

ANÁLISIS DE TRES CASOS REPRESENTATIVOS DE VULNERABILIDAD DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA ANTE MOVIMIENTOS DE MASA DE ORIGEN CLIMÁTICO Y/O COSÍSMICOS EN EL ESTADO TÁCHIRA (VENEZUELA)

ANALYSIS OF THREE REPRESENTATIVE CASES OF INFRASTRUCTURE VULNERABILITY TO MASS MOVEMENTS OF CLIMATIC AND/OR CO-SEISMIC ORIGIN, IN TÁCHIRA STATE (VENEZUELA)

Luz M. Rodríguez^{1,2} y André Singer¹.

¹Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas
lrodriguez@funvisis.gob.ve

²Universidad Central de Venezuela (Estudiante de doctorado)
singer.andre1@gmail.com

Rodríguez, L. M.; Singer A. (2013). *Análisis de tres casos representativos de vulnerabilidad de obras de infraestructura ante movimientos de masa de origen climático y/o cosísmicos en el estado Táchira (Venezuela).* GEOLOGIA COLOMBIANA, Vol. 38. Bogotá, Colombia. pp. 89-97.

Manuscrito recibido: 26 de julio de 2012; aceptado: 1 de junio de 2013

Resumen

Los Andes del Táchira constituyen una de las regiones de Venezuela con mayor potencial de riesgo de origen geológico y sísmico, razón por la cual los movimientos de masa disparados periódicamente en época de lluvias o por eventos sísmicos, inclusive de media a baja magnitud, se convierten en un factor *a priori* significativo de vulnerabilidad y falla de las obras de infraestructura, con el correspondiente saldo de víctimas y pérdidas materiales. El presente trabajo reúne tres estudios de casos concernientes al estado Táchira, donde obras de ingeniería han colapsado o sufrieron severas deformaciones permanentes por encontrarse construidas las mismas en sitios geológicamente inestables. En los tres casos, es notorio que el comportamiento conflictivo de las obras no obedece a causas naturales, sino al desconocimiento o menosprecio de las condiciones de sitio locales, previamente a la construcción de aquellas obras. En dos de estos casos, el agente disparador es un evento sísmico de moderada a baja magnitud, que coincide con la época de lluvia. En el tercer caso, es el propio acondicionamiento geotécnico del sitio de ubicación de la obra el responsable de la falla de la misma, al haberse amputado el frente de un deslizamiento rotacional para dar paso a una autopista y resultar severamente deformada la vía, debido a la aceleración de los empujes de tierra en un período de intensas precipitaciones. La ubicación imprudente de obras de importancia vital en condiciones de sitio geológicamente inestables, contribuye en forma significativa a la vulnerabilidad funcional de las mismas y al acortamiento de su vida útil, no obstante los gastos de reparaciones y mantenimiento pueden superar con creces el costo inicial de aquellas obras.

Palabras clave: sitios inestables, infraestructuras, vulnerabilidad, Andes del Táchira, Venezuela.

Abstract

The Táchira Andes constitute one of the regions of Venezuela with major geologic and seismic risk. For this reason, mass movements periodically triggered during the rainy season or by seismic events of small to medium

magnitude may become a significant *a priori* vulnerability factor of infrastructure leading to human victims and material loss. In this work, three cases were analyzed in Táchira state, where engineering projects have collapsed or have been deformed because they were constructed in geologically unstable zones. In the three cases, it is worth noting that the conflictive behavior of the structures does not obey to natural causes. Instead, it reflects the lack of knowledge or disregard for the potentially unstable places before the design and construction of the infrastructures analyzed. In two of the cases, the trigger was a seismic event of small to moderate magnitude which coincided with the rainy season. In the third case, it is the very geotechnical condition of the structure's location site that is responsible for its failure, since the front of a rotational landslide was cut off to make way for a highway. This resulted in severely deforming the road due to the acceleration of earth sliding during a period of heavy rains. The inappropriate location of infrastructure of vital importance in geologically unstable places significantly contributes to their vulnerability and a shortening of their useful life time, notwithstanding, the costs of repair and maintenance that may grow beyond the initial cost of these projects.

