

ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE DESLIZAMIENTOS EN LA VÍA SIMBOCAL EN SAN ANTONIO – SAN VICENTE, PROVINCIA DE MANABÍ

GEOLOGICAL – GEOTECHNICAL STUDY FOR THE STABILIZATION OF SLIDE ON THE SYMBOCAL ROAD ON THE SAN ANTONIO – SAN VICENTE, PROVINCE OF MANABÍ

Karla Sara Barragán Triana ^{1*}

¹ Magíster en Gestión Ambiental; Investigadora independiente; Paján, Manabí, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5100-7005>. Correo: saritaatriana@gmail.com

Rodrigo Paul Cabrera Verdezoto ²

² Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9560-5795>. Correo: rodrigo.cabrera@unesum.edu.ec

* Autor para correspondencia: saritaatriana@gmail.com

Resumen

El deslizamiento de taludes es uno de los problemas más frecuentes y desafiantes en la ingeniería. Se utilizan diversos métodos para su equilibrio y reconocimiento de fallas estructurarles con el fin de mejorar la estabilidad de los mismos, por ello la investigación busca identificar diferentes horizontes sísmicos para conocer el plano de falla y su resistencia eléctrica. Se realizaron sondeos eléctricos verticales, con el dispositivo espacial Schlumberger y a su vez se utilizó un Resistivímetro Terrameter ABEM-SAS 300B con aberturas de 200m de AB. Para la sísmica de refracción se utilizaron bases de los perfiles sísmicos de 120m, en donde los puntos de explosión se establecieron a 5m del primero y del décimo segundo geófono, para ello se utilizó un sismógrafo de refracción SEISTRONIX – RAS 24. Los resultados de la investigación determinaron la existencia de tres horizontes sísmicos de los cuales en el primer horizonte de 5.50 hasta 8.90 metros de profundidad se encontró el plano de falla donde sus características predominan en suelos arcillosos sueltos intercalados con capas de arena suelta producto de la erosión eólica y meteorización. Dentro de la orientación de los SEV se trazó un perfil geoelectrico longitudinal, donde se denota la presencia de suelos residuales secos, sedimentos de granulometría fina, lo más crítico es la presencia de la discontinuidad geo eléctrica que asoma en la zona del SEV No.2, donde se concluye que las diferencias litológicas de los materiales y o rocas del subsuelo que se hallan presentes en la margen derecha de la carretera San Antonio -



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Sociedad Ecuatoriana de Investigación Científica. E-mail: revistaalcon@gmail.com

San Vicente determinan características litoestratigráfica que pueden causar deslizamientos en este sector de gran magnitud.

Palabras clave: estabilidad de taludes; resistencia eléctrica; diferencias litológicas

Abstract

Slope sliding is one of the most frequent and challenging problems in engineering. Various methods are used for their balance and recognition of structural faults in order to improve their stability, therefore the research seeks to identify different seismic horizons to know the fault plane and its electrical resistance. Vertical electrical surveys were carried out with the Schlumberger space device and in turn a Terrameter ABEM-SAS 300B Resistivometer with 200m AB openings was used. For the refraction seismic, bases of the 120m seismic profiles were used, where the explosion points were established 5m from the first and the twelfth geophone, for this a refraction seismograph SEISTRONIX – RAS 24 was used. The results of the investigation determined the existence of three seismic horizons of which in the first horizon of 5.50 to 8.90 meters deep the fault plane was found where its characteristics predominate in loose clay soils interspersed with layers of loose sand product of wind erosion and weathering. Within the orientation of the SEV, a longitudinal geoelectric profile was drawn, which denotes the presence of dry residual soils, fine-grained sediments, the most critical thing is the presence of the geoelectric discontinuity that appears in the area of SEV No.2, where it is concluded that the lithological differences of the subsoil materials and rocks that are present on the right bank of the San Antonio - San Vicente highway determine lithostratigraphic characteristics that can cause landslides in this sector of great magnitude.

