



Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: EIC-Lanamme-INF-1493-2023

**Informe de evaluación de la condición de estabilidad de los
taludes del tramo de carretera de montaña de la Ruta
Nacional n°32
INFORME FINAL**



Preparado por:

Ing. Laura Solano Matamoros
Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Octubre, 2023



1. Informe EIC-Lanamme-INF-1493-2023	2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: Informe de evaluación de la condición de estabilidad de los taludes del tramo de carretera de montaña de la Ruta Nacional n°32	4. Fecha del Informe 30 de octubre de 2023	
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias Ninguna		
7. Resumen <i>Debido a las condiciones de estabilidad observadas a lo largo del tramo de montaña de la Ruta Nacional N°32, este informe presenta un análisis de estabilidad de los taludes de carácter preliminar que puede ser utilizado como insumo para análisis detallados por parte de la Administración. Además, se proporciona un inventario actualizado al tercer trimestre de 2023 de los sitios que muestran evidencia de inestabilidad y los factores que pueden incidir negativamente en el equilibrio del terreno.</i> <i>Los resultados de las modelaciones indican que, en la mayoría de los casos, los factores de seguridad son favorables a la estabilidad, dadas las condiciones analizadas, lo que cumple con las recomendaciones del CGTLCR. Sin embargo, al actualizar la condición de los taludes para el año 2023, es posible identificar que los puntos que presentaban un área de afectación limitada en 2022 persisten, exhiben un considerable aumento del área afectada. Esto los convierte en sitios con una susceptibilidad de nivel medio a alto ante deslizamientos de mayor volumen y, por consiguiente, suponen un mayor riesgo para la ruta.</i> <i>Es importante destacar que este análisis no es definitivo, sin embargo, constituye un insumo y una guía que puede ser tomada en consideración para llevar a cabo análisis adicionales con un mayor grado de detalle, que deben ser realizados por el profesional en geotecnia responsable de emitir las propuestas e implementar las obras requeridas, si fuese necesario.</i>		
8. Palabras clave Modelo de elevación digital (MED), método de equilibrio límite (MEL), vehículo aéreo no tripulado (VANT), drenaje natural, escorrentía superficial.	9. Nivel de seguridad: -	10. Núm. de páginas 73
11. Preparado por: Ing. Laura Solano Matamoros. Programa Ingeniería Geotécnica		
12. Revisado por: Lic. Giovanni Sancho Sanz Coordinador Unidad de Asesoría Legal		
13. Revisado y aprobado por: Ana Lorena Monge Sandí, MSc. Coordinadora Programa Ingeniería Geotécnica		



Contenido

Resumen ejecutivo	4
I. Introducción	6
I.1 Antecedentes.....	8
II. Objetivos.....	9
II.1 Objetivo general	9
II.2 Objetivos específicos.....	9
III. Metodología.....	9
III.1 Uso de la herramienta para la evaluación de la condición de los taludes	9
III.1.1 Caracterización del talud	10
III.1.2 Observaciones en la zona del talud	12
III.1.3 Clasificación de la condición del talud.....	13
III.2 Modelo de elevación digital (MED).....	13
III.3 Comprobación de estabilidad de los taludes utilizando el método de equilibrio	15
IV. Descripción general del sitio	16
IV.1 Geología local de la zona.....	17
V. Resultados.....	18
V.1 Aplicación de la herramienta para la evaluación de la condición de taludes.....	19
V.2 Estabilidad de taludes de sitios específicos	39
V.3 Resultados utilizando el método de equilibrio límite MEL en sitios específicos	42
VI. Situación actual	60
VII. Comentarios Finales.....	71
VIII. Referencias	73



Resumen ejecutivo

Este informe tiene como propósito realizar una evaluación preliminar de los taludes a lo largo de la Ruta Nacional n°32 (RN32), la cual es una ruta de suma importancia que conecta la costa atlántica con el valle central del país. Conocida como la Autopista Braulio Carrillo, esta vía se extiende por 156 kilómetros, atravesando zonas montañosas y de llanura.

Dadas las condiciones geológicas y climáticas de la región montañosa a lo largo de la RN32, resulta fundamental realizar evaluaciones periódicas de estos taludes para detectar posibles riesgos y proporcionar recomendaciones para mitigar las posibles de inestabilidades de los taludes.

Este informe se enfoca en un análisis de los taludes que presentan evidencia de inestabilidad a lo largo del tramo de la carretera que abarca del kilómetro 20+000 al 63+185. Se consideran aspectos como la pendiente, el material geológico, la erosión, el drenaje y la vegetación. Además, se toman en cuenta factores externos, como las precipitaciones y las cargas dinámicas inducidas por eventos sísmicos, que pueden afectar la estabilidad de los taludes, así como las estructuras cercanas que podrían verse afectadas por un posible deslizamiento.

Se ha realizado un inventario de sitios en los que se han observado indicios de inestabilidad o que por su condición actual se puede suponer que son el resultado de deslizamientos previos. Este inventario proporciona información sobre eventos pasados y su frecuencia, así como lugares con condiciones desfavorables para la estabilidad del talud, lo que permite identificar áreas con mayor densidad de sitios inestables que se pueden categorizar como propensas a deslizamientos.

Los resultados de esta evaluación ofrecen información valiosa para identificar sitios específicos con inestabilidades durante el período de la evaluación. Además, se proporcionan recomendaciones generales para el mantenimiento de los taludes y la prevención o mitigación de posibles deslizamientos.

Es importante enfatizar que, aunque estos análisis cuentan con respaldo técnico adecuado, existen limitaciones en la exploración geotécnica de los sitios específicos abordados en este informe. Por lo tanto, estos análisis no representan resultados definitivos para tomar decisiones finales o recomendar diseños de obras, si son necesarias. Para ello, se requiere un estudio completo que debe ser realizado por un profesional en geotecnia designado por la Administración para emitir propuestas e implementar obras de estabilidad de taludes, en caso de ser necesarias.

Se sugiere llevar a cabo estudios adicionales que incluyan, para los sitios estudiados, la cantidad óptima de ensayos in situ y de laboratorio para una exploración geotécnica más detallada. La omisión de estos aspectos podría llevar a riesgos económicos tanto para la administración como para los usuarios.

Se recomienda considerar las condiciones de saturación de los materiales, así como diferentes propuestas de estabilización de taludes y su respectiva optimización. Es fundamental entender que la saturación del suelo puede modificar la distribución de esfuerzos en el talud y, por lo tanto, influir en la ubicación y forma de la superficie de falla. Esto varía según el tipo de suelo y las condiciones específicas del sitio. Además, se aconseja complementar los análisis de estabilidad con análisis de esfuerzo-deformación en las zonas cercanas a la superficie de ruído utilizando el Método de Elementos Finitos (MEF). Esto permitirá evaluar posibles afectaciones a la vía desde el punto de vista de deformaciones.

Se observa la falta de sistemas adecuados para controlar la escorrentía superficial en la mayoría de los taludes existentes. Se recomienda implementar medidas integrales de mitigación para prevenir y

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 4 de 73
---------------------------	-----------------	----------------



detener la erosión de la cara de los taludes, junto con sistemas para el control de la escorrentía superficial, evitando así agravar los problemas de estabilidad observados.

Este informe puede ser utilizado como insumo para las autoridades responsables de la gestión y mantenimiento de la RN32, así como para los profesionales involucrados en proyectos de infraestructura vial. El objetivo final es garantizar la seguridad y eficiencia del tránsito en esta ruta nacional, promoviendo el bienestar de los usuarios y contribuyendo al desarrollo sostenible del país. Se insta a realizar estudios geotécnicos exhaustivos y a considerar todas las variables para tomar decisiones informadas y seguras.

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 5 de 73
---------------------------	-----------------	----------------



Evaluación de la condición de estabilidad de los taludes del tramo de carretera de montaña de la Ruta Nacional n° 32

I. Introducción

El presente informe tiene como objetivo realizar una evaluación preliminar, pero a detalle de los taludes a lo largo de la carretera de montaña ubicada en el Ruta Nacional n°32 (RN32). Esta vía desempeña un papel fundamental en el transporte de personas y mercancías, conectando el atlántico con el valle central del país, y facilitando el desarrollo económico y social de las comunidades.

Las rutas pueden ser clasificadas según la topografía como rutas de montaña o rutas de llanura, por lo que, dependiendo de su topografía, los análisis se enfocan en las diferentes condiciones que pueden afectar la estabilidad de los taludes y condicionar el adecuado funcionamiento de la carretera, como pueden ser deslizamientos o inundaciones, así como otros factores geotécnicos que puedan afectar la carretera.

La RN32, también es conocida como Autopista Braulio Carrillo por atravesar el parque nacional Braulio Carrillo, en total recorre 156 kilómetros, de los cuales una parte corresponde a topografía de zona de montaña que abarca desde el kilómetro 20+000 hasta el 63+185, y otra a llanura.

Los taludes ya sean de corte o relleno, son obras importantes que requieren de análisis y estudios previos a la construcción de una carretera. Además, debido a las características geológicas y climáticas de la región montañosa donde se encuentra esta ruta nacional, es fundamental realizar una evaluación periódica de monitoreo de los taludes para identificar posibles riesgos y brindar recomendaciones para mitigarlos.

Durante el desarrollo de este informe, se llevará a cabo un análisis específico de algunos de los taludes que presentan indicios de inestabilidad a lo largo del tramo de la carretera mostrado en la Figura 1, considerando aspectos como su pendiente o grado de inclinación, material geológico, erosión, drenaje y presencia de vegetación. Además, se tomará en consideración para los análisis factores externos, como precipitaciones y movimientos sísmicos, en la estabilidad de los taludes, así como estructuras cercanas que se puedan ver afectadas por un posible deslizamiento de material.

Adicional a la evaluación general de los taludes, se cuenta con un inventario de los sitios en los que se observaron indicios de inestabilidades o que aparentan ser el resultado de un deslizamiento antiguo. Este inventario de deslizamientos proporciona información sobre eventos pasados y su frecuencia, así como sitios en los que se observan condiciones desfavorables para la estabilidad del talud, lo que permite identificar zonas propensas a deslizamientos.

