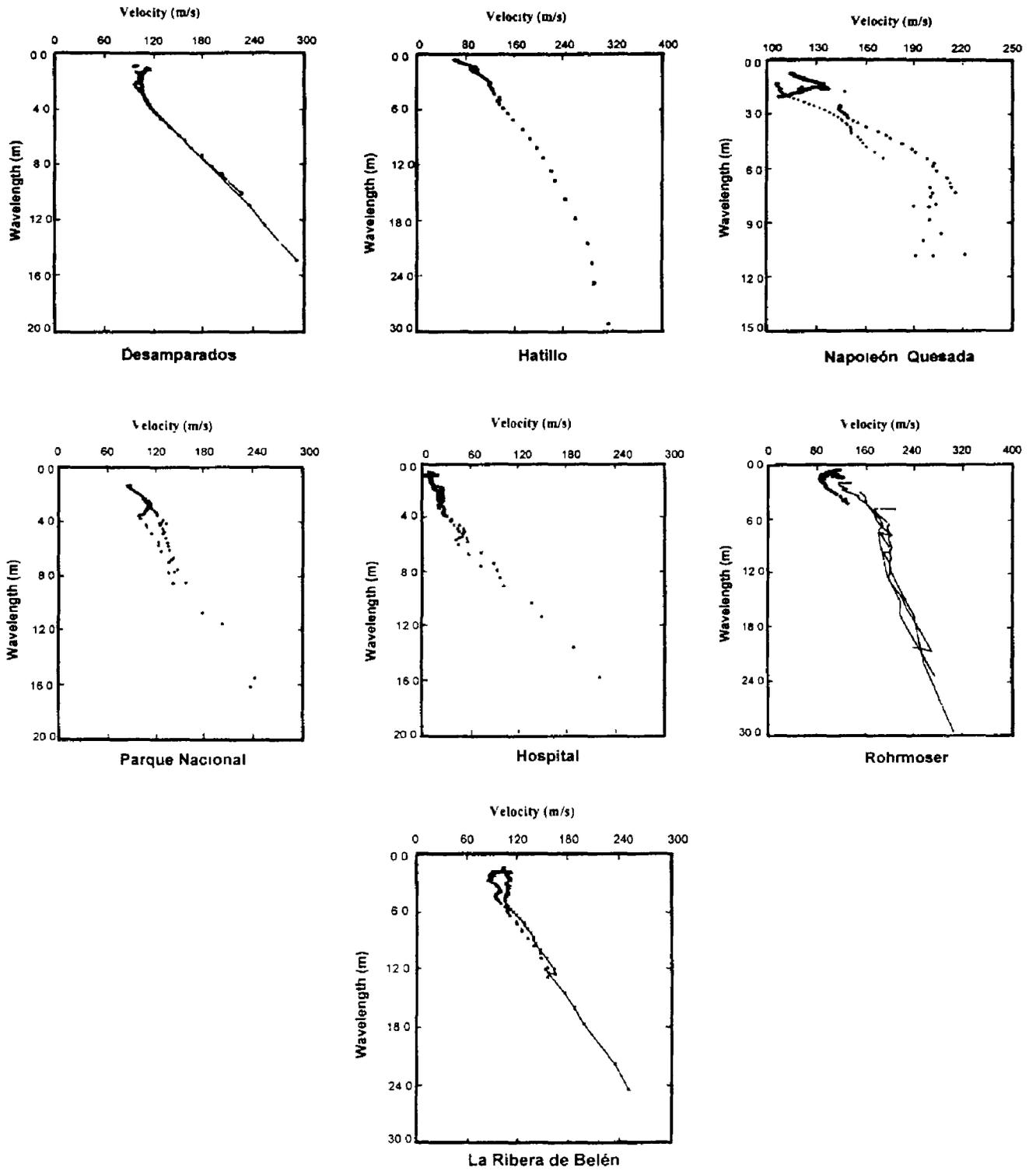


Fig. III-V Gráficos de pruebas SASW en cada sitio, velocidad contra longitud de onda.

