

Evaluación de la amenaza ante fenómenos de remoción en masa en un sector de ladera. Caso de estudio: barrio Cuesta Blanca, Ocaña-Colombia

Threat assessment before mass removal phenomena in a hillside sector. Case study: Cuesta Blanca neighborhood, Ocaña - Colombia

^a.Agustín Armando Macgregor Torrado, ^b.Romel Jesús Gallardo Amaya, ^c.Nelson Afanador García

 a. aamacgregort@ufpso.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia

 b. rgallardoa@ufpso.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia

 c. nafanadorg@ufpso.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia

Recibido: Julio 1 de 2021 Aceptado: Noviembre 8 de 2021

Forma de citar: A.A Macgregor-Torrado, R.J Galalrdo-Amaya, N. Afanador-García

“Evaluación de la maneja ante fenómenos de remoción en masa en un sector de la ladera. Caso de estudio: barrio Cuesta Blanca Ocaña-Colombia”, *Mundo Fesc*, vol. 12, no. S2, pp. 8-24, 2022

Resumen

Esta investigación contempló la evaluación de la amenaza a fenómenos de remoción en masa de un sector de ladera en el municipio de Ocaña, Norte de Santander- Colombia, para llevar a cabo este proyecto de investigación se desarrollaron 4 fases: identificación de las zonas críticas, determinación de las características morfométricos del área de estudio, cálculo de los parámetros físico mecánico de los suelos y finalmente el desarrollo de modelos usando la versión libre del software Slide, bajo condiciones iniciales que permitieran calibrar cada uno de los parámetros y las condiciones finales. El objetivo de este trabajo de investigación fue establecer la amenaza que posee actualmente el área de estudio y con esto propender una actualización de zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa en el municipio de Ocaña. Esto es un insumo que determinará al adicionar el análisis de la vulnerabilidad, el riesgo que posee la comunidad que habita el sector del barrio Cuesta Blanca, Ocaña-Colombia. Lo encontrado en este estudio permite concluir que: la zona de estudio es susceptible a sufrir afectaciones por fenómenos de remoción en masa ya que el factor de seguridad es inferior a 1.1 con una probabilidad de falla del 47.6%.

Palabras clave: Amenaza, factor de seguridad, fenómenos de remoción en masa, ladera.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: aamacgregort@ufpso.edu.co



© 2022. Fundación de Estudios Superiores Comfanorte.

Abstract

This research included the evaluation of the threat to mass removal phenomena of a hillside sector in the municipality of Ocaña, Norte de Santander, Colombia. To carry out this research project, 4 phases were developed: identification of critical areas, determination of the morphometric characteristics of the study area, calculation of the physical and mechanical parameters of the soils and finally the development of models using the free version of the Slide software, under initial conditions that allowed calibrating each of the parameters and the final conditions. The objective of this research work was to establish the threat that the study area currently has and with this, to propose an update of zones susceptible to landslide phenomena in the municipality of Ocaña. This is an input that will determine, by adding the vulnerability analysis, the risk that the community living in the sector of the Cuesta Blanca neighborhood, Ocaña-Colombia, possesses. The findings of this study lead to the conclusion that: the study area is susceptible to being affected by landslide phenomena since the safety factor is less than 1.1 with a failure probability of 47.6%.

Keywords: Hazard, safety factor, landslide phenomena, slope.

Introducción

Las condiciones topográficas de Colombia representan en gran parte uno de las variables que sumado a factores detonantes como: la precipitación y la micro sismicidad [1] [2], conllevan a tener problemas de fenómenos de remoción en masa en gran parte del territorio colombiano [3]. El crecimiento acelerado de las comunidades ha encaminado a que la población construya en zonas de alto riesgo, sin tener en cuenta el plan de ordenamiento territorial [4] donde se definen las zonas susceptibles de deslizamiento y con esto aumentando la vulnerabilidad de la población civil [5].

En gran parte del territorio Colombiano los factores condicionantes [6] a generar susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa están relacionados con. a. Alternancia de estratos debido a las formaciones geológicas presentes; b. cambios de uso del suelo en lo referente a la vegetación, en donde es evidente el aumento de los cultivos tradicionales pan coger los cuales poseen raíces someras que requieren altas cantidades de agua para su sostenimiento [7] [8]; c. las sobrecargas en las coronas de los taludes

sin el respectivo aislamiento preventivo [9] [10]

Los factores detonantes están relacionados directamente con las precipitaciones debido al periodo bimodal de lluvias [11] presentes en gran parte de la región andina donde es frecuente tener precipitaciones entre los meses de marzo – mayo y septiembre – noviembre, de igual forma es de resaltar la intervención del ser humano, el cual desarrolla cortes en los taludes sin estudios previos y sin obras de mitigación generando altos problemas de inestabilidad.