Los resultados de esta evaluación representan un insumo que permitirán tener un conocimiento de los sitios específicos que al momento de la evaluación presentan inestabilidades de algún tipo, así como recomendaciones técnicas generales para el mantenimiento de los taludes y prevención o mitigación de posibles deslizamientos, tomando en consideración la conservación del medio ambiente, ya que la RN32 atraviesa zonas protegidas.

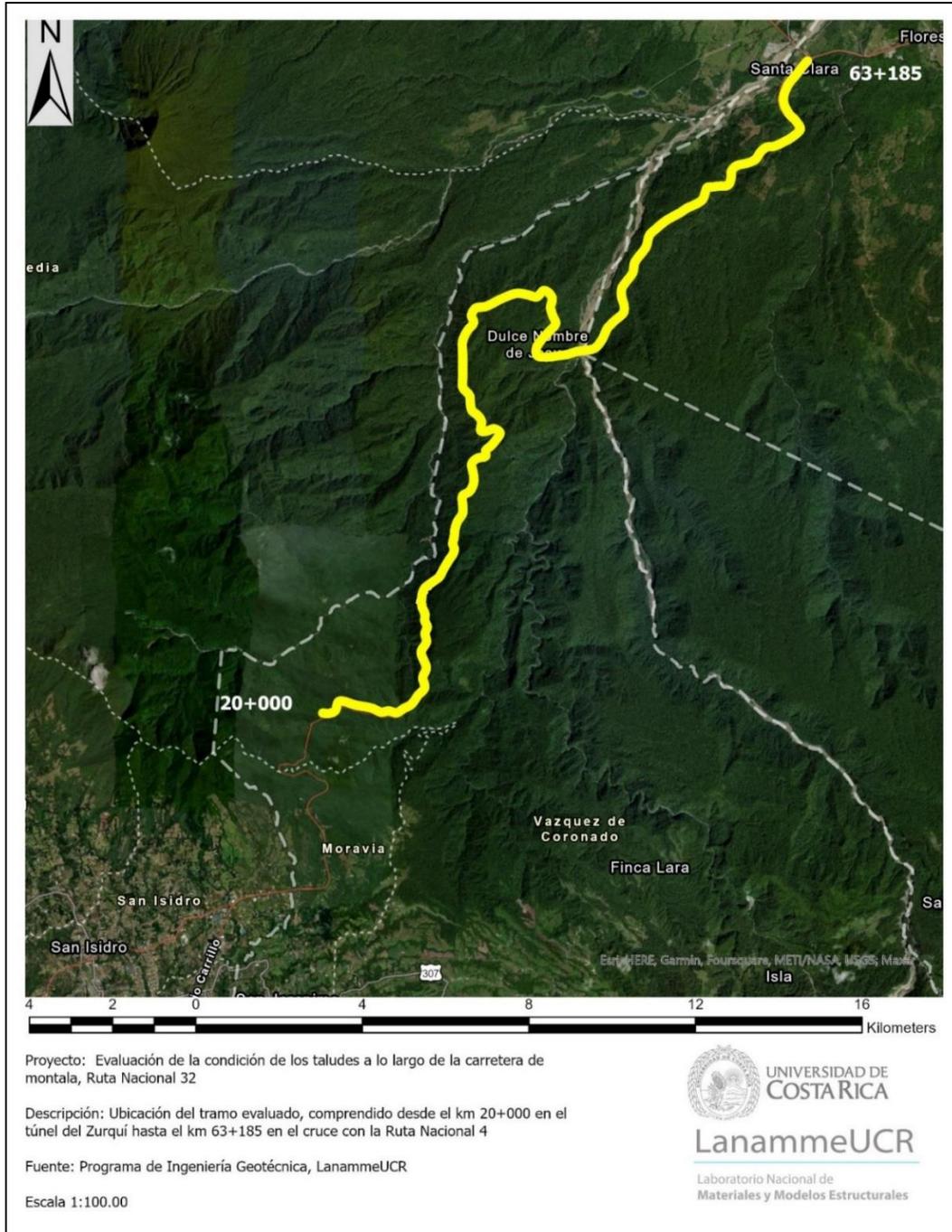
Se espera que este informe sea de utilidad para las autoridades responsables de la gestión y mantenimiento de la carretera, así como para los profesionales involucrados en la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura vial. El objetivo final es garantizar la seguridad y eficiencia del tránsito en esta importante ruta nacional, promoviendo el bienestar de los usuarios y contribuyendo al desarrollo sostenible del país.

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 6 de 73
---------------------------	-----------------	----------------



Figura 1

Tramo analizado de la Ruta Nacional N°32 (RN32)





1.1 Antecedentes

En vista de la importancia estratégica de la RN32, se han realizado diversos estudios geotécnicos a lo largo de los años para comprender las condiciones del terreno y los desafíos geotécnicos presentes en esta carretera.

En estudios previos se ha dejado en evidencia que la RN32 atraviesa una variedad de formaciones geológicas que se describen con mayor detalle en los próximos apartados. De manera general, se conoce que a lo largo del trayecto de la ruta los suelos varían desde suelos de origen volcánico en la zona montañosa influenciada por la Cordillera Volcánica Central, hasta suelos sedimentarios en la región de la vertiente del caribe.

La unidad de gestión de evaluación de la red vial nacional UGERVN del LanammeUCR, ha realizado en el pasado evaluaciones de la vulnerabilidad ante amenazas naturales de diferentes tramos de la ruta. En el informe LM-PI-PV-ERV-05-09 “Evaluación de la vulnerabilidad ante amenazas naturales en la Ruta Nacional 32, tramo San José – Río Sucio” se concluye que el tramo en estudio está expuesto a diferentes amenazas naturales, sin embargo, el principal agente disparador de deslizamientos de suelo y roca es el factor sísmico. Además, se evaluaron las obras de drenaje intermedio y se recomienda modificar la sección dada su capacidad hidráulica insuficiente. Aunado a esto, las fuertes y constante precipitaciones a las que se ve expuesta la zona resulta un factor detonante a la ocurrencia de flujos de lodos y detritos.

En el 2013 se publicó el informe LM-PI-UGERV-002-2013 “Informe de fiscalización Ruta Nacional 32 tramo San Jerónimo – Cruce Ruta N°4”, el cual consistió en el resultado de la gira de evaluación y seguimiento por parte de ingenieros del LanammeUCR con el fin de realizar un registro actualizado de los deslizamientos a lo largo de la ruta. El principal hallazgo consistió en un talud ubicado en el km 32+300, el cual según se indica en el informe presenta un alto potencial de deslizamiento debido a la presencia de roca fracturada con un plano de deslizamiento a favor de la pendiente del talud.

En el año 2015 se publicó el informe LM-PI-UGERVN-11-2015 “Modelación de lahares generados por el volcán Turrialba y su posible afectación a la red vial nacional”. En este informe se describe que en la zona estudiada los sectores norte, noreste y noroeste de los volcanes Irazú, Turrialba y los Cerros del Zurquí presentan las pendientes más fuertes. A partir de lo indicado en el informe y para el interés de este informe se destaca que los Cerros del Zurquí por donde atraviesa la RN32 en el sector montañoso, se caracteriza por laderas de alta pendiente entre 40° y 60° y que además son muy susceptibles a la erosión fluvial. Finalmente se concluye que si en el volcán Turrialba se llegaran a presentar lahares y estos presentaran un volumen similar al evento ocurrido en el volcán Irazú entre 1963-1965, el área de inundación que generaría podría sobrepasar la ubicación de varios puentes de rutas nacionales ubicadas alrededor del volcán.

Por último, Carballo (2019) publicó un trabajo de investigación como proyecto para optar por el grado de licenciatura en geología con el título “Aplicación y determinación de la eficiencia del método HSQI en la sección de montaña, entre el peaje del Zurquí y el cruce de río Frío de la Ruta Nacional No.32”. Según se describe en la investigación, la metodología Hill Slope Quality Index (HSQI) es una herramienta que permite la determinación de la susceptibilidad a deslizamiento de un corredor vial. En resumen, esta investigación consistió en la aplicación del método a los cerros del Zurquí, para lo cual fue necesario realizar un análisis geomorfológico usando información Lidar para analizar pendientes. Además, según se menciona en el documento, la investigación cuenta con un inventario de los deslizamientos obtenidos a partir de técnicas de fotogrametría y modelos de elevación digital, que, a pesar de la alta cantidad de información disponible, la calidad de esta fue limitada para su uso en los análisis debido a la densidad de la vegetación. Finalmente, en este trabajo se concluye que uno de los factores principales para la estabilidad de los taludes ubicados en el corredor vial es el ángulo de corte de estos, el cual en la mayoría de los casos resulta desfavorable de acuerdo con lo

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 8 de 73
---------------------------	-----------------	----------------



indicado en el documento. Además, entre las conclusiones de los análisis se indica que no fue posible asociar la geología del área de estudio con la ocurrencia o no de deslizamientos, ya que como indica el autor, tanto la altura como los ángulos de inclinación varían en conjunto. Por último, se indica que basados en los resultados obtenidos el método HSQI no suplanta los análisis en el sitio para puntos específicos y que su aplicación se prefiere en áreas de tamaño intermedio, además que no se recomienda en taludes conformados por macizos rocosos.

II. Objetivos

II.1 *Objetivo general*

Evaluar la RN32 en el sector montañoso, desde el kilómetro 20+000 hasta el 63+185, bajo criterios geotécnicos que permitan identificar zonas en las que los taludes presenten bajo condiciones de saturación o pseudo estáticas, potencial pérdida de su condición de equilibrio.