Key words: unstable sites, infrastructures, vulnerability, Táchira Andes, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

Entre los estados andinos de Venezuela, el Táchira es una de las regiones que concentra el mayor potencial de inestabilidad geológica como reflejo de su complejidad sismotectónica y de condiciones litológicas y bioclimáticas adversas (Singer et al. 1983). En un contexto como el señalado, son recurrentes las interrupciones de servicio de obras de infraestructura esenciales, como las vías de comunicación o las instalaciones para el suministro

de agua potable, debido a accidentes geotécnicos que ocurren a veces a escasos años de la puesta en funcionamiento de las mismas. De una manera general, el estado de vulnerabilidad funcional de aquellas obras, se debe al desconocimiento o menosprecio de las condiciones geomorfológicas de sitio, y a la intervención imprudente de la topografía original y de drenajes naturales. Los tres casos representativos de fallas de obras analizadas en este trabajo (Figura 1), suministran claras evidencias de lo

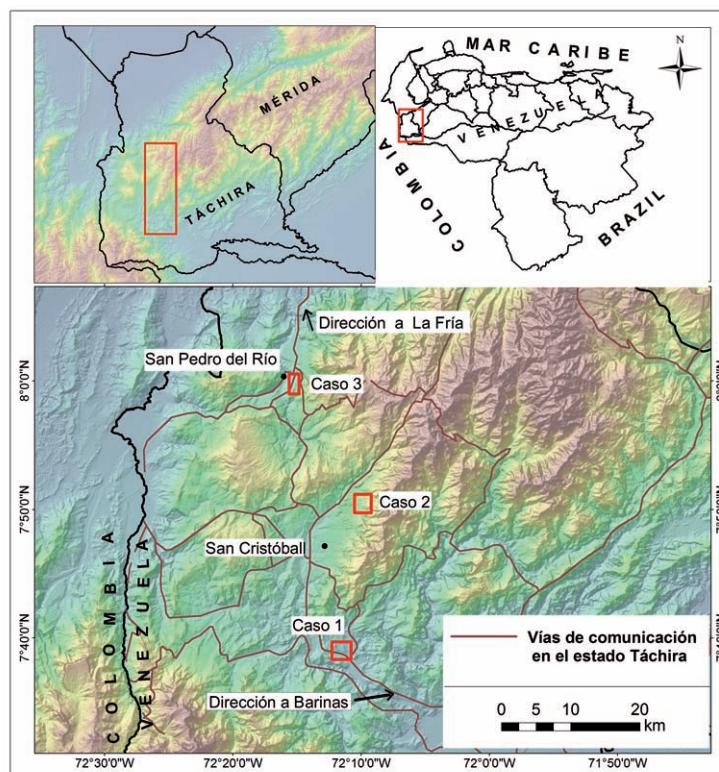


Figura 1. Ubicación de los casos estudiados en la presente contribución. Documento Base: NASA (2005).

planteado. En dos de los casos, ubicados respectivamente en San Josesito y San Rafael de Cordero cerca de San Cristóbal, la falla de las obras ocurre bajo el impacto de eventos sísmicos de baja a moderada magnitud. El tercer caso corresponde al sitio de un gran deslizamiento cortado por la autopista San Cristóbal-La Fría en Angostura, frente a San Pedro del Río. A raíz de las lluvias de finales del año 2010, la vía de bajada de este eje de comunicación con el piedemonte norandino se interrumpió, debido a la aceleración del movimiento de empuje de los terrenos deslizados, que induce el corte de la autopista.

CONDICIONES GEOLÓGICAS REGIONALES

La amplia gama de rocas ígneo-metamórficas y sedimentarias que afloran en el Táchira, abarcan una extensa ventana de tiempo desde el Precámbrico hasta el presente (Hackley et al. 2006). Hacia el interior de la cadena, la parte más levantada de la cordillera surandina corresponde a rocas cristalinas ígneo-metamórficas asociadas con rocas sedimentarias, que incluyen secuencias del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico (González de Juana et al. 1980).

Por ubicarse en un eslabón de geometría muy compleja, conocido como el “punzón de Pamplona” (Boinet et al. 1985), responsable de la articulación del límite activo de placas entre el Caribe y Suramérica, la región fronteriza del Táchira, presenta una sismicidad superficial muy profusa, relacionada con fuentes múltiples de actividad sismotectónica asociadas con las ramificaciones de la falla maestra transcurrente de Boconó (fallas de Aguas Calientes-Seboruco-La Grita, Caparo, etc.) y con los accidentes estructurales activos de tipo inverso ubicados en ambos frentes montañosos de los Andes venezolanos, en dirección a las cuencas de Maracaibo, Barinas, y del borde llanero de la cordillera oriental colombiana (Singer et al. 1991; Beltrán 1993; Audemard et al. 2000).