La pérdida de resistencia al corte [12] es frecuentemente generada por la saturación excesiva de los materiales que componen los perfiles estratigráficos, debido a las fuertes precipitaciones y a las descargas ocasionadas por el mal manejo de la escorrentía superficial.

Este estudio pretende evaluar la amenaza ante posibles problemas de fenómenos de remoción en masa [12] en una zona de ladera del barrio Cuesta Blanca en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, Colombia.

Buscando establecer la amenaza que presenta dicha zona de estudio y por consiguiente aportar dicho insumo que sumado a factores como la evaluación de la vulnerabilidad permitan identificar y zonificar el posible riesgo a los que se encuentra expuesta dicha comunidad, de igual forma permitiendo de esta manera optimizar la cartografía en lo referente al mapa de amenazas del municipio de Ocaña, Norte de Santander en zonas donde ya se han presentado a través del tiempo afectaciones por fenómenos de remoción en masa.

Metodología

Para el desarrollo de este proyecto fue necesario seguir una serie de fases, las cuales se pueden apreciar en la figura 1.

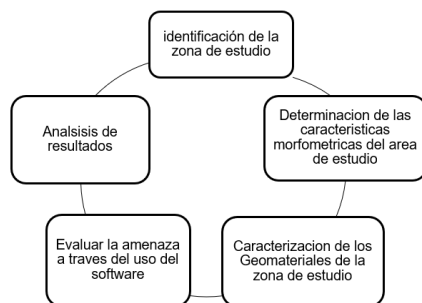


Figura 1. Procesos aplicados para el desarrollo del proyecto

Identificación de la zona de estudio

En esta fase desarrollaron visitas de campo con el objetivo de identificar las zonas susceptibles a sufrir afectaciones por fenómenos de remoción en masa en el barrio Cuesta Blanca, municipio de Ocaña Colombia, encontrando tres zonas con alta probabilidad de las cuales la más crítica fue la evaluada en este proyecto, ver figura 2, es de reconocer que los dos (2) sectores adicionales no fueron evaluados en este estudio por ser considerados

áreas con altura de taludes moderados sumado a que en el momento del estudio no se encontraron inmuebles en dichos sectores, sin embargo son sectores que deben ser considerados y evaluados, pues estas áreas serán urbanizadas por sus propietarios en futuros años.

Características morfométricos del área de estudio

Esta fase del proyecto fue desarrollada mediante el levantamiento topográfico usando una estación total, sumado a la toma de fotografías con dron, logrando de esta forma obtener la planimetría que incluyera las viviendas susceptibles, así como los respectivos perfiles críticos de dicha zona, este con el objetivo de caracterizar morfométricamente el área de estudio.

Caracterización de los geomateriales

En esta etapa se desarrollaron tomas de muestras inalteradas y alteradas sobre el perfil estratigráfico de la zona de estudio, posteriormente se ejecutó un plan de laboratorio que permitiera conocer las propiedades físicas y mecánicas de los materiales.

Evaluación de la amenaza

Esta fase del proyecto fue desarrollado a través de la implementación de modelos bajo condiciones críticas (dinámicas saturadas), realizando un modelo antes de la falla que permitiera calibrar el modelo y uno bajo las condiciones actuales con el objetivo de poder conocer la probabilidad actual que posee dicha zona de estudio. El modelo en condiciones finales permitirá en primera instancia a la comunidad conocer las condiciones que

presenta el área en el cual se encuentran sus inmuebles y en segundo lugar servir de alerta temprana a las organizaciones encargadas de la gestión del riesgo en el municipio de Ocaña.

Análisis de resultados

En esta fase se desarrolló el análisis de resultados de los modelos realizados bajo las condiciones más críticas, como siguientes fases del proyecto quedaría pendiente la evaluación de la vulnerabilidad que presenta los habitantes del sector y consigo la evaluación del riesgo, logrando de esta forma si la sectorización real de este sector de ladera en el municipio de Ocaña Norte de Santander – Colombia y por ende realizar una proyección de las obras estructurales y no estructurales que permitan minimizar el posible riesgo, de igual forma la evaluación económica con la que se pueda establecer si la inversión que requiere dicha área de estudio para la estabilización supera en rango económico el avalúo de los inmuebles, logrando de esta forma conocer el punto de equilibrio entre el valor de los inmuebles y el costo de las obras que se desean proyectar

Resultados

Localización de la zona de estudio

El área de estudio se ubica en el sector sur occidental del municipio de Ocaña norte de Santander; el barrio cuesta blanca es uno de los más antiguos del municipio, resaltando que fue construido en su gran mayoría sin asesoría técnica por lo que redunda en su susceptibilidad de las construcciones en la corona y pie del talud principal. En la figura 2 se puede ver la localización general del área de estudio.