3.4.2. Sísmica de refracción y resistividad eléctrica

Durante el año 1998 y para efectos de complementar la información obtenida por medio de las mediciones SASW, el Instituto Costarricense de Electricidad realizó una serie de mediciones en el Área Metropolitana por medio de ensayos de *sísmica de refracción (R.S.)* y *resistividad eléctrica (R.E.)* utilizando sondeos eléctricos verticales (Climent *et al.*, 1999).

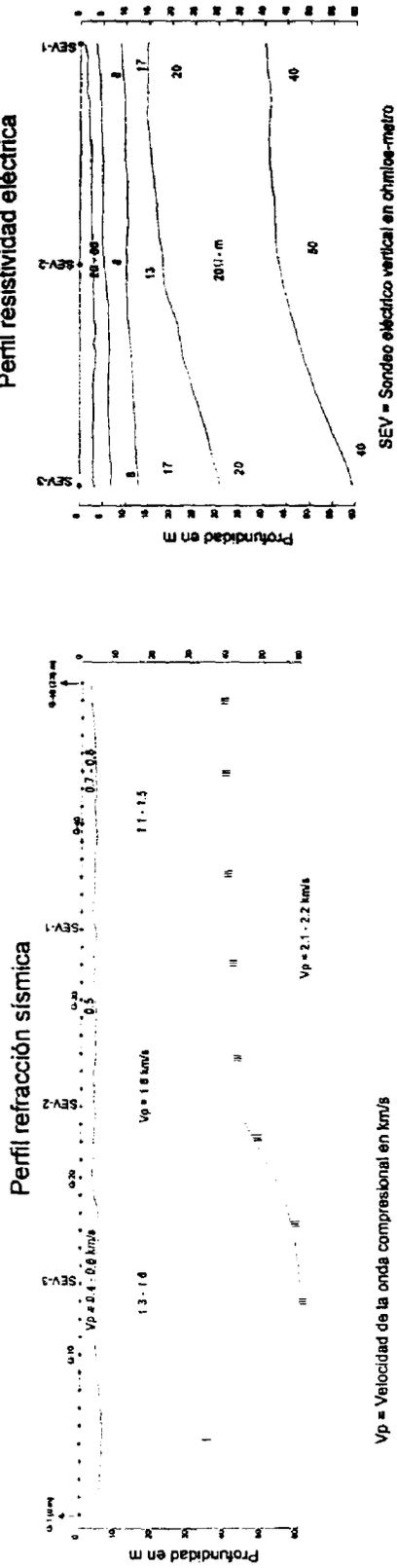
El objetivo principal de esas mediciones fue el de complementar las pruebas geofísicas realizadas en 1997 utilizando la técnica SASW. Estas nuevas mediciones suministran valores de velocidad de la onda compresional y en algunos casos se logra detectar la onda cortante. Además, se calcularon los espesores de los diferentes estratos de suelo y depósitos geológicos presentes en cada sitio.

Inicialmente, las mediciones fueron planteadas para realizarse en los mismos sitios donde se habían realizado las pruebas SASW. Sin embargo, debido a problemas de espacio, o sea longitud de campo abierto que permitiera diseñar el perfil geofísico adecuado para aumentar la profundidad de investigación, se buscaron nuevos sitios de medición. De los siete sitios donde se realizaron las pruebas SASW, solamente en Hatillo y La Ribera de Belén se realizaron nuevas mediciones. Siete nuevos sitios fueron seleccionados, cuya distribución en la Figura III-4, y en la Tabla III-2 la localización exacta por coordenadas de cada uno de ellos y el tipo de prueba geofísica que se realizó.

Los siete nuevos sitios, denominados: CUR, SAB, TIB, UCR, PLP, DES2, ESC, se localizan en la periferia de ciudad de San José, en áreas de uso residencial mayormente. Los seis primeros ubicados en sub-suelos definidos como lahares y cenizas. El último sitio está ubicado en la zona de transición entre los lahares y las ignimbritas del cuaternario, al oeste de San José.