Debido a la referida complejidad tectónica, las unidades geológicas suelen cambiar drásticamente de características en cortas distancias, lo cual incide en la diversidad local de escenarios estructurales y litológicos. Adicionalmente, es notoria la presencia regional de formaciones geológicas de condiciones geotécnicas conflictivas, como es el caso de las arcilitas y limolitas deleznables de la Formación La Quinta de edad jurásica, y de las intercalaciones de rocas constituidas por “formaciones-esponja” representadas por calizas fracturadas y areniscas friables, alternando con capas-sello de lutitas negras y de arcillas del Mesozoico (Formaciones Capacho, Río Negro, Co-

lón y Aguardiente) o del Terciario (Formaciones Mirador, Carbonera, etc); González de Juana et al. (1980). Estas condiciones litológicas propician escenarios de gran inestabilidad potencial de los terrenos, en particular en los pisos bioclimáticos y en las exposiciones de ladera con mayor concentración de humedad. La combinación de estas condiciones desfavorables se traduce por el desarrollo muy generalizado de movimientos de masa, generadores de deformaciones permanentes destructoras, tanto bajo carga estática como dinámica, como ocurre en los casos de obras de infraestructura analizados en este trabajo.

METODOLOGÍA

El estado Táchira es una de las regiones de Venezuela que cuenta con el mayor número de casos documentados de inestabilidad geológica y de fallas de obras como lo señala el Inventario Nacional de Riesgos Geológicos (Singer et al. 1983). Los tres estudios de casos ejemplificados a continuación, son representativos de la vulnerabilidad que caracteriza determinadas obras de infraestructura mal ubicadas o mal adaptadas a condiciones de sitio inestables. El primer ejemplo corresponde a la vía Troncal 5, que comunica San Cristóbal con el llano en dirección a Barinas en el sector de San Josesito; el segundo ejemplo concierne al sitio de la planta de tratamiento de agua del acueducto regional en San Rafael de Cordero, que surte a la ciudad de San Cristóbal y poblaciones vecinas, y el tercer ejemplo, al sitio de corte por la autopista San Cristóbal-La Fría, del frente de empuje de un gran deslizamiento ubicado en el sector de Angostura frente a San Pedro del Río. En los dos últimos casos, se dispuso de fotografías aéreas del Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVS), previas a la construcción de las respectivas obras de infraestructura afectadas, para realizar una evaluación secuencial de la morfología original y de la topografía que resultó modificada por las obras, como es el caso de la misión A-34, (fotos 804-805) a escala 1:25.000 del año 1952 en el ejemplo dos, y de la misión 010298 (Fotos 034-035) a escala 1.50.000 del año 1971 en el ejemplo tres. Adicionalmente, se revisó la información geológica regional de interés producida por el Instituto Geológico Minero (INGEOMIN), como es el caso del mapa geológico San Cristóbal-Uribante, a escala 1:50.000 del año 1967 por Useche (1967) para el ejemplo uno, y del mapa geológico San Cristóbal a escala 1:100.000 del año 1986 Useche & Sampol (1986), para los ejemplos dos y tres. También se cotejaron en el campo, las observaciones obtenidas previamente por Singer et al. (1982); Beltrán (1989) y Rodríguez et al. (2011), en los respectivos sitios analizados.

ANÁLISIS DE CASOS REPRESENTATIVOS

1. *El colapso cosímico del terraplén vial de San Josesito en la carretera hacia el llano, al sur de San Cristóbal, el 18/10/1981*

En la referida fecha, un evento sísmico superficial de magnitud moderada de 5,5 mb, ocurrido en periodo de lluvia y con epicentro ubicado a 75 km al norte de San José de Cúcuta (Colombia), disparó abundantes efectos geológicos cosísmicos (Singer et al. 1982) (Figura 2). Los efectos más comunes consistieron en caídas de rocas y colapsos de taludes viales, ocurridos en particular en la vertiente semi-árida en dirección a San Antonio del Táchira, así como en incrementos locales de la actividad de deslizamientos en ambientes húmedos, además de colapsos subsuperficiales de suelos arcillosos orgánicos agujerados, conocidos regionalmente como “tatuco”.

