



Diseño de Estabilidad de talud del sector de la Simbocal, vía Margarita-San Vicente, provincia de Manabí

Slope stability design of the Simbocal sector, Margarita-San Vicente road, province of Manabí

Dimensionamento de estabilidade de taludes do setor Simbocal, estrada Margarita-San Vicente, província de Manabí

Estefani Carolina Gómez-Intriago ^I

egomez4491@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

Doménica Fernanda Guevara-Sánchez ^{II}

dguevara5681@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

Eduardo Ortiz-Hernández ^{III}

eduardo.ortiz@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

Correspondencia: egomez4491@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 11 de enero de 2024 * **Aceptado:** 20 de febrero de 2024 * **Publicado:** 13 de marzo de 2024

- I. Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

En las zonas geográficas propensas a movimientos del suelo, como la provincia de Manabí, el diseño y la estabilidad de taludes son elementos cruciales para garantizar la seguridad de las infraestructuras viales. La vía Margarita-San Vicente, específicamente en el sector de la Simbocal, presenta una problemática significativa en cuanto a la estabilidad de sus taludes, lo que ha suscitado preocupaciones tanto a nivel de seguridad vial como de sostenibilidad de la infraestructura. El objetivo principal de esta investigación es abordar y resolver las cuestiones de estabilidad del talud en el sector de la Simbocal, desarrollando un diseño que no solo mejore la seguridad de la carretera, sino que también garantice la resistencia frente a posibles eventos geotécnicos. Para lograr este objetivo, se llevará a cabo una metodología que incluirá el análisis de las condiciones geotécnicas del terreno, la evaluación de la topografía local y la utilización de herramientas de modelado y simulación geotécnica. Además, se llevarán a cabo pruebas de laboratorio para comprender mejor las propiedades del suelo en la zona. Los resultados esperados de esta investigación brindarán a las autoridades locales y planificadores viales las herramientas necesarias para abordar de manera efectiva las preocupaciones de estabilidad y seguridad en esta importante vía de la provincia de Manabí.

Palabras clave: Estabilidad de talud; Vía Margarita-San Vicente; Simbocal; Provincia de Manabí; Diseño geotécnico.

Abstract

In geographical areas prone to ground movements, such as the province of Manabí, the design and stability of slopes are crucial elements to guarantee the safety of road infrastructure. The Margarita-San Vicente road, specifically in the Simbocal sector, presents a significant problem in terms of the stability of its slopes, which has raised concerns both in terms of road safety and infrastructure sustainability. The main objective of this research is to address and resolve slope stability issues in the Simbocal sector, developing a design that not only improves the safety of the road, but also guarantees resistance to possible geotechnical events. To achieve this objective, a methodology will be carried out that will include the analysis of the geotechnical conditions of the terrain, the evaluation of the local topography and the use of geotechnical modeling and simulation tools. Additionally, laboratory tests will be carried out to better understand the soil properties in the area.

The expected results of this research will provide local authorities and road planners with the necessary tools to effectively address stability and safety concerns on this important road in the province of Manabí.

Keywords: Slope stability; Via Margarita-San Vicente; Symbocal; Province of Manabí; Geotechnical design.

Resumo

Em zonas geográficas propensas a movimentos de solo, como a província de Manabí, o desenho e a estabilidade dos taludes são elementos cruciais para garantir a segurança das infra-estruturas rodoviárias. A estrada Margarita-San Vicente, especificamente no sector Simbocal, apresenta um problema significativo em termos de estabilidade das suas encostas, o que tem suscitado preocupações tanto em termos de segurança rodoviária como de sustentabilidade das infra-estruturas. O principal objetivo desta pesquisa é abordar e resolver problemas de estabilidade de taludes no setor Simbocal, desenvolvendo um projeto que não só melhore a segurança da estrada, mas também garanta resistência a possíveis eventos geotécnicos. Para atingir este objetivo será realizada uma metodologia que incluirá a análise das condições geotécnicas do terreno, a avaliação da topografia local e a utilização de ferramentas de modelagem e simulação geotécnica. Além disso, serão realizados testes laboratoriais para melhor compreensão das propriedades do solo da área. Os resultados esperados desta investigação fornecerão às autoridades locais e aos planeadores rodoviários as ferramentas necessárias para abordar eficazmente as preocupações de estabilidade e segurança nesta importante estrada na província de Manabí.

