RIESGO POR DESLIZAMIENTO EN LADERA DEL SECTOR ORIENTAL DEL MUNICIPIO DE OCAÑA

Investigación

Thomas Edison Guerrero Barbosa
M.Sc. en Ingeniería Civil, Universidad del Norte - Barranquilla
Investigador grupo GIGMA, Departamento de Ingeniería Civil
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia
teguerrerob@ufpso.edu.co

Romel Jesús Gallardo Amaya
M.Sc. en Geotecnia, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga
Investigador grupo GIGMA, Departamento de Ingeniería Civil
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia
rjgallardoa@ufpso.edu.co

Oscar Andrés Cuanalo Campos
Ph.D. en Ciencias Técnicas, Universidad Central de Las Villas, Cuba
Investigador Grupo GIGMA, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
oscarcuanalo@hotmail.com

Fecha de recepción:
6 de junio de 2013

Fecha de aprobación:
4 de julio de 2013

Resumen

En Colombia la problemática del riesgo por fenómenos de remoción en masa no es producto únicamente de factores físicos y naturales sino también de la intervención antrópica, que obedece a su vez a factores sociales, económicos y políticos. El problema que se aborda está relacionado con la determinación del riesgo por procesos de remoción en masa en una ladera del sector oriental del municipio de Ocaña, en la cual se han presentado deslizamientos cuyos factores desencadenantes son las lluvias y la actividad humana (conformación de terrazas para construcción de viviendas). El desarrollo del estudio incluyó trabajos de campo, laboratorio y de procesamiento de información, que permitieron determinar la estabilidad de la ladera aplicando dos metodologías, una cuantitativa mediante el análisis geotécnico utilizando métodos de equilibrio límite para determinar el factor de seguridad mínimo y la superficie de falla crítica, y la segunda cualitativa mediante los factores de valuación. Este último método incorpora un mayor número de variables relacionadas con los factores condicionantes y desencadenantes de la estabilidad de una ladera, ponderando cuales factores son los más relevantes para la estabilidad del terreno. A partir de la información anterior se determinan, mediante una matriz de correlación, los procesos constructivos de estabilización y las obras de mitigación a implementar de acuerdo al nivel de influencia de cada factor. El estudio determinó que una parte de ladera presenta un nivel de riesgo alto.

Palabras Claves

Amenaza, Estabilidad, Factor de Valuación, Ladera, Riesgo.

Abstract

In Colombia the problem of risk landslides phenomena is not only product physical and natural factors but also from human intervention, which is due in turn to social, economic and political factors. The problem addressed is related to the risk assessment by landslide processes on a hillside in the eastern sector of Ocaña municipality, where landslides have been triggered by rainfall and human activity (inadequate terraces for housing construction). The study included field work, laboratory testing and information processing, which allowed us to determine the slope stability using two methodologies, one quantitative by geotechnical analysis using limit equilibrium methods to determine the minimum safety factor and critical failure surface, and the second, qualitative by valuation factors. The latter method incorporates a greater number of determinants and triggers factors of the stability, weighting factors which are most relevant for the stability of the ground. From the above information are determined, by a correlation matrix, stabilization and mitigation works to be implemented according to the level of influence of each factor. The study determined that a part of slope presents a high level of risk.

Key Words

Hazard, Stability, Valuation factor, Slope, Risk.

Introducción

Los asentamientos urbanos en zonas de ladera generan terraceos que implican la realización de cortes, que al no implementarle obras de estabilización, se ven afectados por los agentes climáticos que propician la meteorización, la cual se constituye en un fenómeno típico de las regiones tropicales, en las cuales la alta radiación solar, la humedad y las lluvias actúan sobre los materiales expuestos deteriorando sus propiedades físicas y mecánicas y transformándolos químicamente en otros materiales (Osiris, 2005). Lo anterior sumado a el efecto de la intervención antrópica 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 et al., 2001). Estos procesos se ven influenciados por dos tipos de factores principales (Cuanalo et al., 2005): los factores condicionantes y los factores desencadenantes, de estos últimos, la lluvia es uno de los principales (Gallardo et al., 2009).

