

ZONIFICACIÓN DE PELIGRO POR HUNDIMIENTO EN LA ZONA URBANA DE LA CD. DE PUEBLA, MÉXICO

José Castillo Román, Vicente Nolasco Valencia y Christian D. Hernández Juárez

Centro Universitario Para la Prevención de Desastres Regionales-BUAP
Email: jcroman@riesgosgeologicos.ws

INTRODUCCIÓN

Los hundimientos del terreno en zonas urbanas tienen un alto grado de impacto, pues son fenómenos que no presentan evidencias claras, porque han sido cubiertas por las obras de urbanización. Por consiguiente, requieren estudios especiales para identificar las características geológicas, hidrológicas, geohidrológicas, y estratigráficas, que son importantes para entender el proceso dinámico que los generan. Por tal motivo, los métodos geofísicos son una buena opción para identificar y caracterizar estos elementos que integrados con las mediciones geotécnicas y de mecánica de suelos, permiten un mejor entendimiento de la dinámica de los procesos de hundimiento en zonas urbanas. Así como también identificar condiciones anómalas similares en otras áreas cercanas al colapso, a fin de tomar medidas preventivas que conlleven a mitigar el riesgo a la población.

ANTECEDENTES

El 26 de septiembre de 2005 se originó un colapso del terreno en la Junta Auxiliar de La Libertad dentro de la zona metropolitana de la cd de Puebla (figura 1). Este colapso presentó 14 m de diámetro y 6 m de profundidad (CIIA S.A. de C.V., 2005), resultando afectadas tres casas quedando sin posibilidad de ser habitadas, y por lo menos unas seis viviendas más presentaron fisuras en las paredes, techos y pisos. Las autoridades de Protección Civil tuvieron que evacuar la zona e impedir el paso vehicular y peatonal en un radio aproximado de 250 metros, debido a que el colapso se asoció a la presencia de cavernas en el subsuelo.

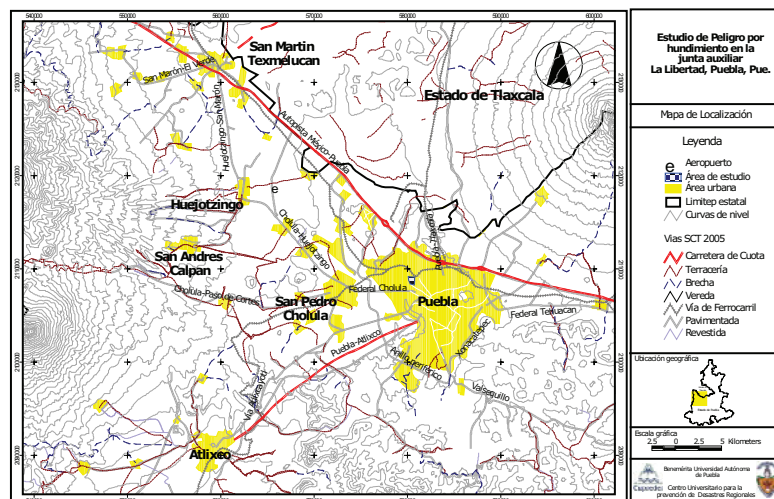


Figura 1. Localización del área de estudio

Hasta finales del 2008, no se tenía un dictamen sobre la dinámica del mecanismo de colapso y por consiguiente no se tenían programas de prevención y mitigación de riesgos en ese sector de la ciudad. Esta situación se debía al desconocimiento del fenómeno que se estaba presentando, pues en primera instancia se creía que el problema era aislado y que solo afectaba a la zona donde se presentó el colapso. Por otro lado, la zona de hundimiento seguía aumentando y el grado de agrietamiento de las casas aledañas a él se intensificaba. Ante esta situación, a principios de 2009, los pobladores manifestaron su temor a que sus viviendas estuvieran en una zona de riesgo y exigieron a las autoridades que se hiciera un estudio a fondo sobre esta problemática.

CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA-GEOFÍSICA DE LA ZONA DE COLAPSO

Para entender el proceso que ocurría se elaboró un programa de estudio para caracterizar el subsuelo de la zona colapsada y buscar condiciones similares en la Junta Auxiliar de La Libertad. Este programa consistió en tres etapas de estudio.