Palavras-chave: Estabilidade de taludes; Via Margarita-San Vicente; Simbólico; Província de Manabí; Projeto geotécnico.

Introducción

La estabilidad del talud está determinada por factores geométricos, como su altura e inclinación; factores geológicos; hidrogeológicos; y geotécnicos. De esta manera, la combinación de estos cuatro factores puede determinar la condición de rotura del terreno en algún tipo de superficie, permitiendo el movimiento de la masa contenida en dicha superficie (Idrogo, 2021). Ramírez y Acosta (2022), establece que para hacer el análisis de un talud es necesario primero conocer las características que lo componen en sus diferentes estados, esto con el fin de identificar y dar la

solución de estabilidad para cada caso. Bajo este contexto Valiente Sanz et al., (2016) nos menciona que en la evaluación de la estabilidad de los taludes se abordan fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelo. Los agentes externos responsables de la inestabilidad son una fuerza de masa, el peso y, eventualmente, los efectos de filtración, a los cuales hay que añadir otros factores como las sobrecargas (estáticas/ dinámicas).

A nivel mundial, Mora y Rojas (2012), establece que muchos de los taludes que permanecen estables durante muchos años pueden presentar deslizamientos cuando ocurre un sismo de gran magnitud donde no sólo intervienen características litológicas, geométricas y mecánicas del talud, sino también el régimen de lluvia, evaporación e infiltración del sitio. En América Latina 152 millones de latinoamericanos y caribeños han sido afectados por 1205 desastres de los cuales la región ha experimentado 75 terremotos, que han resultado en 226.000 muertes y 339.000 heridos. En total, los fenómenos telúricos han afectado a 14 millones de personas y causados daños de hasta 54.000 millones de dólares (ONU, 2020). En Ecuador, la inestabilidad de taludes ha causado grandes pérdidas económicas, humanas y ambientales (Macías et al., 2021), como los suscitados en el terremoto de magnitud 7.8 del 16 de abril de 2016, el cual dio como resultado el empuje poco profundo de las fallas, ejerciendo las fuerzas deslizantes elevando la inestabilidad de los taludes, provocando una licuación en los suelos por falla o por corte (SGR, 2016).

Dentro de Manabí, la sismicidad es muy activa, lo que da origen a que se produzcan sismos de magnitudes variadas que pueden influir en el relieve de los sectores, produciendo deformaciones y fallas (Vaca et al., 2009). El sector de la Simbocal se caracteriza por ser una zona morfológicamente moderada a abrupta y que debido a la existencia de las aguas superficiales han dado lugar a la formación de sitios inestables con apareamiento de grietas y fisuras.

Según Ministerio de Transporte y Obras Publicas Sub secretaria Zonal 3 (2018), se conoce que el sector presentaba inestabilidad en sus suelos, pero luego del terremoto del 16A en la costa oeste del norte de Ecuador dio como resultado el empuje poco profundo de las fallas, por lo que las fuerzas deslizantes de un talud elevan su inestabilidad, posteriormente provocaría licuación en los suelos por falla o por corte. Según la consultora Acolit en el 2019 investigo a fondo este sitio, donde localizo 3 fallas, que presenta grietas y cuerpos desplazados con buzamientos pronunciados con disposición horizontal. Es provechoso el desenvolvimiento de esta investigación ya que es necesario examinar las fallas más comunes que se presentan para luego proponer una posible solución mediante métodos de cálculo computarizados. Desde el punto de vista de Patricio (2021)

menciona que, la modelación matemática de un talud se realiza para analizar las condiciones de estabilidad, seguridad y funcionalidad de un determinado talud.

