

**MANEJO DE INESTABILIDAD DE TALUDES EN LA VÍA QUE COMUNICA LAS POBLACIONES DE SAMORÉ (NORTE DE SANTANDER) Y CUBARÁ (BOYACÁ); SECTOR VIAL QUE CORRESPONDE AL EJE DE COMUNICACIÓN CÚCUTA-ARAUCA, COLOMBIA**

**MANAGE OF GIVES UNCERTAINTY GIVES TALUEDES IN THE ROAD THAT COMMUNICATES THE POPULATIONS GIVES SAMORÉ (NORTH OF SANTANDER) AND CUBARA (BOYACA); SECTOR VIAL THAT CORRESPONDS TO THE AXIS GIVES COMMUNICATION CUCUTA-ARAUCA, COLOMBIA**

ROMEL GALLARDO AMAYA<sup>1</sup>, JOSÉ ALBERTO CÓRDOBA ARIAS<sup>2</sup>

**RESUMEN**

En la construcción y mantenimiento de vías, se busca que los usuarios transiten por ellas con el mayor grado de seguridad posible. En esta lógica, un aspecto que cobra relevancia es el grado de estabilidad de los taludes de la vía y es en función de este aspecto que se abordó el problema que ocasionó uno de estos en la vía que comunica las poblaciones de Samoré (Norte de Santander) y Cubará (Boyacá), sector vial que corresponde al eje de comunicación Cúcuta-Arauca. La situación que generó el talud en años anteriores tuvo que ver con el desprendimiento de bloques de roca que ocasionaban taponamientos de la vía, y generaban peligro para los usuarios y obstrucción al cauce del río Cubugón. Esto propició un alto riesgo de accidentes y afectó al comercio de la región. La ejecución de este proyecto buscó identificar los factores condicionantes y detonantes que influyeron de manera directa en la estabilidad del terreno, para que de esta forma se plantearan e implementaran las alternativas de solución a corto y largo plazo, que llevaron a disminuir el nivel de riesgo para los usuarios.

**Palabras clave:** Factores desencadenantes; Caídos de roca; Estabilización; Pantalla anclada.

**ABSTRACT**

In the construction and maintenance of roads, is that users pass through them with the highest level of security possible. Accordingly, an aspect that is important is the degree of stability that have different slopes of the track and is based on this aspect is addressed the problem presented by one of these on the road that connects the towns of Samore (North Santander) and Cubara (Boyaca); road sector that corresponds to the axis of communication Cucuta- Arauca. The problems presented by the slope in the past are framed largely in detached blocks of rock which caused blockage of the track, generating a hazard to users and disruption Cubugón riverbed. This instability led to a high risk of accidents to persons and affected trade. This project aimed to identify the triggers and factors that directly influenced the stability of the ground, so this will raise and implement alternative solutions to short and long term, which led to decrease the level of risk to users.

**Keywords:** Triggers factors; Fallen rock; Stabilization; Anchored wall.

**INTRODUCCIÓN**

Los cortes que se realizan en las laderas durante la construcción de una vía dan origen a una superficie con relieve inclinado denominada «talud» (Suárez 2009); estas superficies se ven expuestas a diversas

condiciones climáticas y ambientales que propician cambios en los materiales que conforman los taludes. Estos cambios son debidos a la meteorización, que se constituye en un fenómeno típico de las regiones tropicales, donde la alta radiación solar, la humedad y las lluvias actúan sobre las rocas expues-

1. Docente, Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, Colombia. e-mail: rjgallardo@ufpso.edu.co
2. Docente, Universidad Tecnológica del Chocó «Diego Luis Córdoba», Grupo de Investigación de Ingeniería Civil (GIIC). e-mail: joebetto987@hotmail.com

Fecha de recibido: Abril 16, 2009

Fecha de aprobación: Agosto 23, 2009

tas y deterioran sus propiedades físicas, las fracturan y las transforman física y químicamente en otros materiales (Osiris 2009) (proceso de formación del suelo). Lo anterior trae como resultado que se generen procesos de inestabilidad que provocan «el movimiento pendiente abajo de suelos, rocas y vegetación bajo la influencia de la gravedad» (Alcántara y Echavarría 2001). Los materiales se mueven por lo general a lo largo de superficies de falla (Suárez 2009), a través de diferentes mecanismos de falla: caídas («Falls»), vuelco («Topple»), deslizamiento («Slides»), escurrimiento («Spread») y flujo («Flow») (Coppin 2009).