En las Figuras III-6, III-7 y III-8 se presentan los perfiles de interpretación de cada una de las pruebas hechas en cada sitio. De acuerdo con estos perfiles se encontró variaciones en la velocidad de la onda compresional V_p entre 0,2 y 0,8 km/s en las capas superficiales. En el contacto con los lahares se encontraron valores entre 1,3 y 2,1 km/s de acuerdo con la profundidad en que aparecen los mismos. Los valores de resistividad eléctrica varían de 20 a 100 ohms-m para los suelos y 20 a 40 ohms-m para los lahares. Los espesores son variables de acuerdo con cada sitio. Para efectos de obtener un modelo geofísico del sitio en particular, se deberá combinar la información de la prueba de sísmica con la de geo-eléctrica, esta última especialmente para definir los espesores de los estratos arcillosos y contenido de arcillas en los estratos de lahares, difícilmente observados por medio de la refracción sísmica.

SITIO DESAMPARADOS



SITIO HATILLO

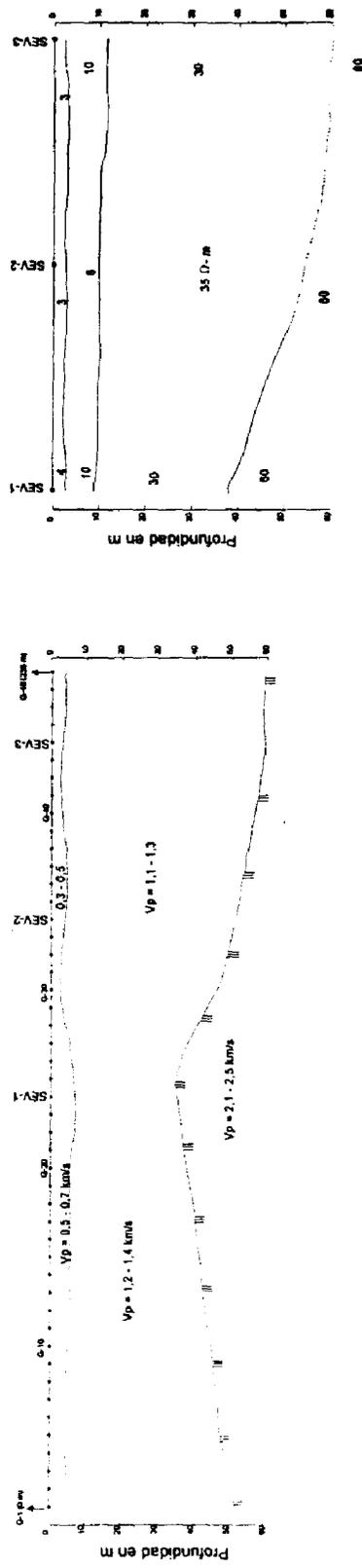


Fig. III-6 Perfiles de interpretación geofísica de acuerdo a cada una de las pruebas realizadas

