

**ACUEDUCTO METROPOLITANO, TRAMO EMBALSE  
EL LLANO-RIO NAVARRO  
(COSTA RICA): UN SITIO BAJO AMENAZA**

Luis Gmo. Salazar M., Luis Obando A. & Rolando Mora  
Escuela Centramericana de Geología, Apdo. 35, 2060  
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

**ABSTRACT:** The Metropolitan aqueduct is a very important engineering-public work for the population of the Valle Central and at the same time a geologically vulnerable place.

At least five landslides, on soil and rock, have important size, some of them with serious consequences and affecting the water pipe stability. These phenomena have been partially controlled by the technical team of Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillado. On the other hand, combined with deficiently constructive practice ignoring the geologic-structural settings, all the debris and materials removed during construction were deposited on totally non stable sectors (very steep slopes) and during the rainy season were locally washed down by the runoff, menacing Orosi town because of debris avalanches. Therefore, there were identified some seismic sources associated with neotectonic faulting and capable for triggering natural disasters with serious consequences the national economy. One of these sources is the responsible for the 1910 and 1951 earthquakes, events that destroyed Cartago city and Orosi town respectively.

Finally, a rupture of the water pipe could originate a mud and rocks avalanche, which in terms of minutes could directly fall upon Orosi population.

**RESUMEN:** El acueducto Metropolitano, constituye una obra civil de mucha importancia para la población del Valle Central y a la vez, desde el punto de vista geológico, un sitio vulnerable.

Se han identificado 5 deslizamientos de suelo y roca de cierta magnitud. Algunos de ellos, han manifestado actividad importante en los últimos dos años, recrudesciendo sobre todo en los periodos lluviosos y han afectado localmente la tubería del acueducto. Estos fenómenos, han sido parcialmente controlados por los técnicos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado. Por otra parte, aunado a la mala práctica constructiva, la cual no tomó en cuenta o se ignoraron las condiciones geológicas, estructurales del área ni del suelo, se han depositado los escombros y materiales removidos durante la construcción, en sectores no aptos para ello (como por ej: en fuertes pendientes), los cuales durante el invierno recién pasado, fueron localmente arrastrados por los torrentes de las quebradas que amenazaron el poblado de Orosi con una seria inundación.

Asimismo, se identificaron varias fuentes sísmicas asociadas a fallamiento neotectónico capaz de desencadenar desastres naturales de consecuencias muy serias para la economía nacional. Una de estas fuentes sísmicas fue la causante del terremoto de 1910 y 1951 que destruyó la ciudad de Cartago y Orosi respectivamente.

Por último, una ruptura en la tubería del Acueducto Metropolitano en esta parte podría causar una avalancha de lodo y rocas que incidiría directamente sobre la población de Orosi en cuestión de minutos.

**INTRODUCCION**

El presente estudio, comprendido entre el embalse El Llano (coordenadas 5501.6 W - 194.7 N, Lambert norte) y el puente sobre el Río Navarro (coordenadas 550.9 W - 199.1 N, Lambert norte)

en la Hoja Tapantí, escala 1: 50 000 (Fig.1), se ocupa de la caracterización geológica del tramo del acueducto de Orosi, el cual es parte esencial del Acueducto Metropolitano. Además, se identifican las amenazas naturales que a un plazo no muy largo podrían incidir desfavorablemente

