e-ISSN **3073-1151**
Julio-Septiembre, 2025
Vol. **2**, Núm. **3**, **588-609**
https://doi.org/10.63415/saga.v2i3.214

CC BY NC

SAGA
Revista Científica Multidisciplinar
https://revistasaga.org/

Artículo de investigación original

Caracterización geotécnica del deslizamiento del sector La Vainilla del cantón Santa Ana, provincia de Manabí

Geotechnical Characterization of the Landslide in La Vainilla Sector of the Santa Ana canton, Manabí province

Jean Carlos Avendaño Salvatierra[1], Jandry Eduardo Caballero Delgado[1], Kervin Arturo Chunga Moran[1]

[1] Universidad Técnica de Manabí (UTM), Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Av. José María Urbina, Portoviejo 130105, Ecuador

Recibido: 2025-05-01 / **Aceptado**: 2025-06-02 / **Publicado**: 2025-07-01

RESUMEN

Este estudio evalúa la dinámica de deformación del suelo que generan los deslizamientos de masas en el sector “La Vainilla”. El primer paso fue el delineamiento de las unidades litológicas donde se logró la comprensión de las propiedades de los materiales geológicos. Posteriormente, mediante sistemas de información geográfica (SIG) se cartografiaron las condiciones del terreno facilitando la obtención de datos como topografía y geología. Además, se diseñó un modelo geotécnico desde técnicas geofísicas, determinando así las propiedades físicas del suelo y localizando zonas que presentan condiciones críticas para la estabilidad. Por último, utilizando el modelo geotécnico realizado y la información técnica obtenida se procedió a proponer, mediante la aplicación del programa GeoStudio, un diseño de estabilidad, para lograr mitigar la exposición alta a deslizamiento que presenta el suelo del sitio y evitar los posibles desastres que pueden provocarse debido a este fenómeno.

Palabras clave: Dinámica de deformación; GeoStudio; modelo geotécnico; técnicas geofísicas; unidades litológicas

ABSTRACT

This study evaluates the soil deformation dynamics generated by landslides in the “La Vainilla” sector. The first step was the delineation of the lithological units, which allowed for an understanding of the properties of the geological materials. Subsequently, using geographic information systems (GIS), the terrain conditions were mapped, facilitating the acquisition of data such as topography and geology. In addition, a geotechnical model was designed using geophysical techniques model was designed using geophysical techniques, thus determining the physical properties of the soil, and locating areas with critical conditions for stability. Finally, using the geotechnical model and the technical information obtained, a stability design was proposed using the GeoStudio program to mitigate the high landslide risk of the site’s soil and prevent potential disasters caused by this phenomenon.

keywords: Deformation dynamics; GeoStudio; geotechnical model; geophysical techniques; lithological units

RESUMO

Este estudo avalia a dinâmica de deformação do solo gerada pelos deslizamentos de massa no setor “La Vainilla”. O primeiro passo foi o delineamento das unidades litológicas, por meio do qual se obteve a compreensão das propriedades dos materiais geológicos. Posteriormente, utilizando sistemas de informação geográfica (SIG), foram mapeadas as condições do terreno, facilitando a obtenção de dados como topografia e geologia. Além disso, foi elaborado um modelo geotécnico a partir de técnicas geofísicas, determinando assim as propriedades físicas do solo e localizando áreas que apresentam condições críticas para a estabilidade. Por fim, utilizando o modelo geotécnico desenvolvido e as informações técnicas obtidas, procedeu-se à proposta, mediante a aplicação do programa GeoStudio, de um projeto de estabilidade, com o objetivo de mitigar a alta exposição a deslizamentos apresentada pelo solo do local e evitar os possíveis desastres que podem ser provocados por esse fenômeno.

palavras-chave: Dinâmica de deformação; GeoStudio; modelo geotécnico; técnicas geofísicas; unidades litológicas

Forma sugerida de citar (APA):

Avendaño Salvatierra, J. C., Caballero Delgado, J. E., & Chunga Moran, K. A. (2025). Caracterización geotécnica del deslizamiento del sector La Vainilla del cantón Santa Ana, provincia de Manabí. *Revista Científica Multidisciplinar SAGA*, 2(3), 588-609. https://doi.org/10.63415/saga.v2i3.214

Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons de Atribución No Comercial 4.0

INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento general que los deslizamientos de las tierras son principalmente el producto de intensas precipitaciones o movimientos geológicos. Teniendo en cuenta esos aspectos, y algunas regiones son más propensas a la presencia de este tipo de fenómenos (Acevedo et al. 2022).

Los deslizamientos de tierra generalmente se dan por condiciones geomorfológicas ya presentes. Como es el caso de gran parte de Sudamérica, la cual se encuentra con un gran porcentaje de su territorio atravesado por la cordillera de los Andes atravesando a siete países: Argentina, Bolivia, Colombia, Chile, Ecuador, Perú y Venezuela. Debido a esto un gran número de poblaciones en esta región se encuentran ubicadas en áreas propensas a la ocurrencia de este tipo de fenómenos que terminan provocando efectos negativos en todas las poblaciones que se encuentran en sus respectivas áreas de influencia (Ruiz, 2020).

Por otra parte, Ecuador no se encuentra para nada alejada de esta realidad ya que presenta una geomorfología bastante propensa a presentar deslizamientos de tierra especialmente cuando se presentan episodios climáticos de intensas lluvias. En este contexto, la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (2023) gracias a su unidad de monitoreo de eventos adversos determinó que los deslizamientos de tierra están entre los eventos más predominantes en Pichincha durante el año 2019 al 2021, predominancia que aun en la actualidad no tiende a disminuir y que se prevé que se agrave no solo en Pichincha sino también en todas las regiones del país afectadas durante el próximo evento del Fenómeno del Niño.

En el país se establecen los deslizamientos de tierras como la amenaza natural de mayor impacto. Desde el año de 1970 hasta mediados de noviembre del 2019, se han presentado alrededor de 5282 deslizamientos en el país, esto debido a causas naturales como lo son: las precipitaciones, los eventos sísmicos e incesante Fenómeno del Niño: dejando en el 2018, cifras significativas de 47 muertos y 292 personas evacuadas. (Clavijo & Malave, 2020).

Manabí pese a no tener una geomorfología montañosa a niveles de la serranía ecuatoriana también presenta riesgos considerables de deslizamientos. En gran parte de los cantones de esta provincia existen deslizamientos y algunos presentan la amenaza de sepultar zonas pobladas, siento los cantones con más alta vulnerabilidad: Sucre, Portoviejo, Montecristi, Jipijapa, Jaramijó, San Vicente, Santa Ana, Flavio Alfaro, El Carmen y Chone. (Sandoval, 2018).

El cantón Santa Ana, de la provincia de Manabí, localizado en la Cuenca baja del río Portoviejo, es una de las más afectadas por eventos naturales de inundaciones. Como se mencionó anteriormente una de las causas principales para que se produzcan los deslizamientos de tierras además de los eventos sísmicos, son las inundaciones (Burgos et al. 2019).

En el cantón Santa Ana se han suscitado en los años recientes eventos de inundaciones, como el relacionado a las precipitaciones de marzo del 2012, que generó una lámina de agua de menos 1m de altura en la zona central. También se tiene el evento de abril del 2016, cuando la cota del embalse Poza Honda se superó los 107.17 m.s.n.m. y desencadenó en la afectación de cerca de 40 comunidades debido a las inundaciones producidas, acontecimientos que también influyeron en la susceptibilidad a deslizamientos en estas zonas. (Burgos et al. 2019).

Fisiografía del área de estudio

La provincia de Manabí tiene una extensión de 19 427 km2, lo que convierte en una de las provincias de Ecuador con mayor extensión. Presenta relieves que van desde los 400 m.s.n.m. hasta 500 m.s.n.m. La provincia comienza desde los cerros de Paján ubicados al sur de Manabí, hasta el norte, con los cerros de Puca, en los cantones Santa Ana y 24 de mayo (Santillana, 2019).

Posteriormente se encuentran los cerros Las Mercedes, que van desde las mesetas de San Plácido, hasta alcanzar las colinas de Portoviejo y Río Chico. Otros ramales montañosos atraviesan varias zonas de la provincia, pasando por Junín, Balzar, Canoa, Jama y Coaque, hasta llegar a las montañas Mache. En la bahía de Cojimíes, la cordillera Costanera llega a su fin. De igual manera en el cantón Montecristi se encuentran cadenas montañosas aisladas de los cerros Montecristi y Hojas (Santillana, 2019).

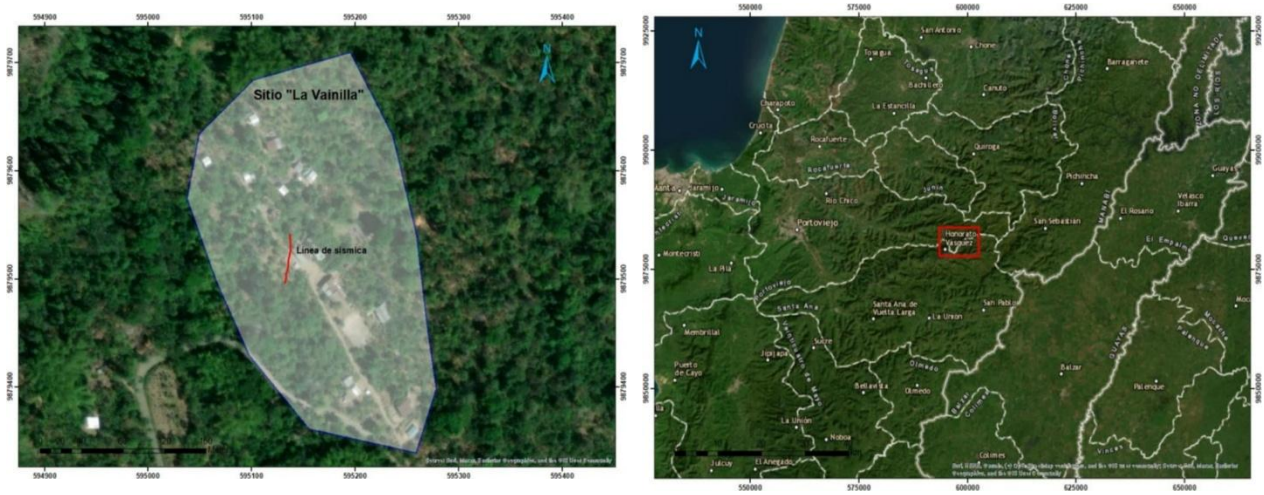
En Manabí, según el informe de la SNGR (2024) la mayoría de los cantones presentan una alta susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones, y considerando lo establecido por SNGR (2023), toda la provincia siempre se encuentra en alerta ante cualquier señal de que se vaya a suscitar el Fenómeno del Niño. En la provincia manabita, habitan 1 592 840 personas, según el último censo del año 2022, siendo la tercera provincia más poblada del país después de Guayas y Pichincha (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2023).

