

Estudio del deslizamiento de masa en la ribera noroeste del Lago de Chapala, Jal., México

^{1,2}Víctor Manuel Hernández-Madrigal, ¹Víctor Hugo Garduño-Monroy, ³Dolores Ibáñez-Garduño, ¹Eleazar Arreygue-Rocha y ²Román Álvarez

¹Depto. de Geología y Mineralogía, IIM, UMSNH (52-443-316-8355), Morelia, Mich., México.

²Instituto de Geografía, UNAM, México.

³Petróleos Mexicanos

Resumen

Se determinó la presencia de un área inestable de 10.34 hectáreas, localizada en la ribera noroeste del Lago de Chapala, 500 metros al oeste de la ciudad del mismo nombre, que presenta un movimiento en dirección principal N-S, según su morfología analizada a través de fotografías aéreas, mapas topográficos y mapas de pendientes. La estructura interna del área en deslizamiento se deduce de observaciones de campo, estando constituida por tres cuerpos inestables desarrollados en tiempos diferentes, pero que en la actualidad se deslizan y cabalgan uno sobre otro, formando una estructura tipo *Rough*. Se detectaron también discontinuidades litológicas producidas por superficies de falla en el subsuelo del deslizamiento, mediante técnicas geofísicas con georradar.

Palabras Clave: Geomorfología, deslizamientos de masa, fallas, Lago de Chapala, georradar.

Study of the landslide on the Northwestern shore of Lake Chapala, Jal., Mexico

Abstract

An unstable area of 10.34 hectares was found on the northwestern shore of Lake Chapala, 500 meters away from the city of the same name. The area shows movement mainly in a north-south direction, according to the morphology that was studied with aerial photographs, topographic maps, and slope maps. The internal structure of the sliding area was deduced by field reconnaissance and contains three unstable parts developed in different times. The parts slide and ride one upon the other by forming a structure of a *Rough* type. Some lithologic discontinuities, produced by faulting planes at the subsurface of the landslide, were detected by geophysical measurements with a geo-radar.

Keywords: Geomorphology, Landslides, Faults, Chapala Lake, Geo-radar.

1. Introducción

El crecimiento sin control de manchas urbanas, el desarrollo de vías de comunicación terrestres, factores geológicos y cambios climáticos, están provocando que puntos geográficos cercanos a la población se conviertan en áreas de alto peligro hidrogeológico. Deslizamientos como el Jizukiyama en Japón (Nakamura y Motizuki, 1987), los ocurridos en Quebec, Canadá (Evans et al., 1997), Nicaragua (Sheridan *et al.*, 1999) y

México (Lugo *et al.*, 1996; Lugo, 2000; Arreygue-Rocha *et al.*, 1998, 1999, 2002; Garduño *et al.*, 2001), han provocado una gran preocupación en la comunidad internacional.

En México el estudio de los Procesos de Deslizamiento de Masa (PDM) se inicia con los deslizamientos de la autopista Tijuana-Ensenada (Rico *et al.*, 1969), y con la inestabilidad de laderas y taludes de las carreteras Toluca-Morelia, Puebla-Orizaba, Guadalajara-Ixtlahuaca y Huixtla-Motozintla (Rico y Del Castillo, 1974).

Sin embargo, el estudio de PDM en zonas urbanas ha sido, como tantos otros riesgos hidrogeológicos, poco desarrollado, debido a la poca atención del tema en las Ciencias de la Tierra así como al hecho de no existir normatividad que regule el desarrollo urbano y que demande estudios geotécnicos en la construcción civil.

En Colima, Jalisco y Michoacán la inestabilidad de taludes es común, siendo ocasionalmente acelerada por fenómenos meteorológicos y por la actividad sísmica. Se han identificado paleodeslizamientos asociados a las fallas sísmicamente activas de Acambay-Morelia, en la zona de Pátzcuaro, y en edificios volcánicos con grandes estructuras en herradura (Garduño-Monroy *et al.*, 2001). En Jalisco, en particular, sobresalen los trabajos de Barrera (1996) y de Hernández-Madrigal (1999) sobre el PDM de Chapala.

En Jalisco, el Lago de Chapala forma parte del Punto Triple (PT) del occidente del Cinturón Volcánico Mexicano. Con una dirección E-W, este brazo del PT empieza en el actual Lago de Chapala para después migrar al sur y formar la depresión del Citlala. Las fallas E-W en ambas depresiones han generado una intensa inestabilidad en los taludes de las fallas, provocando continuamente grandes deslizamientos y flujos de detritos que han causado daños a zonas urbanas (Garduño-Monroy *et al.*, 1992). Otro tipo de inestabilidad de taludes son los que tienen velocidades pequeñas, pero que están generando daños importantes en zonas urbanas (Hernández-Madrigal, 1999). Tal es el caso del PDM de Chapala, el cual comienza a observarse en la década de los setenta (Barrera, 1996). La inestabilidad de la zona estudiada fue asociada por Barrera (1996) al efecto expansión-contracción de las arcillas lacustres más que al propio deslizamiento. Sin embargo, estudios posteriores hechos por los autores de este artículo aplicando la técnica geofísica del georradar, además de análisis geológicos y geomorfológicos, muestran la existencia de superficies de deslizamiento que afectan al subsuelo de toda esta zona.

En este trabajo presentaremos los resultados de un estudio geológico y geofísico realizado en un cuerpo inestable en la ribera norte del Lago de Chapala describiéndose la geometría y posible localización de esta zona inestable.