El colapso cosímico ocurrido en plena noche en San Josesito, del terraplén vial de la carretera Troncal 5, que une San Cristóbal con el llano venezolano (Figuras 3 y 4), constituye el efecto local más importante y destructor

producido por el referido evento sísmico, al permanecer interrumpida esta vía principal y al quedar arrastrado por un flujo de lodo un barrio marginal ubicado al pie del talud del terraplén, con un saldo de 50 víctimas mortales rescatadas y de un número de desaparecidos probablemente mucho mayor (Singer et al. 1982).

Para mantener alejada la carretera Troncal 5 de las divagaciones laterales de los ríos Torbes, Quinimarí y Frío en el estrecho corredor topográfico que conduce hacia al llano, se acondicionó esta obra vial por medio de importantes tramos de terraplenes artificiales, ubicados en las laderas inestables colindantes con la vega inundable de los referidos drenajes. Varios de estos terraplenes, como el de San Josesito, ciegan drenajes naturales o se asientan sobre formaciones de ladera deslizadas y antiguas coladas de barro originadas a partir de las lutitas cretácicas, de condiciones geotécnicas conflictivas, pertenecientes a las formaciones Colón y La Luna (Useche, 1967). Debido a estas condiciones de sitio desfavorables, el terraplén de San Josesito se encontraba en condiciones de estabilidad precaria para la fecha de ocurrencia del evento sísmico del 18 de octubre de 1981.

De hecho, y anteriormente a este suceso, el tramo sur del terraplén había sido reconstruido en el transcurso del año 1978 (Singer et al. 1982), lo cual atestigua el estado de vulnerabilidad que caracterizaba a esta obra vial. El colapso de la vía ocurre como resultado del flujo cosímico de los materiales granulares saturados de la base del terraplén, como probable consecuencia de la modificación de



Figura 2. Ubicación de los efectos geológicos cosísmicos del terremoto del 18/10/1981 en la región del Táchira y localización del terraplén vial colapsado de San Josesito. Modificado de Singer et al. (1982).

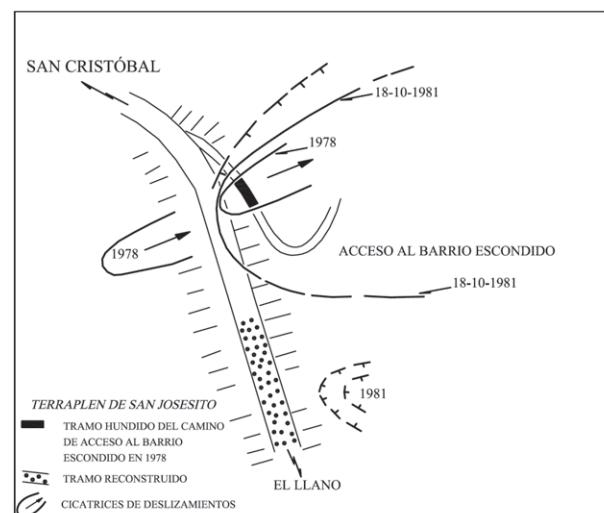


Figura 3. Croquis de detalle del sitio de colapso en el terraplén de San Josesito, inducido por el terremoto de 1981 y localización de manifestaciones de inestabilidad anteriores a este evento sísmico. Modificado de Singer et al. (1982).



Figura 4. Colapso cosísmico del terraplén de San Josesito por un flujo de barro y destrucción del barrio marginal ubicado al pie del talud. El tramo de la obra, reconstruido en 1978, se observa a la izquierda de la cicatriz de colapso. Fotografía cortesía Ing. Roberto Centeno (1981).

la presión de poros y del consecutivo arrastre del cuerpo de relleno por una colada de barro (Figuras 3 y 4). De esta manera, resultó severamente comprometida por un movimiento sísmico con magnitud de solamente 5,5 mb, una obra de infraestructura de la importancia señalada, al encontrarse la misma en condiciones de estabilidad precaria. Este ejemplo es representativo del estado latente de vulnerabilidad de determinadas obras de infraestructura ubicadas en condiciones de sitio críticas, al no haberse contado previamente a su construcción, con una evaluación geológica adecuada de las mismas.