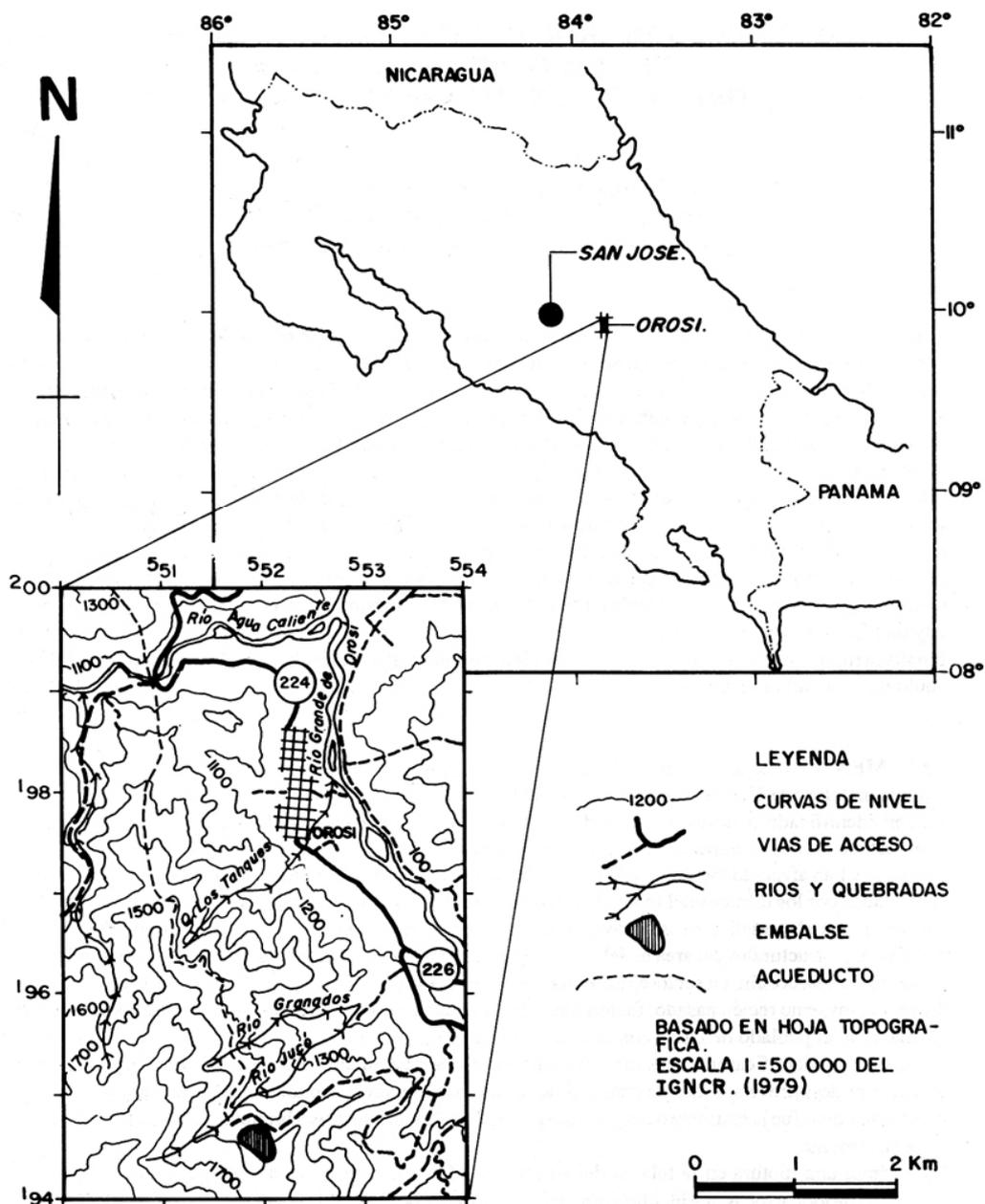


Fig. 1: Mapa de ubicación del área de estudiado.

sobre la estructura de la obra civil y la población de Orosi.

El estudio involucra de una manera descriptiva las principales amenazas geológicas a que se encuentra expuesto tanto el acueducto como la población de Orosi. Entre éstas amenazas destacan las amenazas de índole sísmico y amenazas por deslizamientos, así como los fenómenos asociados, tales como avalanchas de lodo y roca, etc.

El Acueducto Metropolitano (comprendido entre Orosi y San José) constituye una línea vital para el país, dado que cerca del 50% de la población del Area Metropolitana se abastece de agua potable por este medio.

Además, en el Valle de Orosi, se localizan un sin número de obras de infraestructura, tales como puentes, líneas de transmisión eléctrica, acueducto local, casa de máquinas Río Macho, así como una población numerosa que podrían ser afectados por los fenómenos que se describen, de manera que se deben emprender las medidas de mitigación y prevención de desastres naturales.

#### **Geología regional y local**

Regionalmente y en el área de estudio afloran cuatro unidades litológicas, entre sedimentarias e ígneas, bien diferenciables que pertenecen a las siguientes formaciones (Fig.2): Formación Pacuacua, Formación Coris, Formación Aguacate y rocas intrusivas (Grupo Comagmático Talamanca).

#### ***Formación Pacuacua (Oligoceno-Mioceno Medio)***

La litología de la Formación Pacuacua es variada, y las rocas se clasifican como: lutitas, lutitas arenosas (con la fracción arena muy fina), vulcarenitas, las cuales afloran en casi toda el área de estudio. También existen vulcanoruditas (brechas), tobas, estas últimas fuera del área de estudio.

Según OBANDO (1983), las facies finas se componen de lutitas arenosas calcáreas, lutitas calcáreas, arenitas líticas calcáreas, grauwackas y calizas. Son de color negro mate a gris muy oscuro, las rocas son muy duras, densas y en general con mucho carbonato de calcio presente. La pirita

es frecuente y le proporciona a la roca un olor azufroso cuando ésta se parte.

La estratificación es masiva, pero puede ser fina. En algunas localidades, las lutitas arenosas finas pueden mostrar hilos contorsionados de arcilla negra, generalmente orientados paralelamente formando una grosera laminación.

Desde el punto de vista microscópico, la facie fina arenosa, está compuesta por una matriz arcillosa (10-75%), la que puede ser de color negro oscuro a rojizo cuando la roca se altera. En algunas secciones delgadas, se ha observado que el porcentaje de matriz puede aumentar significativamente debido al aplastamiento y alteración que sufren los minerales arcillosos, fragmentos de roca de origen arcilloso y feldespatos como las plagioclasas.

La pirita es un mineral omnipresente en las rocas de grano fino (5-7%). Es el principal mineral que produce coloraciones rojizas (óxidos de hierro) en los materiales alterados impregnando con frecuencia la matriz arcillosa.

Entre los minerales detríticos más importante se encuentran cuarzo, plagioclasas, calcita (primaria o como fósiles) y sericita.

OBANDO (1983), indica que la meteorización es con frecuencia profunda, dando rocas muy friables que tienden a formar un suelo arcilloso pardo, con pátinas rojizas de óxidos de hierro (limonita, hematita) muy susceptible a la inestabilidad. Las rocas meteorizadas presentan fantasmas arcillificados de plagioclasas, cuarzo, ceolitas, etc.

#### ***Formación Coris (Mioceno Medio - Mioceno Superior)***

Se localiza al SW de Orosi y sus afloramientos están significativamente afectados por fallas (Fig.2).

Compuesta principalmente de arenitas cuarzosas (mollejón), arenitas sublíticas, arenitas líticas y tobas (FISCHER & FRANCO, 1979).

Las arenitas cuarzosas se presentan muy meteorizadas, son suaves y deleznales, de color gris claro amarillento. Usualmente presentan bandas de óxidos de hierro rojizas a pardo rojizas. Intercalan con lutitas, tobas, mantos de carbón localmente lenticulares y tectonizados.