2. Geología y geomorfología

El sector norte del Lago de Chapala se caracteriza por un intenso fallamiento E-O que ha generado el basculamiento hacia el N de todas las unidades del Mioceno y Pleistoceno. Esta geometría permite observar en la base de la columna estratigráfica brechas volcánicas muy alteradas de composición andesítica y fechadas del Mioceno Tardío (Garduño *et al.*, 1992).

Sobreyaciendo a esas unidades volcánicas se observan alternancias de lavas, brechas y productos piroclásticos también de composición andesítica, además de depósitos lacustres formados por importantes desarrollos diatomíticos, arenas, calizas, arcillas y niveles volcánicos de pómez y ceniza volcánica; esta última unidad ha sido considerada del Plioceno (Rosas-Elguera *et al.*, 1989). Cubriendo a todas estas unidades se observan depósitos de flujos de detritos y suelos.

En un pozo en el hotel Villa Montecarlo (Fig. 1), se encontraron más de 30 metros de arcillas con eventuales niveles volcánicos. Cerca de este pozo se observaron bloques de la brecha volcánica basal en medio de una secuencia de material arcilloso de tipo lacustre.

En taludes de la carretera Chapala-Ajijic (Fig. 1), se observaron alternancias de arenas y arcillas lacustres que evidencian facies proximales de un lago.

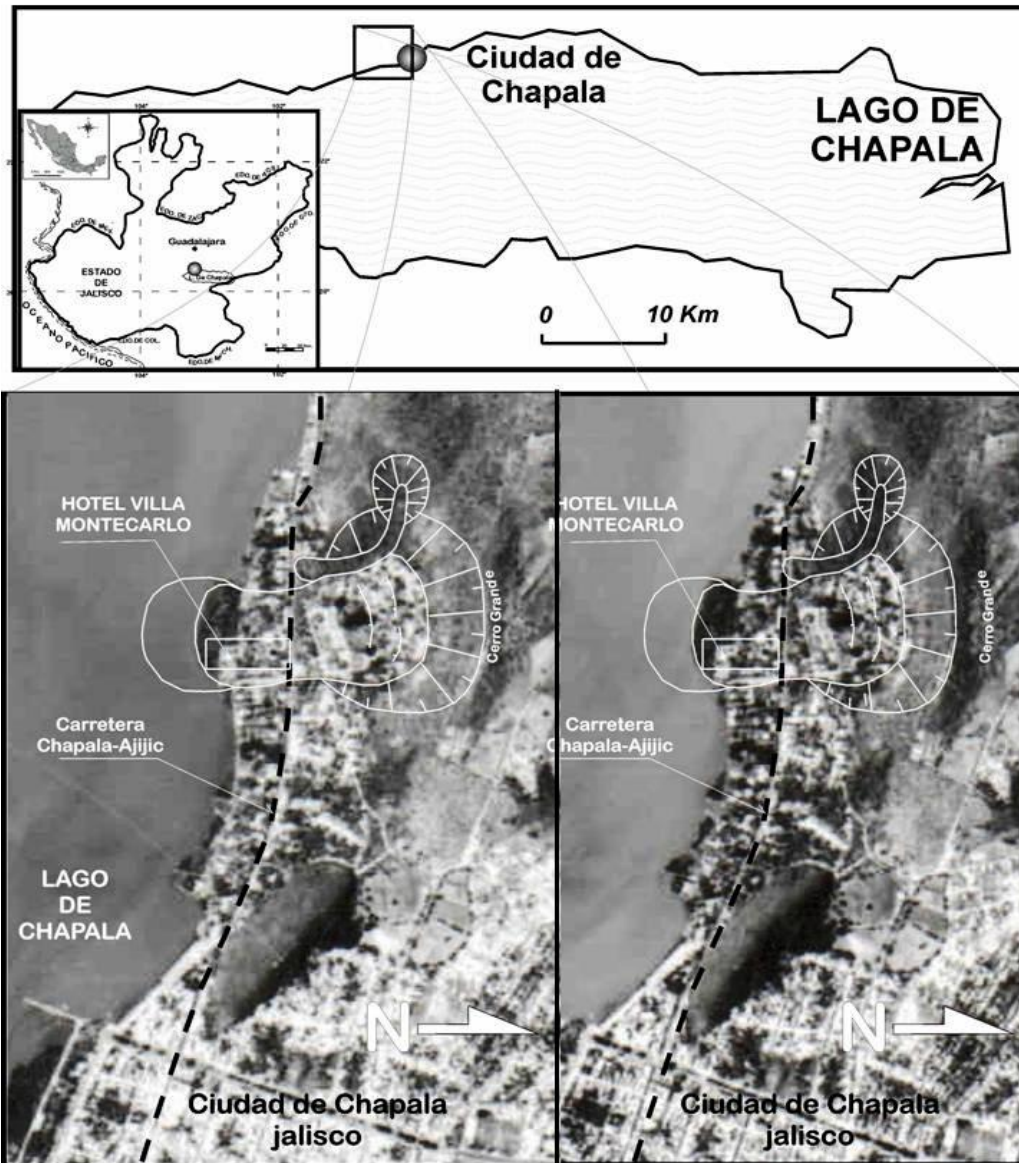


Fig. 1. Localización y par estereoscópico del movimiento de masa de Chapala, a partir de fotografías aéreas escala 1/75000, tomadas en noviembre de 1993 por el INEGI

El PDM de Chapala puede ser observado con gran claridad desde fotografías aéreas a escala 1:75,000 (Fig. 1) destacándose la gran inclinación de la ladera sur del Cerro Grande (más de 70°) sobre la cual se ha desarrollado el escarpe principal del PDM de Chapala, así como una alta densidad de construcciones sobre su cuerpo. Nótese además que el borde del lago en esta zona forma una línea curva con concavidad hacia el Cerro Grande, lo cual delata el frente de avance del cuerpo inestable (Fig. 1).