II.2 *Objetivos específicos*

Para alcanzar el objetivo general de esta evaluación, se deben considerar los siguientes objetivos específicos:

- Identificar mediante visitas de campo los taludes que por su conformación y condición actual pueden resultar inestables al cambiar su condición de saturación o carga.
- Aplicar a estos taludes la herramienta de evaluación de taludes en carretera creada por el Programa de Ingeniería Geotécnica (PIG) del LanammeUCR.
- Obtener los modelos de elevación de terreno y superficie de los taludes que, una vez evaluados con la herramienta de taludes en carretera, requieran del criterio de un profesional especialista en geotecnia para brindar las respectivas recomendaciones generales.
- Evaluar utilizando softwares especializados los taludes que por sus condiciones geomorfológicas requieran de un análisis de equilibrio límite para determinar los factores de seguridad y compararlos con los indicados en el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica.
- Brindar las recomendaciones pertinentes en cuanto a la estabilidad de la zona evaluada.

III. Metodología

Para el desarrollo de este informe se requirió realizar visitas de campo, en las cuales un profesional en geotecnia recorre el tramo de interés identificando los taludes que presentan indicios de inestabilidad. A estos se les aplicó la herramienta de evaluación de taludes en carretera y dependiendo del resultado obtenido y del criterio del profesional se solicita la obtención del modelo de elevación del terreno, mediante la técnica de fotogrametría. A los taludes que por sus condiciones geomorfológicas el profesional especialista en geotecnia considere necesario, se aplican análisis con softwares especializados que utilizan la metodología de equilibrio límite para determinar el factor de seguridad ante deslizamiento, y este se compara con lo recomendado en el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica.

III.1 *Uso de la herramienta para la evaluación de la condición de los taludes*

Para la evaluación de la condición de los taludes y determinar la clasificación resultante, el PIG realizó un formulario en el que se establecen dos áreas generales de estudio, a saber:

- La caracterización del talud: En esta se incluyen las características talud, tales como altura, pendiente, material que lo conforma entre otros, así como condiciones climáticas de la zona
- Observaciones en la zona del talud: En esta, la evaluación se concentra en verificar si hay evidencia de movimiento y si existe alguna posible afectación en la zona circundante al talud

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 9 de 73
---------------------------	-----------------	----------------



Mediante la ponderación de los aspectos establecidos para evaluar estas áreas, se obtiene una calificación que no pretende cuantificar la condición de riesgo o vulnerabilidad del talud si no, la identificación de la necesidad o no de recomendaciones técnicas o intervenciones directas a cargo de profesionales en geotecnia, a partir de la evaluación visual del talud, la cual puede ser ejecutada incluso por personas con conocimientos básicos de ingeniería geotécnica.

III.1.1 Caracterización del talud

Esta sección de la guía inicia con la caracterización del talud basándose en las características observadas en campo según las siguientes descripciones:

- Precipitación anual

La herramienta clasificará la precipitación para su ponderación en alguno de los siguientes rangos establecidos:

- Menos de 2000 mm
- 2000 mm – 3000 mm
- 3000 mm – 4500 mm
- 4500 mm – 5500 mm
- Más de 5500 mm

- Pendiente

Se requiere la medición directa de la pendiente del talud que se está evaluando, pues la aplicación realiza su clasificación según los rangos previamente establecidos por PIG:

- Plana a suave: Cuenta con una pendiente menor a 3°, o lo que es lo mismo, tiene una pendiente 1:0,05
- Suave: Cuenta con una pendiente entre 3° a 10°, o lo que es lo mismo, tiene una pendiente entre 1:0,05 a 1:0,18.
- Moderada: Cuenta con una pendiente entre 11° a 20°, o lo que es lo mismo, tiene una pendiente entre 1:0,18 a 1:0,36.
- Abrupta: Cuenta con una pendiente entre 21° a 45°, o lo que es lo mismo, tiene una pendiente entre 1:0,36 a 1:1.
- Escarpada: Cuenta con una pendiente mayor a 45°, o lo que es lo mismo pendientes mayores que 1:1.

- Material predominante

Los requerimientos de estabilidad para taludes dependerán del material del que están conformados, es decir, roca o suelo. Además, un aspecto fundamental es la condición en la que se encuentra el material que conforma el talud, por lo que, para la clasificación del talud, se debe identificar a grandes rasgos y por medio de la observación, el material del que está conformado el talud y su condición utilizando como base los criterios respectivos para cada tipo de material mostrados en la Tabla 1

Tabla 1

Características generales para clasificar el material predominante de un talud

Roca	Suelo
Condición de la roca (compuesto roca/suelo, roca sana, roca fracturada)	Composición del suelo (compuesto suelo/roca, suelo residual, alusión, coluvio, relleno sin conformar/conformado, escombros/basura)
Fracturación de la cara del talud (poco fracturado, medianamente fracturado, altamente fracturado)	Agrietamiento en la cara del talud (sin grietas, medianamente agrietado, altamente agrietado, fallado)
Condición de las discontinuidades (masiva, sin relleno, con relleno)	



- Vegetación

En este punto se debe aportar información y clasificar la vegetación predominante del sitio de estudio en uno de los 6 grandes grupos definidos:

- Bosque primario
- Bosque secundario
- Arbustos
- Pastos mejorados
- Vegetación autóctona
- Pastos naturales
- Ninguna

- Uso de suelo

Se debe calificar el uso de suelo de la zona de estudio ya que esto influye en la complejidad técnica de las recomendaciones, se establecieron 5 grupos principales:

- Terreno natural
- Bosque
- Camino, carretera
- Urbanización densa
- Urbanización esporádica

- Agua en el talud

Se debe indicar la existencia de agua en el talud y basándose en lo observado se debe clasificar el talud de acuerdo con las siguientes condiciones:

- Seco
- Húmedo
- Saturado

Además, se debe indicar en el caso de existir agua, la altura a la que se observa, sea desde la corona, a media altura o al pie del talud, ya que la incidencia del agua en la estabilidad del talud puede influir de acuerdo a su ubicación.

Si la presencia del agua en el talud es tal que es posible identificar un flujo aflorando en alguna parte de la cara del talud, se debe indicar el nivel al que se observó, sea desde la corona, a media altura o al pie del talud.

- Manejo de escorrentía superficial

El manejo de aguas ya sea de escorrentía superficial o bien subsuperficiales, es sumamente importante para evitar que un talud se sature por su presencia. La eficacia del sistema de manejo de aguas depende, además de su existencia, de la condición en la que se encuentren, o bien en que tengan el dimensionamiento apropiado. Para la evaluación del talud se debe indicar en caso de existir, la condición del drenaje (buen estado, mal estado, insuficiente, obstruido). Si no existe drenaje se indica si el talud presenta afectación por la escorrentía.

- Altura del talud

La altura del talud corresponde a la medida vertical desde la corona hasta el pie del talud. Se deberá estimar lo más preciso posible haciendo uso de herramientas de medición a distancia con láser, o estimaciones visuales tomando como referencia objetos de altura conocida.



- Forma del talud

Este parámetro resulta importante ya que brinda información más específica de las características del talud que se está estudiando. La forma del talud es un factor que influye de manera directa en la estabilidad de un talud, por lo tanto, se debe clasificar el talud a partir de la observación en campo de acuerdo con las siguientes formas:

- Rectilínea
- Cóncava
- Convexa
- Compuesta

III.1.2 Observaciones en la zona del talud

En esta sección se contemplan las observaciones que se tengan en campo acerca del talud en cuanto a evidencias que sean un indicio de movimiento en el mismo. Estas observaciones se han caracterizado de la siguiente manera:

- Evidencia de movimiento

Al evaluar la condición del talud, existen evidencias que puede proporcionar naturalmente el terreno, que generan un indicio de que se puede estar presentando una falla en el mismo. En este caso, se debe observar tanto la zona del talud como sus alrededores e indicar si se muestran una o varias de las siguientes condiciones: árboles inclinados, formación de coronas, levantamiento al pie del talud, grietas en el terreno y material caído.

- Modo de falla

Conocer los modos de falla del terreno es importante, pues dependiendo del tipo que se presentó, así se puede planear la medida de contingencia más apropiada. Los tipos de falla difieren si se trata de un talud en suelo o un talud en roca como se indica a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2

Clasificación del modo de falla de un talud según el tipo de material predominante

Suelo	Roca
Deslizamiento rotacional	Planar
Deslizamiento traslacional	Cuña
Flujo de detritos	Volcamiento
Expansión lateral	Compuesto
Reptación	
Compuesto	

- Presencia de obras de retención

Las obras de retención son fundamentales para generar estabilidad en el terreno, ya sea en una ladera o en un talud. Por lo tanto, su existencia debe ser considerada en la contribución a la estabilidad. Se consideró la presencia y estado de las obras de retención existentes en el sitio evaluado de acuerdo con las siguientes categorías establecidas:

- Estructura de retención en buen estado
- Estructura de retención insuficiente o en mal estado
- No hay estructuras de retención

- Estructuras o servicios cercanos

Dada la posible inestabilidad del talud evaluado, se considera importante identificar estructuras o redes de servicio que se encuentran en los alrededores del sitio tales como, viviendas o comercios, vías vehiculares, redes eléctricas, redes de agua potable, puentes vehiculares, pasos peatonales,



cultivos. Dependiendo de su cercanía, así sería la afectación que podría generar el deslizamiento (si existiese) sobre la estructura, por lo tanto, se establecen los siguientes radios de incidencia:

- 0-3 m
- 3-8 m
- 8-15 m
- Más de 15 m

III.1.3 Clasificación de la condición del talud

Se han establecido 3 niveles de alcances para la clasificación de la condición del talud evaluado:

- Clasificación Baja: Se considera que el nivel de afectación que tiene el talud y la incidencia sobre la carretera no implican análisis más profundos y por lo tanto un profesional con conocimientos básicos en geotecnia puede realizar algunas indicaciones para mejorar la condición del talud. Entre las recomendaciones básicas que se pueden realizar son:
 - Recomendaciones de manejo de agua de escorrentía superficial si es que no existe, si existe indicar si es o no suficiente y de ser necesario, que se debe considerar realizar una mejora en el manejo existente
 - Recomendaciones de colocación de drenajes en el propio talud, si es que se observa flujo de agua aflorando en la cara del talud. Adicionalmente, se debe indicar de manera explícita en la recomendación que, el diseño y construcción del sistema de drenajes específico para el talud evaluado, deberá estar a cargo y bajo la supervisión de un ingeniero geotecnia encargado del proyecto.
 - Recomendaciones de colocar algún tipo de método para el manejo de erosión, a saber: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros. Adicionalmente, se debe indicar de manera explícita en la recomendación que, el diseño y selección del método deberá estar a cargo y bajo la supervisión de un ingeniero geotecnia encargado del proyecto,) que indique la forma adecuada de colocar estas alternativas, con el fin de optimizar la solución y no generar problemas mayores a posteriori.
- Clasificación Media: Cuando algún talud tenga este nivel de clasificación, se establece que, en este caso, debe ser un profesional con conocimiento especializado en geotecnia quien, acompañe al evaluador con conocimientos básicos en geotecnia a realizar una evaluación específica del sitio en cuestión, con el fin de determinar si el talud requiere de recomendaciones específicas o análisis más profundos, o bien si con las recomendaciones generales es suficiente para mejorar la condición del talud.
- Clasificación Alta: Cuando algún talud tenga este nivel de clasificación, se establece que se debe realizar un análisis con mayor detalle y específico del sitio, que incluso contemple el uso de algún software especializado, a cargo de un profesional con conocimientos especializados en geotecnia.