Keywords: Slope stability; electrical resistance; lithological differences

Fecha de recibido: 27/07/2024

Fecha de aceptado: 01/09/2024

Fecha de publicado: 05/09/2024

Introducción

A nivel mundial los deslizamientos es uno de los principales problemas que ocasionan pérdidas humanas, materiales e infraestructurales (Vega y Gamonal, 2024). Estos desprendimientos de la capa superficial del suelo se presentan con mayor frecuencia en zonas montañosas, terrenos con pendientes y lugares con altas precipitaciones (Song et al., 2021).

Highland y Bobrowsky (2008), señala que los factores recurrentes que provocan deslizamientos pueden ser por factores naturales y humanos. Ccalloquispe y Sivana (2024), explica que estos factores naturales se pueden entender a través del estudio de las deformaciones de las cargas exteriores que son ejercidas por el tránsito de equipos pesados y dinámicas que son producidas por las vibraciones de las voladuras que se realizan a diario, que afectan al talud, produciendo grietas de tracción y/o compresión.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Sociedad Ecuatoriana de Investigación Científica. E-mail: revistaalcon@gmail.com

Tal como sucede 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, donde se mantienen deslizamientos, hundimientos y agrietamientos que durante varios años se han visto afectadas las viviendas construidas muy cerca a este deslizamiento.

Por ello, la presente investigación tiene como objetivo identificar los diferentes horizontes sísmicos con los resultados de la sísmica y con el levantamiento geológico de superficie poder obtener modelos geológico - geofísicos que sirvan de base para el cálculo de la inclinación de los taludes y así averiguar sus causas y diseñar posibles las soluciones.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

La zona objeto de la presente investigación es el “Deslizamiento Simbocal” que se encuentra ubicado aproximadamente a 9 km al oeste de San Antonio la misma que se sitúa entre las coordenadas geográficas: 80° 14’ 33.6” Longitud occidental y 00° 41’ 15.4” Latitud sur. 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.

Caracterización del área de estudio

El sector 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. También existen aislados escarpes y la vegetación está ayudando para que el sector se mantenga estable; la red de drenaje superficial corresponde al dendrítico, sin embargo, dadas las condiciones geomorfológicas del sitio se procedió a la investigación con dos líneas sísmica para medir la velocidad sísmica, sobre los sectores en donde se puede observar que el material tiende a deslizarse (Intriago y Hernández, 2024).

Previo a la ejecución de los trabajos de campo, se recopiló y analizó varios documentos referentes a las características de la zona:

CODIGEM

- Hoja Geológica de Nacional, Edición 1976, Esc. 1: 1’000.000
- Mapa Hidrogeológico del Ecuador, 1979, Esc. 1: 1’000.000

INAMHI

- Boletines sobre balances hídricos generales del territorio ecuatoriano
- Hoja geológica de Chone
- Escala 1: 100.000
- Hoja topográfica Chone
- Escala 1: 50.000



Sondeo Eléctrico Vertical

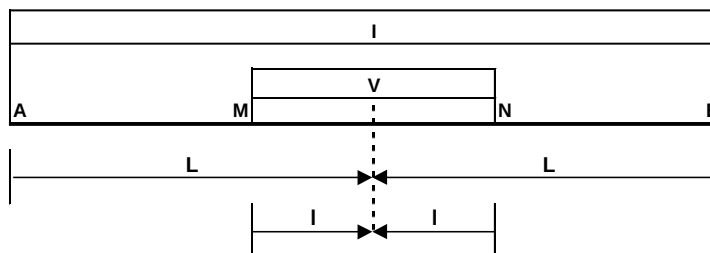
Según Parra (2013), establece que los sondeos eléctricos verticales (SEV), tienen como objetivo proporcionar una interpretación de los materiales de forma unidimensionales hasta tridimensionales de la distribución de la resistividad eléctrica del subsuelo.