- Etapa I.- Consistió de estudios topográficos, geológicos, hidrológicos y geofísicos para caracterizar el subsuelo en la zona de estudio e identificar los elementos físicos principales que estaban interactuando en la dinámica del fenómeno, así como zonificar el área en diferentes niveles de peligro.
- Etapa II.- Esta comprendió estudios geotécnicos y de mecánica de suelos, para determinar las propiedades de los suelos en las zonas de mayor peligro a sufrir hundimientos.
- Etapa III.- En esta etapa se estimaron los riesgos a la infraestructura y servicios de la zona y se propusieron los programas de prevención y mitigación de riesgos.

En este trabajo solo se presentan los resultados de la primera etapa del programa de estudio.

GEOLOGÍA

En la zona afloran travertinos de edad cuaternaria (Qtr) con dirección NE-SW (figura 2), estas rocas presentan un alto grado de fracturamiento e intemperismo. También se encuentran tobas intercaladas con aluviones (Q).

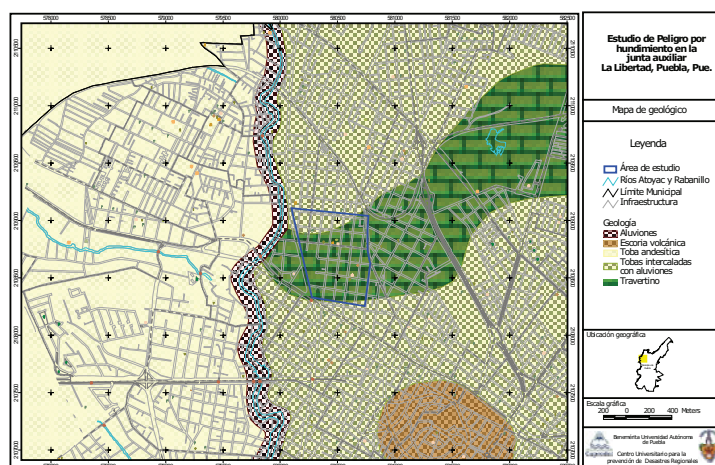


Figura 2.- Mapa geológico de la zona de estudio.

Al sureste, se tiene el cerro San Juan (figura 2) que está compuesto de brecha volcánica basáltica de color rojizo, basaltos vesiculares y escoria volcánica del Terciario superior (Ts). Al Oeste predominan tobas andesíticas del Cuaternario (Q). Por último, en los márgenes del río Atoyac se observan depósitos aluviales formados por gravas, arenas, y limos (figura 2).

TOPOGRAFÍA

Para efectos de este estudio se llevo a cabo un levantamiento topográfico a detalle con el cual se generaron curvas de nivel cada 20 cm. El análisis de la topografía indicó que la parte más baja se encuentra a 2116 msnm y se ubica en la parte oeste mientras que las partes más altas se localizan al noreste con una elevación de 2140 msnm. Las pendientes calculadas a partir del modelo digital de elevación son menores a 2° en la mayor parte del área, y de 4 a 10 ° en la parte este-noreste de la zona.

GEOHIDROLOGIA

Se identificaron varios escurrimientos superficiales que pasaban por la zona de colapso y que fueron cubiertos por la urbanización. El nivel de aguas freáticas en la región del valle de Puebla se encuentra entre 70 y 120 m (CNA, 2003)

GEOFÍSICA

El estudio geofísico consistió en aplicar los métodos de resistividad en su modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y Tendidos de Refracción Sísmica (TRS). Se realizaron 119 SEV, con un arreglo Schlumberger y una abertura máxima entre electrodos de 600 m (figura 3) y 21 TRS con una separación entre geófonos de 5 m.