El sitio de estudio “La Vainilla” se encuentra en el cantón Santa Ana, parroquia Honorato Vázquez. Parroquia que se encuentra a unos 110 m.s.n.m., con una extensión de 154.2 km2 y con una población de 6 442 habitantes. Se encuentra sentado en el talud del margen derecho al norte de la represa Poza Honda (véase en la figura 1) (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2023).

La zona de estudio se encuentra ubicada en el antearco de la costa ecuatoriana, formada por un basamento de origen oceánico el cual sirve como base para la acumulación de depósitos sedimentarios de antearco formados entre el Paleógeno y Neógeno. El área se encuentra influenciada por cuatro regiones morfotectónicas, las cuales son: la cordillera Chongón – Colonche, el levantamiento Santa Elena, la Cuenca de Manabí, la cuenca de Borbón, y el sistema de Subducción (IIGE, 2023).

Figura 1

Ubicación del sitio de estudio



Fuente: Autores (2025)

Composición geológica del área de estudio

La hoja geológica de Portoviejo que pertenece a la Cuenca de Manabí permitió describir las unidades litoestratigráficas (Dirección General de Geología y Minas, 1973). En la zona de estudio se identificaron las siguientes formaciones geológicas:

La formación Onzole (Moz), que está principalmente compuesta de limolitas, además de areniscas, lutitas, limos y conglomerados. Esta formación descansa concordantemente y con contacto transicional sobre la formación de Angostura, y en zonas con ausencia de esta última la Formación Onzole cubre al miembro superior, es decir Villingota de la formación Tosagua (Deniaud, 1998).

Y la formación Borbón (MPLBb), que en su base se encuentra conformada de un conglomerado, seguido de areniscas de grano medio a grueso, dispuestas en capas bien consolidadas que presentan abundancia de megafósiles. Esta formación descansa discordantemente sobre la formación Onzole, lo que significa que existe una interrupción en la sedimentación producida ya sea por erosión o por un cambio brusco en los depósitos. Los megafósiles identificados son de moluscos, lo que significa que se trata de un ambiente de depósito marino somero (Deniaud, 1998). Las areniscas propias de la formación Borbón y Onzole detalladas se pudieron observar en afloramientos cuando se realizaron las respectivas visitas al sitio La Vainilla.

Caracterización de las precipitaciones

En base a información obtenida de la Secretaría de Gestión de Riesgos se determinó que en Santa Ana el promedio de la temperatura oscila entre los 20 °C y los 30 °C, siendo este último el promedio más cálido. El terreno se caracteriza por presentar cobertura de vegetación herbácea, plantaciones de cacao y cuerpos de agua (SNGR, 2023). Además, un considerable volumen de aguas subterráneas, que producto de las precipitaciones y filtraciones de aguas superficiales han conducido a saturaciones que provocan deslizamientos en la zona.

Las precipitaciones en el área de estudio se establecieron en base a la información obtenida en la plataforma de la NASA Power Dav que registra las precipitaciones presentadas en todos los días del año (NASA, 2025).

Se puede observar a continuación una tabla donde se evidencia las precipitaciones en el sitio “La Vainilla” desde el año 2020 al 2024, siendo los más lluviosos del año del mes de enero al mes de abril (ver tabla 1). Y otra tabla con las precipitaciones del año 2010 al 2023 (ver tabla 2).

Tabla 1

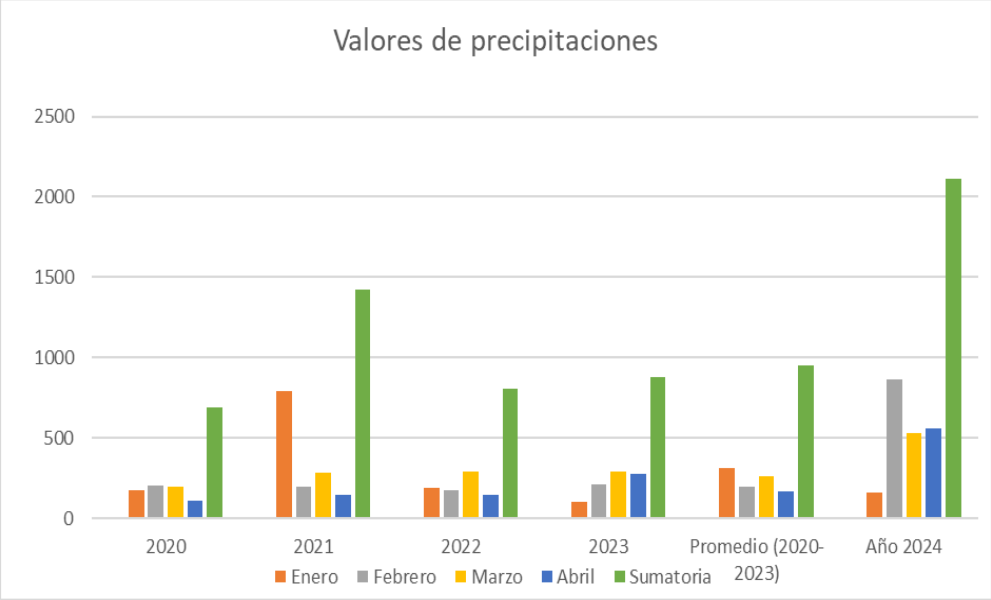
Valores de precipitaciones mensuales registrados en el sitio La Vainilla del cantón Santa Ana-provincia de Manabí entre 2020-2024 (en latitud -1.0894, longitud -80.1447; NASA 2024)

Valores de precipitación enero – abril (mm)						
	2020	**2021**	**2022**	**2023**	**Promedio 2020-2023**	**2024**
Enero	178,19	791,29	188,78	104,46	315,67	161,72
Febrero	205,16	198,13	177,72	210,68	197,92	860,54
Marzo	199,85	282,24	289,86	290,47	265,61	532,17
Abril	108,05	149,19	149,19	272,91	169,84	558,20
Sumatoria	691,25	1420,85	805,55	878,49	949,04	2112,63

Fuente: Autores (2025)

Figura 2

Valores de precipitaciones mensuales registrados en el sitio La Vainilla del cantón Santa Ana- provincia de Manabí entre 2020-2024 (en latitud -1.0894, longitud -80.1447; NASA 2024)



Fuente: Autores (2025)

Tabla 2

Valores de precipitación mensual registrados en el sitio La Vainilla del cantón Santa Ana- provincia de Manabí entre 2010-2023 (en latitud -1.0894, longitud -80.1447; NASA 2024)

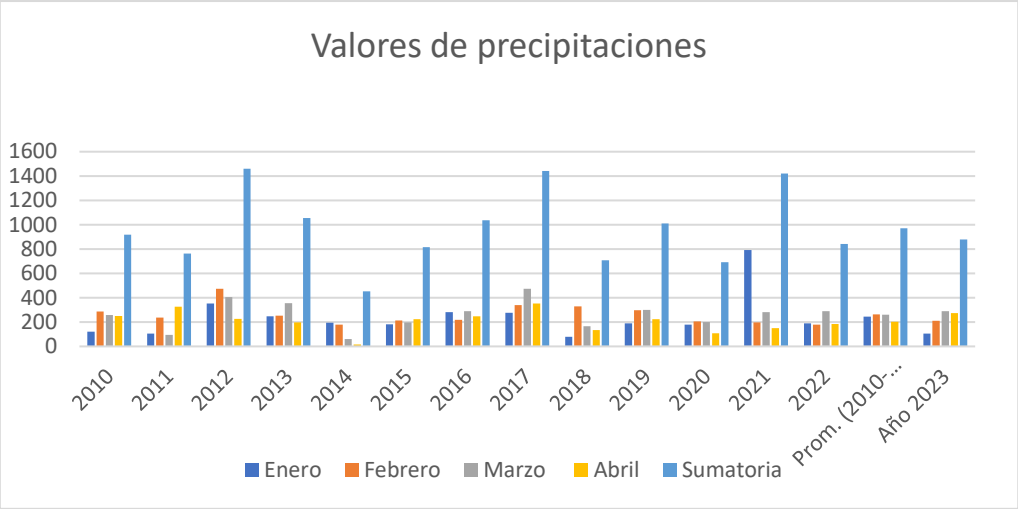
Valores de precipitación enero – abril (mm)

	2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**Promedio 2020 - 2022**	**2023**
Enero	121,7	105,4	352,9	248,3	195,5	182,6	281,7	275,6	80	190,2	178,2	791,3	188,8	245,53	104,43
Febrero	287,1	236,4	474,4	253,2	180	212	218,5	338,1	328,7	296	205,2	198,1	177,7	261,94	210,68
Marzo	258,1	94,3	406,3	354,6	60,94	197,3	289,4	474,7	164,8	300	199,9	282,2	289,9	259,41	290,47
Abril	251	326,6	225,2	198,1	15,45	223,4	246,6	352,8	133,7	223,2	108,1	149,2	184,3	202,89	272,91
Sumatoria	917,9	762,7	1459	1054	451,8	815,3	1036	1441	707,2	1009	691,3	1420	840,7	969,78	878,49

Fuente: Autores (2025)

Figura 3

Valores de precipitaciones mensuales registrados en el sitio La Vainilla del cantón Santa Ana-provincia de Manabí entre 2010-2023 (en latitud -1.0894, longitud -80.1447; NASA 2024)



Fuente: Autores (2025)

El deslizamiento de tierras

Extensión del desastre suscitado

Con información proporcionada por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) que especifica que en base a los múltiples agrietamientos existentes y un control con mediciones en sitios estratégicos de la zona de estudio se determinó una condición de movimientos en masa activos, que dependiendo de los pronósticos de precipitaciones o sismos que puedan suscitarse, los movimientos en masa se pueden agravar generando como consecuencia la afectación de 32 viviendas en la comunidad La Vainilla y 24 viviendas en la comunidad La Laguna, las cuales se encuentran en un nivel de exposición alto (SNGR, 2023).

En el año 2023, el Instituto nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), registró intensas precipitaciones en la cuenca alta del río Portoviejo, que provocaron agrietamientos del suelo y el estancamiento de agua en los sectores de la vainilla y la Laguna (SNGR, 2023).

En el sitio La Vainilla se presenta un deslizamiento traslacional cuyo estado es activo múltiple y creciente. En términos litológicos se encuentra constituido por rocas sedimentarias tipo arenisca, limolitas y coquinas. En el movimiento de masa se aprecia la corona y cuerpo del deslizamiento, por lo que ha sido catalogado como caída. Hidrogeológicamente, su escorrentía superficial es catalogada como moderada, ya que presenta una velocidad de movimiento (13 m/mes). Las dimensiones aproximadas son de 300 m de ancho, 70 m de longitud y área de 1.5 km2. Además, a metros del fenómeno se puede presenciar grietas en la base de las viviendas (SNGR, 2023).

Debido al movimiento de masas tipo traslacional suscitado en el sitio La Vainilla, se han presentado cambios bruscos en la topografía del sitio, provocando el colapso parcial de varias viviendas y estructuras como reservorios de agua, postes de tendido eléctrico, pozos, y además afectaciones en los caminos internos de cada comunidad (SNGR, 2023).