La resistividad eléctrica es un método geofísico mediante el cual se genera un campo eléctrico artificial mediante la emisión de corriente continua en dos electrodos de emisión A y B. Al mismo tiempo se mide la diferencia de potencial en dos electrodos M y N, los cuales están dispuestos en el terreno según un dispositivo espacial que determine el método a ser utilizado.

En el presente caso se realizaron sondeos eléctricos verticales, con el dispositivo espacial Schlumberger, donde en un mismo perfil longitudinal los electrodos MN se localizan en forma simétrica a una distancia no mayor que $1/3$ de AB.

La interpretación da como resultado en el punto del SEV, la variación de la resistividad verdadera y las fronteras que diferencian las diferentes capas geológicas. Esta interpretación puede ser correlacionada con la litología, estado de humedad, porosidad, fracturación de la roca, salinidad del agua, etc.

Para el presente trabajo se utilizó también un Resistivímetro Terrameter ABEM-SAS 300B con aberturas de 200m de AB, longitud que depende de la posibilidad de apertura en los sectores escogidos que dieron las facilidades de operación.



Formula de la resistividad aparente

$$\rho_a = \frac{L^2 - l^2}{2l}$$

Simbología:

- A y B Electrodo de corriente
- M y N Electrodo de potencial
- L/2 y l/2 Distancia media entre electrodos

Tomando en consideración la disponibilidad de espacios de acuerdo a la accesibilidad a los sitios, se ejecutaron tres sondajes eléctricos verticales (SEV). En la práctica para ejecutar los Sondajes eléctricos verticales, se utilizó la configuración SCHLUMBERGER, para espaciamientos de electrodos de emisión-



corriente que fluctuó entre los 140m de AB, dependiendo de las condiciones topográficas y de acceso a los sitios investigados.

Sísmica de Refracción

La sísmica de refracción está basada en la medida del tiempo requerido para que una onda de choque compresional, pase de un punto a otro a través del subsuelo. Las ondas de choque son generadas por la explosión de dinamita (Alonso, 2024). Los tiempos de las ondas que tardan en llegar a los geófonos receptores desde cada sitio de explosión que se encuentra a determinada distancia nos da una curva de distancia en función del tiempo (Taco y Camacho, 2024). La velocidad de estas ondas está en proporción directa a la densidad del medio, así como también a su estructura, ligazón, humedad.

Dentro del lugar de estudio los perfiles sísmicos fueron de 120m, en donde los puntos de explosión están a 5m del primero y del décimo segundo geófono se utilizó un sismógrafo de refracción SEISTRONIX – RAS 24, de veinte y cuatro canales, como también se emplearon sus respectivos accesorios de cables de geófonos y de extensión, geófonos horizontales y verticales, batería y detonador.

Este equipo tiene la particularidad de registrar las ONDAS Longitudinales y las Transversales. Además facilita el sismograma directamente.

Resultados y discusión

1. Sondeo Eléctrico Vertical

Los resultados del procesamiento de los datos de campo para cada S.E.V., es la interpretación de las curvas de campo (S.E.V.), para lo cual se elaboró el corte geoeléctrico, que, en sí, es la manera de representar en forma clara y objetiva la distribución en profundidad de las diferentes capas del subsuelo, esto es, de acuerdo a los valores de resistividad, sus espesores y profundidades, tomando muy en cuenta la ubicación de los S.E.V. y desde luego una correcta orientación del perfil. Se resumen en los siguientes cuadros:

Tabla 1. Sondaje Eléctrico Vertical No. - 1

Estrato N o.	Profundidad Metros	Espesor Metros	Resistividad Verdadera Ohmios - metros	Geología Asumida
I	1.0	1.0	3	Suelo vegetal arcilloso limoso
II	4.0	3.0	3.4	Arcillas limosas
III	19.4	15.4	1.6	Arcillas/limolitas
IV	27.4	8.0	4.5	Arcillas arenosas o limosas
			90	Arcillas

En el corte se puede observar que entre los sondeos eléctricos No.1 y No.2 se denomina estrato I, con una buena potencia en la zona del SEV No.1, conformado por suelo de cobertura seco y materiales de relleno, propiamente este estrato está compuesto por una alternancia de sedimentos finos como arcillas, limolitas impermeables, mientras que en el área del SEV No.3.



