

INFORME DE DIAGNÓSTICO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO
GRUPO GEOTÉCNICO
CONSEJO CIENTIFICO DE CONRED
HUNDIMIENTO BARRIO SAN ANTONIO ZONA 6, Guatemala

Por: *Otoniel Matías¹, Jorge Girón¹, Oscar Porras¹, Manuel Mota², David A. Monterroso², Samuel Bonis³, Jaime Requena³, Edy Manolo Barillas³, Alan Cosillo^{3,4}, Julio Luna^{3,4}, Omar Flores⁴, Roberto Solís.*

1. Introducción

El presente informe corresponde el análisis realizado de los aspectos geológicos y geotécnicos que incidieron en la formación del hundimiento en el Barrio San Antonio de la zona 6 de la ciudad capital, ocurrido el 22 de febrero de 2007.

El análisis incluye la revisión de información geológica, planos de colectores y otros documentos proporcionados por INSIVUMEH, EMPAGUA y la SE-CONRED. Adicionalmente, el día 10 de marzo se realizó una visita colegiada a la zona donde se produjo el hundimiento, con lo cual se establecieron los criterios necesarios para la redacción del presente informe.

2. Ubicación

El hundimiento tiene una forma aproximadamente cilíndrica, cuyas dimensiones son: ~25 metros de diámetro superficial, incrementándose en profundidad hasta ~35 metros y tiene una profundidad de ~60 metros. Se localiza en la intersección de la 24 avenida y 6ª calle del Barrio San Antonio, zona 6, Guatemala (**Figura 1**). En el fondo, el diámetro está ligeramente elongado en dirección de la salida de aguas servidas de los colectores.

El sitio de hundimiento coincide con la localización del pozo de visita No. 14, donde confluyen los colectores oriente y poniente (EMPAGUA) de la Ciudad Capital de Guatemala.



Figura 1

Mapa de localización del Hundimiento en el Barrio San Antonio, Zona 6.

¹ Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología - INSIVUMEH

² Secretaría Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres – SE-CONRED

³ Sociedad Geológica de Guatemala - SGG

⁴ Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala

3. Metodología

La metodología adoptada para desarrollar el presente trabajo se esquematiza en la figura 2 y la secuencia lógica de actividades desarrolladas se detalla a continuación.



Figura 2
Diagrama de Flujo de la metodología

3.1 Determinación de la problemática: se procedió a escuchar opiniones de diversos colegas que han asistido al sitio y se revisaron los respectivos informes elaborados por INSIVUMEH (2007) y EMPAGUA (2007).

3.2 Recopilación de datos: la revisión y análisis de información principalmente fue enfocada a trabajos geológicos, datos sismológicos y planos de la red de drenaje del sitio.

De la información geológica consultada: Mapa de Fracturas del Terremoto de Febrero de 1976 del Valle de Guatemala (IGN, 1976); Estudio de Aguas Subterráneas del Valle de la ciudad de Guatemala (INSIVUMEH, 1978) y de la evaluación del hundimiento del barrio San Antonio (INSIVUMEH, 2007); se puede establecer que las principales unidades geológicas en el sector y sus alrededores son (Fig. 3): Pómez Cuaternarias (Qp), Tobas Cuaternarias (Qpf) y calizas Cretácicas hacia el Norte (Kc).

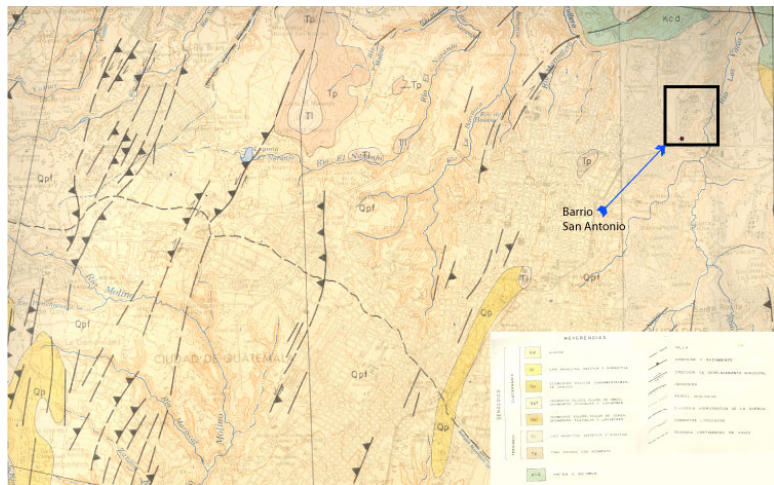


Figura 3
Unidades Geológicas en el sector y sus alrededores, según el Estudio de Aguas Subterráneas del Valle de la ciudad de Guatemala