2. *El colapso cosísmico del talud del terraplén y vía de acceso a la planta de tratamiento de agua potable de San Rafael de Cordero el 04/02/1989.*

El colapso cosísmico del terraplén y vía de acceso a la planta de tratamiento del acueducto regional ubicado en el piedemonte occidental de la serranía de San Cristóbal y que surte de agua potable a las poblaciones de San Cristóbal, San Antonio y Cordero, sucedió a raíz de un sismo de magnitud 4,3 mb ocurrido el 4/02/1989, cerca de dicha planta y después de un evento previo de magnitud 4,5 mb, ocurrido el 30/01/1989 (Figura 5). Este siniestro geotécnico ofrece un ejemplo adicional de la vulnerabilidad de determinadas obras de infraestructura construidas en terrenos accidentados, geológicamente inestables y en

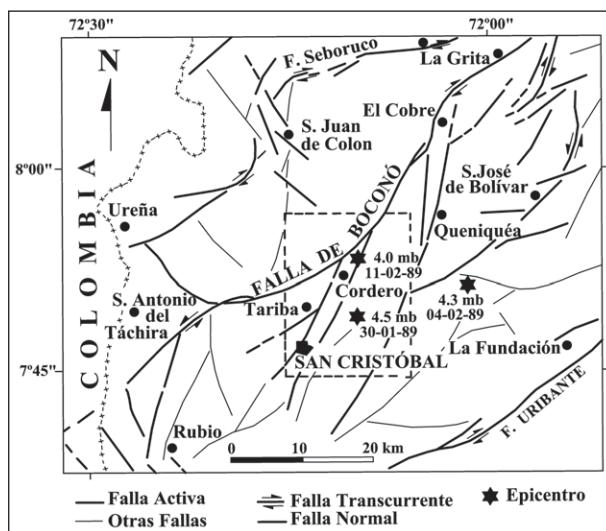


Figura 5. Escenario sismotectónico y ubicación de los epicentros de los eventos sísmicos ocurridos en enero y febrero de 1989 en la cercanía de la planta de tratamiento de agua potable de San Rafael de Cordero. Modificado de Beltrán (1989).

condiciones bioclimáticas de gran humedad. El sitio de ubicación de la obra corresponde a materiales deslizados originados a partir de las limolitas rojizas de la Formación La Quinta, y fue acondicionado por medio del terraceo de una ladera inestable a partir de cortes y de la construcción de terraplenes artificiales bordeados por taludes de mate-

riales de bote, sin tomar en cuenta o menospreciando las condiciones de sitio originales (Figura 6).

Previamente al impacto del evento sísmico del 4/02/1989, que afectó los taludes periféricos del terraplén de esta obra, ocurrieron deslizamientos que ameritaron la realización de trabajos de rectificación en el talud de bote A por medio de bermas hoy deslizadas (Figura 6), y la construcción de muros de contención en el talud de bote B. El evento sísmico del 4 de febrero, ocurrido en periodo de fuertes precipitaciones, hizo colapsar por completo un tramo de 60 m de la vía de acceso a la planta, construido sobre los materiales de bote arenosos y saturados del talud B adosado al terraplén, cuyos muros de contención, una torretera y el tendido eléctrico que surte de energía a la planta, resultaron destruidos. Adicionalmente, y a raíz de sacudidas sísmicas menores ocurridas posteriormente al evento del 4 de febrero, siguieron apareciendo grietas de tracción en el talud B del terraplén. Las condiciones de inestabilidad de este talud, que hacían peligrar la operatividad del acueducto regional, condujeron a la suspensión preventiva temporal del servicio de suministro de agua potable hacia las poblaciones de San Cristóbal, San Antonio y Cordero (Beltrán 1989). Las condiciones de inestabilidad de los terrenos perimetrales de la planta volvieron a manifestarse con las fuertes precipitaciones ocurridas a finales del año 2010 y comienzos del año 2011, de tal manera que los deslizamientos que habían afectado la cara

del talud A en la década de los 80, dañaron la extensión de la vía de acceso a la planta y la cerca perimetral de protección a la misma (Figura 7). Un análisis comparativo por medio de fotografías aéreas de la topografía original y de la topografía modificada del sitio de planta, evidenció claramente las condiciones geomorfológicas de inestabilidad existentes previamente a la construcción de las instalaciones. No obstante, las mismas no fueron tomadas en cuenta en ocasión de los trabajos de acondicionamiento del sitio por medio de movimientos de tierra, los cuales condujeron a eliminar o cegar drenajes naturales, así como a afectar deslizamientos preexistentes.

De manera similar al ejemplo anterior de San Josesito, la planta de suministro de agua de San Rafael de Cordero, de importancia vital para el Táchira, se construyó en un sitio geológicamente inestable, y en condiciones de alta vulnerabilidad geotécnica, como lo ilustra el impacto destructor de un evento sísmico de tan baja magnitud como el del 04/02/1989.