La aplicación de técnicas geofísicas en la investigación de taludes permite potencialmente posible identificar y definir la superficie de rotura de dicho deslizamiento, dependiendo de las condiciones del talud, los materiales que lo componen y el contraste en el parámetro analizado (Hürlimann y Pinyol, 2022). Por ello dentro de esta investigación se propone la modelación matemática por medio del Programa GeoSlope, el cual funciona como un analizador de estabilidad de taludes en suelos con sin cohesión bajo métodos tradicionales de geotecnia, este programa nos ayuda a conocer los deslizamientos del talud y examinar la rotura progresiva. En condiciones sísmicas lleva a cabo tanto el análisis estático como el dinámico (Pineda, 2021). Con base en lo dicho, este estudio surge con la finalidad de identificar zonas susceptibles a deslizamientos de tierra en el sector de la Simbocal, vía Margarita-San Vicente y la determinación de criterios edafoclimáticos. Así mismo, la importancia de los resultados radica en el interés de prevenir y evitar la afectación, además, de poder ser incluido en un atlas de riesgo para implementar medidas preventivas y de control.

Por lo que es posible realizar un diseño de talud mediante GeoSlope que ayude a minimizar los posibles riesgos a deslizamientos, por ello el objetivo general de la investigación es diseñar la estabilidad del talud en el lugar de estudio que evite futuras amenazas y riesgos que afecten de manera significativa a la población del sector de la Simbocal.

Materiales y Métodos

Enfoque y tipo de la investigación

El tipo de estudio es experimental porque se analizó la estabilidad del talud del sector de la Simbocal, vía Margarita-San Vicente mediante ensayos de laboratorio, de campo y bajo cálculos de sistematizados. Contado con un enfoque cuantitativo y de alcance descriptivo, donde se obtiene datos a través de la experimentación y los compara con variables constantes.

Localización del área de estudio

El área del estudio está ubicada a la altura de la abscisa 9+700 en la carretera San Antonio – San Vicente, en la provincia de Manabí, y forma parte de la red vial Estatal como vía colectora que une los corredores arteriales E15, a misma que se sitúa entre las coordenadas geográficas:

Ubicación	Latitud (N)	Longitud (E)	Altitud
Km. 9+700	9.924.320	584.922	14.20

Tabla 1. Localización del área de estudio

Su trazado recorre la margen derecha de estuario del Río Chone a lo largo de terrenos llanos y ondulados.

Caracterización de área de estudio

Durante el periodo invernal el sector de Simbolcal en la margen derecha de la carretera que conduce desde San Antonio con dirección a San Vicente, mantiene deslizamientos hundimientos y agrietamientos que durante varios años se han visto afectadas las viviendas construidas muy cerca a este deslizamiento. El sector se caracteriza por disponer de superficies irregulares cortados por diferentes esteros de régimen intermitente con pendientes suaves a moderadas, su altitud media se halla entre los 15 msnm. El acceso a la zona de estudio es posible a través de la carretera de pésimas condiciones desde San Antonio - San Vicente, la zona crítica se ubica en lado derecho de dicha vía.

Metodología

Propiedades físicas y mecánicas del suelo

Dentro del análisis de estabilidad en vías es necesario delimitar la zona de influencia en detalle, para lo cual se ejecutó un levantamiento topográfico georreferenciando el talud del sector, se realizaron calicatas a cielo abierto a profundidades de 0.50, 1.00 y 1.50 metros desde el nivel de la subrasante determinando valores esenciales como el Limite Liquido (LL), Limite Plastico (LP), Indice Plastico (IP), contenido de humedad, clasificación SUCS, clasificación ASTHTO, Proctor y CBR, conjuntamente se analizó un Sondeos Eléctrico Vertical el cual es un método geofísico mediante que genera un campo eléctrico artificial mediante la emisión de corriente continua en dos electrodos de emisión A y B. A su vez se mide la diferencia de potencial en dos electrodos M y N, para esta práctica se utilizó el método SCHLUMBERGER para espaciamientos de electrodos de emisión- corriente que fluctuó los 140m de AB como se

SONDAJE ELECTRICO VERTICAL No. -3				
Estrato N o.	Profundidad Metros	Espesor Metros	Resistividad Verdadera Ohmios - metros	Geología Asumida
I	2,0	2,0	39	Suelo vegetal arcilloso-limoso
II	7,0	5,0	9,8	Arcillas arenosas, limos
III	10,0	3,0	0,3	Arcillas
			90	Areniscas/lutitas

Figura 1. Formula de resistividad aparente

Simbología

A y B Electrodo de corriente

M y N Electrodo de potencia

L/2 Distancia media entre electrodos

Análisis el talud aplicando el método de Fellenius/Petterson mediante el uso del software GEO-SLOPE