El perfil geológico (E-E', Fig. 4) muestra los espesores del relleno piroclástico superficial (~200 m), lente de lava andesita-riolita (~20 m) y la toba soldada (~180) intermedia y la caliza dolomítica a ~400 m/profundidad formando el piso descendido de la falla normal alineada al Rio Las Vacas. En este perfil la ubicación del Barrio San Antonio donde ocurre el hundimiento del 22 de Febrero de 2007, se proyecta a la superficie de donde se marca el Km 8 del perfil E-E1, a un costado de donde se identifica la Carretera CA-9.

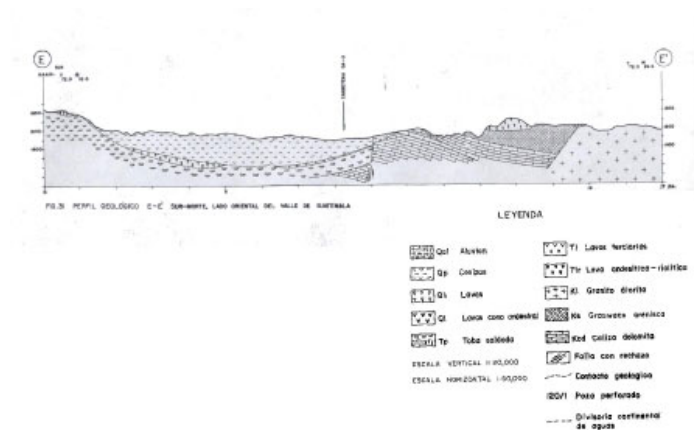


Figura 4
Perfil Geológico, tomado de los perfiles geológicos del Estudio de Aguas Subterráneas en Guatemala, Valle de Guatemala.

La información consultada no revela indicación de una falla geológica activa que atravesase el área de hundimiento en el barrio San Antonio (Figura 5)

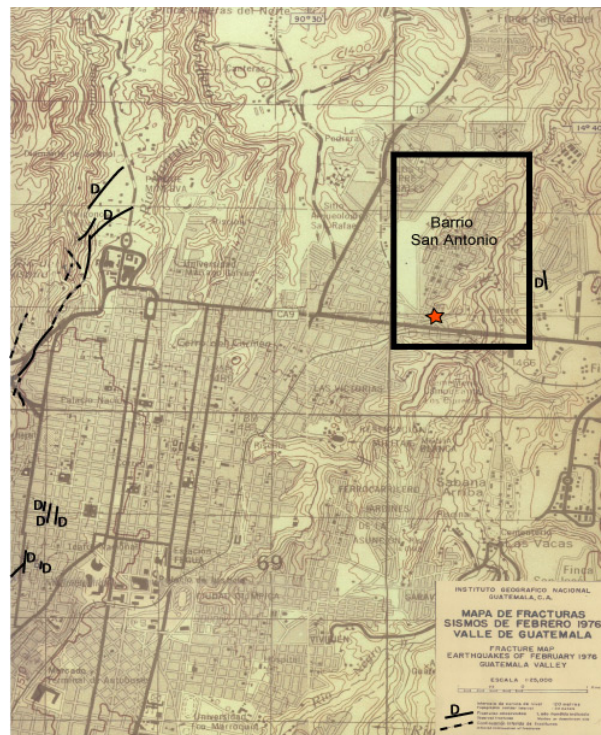


Figura 5
Mapa de Fracturas, Sismos de Febrero de 1976, según el Mapa de Fracturas del Terremoto de Febrero de 1976 del Valle de Guatemala

De la información sismológica: Se consultó el registro de actividad sísmica en INSIVUMEH del sector y sus alrededores y se verificó que no ha ocurrido un sismo aislado, en los últimos 2 años, que liberará energía suficiente como para afectar el sitio (Figura 6).