Los mecanismos de falla reciben la influencia de dos tipos de factores principales (Cuanalo *et al.* 2005): *los factores condicionantes* que tienen relación con las características propias del talud (o ladera) como son el relieve o morfología, la estructura geológica (tipo de roca, grado de meteorización, fracturamiento y propiedades), las características hidrogeológicas (espesor de suelo, grado de saturación y nivel freático), el tipo y propiedades de los suelos de cobertura superficial y la vegetación (tipo, follaje, área cubierta y profundidad de la raíz). Estos factores facilitan o magnifican el efecto de los *factores desencadenantes* (o detonantes) que como su nombre lo indica desencadenan los movimientos en un talud o ladera y comprenden fenómenos naturales (lluvias, sismos, vulcanismo, erosión y socavación por corrientes de agua) o acciones desarrolladas por el hombre (factores antrópicos como cortes o excavaciones, sobrecargas por construcciones, explotación de fuentes de material, deforestación, cambio de uso del suelo, descargas de agua y rellenos colocados a volteo), «un ambiente altamente modificado por el hombre es en gran medida susceptible a la ocurrencia de procesos de remoción» (Alcántara *et al.* 2001).

De los factores desencadenantes, uno que reviste mayor importancia son las lluvias, pues contribuyen a aumentar la acción de los factores condicionantes (Rafaelli 2003). Respecto a este factor, en varios

países como Brasil y Colombia se hacen estudios que permiten correlacionar lluvia e inestabilidad del terreno, buscando establecer el umbral de precipitación para la ocurrencia de un determinado tipo de movimiento de masas térreas (suelos, rocas o combinación de estos) (Moreno *et al.* 2006).

El estudio de los factores anteriores es parte integral en la evaluación de la estabilidad de un talud, para determinar las medidas de prevención, control, remediación y/o estabilización o que reduzcan los niveles de amenaza y riesgo que se pueden presentar. Esto cobra particular interés en los sistemas viales donde la inestabilidad de taludes, originada por procesos antrópicos y causas naturales, se convierte en uno de los problemas que más los afectan, y ocasionan numerosas víctimas, lesionados y pérdidas económicas (Gómez *et al.* 2009). Algunas de las medidas que se utilizan para disminuir las amenazas y riesgos, relacionados con inestabilidades del terreno comienzan por la prevención, con el manejo de la vulnerabilidad y el control de las causas generadoras de los movimientos del terreno (Arreygue *et al.* 2002). Como ésta no es suficiente para eliminar por completo los problemas, es necesario establecer medidas de control o estabilización en los sitios susceptibles a fallas o con inestabilidad activa (Suárez 2009). La estabilización se puede llevar a cabo mediante elusión de la amenaza, control de aguas superficiales y subterráneas, conformación del talud o ladera, recubrimiento de la superficie, estructuras de contención, estructuras de control (bermas en el talud, trincheras, barreras y cubiertas de protección) (Coppin 2009), mejoramiento del suelo y las tecnologías de bioingeniería.

La inestabilidad del talud «Padilla» es un ejemplo de inestabilidad que se genera a partir de condiciones morfológicas, geológicas, hidrogeológicas y de meteorización, cuya acción aumentó por la intervención del hombre y las lluvias. En este trabajo se relacionan los aspectos más relevantes del talud, la descripción del mecanismo de falla y las medidas que a la fecha se han adoptado para su estabilización.

## LOCALIZACION

El talud Padilla se localiza en la Loma de Padilla que forma parte de la cordillera Oriental, en los departamentos de Boyacá y Norte de Santander. Esta loma se encuentra ubicada en el límite de estos dos departamentos, al sur oriente de Norte de Santander. A sus pies corre el río Cubugón, que más adelante, junto con los ríos Cobaría y Margua, forman el río Arauca.