El programa Geoslope es un software de modelamiento de estabildades de pendientes, la deformación del suelo, la transferencia de calor, masa en suelo y roca donde se realiza los cálculos para obtener factor de seguridad a partir de la teoría del equilibrio límite. permite analizar casi cualquier problema de estabilidad de pendientes que pudiera surgir en su proyecto de ingeniería geotécnica, civil y minera (GEOSLOPE, 2020).Dentro de esta investigación se utilizará la versión GeoSlope 2012 para el análisis del talud, donde se aplicó el método de cálculo de Fellenius/Petterson en base a los datos obtenidos mediante la extracción de muestras con las cuales se pudieron determinar las características de los distintos estratos de suelo mediante la clasificación SUCS ,determinación de los límites de Atterberg y peso específico, además se calcularon parámetros de resistencia mediante ensayos triaxiales como son: cohesión, ángulo de fricción interna y peso específico. Es posible además agregar datos de volúmenes de sedimentos con la finalidad de mejorar la calidad de los resultados (Casanova et al., 2024).

Método de Fellenius/Petterson, cálculo del factor de seguridad

Para el análisis de alternativas de estabilización del talud en el sector de Simbolcal se utilizó el programa Geo-Slope basado en criterios como: los sitios críticos de deslizamiento, propiedades

mecánicas de los suelos y condiciones de carga. La metodología de cálculo está dada por el método Fellenius/Petterson, el cual consiste en asumir superficies y determinar la falla circular, la falla circular consiste en dividir el área en dovelas y así obtener las fuerzas actuantes y resultantes como se ilustra en la figura 2.

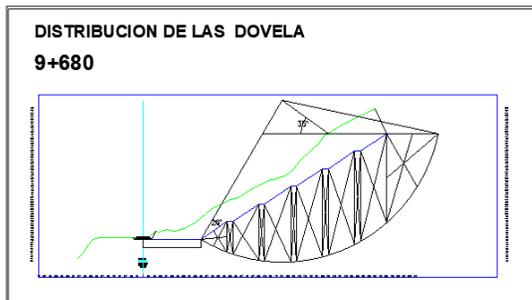


Figura 2. Distribución de dovelas por el método de Fellenius.

El factor de seguridad se calcula en condiciones iniciales estáticas y dinámicas para probar la estabilidad del talud, de acuerdo al factor obtenido inicialmente y a las condiciones del terreno, se aplicarán las medidas correctivas, de manera de elevar el factor de seguridad del perfil en estudio. De acuerdo a la NEC (NEC, 2014) usamos el factor de seguridad de FS=1,50.

$$F. s = \frac{\sum[(C' L + (W \cdot \cos\alpha - u + L) \tan\phi)]}{\sum W \sin\phi} \quad \text{Ec .1}$$

Donde:

ϕ : Ángulo

C: Cohesión (Tn/m²)

sen ϕ : Seno del ángulo de la dovela

cos ϕ : Coseno del ángulo de la dovela.

B: base (m)

H: Altura(m)

L: b/ cos ϕ : longitud de cada dovela (m)

A: b*A: Área de cada dovela (m²)

W: Peso de cada dovela(kg/m²)

Hw: altura del agua fuera del talud (m)

u= presión de poros

Resultados

Analizando los resultados obtenidos de la toma de muestra de diferentes sectores del talud se presenta alteraciones que determinaron los siguientes resultados