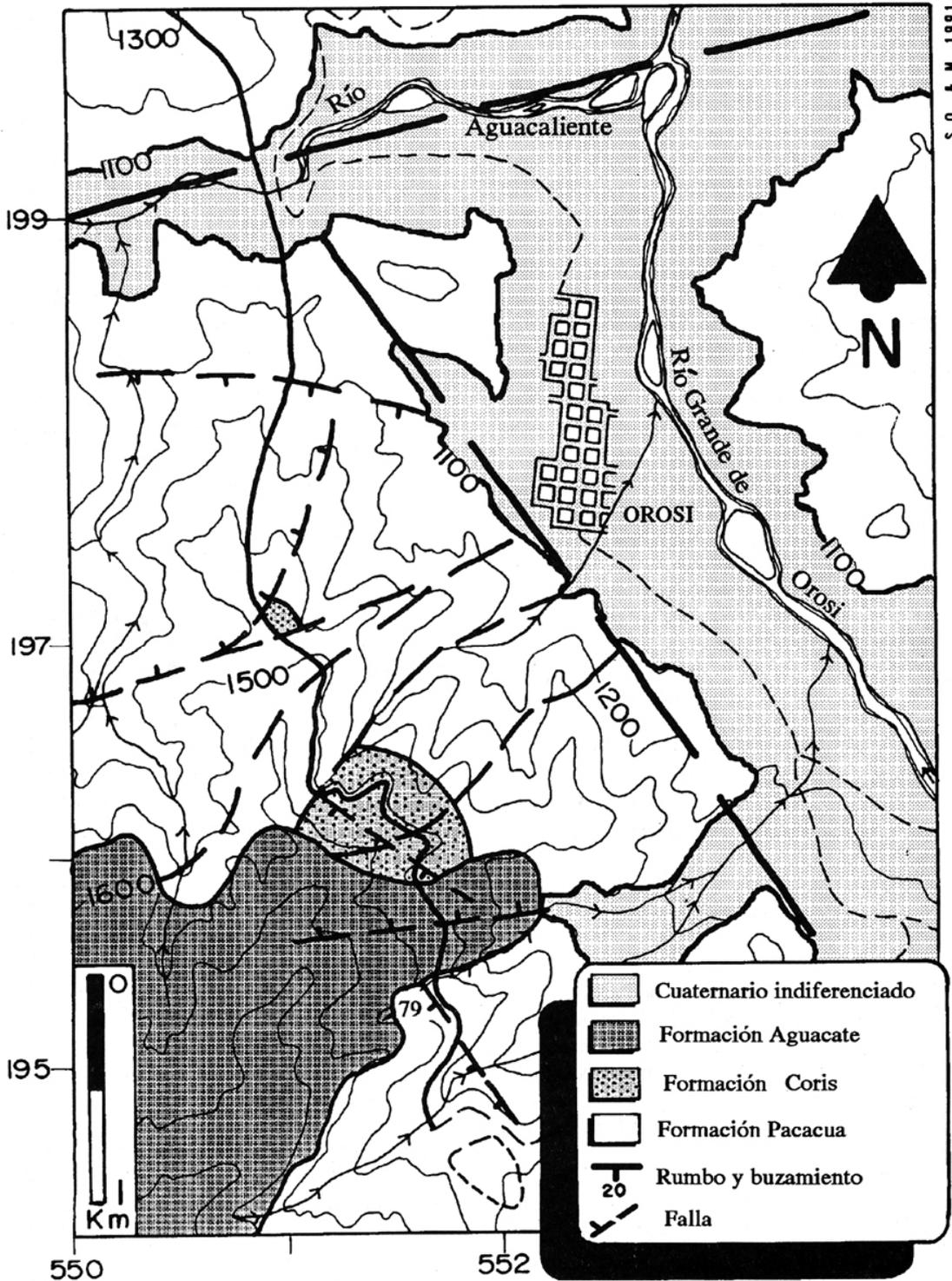


Fig. 2: Mapa geológico simplificado. Orosi y alrededores.

Desde el punto de vista microscópico, las areniscas cuarzosas poseen principalmente cuarzo muy redondeado, plagioclasa, calcita localmente. Por último, se presenta una matriz arcillosa, hasta un 50%, distribuida uniformemente por toda la roca.

#### **Formación Aguacate (Plio-Pleistoceno)**

Se localiza al extremo SW del área estudiada (Fig.2) y llegan a constuir la cima de la sección estratigráfica.

Son lavas ampliamente distribuidas, de color gris claro, con fenocristales de augitas titaníferas, plagioclasas y localmente mineralizadas con piritita, epidotas y sericita. Alteran café a gris amarillo y en general se manifiestan por bloques.

#### **Intrusivos (Grupo comagmático Talamanca, Mioceno Superior)**

En el área de estudio, estas rocas afloran puntualmente, son gabros con fenocristales de plagioclasa arcillitizada y augitas. Se manifiestan por bloques y por lo general están muy meteorizadas. Localmente están afectadas por fallas.

#### **Cuaternario indiferenciado**

Caracterizado por aluviones y coluvios que cubren completamente las áreas bajas siguiendo los cursos del río Agua Caliente y Grande de Orosi. Compuestos por bloques redondeados de rocas ígneas, metamórficas de bajo grado y sedimentarias (Fig.2).

Los coluvios están compuestos principalmente de fragmentos de roca angulosa de tipo sedimentario, procedentes de los frentes montañosos del área, tanto hacia el este como al oeste de Orosi.

### **IDENTIFICACION DE LAS AMENAZAS**

Las amenazas que se relacionan con el tramo El Llano-Río Navarro del Acueducto Metropolitano básicamente se pueden dividir en tres tipos: tectónico, que involucra sistemas de fallamiento y fracturación neotectónicos activos, sismológico

que involucra la sismicidad del área y que ha provocado terremotos en el pasado reciente. Por último, la desestabilización de las laderas que ha provocado la aparición de deslizamientos de roca y suelo que amenazan tanto a la tubería como a la ciudad de Orosi, a esta última, con avalanchas de lodo.

#### **Amenaza tectónica: Geología Estructural**

El área de Orosi está afectada por tres sistemas de fallas muy complejos: Sistema Navarro, Orosi y Aguacaliente.