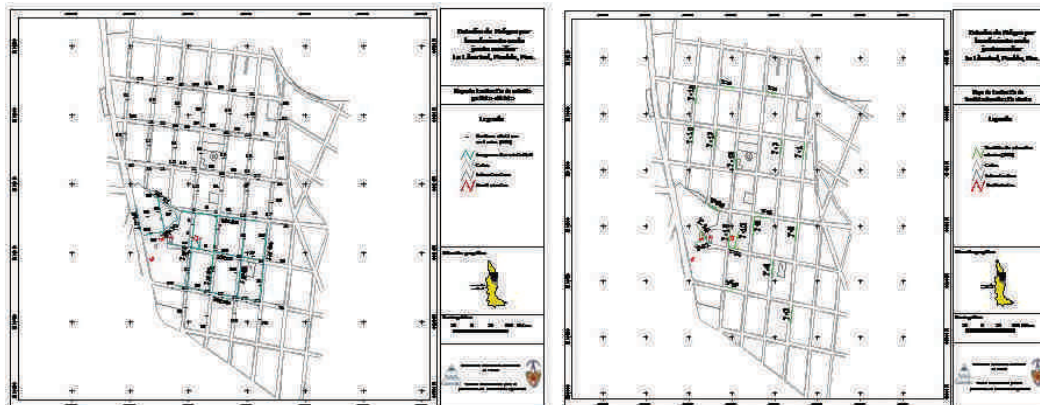


Figura 3. A) Ubicación de sondeos eléctricos verticales y mediciones de imágenes de resistividad. B) Ubicación de los tendidos de refracción sísmica.

RESULTADOS

Los resultados geofísicos indicaron una estratigrafía dominada por materiales areno arcillosos con cierto grado de compactación y/o rocas fracturadas y alteradas por procesos hidrogeoquímicos; principalmente en los primeros 15 m de profundidad; así como también, un estrato saturado aproximadamente a los 5 m de profundidad. No se encontró evidencia de resistividades asociadas a espacios vacíos que nos indiquen la presencia de grandes cavernas, por lo que en una primera conclusión se establece que la causa de los hundimientos en la zona se debe a la circulación de agua subsuperficial que satura a los suelos areno arcillosos y que interactúa con los estratos de travertino fracturado que se encuentran en los primeros 15 m de profundidad. Con base a lo anterior, se propuso que en la zona se están desarrollando dos tipos de hundimientos:

- a) Asentamientos diferenciales: Estos se asignaron a hundimientos con una velocidad de asentamiento lenta y gradual. Se asoció a la secuencia estratigráfica suelo areno arcilloso-arcilla.
- b) Colapsos; corresponde a hundimientos repentinos del terreno, los cuales desarrollan una velocidad de asentamiento mayor, estos se asociaron a la secuencia suelo areno arcilloso-travertino-arcilla.

Se concluye que la zona de estudio es propensa a seguir presentando asentamientos diferenciales y colapsos del suelo que ponen en riesgo el patrimonio de los habitantes de esta zona de la ciudad. Por lo que se propuso una zonificación que comprende seis zonas de peligro por hundimiento (figura 4).

Zona I: En esta zona se localizan procesos de hundimientos activos, por lo cual se le asignó una susceptibilidad muy alta a los procesos de hundimiento de tipo colapso (figura 4). Se caracteriza por una secuencia estratigráfica de arenas, arcillas y limos con resistividades de 21 a 99 $\Omega \cdot m$ (U2b a U1b) y espesores menores de 2 m, con velocidades sísmicas menores a 1000 m/s. Bajo estos estratos se localiza un lente de 2 m de travertino fracturado y alterado con un rango de resistividad de 101 – 543 $\Omega \cdot m$ (U2a) y una velocidad sísmica mayor a 3000 m/s. Estos lentes de travertino descansan sobre una secuencia de material arcillo saturado (< 3 $\Omega \cdot m$; U3a).

Zona II: En esta zona se observaron procesos de hundimientos activos. Por lo que se asignó una susceptibilidad muy alta a fenómenos de tipo asentamiento diferencial (figura 4). Desde el punto de vista

geológico – geofísico, la zona se caracteriza por una secuencia de suelos arenosos, arcillosos y limosos que muestran un rango de resistividades de $3\Omega.m$ a $28\Omega.m$ (U3b). Esta secuencia tiene un espesor de aproximadamente 10 m y descansa sobre arcillas saturadas de resistividades menores a $3\Omega.m$ (U3a). Por su parte las velocidades sísmicas obtenidas para estos materiales fueron menores a los 1000 m/s.