Para el presente informe los análisis específicos de la clasificación media y los profundos de la clasificación alta se realizaron por parte del personal del PIG del LanammeUCR, los cuales son profesionales con conocimiento especializado en geotecnia.

III.2 Modelo de elevación digital (MED)

Inicialmente, con la colaboración de la Oficina de Geomática (OGEO) del LanammeUCR, se realizaron levantamientos con un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) de la zona de estudio durante los meses de setiembre y octubre de 2022.

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 13 de 73
---------------------------	-----------------	-----------------



Debido a la densa vegetación que cubre la topografía de la mayor parte de la RN32, se optó por utilizar el LIDAR como herramienta de levantamiento. Conforme a las investigaciones de Ruiz et al. (2014), el término "LIDAR" deriva del acrónimo en inglés "Laser Imaging Detection and Ranging", cuya traslación al español correspondería a "detección e imágenes láser y alcance". El fundamento de la tecnología LIDAR yace en la medición de distancias a través de la iluminación de un objetivo mediante un rayo láser, seguido de un análisis de la luz reflejada y la información así generada.

A pesar de que cada punto o dato de manera individual creado por LIDAR carece de utilidad, la unión de millones de estos puntos surgidos de un barrido láser específico permite la creación de superficies tridimensionales. Para alcanzar este objetivo, cada pulso láser de retorno se resguarda en la memoria del escáner, calculándose la distancia que abarca entre el instrumento y el objeto donde revotó el láser.

A partir de los criterios de la física y la óptica, se extrae la posición de cada punto en función del rayo refractado, cuantificando dicha posición como una coordenada x-y-z. Así, se logra comprobar la existencia de detalles tales como deslizamientos de terreno, surcos, cárcavas, vegetación, fachadas de edificaciones, vehículos, seres humanos y otros elementos, con un error máximo de 3 mm en la ubicación de puntos. El cual se puede reducir a menos de 1 mm al aplicar procedimientos de topografía y optimización con softwares especializados.

La técnica LIDAR toma relevancia cuando se requiere conocer la elevación del terreno desprovisto de vegetación y que el producto debe ser una cercana representación de la realidad del sitio. Esto se origina en la posibilidad de los pulsos de luz del LIDAR para atravesar la vegetación densa, logrando pasar entre hojas y ramas para dar alcance al nivel del suelo. Esto posibilita obtener modelos de terreno natural en zonas donde el alcance de la fotogrametría se ve limitado. Esta tecnología resulta más aprovechable en extensiones considerables que requieren de mayor precisión, pues se brinda una selección más meticulosa de la información, considerando la variable de intensidad, que a su vez complementa los registros cromáticos y las coordenadas de la fotogrametría tradicional, aportando mediciones más exactas de la elevación del terreno y, por añadidura, una representación fiel del nivel del suelo.

A partir del modelo tridimensional, es posible conocer distancias, altitudes, pendientes y volúmenes con un bajo margen de error. Estos modelos trascienden su función, pues dan pie a la creación de superficies, estructuras sólidas y modelos de elevación, todos ellos plasmados en programas de diseño asistido por computadora (CAD) o en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Mediante estas herramientas, se analiza la forma de la superficie del terreno, incluso aquellos puntos inestables que a nivel del suelo no son detectables.

Es importante mencionar que la precisión de los modelos depende de la adecuada selección de la altitud y el área de sobrevuelo. A mayor elevación, menor la resolución y, en consecuencia, menor la exactitud del modelo. A modo de ejemplo, los modelos alcanzados a partir de un vuelo a 50 metros de altitud esculpen una resolución de meros centímetros.

Con estos factores en mente y basándonos en el levantamiento llevado a cabo con el Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) de la OGEO, fue viable obtener un modelo de elevación para cada uno de los taludes que, gracias a la evaluación con la herramienta del PIG para evaluar la condición de los taludes, reciben una clasificación de nivel medio o alto. Los levantamientos efectuados permitieron una precisa recreación de las superficies del terreno (sin la presencia de la vegetación), con vistas a su ulterior análisis.



III.3 Comprobación de estabilidad de los taludes utilizando el método de equilibrio

En la actualidad, la mayoría de los estudios sobre la estabilidad de taludes se apoyan en los Métodos de Equilibrio Límite (MEL). Estos métodos analizan la relación entre las fuerzas de deslizamiento y las fuerzas de resistencia a lo largo de una superficie de falla determinada.

Tradicionalmente, los análisis de estabilidad se ejecutan empleando representaciones bidimensionales, las cuales suponen una reducción de la información real disponible. En estos modelos bidimensionales, el ingeniero diseñador, según su juicio, clasifica las secciones transversales críticas donde un deslizamiento o movimiento de material que provoque inestabilidad del talud podría ocurrir.

No obstante, se debe tener presente que los MEL tienen limitaciones que el experto geotécnico debe conocer para seleccionar el método que mejor se adapte a las exigencias del problema a evaluar. Así, las limitaciones generales de los MEL incluyen:

- Ausencia de análisis de deformaciones.
- Cálculo basado en el equilibrio estático de fuerzas, que tras la falla ya no es aplicable debido a cambios en la geometría del análisis y la iniciación del movimiento del suelo, invalidando el equilibrio estático.
- Suposición de distribución uniforme de esfuerzos en la base de los elementos o dovelas.

Por otro lado, los diferentes métodos de equilibrio límite pueden poseer otras limitaciones, tales como:

- Asunción de isotropía del material del talud.
- Consideración, o no, de fuerzas cortantes entre las dovelas.
- Enfoque en equilibrio de momentos en ciertas metodologías.
- Suposición de una superficie de falla específica.

Ante estas limitaciones inherentes a los Métodos de Equilibrio Límite y las simplificaciones de los análisis bidimensionales, los análisis de situaciones reales han alcanzado buenos resultados con éxito. Sin embargo, a lo largo de las últimas décadas, se han explorado e implementado numerosos métodos tridimensionales para la evaluación de la estabilidad de taludes. El interés en los análisis tridimensionales de la estabilidad de taludes surge del hecho de que la mayoría de las fallas de este tipo poseen una naturaleza intrínsecamente tridimensional. En otras palabras, la superficie de falla con frecuencia presenta variaciones en relación con la topografía, que escapan a las previsiones del ingeniero.

De acuerdo con las condiciones del medio analizado y la información disponible, existen teorías de análisis que aplican el método de equilibrio límite para la determinación de los factores de seguridad; se puede destacar entre las teorías más utilizadas el método de Bishop, el método de GLE Morgenstern Price, y el método de Spencer.

El método de Bishop se basa en suposiciones simplificadas, como la división del talud en bloques estáticos y la consideración de una superficie de falla potencial definida por el ángulo de fricción interna del suelo y la cohesión. Estas simplificaciones pueden llevar a resultados conservadores, ya que tienden a subestimar la estabilidad del talud.

Los métodos de GLE Morgenstern Price y Spencer, se consideran métodos rigurosos ya que tienen en cuenta una mayor complejidad en la geometría de la superficie de falla, permiten la variación de propiedades geotécnicas dentro del talud y pueden considerar condiciones no drenadas y la interacción suelo-roca de manera más precisa.

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 15 de 73
---------------------------	-----------------	-----------------



Las diferencias en los resultados entre Bishop y los métodos GLE y Spencer se deben a las simplificaciones y suposiciones inherentes a cada método.

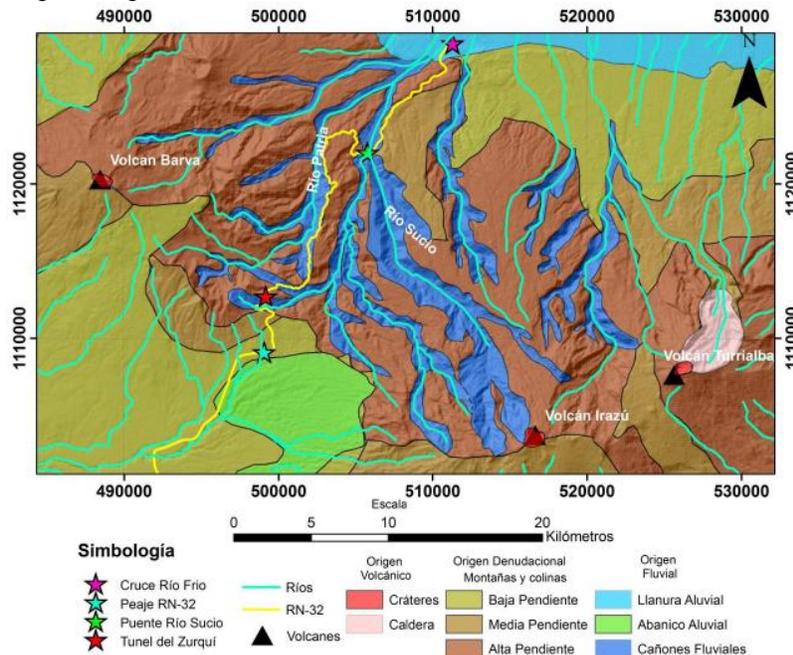
Bishop tiende a ser más conservador y menos preciso en situaciones donde la interacción suelo-roca es importante o donde las condiciones de drenaje y tiempo son complejas. Por lo tanto, es recomendable utilizar métodos más avanzados como GLE y Spencer cuando se requiere un análisis más preciso de la estabilidad de taludes, especialmente en casos de taludes compuestos o condiciones geotécnicas complicadas, como es el caso de los taludes del tramo de carretera de montaña de la RN32, que en su mayoría su conformación es compuesta entre suelo y roca.