Se denotó las características de un suelo arcilloso orgánico muy blando, que al hacer contacto con el agua se vuelve expansivo, y sumado a que es una zona donde se presentan considerables precipitaciones que al juntarse con un suelo descubierto por las actividades agrícolas y agrietamientos que suelen ser constantes, se convierte en un suelo susceptible a movimientos de masa (véase la figura 4) (SNGR, 2023).

Figura 4
Escarpe del deslizamiento presente en el sitio de estudio.

Figura 5
Escarpe del deslizamiento presente en el sitio de estudio.

Principales causas de los deslizamientos

Entre las principales causas que desencadenan los deslizamientos de tierras se pueden mencionar dos categorías: Los factores predisponentes como la pendiente, topografía, litología y los factores desencadenantes como pueden ser las lluvias o sismos (Salina et al 2024). En el sitio La Vainilla del cantón Santa Ana, se suelen presentar principalmente deslizamientos por lluvias intensas en épocas de altas precipitaciones, estas lluvias provocan filtraciones de aguas superficiales en el suelo que en conjunto con las considerables aguas subterráneas que se encuentran en el subsuelo, desencadena en el deslizamiento que se está suscitando. Desde el análisis litológico, la composición superficial del suelo presenta características de arcilla orgánica muy blanda que termina contribuyendo a la predisposición del suelo a ser colapsable (SNGR, 2023). Otro de los factores predisponentes es el hecho de que el tipo de suelo en el sitio de La Vainilla es de materiales plásticos débiles, presentándose suelos cohesivos tipo ML, que provocan una disminución del índice de poros generando que el módulo de corte aumente, y sumado a que cuando aumenta la deformación la plasticidad del material se ve disminuida, se puede sugerir que el índice de poros y la plasticidad están influyendo a la deformación del suelo (IIGE, 2023).

En el sitio también se pudo observar la presencia de pozos de aguas con profundidad de 1,40 m, encontrándose el nivel freático a pocos metros por lo que se puede atribuir una afectación por presión de poros en suelos tipo MH y CH (IIGE, 2023).

Como principal factor detonante se puede mencionar a las precipitaciones intensas que se presenten en épocas invernales o cuando llega el conocido “fenómeno del niño” que en el mes de febrero del año 2024 cuando este fenómeno estuvo en su mayor intensidad se alcanzó un considerable pico de precipitación de 860.54 mm (véase en la tabla 1).

La sismicidad también se puede considerar como un factor que influya en el desplazamiento presente, esto debido a que el sitio La Vainilla” se encuentra dentro de la zona sísmica VI correspondiente a una aceleración sísmica de 0,50 g que equivale a “muy alta” (Menéndez et al 2023).

Otro factor determinante para la inestabilidad en el sitio en “La Vainilla” es el hecho que de que se encuentra en el margen derecho del embalse Poza Honda, ya que la precipitación no da lugar a una curva de infiltración idónea para el equilibrio hidráulico del sitio (IIGE, 2023).

En este contexto, el sitio La Vainilla requiere una importante intervención. Por lo que el propósito de esta investigación es, a

través de las diversas metodologías y evaluaciones aplicadas, formular propuestas de diseños de estabilidad de talud que permitan alcanzar el factor de seguridad necesario para prevenir que el deslizamiento continúe presentándose.

METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se ha planificado en varias fases. La primera fase consistió en la inspección visual, observándose la presencia de grietas transversales, indicando que el suelo presenta una baja resistencia a la tensión. Estas grietas favorecen que se genere la superficie de falla ya que permiten la infiltración del agua que desencadena en el desgaste de la estructura de la masa.

En la segunda fase correspondiente a la geología de campo y prospección geofísica, en conjunto con la topografía se ejecutaron los ensayos de: Tomografía Eléctrica, y refracción sísmica, los cuales ofrecen resultados de las velocidades de las ondas compresionales P, ondas de corte o cizalla S y parámetros de resistividad del suelo y roca, los cuales permiten realizar la determinación de las unidades litológicas del subsuelo.

Los métodos utilizados para los ensayos de tomografía eléctrica fueron Gradiente, Schlumberger y Wenner (véase en las figuras 6,7,8), estas mediciones se ejecutaron con un resistivímetro y metro de subsuelo, donde se utilizaron 42 electrodos con un espaciamiento a 4.5 m, inyectando a una intensidad de corriente máxima de ± 600 V y 2500 MA. Los tres métodos mencionados son utilizados para medir la resistividad eléctrica del subsuelo, pero cada uno tiene sus características. El método Gradiente es más adecuado para medir la variación de la resistividad eléctrica del subsuelo, mientras que los métodos Schlumberger y Wenner son más adecuados para medir la resistividad eléctrica del subsuelo en función de la profundidad (Salina et al 2024).

Por otra parte, la sísmica de refracción, con abreviatura VS-1 (véase en la figura 11) consiste en un método geofísico basado en la propagación de ondas sísmicas a lo largo del subsuelo y su refracción en interfaces entre materiales con diferentes características mecánicas (Salcedo, 2023). Para su ejecución se consta de un tendido sísmico de 46m, con geófonos de 10 Hz para el ensayo Vp y geófonos de 4.5 Hz para el ensayo Vs los cuales son colocados cada 2m a lo largo de todo el tendido, intercambiando los geófonos según el método que se vaya a aplicar, un sismógrafo el cual es el encargado de registrar el tiempo en que las ondas llegan a cada geófono, y una fuente sísmica en la cual se emplea un martillo para generar el golpe que desencadena en la onda sísmica.

En este proceso se obtienen dos tipos de análisis, el de velocidad de ondas P- compresionales (Vp) y el de velocidad de ondas S- cizalla (Vs). El Vp consiste en la velocidad en la que las ondas sísmicas primarias o compresionales se propagan a través de un respectivo material. Por otra parte, el Vs consiste en la velocidad en la cual las ondas sísmicas secundarias o de cizalla son propagadas a través de un material (Salcedo, 2023). La diferencia radica en que para obtener el Vp se lo consigue con un solo golpe generalmente en uno de los extremos de la línea sísmica ya que las ondas P se distribuyen más rápidamente a lo largo de los geófonos, y para obtener el Vs se debe realizar las mediciones a lo largo de la línea de geófonos ya que las ondas S viajan más lento que las ondas P. El Vs toma información de forma pasiva (MASW) y de forma activa (Remi).

Los resultados de estos ensayos (véase en la figura 11) facilitaron la determinación de las unidades litológicas, la identificación de rocas como las coquinas y arenisca, la visualización detallada y a profundidad de cómo se suscitaron los deslizamientos presentados y la identificación de una falla geológica entre las unidades 3,4 y 5.

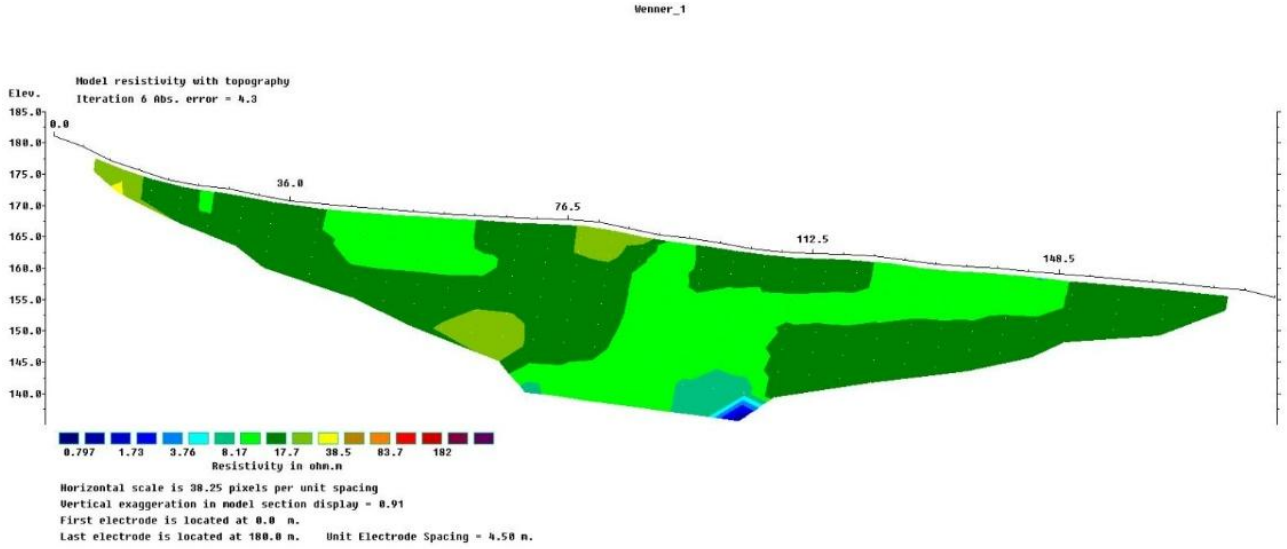
Posteriormente, la toma de muestras de suelo para laboratorio, con abreviación MS1 y MS2 (véase en la figura 11), permitieron conocer que los materiales litológicos que se encuentran en la parte superior del deslizamiento se clasifican como arcillas de alta plasticidad y limos de alta plasticidad, respectivamente. Los parámetros resultantes de estos estudios, como la cohesión, ángulo de fricción, peso específico, son usados en la fase

tercera fase correspondiente a la simulación y modelación del talud (véase la tabla 3).

En la tercera fase, teniendo en cuenta la información obtenida anteriormente referente a las unidades litológicas, los parámetros litológicos, nivel freático, y la identificación del plano de falla, se procede a la ejecución del programa GeoStudio 2018 R2 para mediante modelos geotécnicos y un proceso de retro-análisis determinar de manera retrospectiva las condiciones y características geomecánicas del terreno antes de que se presentara el deslizamiento. Estas características son aplicadas al modelo actual (post deslizamiento) con la finalidad de obtener los parámetros geomecánicas límites del terreno y a partir de ello, presentar diversas propuestas de estabilidad.

