Capítulo 3

Geología y Características Geotécnico-Geofísicas

Instituto Costarricense de Electricidad, ICE

RESUMEN

En este capítulo se presenta información geológica, geotécnica y geofísica del Area Metropolitana de San José, mucha de la cual ha sido desarrollada especialmente para este proyecto, como es el caso de las mediciones geofísicas y el mapa de espesores de materiales no consolidados. En el caso de la información geotécnica, se incluye un mapa de zonificación elaborado por Bogantes (1999). Se incluye también un mapa geológico simplificado, basado en los ya existentes en el país.

La información geológica y geotécnica está resumida en mapas generales y la información geofísica en perfiles por sitio. Las mediciones geofísicas fueron realizadas en 13 diferentes sitios, en 7 de los cuales se realizaron mediciones directas de la velocidad de la onda cortante por medio del método SASW. Con base en esta información se ha determinado que los suelos que se encuentran presentes en San José pueden ser clasificados como rígidos.

3.1 INTRODUCCION

Es bien conocido que la geología superficial afecta el comportamiento de los movimientos sísmicos y puede ser en algunos casos muy importante. Los materiales no consolidados modifican las características de los movimientos sísmicos con respecto al comportamiento en roca, especialmente en lo referente a: la duración del movimiento, la amplitud de la señal y la distribución frecuencial de la energía (Bard, 1995).

Las condiciones locales representadas por el perfil de los materiales existentes y sus espesores, propiedades geotécnicas y geofísicas, además de las estructuras topográficas, juegan un papel importante en el establecimiento del potencial de daños que pueden producir las ondas sísmicas que llegan a un sitio.

Se aportan en este capítulo resultados que, combinados con estudios de efecto de sitio de los materiales que conforman el perfil de los materiales no consolidados del Area Metropolitana, permitirán mejorar el conocimiento del comportamiento dinámico de los suelos y estructuras en el país.

3.2 GEOLOGIA

A grandes rasgos, el relieve de Area Metropolitana presenta dos grandes dominios. El primero de ellos es hacia el NNW, centro y NE y posee una topografía relativamente suave, regular. El segundo es hacia el sur y SW y es un sector montañoso (cerros de Escazú, cerro Pacacua, Alto Tapezco, etc.).

Los grandes núcleos poblacionales (San José, Heredia, Santa Ana, Tibás, Desamparados, San Pedro, etc.) se localizan en el primer sector, cuya geología consiste principalmente de rocas volcánicas. La zona central de San José, la cual es la más densamente poblada, yace en su totalidad sobre lahares

En el Area Metropolitana afloran rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas de bajo grado (Fig. III-1). Las litologías sedimentarias son de orígenes marino y marino-continental, casi siempre influenciados por el volcanismo y con edades que se extienden desde el Mioceno Inferior hasta el Mioceno Superior. A partir del Mioceno Superior y hasta el presente, ha ocurrido el emplazamiento de numerosos depósitos volcánicos: flujos lávicos y piroclásticos y depósitos de caída, junto con un evento intrusivo acompañado por la generación de metamorfismo sobre rocas sedimentarias. Además, existen importantes depósitos aluviales-coluviales Cuaternarios en la zona de transición entre el sector montañoso y el de relieve suave.

A continuación se describe, en orden cronológico y en forma generalizada, la estratigrafía presente en la zona de estudio y alrededores, con base en el trabajo de recopilación y cartografiado de Denyer y Arias (1991).

- ***Rocas sedimentarias del Terciario Superior***

Consisten de rocas estratificadas de potencia variable, constituídas por areniscas, lutitas, vulcarenitas, tobitas, ortocuarcitas, calizas, cornubianitas y brechas. Fueron formadas en diversos ambientes sedimentarios, desde marino hasta marino-continental, casi siempre influenciadas por el vulcanismo, y durante el lapso comprendido entre el Mioceno Inferior (unos 24 millones de años) y el límite Mioceno-Plioceno (unos 5 millones de años). Afloran ampliamente en los sectores sur, sureste y oeste de la hoja Abra. Algunas de estas rocas se usan como agregados en caminos vecinales (Formación Peña Negra), como materia prima para cal y cemento (Formación San Miguel) y en la fabricación de vidrio, como abrasivos y como refractarios en hornos locales de producción de cal (Formación Coris). Cuando se alteran son propensas a generar deslizamientos.