A partir del análisis fotogeológico pueden describirse las siguientes formas de relieve en la periferia del área de estudio. Al noroeste destaca la formación montañosa de la sierra El Travesaño con orientación E-W e inclinación de laderas hacia el norte y sur; la vertiente sur, de apenas un kilómetro de longitud, limita con un gran piedemonte de 2 km de ancho por 3 km de largo, sumamente erosionado por una red de drenaje tipo dendrítico con una dirección franca hacia el E, determinada por el fallamiento E-W que domina en esta zona.

Al sur de la sierra El Travesaño resalta un pequeño horst, denominado Cerro Grande, cuyos taludes con dirección perpendicular al sistema E-W presentan una diferencia de pendientes bastante marcada, siendo la parte sur la más inclinada con un valor de hasta 50° , y sobre la cual se ha desarrollado el PDM de Chapala.

Al este y oeste del cuerpo inestable se localizan los poblados de Chapala y Ajijic, respectivamente, asentados en su mayoría sobre pequeñas planicies de origen lacustre que limitan al sur con la ribera noroeste del Lago de Chapala.

3. Descripción del deslizamiento de masa de Chapala

Este cuerpo inestable se localiza en la ribera norte del Lago de Chapala, 500 metros al oeste de la Ciudad de Chapala. El área inestable es limitada al norte por las laderas del Cerro Grande y al sur por la ribera del Lago de Chapala (Fig. 1). Las deformaciones que se desarrollan en esta superficie son típicas de un Deslizamiento Rotacional Múltiple: escarpes secundarios, grabens, agrietamientos perpendiculares al eje principal de movimiento (dirección N-S), varios lóbulos de deslizamientos en las partes bajas de la ladera y una gran cantidad de viviendas con daños estructurales. Estos van desde simples grietas en muros hasta deformaciones en columnas, traveses y losas, provocando en estos últimos casos que la demolición del inmueble sea inevitable, tal como sucedió con los módulos de lavandería del Hotel Villa Montecarlo y varios condominios ubicados al norte de este hotel.

Las deformaciones producidas por este fenómeno han sido percibidas desde 1970 por los primeros pobladores de esta zona, según el reporte del censo de afectación hecho por Barrera (1996), que ya observaba grietas en el suelo de más de 12 metros de profundidad, así como fisuras en muros de casas habitación. En la actualidad la mancha urbana de la ciudad ha crecido sin medida ni control, provocando que ahora la superficie del cuerpo inestable se encuentre totalmente cubierta por una zona residencial, lo que trae como consecuencia un incremento de los daños estructurales, altos valores de vulnerabilidad y por lo tanto un riesgo elevado.

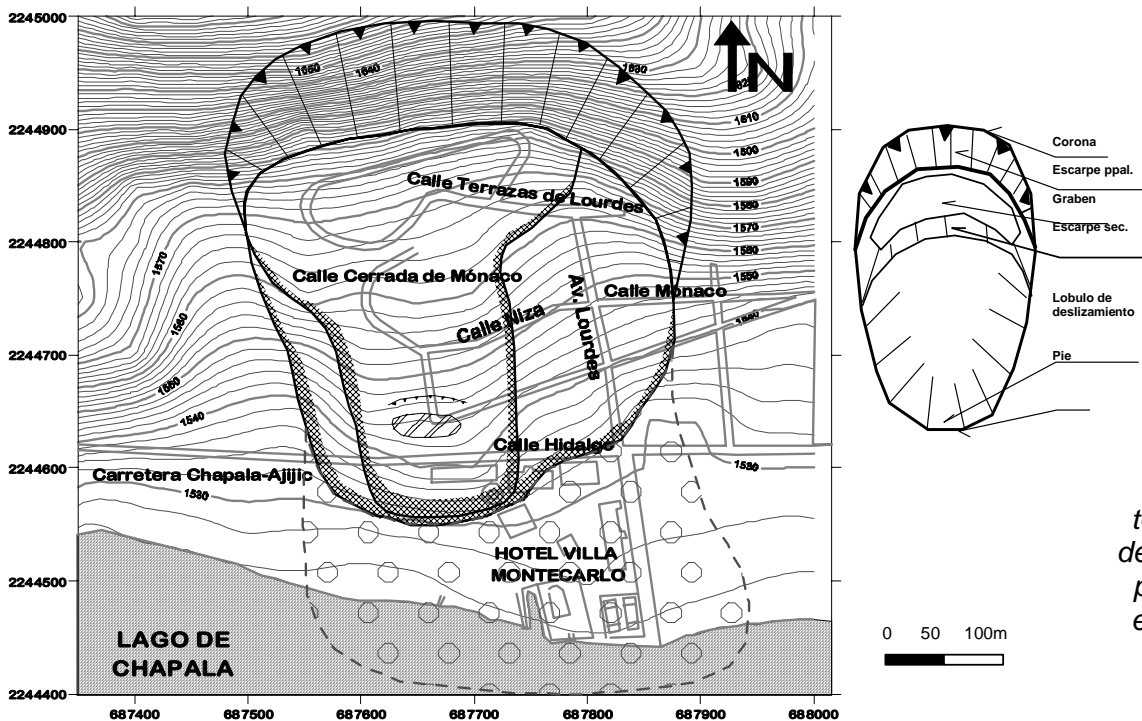


Fig. 2. Plano topográfico y urbano del área de estudio, a partir del plano base escala 1:7500 del H. Ayuntamiento de Chapala, Jalisco.