Cada uno de ellos presenta morfología típica de zonas de fallas como los bloques facetados, terrazas levantadas, cerros relictos y distorsión del patrón de drenaje. Otras evidencias de índole geológicas son: contactos litológicos anómalos (por falla), ganchos de falla y zonas de fallas.

#### **Sistema Navarro**

Está constituido por un fuerte lineamiento de rumbo E-W, en un sistema tectónico compresivo. La falla principal es normal con desplazamiento de rumbo lateral izquierdo, en donde el bloque norte está hundido respecto al bloque sur y con un desplazamiento de este último hacia el este (Fig.3). El arrastre normal está representado por facetas triangulares, las cuales indican un movimiento relativo del ascenso del bloque sur respecto al bloque norte. El movimiento transversal está evidenciado por cerros aislados típicos para este tipo de fallas, así como un desplazamiento (sinistral) del contacto entre las formaciones Pacacua y San Miguel.

Por último, este sistema podría considerarse como el límite nororiental de la Cordillera de Talamanca.

#### **Sistema Aguacaliente**

Es un sistema oblicuo donde, a diferencia del anterior, se trata de una tectónica compresiva de dirección noroeste y este-oeste que genera fallas de desplazamiento de rumbo sinistral de carácter inverso (Fig.3).

Actualmente, el bloque noreste, se está levantando, debido a los esfuerzos compresivos.

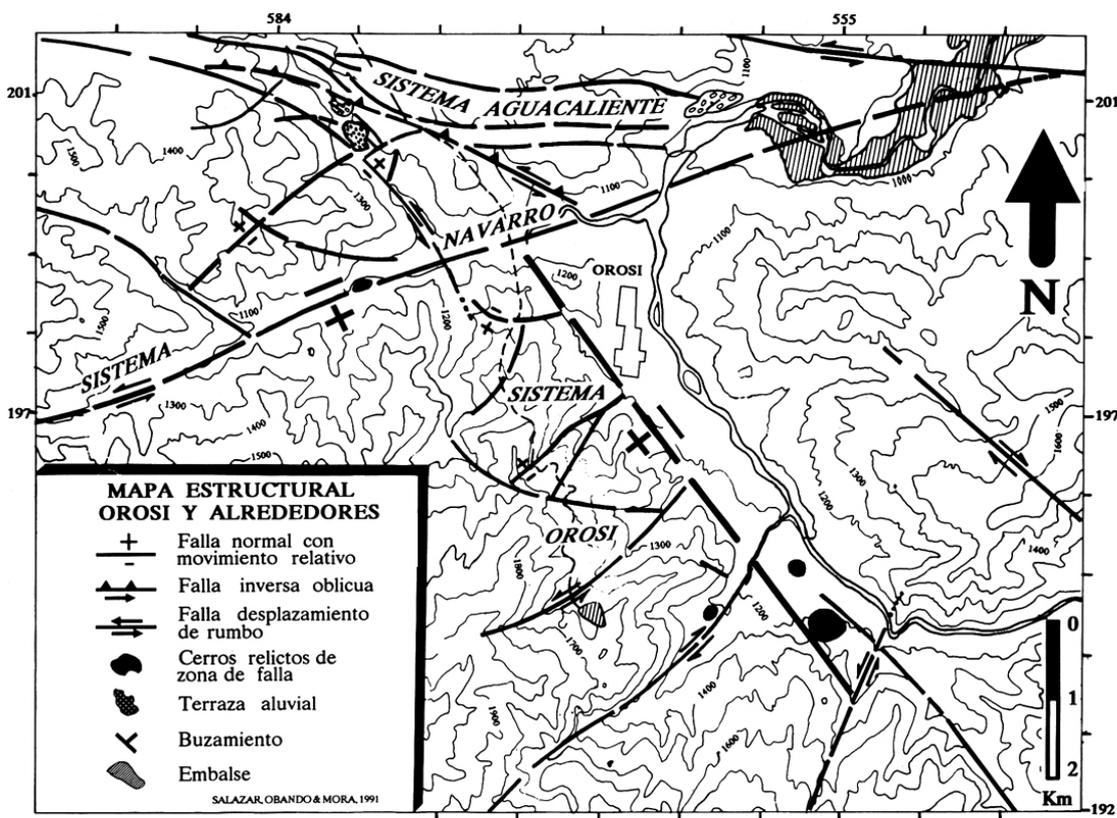


Fig. 3: Mapa estructural. Orosi y alrededores.

Las evidencias de tal levantamiento son las terrazas, no pareadas, levantadas alrededor de 20 m, en el sector noreste del Río Aguacaliente, así como, el basculamiento hacia el noreste de las lavas del Miembro Paraíso.

### **Sistema Orosi**

Se constituye como el sistema de más envergadura de la zona (Fig.3), ya que está formado por una zona de falla que llega a alcanzar más de 1 km de ancho, sobre la cual se asienta la Ciudad de Orosi y la casa de máquinas de Río Macho.

Se trata de una falla normal donde el bloque este está deprimido.

Al ser una zona tan amplia, es rica en evidencias morfológicas y geológicas, como lo son cerros aislados, bloques facetados, fuentes termales y contactos por falla.

Unido a este sistema tectónico se encuentra asociado un sistema de rumbo sureste-este de fallas principalmente trascurrentes en el bloque levantado (bloque oeste de la falla principal), así como algunas inversas en respuesta al carácter compresivo de la región.

### **Amenaza sismológica: Peligrosidad sísmica**

En el pasado reciente el sistema Aguacaliente provocó dos sismos importantes de  $M < 6$ . De los cuales, uno de ellos (1910), destruyó la ciudad de Cartago. El otro (1951), causó daños en la ciudad de Orosi. Actualmente, el sistema presenta sismos pequeños que la confirman como zona sísmica activa.