El talud Padilla está situado entre la población de Samoré (Norte de Santander) y Cubará (Boyacá) en la vía Pamplona-Saravena (carretera de la soberanía) que hace parte del eje vial Cúcuta-Arauca. Permite realizar la mayor parte del comercio y transporte de personas entre los departamentos de Norte de Santander y Arauca, y se constituye en un elemento central y principal de comunicación entre estos departamentos y el resto del país. En esta vía también se encuentra el oleoducto Caño Limón-Coveñas, de Ecopetrol. En la Figura 1 se aprecia una toma aérea del talud Padilla y parte de la Loma de Padilla.

En la Figura 2 se muestra la localización de la Loma de Padilla en el sector vial Samoré-Cubará (INGEOMINAS 2009).

## ASPECTOS GEOLÓGICOS

La zona donde se localiza la Loma de Padilla pertenece al período Terciario Formación Guayabo, y corresponde a la leyenda geológica Ngc, de acuerdo con la plancha 5-07 (Gómez *et al.* 2007), como se ve en la Figura 3, que se caracteriza por la alternancia de capas de rocas sedimentarias de arenisca cuarzosa de grano fino, lodolitas, capas delgadas de carbón impuro y arcillolitas en un estado de meteorización avanzado con un buzamiento de 35° contrario a la pendiente del talud y un rumbo N21°E.

En la Figura 4 se puede apreciar la estratigrafía en forma general. En la Figura 5 se aprecian los dife-



Figura 1. Toma aérea talud Padilla

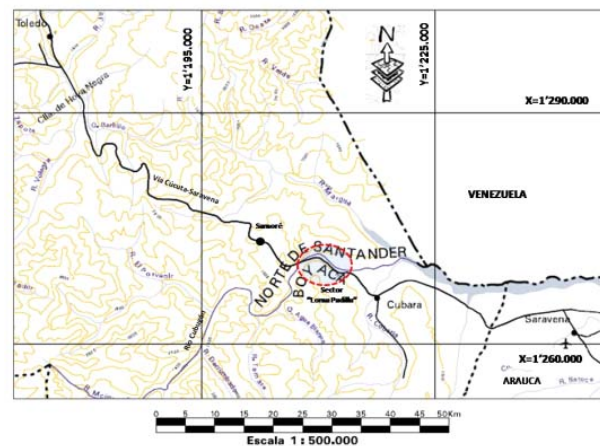


Figura 2. Localización sector Loma de Padilla

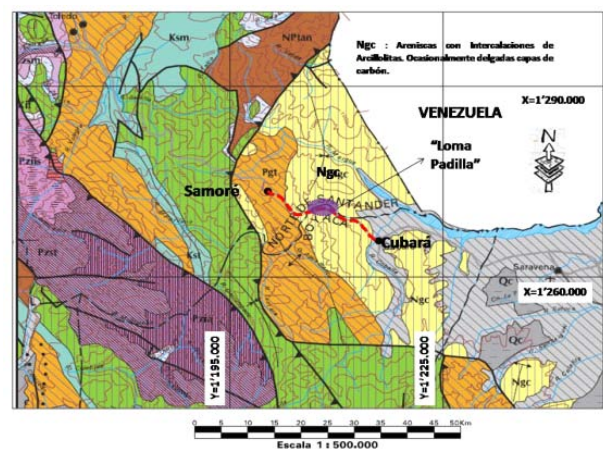


Figura 3. Geología Loma de Padilla

rentes estratos que componen la litología del talud Padilla.