En la Figura 2 se muestra el relieve del área específica de estudio así como la distribución urbana desarrollada sobre la superficie del cuerpo inestable, el cual es evidenciado por la morfología desarrollada por las curvas de nivel del plano topográfico.

Se elaboró un mapa de pendientes (Fig. 3) a partir del modelo digital del terreno del área de estudio. En él se evidencia con bastante claridad la presencia del cuerpo inestable delimitado al norte por un gran escarpe principal que se presenta en forma de herradura, típica de los deslizamientos rotacionales, con pendientes que van de los 70° a los 87° . Estas pendientes significan una gran densidad de drenaje y un continuo desprendimiento de materiales térreos que se depositan en la cabeza del cuerpo, lo cual trae como consecuencia un incremento en los momentos motores actuantes en el cuerpo, y la disminución de los momentos resistentes, esto último a través del incremento de la presión de poro en los materiales saturados por efecto de la acumulación del agua drenada.

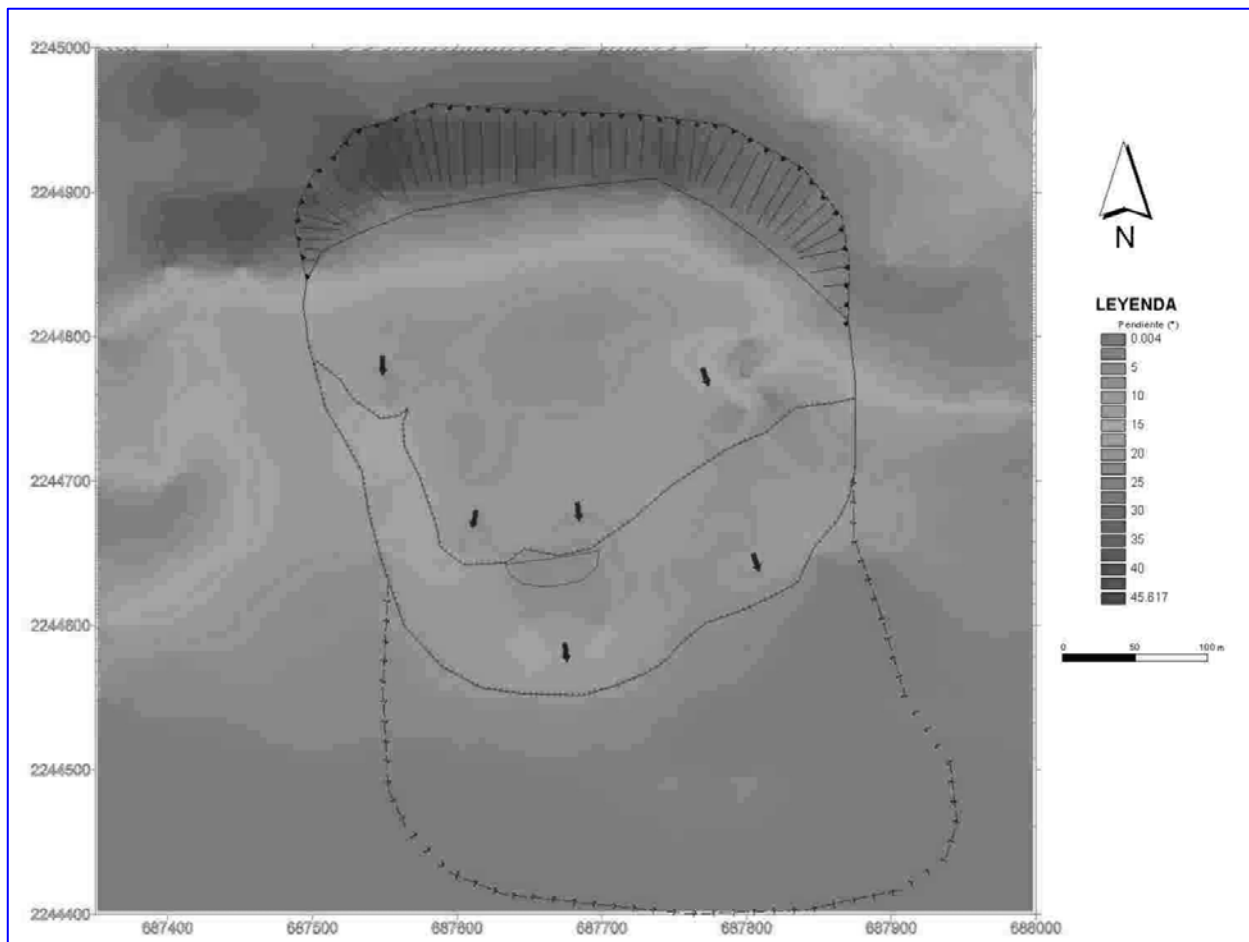


Fig. 3. Mapa de Pendientes creado a partir del Modelo Digital del Terreno

En la parte inferior al escarpe se observa el cuerpo con una dirección de movimiento N-S, delimitado al E, W y S por pendientes promedio de hasta 76° . Sobre el cuerpo se observan superficies con pendientes más suaves que revelan pequeños grabens y terrazas naturales producidas por movimientos secundarios de tipo rotacional. Finalmente las áreas próximas a la orilla del lago adoptan inclinaciones mucho más suaves que van de los 5° a los 40° pero sin dejar de ser una zona inestable. El color gris oscuro del mapa, hacia el sur, representa el cuerpo del Lago de Chapala.