IV. Descripción general del sitio

La RN32, que cruza a través del Parque Nacional Braulio Carrillo, es un tramo vial de gran relevancia que conecta las regiones del Caribe y del Valle Central del país. Este corredor presenta características geográficas y topográficas únicas debido a su paso a través del parque nacional, donde se encuentran terrenos montañosos y exuberante vegetación. Esta carretera, vital para el transporte y la comunicación, representa un desafío desde la perspectiva geotécnica debido a su disposición en un terreno montañoso y su interacción con factores climáticos y geológicos.

La RN 32 atraviesa laderas empinadas y zonas donde las condiciones geológicas pueden ser propensas a la inestabilidad. La topografía montañosa y las intensas precipitaciones que caracterizan la región pueden influir en la estabilidad de los taludes a lo largo de la carretera. La zona de influencia de esta ruta inicia en el Río Sarapiquí y atraviesa el paso entre los volcanes Barva y Poás, tal y como se muestra en la Figura 2.

Figura 2
Mapa Geomorfológico Regional



Nota: Tomado de Aplicación y determinación de la eficiencia del método HSQI en la sección de montaña, entre el peaje del Zurquí y el cruce de Río Frio de la RN No.32, por Carballo,2019



IV.1 Geología local de la zona

La geología del área de estudio se encuentra dominada por las rocas volcánicas relacionadas con antigua actividad del volcán Barva. Específicamente la zona analizada se conoce como cerros del Zurquí y forman parte de la Cordillera Volcánica Central. Alvarado (1984) caracterizó la litología de la zona por la presencia de coladas de lava andesítica, andesita basáltica y basaltos con textura porfirítica.

De acuerdo con Carballo (2019) las litologías observadas en el campo corresponden a basaltos, brechas y flujos piroclásticos. Estas litologías aparecen en varias zonas a lo largo del área de estudio, sin embargo, los flujos de lavas basálticas conforman la mayor parte de la ruta. Los taludes presentan ángulos y pendientes altas, además, de altos niveles de cobertura vegetal.

Carballo (2019) también realiza una descripción de las lavas y flujos piroclásticos de las diferentes unidades encontradas en el tramo analizado en su investigación. Dado que la zona estudiada por Carballo (2019) coincide en mayor parte con la zona de interés para el presente análisis, a continuación, se encuentra la descripción geológica textual del tramo analizado de la RN 32 según Carballo (2019):

- **Unidad brechas**

La unidad de brechas aflora en varios sectores de la carretera, aproximadamente se encuentra en 9,4 Km de extensión dentro del estacionamiento 17+400 al estacionamiento 22+700, esto incluye el tramo del túnel del Zurquí (el cual se encuentra en el estacionamiento 19+400).

Esta unidad es muy heterogénea en cuanto a la composición de sus clastos, sin embargo, todos son volcánicos, lo cual es indicativo que durante el proceso de depositación, su ambiente dominante fue ígneo. Los tipos de clastos varían de lavas afíricas y lavas porfiríticas a escorias con tamaños vesiculares milimétricos a centimétricos (no más de 2 cm).

En general los clastos como se mencionó anteriormente son muy heterogéneos, sus tamaños pueden variar de centimétricos a decimétricos. Los porcentajes de clastos dentro de la matriz son más homogéneos, estos no llegan a superar el 20% a excepción de casos muy puntuales como lo es el estacionamiento 19+000 donde a aproximadamente 4m de altura aparece un lente con un porcentaje de clastos mayor (aproximadamente 30%). La angularidad de estos clastos es muy alta y su redondez muy leve, por lo que se presume que su depositación fue muy rápida. En el estacionamiento 18+250 es posible observar una gradación inversa en las brechas.

La meteorización de esta unidad varía según su ubicación, las zonas más centrales del área de estudio tienden a presentar estados más sanos mientras que en los extremos, la meteorización es mayor.

- **Unidad flujos piroclásticos**

Los flujos piroclásticos que afloran a lo largo de la carretera se extienden por 7,2 Km, su principal concentración se encuentra en la zona posterior al puente sobre el río Sucio, específicamente en los estacionamientos 41+000 al 46+000 de la carretera, sin embargo, también hay afloramientos en los estacionamientos 31+000 al 34+000.

Los flujos presentan una significativa heterogeneidad en cuanto a su composición, cuentan con una matriz de ceniza y el porcentaje de bloques inmersos en ella es variable. La transición entre los distintos flujos varía entre contactos netos y transicionales, cortes diagonales. Los grados de meteorización de la misma manera son heterogéneos, flujos con una dureza muy alta pueden estar a la par de otros flujos más meteorizados y cercanos a un suelo. Dada la heterogeneidad en composición y meteorización es posible deducir que la zona en las que estos flujos afloran se formó

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 17 de 73
---------------------------	-----------------	-----------------



por la sucesión de distintos eventos piroclásticos, los cuales fueron afectados por tectonismo debido a la cercanía con la falla Guápiles o falla río Sucio.

- **Unidad lavas**

El área de estudio está conformada en su mayoría por esta unidad, la cual representa un aproximado de 17,3 kilómetros de la totalidad de la zona. Su principal exposición se presenta en el tramo entre el túnel del Zurquí y el puente sobre el río Sucio, en los estacionamientos 23+000 a 27+000 específicamente.

La principal estructura que presentan estos afloramientos es el diaclasamiento y varía en cantidad de familias, buzamiento y orientación de planos. Existen zonas donde buzan hacia la carretera, lo cual afecta negativamente la estabilidad de los taludes.

Similar a los flujos piroclásticos estas lavas presentan diferencias en su composición mineralógica. A lo largo del trayecto se pueden observar lavas afíricas, lavas con fenocristales de plagioclasa y piroxeno, lavas cuyos únicos fenocristales son plagioclasas de tamaño centimétrico y lavas escoriáceas. Los contactos entre cada uno de estos tipos son difíciles de observar, puesto que, la mayor parte de los taludes está cubierta por vegetación.

- **Subunidad lavas río Sucio**

Esta subunidad se encuentra en los kilómetros cercanos al puente sobre el río Sucio (a ambos lados), entre los estacionamientos 38+000 y 40+000. Su principal característica es la presencia (en macroscopía) de plagioclasas de tamaño centimétrico (1-2 cm) y pocos o ningún piroxeno u otros minerales. Estas plagioclasas, si bien son de gran tamaño, muestran una forma tabular por lo que asume que no es una hidratación de estas lavas que las hace ser de estas dimensiones. Las rocas de esta subunidad son de coloración gris marrón con una pátina superficial de coloración café.

- **Subunidad lavas olivínicas**

Presente en los estacionamientos 23+000 a 28+000 de la carretera. De tonalidad grisácea con fenocristales en macroscopía no mayores a 2 mm, la roca se encuentra sana a ligeramente meteorizada (a excepción de los estacionamientos 28+100 y 29+600 donde ésta es elevada). El diaclasamiento es variado, sin embargo, una buena parte de esta subunidad presenta una familia de diaclasas que buzan desfavorable a la estabilidad (dirección aproximada de 260°), lo cual la hace más susceptibles a deslizamientos o caída de material en general.

- **Subunidad lavas molinete**

El resto de la unidad lavas se clasificó por ser basaltos con presencia de piroxenos, pero sin olivinos. A diferencia de las anteriores dos unidades, éstas no se encuentran concentradas en una sola zona de la carretera, sino que se distribuyen en el área entre las otras dos subunidades que no están ocupadas por las unidades Flujos piroclásticos o Brechas.

Estas lavas presentan un porcentaje de plagioclasa entre 15% a 30%, los piroxenos no superan el 10% de la roca, el porcentaje más alto de estos en la roca es de un 10% en las cercanías del estacionamiento 41+100, los minerales opacos no sobrepasan el 3% y la biotita se presenta como un mineral accesorio en la mayoría de las secciones delgadas analizadas. La matriz en esta subunidad es mayoritariamente vitrofírica, los porcentajes de vidrio en esta varían de 10% a 80%, en los casos en que el vidrio no predomina en la matriz, es cuando la plagioclasa es mayoría.

V. Resultados

Con el objetivo de identificar y caracterizar los taludes con indicios de inestabilidad a lo largo del tramo analizado, se realiza la evaluación y caracterización de los taludes registrados durante diferentes visitas de campo utilizando la herramienta de evaluación de taludes en carretera diseñada

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 18 de 73
---------------------------	-----------------	-----------------



por el Programa de Ingeniería Geotécnica. Esto conforma una base de datos que con el paso de los años permitirá monitorear e identificar las zonas con deslizamientos recurrentes.

La herramienta da resultados que luego deben ser evaluados por un profesional especialista en geotecnia, quien seleccionará, basado en criterios técnicos fundamentados, los sitios que requieran un análisis de estabilidad más exhaustivo. Para el cual se utilizan software especializados que generan modelos representativos del sitio específico tomando en consideración las propiedades geotécnicas del suelo, y a través de estos, se obtienen factores de seguridad que son comparados con lo indicado en el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica.