La acción de los factores anteriores ha conllevado a que la ladera del barrio Las Travesías del municipio de Ocaña, .N.S., presente un proceso de remoción en masa activo, cuya inestabilidad se originó en procesos de erosión hídrica y con el tiempo ha provocado deslizamientos del terreno. El factor desencadenante ha sido la acción de las aguas de escorrentía en la parte alta de la ladera. Lo anterior tiene en riesgo a un conjunto de viviendas ubicadas en las partes media y alta de dicha ladera (Ballesteros et al., 2010). El estudio requirió de la exploración del subsuelo, la caracterización físico-mecánica de los geomateriales, la obtención de secciones críticas, el procesamiento de la información y el respectivo modelamiento para efectuar el análisis de estabilidad de la ladera, tanto cuantitativamente (software basado en el método de equilibrio límite: superficies de falla y factores de seguridad) y cualitativamente mediante los factores de valuación (Cuanalo O., 2004), para finalmente establecer el nivel de riesgo de la ladera.

Diagnostico del Área de Estudio

Localización: La ladera en estudio se localiza en el barrio Las Travesías, en la comuna 2 del sector sur oriental del municipio de Ocaña, lo cual se aprecia en la Figura 1.

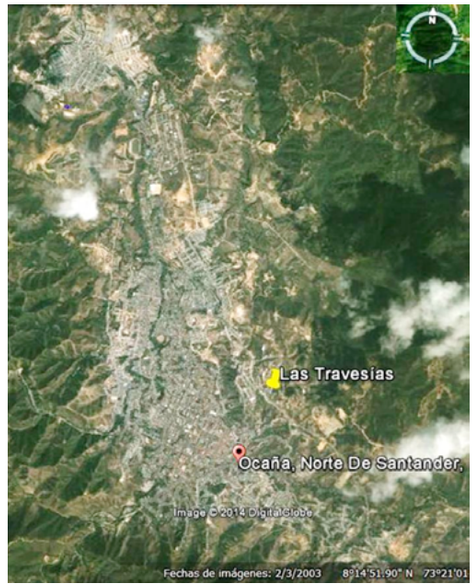


Figura 1. Municipio de Ocaña – N de Sder.
Fuente: Google Earth 2013.

Características físicas generales: La topografía de esta zona es escarpada con pendientes mayores de 47°; el suelo superficial es de tipo arenoso, sin cobertura vegetal en gran parte de la ladera (Figura 2).



Figura 2. Vista general de la ladera.
Fuente: Autores.

En la parte baja de la ladera se presenta un corte efectuado durante el proceso de la construcción de la vía Ocaña-Cúcuta (sector vía circunvalar), adicionalmente se observan cortes para las terrazas realizadas para la construcción de viviendas en la parte baja, media, alta de la ladera, y un corte que atraviesa la ladera desde su parte inferior hasta la superior realizado para construir un sendero peatonal que permite el acceso a las diferentes viviendas del sector.

Descripción de la problemática actual: El desplazamiento forzado por la violencia que se presenta en la región del Catatumbo, ha llevado a que entre los años 1995 y 2000 llegaran a la ciudad de Ocaña 1400 familias (OIM, 2001), muchas de las cuales han invadido zonas de laderas de la ciudad con alta susceptibilidad geomorfológica, realizando en estas cortes sin manejo adecuado y disminución de la cobertura vegetal. Estas intervenciones facilitan la erosión hídrica concentrada en cárcavas y la infiltración de agua en los terrenos, creando un escenario apropiado para que ocurran deslizamientos, lo que multiplica los daños para las familias y sus viviendas.

El 70% de las viviendas de la zona están construidas en adobe y bahareque (León et al., 2010) y sin vías de acceso, lo cual ha llevado a los habitantes a construir senderos improvisados sin ninguna canalización de las aguas lluvias.

Caracterización de los elementos vulnerables: Esta se desarrolló mediante la aplicación de una ficha técnica, con la que se recopiló información de las viviendas (material, número. de habitantes, servicios públicos, historial de eventos de inestabilidad, ubicación en la ladera y obras de estabilización presentes) (León et al., 2010).