Tabla 2. Sondaje Eléctrico Vertical No. – 2.

Estrato N o.	Profundidad Metros	Espesor Metros	Resistividad Verdadera Ohmios - metros	Geología Asumida
I	1.2	1.2	2.5	Suelo vegetal arcilloso limoso
II	4.1	2.9	1.6	Arcillas limolitas
III	19.3	15.2	2	Arcillas
			80	Areniscas / lutitas

Existen tres lentes estratigráficos de varias potencias, a nivel superficial lo constituye suelo vegetal arcilloso-limoso, seguido por limolitas o arcillas secas y finalmente por una arcilla impermeable, cabe mencionar que en el área del SEV No. 1 el mismo estrato I y sin potencia existe bajo un lente estratigráfico confinado y se halla en contacto discordante lateral con el estrato II.

Como se puede observar se tiene 80 Ohm-n en el sondeo eléctrico vertical N2 con espesores de 1,2 y 15,2 siendo altos valores resistivos relacionados con material meteorizado y arcilloso limosos, en comparación con el trabajo de Parra (2013), en el su estudio de identificación de superficies de rotura en laderas sobre suelos residuales mediante sondeos eléctricos verticales donde se establecieron valores resistivos entre 80 Ohm-m y 100 Ohm-m, la cual presenta espesores entre 1.0 m y 1.5 m. Se correlaciona con un flujo de escombros, con abundantes fragmentos rocosos parcialmente meteorizados.

Mientras que en el estrato II, se ubica desde en SEV No.2 al No.3 no se define su potencia se encuentra en contacto litológico con una discontinuidad geo eléctrica entre un lente estratigráfico y el estrato I, este conjunto mantendrá una alternancia de sedimentos medios a gruesos y una permeabilidad buena, en los cuales se hallarán con una alternancia de sedimentos como areniscas, gravas posiblemente guijarros.

Tabla 3. Sondaje Eléctrico 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

De acuerdo a los valores de resistividad y correlacionando con la Geología del sector, se puede deducir en forma general su correspondencia litológica de cada una de ellas cuyas características particulares superficialmente dependen de las condiciones topográficas a lo largo del perfil donde se dispone de suelos vegetales arcillosos, con mezcla de limos, arenas de diferente granulometría, en definitiva, todo el conjunto pertenece a la formación onzole generando una intensidad de drenaje alta.





Así como lo indica Méndez Mata y Cartaya Ríos (1998), en su estudio de las características pedo-geomorfológicas de una secuencia de suelos a lo largo de un transepto topográfico donde establece que la correspondencia las leves diferencias sistemáticas que se observan entre los perfiles estudiados no son estructurados, textura arenosa prevaleciente y abundancia de cuarzo en su composición mineralógica, proporcionando un alto grado de porosidad y permeabilidad al suelo, que facilita su lixiviación.

De acuerdo a los sectores investigados se pueden notar las diferencias que existen en la disposición de los sedimentos de diferente granulometría, el grado de permeabilidad, tal como se puede notar los diferentes espesores y sus valores de resistividad eléctrica.

Solo Bouchelouh et al., (2018) utilizan esa relación entre la investigación sobre el grosor de los sedimentos y los ensayos de tipo SEV, mientras que otros investigadores, como Khalili y Mirzakurdeh (2019), emplean correlaciones de ensayos de tomografía eléctrica, pero también incorporan resultados de sondeos mecánicos. En ambos casos, se llega a la conclusión de que la combinación de técnicas del método geoelectrico con medidas de HVSR proporciona resultados confiables para determinar el grosor de los sedimentos superficiales.