Figura 2a. Localización general área de estudio

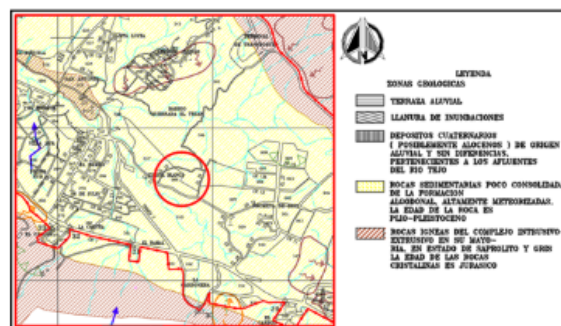


Figura 2b. Localización específica área de estudio

Secciones críticas

Este proceso fue desarrollado a través del uso del software AutoCAD 2013 alimentado por la descarga de puntos del levantamiento topográfico, en el área de estudio fueron identificadas tres secciones, pero para el desarrollo de este proyecto solo fue tenido en cuenta la más crítica, considerando esta selección a partir de que en esta ya hubo deslizamientos previos sumado a la existencia de viviendas en la corona y pie del talud. En la figura 3 se puede ver la sección de estudio.

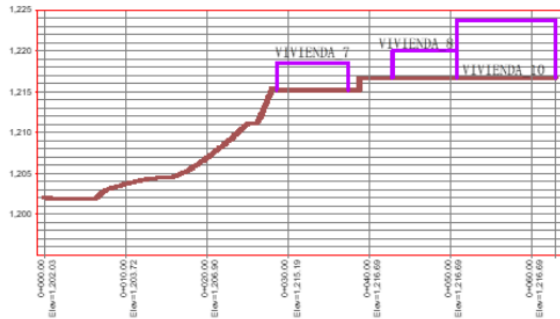


Figura 3. Sección crítica del área de estudio



Figura 4. Toma de muestras

Características geo mecánica de los materiales

La toma de muestras fue realizada

Posteriormente fue desarrollado el plan de laboratorio que incluía la determinación de la humedad natural, peso unitario, gravedad específica, granulometrías límites (líquido y plástico) y ensayos de corte directo consolidados no drenados para determinar la cohesión y ángulo de fricción, en la tabla 1 se puede ver los resultados de los ensayos de laboratorio.

Tabla I. Resultados de ensayos de laboratorio

Estrato	Descripción	Peso Unitario (gr/cm ³)	Gravedad Esp	% L. L.	%L. P	Clasificación S.U.C.S	Ángulo De Fricción Interna	Cohesión (Kpa)
1	Arcilla arenosa	2,138	2,401	40,5	2,65	CL	23°	33
2	Conglomerado: Arena mal gradada arcillo limosa	2,18	2,713	23	22,39	SP & SCM	32°	12

Modelo en condiciones críticas – Dinámicas saturadas

Para el análisis del modelo geotécnico se utilizó el software para computador Slide, (versión libre) es un programa de análisis de estabilidad de taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite.

Condiciones iniciales

en los cortes del talud crítico (alteradas – inalteradas), ver figura 4.

Con el objetivo de calibrar el modelo se realizó un modelo bajo condiciones iniciales, año 2015 antes del deslizamiento, en el cual se contempló los cortes y las viviendas que existían para dicha época.

En la figura 5 se puede ver que el factor de seguridad es de 0.917 por el método de Morgensterin- Price, el cual se considera inestable por ser inferior a 1.1 y posee una probabilidad de falla del 55%, lo que deja en evidencia el porqué