3. Deformaciones de la autopista San Cristóbal-La Fría por el deslizamiento de Angostura en San Pedro del Río.

El último caso representativo de la vulnerabilidad de obras modernas de infraestructura ante movimientos de masa, se refiere a las deformaciones sufridas por la cal-

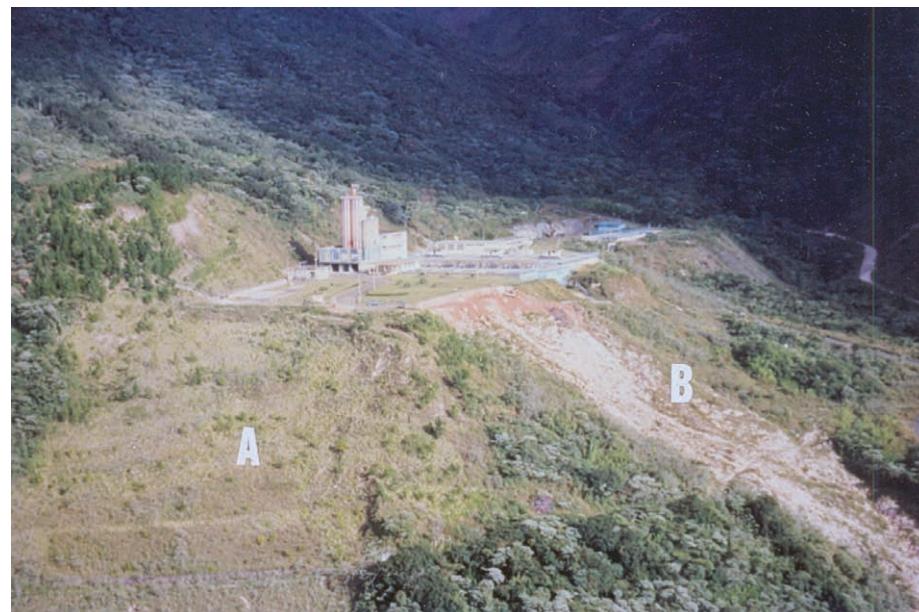


Figura 6. Vista panorámica del sitio de planta de San Rafael de Cordero. En el talud de bote B, huellas frescas del deslizamiento cosísmico de 1989 en el terraplén y vía de acceso a la planta. En el talud de bote A huellas de bermas destruidas, acondicionadas en ocasión de un deslizamiento ocurrido en 1984. Fotografía: Singer (1989).



Figura 7. Vista lateral de la corona de deslizamiento en el talud señalado con la letra A en la figura 6, después de su reactivación por las lluvias de finales del 2010. Fotografía: Rodríguez (2012).

zada de la autopista San Cristóbal-La Fría en el sector de Angostura en San Pedro del Río. En este sector, ubicado en el flanco oriental del cañón del río Lobaterita frente a la población de San Pedro del Río, la autopista San Cristóbal-La Fría corta una zona potencialmente inestable de grandes deslizamientos fósiles rotacionales (Singer et al.

1991), los cuales alcanzan un desarrollo vertical del orden de 500 metros, entre la cota 1200 correspondiente a la corona más alta de los mismos, y la cota 720. Los sectores actualmente más activos de estos deslizamientos se ubican entre las cotas 800 y 720, correspondientes al corte hecho para dar paso a la autopista (Figuras 8).



Figura 8. Señalamiento de los sectores de mayor deformación concentrados en el canal de bajada de la autopista hacia La Fría, como resultado del corte efectuado en la base de uno de los deslizamientos de gran magnitud, a la vista en el sector de Angostura. Foto: Rodríguez (2011).