La zona de estudio dispone de superficies irregulares semi-planas lomas longitudinales muy característica de las zonas costeras, sector que se halla a unos 9 km desde San Antonio con dirección a San Vicente, existen pequeños esteros de régimen intermitente, que forman la red hidrográfica del sector, su altitud media es 15 m.s.n.m.

Específicamente en la zona que se realizó los estudios geofísicos, las unidades geológicas que se caracterizan regionalmente y se presentan en las diferentes áreas investigadas están representadas por terrazas y depósitos aluviones cuaternarios y la formación Onzole, de las cuales existen restricciones por cuanto sus sedimentos son en su mayoría impermeables.

Sísmica de refracción

Dadas las condiciones geomorfológicas del sitio se procedió a la investigación con dos líneas sísmica para medir la Vs, sobre los sectores en donde se puede observar que el material tiende a deslizarse.



Línea Sísmica 1 – SIMBOCAL

Línea Sísmica 2 - SIMBOCAL

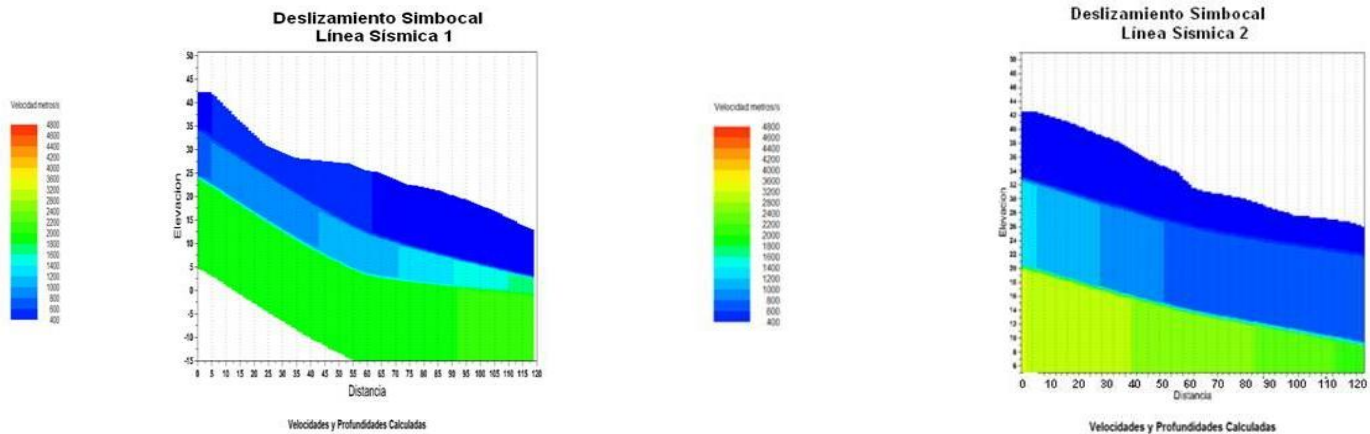


Figura 1. Desplazamiento simbocal.

Analizando los resultados de la sísmica realizada, en este sitio se ha determinado la existencia de tres horizontes sísmicos; de los cuales se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 4. Horizontes sísmicos.

Capa	Velocidad Sísmica (M/S)	Espesores (M)	Tipo de Material
1	400	5.10 – 8.90	Cobertura superficial de suelos arcillosos sueltos intercalados con capas de arena suelta producto de la erosión eólica y meteorización; algo húmedos.
2	1000 – 1600	4.80 – 11.80	Estrato arcilloso interestratificados con capas de arena parcialmente consolidado.
3	2000 – 2400	20	Sub estrato compacto

De acuerdo a la investigación sísmica el plano de falla se encuentra entre 5.50 y 8.90 metros de profundidad. Esto demuestra que existe un potente estrato en riesgo de deslizarse bastante profundo. El movimiento a presentarse es de tipo reptación que se activará una vez que la acción hídrica se haga presente con las lluvias, por cuanto existen grietas que están alimentando este problema. Así lo indica González et al., (2012) donde se estableció que el plano de falla ajustado sigue la geometría estimada geológicamente a partir del modelo con deslizamiento homogéneo obtenido, el plano de falla se extiende y divide en segmentos, permitiendo un análisis más detallado del patrón de distribución de deslizamiento sobre el plano de falla. El material a deslizarse son suelos arcillosos sueltos que están interestratificados con lentes de arena; tienen una relativa humedad.