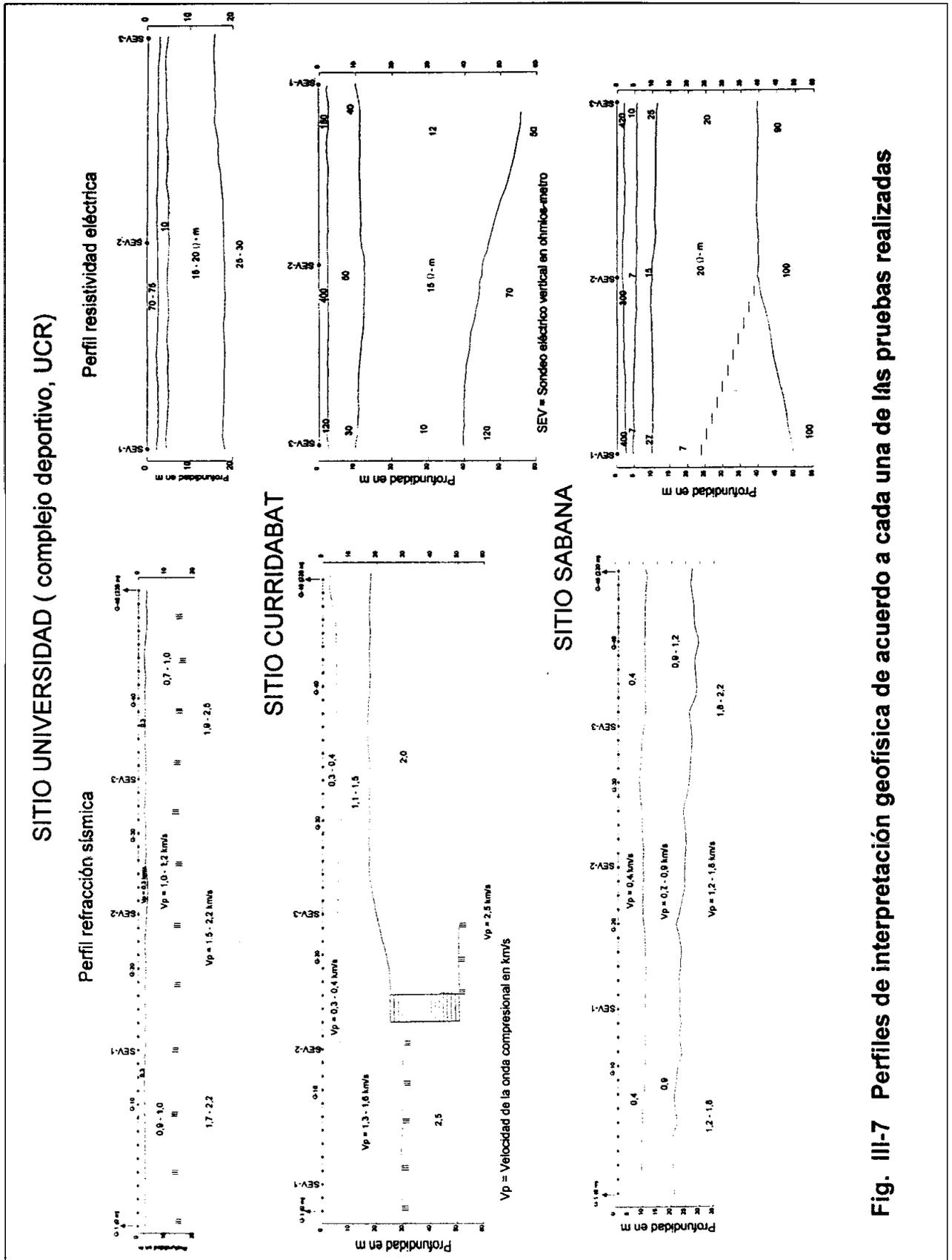


Fig. III-7 Perfiles de interpretación geofísica de acuerdo a cada una de las pruebas realizadas