- ***Rocas intrusivas del Terciario Superior***

Están constituidas por monzonitas y gabros. Los principales afloramientos se encuentran en los cerros de Escazú, en la parte sur de la hoja Abra. El intrusivo es un cuerpo cuyo afloramiento no sobrepasa 6 km de diámetro. A su alrededor afloran cornubianitas con espesores máximos de 200 m. Su edad es del Mioceno Superior Tardío al Plioceno (entre unos 2,2 y 5,3 millones de años).

- ***Lavas y brechas del Terciario Superior***

Están constituidas principalmente por coladas de basaltos, traquiandesitas y andesitas, depósitos piroclásticos de caída y de flujo con espesores de varias decenas de metros; la potencia máxima combinada varía entre 500 y 1000 m. Los afloramientos de estas formaciones rocosas (Grifo Alto y La Cruz) son discontinuos y dispersos, y se distribuyen en los sectores meridional y occidental de la hoja Abra. Sus edades se extienden del Mioceno Superior al Plioceno. Varios tajos se ubican en dichas unidades que son utilizadas como lastre para caminos.

• ***Tobas soldadas o ignimbritas del Cuaternario***

Depósitos de pómez de caída, flujos de ceniza soldados e ignimbritas con *fiames* de obsidiana y pómez, están coronados por depósitos de ceniza. Cubren un área importante en los sectores norte y noroeste de la hoja Abra; su límite meridional se encuentra al sur de Ciudad Colón. Su espesor máximo es de 150 m y su edad es Pleistoceno; las cenizas superiores son holocénicas. Las rocas aquí incluidas (Formación Avalancha Ardiente o Tiribí) son fuente importante de agregados para la construcción, y se explotan intensamente en tajos por toda el área. Además, por sus características físicas sirven como capa filtrante de los acuíferos inferiores.

• ***Lavas con algunas tobas asociadas del Cuaternario***

Son coladas de lava andesíticas y andesítico-basálticas, cuyo espesor fluctúa entre 10 y 80 m, con niveles de ignimbritas, tobas y escasas brechas. En la hoja Abra afloran en los cañones de los ríos Virilla y Tibás (Formación Lavas Intracañón o Colima), y en los sectores norte y noroeste, incluyendo a la ciudad de Heredia y a La Ribera de Belén (Formación Barva). La edad de estas rocas varía entre el Pleistoceno basal y Holoceno. Son de vital importancia como acuíferos para el abastecimiento de agua del Area Metropolitana desde hace varias décadas.

• ***Lahares y cenizas***

La construcción de los edificios volcánicos de la cordillera Central durante el Cuaternario ocasionó la formación de depresiones donde se acumularon materiales provenientes de los mismos, tales como avalanchas de lodo y cenizas, así como potentes espesores de cenizas de caída. La ciudad de San José se asienta sobre este tipo de depósitos. Los lahares tienen hasta unos 60 m de espesor; aunque normalmente son de unos 10 a 20 metros de potencia. Estos son muy heterogéneos, con fragmentos volcánicos subangulares principalmente andesíticos, con diámetros que pueden superar 1 m, inmersos en una matriz arcillosa arenosa, medianamente compactada. Sobreyaciendo los lahares existe una capa de cenizas con un espesor de 15 m entre La Paulina y Guadalupe, y de 20 m entre San José y San Juan de Tibás.

• ***Depósitos aluviales y coluviales recientes***

Los principales ríos de la hoja Abra (Virilla, María Aguilar, Tiribí, Torres) no muestran depósitos aluviales espesos o bien éstos son muy localizados, indicio claro de que predomina la erosión sobre la sedimentación. Bordeando los cerros de Escazú existen importantes abanicos coluvio-aluviales (*debris flows*), destacándose el formado por el río Uruca, sobre el cual se asienta la ciudad de Santa Ana.