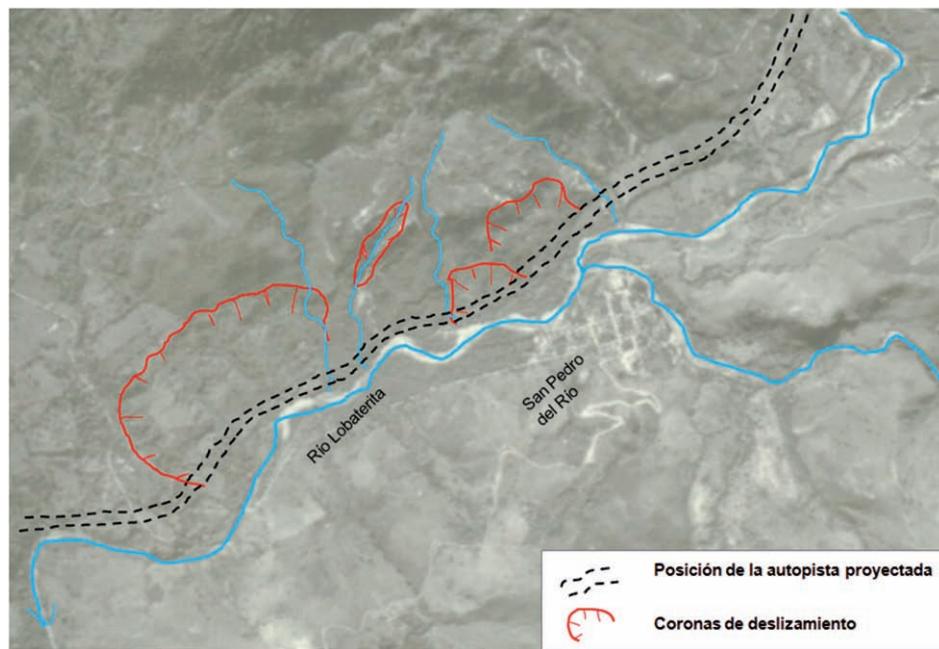


Figura 9. Cicatrices de los deslizamientos de gran magnitud en el sector de Angostura, frente a la población de San Pedro del Río y en el cañón del río Lobatera, (vista aérea 034 de la misión 020198 del año 1971, tomada previamente a la construcción de la autopista).

Las condiciones de sitio previas a la construcción de la referida obra vial se aprecian claramente por medio de fotografías aéreas (misión 010298 a escala 1:50.000 del año 1972), donde se observan nítidas cicatrices de deslizamientos de gran magnitud, previamente a la construcción de la autopista (Figura 9). El corte realizado para dar paso a esta vía condujo a la eliminación imprudente de los terrenos correspondientes al frente de empuje más activo de este deslizamiento y a cegar drenajes, los cuales quedaron confinados detrás del terraplén de la vía. Con las fuertes lluvias caídas al final del año 2010 y comienzo del año 2011, un tramo de la autopista de 1,5 kilómetros de longitud resultó afectado por la aceleración de los movimientos del terreno, con un abultamiento compresivo crítico de la calzada, registrado en el canal de bajada hacia La Fría, que alcanzaba tres metros de altura y 300 metros de largo, debido al empuje de tierra consecutivo al corte indiscriminado de la base del deslizamiento y en dirección a la vega inundable del río Lobatera (Rodríguez et al. 2011).

De la misma manera que en los ejemplos anteriormente analizados, el desconocimiento o menosprecio de las condiciones de sitio de los terrenos escogidos para la ubicación de grandes obras de infraestructura, resulta en la vulnerabilidad inusual y sorpresiva, que manifiestan las mismas ante movimientos de masa, no detectados en la fase de anteproyecto e ignorados en ocasión de los mo-

vimientos de tierra efectuados en la fase de construcción, lo cual conduce al desmejoramiento del comportamiento geotécnico de los suelos en la vecindad y en el asiento de las obras.

DISCUSIÓN

Los tres ejemplos que constituyen el objeto de este trabajo tienen en común la construcción de obras ingenieriles de infraestructura de magnitud y costo considerables, en condiciones de sitio potencialmente inestables deficientemente evaluadas en la fase previa de selección de sitios y trazados de las mismas, y por carencia adicional de una adecuada investigación geológica de los terrenos escogidos para ubicar las obras en forma definitiva.

Otro aspecto en común, que deriva de las deficiencias anteriores, es la intervención indiscriminada de la topografía original, sin la correspondiente evaluación de las características geomorfodinámicas y geotécnicas del entorno cercano de los sitios escogidos para la construcción de las obras. Esta situación conduce al desmejoramiento artificial e insospechado del comportamiento geotécnico de los terrenos de fundación y a fallas de las obras, en particular por concepto de drenajes naturales cegados y de deslizamientos sepultados bajo materiales de relleno o amputados por los movimientos de tierra efectuados para el acondicionamiento de los sitios.

