

## CAPÍTULO 3

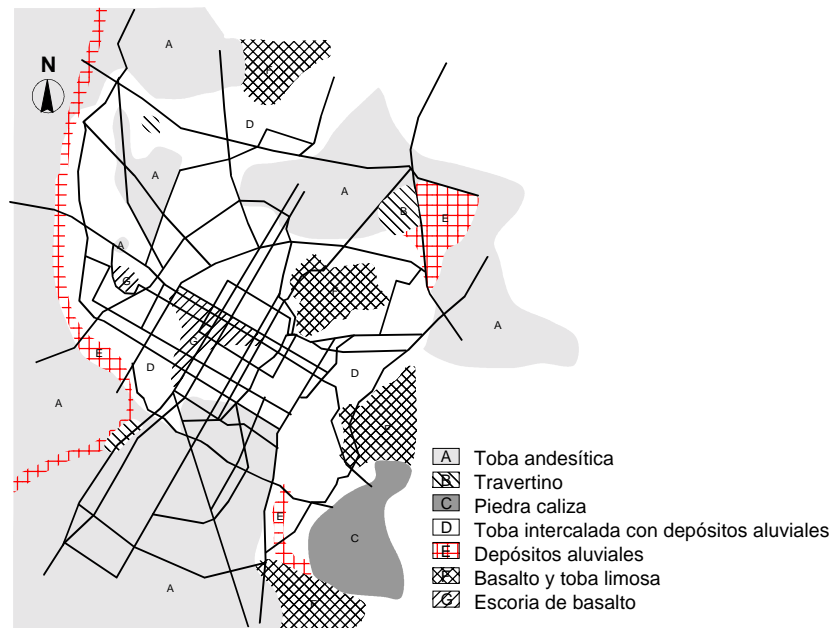
### PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta los problemas geotécnicos observados a raíz del sismo de Tehuacán. Se presentan algunos casos particulares observados en los recorridos, reportados por la población, los medios de comunicación y las diferentes agencias gubernamentales encargadas de la protección civil.

#### 3.2 ESTRATIGRAFÍA Y EFECTOS DE SITIO EN LA CIUDAD DE PUEBLA

Atendiendo a una recopilación geotécnica (Auvinet, 1976) que reunió la información de alrededor de 50 sondeos, el basamento de la ciudad de Puebla está constituido por rocas calizas del Cretácico. Sobreyaciendo a estas rocas, se tienen secuencias de depósitos volcánicos como tobas y sedimentos de origen aluvial (fig. 3.1). Como resultado de la actividad volcánica relacionada con la generación del Cinturón Volcánico Transmexicano, se tiene un cono volcánico que constituye el cerro de San Juan o La Paz, ubicado al oeste dentro de la ciudad; está constituido por escorias basálticas rojizas y otros piroclastos. Así mismo, hacia el sur y oeste de la ciudad se distinguen afloramientos basálticos y tobáceos. Diversos ríos cruzan la ciudad, dejando depósitos aluviales con estratos de gravas y arenas limosas, de compacidad variable; a ellos asociados, se han detectado depósitos palustres orgánicos. Tampoco son extrañas las estratigrafías que alternan depósitos lacustres con aluviones y tobas volcánicas, erráticamente distribuidas en la ciudad.



**Figura 3.1 - Mapa geológico de la ciudad de Puebla (Chávez-García et al., 1995)**

La información geotécnica acerca de la ciudad de Puebla ha sido actualizada recientemente (Azomoza et al., 1998) con la información que han proporcionado del orden de 400 estudios geotécnicos, realizados en muy diversos sitios de la ciudad y en otros de la zona conurbada en los últimos 14 años. Ahí se enfatiza el

crecimiento de la mancha urbana, lo que los lleva a señalar que en la ciudad predominan los suelos tobáceos (localmente conocidos como tepetates) como formación basal, sobre la que yacen diversas unidades estratigráficas. De particular interés para la comprensión de los daños, es la presencia en buena parte de la zona centro de la ciudad de depósitos de suelos aluvio-palustre-lacustres, que se han detectado en espesores hasta de 20 m, generalmente intercalados con mantos de travertino de espesores variables. Llama la atención la presencia de arcillas expansivas al sur y poniente de la ciudad con espesores hasta de 2 m, las cuales cubren a los suelos tobáceos.