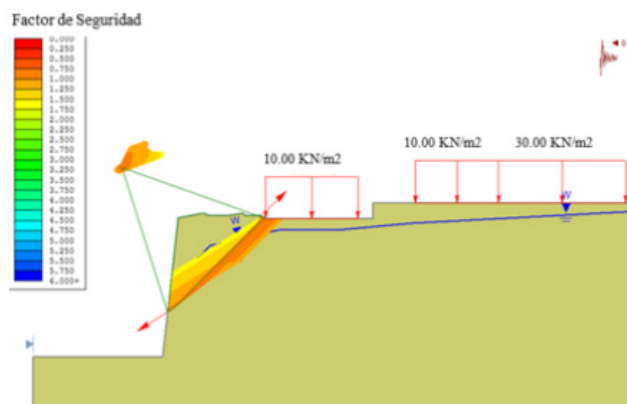


Figura 5. Modelo dinámico Saturado año 2015

Condiciones finales

En la figura 6, se puede ver los resultados del modelo en igual condiciones críticas, dinámicas saturadas con probabilidad de falla del 44.7% y factores de seguridad

inferiores a 1.1, lo cual permite percibir que la susceptibilidad a presentarse un nuevo deslizamiento es alta, si se retira el material de la base dejado por el evento del año 2015.

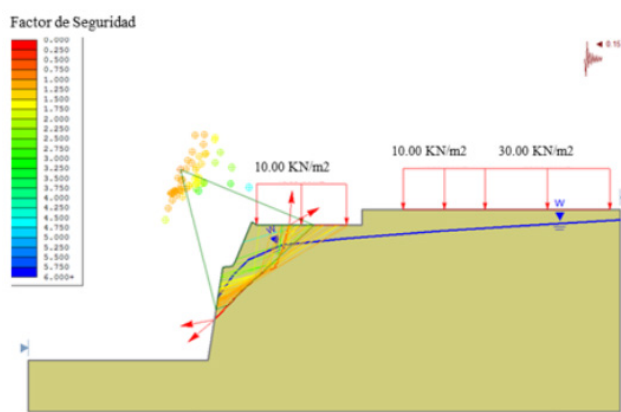


Figura 6. Modelo dinámico Saturado año 2018

Análisis de resultados

El modelo en condiciones iniciales permitió calibrar el modelo bajo las características físico mecánicas de los materiales, esto con el objetivo de generar un modelo bajo condiciones finales, el cual servirá para tomar acciones preventivas en lo relacionado a la amenaza del sector, es de resaltar del colapso en el año 2015.

que faltaría el estudio complementario de la vulnerabilidad con el cual se podría definir el riesgo que presenta la comunidad que habita dicho sector del barrio Cuesta Blanca, en el municipio de Ocaña Norte de Santander Colombia.

En las tablas 2 y 3 se puede ver el resumen general de los resultados obtenidos de los modelos, en donde es evidente que en la actualidad existe una probabilidad considerable a un nuevo deslizamiento según lo encontrado en el modelo de

condiciones finales, por lo que requiere entidades de Gestión de Riesgo), una posible evaluación a profundidad de los diferentes actores (Comunidad,

Tabla II. Resultados modelo condiciones iniciales

Método	Con Nivel Freático FS DETER	Con Nivel Freático FS MEDIO	PF (%)
Ordinary /Fellenius	0,955	1,031	45
Bishop simplified	0,889	0,964	55
Janbu simplified	0,918	0,989	55
Spencer	0,917	0,99	55
Morgensterin- Price	0,917	0,989	55

Tabla III. Resultados modelo condiciones finales

Método	Con Nivel Freático FS DETER	Con Nivel Freático FS MEDIO	PF (%)
Ordinary /Fellenius	1,04	1,098	39,8
Bishop simplified	0,987	1,039	47,2
Janbu simplified	1,003	1,058	44,6
Spencer	1,008	1,063	43,8
Morgensterin- Price	1,006	1,061	44,1

Conclusiones

Con el desarrollo de la investigación se llegan a las siguientes conclusiones:

- En el talud analizado existe un solo tipo de estrato, pues esta cuenta con gran espesor abarcando todo el talud, presentando una caracterización de suelo arcillo arenoso color verde grisáceo con ángulo efectivo de fricción interna 23° y una cohesión efectiva de 33 kPa.
- El deslizamiento ocurrido en el talud se presentó debido a la saturación de los materiales que conforman las capas superficiales debido a las fuertes lluvias ocurridas en el año 2015, provocando sobre carga y disminución de la resistencia al corte de los materiales, el deslizamiento es de tipo traslacional.
- Los factores de seguridad en la actualidad son inferiores a 1,1 con una probabilidad de falla del 47,6 %, lo cual permite establecer que en la actualidad esta zona es susceptible ante nuevos eventos ya que el fenómeno está activo, debido al incremento de los factores condicionantes del sector como lo es la sobrecarga de la corona del talud entre otros, que sumado a los detonantes como la lluvia y la micro sismicidad aumentan la probabilidad de falla.
- En el sector existen muchos más sectores críticos que deberán ser evaluados permitiendo de esta forma salvaguardar la vida de los habitantes.
- Este proyecto es un insumo que permitirá en primera instancia a la comunidad conocer la amenaza a la que se encuentra expuesta la comunidad y en segundo lugar a las organizaciones encargadas de la gestión del riesgo en el municipio de Ocaña Norte de

Santander Colombia.