La Loma de Padilla está afectada por la llamada

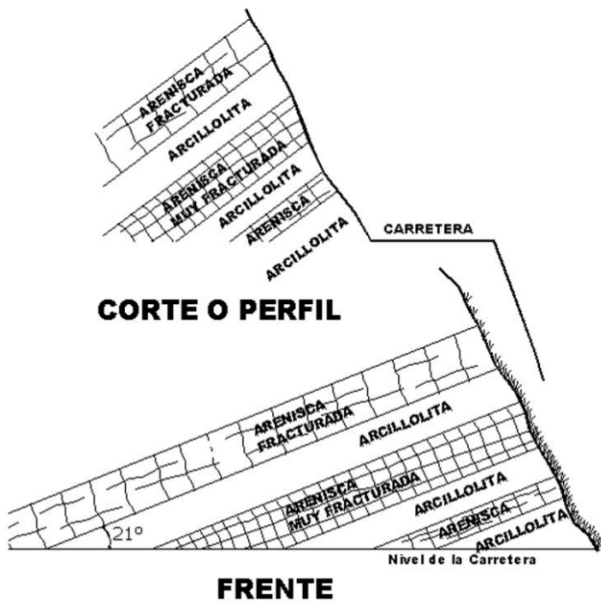


Figura 4. Estratigrafía Loma de Padilla



Figura 5. Litología talud Padilla

Falla al Este de Samoré, la cual pasa al occidente del talud Padilla.

#### MECANISMO DE FALLA

El talud Padilla tiene alturas que varían entre los 47 m y los 95 m. Posee una zona inestable con una altura media de 63 m, y una inclinación casi vertical, en la que se presentaban porciones del talud en voladizo (aleros o negativos) como se observa en la Figura 6.

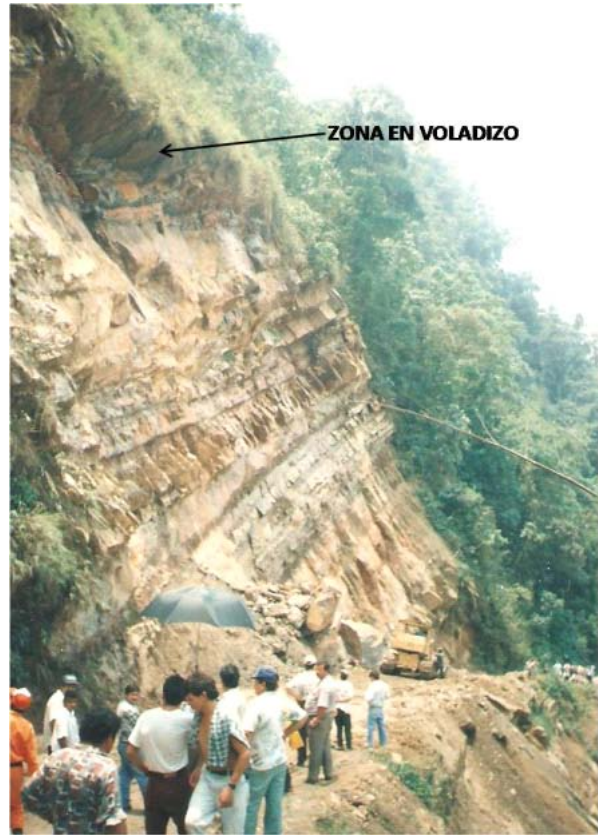


Figura 6. Voladizos en el talud Padilla

La carretera donde se encuentra el talud se construyó a mediados de los años 1940 y el proceso de inestabilidad empezó a finales de los años 1980. Esta inestabilidad se caracterizaba por desprendimientos de bloques de roca o caídos de roca, que consisten en remociones masivas y activas de fragmentos y escombros rocosos pendiente abajo (Aliaga 2009), que tenían movimientos en extremo rápidos superiores a 3 m/s por su inclinación casi vertical. En el escarpe superior (cabeza o corona) se encontraron grandes grietas de tensión de 30 cm y 40 cm (este desplazamiento ocurre por lo general antes de la falla).

El mecanismo de falla se desencadenó sobre todo por la acción de las lluvias, a cuya acción se sumó la intervención del estrato de arcillolita en la base del talud con la excavación para instalar una tubería. Las capas de arcillolita y las delgadas capas de carbón, intercaladas con las capas de arenisca se hu-

medecieron de manera progresiva por la lluvia (esta agua que permanecía por más tiempo en el relleno de la excavación, acrecentó el proceso natural de meteorización de la arcillolita descomponiéndose en suelos blandos y compresibles); en los períodos de verano, el secado ocasionó un proceso de contracción con su correspondiente fisuramiento y pérdida de resistencia del material. Así, las lluvias, a través de un proceso de erosión diferencial (en el que la roca más blanda o menos resistente se erosiona con mayor facilidad que la roca más resistente) propiciaron la formación de cárcavas en el pie del talud, y quedó sin soporte el estrato siguiente de arenisca que por su estado de fracturamiento y pérdida de resistencia al cortante por infiltración de agua, generó los primeros caídos de bloques de roca. La situación se repitió hacia arriba y se llegó al estado que se observa en la Figura 6.