Pudieron distinguirse efectos de sitio en la ciudad de Puebla, al considerar los acelerogramas registrados en cuatro estaciones superficiales desplantadas en formaciones rocosas, en comparación con los de dos estaciones localizadas en un perfil de suelos. Comparando las aceleraciones máximas del terreno de las estaciones PHPU (Parque Habana, fig. 2.1) y PBPU (Nicolás Bravo) para el sismo de Tehuacán, se obtiene un factor de amplificación de 3. Chávez-García et al. (1995) llevaron a cabo una campaña de mediciones de respuesta a movimientos débiles mediante microtemblores, en 39 puntos de la ciudad. Obtuvieron periodos predominantes  $T_0$  entre 0.5 y 1.1 segundos, y factores de amplificación entre 2 y 7. Con base en el periodo fundamental como información básica, estos autores han propuesto una zonificación sísmica que contempla cuatro zonas. Sin embargo, Romo y Ovando (1995) han llamado la atención de que al periodo natural del terreno, debe agregársele la información acerca de su capacidad para amplificar los movimientos sísmicos, en relación con un punto de referencia perteneciente a un sitio rocoso.

Se han desarrollado varias propuestas de zonificación sísmica de la ciudad de Puebla; sin embargo, no todas ellas son coincidentes ni consistentes. Este hecho, quizá atribuible a la compleja distribución espacial de suelos y rocas, debe corregirse estudiando la información disponible sobre la estratigrafía y características mecánicas, así como obteniendo la faltante.

### 3.3 LICUACIÓN EN EL ESTADO DE TLAXCALA

En la región sur del estado de Tlaxcala, a unos 20 km y al noroeste de la ciudad de Puebla, se detectó la ocurrencia del fenómeno de licuación. El área afectada corresponde a una zona rural situada a unos 140 km del epicentro, caracterizada por plantíos de maíz, a unos 100 m de la orilla del río Zahuapan, mismo que aguas abajo se conoce como Atoyac y luego Balsas. El efecto de este fenómeno fue prácticamente nulo. Sin embargo, la ocurrencia por sí misma de licuación, es un hecho importante, ya que fue muy interesante constatar que este fenómeno se pueda dar en el Altiplano Central. En efecto, hasta donde se conoce, es la primera vez que se documenta licuación en el valle de Puebla-Tlaxcala.

La arena limosa que salió a la superficie a través de grietas y *volcancitos* es de color oscuro y se identificó como una ceniza volcánica (figs. 3.2 y 3.3). Se presume que este depósito fue generado por alguno de los volcanes cercanos al sitio: el Popocatepetl situado a 42 km al suroeste del sitio; o La Malinche, a 26 km y hacia el este del lugar. Los primeros estudios de tres muestras del material eyectado, que incluyeron granulometrías y densidad de sólidos, nos indican que se trata de arenas finas uniformes con proporción muy alta de granos limosos sin ninguna plasticidad. La fracción fina que pasó la malla no. 200 varió entre el 28 y el 45% del total en peso. La densidad de sólidos alcanzó valores entre 2.65 y 2.71 para diferentes muestras, que denotan la presencia de ciertos ferromagnesianos en su composición mineralógica, además del cuarzo predominante, observado en el microscopio óptico. Se encuentra en curso un programa de ensayos dinámicos en el Laboratorio de Dinámica de Suelos del CENAPRED con estas arenas contaminadas, previa definición de las diferentes condiciones que se impondrán a esos especímenes, a fin de alcanzar ciertas compacidades relativas.