El Sistema Navarro, es el único que no ha tenido eventos de gran magnitud, pero desde la década de los 80 se ha constituido como el más activo, con sismos hasta de 4 grados de magnitud.

### **Sismicidad que afecta el sector estudiado**

La sismicidad en el área de estudio ha sido constante a lo largo del tiempo, algunos de estos sismos destruyeron la ciudad de Cartago por completo. MONTERO & MIYAMURA (1981) señalan que los terremotos históricos destructivos de Costa Rica han ocurrido principalmente en el interior del país en terrenos terciario-cuatemar-

ios de origen volcánicos y sedimentarios con focos característicamente superficiales. Ejemplos típicos de sismos intraplaca con profundidades de menos de 25 km son los terremotos de: Patillos (1952, falda norte del Irazú), Piedras Negras (22 de diciembre, 1990) y más recientemente el de Limón (22 de abril, 1991), el cuál reactivó localmente algunos deslizamientos de suelo y roca en los cortes practicados para el acueducto.

Los sismos de la parte oriental del Valle Central (periodo comprendido entre 1821-1991, Fig.4) presentan siempre eventos con una magnitud no mayor de 6, esto incluye los terremotos destructivos en esa área. Como se observa en la figura 4, además de los terremotos que están marcados con cruces (+), existe una concentración de sismos pequeños, localizados al suroeste de Cartago y que se ubican en la cuenca superior del Río Navarro, los cuales no superaron para ese periodo una magnitud de 3.

El mapa epicentral de magnitudes para  $M > 4$  y  $M < 6$  (Fig.5-A) muestra un detalle de los terremotos ocurridos en Cartago y alrededores, en donde, los sismos del 4 de mayo 1910 y quizás el 21 de agosto 1951, fueron los más destructivos. El perfil de hipocentros (Fig.5-B), demuestra que la mayoría de ellos son superficiales. Algunos localmente puede llegar a tener profundidades de hasta 97 km (choque de placas).

### **Sismicidad de 1910**

La ciudad de Cartago fue sacudida por el terremoto de 1689(?), el terremoto del 2 de septiembre del 1841, 13 de abril 1910 y el del 4 de mayo de 1910 (Fig.5-A), que de acuerdo a MONTERO & MIYAMURA (1981) éste último fue la mayor catástrofe sísmica en la historia de Costa Rica, oficialmente se reportaron más de 300 muertos, con una población cartaginesa de aproximadamente 10.000 habitantes en 1910. Los daños estuvieron concentrados especialmente en las ciudades de Cartago y Paraíso y en algunos poblados aledaños. Ocurrió aproximadamente a 8,9 km de profundidad y con una magnitud ubicada entre 4,5 y 6,3 (magnitud local ML promedio de 4,5), se ubica a unos pocos kilómetros al sur de la ciudad de Cartago. La causa fue la Falla Orosi-Agua Caliente, una falla trascurrente de rumbo

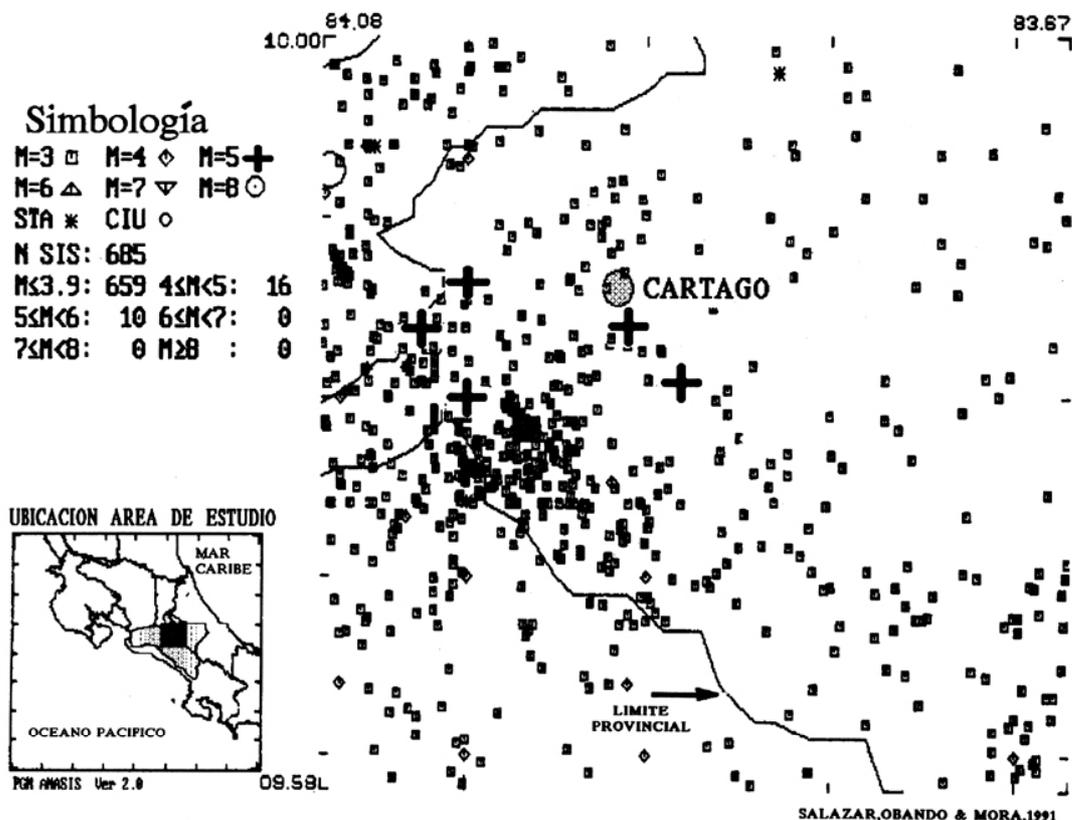


Fig. 4: Sismos de la parte oriental del Valle Central (1821-1990). Fuente: Red Sismológica Nacional (RSN, ICE-UCR).

aproximadamente este-oeste, por donde la actividad sísmica migró y provocó el evento del 4 de mayo (MONTERO & MIYAMURA, 1981). No se descarta la reactivación de fallas secundarias durante 1910.