Figura 6

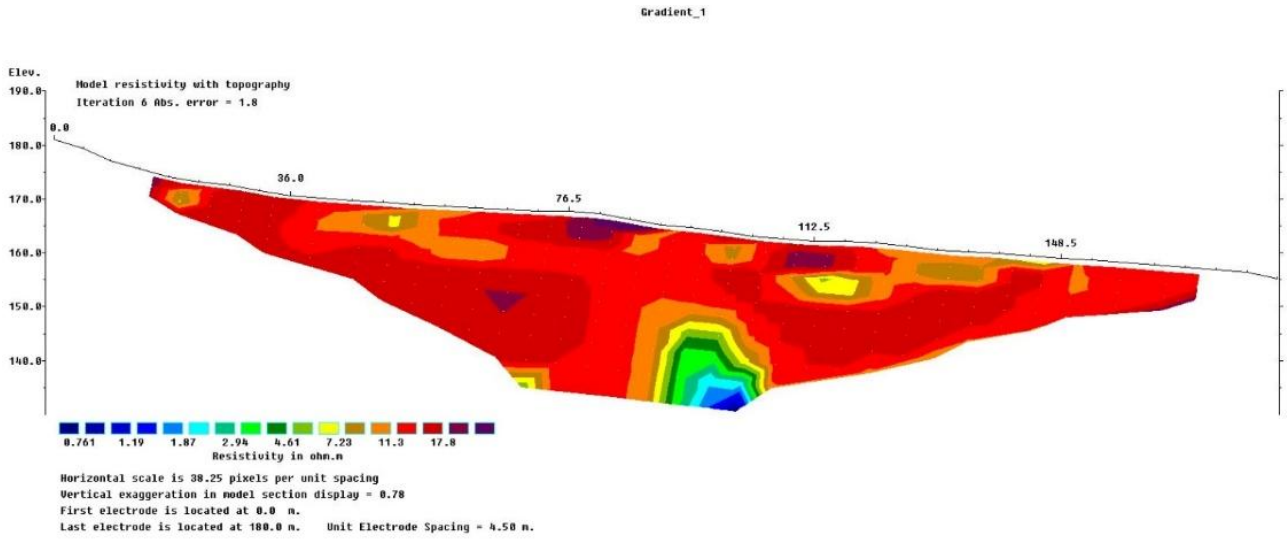
Perfiles de tomografía eléctrica. Wenner.



Fuente: Autores (2025)

Figura 7

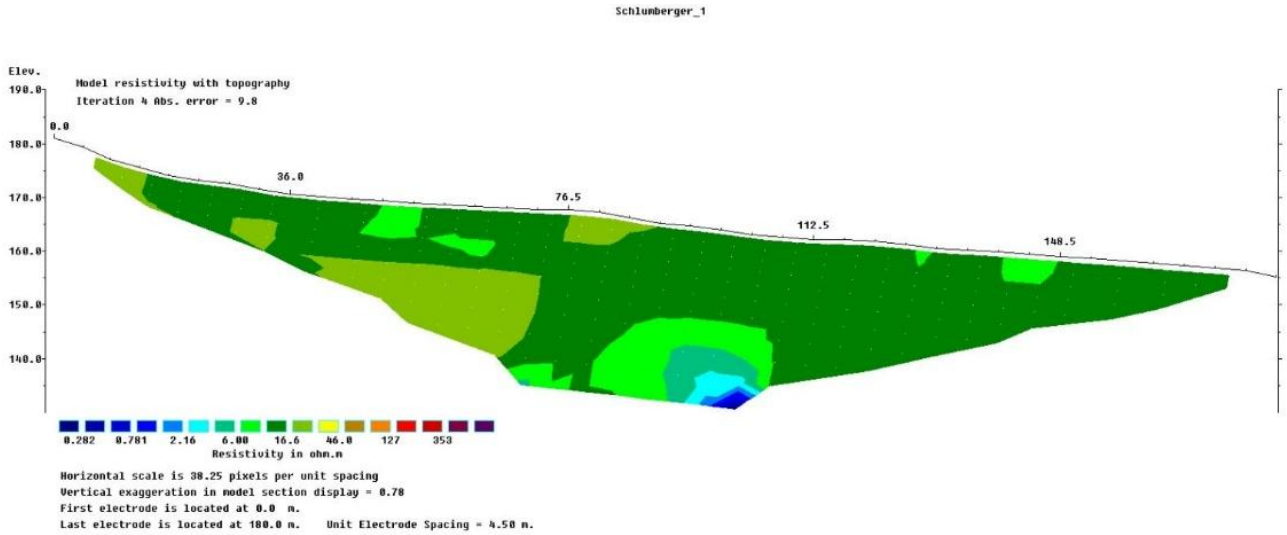
Perfiles de tomografía eléctrica. Gradiente.



Fuente: Autores (2025)

Figura 8

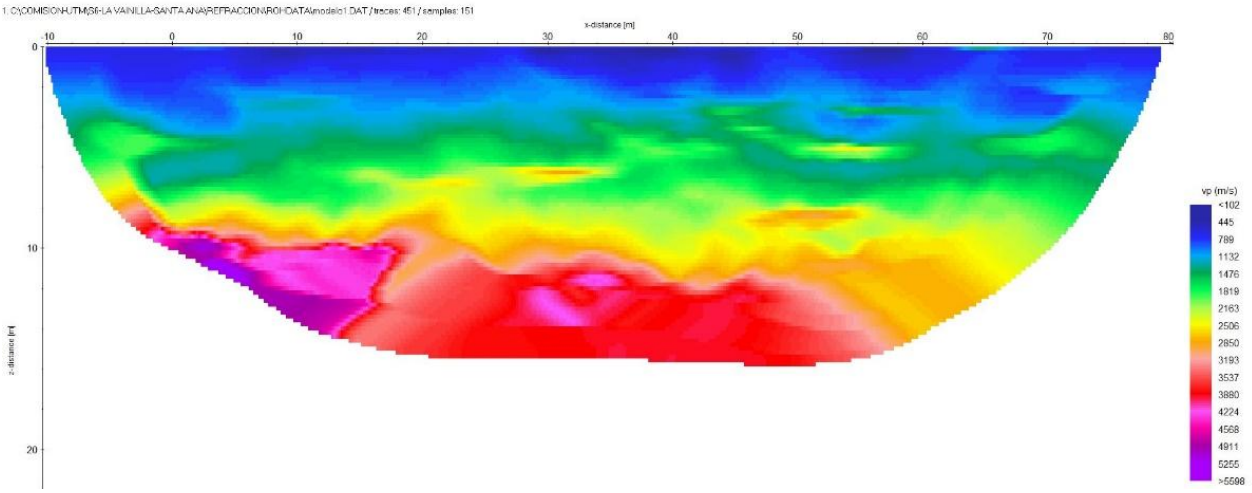
Perfiles de tomografía eléctrica. Shlumberger.



Fuente: Autores (2025)

Figura 9

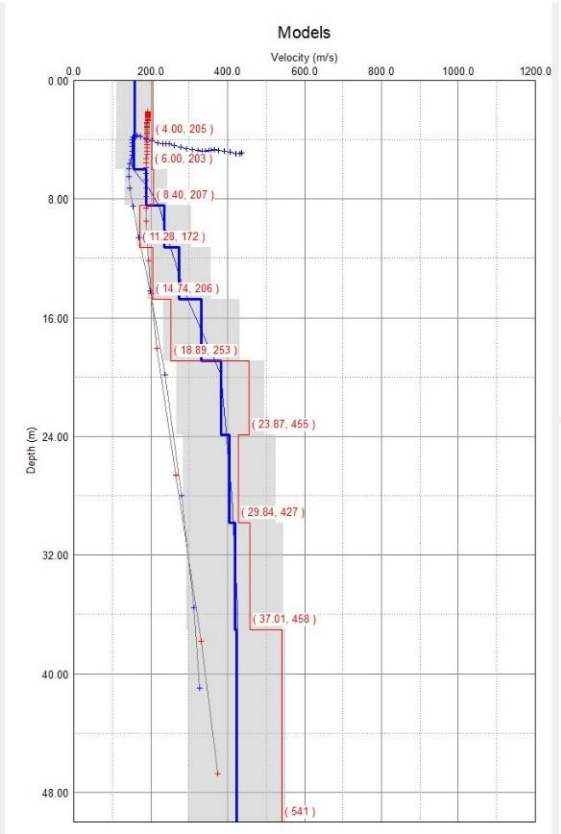
Ensayo velocidad de ondas compresionales P (Vp)



Fuente: Autores (2025)

Figura 10

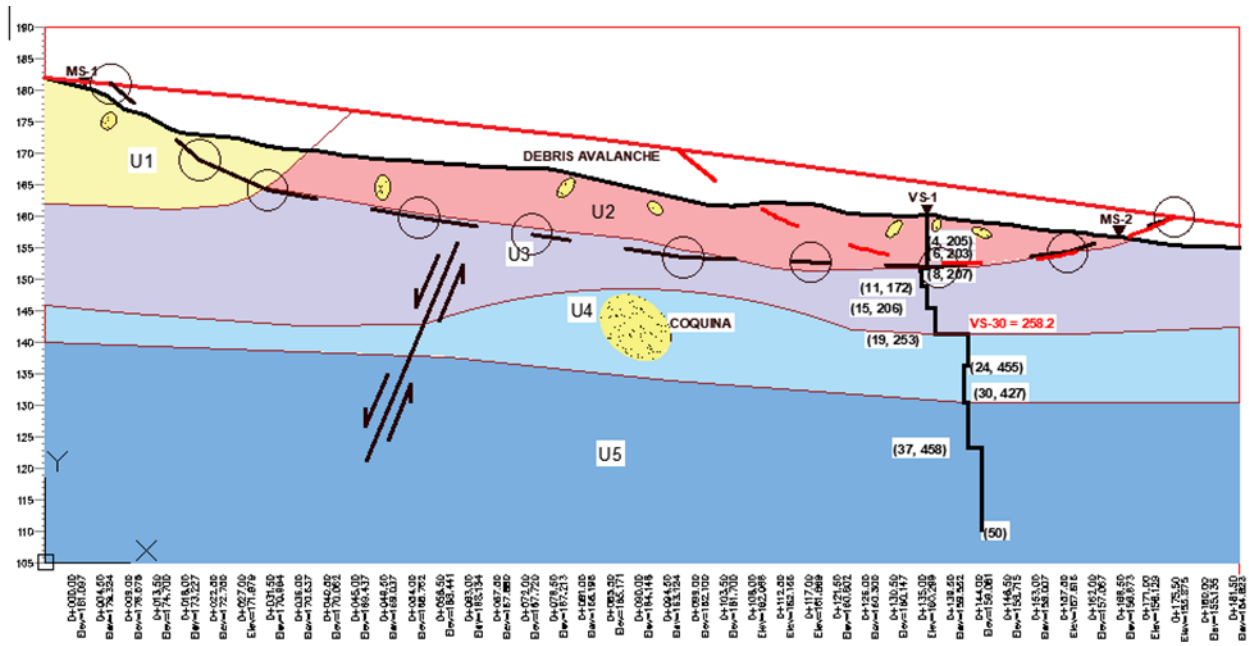
Ensayo velocidad de ondas S- cisalla (Vs)



Fuente: Autores (2025)

Figura 11

Perfil geológico, delineando las unidades litológicas basándose en las tomografías eléctricas y en las velocidades de onda de corte (Vs30)



Fuente: Autores (2025)

Tabla 3
Unidades litológicas con sus respectivos parámetros técnicos.