V.1 Aplicación de la herramienta para la evaluación de la condición de taludes

Con la finalidad de evaluar la condición y contar con un inventario de los taludes que presentan indicios de inestabilidad a lo largo del sector de carretera de montaña de la RN 32, se utilizó la herramienta bajo la metodología descrita en apartados anteriores, para evaluar la condición de taludes.

A continuación, de la Figura 3 a la Figura 36, se muestra un resumen de la aplicación de la herramienta de evaluación de la condición de taludes en carretera, aplicado a los sitios identificados con evidencia de inestabilidad entre el estacionamiento 20+000 al 63+185. En total se evaluaron 34 sitios con evidencias de inestabilidad en el talud, de los cuales 19 se conforman de material rocoso y 15 de material suelto, es decir matriz de suelo.

Figura 3

Resultado de evaluación del talud rocoso ubicado en las coordenadas 10,06923,-83,996672 (21+690)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.06923/-83.996672	2000 mm - 3000 mm	85	Escarpado	38	Compuesto (primordialmente roca)	Medianamente fracturado	Condición masiva	Bosque secundario	Camino carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		50 a 200 - Muy pequeño
	Planar	No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	No	No	No	No	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
	No hay	No	0-3 m	Autopista	No	No	No	No	No			

Figura 4

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,6920,-83,996259 (21+691)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo		
	10.06920/-83.996259	2000 mm - 3000 mm	85	Escarpado	35	Suelo residual	Medianamente agrietado	Ambos	Bosque secundario	Camino carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		0 a 50 - Extremadamente pequeño
	Deslizamiento traslacional	No	Cóncava	En la corona	Sin flujo	No	Si	No	No	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
	No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No			

Figura 5

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,06926,-83,996258 (21+737)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo	
	10.06926/ -83.996258	2000 mm - 3000 mm	85	Escarpado	40	Compuesto (primordialmente suelo)	Sin grietas	Ambos	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	Flujo de detritos	No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	No	No	No	50 a 200 - Muy pequeño	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
	No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No		

Figura 6

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,06283,-83,992194 (22+202)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo	
	10.06283/ -83.992194	2000 mm - 3000 mm	80	Escarpado	25	Compuesto (primordialmente suelo)	Medianamente agrietado	Cohesivo	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	Deslizamiento rotacional	No	Compuesta	En la corona	Sin flujo	No	Si	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
	No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No		

Figura 7

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,067780, -83,991329 (22+309)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo		
	10.067780/ -83.991329	2000 mm - 3000 mm	85	Escarpado	65	Compuesto (primordialmente suelo)	Sin grietas	Ambos	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	Compuesto	No	Compuesta	En la corona	Sin flujo	No	Si	No	50 a 200 - Muy pequeño	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No				

Figura 8

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,06813, -83,987462 (22+758)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo		
	10.06813/ -83.987462	3000 mm - 4500 mm	85	Escarpado	87	Compuesto (primordialmente suelo)	Medianamente agrietado	Ambos	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	Flujo de detritos	No	Compuesta	En la corona	Sin flujo	Si	No	No	50 a 200 - Muy pequeño	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No				

Figura 9

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,09349,-83,982985 (25+930)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
		Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	
10.09349/-83.982985		2000 mm - 3000 mm	85	Escarpado	20	Roca fracturada	Medianamente fracturado	Discontinuidad sin relleno	Bosque secundario	Camino/carretera	
Condición del talud					Evidencia de movimiento						
Falla en el talud		Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
Compuesto		No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	Si	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No	
Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
Obras de retención		Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No			

Figura 10

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,14630,-83,949668 (38+930)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
		Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	
10.14630/-83.949668		4500 mm - 5500 mm	80	Escarpado	30	Roca fracturada	Medianamente fracturado	Discontinuidad con relleno	Bosque secundario	Camino/carretera	
Condición del talud					Evidencia de movimiento						
Falla en el talud		Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
Compuesto		No	Cóncava	En la corona	Sin flujo	Si	No	No	50 a 200 - Muy pequeño	No	
Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
Obras de retención		Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No			

Figura 11

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,15348,-83,940818 (40+273)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.15348/-83.940818	4500 mm - 5500 mm	70	Escarpado	4	Roca fracturada	Medianamente fracturado	Discontinuidad sin relleno	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		0 a 50-Extremadamente pequeño
	Compuesto	No	Compuesta	En la corona	Sin flujo	No	Si	No	No			
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Arterial	No	No	No	No	No	No			

Figura 12

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,15178,-83,942253 (40+029)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.15178/-83.942253	3000 mm - 4500 mm	70	Escarpado	10	Compuesto (primordialmente roca)	Altamente fracturado	Discontinuidad sin relleno	Bosque secundario	Camino/carretera	Baja - Recomendaciones generales	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		No
	Planar	No	Compuesta	A media altura	Sin flujo	No	No	No	No			
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Arterial	No	No	No	No	No	No			

Figura 13

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,14682,-83,957130 (38+000)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo		
	10.14682/-83.957130	3000 mm - 4500 mm	70	Escarpado	5	Compuesto (primordialmente suelo)	Fallado	Friccionante	Bosque primario	Camino/carretera	Baja - Recomendaciones generales	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		0 a 50 - Extremadamente pequeño
	Compuesto	No	Compuesta	Seco	Sin flujo	No	No	No	No			
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Arterial	No	No	No	No	No				

Figura 14

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,15527,-83,954190 (36+917)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.15527/-83.954190	3000 mm - 4500 mm	70	Escarpado	20	Roca fracturada	Medianamente fracturado	Condición masiva	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		200 a 500 - Pequeño
	Compuesto	No	Compuesta	A media altura	Sin flujo	No	No	No	No			
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Arterial	No	No	No	No	No				

Figura 15

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,15536,-83,954225 (36+907)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo	Baja - Recomendaciones generales
	10.15536/-83.954225	3000 mm - 4500 mm	70	Escarpado	4	Roca fracturada	Poco fracturado	Discontinuidad sin relleno	Bosque secundario	Camino/carretera	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	No	No	Rectilínea	Al pie	Sin flujo	No	No	No	0 a 50-Extremadamente pequeño	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	Más de 15 m	Arterial	No	No	No	No	No			

Figura 16

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,157977,-83,954730 (36+568)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo	Baja - Recomendaciones generales
	10.157977/-83.954730	3000 mm - 4500 mm	70	Escarpado	40	Roca fracturada	Medianamente fracturado	Discontinuidad sin relleno	Arbustos	Camino/carretera	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	Compuesto	No	Rectilínea	A media altura	Sin flujo	No	No	No	No	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	Más de 15 m	Arterial	No	No	No	No	No			

Figura 17

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,15931,-83,960127 (35+710)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo		
	10.15931/ -83.960127	3000 mm - 4500 mm	60	Escarpado	25	Compuesto (primordialmente suelo)	Sin grietas	Ambos	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	Deslizamiento traslacional	No	Rectilínea	A media altura	Sin flujo	No	No	No	500 a 5000 - Mediano	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Arterial	No	No	No	No	No				

Figura 18

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,05493,-84,010514 (18+393)

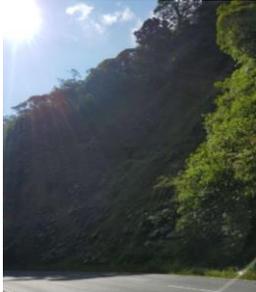
Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.05493/ -84.010514	2000 mm - 3000 mm	70	Escarpado	60	Compuesto (primordialmente roca)	Poco fracturado	Condición masiva	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	No	No	Compuesta	En la corona	Sin flujo	No	No	No	No	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No				

Figura 19

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,067786, -84,003723 (20+780)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo		
	10.067786/-84.003723	3000 mm - 4500 mm	85	Escarpado	20	Compuesto (primordialmente suelo)	Medianamente agrietado	Ambos	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	No	No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	No	No	No	No	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
	No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No			

Figura 20

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,06788, -84,003440 (20+781)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.06788/-84.003440	3000 mm - 4500 mm	85	Escarpado	45	Roca sana	Poco fracturado	Condición masiva	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	No	No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	No	No	No	No	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
	No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No			

Figura 21

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,06787, -84,003401 (20+785)

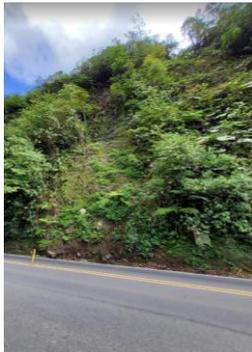
Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.06787/-84.003401	3000 mm - 4500 mm	85	Escarpado	45	Compuesto (primordialmente roca)	Poco fracturado	Condición masiva	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	No	No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	No	No	No	No	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No				

Figura 22

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,07007, -84,000440 (21+260)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.07007/-84.000440	3000 mm - 4500 mm	85	Escarpado	35	Compuesto (primordialmente roca)	Poco fracturado	Condición masiva	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	No	No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	No	No	No	No	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No				

Figura 23

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,07052,-83,984490 (23+186)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.07052/-83.984490	3000 mm - 4500 mm	85	Escarpado	45	Compuesto (primordialmente roca)	Poco fracturado	Condición masiva	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	No	No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	No	No	No	No	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No				

Figura 24

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,192127,-83,905577 (46+716)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo		
	10.192127/-83.905577	4500 mm - 5500 mm	85	Escarpado	25	Compuesto (primordialmente suelo)	Sin grietas	Ambos	Pastos Naturales	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	Deslizamiento traslacional	No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	Si	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	Más de 15 m	No	No	No				

Figura 25

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,18303,-83,917509 (44+860)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo	
	10.18303/-83.917509	4500 mm - 5500 mm	70	Escarpado	7	Suelo residual	Medianamente agrietado	Cohesivo	Pastos Naturales	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	Deslizamiento o rotacional	No	Cóncava	En la corona	Sin flujo	Si	No	Si	No	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No			