#### *Terremoto del 21 de agosto de 1951*

BOSCHINI (1989), señala que el temblor del 21 de agosto, ocurrió a las 23 horas, 45 minutos del día 21 de agosto de 1951 (Fig. 5-A). MONTERO & MORALES (1988), proponen que la fuente sísmica de este evento fue la falla Agua Caliente-Orosi (Fig. 3), cuyo epicentro se localiza cerca del poblado de Orosi. Aquí se señalan severos daños al igual que en Paraíso. BOSCHINI (1989), señala que decenas de personas quedaron sin vivienda y las cañerías sufrieron

muchos daños. La Iglesia Colonial de Orosi sufrió daños en las bases, la fachada se desplomó y se cuarteó la torre del campanario. En la Hacienda "Maruja", los muebles quedaron en desorden, la caja de hierro fue lanzada contra una silla, el piano y el billar se movieron, las paredes y mosaicos se agrietaron y las puertas del garaje se despegaron de las bisagras. En Paraíso, los puentes se dañaron, y quedaron sin hogar y sin agua potable más de 200 personas (BOSCHINI, 1989).

En general fue de VII con una intensidad puntual de VIII en la escala MERCALLI-CAN-CANI modificada y con una profundidad menor a los 20 km. Se indica que la dirección de la onda sísmica fue de NNE a SSW. La magnitud de este sismo fue mayor o igual que 5 y menor que 6 (BOSCHINI, I., 1991, comunicación verbal).

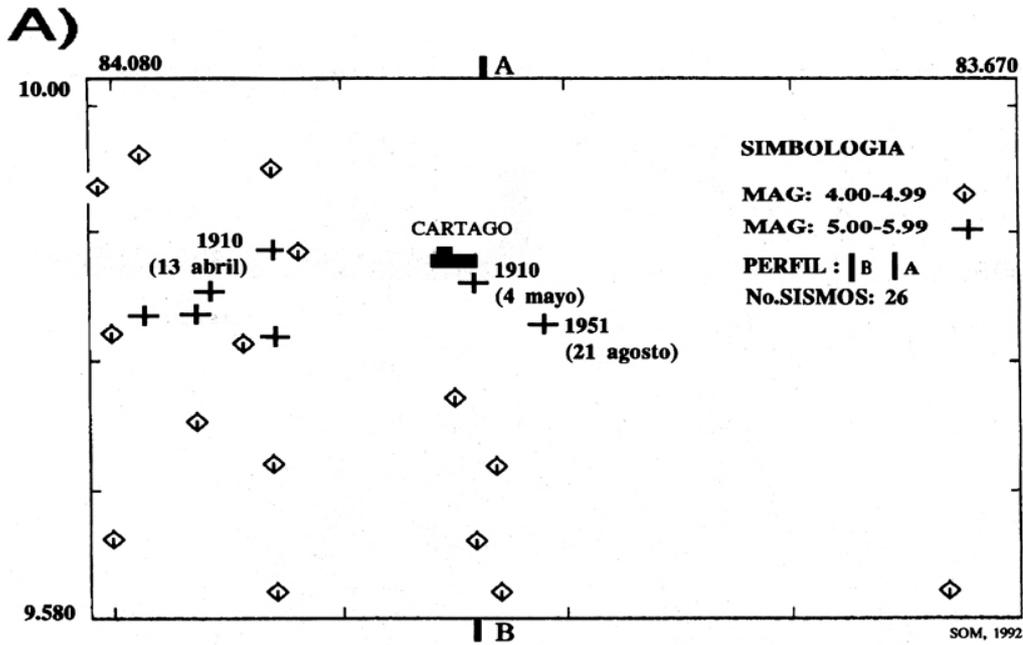


Fig. 5a: Mapa epicentral de magnitudes ( $M > 4$  y  $M < 6$ ), 1821-1990. Cartago y alrededores. Fuente: Red Sismológica Nacional (RSN, ICE-UCR).

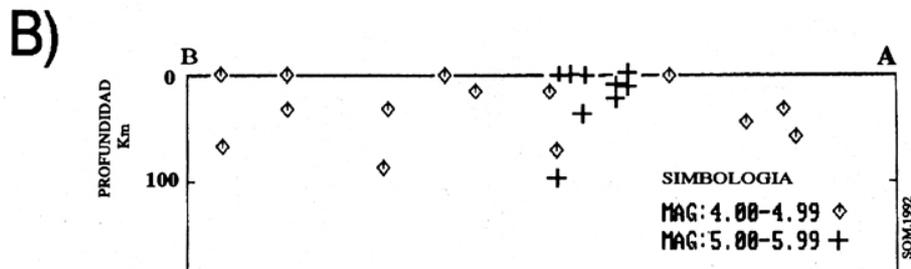


Fig. 5b: Perfil de hipocentros, ( $M > 4$  y  $M < 6$ ), 1821-1990. Fuente: Red Sismológica Nacional (RSN, ICE-UCR).

**Amenaza de la desestabilización de laderas y fenómenos asociados**

En el sector estudiado, se ha indentificado una cantidad importante de deslizamientos activos y algunos inactivos. Las causas principales de estos fenómenos se asocian a prácticas inadecuadas

en lo que respecta al uso de la tierra, intervención del hombre por medio de construcción de obras de infraestructura civil y eventos relacionados con zonas de fallas en la corteza terrestre, (Fig.6).