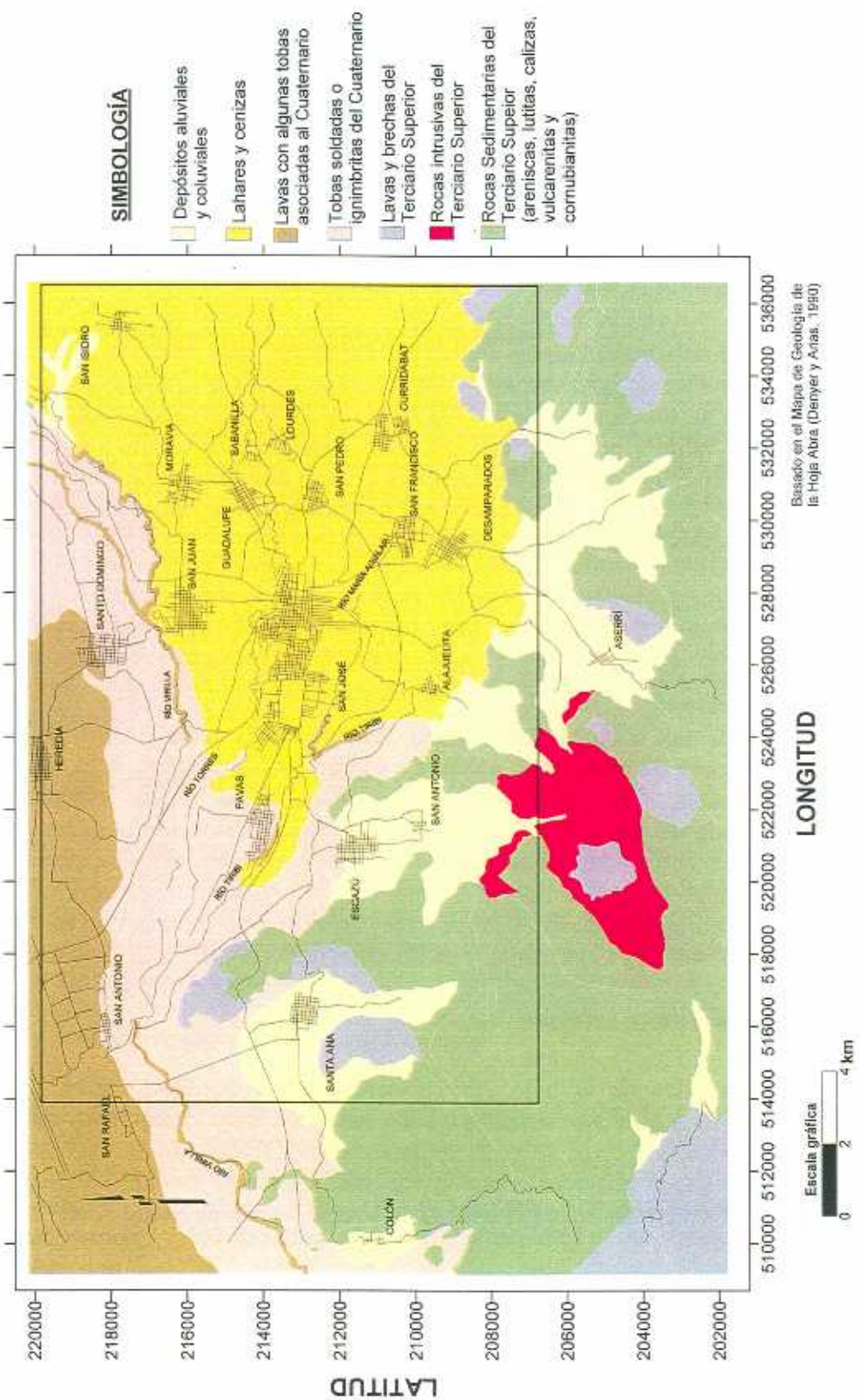

Fig. III-1. Mapa Geológico de la Hoja Abra

3.3 CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

El desarrollo de suelos en Costa Rica obedece a un cuadro típico de suelos tropicales, en su mayoría de origen residual. La alta precipitación pluvial que varía entre 1500 y 3500 mm por año en la zona estudiada, en conjunto con el efecto de la temperatura, las condiciones de drenaje, y de acuerdo con el tipo de roca, se producen espesores de suelos residuales importantes (hasta 35 m en el área de estudio), de tal modo que casi todas las obras de ingeniería deben cimentarse sobre estos suelos (Laporte y Sáenz, 1985).

La mayor parte de los suelos del Area Metropolitana se desarrollaron sobre rocas volcánicas (tobas, aglomerados y lavas), depósitos laháricos y cenizas volcánicas. Al sur del área de estudio pueden encontrarse también perfiles desarrollados sobre abanicos aluviales y rocas sedimentarias. Todos los suelos del área son cohesivos, predominando principalmente los de carácter limoso y arcilloso en los primeros metros de profundidad, en algunos casos se ha determinado que este material fino llega hasta profundidades de 10 metros. Conforme aumenta la profundidad se encuentra el material denominado lahar, que corresponde a flujos de escombros rocosos, con materiales de muy variada granulometría, 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, materiales de tipo volcánico cuyo comportamiento corresponde al de una roca.