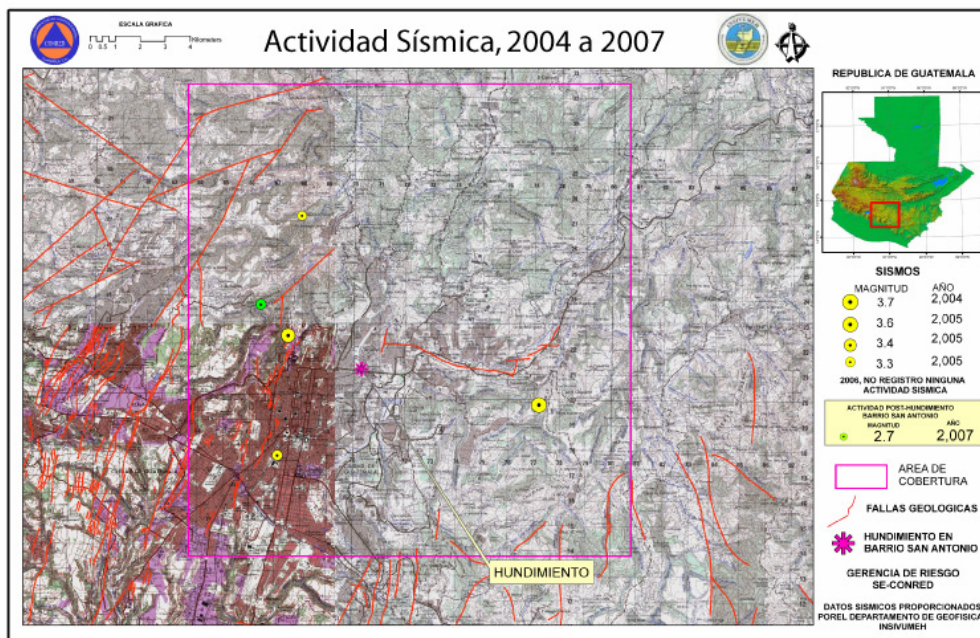


Figura 6

Actividad sísmica en el sector y sus alrededores, para el periodo 2004-2007 (INSIVUMEH)

Adicionalmente, la información del registro sísmico instrumental completo de INSIVUMEH, el cual inicia en 1984 (i.e. aproximadamente 22 años de sismicidad registrada), no muestra actividad sísmica acumulada cercana capaz de afectar significativamente al sitio (Figura 7).

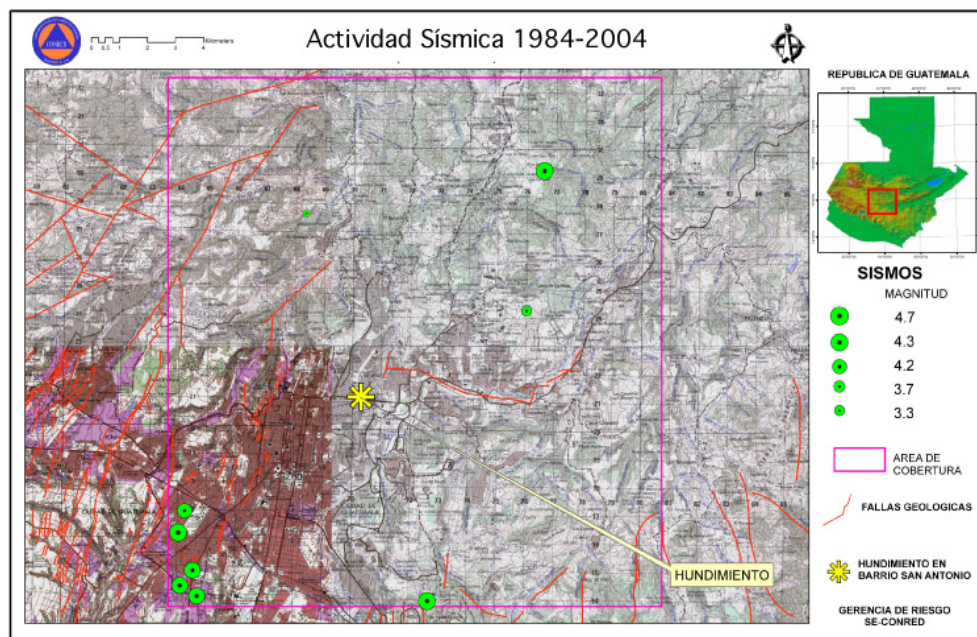


Figura 7

Actividad sísmica en el sector y sus alrededores, registrada en el periodo 1984-2004 (INSIVUMEH)