Unidad geológica	Espesor (m)	Descripción	Vs (m/s)	γ (Kn/m^3)	Post deslizamiento		Colapso (retroanálisis)	
					C (Kpa)	Φ (°)	C (Kpa)	Φ (°)
U1	11	Sostained colluvial matrix, medium dense	160-190	14,22	34,87	18	3,5	0
U2	10,5	Colluvial dense with sandy fragments	160-210	17,16	31,39	29	8,53	8,7
U3	13	Highly altered sadstone	170-210	18	34,87	31	34,87	31
U4	13	Coquine and sandstone, hard	250-460	27,5	37,86	33	37,86	33
U5	24	Sandstone, very hard	430-510	25,5	41,85	33	41,85	33

Fuente: Autores (2025)

RESULTADOS

El cálculo de la estabilidad del talud ubicado en el sitio "La Vainilla" se lo realizo a través del uso de un modelo geológico de deslizamiento mediante el programa GeoStudio 2018 R2, la finalidad del uso del programa es calcular el factor de seguridad del deslizamiento bajo diversas condiciones de suelo (GeoSlope, 2018). Una de las características de este programa de modelado es que mediante la aplicación de los parámetros geomecánicas del sitio de estudio permite realizar un análisis grafico de la estabilidad de taludes. Se considera que la superficie de falla mediante métodos geofísicos como la tomografía eléctrica y la sísmica de refracción, se encuentra en una unidad de coluvial denso con fragmentos arenosos y alcanzando el límite superior de una unidad de arenisca altamente alterada.

Para poder iniciar el modelado en el programa se trabaja con la topografía original del sitio de estudio. Esta nos permite iniciar la fase de retro-análisis con la cual se obtienen los respectivos parámetros de resistencia del suelo cuando ocurrió el colapso, (se determina cuando el factor de seguridad es igual a 1, indicando que el talud alcanzo su límite de seguridad permisible). Todo esto a través del método Morgenstern-Price y mediante los respectivos parámetros de cada estrato.

Otras consideraciones es que según lo establecido por la normativa NEC-15, tras realizar el respectivo análisis de estabilidad en el programa, el factor de seguridad para caso estático debe ser de 1,50 y para caso pseudoestático 1,05. Teniendo en cuenta también que el sitio La Vainilla está ubicado en una zona correspondiente a un valor de 0,50 g de aceleración sísmica, y considerando que para el análisis (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015). Este valor multiplicado por el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto (Fa) resulta 0,36 g, valor que es considerado para el análisis pseudoestático en el programa.

Caracterización geotécnica y geofísica del subsuelo

La delimitación y caracterización de las unidades litológicas se la determino a partir de la prospección geofísica mediante el ensayo de tomografía eléctrica (medida en Ω.m), con la cual se logró diferenciar las unidades

litológicas a más de 40 metros de profundidad. En las zonas del plano de deslizamiento se notó la presencia de una avalancha de detritos (debris avalanche) y pozos de agua (véase en la figura 11).

La primera unidad, con velocidades de sísmica de refracción relativamente bajas entre 160-190 m/s, presenta características de suelo de arcilla de alta plasticidad (CH), que forman parte de una matriz coluvial sostenida medio densa, con valores de resistividad de 11,3 a 17 Ω.m. En base a estudios en laboratorio se obtuvieron los siguientes parámetros geotécnicos para esta unidad: peso específico (ϒ) de 14,22 Kn/m3, cohesión de 34,87 kPa y ángulo de fricción Φ de 18º.

La segunda unidad tiene características de suelo de limo de alta plasticidad (MH), el cual forma parte de una matriz coluvial densa con fragmentos arenosos, con valores de resistividad de 8 a 18 Ω.m. Los estudios de laboratorio permitieron obtener los siguientes parámetros geotécnicos: peso específico (ϒ) de 17,16 Kn/m3, cohesión de 31,39 kPa y ángulo de fricción Φ de 29º. Esta unidad presenta velocidades de sísmica de refracción entre 160-210 m/s.

A partir de la tercera unidad las velocidades de refracción sísmica (VS) comienzan a aumentar presentándose velocidades entre 170-210 m/s, lo que significa que se ha entrado en contacto con roca. En el caso de esta unidad se encuentra una matriz de arenisca altamente alterada, con los siguientes parámetros geotécnicos obtenidos en base al programa RocData (Rocscience Inc, 2004): peso específico (ϒ) de 18 Kn/m3, cohesión de 34,87 kPa, y un ángulo de fricción de 31º. A partir de esta unidad se identificó la presencia de una falla geológica que se puede asociar a una falla regional en estado inactiva.

La cuarta unidad litológica, con velocidades de sísmica de refracción (Vs) entre 250-460 m/s, corresponde a una matriz dura de coquina y arenisca. La cual presenta los siguientes parámetros geotécnicos: peso específico (ϒ) de 27,5 Kn/m3, cohesión de 37,86 kPa, y un ángulo de fricción de 33º. En esta unidad aún se presencia la falla geológica.

La quinta unidad litológica, con velocidades de sísmica de refracción considerablemente altas (Vs) entre 430-510 m/s, corresponde a una matriz muy dura de arenisca. La cual presenta los siguientes parámetros geotécnicos: peso específico (ϒ) de 25,5 Kn/m3, cohesión de 41,85 kPa, y un ángulo de fricción de 33º. La falla geológica se extiende hasta esta unidad litológica.

Evaluación de la susceptibilidad, el peligro y riesgo de deslizamientos de suelos

El deslizamiento de suelo en el sitio La Vainilla, provoco daños en viviendas en las cuales se presentaron hundimientos de losas y en otros casos el colapso parcial de varias viviendas y estructuras como reservorios de agua, postes de tendido eléctrico, pozas, entre otros, además de afectaciones en los caminos internos de cada comunidad (SNGR, 2023).

Teniendo en cuenta que la estabilidad se ha perdido en el pie del talud, se diferencian dos zonas de deformación. La primera que corresponde a la unidad litológica uno, la cual representa un deslizamiento más reciente, y se caracteriza por ser la zona de desprendimiento del escarpe principal. Por otra parte, la unidad dos, donde se presenta el debris avalanche y representa el deslizamiento posterior al reciente ya que el material se va deslizando hacia el pie del talud. Y por último se presenta parte de la unidad litológica tres que representa una fracción de la acumulación de material de suelo y roca producto del efecto debris avalanche (ver en la figura 11). Gracias a la tomografía eléctrica se logró determinar el espesor promedio de cada una de estas zonas, presentándose: para la unidad litológica o zona de desprendimiento, espesor de 11 m; para la unidad litológica dos o zona de debris avalanche, espesor de 10,5 m; la unidad litológica tres o zona de acumulación representa un espesor de 13 m; y más profundo se encuentran los estratos más resistentes, correspondiente a las unidades litológicas cuatro y cinco, con espesores de 13 y 24 m respectivamente.

Análisis de estabilidad de taludes

A través de toda la información y datos indicados, como lo son: La topografía actual

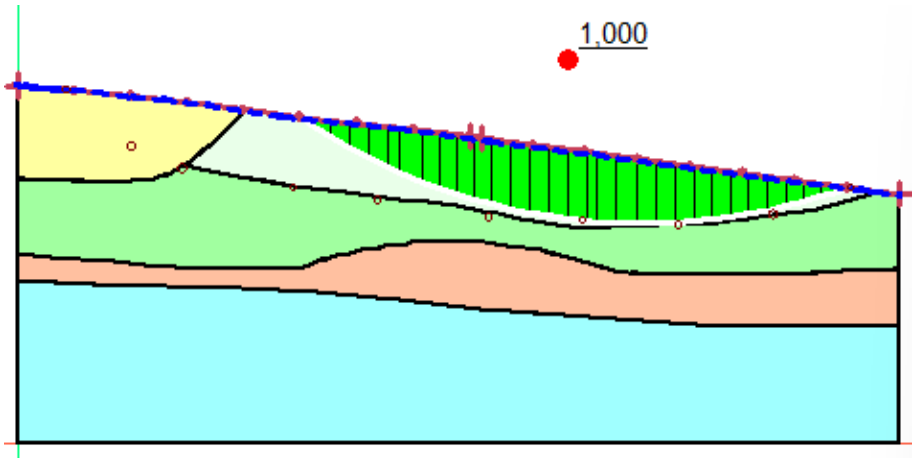
del terreno, la representación del plano de fallo evidente en el sitio, la clasificación de las unidades litológicas mediante los resultados de la prospección geofísica y los parámetros geotécnicos obtenidos de ensayos de laboratorio. A través de los cálculos de retro-análisis se busca lograr que el sistema alcance el estado del momento en que ocurrió el deslizamiento, esto se consigue al llegar a un factor de seguridad igual a 1, con el objetivo de determinar los valores de ángulo de fricción y cohesión que permitan realizar un análisis de estabilidad posterior al deslizamiento de tierra.

Se observa el resultado del factor de seguridad del talud antes del colapso (retro-análisis) (véase en la figura 12), y el factor de seguridad post deslizamiento el cual resulta en un valor de 1,156 en condición estática (véase en la figura 13), pero no indica la estabilidad de talud, ya que no cumple con la condición establecida por la NEC-15, de un factor de seguridad mínimo de 1.5 para el caso estático.

Por otra parte, al realizar el análisis con los valores modificados de cohesión y ángulo de fricción, para el caso pseudoestático, el valor de factor de seguridad no cumple con los mínimos establecidos por la NEC-15, ya que para este caso se tiene un valor de 0,344 que es considerablemente menor al factor de seguridad mínimo de 1,05 significando que en caso de un sismo el talud es propenso al colapso (véase en la figura 14).

Figura 12

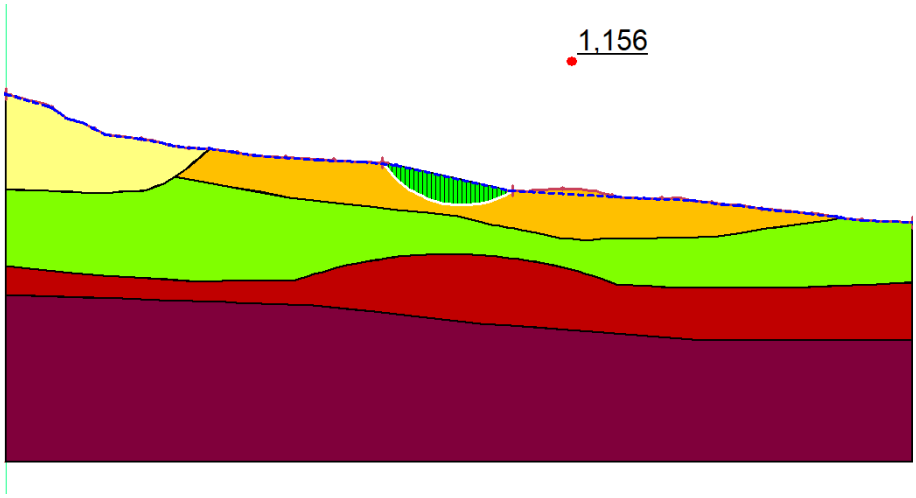
Análisis de estabilidad del deslizamiento. Factor de seguridad en momento de colapso (retro-análisis)



Fuente: Autores (2025)

Figura 13

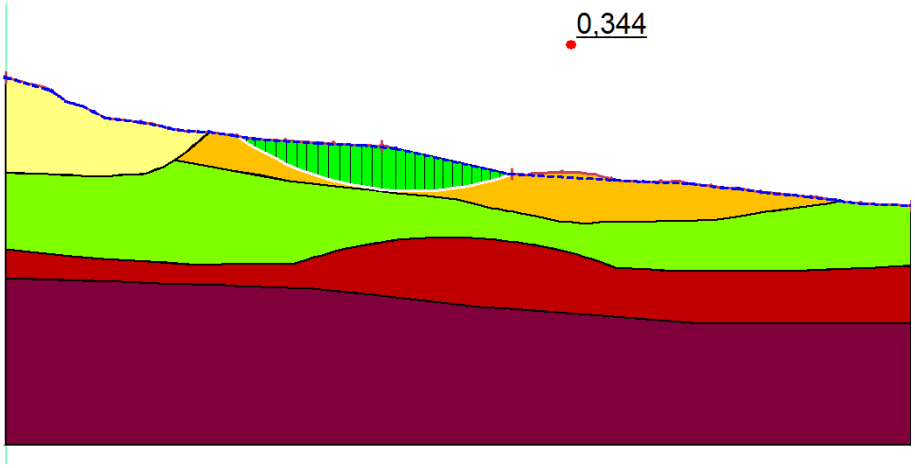
Análisis de estabilidad del deslizamiento. Factor de seguridad post deslizamiento.