Figura 26

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,18266,-83,920683 (44+510)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo	
	10.18266/-83.920683	4500 mm - 5500 mm	80	Escarpado	25	Suelo residual	Medianamente agrietado	Cohesivo	Bosque secundario	Camino/carretera	Alta - requiere análisis profundo según condición del talud
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento o al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	Compuesto	No	Compuesta	En la corona	Sin flujo	No	No	No	200 a 500 - Pequeño	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	8 m - 15 m	8 m - 15 m	Autopista	No	No	No	No	No			

Figura 27

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,12783,-83,966515 (30+468)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo	
	10.12783/-83.966515	3000 mm - 4500 mm	65	Escarpado	15	Compuesto (primordialmente roca)	Poco fracturado	Discontinuidad sin relleno	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	Cuña	No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	Si	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No			

Figura 28

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,10504,-83,975995 (27+548)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo	
	10.10504/-83.975995	3000 mm - 4500 mm	85	Escarpado	25	Compuesto (primordialmente roca)	Poco fracturado	Discontinuidad sin relleno	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	Planar	No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	No	No	No	No	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No			

Figura 29

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,08088, -83,982551 (24+453)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.08088/-83.982551	2000 mm - 3000 mm	80	Escarpado	35	Roca fracturada	Poco fracturado	Discontinuidad sin relleno	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	No	No	Compuesta	En la corona	Sin flujo	No	No	No	No	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
	No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No			

Figura 30

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,05118, -84,004762 (17+131)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo		
	10.05118/-84.004762	2000 mm - 3000 mm	75	Escarpado	10	Suelo residual	Sin grietas	Cohesivo	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	Deslizamiento rotacional	No	Cóncava	En la corona	Sin flujo	No	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
	No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No			



Figura 31

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,19788,-83,901726 (47+670)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo	
	10.19788/ -83.901726	3000 mm - 4500 mm	64	Escarpado	40	Roca fracturada	Medianamente fracturado	Discontinuidad sin relleno	Bosque secundario	Bosque	Media - Evaluación específica del sitio
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	Compuesto	No	Cóncava	Seco	Sin flujo	Si	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	#N/A	No	No	No			

Figura 32

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,19763,-83,901463 (47+631)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo	
	10.19763/ -83.901463	3000 mm - 4500 mm	65	Escarpado	45	Roca fracturada	Medianamente fracturado	Discontinuidad sin relleno	Pastos Naturales	Bosque	Media - Evaluación específica del sitio
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	Planar	No	Rectilínea	A media altura	Sin flujo	Si	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	#N/A	No	No	No			

Figura 33

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,19484,-83,901371 (47+269)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo	
	10.19484/-83.901371	2000 mm - 3000 mm	45		5	Compuesto (primordialmente suelo)	Medianamente agrietado	Cohesivo	Arbustos	Terreno natural	Baja - Recomendaciones generales
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	Deslizamiento rotacional	No	Cóncava	Seco	Sin flujo	No	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	Grietas alrededor del talud	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
	No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No		

Figura 34

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,19421,-83,902299 (47+145)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo	
	10.19421/-83.902299	3000 mm - 4500 mm	60	Escarpado	20	Compuesto (primordialmente suelo)	Sin grietas	Ambos	Arbustos	Bosque	Media - Evaluación específica del sitio
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	Deslizamiento rotacional	No	Rectilínea	Seco	Sin flujo	No	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
	No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No		

Figura 35

Resultado de evaluación del talud de roca ubicado en las coordenadas 10,15489, -83,954240 (36+956)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.15489/-83.954240	3000 mm - 4500 mm	65	Escarpado	25	Roca fracturada	Medianamente fracturado	Discontinuidad sin relleno	Bosque secundario	Bosque	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		Grietas alrededor del talud
	Compuesto	No	Cóncava	A media altura	Sin flujo	Si	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño			
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No				

Figura 36

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,06927, -83,997523 (21+600)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo		
	10.06927/-83.997523	3000 mm - 4500 mm	75	Escarpado	250	Compuesto (primordialmente suelo)	Fallado	Ambos	Bosque primario	Bosque	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		Grietas alrededor del talud
	Deslizamiento traslacional	No	Rectilínea	Seco	Sin flujo	Si	Si	No	5000 a 50000 - Medianamente grande			
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	Más de 15 m	Autopista	No	No	No	No	No				



Como resultado de la aplicación de la herramienta y el uso de la “Guía para el uso de la herramienta para evaluación de condición de taludes”, la condición actual de los taludes arrojó un total de 6 sitios en los que las evidencias de inestabilidad representan un nivel bajo de susceptibilidad ante deslizamiento y por lo tanto no se requiere emitir recomendaciones más allá que el manejo adecuado del agua de escorrentía superficial y no requieren de análisis especializados a detalle. Adicionalmente, 26 sitios arrojaron una condición de susceptibilidad media ante posibles deslizamientos, y por lo tanto se recomienda que profesionales especializados en geotecnia evalúen la conveniencia de determinar la necesidad de realizar análisis más específicos en estos sitios y con ello emitir recomendaciones. Finalmente, solamente 2 taludes presentan condiciones que lo califican con susceptibilidad alta ante posibles deslizamientos y que obligatoriamente debe ser analizado por profesionales especialistas en el área de geotecnia. Es por ello, que el PIG del LanammeUCR realiza el análisis de 6 de estos taludes considerando aspectos de interés geotécnico que se detallan más adelante.

Aunado a esto, se implementó una simplificación de la herramienta de evaluación de la condición de los taludes en carretera, que consiste en un levantamiento rápido para el cual se almacena únicamente la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio y una fotografía de la condición. La herramienta simplificada surge a raíz de la limitación de algunas zonas de las carreteras de montaña en cuanto a espacios disponibles para estacionar el vehículo sin obstruir el flujo del tránsito, sin poner en riesgo la vida de los operarios de las evaluaciones y de los usuarios de la carretera. Con esta otra herramienta es posible identificar sitios con evidencias de inestabilidad que puedan evolucionar a movimientos de material que eventualmente afecten la carretera al cambiar sus condiciones geométricas o de saturación del medio.

En el 2022 se registraron un total de 54 taludes con esta herramienta simplificada, algunos de los sitios también fueron evaluados con la primera herramienta desarrollada debido a que, en una de las visitas al sitio, la ruta se encontraba cerrada al tránsito, por lo que fue posible evaluar sitios que, en condiciones de tránsito regular era inviable pues no se podría detener el vehículo el tiempo necesario para evaluar correctamente el talud.

En la Tabla 3 se enlistan las ubicaciones y fechas de los registros de sitios identificados con condiciones que son consideradas evidencias de inestabilidad, y en la Figura 37 se muestran con círculo celeste los sitios registrados con la herramienta simplificada y con una cruz roja los sitios evaluados con la herramienta de evaluación de taludes en carreta del PIG del LanammeUCR.