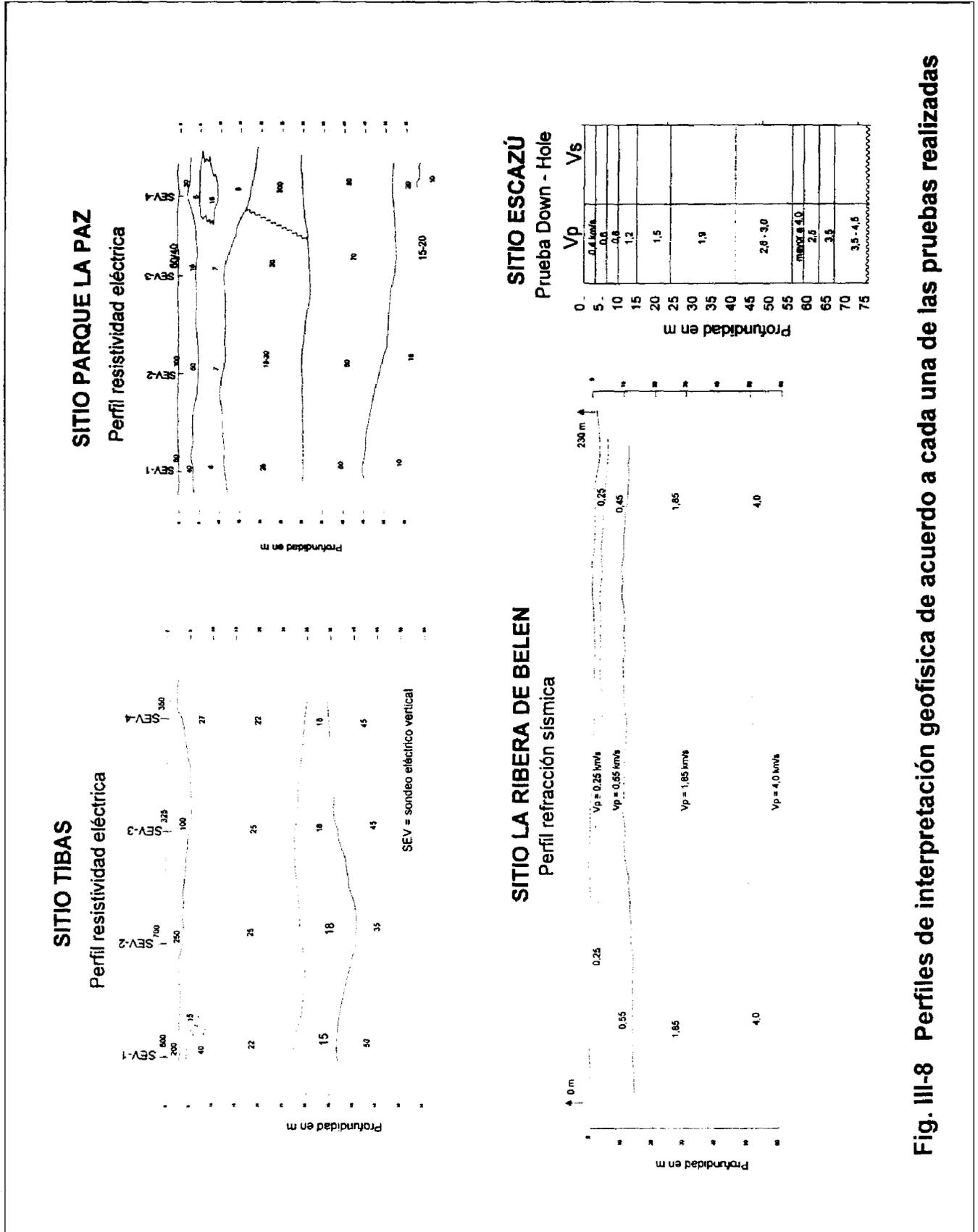


Fig. III-8 Perfiles de interpretación geofísica de acuerdo a cada una de las pruebas realizadas

3.5 CONCLUSIONES

Los grandes núcleos poblacionales del Área Metropolitana se localizan en zonas cuya geología consiste principalmente de rocas volcánicas. La zona central de San José, la que es la más densamente poblada, yace en su totalidad sobre lahares.

A grandes rasgos, el relieve del Área Metropolitana presenta una topografía relativamente regular y suave hacia el NNW, centro y NE, en tanto que hacia el sur y SW es más bien montañoso. Siguiendo estos rasgos topográficos, y en forma general, los espesores de materiales no consolidados son menores hacia el sur que hacia el norte, teniendo variaciones entre los 0 y 35 metros. La zona de mayor espesor se encuentra hacia el noreste de Santo Domingo de Heredia. El centro de la ciudad de San José se encuentra en una zona bastante homogénea variando el espesor entre los 10 y los 15 metros. Es importante señalar como puntos singulares los espesores importantes que refleja el mapa, en el parque de La Sabana, al este de Curridabat e inicios de la autopista Florencio del Castillo, y también en Calle Blancos.