CALI CATA	PROFUNDI DAD(m)		Fc	% LL	% IP	% w	SU CS	AAS HTO	PROC TOR Kg/m ³	C.B .R. %	DESCRIPCION DEL SUELO
	DE	A									
1	0	0.5	67. 45	27. 28	40. 16	22. 72	CH	A-7-6	1593	3.4 0%	Arcilla inorgánica de alta plasticidad.
	0.5	1	66. 89	28. 10	38. 79	30. 68	CH	A-7-6			Arcilla inorgánica de alta plasticidad.
	1	1.5	65. 94	24. 08	41. 87	30. 65	CH	A-7-6			Arcilla inorgánica de alta plasticidad.
2	0	0.5	56. 24	23. 90	32. 34	39. 65	CH	A-7-6	1593	2.7 8%	Arcilla inorgánica de alta plasticidad.
	0.5	1	52. 27	26. 03	26. 24	50. 10	CH	A-7-6			Arcilla inorgánica de alta plasticidad.
	1	1.5	55. 81	24. 40	31. 41	23. 94	CH	A-7-6			Arcilla inorgánica de alta plasticidad.
3	0	0.5	45. 24	28. 60	16. 63	20. 22	ML	A-7-6	1568	3.1 0%	Limo inorgánico limo arenoso o arcilloso ligeramente plástico
	0.5	1	47. 81	28. 60	19. 21	17. 84	ML	A-7-6			Limo inorgánico limo arenoso o arcilloso ligeramente plástico
	1	1.5	53. 81	23. 15	30. 66	17. 84	CH	A-7-6			Arcilla inorgánica de alta plasticidad.

Tabla 2. Resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio de 3 calicatas

Los valores de resistividad eléctrica y correlacionándolos con la Geología del sector se dispone que son suelos vegetales arcillosos, con mezcla de limos y arenas de diferente granulometría como se muestra en la tabla 3.

SONDAJE ELECTRICO VERTICAL No. 1				
ESTRATO	PROFUNDIDAD	ESPESOR	RESISTIVIDAD VERDADERA	GEOLOGIA ASUMIDA
No.	Metros	Metros	Ohmios-metros	
I	1	1	3	SUELO VEGETAL, ARCILLOSO LIMOSO
II	4	3	3.4	ARCILLAS LIMOSAS
III	19.4	15.4	1.6	ARCILLAS LIMOLITAS
IV	27.4	8	4.5	ARCILLAS ARENOSAS O LIMOSAS
			1.5	ARCILLAS

Tabla 3. Sondaje eléctrico vertical

El ensayo de Sondeo Eléctrico Vertical dio los siguientes resultados:

Estrato I: suelo con presencia de capa vegetal, arcilloso y limoso

Estrato II: arcillas limosas

estrato III: arcillas limolitas

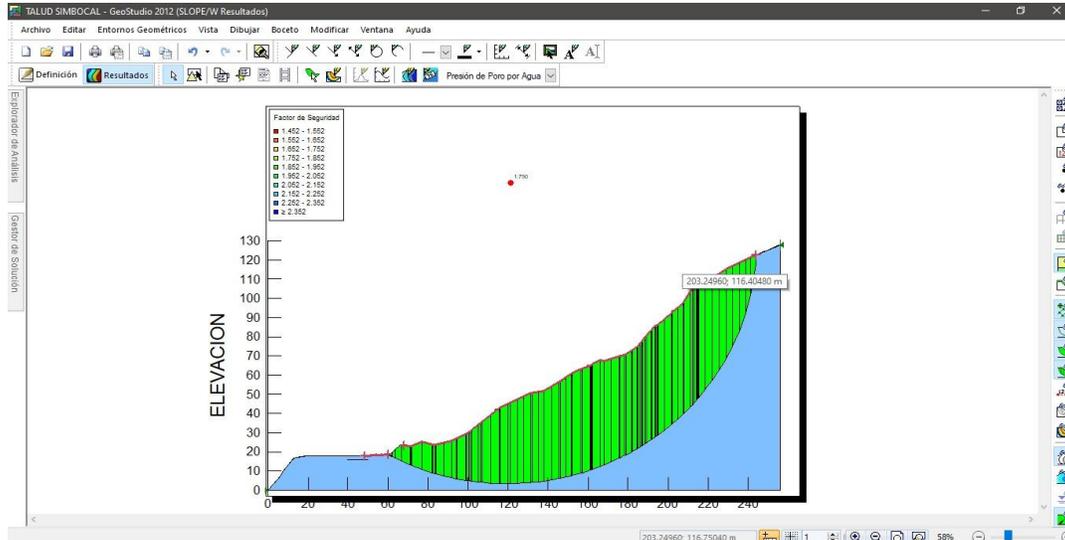
estrato IV: arcillas arenosas/limosas.

Analizar el talud mediante el uso del software GEO-SLOPE

Establecer el factor de seguridad.