Las características geotécnicas de los suelos son variadas, distinguiéndose como principal problema la presencia en amplias zonas de arcillas de alta expansividad (Laporte y Valverde, 1991; Avilés *et al.*, 1994). En menor grado, se presentan suelos muy blandos o limos colapsables, asociados con la presencia de gruesos mantos de ceniza volcánica. En la Fig III-2 se presenta una propuesta de distribución de estos suelos y en la Tabla III-1 un resumen de cada una de las zonas definidas en el mapa.

3.3.1 Arcillas de alta plasticidad

Su origen es variado. Pueden derivarse de la alteración de la ceniza volcánica en condiciones de drenaje restringido o de la meteorización de rocas sedimentarias o ignimbritas y rocas ígneas. Las formaciones Pacacua y Grifo Alto son especialmente susceptibles a presentar este tipo de arcillas; la formación Depósitos de Avalancha Ardiente presenta este tipo de suelos en sus zonas más bajas y planas.

En general, los estratos de arcillas de alta expansividad aparecen asociados a topografías muy planas y depresionales, a excepción de las formaciones geológicas Pacacua y Grifo Alto, las cuales se encuentran en zonas de fuertes pendientes. Se clasifican como CH según SUCS, y son usualmente de color gris oscuro.

En el mapa de la Figura III-2, en las zonas 2, 7, 8, 9, 10 y 11 es común encontrar este tipo de material, en estratos sub-superficiales que varían entre 0,5 y 4,0 metros de

espesor, ubicados a profundidades de 0,5 a 2,0 m. Tienen un índice de plasticidad superior al 31% y un porcentaje de expansión libre superior al 100%, lo que las califica como de muy alto potencial de expansión.

Su consistencia varía con la humedad, son muy duras y presentan grietas en estado seco, pero se ablandan considerablemente cuando se humedecen. Mineralógicamente, se han identificado como pertenecientes al grupo de las esmectitas, y dentro de este grupo como montmorillonitas bastante puras, con pequeña contaminación de caolinitas. (Laporte y Sáenz, 1995)

La condición más crítica en cuanto a la presencia de arcilla de alta expansividad se presenta en la zona 6, en la cual se encuentra arcilla negra en el ámbito superficial, subyacida por arcilla gris. La gran plasticidad de ambas, junto con su ubicación superficial las hacen muy propensas a sufrir cambios de volumen como consecuencia de variaciones en su contenido de humedad, con el consiguiente daño a las estructuras que se cimientan sobre estos suelos.

En la zona 15 se presentan también estas arcillas, generalmente en forma de lentes aislados. Existe otro tipo de arcillas CH que se desarrolla principalmente en los abanicos aluviales (zona 14). Este material es de color café, aunque en ocasiones presenta vetas grises. Se caracteriza por tener índices de plasticidad de entre 24 y 31% y un porcentaje de expansión libre inferior al 50%, lo cual si bien las clasifica como arcillas CH, les confiere un potencial de expansión mucho menor que las arcillas grises antes descritas. Este tipo de suelo puede presentarse también como producto de la alteración de la lava en zonas muy planas (zona 1).

3.3.2 Limos blandos o colapsables

Estos suelos están asociados con los depósitos de ceniza volcánica, los cuales generalmente tienen una estructura muy porosa, con relaciones de vacíos superiores a 2, y un elevado contenido de humedad natural, que generalmente varía entre 60 y 80%. Es frecuente que la humedad natural supere el límite líquido del material, lo que es una clara manifestación del carácter inestable del arreglo de las partículas. Se encuentran sobre la Formación Lahares y Cenizas.

El colapso se caracteriza por una reducción brusca de volumen de un suelo durante el proceso de saturación, sin aumento de carga. Los limos colapsables contienen menos del 12% de arcilla, es usual que contengan proporciones apreciables de arena (superiores al 20%), llegándose a encontrar algunos casos de arenas limosas SM Su consistencia blanda se manifiesta en los resultados de la prueba SPT, que generalmente no superan los 5 golpes hasta profundidades de 2m o más. Se han registrado casos en donde no se superan los 10 golpes antes de los 11m de profundidad.