CONCLUSIÓN

Las manifestaciones de vulnerabilidad inusual de obras de infraestructura de magnitud y costo significativo como las arriba señaladas, ante movimientos de masa disparados bajo carga estática y en período de lluvia, o bajo el impacto dinámico de eventos sísmicos de muy baja a moderada magnitud, no son imputables a causas naturales, sino al desconocimiento o menosprecio de las condiciones geológicas y geomorfológicas de los sitios donde las mismas fueron ubicadas, por parte de los estudios de anteproyecto y proyecto previos a la fase de construcción, y al consecutivo desmejoramiento geotécnico, después de la puesta en funcionamiento de las obra, de los terrenos acondicionados por movimientos de tierra artificiales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren dejar constancia de su agradecimiento a los revisores anónimos externos y a los revisores internos de FUNVISIS, quienes con sus sugerencias contribuyeron de manera sustancial al mejoramiento de este trabajo. También se agradece a Marina Peña por la calidad de sus dibujos y a María Alejandra Pérez, por sus revisiones. De igual forma queremos agradecer a la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas y a Michael Schmitz, coordinador del proyecto LOCTI-FONACIT “Geociencia integral de los Andes de Mérida (GIAME)” acometido por FUNVISIS, del cual se han obtenido los fondos para el trabajo de campo. Nuestros reconocimientos van dirigidos también al personal de Protección Civil Táchira y al geólogo Herwart Viete, quienes nos acompañaron en el campo, así como al personal e la sede regional Táchira del Ministerio del Poder Popular para el Transporte y Comunicación (MppTC)

REFERENCIAS

- Audemard, F. A., Machette, M., Cox, J., Dart, R. & Haller, K. (2000): Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Venezuela and its Offshore Regions. US Geological Survey Open-File Report 00-0018. Include map at scale 1:2.000.000 and 78-page report.
- Beltrán, C. (1989): Efectos geológicos del sismo del 04/02/1989 y daños asociados en las instalaciones de la planta del tratamiento del INOS en San Rafael de Cordero, estado Táchira. Informe técnico, FUNVISIS, Caracas. 12 p. (Inédito).
- Beltrán, C. (1993): Mapa Neotectónico de Venezuela a escala 1:2.000.000, FUNVISIS, Caracas.
- Boinet, T., Bourgois, J., Mendoza, H. & Vargas, R. (1985): *Le poinçon de Pamplona (Colombie): un jalón de la frontière méridionale de la plaque caraïbe*. Bulletin de la Société Géologique de France. 8 I(3), 403– 413.
- González de Juana C., Iturrealde, J. & Picard, X. (1980): *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*, Caracas. Ed. Foninves, 2 Tomos, 1021 p.
- Hackley, P., Urbani, A., Karlsen, A. & Garrity, C. (2006): Geologic shaded relief map of Venezuela, U.S Geol. Survey. Open File Rep., 2005-1038.
- NASA, (2005): Shuttle Radar Topography Mission: Instruments. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/instr.htm> (Version 06 August 2008).
- Rodríguez, L., Singer, A. & Páez V. (2011): Análisis de los problemas de estabilidad geológica confrontados por la vialidad y poblaciones del estado Táchira, a raíz de las lluvias de 2010. Informe Técnico (FUN 004), FUNVISIS para MppTC. 63 p (inédito)
- Singer, A., Beltrán, C. & Lugo, M. (1991): Características neotectónicas y parámetros sismogénicos de las fallas activas cuaternarias, y efectos geológicos de la actividad sísmica en la región de proyecto y en las obras proyectadas. Proyecto Sumandes II. Informe Inédito Funvisis para Maraven, S. A. 2 vol. 239 p + anexos.
- Singer, A., Rojas, C. & Lugo, M. (1983): *Inventario Nacional de Riesgos Geológicos. (estado preliminar) Departamento de Ciencias de la Tierra. FUNVISIS*. Serie técnica 03-83. 126 p.
- Singer, A., Sauret, B., Lugo, M., Malaver A., López, O., Chacón, C., Romero, O., Castilla, E. & Grases, J. (1982): *El sismo del Táchira del 18 de octubre de 1981*. Serie técnica 01-82. 104 p.
- Useche, A. (1967): Mapa Geológico de San Cristóbal – Uribante, escala 1: 50.000, Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Dirección de Geología.
- Useche, A. & Sampol, M. (1986): Mapa Geológico de San Cristóbal, Hoja 5739. escala 1:100.000, Ministerio de Energía y Minas, Dirección de Geología.