Fuente: Autores (2025)

Figura 14

Análisis de estabilidad del deslizamiento. Factor de seguridad post deslizamiento.



Fuente: Autores (2025)

Propuestas de estabilidad o medidas para prevención del deslizamiento

Teniendo en cuenta la información detallada sobre las condiciones topográficas del terreno, sus características geológicas y geofísicas, se realizó la propuesta de estabilidad del terreno mediante 4 opciones que evitarían la presencia de deslizamientos en el sitio en estudio.

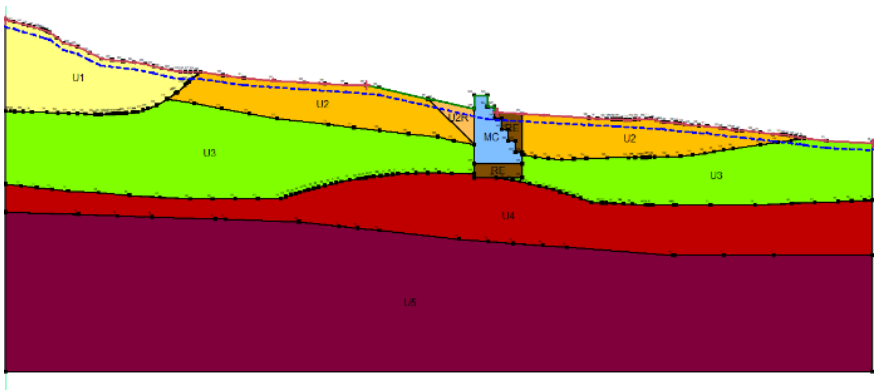
Primera propuesta

La primera opción consiste en el diseño de un muro de gaviones con dimensiones de 10,50 metros de base, 3 metros de corona, 15 metros de altura, huella y contrahuella con 1,50 y 2,50 metros respectivamente. En la simulación, para el material del muro se asignó un peso unitario de 26 Kn/m3 que corresponde al uso de piedra densa. El muro alcanzará una profundidad de 15 metros, apoyándose sobre un relleno de material roca triturada de 3 metros de profundidad y 10,5 metros de ancho, con cohesión, ángulo de fricción y peso específico de 0 kpa, 48º y 20 Kn/m3 respectivamente, mismo material que será utilizado como reemplazo. Por otra parte, en la zona anterior del muro se realizó una cuña aproximada a los 45º, posteriormente se rellenó con el mismo material del terreno, y cuyos valores de cohesión y ángulo de fricción corresponden a 0 ya que es un suelo removido y el peso unitario 17,16 Kn/m3 (véase en la figura 15).

Con esta propuesta de estabilidad, al realizar la simulación se obtuvo un valor de factor de seguridad de 1,064 para el caso pseudoestático y 4,278 para el estático los cuales cumplen con lo establecido por la NEC-15 (véase en las figuras 16,17).

Figura 15

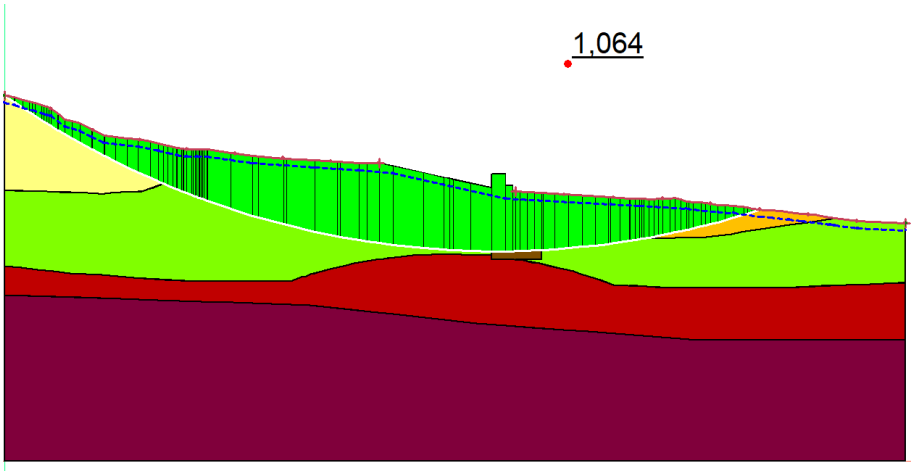
Primera propuesta de estabilidad, simulación con muro de gaviones.



Fuente: Autores (2025)

Figura 16

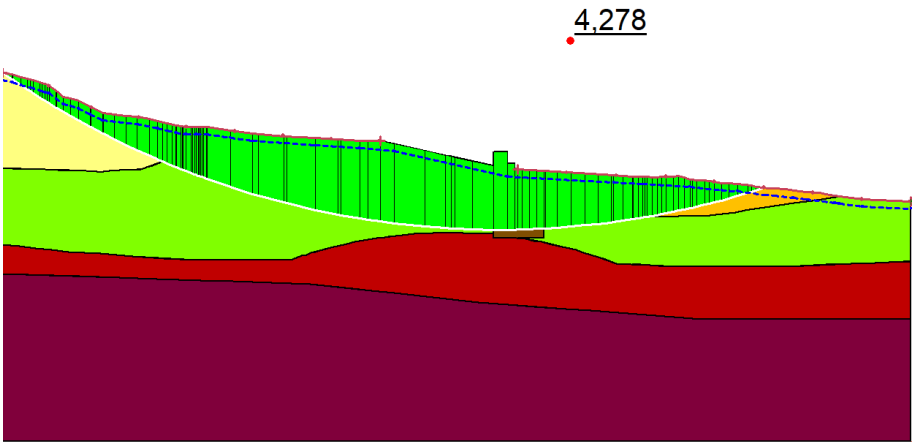
Factor de seguridad, primera propuesta de estabilidad. Condición pseudoestático



Fuente: Autores (2025)

Figura 17

Factor de seguridad, primera propuesta de estabilidad. Condición estática



Fuente: Autores (2025)

Segunda propuesta

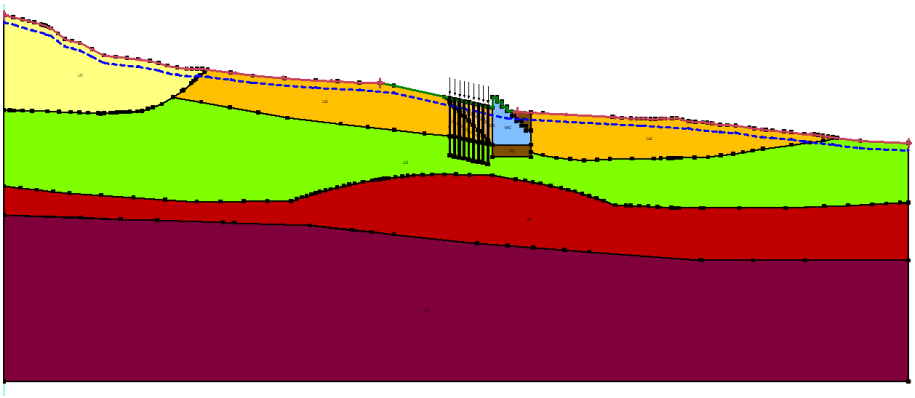
La segunda propuesta de estabilidad consiste en la disminución de la profundidad que alcanza el muro y su respectivo relleno, incluyendo un sistema de 9 pilotes en la zona anterior al muro, los cuales tienen un diámetro de 25cm, separados a 1 metro, y enterrados a una profundidad de 12 metros, llegando hasta un estrato más resistente para transmitir las cargas (véase en la figura 18). En base a la información obtenida de Salina et al (2024), los pilotes están compuestos de un hormigón de 24,5 Kn/m3, cohesión de 70 Kpa, y ángulo de fricción de 90º, diseñados con una fuerza de corte de 50 Kn.

Por otra parte, el muro de dimensiones: 1 metro de corona, 8 metros de base, 10 metros de altura, huella y contrahuella con 1m y 1m respectivamente, apoyándose sobre un relleno de material de 8 metros de base y 2,5 m de altura, con cohesión, ángulo de fricción y peso específico de 0 Kpa, 48º, 20 Kn/m3 respectivamente, mismo material que será utilizado como reemplazo en la zona anterior al muro.

Con esta propuesta de estabilidad, al realizar la simulación se obtuvo un valor de factor de seguridad de 1,057 para el caso pseudoestático y 3,832 para el estático los cuales cumplen con lo establecido por la NEC-15 (véase en las figuras 19 y 20).