3.3 *Investigaciones de superficie*: se realizó un recorrido por los alrededores del sitio, haciendo observaciones geológicas y geotécnicas. Dadas las condiciones inestables de las paredes del hundimiento, no se ha podido descender al fondo del mismo, por lo consiguiente, debimos recorrer los taludes de los barrancos aledaños al hundimiento para establecer la tefroestratigrafía del Barrio San Antonio.

En este recorrido, se pudo verificar que geología del sitio, cuyo perfil se define en la zona de hundimiento (Fig. 8). De la cima a la base se definen lo siguiente:

- **Suelo**: la superficie del terreno está compuesta de suelo orgánico, negro, localmente retrabajado por excavación del sistema de drenaje en las calles y avenidas; constituyendo una capa orgánica de aproximadamente 1.5 m de espesor.
- **Flujo H**: corresponde al flujo piroclástico Los Chocoyos, denominado así por tener sus máximos espesores (~300 m) en el valle del río Los Chocoyos (afluente del Río Madre Vieja), muy cerca de Godínez, Sololá. Posee característico color rosado, que se considera producto de la erupción de la Caldera de Atitlán (Atitlán III), ocurrida hace 84,000 años (Newhall, C., 1981). En el Barrio San Antonio, el flujo piroclástico tiene ~10 metros de espesor, conformado principalmente por el flujo rosado (*pink flow*), con bandeamientos de color café-amarillento, rosado y blancuzco.

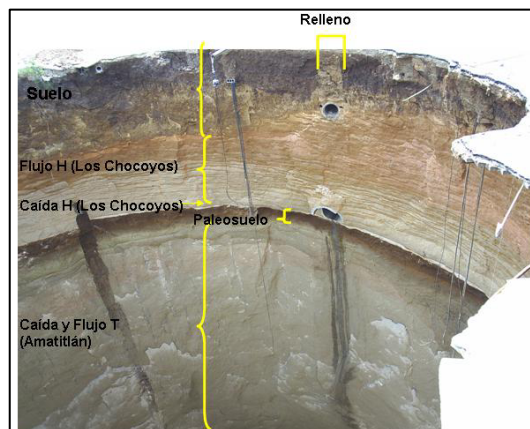


Figura 8
Perfil Geológico en la zona de hundimiento

- **Caída H**: son depósitos de caída de tefra (pómez volcánica), bien clasificada de color blanco, de grano medio-arenosa en la base y de grano grueso al techo, producto del mismo evento que produjo al Flujo H. Su espesor no es superior a los 30 cm.



La pómez es pobre en cristales de biotita (1-5%). Al techo de la tefra “H” hay abundantes líticos de andesita sub-redondeada. La composición química predominante de la tefra varía desde 74.8 % a 77.5 % de SiO₂. La tefra “H” es el más grande depósito de caída pliniana de Centro América.



- **Paleosuelo**: es un suelo antiguo de color café a ligeramente café claro, orgánico gradando a limolítico, el cual fue cubierto por los materiales anteriormente citados, durante la fase eruptiva. Su nombre formal es Paleosuelo Los Molinos, cuyo nombre deviene de los mejores afloramientos en los cortes del Río El Molino. El espesor máximo es de ~0.7 m espesor.
- **Caída y Flujo T**: en general son caídas de tefra y flujos piroclásticos y color blanco, producto de la fase eruptiva de la caldera de Amatitlán, La edad de la tefra y flujo piroclástico “T” es ~240,000 ±

170,000 años (Wunderman, 1982). El espesor en el sitio de hundimiento es >30 m, y en los alrededores es mucho mayor.