El deslizamiento de masa de Chapala, ocupa una superficie total de 103,388 m² (10.339 Ha), con una longitud y ancho máximos de 373 m y 365 m, respectivamente. El vector principal del movimiento adopta una dirección principal N-S con ligeras variaciones hacia el SW.

Los daños ocasionados por este fenómeno van desde agrietamientos de centímetros en muros y losas, hasta desplazamientos horizontales de más de 5 m (Barrera, 1996). En el Hotel Villa Montecarlo, localizado en la parte inferior del deslizamiento, las instalaciones de lavandería se han visto fuertemente deformadas hasta llegar al derrumbe. Al norte de este hotel y sobre la calle Hidalgo que forma parte de la carretera Chapala-Ajijic se han realizado constantes trabajos de renivelación para corregir el desplazamiento horizontal y vertical de su eje. Ladera arriba y hasta llegar al circuito de Terrazas de Lourdes se han desarrollado conjuntos habitacionales, residencias y casas-habitación, que tienen que estar en continua reparación para seguir siendo funcionales a causa de las deformaciones causadas por la inestabilidad del terreno.

4. Aplicación del georradar

Al estudiar los PDM, las técnicas geofísicas encaminadas a la identificación de anomalías o discontinuidades litológicas en el subsuelo del área inestable resultan ser una invaluable herramienta al momento de establecer hipótesis que expliquen la génesis, comportamiento dinámico y descripción geométrica del cuerpo inestable.

Las técnicas de prospección geofísica son amplias y variadas, así como su uso en el estudio de los deslizamientos de masa. Abarcan desde el uso de magnetómetros por Hetunakhin en 1956 (Bhandari, 1990), con objeto de determinar desplazamientos a diferentes profundidades en el interior de un cuerpo inestable, hasta la aplicación del sonar en un estudio hecho por Ashi (1999), quien mediante imágenes de sonar (*side-scan*), logró la detección de planos de deslizamiento en sedimentos submarinos de la costa oeste de Noruega, que dieron origen al deslizamiento submarino conocido como Storegga Slide.

La técnica de prospección geofísica con georradar consiste en la emisión de impulsos electromagnéticos de muy corta duración (1-10 nanosegundos) en la banda de frecuencias de UHF-VHF (habitualmente entre 100 Mhz y 1 Ghz) (Lorenzo, 1994). Estas ondas electromagnéticas se propagan en el subsuelo, reflejándose y refractándose según encuentren contrastes en las propiedades eléctricas, particularmente la conductividad y la permisividad eléctricas. Con las ondas reflejadas que se detectan en la superficie se pueden construir imágenes del subsuelo, conocidas como radargramas, que resultan de gran utilidad para observar discontinuidades y deformaciones en la estructura somera (0 a 20 metros) del subsuelo.

Esta técnica tuvo sus primeras aplicaciones en el campo de las ciencias de la tierra, con los estudios hechos por Unterberger en 1974 para el dimensionamiento de minas, así como en la detección de fallas en rocas metamórficas en 1977 por Rubin y Fowler (Lorenzo, 1994). Esto último ha sido el antecedente más directo del uso del georradar en el estudio de los deslizamientos de masa.

En un primer reconocimiento del área de estudio, se observaron en las partes bajas de los jardines del Hotel Villa Montecarlo, a menos de 20 m de la orilla del lago, bloques de brechas volcánicas de hasta 3 m de diámetro los cuales corresponden a la litología del Cerro Grande que se encuentra a 350 m hacia el norte, ladera arriba, por lo que llama la atención su actual ubicación. Por otra parte, es muy clara la formación de dos frentes de avance (lóbulos de deslizamiento) con dirección N-S y con una alineación E-W, el primero de ellos sobre los mismos jardines del hotel Villa Montecarlo y el segundo aproximadamente 10 m arriba de la carretera Chapala-Ajijic.

La posición actual de los bloques de brechas, frentes de avance y comportamiento inestable de la ladera, se explica por el movimiento de una masa en deslizamiento constituida por tres cuerpos inestables que se

deslizan y cabalgan uno sobre otro, formando una estructura tipo Roughly, tal como se muestra en la Figura 4.

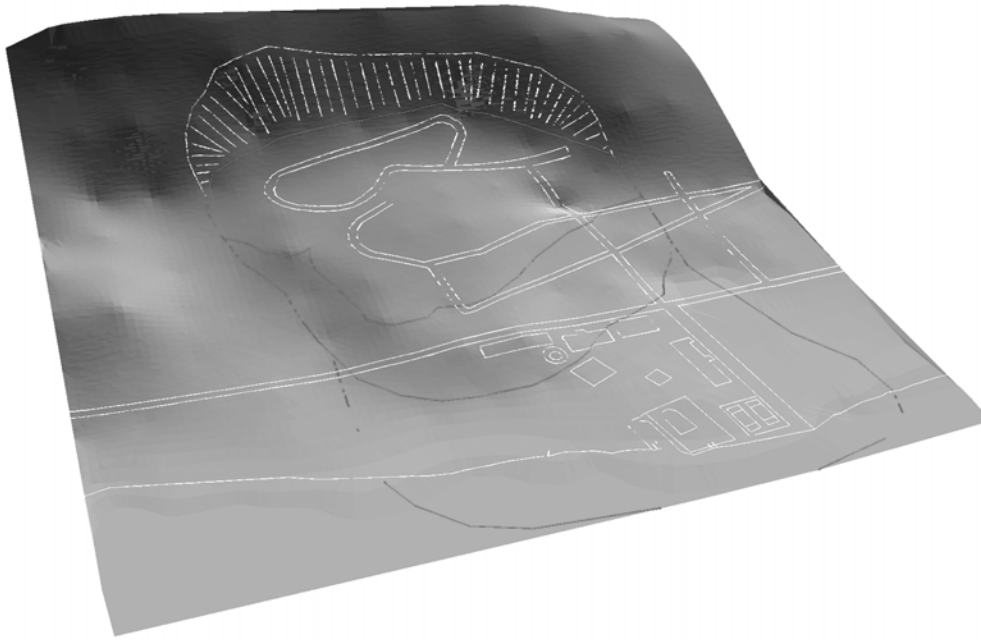


Fig. 4. Modelo tridimensional del deslizamiento de masa de Chapala. Nótese la relación de los lóbulos de deslizamiento con los resultados del perfil levantado con el georradar.