Figura 18

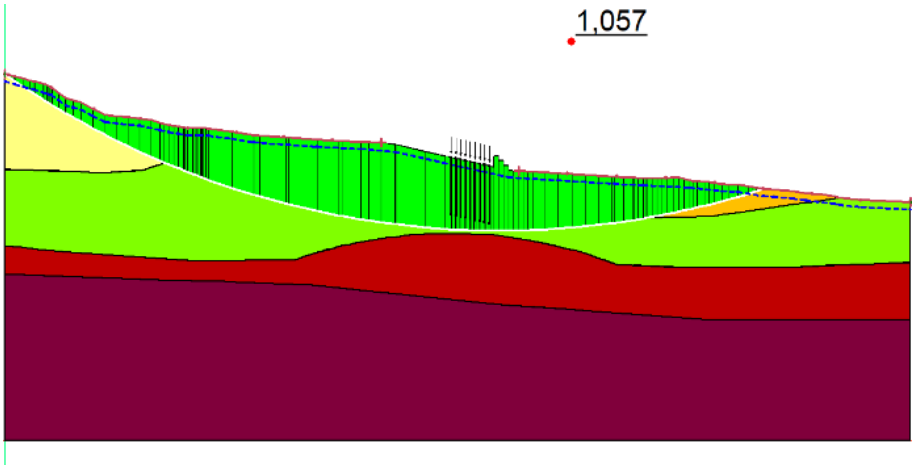
Segunda propuesta de estabilidad, simulación con muro de gaviones incluyendo un sistema de pilotes



Fuente: Autores (2025)

Figura 19

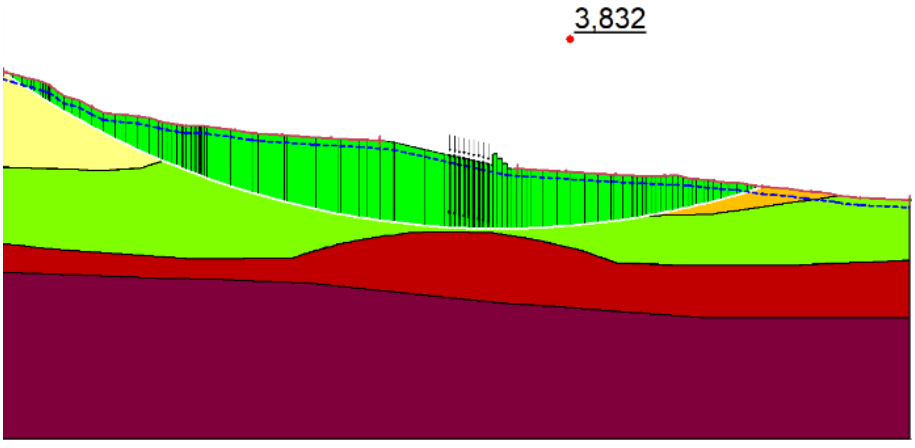
Factor de seguridad, segunda propuesta de estabilidad. Condición pseudoestático.



Fuente: Autores (2025)

Figura 20

Factor de seguridad, segunda propuesta de estabilidad. Condición estática.



Fuente: Autores (2025)

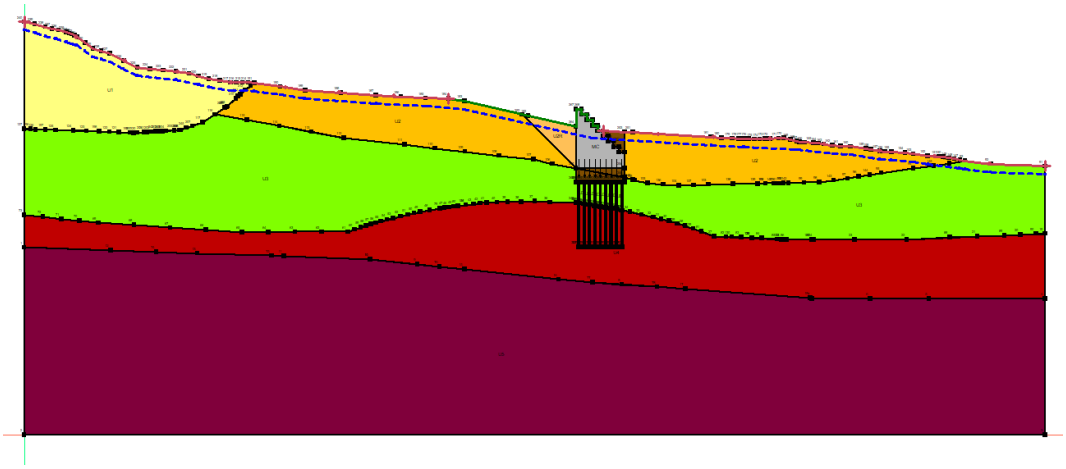
Tercera propuesta

La tercera propuesta consiste en un muro de gaviones de dimensiones: 1 metro de corona, 9 metros de base, 11 metros de altura, huella y contrahuella con 1m y 1m respectivamente, apoyándose sobre un relleno de material de 9 metros de base y 2,5 m de altura, con cohesión, ángulo de fricción y peso específico de 0 kpa, 48º, 20 Kn/m3 respectivamente, mismo material que será utilizado como reemplazo en la zona anterior al muro. Este se combina con un sistema de cimentación conformado por pilotes de 12 metros de longitud dispuestos a una separación de 1 metro entre ellos, llegando hasta el segundo estrato más resistente con la finalidad de transmitir las cargas provenientes del muro (véase en la figura 21). Estos pilotes tienen las mismas propiedades que los presentados en la propuesta de estabilidad nº2.

Con esta propuesta de estabilidad, al realizar la simulación se obtuvo un valor de factor de seguridad de 1,077 para el caso pseudoestático y 3,344 para el estático los cuales cumplen con lo establecido por la NEC-15 (véase en las figuras 22 y 23).

Figura 21

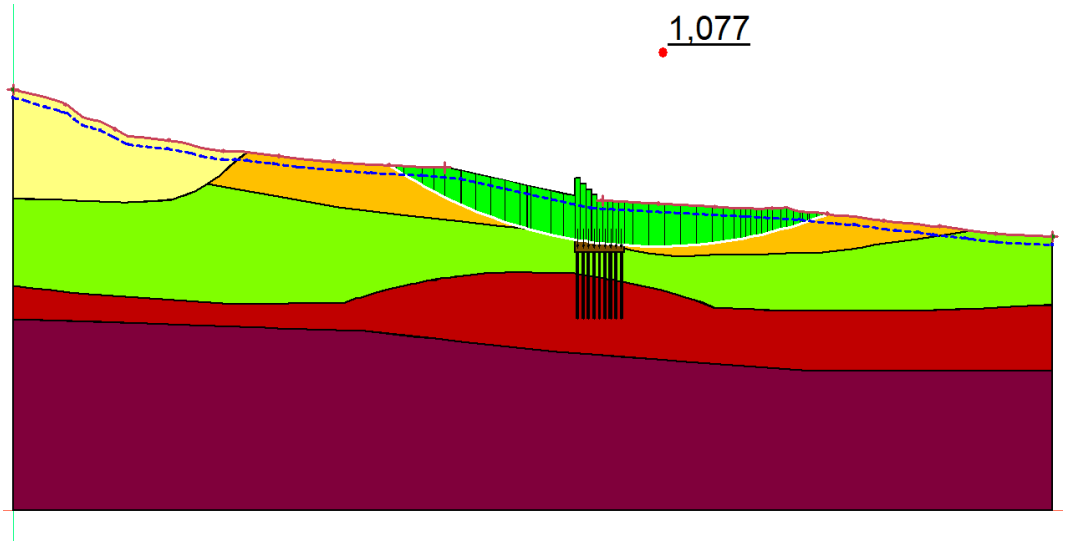
Tercera propuesta de estabilidad, simulación con muro de gaviones en combinación con un sistema de pilotes



Fuente: Autores (2025)

Figura 22

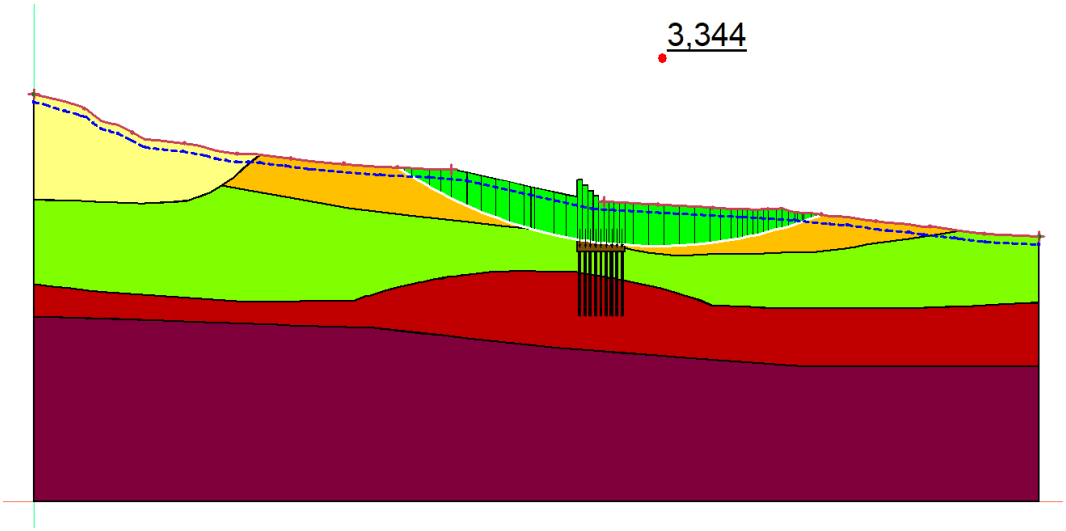
Factor de seguridad, tercera propuesta de estabilidad. Condición pseudoestático



Fuente: Autores (2025)

Figura 23

Factor de seguridad, tercera propuesta de estabilidad. Condición estática



Fuente: Autores (2025)

Cuarta propuesta

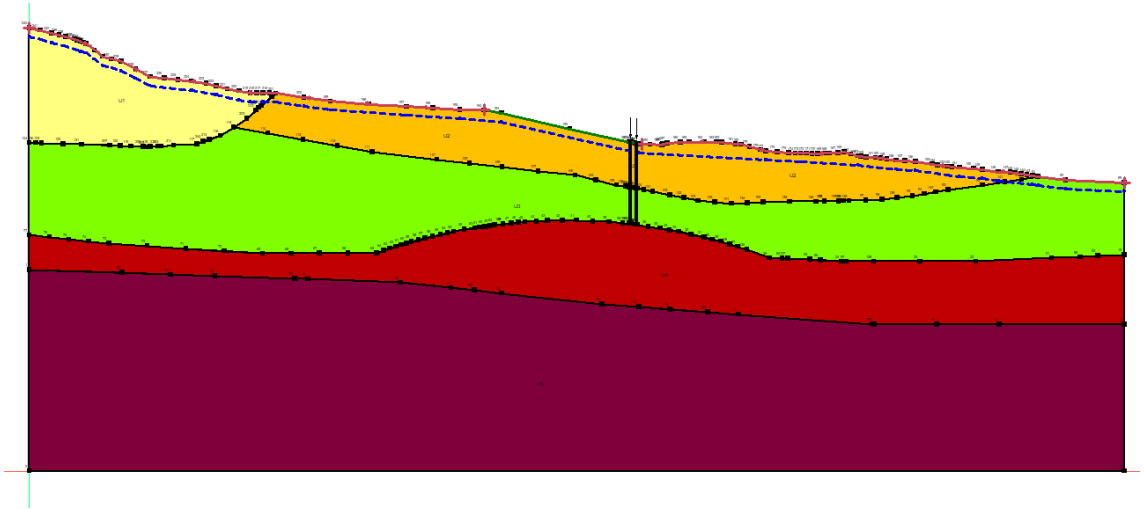
La cuarta propuesta de estabilidad consiste en un sistema de 2 pilotes dispuestos a una separación de 1 metro entre ellos, con la diferencia en que estos tienen una longitud de 14 metros, permitiéndoles llegar hasta el segundo estrato más resistente para transmitir las cargas (véase en la figura 24).