Agradecimientos

Los autores dan los agradecimientos al grupo de investigación en Geotecnia, Construcción y Medio Ambiente GIG-MA, por brindar los espacios necesarios para el desarrollo de este tipo de investigación y la Universidad Francisco de Paula Santander por el apoyo de las instalaciones de los respectivos laboratorios de mecánica de suelos y pavimentos y los equipos del laboratorio de topografía y fotogrametría.

Referencias

- [1] Solano Villamizar, L. “Análisis de los procesos erosivos en las vertientes de la microcuenca Hato Viejo Municipio de Chitagá”, (Trabajo de Grado Pregrado-Ingeniería Civil), Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Pamplona, 2018.
- [2] D. M. Criado-Rodríguez, W. A. Pacheco-Vergel, y N. Afanador-García, “Vulnerabilidad sísmica de centros poblados: estudio de caso”, *Rev. Ingenio*, vol. 17, n.º 1, pp. 43–48, ene. 2020. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2441>
- [3] Cruz Castañeda, A. N. “Análisis de amenaza por procesos de remoción en masa en el Barrio San José de la ciudad de Villavicencio”, (Trabajo de Grado Pregrado-Ingeniería Civil), Facultad de Ingeniería, Villavicencio, 2019.
- [4] Chaves, D. A. A., & Villalba, J. P. P., “Análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa en la región del boquerón ubicada entre

- los departamentos de Cundinamarca y Tolima mediante el uso de un sistema de información geográfica de libre distribución”, (Trabajo de Grado Pregrado-Ingeniería Civil), Facultad de Ingeniería. Universidad Católica de Colombia, 2013
- [5] Torres, B. A., “Deslizamientos en taludes inducidos por altas precipitaciones en vías intermunicipales en Colombia”, (Tesis de Grado de Postgrado-Especialista en Gerencia Ambiental), Facultad de Ingeniería, Universidad de la Salle, 2012.
- [6] Gallardo Amaya, R. J., Guerrero Barbosa, T. E., & Macgregor Torrado, A. A., “Investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia)”. *Inge Cuc.*, vol. 9, No. 2, pp. 66-74, 2013.
- [7] García-Fayos, P. *Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica*, pp. 309-334, 2004.
- [8] Hernández Sánchez, J. M. D. L. D., Fernández Reynoso, D. S., Martínez Menez, M. R., Figueroa Sandoval, B., Rubio Granados, E., & García Rodríguez, J. L. “Evaluación de la estabilidad de taludes en cárcavas, Huasca de Ocampo, Hidalgo”, México. *Terra Latinoamericana*, 37(3), pp.303-313. Doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.468>
- [9] Mardones Flores, M., & Rojas Hernández, J. (2012). “Procesos de remoción en masa inducidos por el terremoto del 27F de 2010 en la franja costera de la Región del Biobío, Chile.” *Revista de Geografía Norte Grande*, (53), pp.57-74, 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022012000300004>
- [10] A. O. Oliva-González y R. Fort-Villavicencio, “Metodología para la predicción de las vibraciones del terreno inducidas por voladuras y sus efectos en las estructuras. Aplicación en un caso real”, *Rev. Ingenio*, vol. 16, n.º 1, pp. 1–9, ene. 2019. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2381>
- [11] Naranjo Bedoya, K., Aristizábal Giraldo, E. V., & Morales Rodelo, J. A. “Influencia del ENSO en la variabilidad espacial y temporal de la ocurrencia de movimientos en masa desencadenados por lluvias en la región Andina colombiana”. *Ingeniería y Ciencia*, 15(29), pp. 11-42, 2019. Doi: <https://doi.org/10.17230/ingciencia.15.29.1>
- [12] Lizcano, A., Herrera, M. C., & Santamarina, J. C. “Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia”. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 6(2), 167-198, 2006.
- [13] Alcaldía Municipal de Ocaña, “PBOT 2015 – Formulación Urbana”, Ocaña-Norte de Santander, 2015. [Online]. Available: <http://www.ocana-nortedesantander.gov.co/planes/pbot-2015--formulacion-urbana>