Empleando el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), que toma como parámetros de referencia la granulometría y los índices de plasticidad de los suelos en cuestión, se determinó que el cuerpo superior e inferior están constituidos por fragmentos de roca empacados en una matriz arcillosa, mientras que el cuerpo intermedio está formado por una arcilla inorgánica de alta plasticidad (arcilla lacustre). Los tres cuerpos se encuentran depositados sobre un estrato de arcilla lacustre que es soportada por un estrato de basalto compacto (Hernández-Madriral, 1999) (Fig. 5).

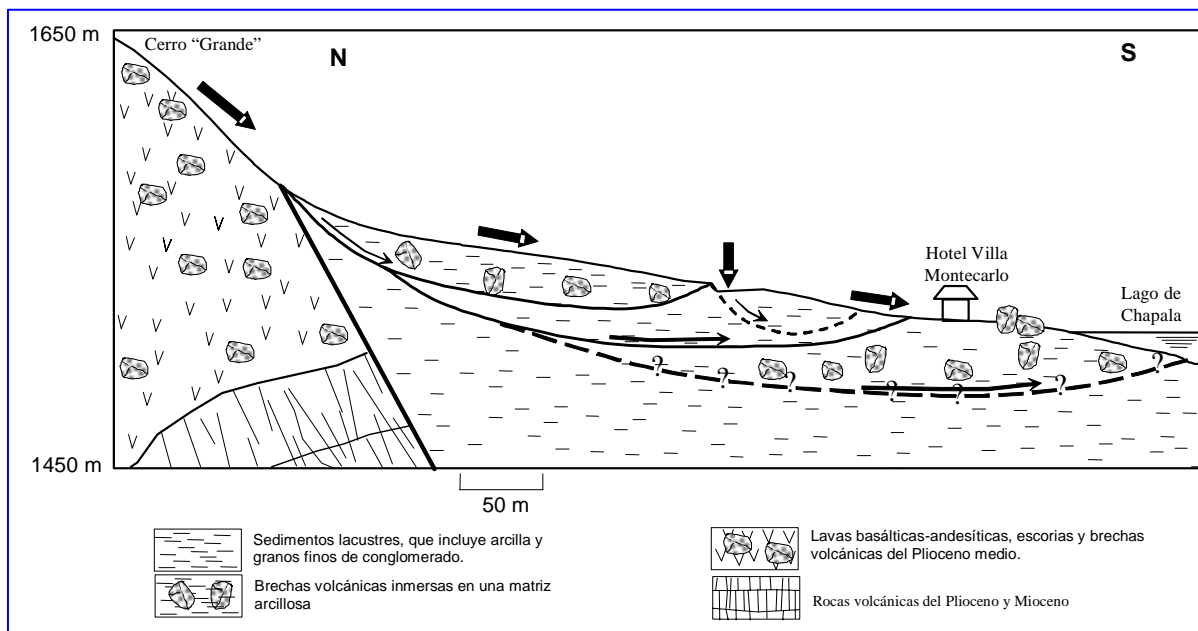


Fig. 5. Sección transversal del PDM de Chapala, Jalisco.

5. Resultados

En el radargrama obtenido (Fig. 6) se registran dos eventos en los primeros metros de profundidad. El más superficial, conocido como “onda de aire”, se produce por una señal que viaja de la antena transmisora a la antena receptora sobre la superficie del terreno. El segundo evento se conoce como “onda directa del terreno” y es una señal que viaja a través de la capa más superficial del terreno (Ibáñez y Álvarez, 1998). Después se registran las reflexiones producidas por las diferentes estructuras del subsuelo, y con estas últimas se puede hacer la identificación de las superficies de deslizamiento (Ibáñez, 1998).

El eje vertical izquierdo del radargrama representa los tiempos dobles de la señal y el eje vertical derecho marca la profundidad de los reflectores. Los estratos con colores oscuros presentan discontinuidades en la secuencia horizontal, las cuales indican rupturas. Si la ruptura se separa revela una zona de distensión, pero si se encima indica una zona de compresión. Para el caso de los deslizamientos de masa esta última corresponde a lóbulos de deslizamiento en superficie.