Trabajos de Campo

Los trabajos de campo incluyeron la realización de topografía, con la cual se obtuvo el modelo digital del terreno y varias secciones de la ladera, escogiendo ara el análisis de estabilidad la más crítica, se realizó exploración del subsuelo que consistió en realizar apiques manuales y sondeos mediante el ensayo de penetración estándar (SPT) en la parte baja, media y alta de la ladera, permitiendo obtener el muestreo requerido para el programa de ensayos de laboratorio. En la Figura 3 se aprecia la realización del SPT. Además se realizó la caracterización geológica que permitió establecer para la roca que aflora en el sector el ángulo de buzamiento y el respectivo rumbo de diaclasas, así como también establecer los niveles de fracturación y meteorización física y química, estableciendo que la formación geológica que aflora en el área estudiada es conocida como el Complejo intrusivo – extrusivo (Jci), que hace parte del complejo denominado "Macizo Santander" e incluye rocas ígneas del juratriásico (entre 144 y 245 MA). En la Figura 4 se aprecian rocas de esta formación.



Figura 3. Realización ensayo SPT. Fuente: Autores.



Figura 4. Caracterización geológica (Ballesteros et al., 2010)

Trabajos de Laboratorio

El programa de ensayos de laboratorio para la caracterización físico – mecánica de los suelos que hacen parte del perfil de meteorización se realizó aplicando normas ASTM para ensayos de: contenido de humedad, gravedad específica, peso unitario, límites de plasticidad, granulometría y corte directo. De acuerdo a estos ensayos los suelos característicos del área en estudio corresponden a arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC) y limos arenosos (ML) de baja plasticidad, con ángulos de fricción promedios de 25° y cohesión de entre 17 y 21 kPa, espesor capa de suelo 3m.

Metodología

Para realizar el análisis de estabilidad de ladera se utilizó un método cuantitativo y otro de tipo cualitativo.

Análisis Cuantitativo

Para el análisis del modelo geotécnico se utilizó el software para computador SLOPE/W de GEO-Studio, este es un producto de Software que utiliza la teoría de equilibrio límite para obtener los factores de seguridad al deslizamiento de los taludes. Los parámetros requeridos por el programa para el modelamiento son: Geometría y Estratigrafía, Superficies de Falla y Propiedades del Suelo, las cuales se muestran en la Tabla 1. En la Figura 5 se observa el modelo procesado en el software Slope/w.

Capa	Descripción	Angulo Fricción interna	Cohesión (kPa)	γ_m (kN/m^3)
1	Suelo limo arcillo-arenoso	26.01°	17.10	14.86
2	Arena arcillosa	24.04°	20.52	18.21
3	Roca ígnea meteorizada	50.00°	50.00	22.00

Tabla 1. Parámetros para modelamiento.

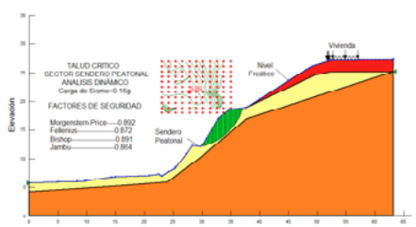


Figura 5. Modelo en el software Slope/w

Análisis de estabilidad: Este se realizó por método de equilibrio límite para la condición estática saturada y pseudo-estática saturada con una aceleración pico efectiva Aa=0.20, que equivale la aceleración promedio que recomienda la NSR 2010, para Ocaña N.S (AIS, 2010).

Análisis Cualitativo

La evaluación cualitativa permitió determinar la influencia de los factores condicionantes y desencadenantes sobre la estabilidad de la ladera (la descripción detallada de la metodología se puede encontrar en (Cuanalo et al., 2007)). A cada factor se asigna un nivel de influencia de acuerdo a establecido en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., permitiendo establecer que obras son más relevantes a implementar para reducir el nivel de amenaza y por consiguiente el nivel de riesgo.

Factor de valuación	Nivel de influencia	Consideraciones
< 0.5	Bajo	No tiene problemas
0.5 0.75	Medio	Requiere atención
> 0.75	Alto	Atención urgente

Tabla 2. Intervalos y nivel de influencia de los factores de valuación. Fuente: (Cuanalo, et al., 2007)

Resultados y Discusiones

Análisis cuantitativo y evaluación de Amenaza: En la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. se muestran los resultados para el análisis de una de las secciones críticas de la ladera, en condiciones estática y dinámica y geomateriales.

Factor de valuación	Nivel de influencia	Consideraciones
< 0.5	Bajo	No tiene problemas
0.5 0.75	Medio	Requiere atención
> 0.75	Alto	Atención urgente

Tabla 3. Análisis de estabilidad (Factor de Seguridad)

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 3, se definió el nivel de amenaza por remoción en masa en la zona media de la ladera, según los niveles especificados en las normas técnicas de control de erosión de la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB, 2002), obteniéndose un nivel de amenaza alto a deslizamientos. Para el caso de la zona alta de la ladera el nivel de amenaza es medio.