El tramo del acueducto más seriamente amenazado se localiza desde su paso por la Quebrada

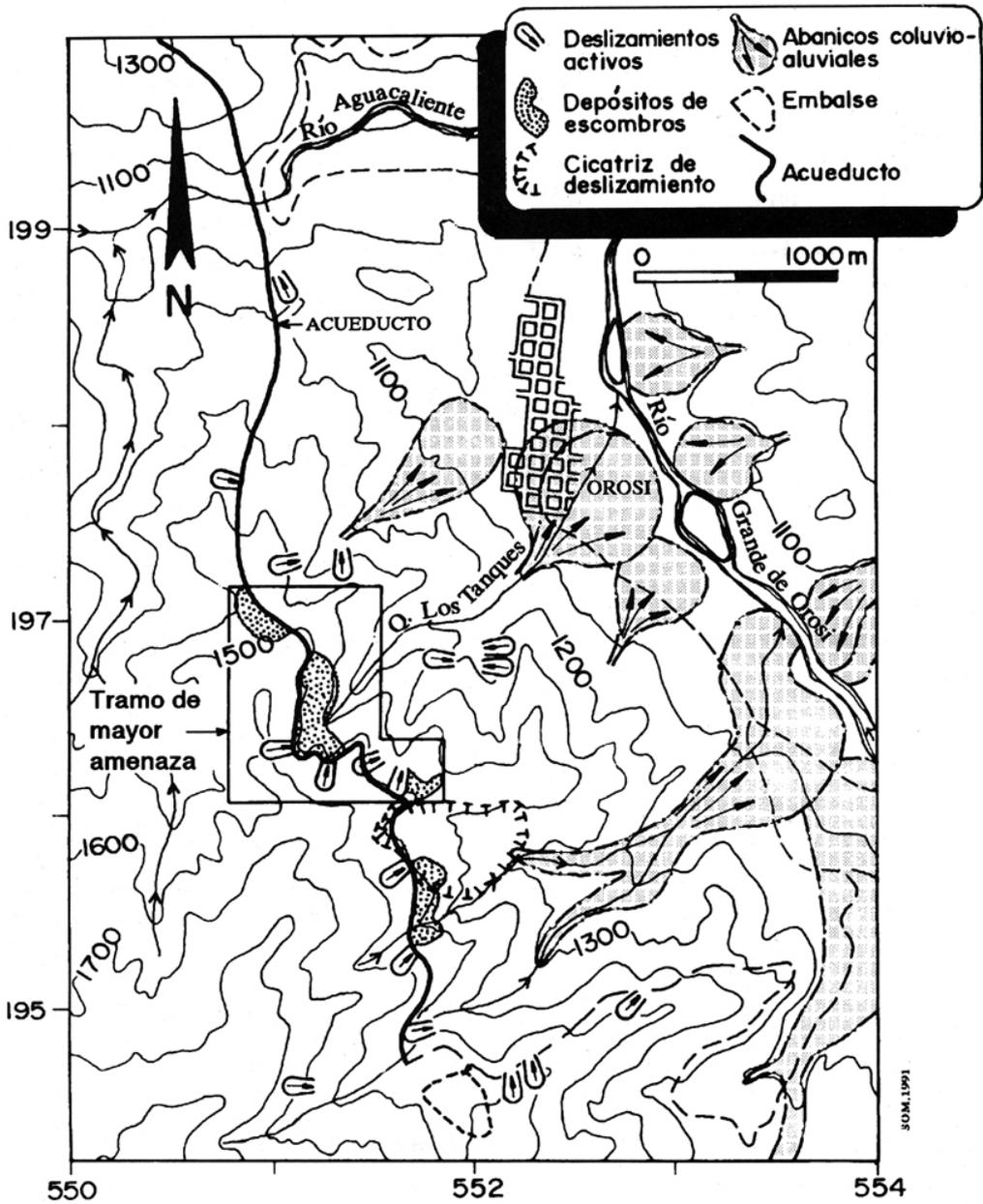


Fig. 6: Mapa de deslizamientos y fenómenos asociados. Orsi y alrededores.

SOM, 1991

Los Tanques hasta unos 600 m en dirección sur-este. A lo largo de este sector se ubican 4 deslizamientos de volumen considerable, que podrían incidir directamente sobre la seguridad y estabilidad de la obra (Fig.6).

La gran mayoría de los deslizamientos se han desarrollado en suelos residuales de las Formaciones Pacacua y Coris, involucrando los horizontes A, B, C de las mismas. Los volúmenes son muy variados, dependiendo del grado de desarrollo del suelo residual y de las condiciones topográficas del sitio. En algunos casos la superficie de ruptura podría localizarse algunos metros bajo la tubería y otros siguiendo los planos de estratificación de las rocas sedimentarias, los cuales pueden alcanzar hasta 80 grados de buzamiento.

Uno de los problemas más serios lo constituye el material removido durante la etapa constructiva del Acueducto Metropolitano, el cual fue simplemente depositado en las laderas con pendientes sumamente elevadas. A raíz de esto y por efecto de la escorrentía superficial se han presentado fenómenos de avalanchas de lodo y rocas en la microcuenca de la Quebrada Los Tanques que han puesto bajo seria amenaza el sector sur de la Ciudad de Orosi.

Debido al mal manejo del suelo y a las medidas de manejo de aguas superficiales (cunetas y vertederos) implementados, las quebradas han entrado en una nueva etapa de erosión, profundizando sus cauces y provocado la inestabilidad de las laderas. Esto ha ocasionado el arrastre de volúmenes considerables de material regolítico y escombros por el agua, principalmente en la estación lluviosa.

La presencia de 8 abanicos coluvio aluviales de gran extensión (Fig.6), indica claramente que en el pasado el Valle de Ujarrás ha estado expuesto a fenómenos repetitivos de avalanchas. Todos estos abanicos se encuentran en el sector donde las quebradas abandonan su cauce encajonado y torrentoso para alcanzar las partes bajas del valle, lugar donde a su vez se ubican la Ciudad de Orosi, sus alrededores y obras de infraestructura sumamente importantes como: puentes, vías de comunicación, casa de máquinas Río Macho, torres de conducción eléctrica y acueducto de la Ciudad.