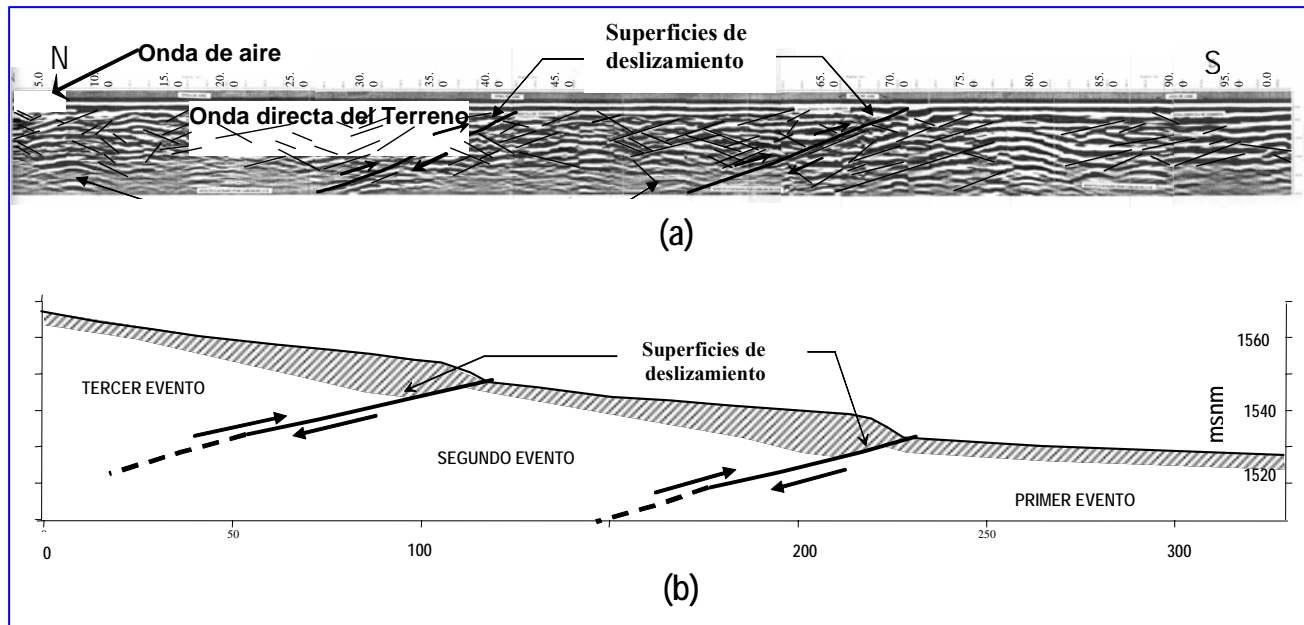


Fig. 6. (a) Radargrama, perfil bidimensional del subsuelo de la avenida Lourdes. (b) Interpretación del radargrama, en el cual se señalan las dos principales discontinuidades de los estratos, interpretadas como superficies de deslizamiento.

En el radargrama (Fig. 6) se destaca la presencia de dos superficies de deslizamiento principales, amén de gran cantidad de pequeñas fallas antitéticas y sintéticas que constituyen superficies secundarias de deslizamiento. La primera superficie de deslizamiento principal se registra a partir de los 80 metros de distancia con respecto al origen del perfil, y continúa hasta intersectar la superficie del terreno, 40 m ladera abajo (hacia los 120 m desde el origen; Fig. 6b). Esta superficie de deslizamiento se define por la inclinación del grupo de fallas antitéticas que en esa zona se presentan, como se puede observar en el radargrama (Fig. 6a); casi todas las fallas antitéticas encontradas dentro de dichos límites coinciden en cuanto a su inclinación. Las fallas sintéticas de esta zona son causadas por el cabalgamiento del cuerpo superior sobre el cuerpo intermedio de la masa en deslizamiento.

La segunda superficie de deslizamiento se registra a partir de los 180 m y se desvanece sin llegar a la superficie, justo hacia los 230 m desde el origen, debido a que una parte del cabalgamiento del cuerpo intermedio ya lo ha rebasado. Todas las fallas sintéticas y antitéticas formadas en la parte superior a esta

superficie de deslizamiento son producto del cabalgamiento y particularmente del abombamiento producido por este.

Se sospecha la existencia de una tercera superficie de deslizamiento, ladera abajo, aproximadamente a 80 m de la segunda superficie, pero se localizaría bajo la superficie del Lago de Chapala, por lo que no puede ser identificada por este método.

De acuerdo a la posición de las superficies de deslizamiento en el radargrama (Fig. 6), la primera correspondería al lóbulo de deslizamiento encontrado sobre la avenida Lourdes, entre las calles Niza y Mónaco. La segunda superficie corresponde al frente de avance observado en los jardines del Hotel Villa Montecarlo. Por último, la probable tercera superficie de deslizamiento estaría en las inmediaciones de la orilla del Lago de Chapala, tal como se esquematizó en la Figura 4.

Correlacionando los datos del radargrama con las unidades litológicas y el análisis fotogeológico, se concluye que el PDM de Chapala se encuentra constituido internamente por los tres cuerpos inestables esquematizados en la Figura 5. El primer cuerpo está compuesto por fragmentos de brechas empacados en una matriz arcillosa, destacándose la presencia de los bloques de brechas volcánicas localizados en las partes bajas de los jardines del hotel Villa Montecarlo. El segundo cuerpo está compuesto básicamente por arcillas lacustres, cuyo frente principal se encuentra en la parte superior de los jardines de dicho hotel, y que cruza la avenida Lourdes aproximadamente a 8 metros de la esquina con la avenida Hidalgo. El tercer cuerpo está compuesto, al igual que el primero, por fragmentos de brechas volcánicas empacadas en una matriz arcillosa, teniendo su frente de avance a lo largo de la calle Niza, cruzando la avenida Lourdes a la altura de la calle Mónaco. La tipología del PDM de Chapala, corresponde a un deslizamiento rotacional múltiple.

6. Conclusiones

Las deformaciones estructurales presentes en la zona de estudio, son causadas principalmente por la actividad dinámica del proceso de movimiento de masa de Chapala, que origina zonas de hundimiento diferencial y zonas de abombamiento, además de grietas debidas al movimiento horizontal.