Con esta propuesta de estabilidad, al realizar la simulación se obtuvo un valor de factor de seguridad de 1,097 para el caso pseudoestático y 4,509 para el estático, los cuales cumplen con lo establecido por la NEC-15. (véase en las figuras 25 y 26).

La seguridad y estabilidad que proporciona este sistema radica en que, pese a solo disponer de un sistema de 2 pilotes y no ser una combinación de muro de gaviones con sistema de pilotes como en las otras opciones, se encuentran anclados al segundo estrato más resistente, mejorando la transmisión de cargas y evitando deslizamientos de manera óptima y eficiente.

Figura 24

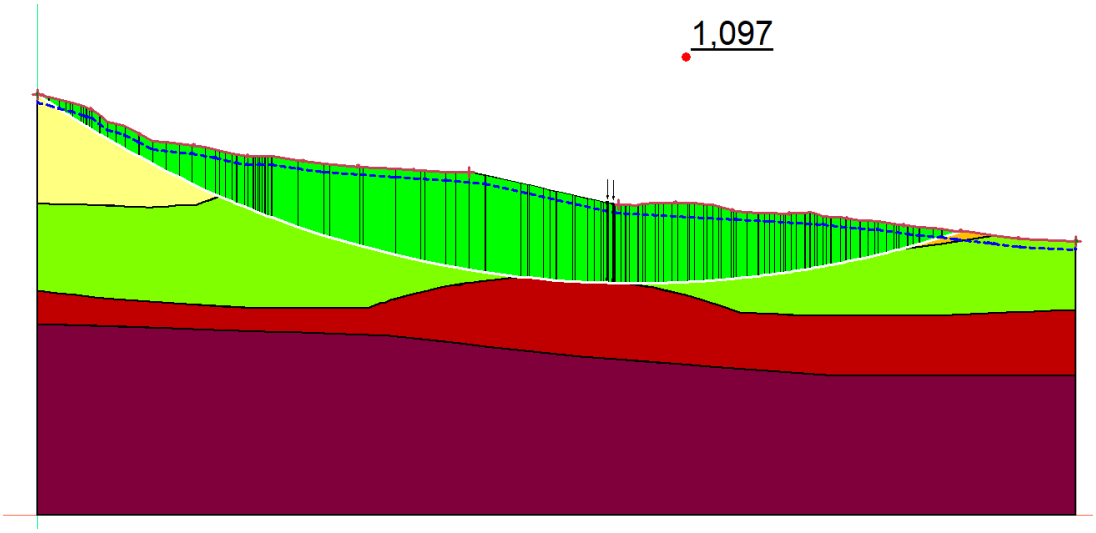
Cuarta propuesta de estabilidad, simulación con sistema de pilotes a mayor profundidad



Fuente: Autores (2025)

Figura 25

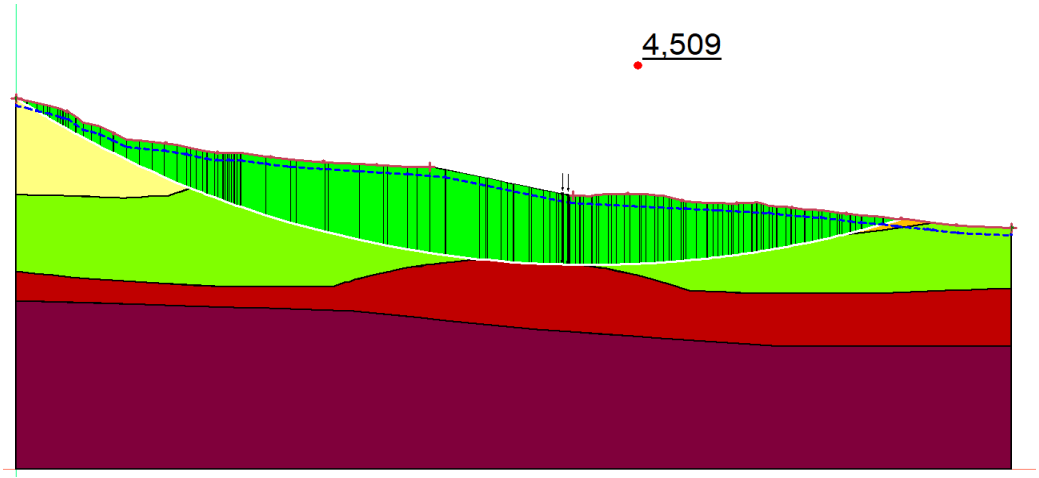
Factor de seguridad, tercera propuesta de estabilidad. Condición pseudoestático.



Fuente: Autores (2025)

Figura 26

Factor de seguridad, tercera propuesta de estabilidad. Condición estática.



Fuente: Autores (2025)

CONCLUSIONES

En el presente trabajo, Caracterización geotécnica del deslizamiento del sector La Vainilla, se confirma que el fenómeno estudiado es consecuencia de los factores ambientales como antropogénicos. La interacción entre la geología local y la presencia de eventos meteorológicos extremos han sido determinantes en la evolución del área afectada. Las intensas y prolongadas lluvias han reducido significativamente la resistencia del material, favoreciendo al deslizamiento. Se puede comprobar, además, que el cambio en el uso de suelo también es un incentivo a la inestabilidad del suelo.

A partir de un punto geotécnico, los diferentes análisis realizados en la zona evidencian que tanto como la unidad litológica 1 y 2 presentan gran variedad en su resistencia, la caracterización de los materiales ha revelado diferencias en la permeabilidad y cohesión del suelo, factores que influyen directamente en la susceptibilidad a los deslizamientos, lo que sugiere la necesidad de implementar mecanismos de mitigación ante tal eventualidad como lo es el movimiento de masas.

Si observamos desde un punto ambiental y social se ha evidenciado que los eventos de inestabilidad tienen repercusiones directas en

las infraestructuras y en la seguridad social tanto que existen 16 familias afectadas por dicho movimiento de masas, con la desventaja de perderlo todo ante esta situación, tantos bienes inmuebles como la propia vida humana.

Finalmente se puede sugerir que la mejor forma de mitigar este fenómeno según los análisis realizados en GeoStudio 2018 R2 y demás estudios practicados en dicha zona, es a base de pilotes de 30cm de diámetro, distanciados cada 1m de distancia entre sí, hincados a 14m de profundidad. Se recomienda este método por ser el menos invasivo ya que en la zona existen plantaciones de caco, café y árboles frutales. Los factores de seguridad arrojados para esta propuesta fueron; para el estático 4,509 y para el pseudoestático 1,097 respectivamente. Dichos valores son superiores al dictado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, E., Cabrera, F., & Serrano, J. (2022). Modelo de deslizamientos de tierrausando OpenFOAM aplicado a la zona de Pamplona, *Bistua*. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 20(2), 1-2.

Burgos, B., Cartaya, S., & Mero, D. (2019). Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. *Scielo*, (98) , 1-5.

Clavijo, A., & Malave, J. (2020). *Evaluación de amenazas por deslizamientos asociados a factores hidroclimáticos en sectores de Loja y Manabí* (*Tesis)*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Dirección General de Geología y Minas. (1973). *Hoja geológica Portoviejo, escala 1: 100.000.* Quito: Dirección General de Geología y Minas.

Deniaud, Y. (1998). *Evolución tectono-sedimentaria de las cuencas costeras neogenas del Ecuador.* Quito: Orstom.

GeoSlope. (2018). *GeoStudio*. Obtenido de: http://www.geo-slope.com

Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2023). *Asistencia técnica en el cantón Santa Ana provincia de Manabí, levantamiento de información geológica de la inspección visual de fenómenos morfodinámicos y caracterización de movimientos de masa.* Quito: Instituto de investigación geológico y energético.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). *Ecuador creció en 2.5 millones de personas entre 2010 y 2022.* Quito: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

Ministerio de Desarrollo Humano y Vivienda. (2015). NEC-SE-GC *GEOTÉCNIA Y CIMENTACIONES.* Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.

Menéndez Navarro, G. M., García, G., Gabriel, J., & Reyna García, A. E. (2023). Vulnerabilidad sísmica en edificaciones de la ciudad de Portoviejo: Reflexiones del 16-A. *InGenio Journal. Revista de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo*, 6(1), 76.

NASA. (2025). *NASA POWER DAV*. Obtenido de https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

Ruiz Palacios, Jean Pierre (2020). *Susceptibilidad a deslizamientos en el Valle de Joa (Tesis).* Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa.

Rocscience Inc. (2004). *RocData, Versión 3.0.* Obtenido de https://www.rocscience.com

Salcedo Andi, Karina Natali (2023). *Modelamiento de velocidad de ondas sísmicas P y S mediante los métodos de refracción sísmica y MASW, en los poblados de San Luis y San Carlos en la zona de erosión regresiva del río Coca, Napo, Ecuador (Tesis)*. Universidad Regional Amazónica Ikiam, Napo, Ecuador.

Salina, I., Paucar, A., Quiñonez Macías, M., Grau, F., Barragán Taco, M., Toulkeridis, T., & Chunga, K. (2024). Caracterización geotécnica del deslizamiento y diseño de estabilidad del talud: caso de estudio de Tambán San José de Chimbo, provincia de Bolívar, Ecuador. *Geoscienses*, 12, 8-11.

Sandoval Santos, Luis Gerardo (2018). *Susceptibilidad A Deslizamientos De Suelos En El Campus Los Ángeles De La Universidad Estatal Del Sur De Manabí (Tesis)*. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Manabí, Ecuador.

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2023). *RESOLUCIÓN Nro. SGR-169-2023.* Quito: Secretaria de gestión de riesgos.

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2023). *Plan de Acción ante el Fenómeno "El Niño" en Ecuador 2023-2024. .*

SECRETARÍA NACIONAL DE GESTIÓN DE RIESGOS.

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2024). *Informe de Situación No. 1 – Por lluvias con Influencia de "El Niño–Oscilación del Sur" (ENOS).* Samborondón : SECRETARÍA NACIONAL DE GESTIÓN DE RIESGOS.

Santillana. (2019). *Conociendo mi provincia Manabí.* Santillana. Obtenido de: https://blog.santillana.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/INFORMATIVO-CONOCIENDO-MI-PROVINCIA_MANABI.pdf

FINANCIAMIENTO

Los autores expresan autofinanciamiento y financiamiento de la Secretaría de Gestión de Riesgo (SGR), para realizar esta obra de investigación.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

DERECHOS DE AUTOR

Avendaño Salvatierra, J. C., Caballero Delgado, J. E., & Chunga Moran, K. A. (2025)

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo la licencia Creative Commons de Atribución No Comercial 4.0, que permite su uso sin restricciones, su distribución y reproducción por cualquier medio, siempre que no se haga con fines comerciales y el trabajo original sea fielmente citado.

El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en esta publicación es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la revista.