La Tefra “T” es una pómez riolítica de color blanco, con abundante líticos de andesita negrusca y minerales máficos de hornblenda y biotita. En general la hornblenda excede 2 a 1 a la biotita. Vesicular



en forma de grandes gotas en algunos fragmentos. Tiene lentes de pómez color amarillento. Esta capa está ampliamente distribuida y aflora en cortes de los barrancos y caminos y alcanza 5 metros de espesor en la parte sur del valle de la ciudad capital muy próximo a su fuente de origen en la caldera de Amatitlán.

El Flujo Piroclástico “T” es ceniza riolítica que sobreyace a la tefra “T”. Su espesor localmente puede exceder los 100 metros en algunos barrancos profundos de la cuenca de Guatemala y aquí en el Barrio San Antonio tiene varias decenas de metros de espesor (≤ 30 m). Estratigráficamente infrayace a la muy distintiva tefra “H” de los Chocoyos y el paleosuelo El Molino. El flujo piroclástico inferior está caracterizado por la incorporación de grandes cantidades de escombros carbonizados y localmente, alto contenido de líticos y en la parte superior con 30 % hasta 70 % del volumen total del flujo. Líticos de color rojizo, grano medio y granito rica en hornblenda y otros pórfidos de dacita vesicular y hornblenda, a menudo meteorizados. La alta concentración de líticos parece ser el resultado de la proximidad a la caldera de Amatitlán.

Estos materiales se encuentran afectados por fracturas no persistentes, de corta extensión que no afectan a todo el perfil del sitio. Las fallas observadas en los alrededores del sitio (a más de 200 m de distancia) son consideradas fallas normales singenéticas (producidas durante la acumulación del material), que tampoco afectan grandes espesores de material.

Las fracturas más relevantes y que son producto de la inestabilidad de las paredes del hundimiento, son circulares, situadas al borde del orificio. Sobre la sexta calle en dirección al oeste del punto del hundimiento, también se observan algunas grietas en el pavimento, orientada con rumbo preferentemente

este-oeste (paralelas a la calle); por su orientación, no corresponden a la tectónica regional del área, así como tampoco guarda relación con la zona de hundimiento, probablemente son causadas por asentamientos diferenciales de rellenos de trabajos de drenaje superficiales secundarios, ajenos al colector principal.

En el sitio se puede notar además, la presencia de agua a distintos niveles de profundidad, tanto de las filtraciones debidas a fugas de la red de agua potable o de drenaje, que afectan a las paredes agujero; como al flujo de materiales sólidos y líquidos del drenaje que circula por los colectores principales que convergen en el área del hundimiento.

Al momento de la visita, se observó que no existe acumulación de agua ya que en el colector principal, desfoga el agua en dirección del río Las Vacas. Los fluidos que circulan en el fondo del hundimiento generan una erosión regresiva en las paredes donde caen los colectores (efecto cascada). Este fenómeno ha provocado la ampliación del orificio en dirección de la sexta calle.

4. Modelo Conceptual

Los materiales que constituyen el sitio son depósitos de origen natural que se acumularon hace varias decenas de miles de años por actividad volcánica, con lo que se descarta la presencia de un relleno artificial. Las propiedades geotécnicas de estos materiales los caracterizan por su elevado ángulo de fricción interna, resistencia al corte, baja plasticidad y condiciones variables de porosidad y permeabilidad; sin embargo, en presencia de agua, estas condiciones disminuyen sustancialmente.

No se observaron evidencias de tectonismo reciente en la zona (fallas geológicas activas), lo que contribuye a confirmar la no presencia de actividad sísmica tectónica local reciente. Durante el evento del hundimiento, se detectó actividad sísmica causada por el desplome de las paredes del agujero, la cual se manifiesta en el registro (Fig. 9) en forma de ondas con frecuencias estables. Este registro difiere de los registros de actividad tectónica, los cuales se caracterizan por la presencia de dispersión (variación en las frecuencias de las ondas).