**Figuras 3.2 y 3.3 - Evidencias de licuación en un plantío de maíz, al sur del estado de Tlaxcala**

### 3.4 DAÑOS DE NATURALEZA GEOTÉCNICA

La mayoría de los daños ocurridos en la ciudad de Puebla se concentraron en el área del centro. Ahí se registraron aceleraciones máximas del orden de  $120 \text{ cm/s}^2$ , en tanto que  $50 \text{ cm/s}^2$  parece un valor típico de las aceleraciones en la periferia de la ciudad, principalmente en sitios duros. Por ello, como ha sido observado en la ciudad de México, y en otras ciudades del mundo, la distribución variable del daño en la ciudad de Puebla está asociada, al menos en parte, a los efectos de sitio, determinados por la presencia de materiales térreos o rocosos en un cierto lugar.

Un ejemplo del efecto de sitio en la respuesta estructural lo constituye el colapso total de dos edificios de un conjunto de cuatro, aparentemente iguales, construidos en el centro de la ciudad de Puebla (figs. 3.4 y 3.5). Adicionalmente, hubo daños en la planta baja de los edificios restantes. Esta estructura se presenta en detalle en la sección 6.5.3 de este documento.



**Figuras 3.4 y 3.5 - Edificios colapsados en el centro de la ciudad de Puebla**

El sitio está relativamente cerca de los depósitos aluviales del antiguo río San Francisco, en cuyo lecho se construyó el bulevar Héroes del 5 de Mayo. En el subsuelo del bulevar corre, entubado, dicho río. La muy probable erraticidad y heterogeneidad de los depósitos lacustres, y posiblemente palustres, sobre los que descansan los cuatro edificios, podría explicar los diferentes comportamientos que experimentaron éstos. La presencia de esos depósitos de suelo determinó sin lugar a dudas la amplificación de las aceleraciones en el sitio. En uno de los edificios colapsados, algunas de sus columnas penetraron en el terreno (fig. 3.6). El tipo de cimentación para estas columnas y su profundidad de desplante se desconocen, pero se presume que sean zapatas aisladas de concreto reforzado, desplantadas aproximadamente a 1 m de profundidad. Se ha especulado que esta penetración podría deberse a una falla de cimentación, para la que se reúnen condiciones propicias tales como un depósito aluvial con un alto nivel freático, y la amplificación sísmica ya comentada por el efecto de sitio. Sin embargo, lo observado podría ser resultado simplemente de la penetración de columnas falladas por corte y/o flexocompresión, que sufrieron cierto desplazamiento lateral. No se apreció ninguna evidencia de licuación en o cerca del sitio de desplante de estos edificios. Se considera que este caso merece atención y debe documentarse y analizarse, en virtud de que puede aportar lecciones importantes para la práctica de la ingeniería de cimentaciones en la ciudad de Puebla.



**Figura 3.6 - Penetración en el terreno de una columna de esquina**

Los agrietamientos observados en el terreno en localidades cercanas al epicentro, como Acatlán de Osorio, Puebla, deben atribuirse a condiciones estratigráficas locales caracterizadas por suelos o rellenos sueltos. No ha sido observado por pobladores o estudiosos del problema ningún agrietamiento asociado a la ruptura que produjo el sismo; ello apunta a que no ocurrió ninguna perturbación significativa en la superficie del terreno, salvo las vibraciones transitorias. Lo anterior parece justificado por la profundidad a la que sucedió la falla y a la moderada extensión del área fallada, a juzgar por la magnitud del evento.

Salvo el asentamiento de algunos terraplenes de acceso en la carretera 135 cerca de Tehuacán, en otras estructuras térreas no se reportaron daños. En la presa de tierra y enrocamiento Valsequillo de unos 25 m de altura, con taludes relativamente escarpados (pendiente H:V de 2:1), y que se ubica al sur de la ciudad de Puebla, no se apreciaron ni agrietamientos ni deformaciones significativas. Sólo un deslizamiento importante ocurrió en las faldas de La Malinche, interrumpiendo temporalmente el suministro de agua al poblado de Ixtenco, Tlaxcala.