Método	Talud	Terraza (m)	Fs			
Perfil natural			0.85			
Fellenius	1:1	3	1.38			
Fellenius	1:1	5	Fellenius	1:1.5	5	1.9
Fellenius	1:1.5	5	1.9			

Tabla 4. Análisis de resultados de software Geoslope



El talud se considera no estable dado que no cumple con lo requerido ya que la relación de fuerzas resistente y fuerzas desestabilizadoras tiene un FS de 0.85, es por ello que se modifica la sección geometría para poder dar estabilidad al talud cuyas dimensiones serán de 1:1.5, superando el factor de seguridad de acuerdo a la norma. La inclinación recomendada para el talud es realizar un corte con relación 1:1.50 con alturas de corte no mayores a 30 metros, a su vez construir terrazas de 5 metros de ancho y cunetas revestidas al pie de talud

Conclusiones

- La investigación comprobó que existe falla, exponiendo que existe un potente sedimento en riesgo de deslizamiento.
- El material a deslizarse son suelos arcillosos sueltos que tienen humedad relativa.
- Existen grietas provocadas por acción de la lluvia que alimentan el deslizamiento de la zona.

Referencias

1. Acolit Asesores y Consultores del Litoral (2019). Estudio Geológico – Geotécnico para Estabilización Del Talud Km, 9+700 Carretera: San Antonio – San Vicente.
2. Casanova-Ruiz, G., Delgado, D., & Panchana, R. (2024). Estimación de volúmenes de sedimentos por erosión hídrica empleando el modelo RUSLE en cuencas de la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista de Teledetección*, (63), 1-21.
3. GEOSLOPE, s. y. (4 de mayo de 2020). seequent. Obtenido de <https://www.seequent.com/es/productos-y-soluciones/software-y-productos-de-geoslope/>
4. Hürlimann, M., & Pinyol, N. (2022) Investigación Previa De Un Deslizamiento Aplicando La Sísmica Pasiva HVSR En Guarumales, Azuay. Ecuador.
5. Idrogo Cabrera, C. N. (2021). Evaluación geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes en carreteras: una revisión sistemática de la literatura científica.
6. Macías, L., Loor, D., Ortiz-Hernández, E., Casanova, G., & Delgado, D. (2021, May). Comparative Analysis of Soil Slope Stability, Using Dynamic and Pseudo-static Methods on the Garrapata-Santa Maria Road, Manabi Province, Ecuador. In *International Conference on Water Energy Food and Sustainability* (pp. 505-515). Cham: Springer International Publishing.
7. Mora , O. R., & Rojas , G. E. (2012). Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas. *Ingeniería Investigación y Tecnología.*, 55-68.
8. NEC. (diciembre de 2014). habitadyvivienda. Obtenido de <https://www.habitadyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/7.-NEC-SE-GC-Geotecnia-y-Cimentaciones.pdf>
9. ONU. (03 de 10 de 2020). América Latina y Caribe conforman la segunda región más propensa a desastres naturales. (TELAM, Ed.) Obtenido de <https://www.telam.com.ar/notas/202001/421197-america-latina-y-caribe-conforman-la-segunda-region-mas-propensa-a-desastres-naturales-en-el-mundo.html#:~:text=En%20el%20mismo%20periodo%20la,hasta%2054.000%20millones%20de%20d%C3%B3lares.>

10. Patricio, P. V. (23 de octubre de 2021). Análisis de estabilidad de taludes de una extensión de 260 metros en la vía Papallacta Baeza, sector Cuyuja. Obtenido de BIBDIGITAL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21881>
11. Pineda, G. L (2021). Introducción al uso del programa Slope/W versión 2021.
12. Ramírez Gamboa, D. F., & Acosta Pinzón, J. D. (2022). Evaluación geotécnica de la estabilidad de taludes en diferentes zonas de la comuna 8 en la ciudad de Medellín.
13. Secretaría de Gestión de Riesgos. (2016). Informe de situación N° 65-16/05/2016 Terremoto 7.8°-Pedernales.
14. Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2016). Estabilidad taludes, conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. Revista civilizate, (7), 50-54.
15. Vaca, S., Regnier, M., Bethoux, N., Alvarez, V., & Pontoise, B. (2009). Sismicidad de la región de Manta: Enjambre sísmico de Manta-2005. Researchgate, October 2015, 17.

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).