Las medidas correctivas implantadas, como muros de retención, muros de gabiones, drenajes, etc, en algunos de los deslizamientos, han funcionado solo parcialmente, esto a su vez evidencia un total desconocimiento o caso omiso de las características geológicas de la región no solo antes, sino aún después de la construcción de la obra.

De presentarse fenómenos conjugados tales como sismos, lluvias, que provoquen deslizamientos, se establece la posibilidad de represamientos de los cauces con volúmenes importantes de material, esto a su vez podría desencadenar fenómenos de avalanchas de lodo y rocas, las cuales se movilizarían por los cauces hasta las parte más bajas del valle donde se asienta la población y se localizan las principales obras de infraestructura del Valle de Orosi.

## CONCLUSIONES

En el tramo del Acueducto Metropolitano comprendido entre el embalse El Llano y el Río Navarro, existen varios deslizamientos que representan una amenaza para la población de Orosi.

Los Sistemas de fallamiento local y regional identificados (Orosi, Aguacaliente, Navarro), presentan una sismicidad casi continua desde 1821, el Sistema Orosi-Aguacaliente provocó en un pasado reciente un terremoto que destruyó por completo la ciudad de Cartago (1910) y en 1951, un sismo, originado en el mismo sistema de fallas, causó daños severos a la ciudad de Orosi. La actividad sísmica en las fracturas del Sistema Navarro han sido casi constante en los últimos años originando enjambres de sismos con magnitudes no mayores de 4.

Dado que las prácticas constructivas empleadas en el acueducto no tomaron en cuenta o ignoraron las condiciones geológicas del sector, los deslizamientos de roca y suelo han llegado a ser importantes en estos años, recrudesciendo su actividad en los periodos lluviosos. La deposición de escombros en áreas de fuertes pendientes son propensos al deslizamiento y algunos ya son activos dado que las medidas correctivas han funcionado solo parcialmente. Durante el invierno del año 1990, se presentaron fenómenos de

avalanchas de lodo y rocas en la cuenca de la Quebrada Los Tanques, inundando el caserío del sector sur de Orosi. Aunado a esto, se están presentando problemas de erosión de fondo y de laderas en las quebradas, producto del incremento del caudal de agua en ellas, a raíz del manejo de las aguas superficiales con el fin de evitar la caída de estas aguas sobre la tubería. Así, la posibilidad de que los cauces sufran algún represamiento en el futuro no debe descartarse, lo que podría provocar avalanchas de lodo sobre la ciudad y obras civiles importantes.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente es necesario:

- 1) Implementar dispositivos de drenaje en las escombreras ampliando las medidas correctivas aplicadas en estos depósitos, con el objeto de brindarles la estabilidad óptima que ameritan.
- 2) Controlar y manejar los deslizamientos provocados por la erosión en profundidad de las quebradas, por ejemplo, Los Tanques y otras alledañas.
- 3) Investigar detalladamente los deslizamientos localizados a lo largo de la tubería, con el objeto de emprender medidas correctivas, como por ejemplo: control topográfico y caracterización físico-mecánica de suelos y rocas, diseño de taludes acuerdo a los parámetros de resistencia al corte de los materiales, monitoreo de la actividad de deslizamientos a través de inclinómetros, piezómetros, etc; todo esto basado en un trabajo detallado de la geología para cada uno de los casos. Así, a partir de estos estudios, podrían presentarse nuevas alternativas en el trazado de la tubería (túneles por ejemplo), para evitar los sectores más problemáticos.
- 4) Controlar la intensa erosión en los taludes afectados por fallamiento.
- 5) Realizar un manejo adecuado de cada microcuenca involucrando: erosión, infiltración, uso y manejo del suelo, estabilidad de laderas, etc).
- 6) Modelaje computarizado de las microcuencas y simulación de posibles escenarios en caso de avalanchas sobre la Ciudad de Orosi o cualquier obra civil.
- 7) Implementar planes de acción en caso de emergencia (por ejemplo: caso de un sismo grande) en relación con la tubería con la participación de la población de Orosi.

**Agradecimientos:** Deseamos agradecer a los revisores anónimos del manuscrito, a la Revista Geológica de América Central y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera colaboraron en la presente investigación.

#### REFERENCIAS

- AVILA, G., 1990: Programa Análisis sísmológico (ANASIS).
- BLAIR, E., SALAZAR, R. & FAUSTINO, J; 1987: Informe de asesoría realizado por el Inst. Cost. de Acueductos y Alcantarillados. Problema en el desarrollo del acueducto "Proyecto Orosi". - 20 págs. (inédito).
- BOSCHINI, I., 1989: Incidencia de las fuentes sísmicas en la región caribe de Costa Rica. - 97 págs. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica (tesis inédita).
- FISCHER, R. & FRANCO, J., 1979: La Formación Coris (Mioceno, Valle Central, Costa Rica). - Inst. Geogr. Nac. Inf. Semestr. Enero-Junio: 15-71.
- MONTERO, W. & MIYAMURA, S.; 1981: Distribución de intensidades y estimación de los parámetros focales de los terremotos de Cartago de 1910, Costa Rica, América Central. - Inst. Geogr. Nac. Inf. Semestr. Jul.-Dic.: 9-34.
- SALAZAR, L & PERALDO, G.; 1990: Reporte de campo: Zona de Orosi, Provincia de Cartago. - 2 págs, 2 mapas, Comisión Nacional de Emergencias (informe inédito).
- OBANDO, L.; 1983: Estratigrafía y petrología de las rocas aflorantes al sur del Valle Central (Tarbaca). - 140 págs. Escuela Centroamericana de Geología, Univ. Universidad de Costa Rica (tesis inédita).