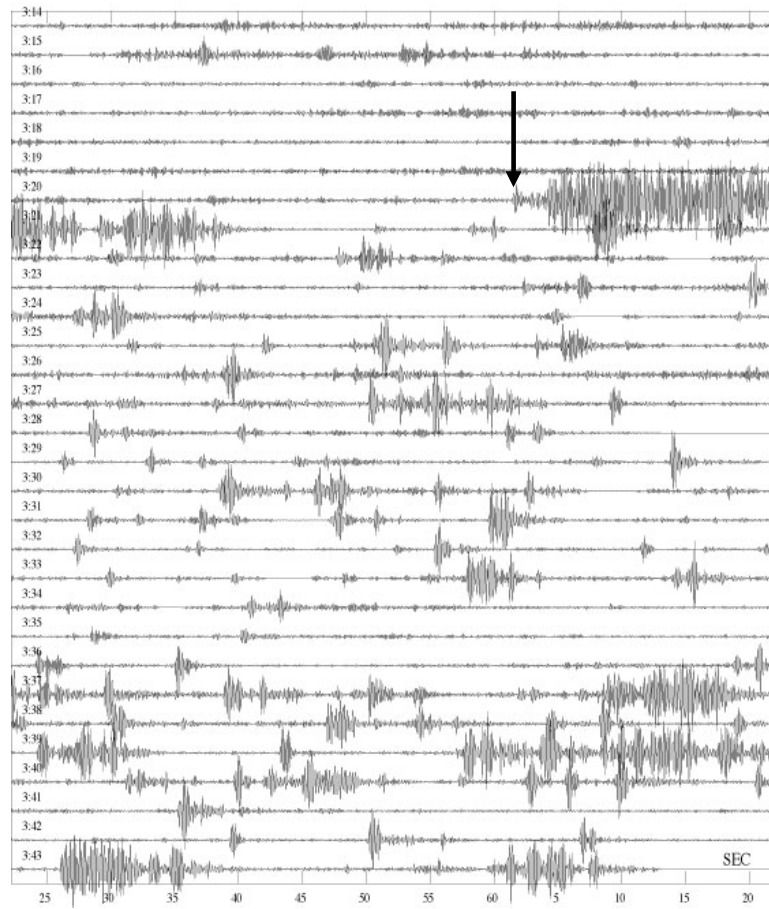
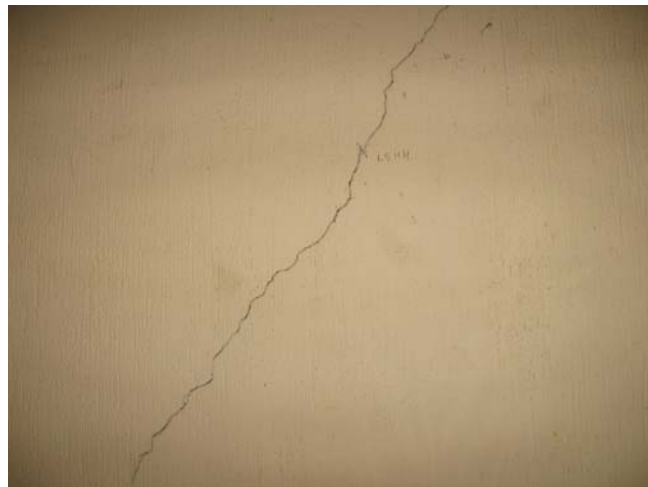


Figura 9

Actividad sísmica detectada por el sismógrafo de INSIVUMEH instalado en el Barrio San Antonio. La flecha indica el inicio del colapso principal.

Se observan grietas en las paredes de viviendas de los alrededores, siendo estas de dos tipos: Grietas de corte (producto de hundimientos diferenciales) y grietas de tensión (producto del basculamiento del suelo al estar cerca del borde del talud).

- Grietas de Corte:



- Grietas de tensión:



Basándose en las condiciones del terreno, las propiedades físico-mecánicas de los depósitos piroclásticos y las características ingenieriles del sistema de drenajes se considera que el hundimiento puede ser el resultado de un proceso de erosión subterránea extensiva que afectó inicialmente las paredes inferiores del pozo de visita y luego se extendió al material piroclástico circundante.