Es importante tener presente que la combinación de una precipitación pluvial abundante con un movimiento sísmico, incrementa aun más el riesgo en la zona de estudio, pues la masa inestable podría moverse a mayor velocidad, por una parte, y por la otra, la ladera sur del Cerro Grande podría sufrir grandes desprendimientos de material (en forma de flujos de detritos) debido a su gran declive, lo que pondría en grave riesgo las viviendas localizadas en esta zona, que se ubican justo al pie del escarpe principal.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (CIC-UMSNH) y al Municipio de Chapala, Jalisco, México.

Referencias

Arreygue, E., P. Canuti, A. Iotti and V.H. Garduño-M. (1998). Hydrogeological hazard in the urban area of Morelia, Mich. (Mexico), *Proceedings of the Eight International Congress. Association for Engineering Geology and the Environment*, Vancouver, Canada: Rotterdam, A.A. Balkema, 3, pp. 2245-2250.

- Arreygue, E., P. Canuti, N. Casagli, A. Iotti y V.H. Garduño M. (1999). Las condiciones de riesgo hidrogeológico en la ciudad de Morelia (Michoacán, México), Patrimonio Mundial de la Humanidad. *Memorias de la Asamblea Internacional y Congreso Mundial de Conservación del Patrimonio Monumental de ICOMOS (Internacional Council of Monuments and Sites)*, Roma, 14 pp.
- Arreygue-Rocha, E., V.H. Garduño-Monroy, Paolo Canuti, Nicola Casagli, Alberto Iotti y Sergio Chiesa (2002). Análisis geomecánico de la inestabilidad del escarpe La Paloma en la Ciudad de Morelia, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19 (2), pp. 91-106.
- Ashi, J. (1999). Large submarine landslides associated with decomposition of gas hydrate. *Landslide News*, No. 12, pp. 17-20.
- Barrera, E. (1996). *Estudio geológico estructural, geohidrológico y sísmico, en el Municipio de Chapala, Jalisco*. Publicación del Centro de Ciencias de la Tierra, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI), Universidad de Guadalajara, México.
- Bhandari, R.K. (1990). Some practical lessons in the investigation and field monitoring of landslides. Special lecture: *Landslides, glissements de terrain*. Vol. 3, pp. 1435-1457.
- Evans, S.G., C. Bégin, D.E. Lawrence, D. Demers, G. Grondin, J.M. Ayksworth, M. Parent, Y. Michaud, and G.R. Brooks (1997). A massive retrogressive landslide in sensitive Champlain sea sediments near Saint-Boniface-de-Shawinigan, Québec, Canada, April 1996. *Landslides News*, No.10, pp.17-19.
- Garduño, V.H, J. Spinnler and E. Ceragioli (1992). Geological and structural study of the Chapala Rift, State of Jalisco, Mexico. *Geofísica Internacional*, Vol. 32, No. 3, pp. 487-499.
- Garduño M, V., E. Arreygue R., I. Israde A. y G. Rodríguez T. (2001). Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 18, No. 1, pp. 37-54.
- Hernández-Madrigal, V.M. (1999). Estudio de un deslizamiento de ladera en el km 0+500 de la carretera Chapala-Ajijic, en el municipio de Chapala, Jalisco, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil, UMSNH, 87pp. Inédito.
- Ibáñez, G.D. y A. Alvarez (1998). Informe del estudio de prospección geofísica usando la técnica de georradar en poblaciones de Michoacán, Guanajuato y Jalisco. Informe interno del Instituto de Geofísica de la UNAM. Inédito.
- Ibáñez, G.D. (1998). Prospección en zonas de falla y sitios arqueológicos mediante la técnica de radar de penetración somera. Tesis de Maestría en Exploración Geofísica. Instituto de Geofísica, UNAM. Inédito.
- Lorenzo, C.E. (1994). Prospección geofísica de alta resolución mediante geo-radar. Aplicación a obras civiles. Memoria presentada para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Físicas. Facultad de Ciencias Físicas. Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I. Universidad de Madrid, España. Inédito.
- Lugo, J., T. García, J. Zamorano and O. Salas (1996). Landslide in Metztitlan (State of Hidalgo), Mexico. *J. Geomorph.* N.F. Suppl.- Bd. 103, pp. 323-343.

- Lugo, J. (2000). *La superficie de la Tierra I. Un vistazo a un mundo cambiante*. Colección La Ciencia para Todos, Fondo de Cultura Económica, México. pp. 121-127.
- Nakamura, H. and K. Motizuki (1987). Disaster of the Jizukiyama landslide (July 26, 1985, Nagano City). *Landslide News*, No. 1, pp. 8-9.
- Rico, A. y L. del Castillo (1974). La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Apuntes, Facultad de Ingeniería, UNAM. Inédito.
- Rico, A., J. Springall y G. Springall (1969). *Deslizamientos en la autopista Tijuana-Ensenada*. Contribución de la Secretaría de Obras Públicas al VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos y Cimentaciones, México, pp. 213.
- Rosas-Elguera J., J. Urrutia-Fucugauchi y R. Maciel-Flores (1989). Geología del extremo oriental del Graben de Chapala, breve discusión sobre su edad: zonas geotérmicas de Ixtlán de los Hervores-Los Negritos, Michoacán, Mexico. *Geotermia*, Vol. 10, No. 1 , pp.14-29.
- Sheridan, M.F., C. Bonnard, R. Carreño, C. Siebe, W. Strauch, M. Navarro, J.C. Calero and N.B. Trujillo (1999). Report on the 30th October 1998 rock fall / avalanche and breakout flow of La Casita Volcano, Nicaragua, triggered by Hurricane Mitch. *Landslide News*, No. 12, pp. 2-4.