#### MEDIDAS CORRECTIVAS

Con el fin de disminuir el nivel de amenaza y riesgo que presentaba el talud, se plantearon medidas a corto y largo plazo. Las medidas a corto plazo consistieron en realizar pequeñas voladuras que ayudaron a deslizar el material, que se encontraba formando aleros o negativos, controlando de esta manera el peligro de accidentes graves en la carretera. Estos deslizamientos pequeños y locales se depositaron sobre un terraplén que se conformó al pie del talud, de tal forma que amortiguó la caída de los materiales, sin causar daños a la banca y al oleoducto. Las voladuras se realizaron de manera gradual evitando el bloqueo definitivo del transporte por la vía y el represamiento del río Cubugón.

Las medidas que se plantearon a largo plazo consistieron en crear una zona de estabilidad total del cerro Padilla dándole una pendiente positiva de 35° con respecto al eje vertical, lo cual implicaba mover un gran volumen de material y el uso de una gran cantidad de explosivos, maquinaria y personal técnico. Una segunda medida que se planteó fue la construcción de pantallas ancladas a lo largo de las capas inferiores de

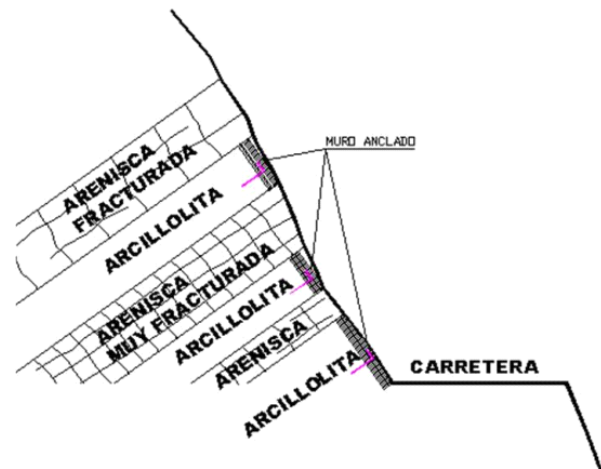


Figura 7. Pantallas ancladas a lo largo de las capas de arcillolitas inferiores



Figura 8. Pantallas ancladas construidas a lo largo de las capas de arcillolitas inferiores

arcillolitas meteorizadas cubriendo de esta forma las cárcavas formadas y protegiendo este estrato de los efectos del clima; esta medida se aprecia en la Figura 7. La tercera medida fue construir cunetas recolectoras de aguas lluvias en el talud. La cuarta medida fue impermeabilizar la zona de excavación y relleno que aloja la tubería colocada al pie del talud, evitando la infiltración de aguas superficiales.

De las medidas a largo plazo se implementó la construcción de pantallas ancladas de las capas inferiores de arcillolita, que afloran en tres puntos a nivel de la vía. Estas capas eran las más afectadas y era donde se propiciaba el mecanismo de falla. Esta medida se puede observar en la Figura 8.

## DISCUSION

Para establecer el mecanismo de falla del talud fue necesario realizar un análisis retrospectivo que permitió definir la secuencia de eventos que llevaron a la inestabilidad del talud, que para este caso empezó con la acción de factores condicionantes sobre el talud como la alta pendiente, la presencia de fracturas (por el grado de meteorización del macizo rocoso que lo constituye), la resistencia al desgaste diferencial entre los estratos de arcillolita y arenisca, los agentes ambientales como procesos de humedad-secado, la infiltración de agua a través de las fracturas, cuya acción aumentó por los factores desencadenantes como las lluvias constantes y la excavación en la base del talud. Esto llevó a una falla gradual que propició el lavado y erosión de las capas de arcillolita y posterior caída de los bloques de arenisca. Lo anterior demostró que era necesario recuperar el soporte de las capas de arenisca, manejar las aguas superficiales sobre el talud e impermeabilizar la base del mismo.