Se determinó el nivel de influencia en la estabilidad de la ladera de cada factor condicionante y desencadenante que agrupa el método de los factores de valuación, además de los factores asociados al cálculo de la superficie de falla y factor de seguridad. En el anexo 1 se resumen los resultados obtenidos, de acuerdo a los cuales

el tipo de suelos presentes en la ladera (factor mecánica de suelos), la falta de cobertura vegetal (factor vegetación) y el nivel de intervención antrópica que tiene la ladera (factor actividad humana), inciden de forma considerable en las condiciones de inestabilidad actuales de la misma, obteniéndose un factor de influencia alto, que de acuerdo a la Tabla 2 requieren una atención urgente.

Análisis de Vulnerabilidad

Se entiende como "la probabilidad de que, debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños en la economía, la vida humana y el ambiente." (Chardon et al., 2010). En el estudio se determinó la vulnerabilidad desde los componentes físico, social, económico y ambiental de acuerdo a la metodología descrita en (Suárez, 2009), expresada como un potencial de daño en una escala de 0 a 1. Para el sector de ladera analizado, la vulnerabilidad media para los 4 componentes citados fue de 0.3 que de acuerdo a la Tabla 4 corresponde un potencial de daño medio.

Clasificación de vulnerabilidad	Rango de Perdidas	Índice
Baja	0-25%	0-0.25
Media	25-60%	0.25-0.60
Alta	60-100%	0.60-1.0

Tabla 4. Valoración de la vulnerabilidad (Suárez, 2009)

Evaluación del riesgo por remoción en masa: La evaluación del riesgo implica integrar los resultados de la evaluación de la amenaza con la vulnerabilidad, según la ecuación 1.

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad (1)

De acuerdo a lo anterior para el sector de ladera estudiado los niveles de riesgo corresponden a Medio en las zonas alta y baja y riesgo Alto para el sector medio de la ladera.

Comparando los análisis de estabilidad mediante el método cuantitativo, usando el software Slope/W basado en la teoría del equilibrio límite y el método cualitativo de los factores de valuación se observa que los dos métodos se complementan, por el método cuantitativo se obtiene que la ladera tiene sectores estables y sectores potencialmente inestables con F.S < 1.0 (parte media de esta); y con el método cualitativo se establece que es la configuración de suelos areno arcillosos, la falta de vegetación y la presencia de cortes no estabilizados los que potencian la inestabilidad de la ladera.

Conclusiones

Este estudio permitió complementar el mapa de amenazas del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Ocaña – PBOT, definiendo de manera más explícita el nivel de amenaza y riesgo en un sector de la ciudad, ya que para dicho sector el mapa establece un nivel de amenaza muy alto por deslizamiento y/o erosión, sin tener claridad de cual proceso es el de mayor impacto o si es una combinación de los dos, como se pudo establecer con los tipos de análisis aplicados.

El uso de un método cualitativo que evalue cada uno de los factores condicionantes y detonantes que inciden en la estabilidad de una ladera permite plantear las obras requeridas para mitigar o prevenir el efecto de cada factor por separado de acuerdo a su nivel de incidencia en la estabilidad.

Después de haber analizado las condiciones de estabilidad de la ladera y de haber determinado los niveles de riesgo por remoción en masa que se presentan, se determina que se deben implementar una serie de acciones de mitigación o de control por medio de la ejecución de obras, entre las cuales se encuentran: muros de contención, zanjas de corona, zanjas transversales, canales disipadores y recuperación de la cobertura vegetal mediante terrazas en trinchos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, a la Alcaldía del Municipio de Ocaña, al PhD. Aldo Onel Oliva González de la Universidad de las Californias Internacional-UDCI y muy especialmente a los estudiantes Holger Pavón Sumalave y Jimmy Josué Ballesteros Ortiz por su valiosa colaboración en el desarrollo del proyecto macro de investigación titulado "Estabilidad de Ladera Urbana para el Municipio de Ocaña" que hace parte de la línea de Gestión del Riesgo del Grupo de Investigación en Geotecnia y Medio Ambiente – GIGMA de la UFPS Ocaña.