Conclusiones

En toda el área se mantiene serios inconvenientes de deslizamientos en el talud como agrietamientos, presencia de suelos residuales con acarreo de sedimentos finos, con los resultados y la orientación de los SEV se trazó un perfil geoeléctrico longitudinal, donde se identificó la presencia de suelos residuales secos, sedimentos de granulometría fina, lo más crítico es la presencia de la discontinuidad geo eléctrica que asoma en la zona del SEV No.2.

Las investigaciones geológicas y geofísicas de sismica de refracción se realizaron con el objeto de obtener perfiles tipo de sectores representativos del proyecto que proporcionarán información para el diseño de taludes de corte donde el plano de falla se encuentra entre 5.50 y 8.90 metros de profundidad. Esto demuestra que existe un potente estrato en riesgo de deslizarse bastante profundo. El talud de corte recomendado, podrá ser homogeneizado de acuerdo a las condiciones topográficas en lo que se refiere a su pendiente natural transversal, como también tomando en cuenta el aspecto constructivo.

Referencias

- Alonso Pandavenes, O. M. (2024). Técnicas de sismica pasiva HVSR aplicadas a la geotecnia. Aplicación al estudio de Movimientos en Masa en la Planificación Territorial e Infraestructura Civil en Ecuador (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Bouchelouh, A., Bensalem, R. Z., Machane, D., Moulouel, H., and Oubaiche, E. H., 2018. The miocene roof mapping using microtremor recording and electrical survey method in Blida City, Algeria. *Pure and Applied Geophysics*, 175(1): 287–301.
- Ccalloquispe Ollachica, H. E., & Sivana Vargas, W. (2024). Evaluación geológica y geotécnica de la estabilidad de talud sur-oeste de la fase 6B2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua-2020.
- González, P. J., Tiampo, K. F., Palano, M., Cannavo, F., & Fernández Torres, J. (2012). Determinación geodésica del deslizamiento de falla para el terremoto de Lorca del 11 de Mayo de 2011 usando interferometría radar y GPS.
- Highland, L., & Bobrowsky, P. (2008). Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes
- Intriago, E. C. G., Sánchez, D. F. G., & Hernández, E. O. (2024). Diseño de Estabilidad de talud del sector de la Simbocal, vía Margarita-San Vicente, provincia de Manabí. *Polo del Conocimiento*, 9(3), 1905-1917.
- Khalili, M., and Mirzakurdeh, A. V., 2019. Fault detection using microtremor data (HVSR-based approach) and electrical resistivity survey. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(2): 400-408
- Méndez Mata, W., & Cartaya Ríos, S. (1998). Estudio de las características pedo-geomorfológicas de una secuencia de suelos a lo largo de un transepto topográfico, en el área de la Mesa La Tentación, estado Anzoátegui, llanos orientales de Venezuela. *Espacio Y Desarrollo*, (10), 7-26. Recuperado a partir de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/8052>





- Parra Vargas, C. E. (2013). Identificación de superficies de rotura en laderas sobre suelos residuales mediante sondeos eléctricos verticales (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT).
- Taco, M. B., & Camacho, J. A. P. (2024). Zonas geotécnicas con condiciones favorables y desfavorables para construcciones desde ensayos geofísicos de sismicidad en la ciudad de Guaranda, Ecuador. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 9(1), 80-95.
- Song, X., Huang, M., He, S., Song, G., Shen, R., Huang, P., & Zhang, G. (2021). Erosion Control Treatment Using Geocell and Wheat Straw for Slope Protection. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2021/5553221>