A corto plazo y después, el comportamiento del talud ha confirmado la bondad de las medidas adoptadas, aunque no se realizaron algunas de las acciones correctivas a largo plazo como la disminución de pendiente del talud y el control de aguas superficiales.

El procedimiento de estabilización adoptado en comparación con otros que se pueden aplicar para controlar inestabilidades del tipo caídas de rocas, fue una solución funcional y económica. Otros procedimientos que se han aplicado en estos casos han sido la colocación de geomallas o mallas metálicas que se anclan a la corona del talud y a lo largo de éste con un sistema de anclas con barras de acero y una red de cables de acero. «Las mantas de malla ancladas se pueden utilizar para impedir el movimiento de bloques pequeños (menos de 0.6 a un metro de diámetro) o masas subsuperficiales delgadas de roca» (Arreygue 2009); en el caso de este estudio el grado de fracturación del macizo rocoso, el tipo

de material constitutivo de éste, las intensas lluvias en la zona, el mecanismo de falla particular y el tamaño de los bloques a manejar (hasta de 10 m<sup>3</sup>) hicieron inviable esta opción puesto que se corría el riesgo del desprendimiento o falla de la geomalla o malla metálica a largo plazo. Un procedimiento también utilizado consiste en la construcción de cubiertas protectoras «que son estructuras de concreto armado o metálicas con un relleno para amortiguar el impacto de los bloques» (Arreygue 2009), que aunque se ha utilizado desde hace dos décadas para el control de los caídos de rocas, en el caso que se aborda, se convertía en una solución muy cuantiosa.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La disminución de los riesgos asociados con los problemas de inestabilidad de los taludes en las carreteras necesariamente debe contemplar medidas de remediación y/o estabilización, porque la prevención no es suficiente cuando se trata del desprendimiento rápido de masas de roca. La implementación de medidas de estabilización en los taludes de corte en las vías permite evitar obstrucciones de éstas, accidentes, afectaciones de vehículos por colisión contra el material desprendido y afectaciones a vehículos por el impacto de bloques al momento de caer, logrando que no se comprometa la transitabilidad y funcionalidad de la vía y que ésta se mantenga bajo condiciones de seguridad para las personas que la utilizan.

- De los factores que pueden inducir la inestabilidad en un talud el que más afecta está relacionado con las lluvias, sin menospreciar la actividad del hombre, que en ocasiones, sumada al efecto de las lluvias, provoca inestabilidad. Por esto es importante el control de aguas superficiales y subsuperficiales en un talud para evitar que se aumenten los efectos de factores como la meteorización, infiltración, geología y morfología del talud.
- Un proyecto vial debe involucrar un estudio de-

tallado de las condiciones geológicas y geotécnicas para poder hacer una buena planeación en el momento de elaborar los proyectos y tratar de prevenir los riesgos asociados con futuras inestabilidades.

- Se debe tener muy en cuenta que cuando se trata de estabilización de taludes no existe un diseño único y que las soluciones efectivas en un caso, no siempre lo son en otro. Se debe hacer buen uso de la experiencia, reconocer con claridad el mecanismo de falla y tener presente que toda solución a implementar se debe caracterizar por ser funcional y económica desde el punto de vista técnico.
- Es importante tener presente que la realización de obras posteriores a la construcción de un corredor vial que involucren excavaciones a pie de talud, pueden potenciar los problemas de inestabilidad de los taludes.