Son suelos que tienen como característica común una estructura floja pero cementada o rigidizada de alguna manera, de modo que se conserva hasta que, por alguna circunstancia (puede ser inundación, humectación o carga mayor que la que previamente actuaba sobre el suelo) el cemento se reblandece o la succión se pierde y la estructura

colapsa. Una característica esencial de todos los suelos colapsables es un bajo peso volumétrico seco, registrándose valores tan reducidos como 700 kg/m^3 (Laporte y Sáenz, 1995).

Estos suelos se encuentran en las zonas altas y planas del valle, formando aproximadamente mesetas. Los limos colapsables se han encontrado en la zona 12 principalmente, y en la zona 13 en menor grado. La zona 5 puede eventualmente presentar este comportamiento, aunque los suelos son de mejor consistencia en esta zona. En la zona 16 se presenta en ocasiones un estrato de limos colapsables superficial, subyacido por un estrato de arcilla CH de color gris y moderado potencial de expansión.

Los suelos blandos se presentan, además de en las zonas ya citadas como de limos colapsables, en las zonas 1, 2 y 10. En las zonas 2 y 10 se encuentran además arcillas CH grises de alta expansividad, y un nivel freático somero (menos de 10m de profundidad).

3.3.3 Consistencia de los suelos en el Area Metropolitana

En esta zona pueden encontrarse desde rocas aflorantes (algunas zonas en los cerros de Escazú) hasta depósitos suaves en los primeros metros de los materiales no consolidados. En general, la consistencia de los suelos está relacionada principalmente con su origen geológico y su espesor. En este apartado el término suelo es utilizado, desde el punto de vista ingenieril, para aquel material que puede ser perforado por el método de penetración normal, con número de golpes N menor a 100 golpes.

Se puede establecer una clasificación general de la siguiente forma: los suelos más duros son los suelos residuales de poco espesor (inferior a 10m), especialmente si éstos están ubicados en zonas de alta pendiente. Como de consistencia intermedia pueden clasificarse los suelos desarrollados sobre abanicos aluviales, los suelos residuales derivados de lahares y los suelos residuales de gran espesor. Finalmente, los de menor consistencia están ubicados sobre depósitos piroclásticos.

En las zonas 6 y 7 se encuentran suelos residuales duros de poco espesor, derivados de la alteración de ignimbritas o rocas ígneas y sedimentarias. La consistencia de estos suelos es tal que usualmente al realizar la prueba SPT el mazo rebota (más de 100 golpes) antes de 5m de profundidad. En la zona 15 es común observar afloramientos de roca, lo que es una manifestación del poco espesor de los suelos. Los de consistencia intermedia se ubican en las zonas 4, 8, 9 y 14. Y los de menor consistencia pueden encontrarse en las zonas 1, 2, 10, 11 y 13. En estas zonas se encuentran números de golpes inferiores a 10 hasta 2m o más. Igualmente los materiales superiores de la zona 12 se caracterizan por una menor consistencia, ya que en este caso el resultado del SPT desciende hasta 5 o menos golpes en 2 o más metros de profundidad.