Las causas que iniciaron la erosión diferencial en el pozo no se conocen con certeza, sin embargo, se considera que pudieron ser varias y se pueden mencionar: cambios de las propiedades del concreto provocadas por la composición química del agua del drenaje, erosión por manantiales superiores, pérdida de confinamiento de las paredes del pozo de visita, concluyendo que no se pueden determinar si fue un problema de diseño o bien o problema hidrogeológico.

5. Recomendaciones

5.1 De corto plazo

Eliminar la presencia de agua en la zona afectada, pues los factores de inestabilidad del terreno se deben al aumento de la presión de poros, reducción de la cohesión y aumento de la plasticidad de los materiales, que únicamente el agua puede producir en este tipo de material.

Desviar las aguas pluviales fuera del área del hundimiento, ya que el exceso de agua, contribuiría a la desestabilización de los taludes.

Es necesario eliminar el sobrepeso producto de las construcciones vecinas al agujero a una distancia de al menos 20 metros de la orilla del agujero, ya que estas construcciones contribuyen a la inestabilidad de los taludes. Por lo anterior, se sugiere que se haga una evaluación detallada para determinar cuales construcciones deberían ser demolidas.

Respecto a investigaciones a realizar en el área se sugiere priorizar estudios geofísicos, para identificar posibles anomalías del subsuelo como potenciales amenazas para la estabilidad de las construcciones cercanas al sistema de colectores en las inmediaciones del hundimiento. Entre los estudios geofísicos se sugiere priorizar los métodos sísmicos de prospección (refracción, reflexión) y georadar. No obstante, existen otros métodos geofísicos que pueden ser utilizados, como gravimetría y penetración acústica del subsuelo.

Realizar estudios geotécnicos tendientes a determinar las condiciones físico-mecánicas del suelo y subsuelo, además estimaciones de capacidad soporte para determinar si con el hundimiento no fue alterada.

Evaluar los daños estructurales de las viviendas, tomando en consideración la densidad de fisuramiento, fallas de corte y tensión en paredes y cimentaciones. Esto contribuiría a determinar las condiciones de habitabilidad de las construcciones.

5.2 De largo plazo

- Se sugiere utilizar métodos geofísicos para evaluar la existencia de oquedades en todo el sistema de colectores de la ciudad de Guatemala, ya que las condiciones que ocasionaron el problema de la zona 6, podría repetirse en otros lugares.
- Se sugiere realizar un estudio sobre la capacidad del sistema de colectores, especialmente para la evacuación de agua de tormenta.

Bibliografía

Albert Allyn Eggers, 1971. **The geology and petrology of the Amatitlán Quadrangle, Guatemala.** A tesis submitted of degree of Doctor of Philosophy. Dartmouth College.

Christopher George Newhall. **Geology of the lake Atitlán area, Guatemala. A study of subduction zone volcanism and caldera formation.** A tesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. Dartmouth College.

EMPAGUA. 2007. **Informe Técnico.**

González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. 2004. **Ingeniería Geológica.** Edit. Isabel Capella. España. 703 p.

IGN. 1976. **Mapa de Fracturas del Terremoto de Febrero de 1976 del Valle de Guatemala.**

INSIVUMEH. 1,978. **Estudio de Aguas Subterráneas del Valle de la Ciudad de Guatemala.**

INSIVUMEH. 2,007. **Evaluación del Hundimiento Barrio San Antonio, Zona 6, Guatemala, Guatemala.**

Richard Lloyd Wunderman, 1982. **Amatitlán, an active resurgent caldera immediately south of Guatemala City, Guatemala.** A tesis submitted for the degree of Master of Science in Geology. Michigan Technological University.

W. I. Rose, Jr.¹, G.T. Penfield², J.W. Drexler¹, P.B. Larson¹. **Geochemistry of the Andesite Flank Lavas of Three Composite Cones within the Atitlán Cauldron, Guatemala.** Michigan Technological University¹, Oberlin College, Oberlin, Ohio². Bull. Volcanol., Vol.43-1, 1980.

William I. Rose¹ Christopher G. Newhall², Theodore J. Bornhorst¹ and Stephen Self³. **Quaternary silicic pyroclastic deposits of Atitlán Caldera, Guatemala.** Michigan Technological University¹, USGS Cascades Volcano Observatory². The University of Texas at Arlington³. 1987 Elsevier Science Publishers. B. V.