#### LITERATURA CITADA

- Alcántara, I.,** Echavarría, A., Gutiérrez, C., Domínguez, L., Noriega, I. 2001. *Inestabilidad de laderas*. México, DF: CENAPRED. [fecha de acceso: 25 de enero de 2010]. URL disponible en: <http://www.inifed.gob.mx/doc/Inestabilidad%20de%20laderas.pdf>
- Alcántara, I.,** Echavarría, A. 2001. *Cartilla de diagnóstico preliminar de inestabilidad de laderas*. México, DF: CENAPRED; p. 5.
- Aliaga, M.** Estudio geológico-geotécnico para la rehabilitación de la carretera Corral Quemado-Río Nieva Tramo I: Puerto Naranjitos-Pedro Ruiz [Tesis digital]. [fecha de acceso: 3 de agosto de 2009]. URL disponible en: <http://sisbid.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/aliaga%20chm/Geodina.pdf>
- Arreygue, E.,** Garduño, V., Canuti, P., Casaglie, N., Lotti, A., Chiesa, S. 2002. *Análisis Geomecánico de la inestabilidad del escarpe La Paloma, en la ciudad de Morelia, Michoacán, México*. *Rev Mex Cien Geol.* [en línea] **19** (002). [fecha de acceso: 5 de agosto de 2009]. URL disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57219202> ISSN 1026-8774
- Coppin, R.** *Estabilidad de taludes*. [fecha de acceso: 29 de julio de 2009]. URL disponible en: <http://www.scribd.com/doc/5255971/Estabilidad-de-Taludes>
- Manual de bioingeniería*. [fecha de acceso: 25 de enero de 2010]. URL disponible en: <http://www.mti.gob.ni/docs/PAST%20DANIDA/Manual%20de%20sBioingenieria.pdf>
- Osiris, R.** *Suelos y rocas susceptibles a los fenómenos hidrometeorológicos*. [fecha de acceso: 8 de agosto de 2009]. URL disponible en: [http://hercules.cedex.es/hidraulica/PROHIMET/RD05/TemRD05/Osiris\\_Leon.pdf](http://hercules.cedex.es/hidraulica/PROHIMET/RD05/TemRD05/Osiris_Leon.pdf)
- Cuanalo Ó.,** Oliva A., Flores C. 2005. *Factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos de laderas en las sierras norte y nororiental de Puebla, México*. Memorias del VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Valencia, España. [fecha de acceso: 6 de agosto de 2009]. URL disponible en: [http://institutocoraliris.com/index\\_archivos/Page349.html](http://institutocoraliris.com/index_archivos/Page349.html)
- Gómez, J.,** Nivia, A., Montes, N.E., Jiménez, D.M., Tejada, M.L., Sepúlveda, M.J., et al. Compiladores. 2007. *Mapa geológico de Colombia*. Escala 1:1'000.000. Bogotá, DC: INGEOMINAS; 2 p.
- Gómez-Anguiano, M.,** Ramírez-Chávez, J.R. *Peligros potenciales de inestabilidad de taludes sobre la carretera federal N° 190: Tramo Heroica Ciudad de Huajuapán de León - Asunción Nochixtlán, Oaxaca*. [fecha de acceso: 1 de agosto de 2009]. URL disponible en: <http://hosting.udlap.mx/profesores/miguela.mendez/alephzero/archivo/historico/az39/carreteras.html>
- INGEOMINAS.** Atlas colombiano de información geológico-minera para la inversión. [fecha de acceso: 14 de agosto de 2009]. URL disponible en: [http://productos.ingeo Minas.gov.co/productos/OFICIAL/georecur/atlas/acigemi/07\\_Catastro%20minero/pdf/mc-e500k-acigemi-cata-07.pdf](http://productos.ingeo Minas.gov.co/productos/OFICIAL/georecur/atlas/acigemi/07_Catastro%20minero/pdf/mc-e500k-acigemi-cata-07.pdf)
- Moreno, H.A.,** Vélez, M.V., Montoya, J.D., Rhenals, R.L. 2006. *La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria*. *Rev EIA.* **5**: 59-9.
- Rafaelli, S.** 2003. *Paisaje erosivo en cuencas de montaña; modelación con extrapolación espacial ascendente*. Tesis de Maestría. Universidad de Córdoba, Argentina.
- Suárez, J.** 2009. *Deslizamientos. Análisis geotécnico*. Vol. 1. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander; p. 3, 336-41.
- Suárez, J.** 2009. *Deslizamientos. Técnicas de remediación*. Vol. 2. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander; p. 2, 334-7.