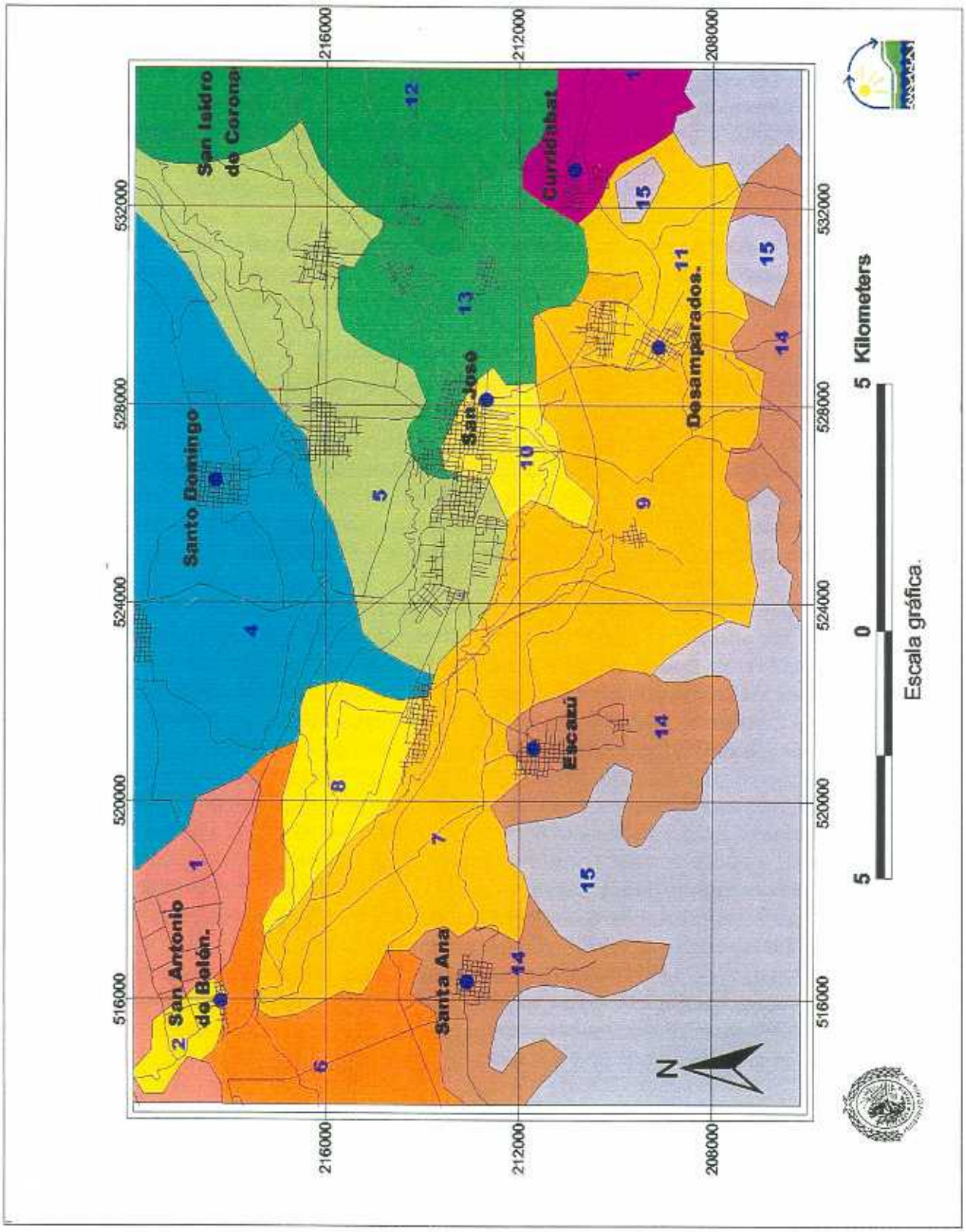

Fig. III-2(Según Bogantes,1999

Tabla III-1. Descripción de las zonas mostradas en al mapa de la Figura III-2.

1	Suelos blandos, de alta plasticidad, derivados de la alteración de la lava. Puede encontrarse arcilla café CH de alto potencial de expansión.
2	Suelos derivados de la alteración de lavas. Presencia de arcilla CH gris de muy alto potencial de expansión.
4	Suelos de condiciones favorables, derivados de la alteración de lavas e ignimbritas.
5	Suelos blandos, derivados de depósitos piroclásticos.
6	Suelos duros, derivados de la alteración de la ignimbrita. Presencia de arcilla negra a nivel superficial, subyacida por arcilla gris, ambas de tipo CH y de muy alto potencial de expansión.
7	Suelos duros, derivados de rocas sedimentarias e ignimbritas. Presencia de arcilla gris CH, de muy alto potencial de expansión.
8	Suelos derivados de la alteración de la ignimbrita. Puede encontrarse arcilla CH de muy alto potencial de expansión.
9	Suelos derivados de depósitos piroclásticos. Puede encontrarse arcilla gris CH de muy alto potencial de expansión.
10	Suelos blandos derivados de depósitos piroclásticos. Presencia de arcilla CH de alto potencial de expansión.
11	Suelos derivados de la alteración de cenizas volcánicas. Puede encontrarse arcilla gris de muy alto potencial de expansión.
12	Suelos blandos o muy blandos derivados de depósitos piroclásticos con una marcada tendencia a presentar comportamiento colapsable.
13	Suelos blandos, derivados de depósitos piroclásticos. Pueden presentar comportamiento colapsable.
14	Suelos derivados de abanicos aluviales, de alta plasticidad. Puede encontrarse arcilla CH color café o gris de alto potencial de expansión. Consistencia intermedia.
15	Suelos duros, con el substrato rocoso muy cerca de la superficie. Puede encontrarse arcilla gris CH de muy alto potencial de expansión.
16	Suelos derivados de depósitos piroclásticos. Condiciones variadas, puede encontrarse arcilla gris CH de alto potencial de expansión o limos colapsables.