En el área de interés se localizan varios tipos de materiales, tanto de carácter residual (suelos) como transportado (sedimentos) y primario con diferentes grados de alteración (ceniza). En los primeros metros de profundidad predominan los suelos de carácter limoso y arcilloso que en algunos casos se ha determinado que pueden llegar hasta profundidades de 10 m. Conforme la profundidad aumenta, nos encontramos con el material denominado lahar, que corresponde a flujos de escombros rocosos. Su granulometría es muy variada, en algunos casos con matriz arcillosa y en otros arenosa, con bloques desde centimétricos hasta métricos de calidad física y mecánica muy variada. En otras zonas del área se encuentran directamente las ignimbritas y/o lavas, cuyo comportamiento corresponde al de una roca. Cuando se trata de cimentar estructuras sobre el material denominado lavina, los problemas asociados están ligados principalmente con fenómenos de asentamiento diferencial, ya que la presencia de bloques de gran tamaño afecta su comportamiento bajo cargas.

El sector suroeste de la ciudad de San José se caracteriza por la presencia de arcillas de muy alta plasticidad, con características de expansividad y en la zona noreste está bien identificada la presencia de limos colapsables.

Se encontraron variaciones del valor de la velocidad de la onda P (V_p) entre 0,2 y 0,8 km/s en las capas muy superiores mientras que en el contacto con los lahares se presentan valores entre 1,3 y 2,1 km/s de acuerdo con la profundidad en que aparecen los mismos. Los valores de resistividad eléctrica varían entre los 20 y 100 ohms-m para los suelos y 20 a 40 omhs-m para los lahares.

Las pruebas directas de medición de la velocidad de la onda cortante, V_s , sugieren que en los primeros 30 metros de espesor de suelo, se presenta una velocidad promedio de alrededor de 0,35 km/s que varía de acuerdo con la profundidad entre 0,1 y 0,5 km/s. Lo anterior hace que los suelos de San José se puedan clasificar como rígidos.

3.6 REFERENCIAS

- Avilés, E., M.Cordero, J. Delgado, M. Gutiérrez, G. Laporte, J. Rodríguez, S. Sáenz, M. Tapia y O. Vega, 1994: Código de cimentaciones de Costa Rica. Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos. Ed. Tecnológica. 200 pp.
- Bard, P., 1995: Local effects on strong ground motions. Basic physical phenomena and estimation methods for microzonation studies. International Training Course on Seismology and Seismic Hazard Assessment. Managua, Nicaragua. 33 pp.
- Bogantes, R., 1999: Propuesta de zonificación geotécnica para el Area Metropolitana. Informe final de Trabajo de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José.
- Boschini, I y R. Flores (eds.), 1997: Resultados preliminares de la medición de la amplificación sísmica en el Area Metropolitana de San José, Costa Rica. Informe de avance de proyecto. 25 pp.
- Climent, A. y M. Bolaños, 1999: Mapa de espesores de materiales no consolidados en el Area Metropolitana de San José. Inf. Interno ICE. 12 pp.
- Climent, A., G. Leandro, M. Avila, y G. Esquivel, 1999: Mediciones geofísicas en el Area Metropolitana de San José. Inf. Interno ICE. 12 pp.
- Denyer, P. y O. Arias, 1991: Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica. Revista Geológica de América Central, 12, p. 16-46.
- Keckler, D., 1994: Surfer for Windows, User's Guide. Golden Software, Inc. 395 pp, + Appendix A, B and C.
- Laporte, G. y S. Sáenz, 1985: Métodos aproximados para el cálculo de asentamientos por consolidación en limos compresiles, aplicables a Costa Rica. III Congreso Nacional de Geotecnia. San José, Costa Rica.
- Laporte, G. y M. Valverde, 1991: Elementos básicos para la identificación de problemas geotécnicos en proyectos habitacionales. Revista del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. Vol. 34, Número 5.
- Laporte, G. y S. Sáenz, 1995: Propiedades geotécnicas de los suelos en el Valle Central de Costa Rica. X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos. Guadalajara, México.