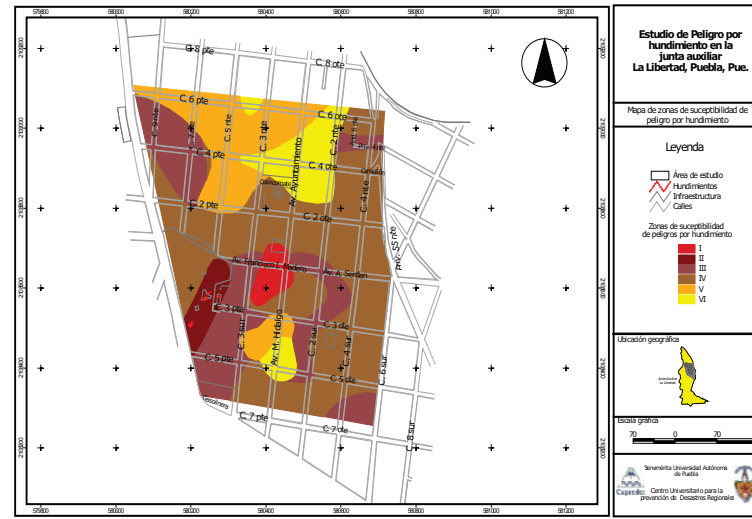


Figura 4. Zonificación de peligro por hundimiento en la Junta Auxiliar de la Libertad.

Zona III: A esta zona se le asignó una susceptibilidad alta a fenómenos de hundimiento de tipo colapso (figura 4). La secuencia litológica que presenta es de travertinos fracturados con resistividades que van de 20 $\Omega.m$ hasta 543 $\Omega.m$ (U4a a U5a) y velocidades sísmicas de 1000 a 3000 m/s. La variación de resistividad en la zona se debe al grado de saturación que muestran las fracturas del travertino. Estos travertinos descansan sobre materiales arcillosos de resistividad menor a 28 $\Omega.m$ (U3b) y velocidad sísmica menor a 1000 m/s.

Zona IV: A esta zona se le asignó una susceptibilidad alta a procesos de hundimiento de tipo asentamiento diferencial (figura 4). La estratigrafía se caracteriza por una secuencia de suelos arcillosos, arenosos y limosos con resistividades de 3.2 a 99 $\Omega.m$ y espesores de 2 a 10 m. Esta secuencia descansa sobre un material arcilloso cuya resistividad es menor a 28 $\Omega.m$. Las velocidades sísmicas estimadas para estos materiales son de 1000 a 2000 m/s.

Zona V: Se le asignó una susceptibilidad moderada a hundimientos de tipo colapso (figura 4). La secuencia litológica que presenta es de travertinos fracturados con resistividades de 101 a 543 $\Omega.m$ y espesores de 2 a 10 m con velocidades sísmicas de 2000 a 3000 m/s. Este estrato descansa sobre un material arcilloso de resistividad menor a 28 $\Omega.m$, y velocidad sísmica menor a 1000 m/s.

Zona VI: A esta zona se le asignó una susceptibilidad moderada a procesos de hundimiento de tipo asentamiento diferencial (figura 4). La estratigrafía se caracteriza por una secuencia de suelos arcillosos, arenosos y limosos con resistividades de 3.2 a 99 $\Omega.m$ con un espesor de 2 a 10 m. Esta secuencia de suelos descansa sobre un material arcilloso de resistividad menor a 28 $\Omega.m$ que corresponde a secuencias compuestas por depósitos de limo, arenas, arcillas y arcillas saturadas. Las velocidades sísmicas estimadas para estos materiales son de 2000 a 3000 m/s.

REFERENCIAS

- Consultaría Integral de Ingeniería y Arquitectura, S. A. de C. V., 2005. Informe Geotécnico de la Libertad. Secretaría de Obras Públicas, Puebla, Pue. Reporte Interno. P. 90.
- Comisión Nacional del Agua. 2003. Determinación de la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero valle de Puebla, estado de Puebla, Puebla, Pue. Reporte Técnico. p. 9-28