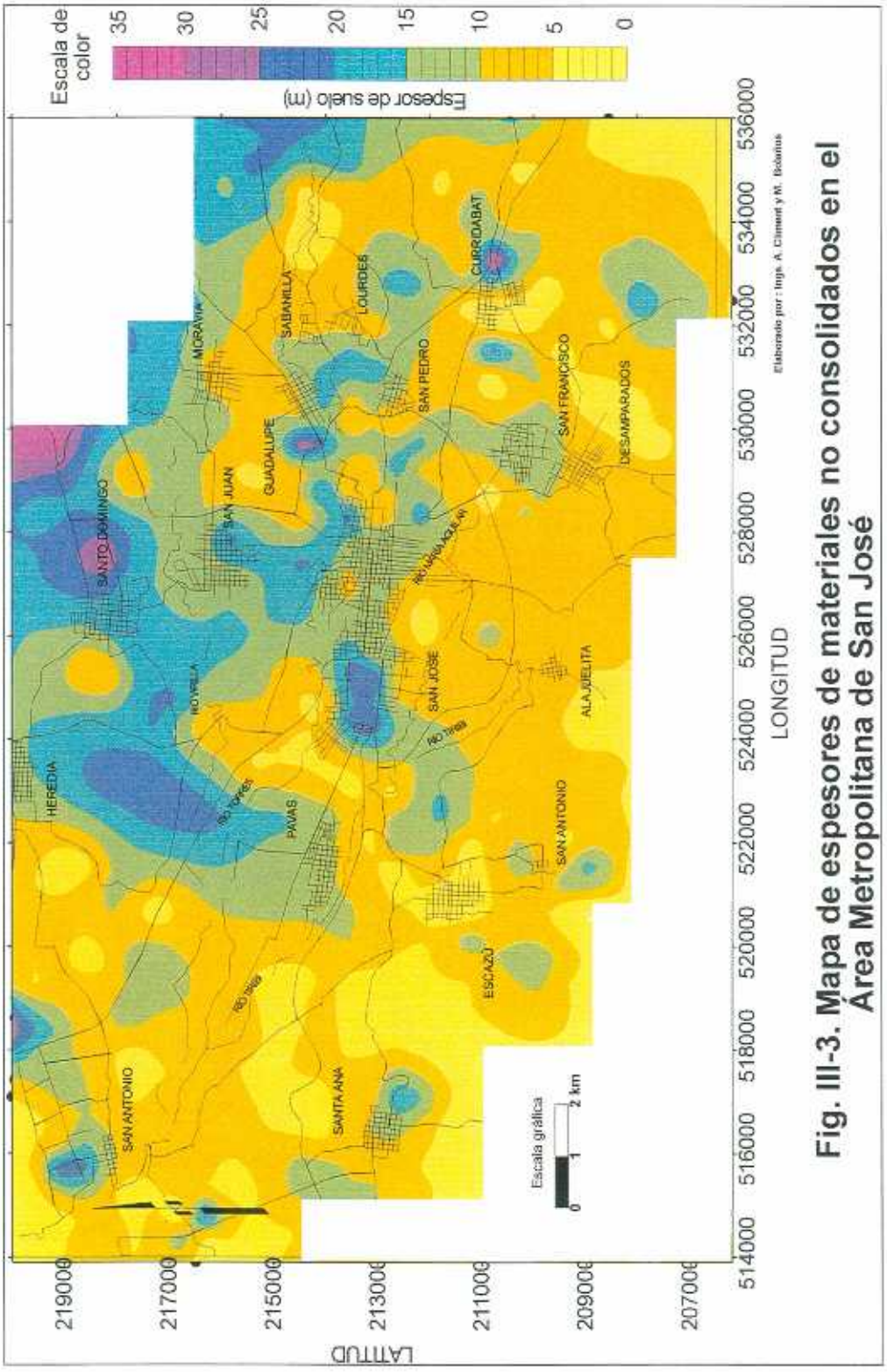

Fig. III-3. Mapa de espesores de materiales no consolidados en el Área Metropolitana de San José