Referencias

AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR 10, Bogotá, D.C., p. A-169.

Alcántara, I., y Echavarría, A. (2001). Cartilla de diagnóstico preliminar de inestabilidad de laderas, México, DF., CENAPRED, pp. 5.

Ballesteros J., y Pabón, H. (2010). Estudio de estabilidad en la ladera principal del barrio las travesías del municipio de Ocaña N.S. Tesis de Pregrado. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Colombia, pp. 200.

CDMB, Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2002). Normas técnicas para el control de erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos, Bucaramanga, p. 13.

CDMB, Corporación de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (Colombia). (2005). Normas Geotécnicas. Bucaramanga, p. 64.

Chardon, A. y González, J. (2002). Indicadores para la gestión de riesgos. Manizales. Extraído el 14 de Junio de 2013 desde http://idea.unalmzl.edu.co/documentos/Anne-Catherine%20fase%20I.pdf.

Cuanalo, O. A. (2004). Metodología para la selección de procesos constructivos empleados en estabilizar deslizamientos de laderas. Tesis Doctoral. Facultad de Construcciones. Universidad Central de Las Villas. Cuba, 137p.

Cuanalo O., Oliva A. y Flores C., Estabilidad de laderas. (2007, Octubre). Análisis mediante factores de valuación. Revista IngeoPres No. 164. Consultado el 6 de agosto de 2009 en <http://www.ingeopres.com>

Cuanalo O., Oliva A. y 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. Consultado el 6 de agosto de 2009 en <http://institutocoraliris.com/index_archivos/Page349.html>

Gallardo, R. y Córdoba, José. (2009). 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. Revista Investigación, Biodiversidad y Desarrollo, Vol. 29, No. 1, pp. 61-67.

Características intrínsecas de la ladera		Factor de Valuación	Valor Medio	Intervalo de Influencia
Morfología y topografía	Altura de la ladera H=34 m Inclinación máx. β=47.17º	f_{mt} = senβ	0.73	Medio
Geología	Pliegues inclinados hacia la ladera No hay	-----	0.635	Medio
	Fracturación: Fracturas cada 20 a 30 cm	f_{ge}=0.88		
	Meteorización química: intensa Meteorización física: Intensa	f_{ge}= 0.88 f_{ge}= 0.88		
	Peso volumétrico γ= 2.3 ton/m3	f=0.15		
	Resistencia compresión simple q_u= 465.7 kg/cm^2 (Ballesteros *et al.*, 2010)	f=0.13		
Mecánica de Suelos	Suelo con Cohesión y Fricción. F.S=0.41<1.0 Inestable.	f_{me}=1.0	1.0	Alto
hidrogeología	Grado de saturación del suelo	f_h=Gw*senβ=0.44	0.30	Bajo
	Espesor del suelo	f_h = 0.15		
Vegetación	Tipo : Pasto	1.0	0.85	Alto
	Densidad follaje: Poco	0.7		
	Área cubierta: 0.25%	0.75		
	Profundidad raíz: Somera	0.96		
Características del sitio		**Factor de Valuación**	**Valor Medio**	**Intervalo de Influencia**
Lluvia	Temperatura media anual: 22ºc Precipitación promedio anual P=1056 mm	f_{ll} = 0.23	0.23	Bajo
Sismicidad	Clasificación: región Nº4 Coeficiente sísmico Aa=0.20	f_s = 0.23	0.23	Bajo
Erosión y socavación	Infiltración del terreno: 8.73 mm/hora	f = 0.70	0.5	Medio
	Densidad de drenaje: 2.64 km/km^2	f = 0.3		
	Características de la Cuenca Largo=115.61 m Ancho=397.34 m	f = 0.02	No se Considera.	-
Actividad Humana	Cortes o excavaciones no estabilizados: Si Hay.	f = 1.0	0.753	Alto
	Densidad de población: 200 hab/km^2, casas de 1 piso	f = 0.26		
	Deforestación: Muy Alta	f =0.9		
Datos de Análisis Cuantitativo de Estabilidad		**Factor de Valuación**	**Valor Medio**	**Intervalo de Influencia**
Estabilidad	Superficie de rotura a 3.0 m	f = 0.5	0.75	Medio
	Factor de seguridad <1.0	f = 1.0		

Anexo 1. Evaluación cualitativa de Intervalos de Influencia factores del método de los Factores de Valuación.