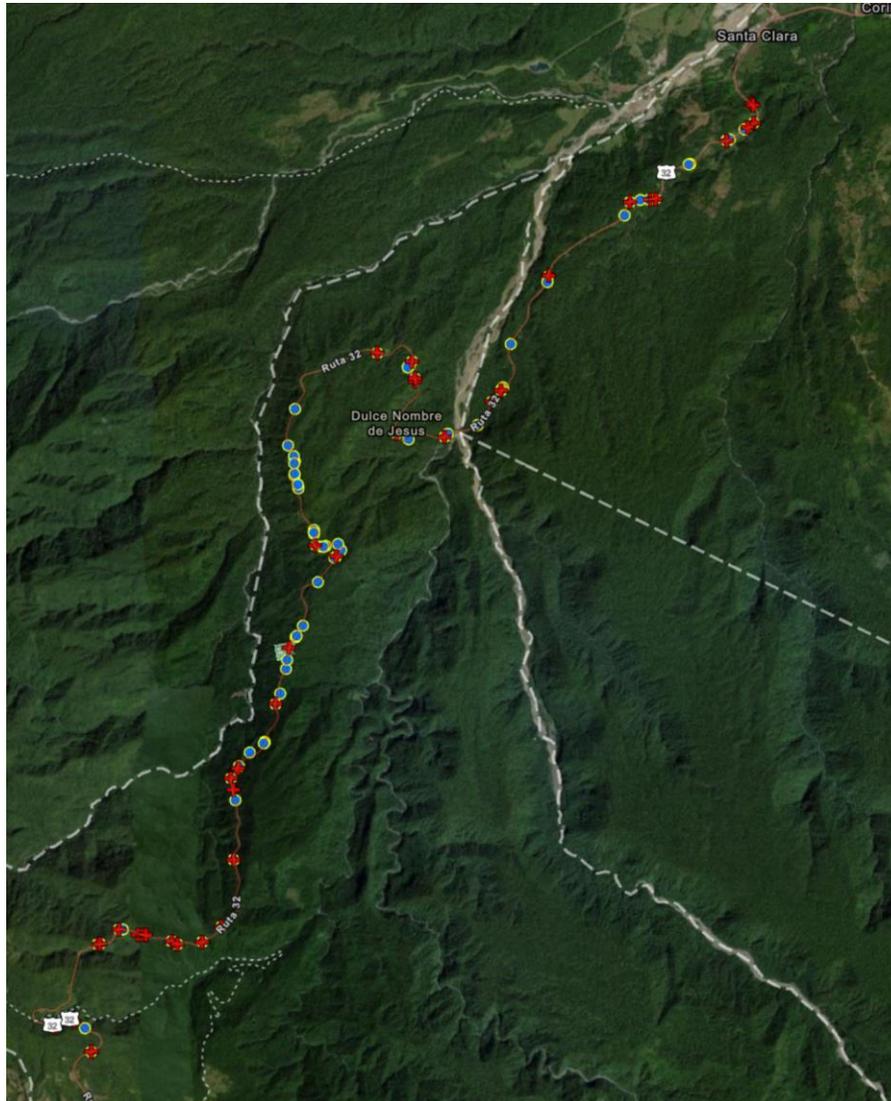
Tabla 3

Ubicación de los sitios identificados con la herramienta simplificada

	Fecha	Longitud	Latitud		Fecha	Longitud	Latitud
1	31/8/2022	-83,905633	10,192211	28	14/9/2022	-83,96013	10,159304
2	31/8/2022	-83,911273	10,188566	29	14/9/2022	-83,972964	10,150644
3	31/8/2022	-83,911512	10,18846	30	21/9/2022	-83,939301	10,160689
4	31/8/2022	-83,91751	10,183036	31	21/9/2022	-83,944463	10,148154
5	31/8/2022	-83,91905	10,182979	32	21/9/2022	-83,94912	10,146794
6	31/8/2022	-83,920684	10,182666	33	21/9/2022	-83,949655	10,146315
7	31/8/2022	-83,921535	10,180587	34	21/9/2022	-83,965773	10,128772
8	31/8/2022	-83,933511	10,171054	35	21/9/2022	-83,965773	10,128772
9	31/8/2022	-83,940487	10,153973	36	21/9/2022	-83,966259	10,129752
10	31/8/2022	-83,940706	10,15373	37	21/9/2022	-83,96821	10,12944
11	31/8/2022	-83,955095	10,157344	38	21/9/2022	-83,968557	10,129324
12	31/8/2022	-83,955318	10,157038	39	21/9/2022	-83,968814	10,129325
13	31/8/2022	-83,966518	10,127831	40	21/9/2022	-83,9694	10,123849
14	31/8/2022	-83,971747	10,117108	41	21/9/2022	-83,96966	10,12944
15	31/8/2022	-83,976027	10,104942	42	21/9/2022	-83,969995	10,131326
16	31/8/2022	-83,982564	10,08088	43	21/9/2022	-83,970018	10,131911
17	31/8/2022	-84,004803	10,051152	44	21/9/2022	-83,970042	10,131563
18	9/9/2022	-83,984491	10,070516	45	21/9/2022	-83,972874	10,115335
19	9/9/2022	-83,999857	10,070087	46	21/9/2022	-83,972993	10,142523
20	9/9/2022	-84,000495	10,07012	47	21/9/2022	-83,973035	10,140379
21	9/9/2022	-84,003445	10,067882	48	21/9/2022	-83,973153	10,143333
22	9/9/2022	-84,003791	10,067818	49	21/9/2022	-83,977722	10,09913
23	14/9/2022	-83,94082	10,15349	50	21/9/2022	-83,982986	10,093471
24	14/9/2022	-83,942214	10,151811	51	21/9/2022	-83,987464	10,068178
25	14/9/2022	-83,954219	10,155341	52	21/9/2022	-83,991362	10,067807
26	14/9/2022	-83,954721	10,158022	53	21/9/2022	-83,992271	10,068282
27	14/9/2022	-83,957115	10,146827	54	21/9/2022	-83,996662	10,069257

Figura 37

Ubicación gráfica del inventario de taludes con evidencias de inestabilidad a lo largo del tramo de carretera de montaña de la RN32



V.2 Estabilidad de taludes de sitios específicos

Actualmente, la mayoría de los estudios de estabilidad de taludes se basan en los Métodos de Equilibrio Límite (MEL), donde se considera la relación de fuerzas deslizantes y fuerzas resistentes a lo largo de una superficie de falla dada. Se utilizan tres ecuaciones de equilibrio de fuerzas horizontales, equilibrio de fuerzas verticales y equilibrio de momentos. Algunos de estos métodos utilizan dovelas con una o dos ecuaciones de equilibrio haciendo la solución “no rigurosa”. Sin importar el procedimiento empleado para resolver el sistema de ecuaciones en los métodos de equilibrio límite, existirán más incógnitas que número de ecuaciones de equilibrio, haciendo de la solución de la estabilidad un problema estáticamente indeterminado.

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 39 de 73
---------------------------	-----------------	-----------------



Los métodos “rigurosos”, son aquellos que satisfacen las tres ecuaciones de equilibrio, como el método de Spencer y de Morgenstern y Price. Para el caso en el que la superficie de falla sea circular, el método Simplificado de Bishop produce valores del factor de seguridad que están en correspondencia con los métodos rigurosos, a pesar de que emplea únicamente dos ecuaciones de equilibrio (fuerzas verticales y momentos).

Al hacer uso de estas metodologías de análisis es importante tener en consideración que, existen limitaciones propias de cada método, las cuales deben ser tomadas en cuenta a la hora de elegir el método que mejor responda a las condiciones específicas del sitio de análisis. Así pues, entre las limitaciones generales que tiene el MEL se pueden mencionar:

- No se incluye un análisis de deformaciones.
- La base de cálculo considera un equilibrio estático de fuerzas estáticas. Sin embargo, una vez que se genera la falla, el modelo deja de ser aplicable, puesto que la geometría de análisis cambia, y comienza a darse un movimiento de la masa de suelo, con el cual se deja de tener un equilibrio estático.
- Se supone una distribución uniforme de esfuerzos en la base de los elementos o dovelas.

Por su parte, dependiendo de los diferentes métodos de equilibrio límite que existen, se pueden encontrar otras limitaciones tales como:

- Se asume que el talud tiene un material isotrópico.
- Se puede asumir la existencia, o no, de fuerzas cortantes entre las dovelas.
- En algunas metodologías se asume un equilibrio de momentos.
- Se asume una superficie de falla.

El objetivo de este análisis de estabilidad es obtener de manera preliminar un factor de seguridad a partir de metodologías de análisis de equilibrio límite. De acuerdo con las recomendaciones establecidas en el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica (CGTLCR), se considera para el sitio de estudio el riesgo de pérdidas humanas en un nivel alto y el riesgo de daños económicos y ambientales en un nivel alto, para lo cual es aceptable un valor de factor de seguridad de 1,50 en condición estática. Para la condición de sismo (pseudo-estática) se utiliza el coeficiente de aceleración del suelo de 0,15 g definido en el CGTLCR para el sitio ubicado en Zona III con tipo de suelo S1 - S2, para lo cual es aceptable un valor de factor de seguridad de 1,10.

No obstante, es importante indicar que este análisis no representa los resultados definitivos de esta región ya que, la información disponible en cuanto a las propiedades geotécnicas de los materiales es limitada y se debe realizar una exploración geotécnica exhaustiva para obtener un modelo geotécnico cuyos parámetros mecánicos tengan una mayor representatividad. Sin embargo, este análisis preliminar puede constituir un insumo y una guía que puede ser tomada en consideración para llevar a cabo análisis más exhaustivos, pues puede mostrar los sitios de la RN32 en que la Administración concentre sus esfuerzos.

Para determinar los sitios que se analizaran de manera más detallada, se realizó una valoración por parte del equipo de ingenieros del PIG del LanammeUCR respecto a los resultados obtenidos con las herramientas descritas en el apartado anterior. Se tomaron en consideración aspectos como altura del talud, pendiente, presencia de agua en el talud, y evidencias de movimiento. En la Tabla 4 se enlistan los sitios que por su condición y clasificación se decidió evaluar la estabilidad ante deslizamientos, tomando en consideración condiciones de saturación y sismo.



Tabla 4
Taludes analizados con el método de equilibrio límite (MEL)

Modelo	Latitud	Longitud	Ver
Nº1	10,05493	-84,010514	Figura 18
Nº2	10,06813	-83,987462	Figura 8
Nº3	10,06923	-83,996672	Figura 3
Nº4	10,067780	-83,991329	Figura 7
Nº5	10,19421	-83,902299	Figura 34
Nº6	10,06927	-83,997523	Figura 36

Para este análisis de carácter preliminar de los sitios mencionados, se utilizaron los parámetros y propiedades de los materiales obtenidos en los ensayos de laboratorio de clasificación y resistencia de la investigación elaborada por Carballo (2019) y se seleccionan de acuerdo con la clasificación dada y su ubicación en la carretera. Los valores utilizados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5
Propiedades de los materiales a utilizar en los análisis de estabilidad

Modelo	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad	%pasando Nº200	Clasificación SUCS	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción
Nº1	177	87	90	36,7	Arena Limosa (SM)	15,0	69,0	33,0
Nº2	48	43	5	9,6	Arena bien gradada con limo (SW-SM)	16,0	52,0	40,6
Nº3	43	37	6	27,3	Arena Limosa (SM)	20,0	52,0	40,0
Nº4	177	87	90	36,7		12,5	69,0	33,0
Nº5	51	50	1	36,6		20,5	52,3	33,0
Nº6	48	43	5	9,6	Arena bien gradada con limo (SW-SM)	15,0	52,2	40,6

Adaptado de Carballo,2019

Adicionalmente, se está contemplando el análisis específico para un séptimo modelo que corresponde al sitio en el que ocurrió el deslizamiento de 5000 m³ de material en junio de 2022, ocasionando el cierre del tránsito por varios días. Durante el período de cierre se realizó la visita por parte del equipo de profesionales del PIG del LanammeUCR, en la cual fue posible identificar de manera general la conformación del talud por al menos dos materiales principales. Se recolectó muestra representativa del material arenoso y del bloque de roca que conforman la estructura principal del talud. Cabe destacar que es posible encontrar otros materiales en dicho talud, sin embargo, para este análisis preliminar se supone un modelo simple conformado únicamente por una capa de suelo y la presencia de un macizo rocoso fracturado como se muestra en la Figura 38.

Figura 38

Conformación del talud modelo N°7, ubicado en las coordenadas 10,1136838, -83,9739302 (28+542)



Las muestras de material recolectadas son llevadas al Laboratorio de Geotécnica del LanammeUCR, donde se realizan ensayos para determinar las propiedades geomecánicas, los resultados de los ensayos realizados a las muestras de suelo y roca se encuentra en el informe EIC-Lanamme-INF-0972-2022 y se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6

Parámetros geomecánicos para las muestras de los materiales que conforman el modelo N°7

	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción	Resistencia uniaxial de roca intacta (MPa)	GSI	mi	D
Suelo	14	63,1	36	-	-	-	-
Roca	17,4	-	-	99700	23	16	0,7

Adaptado de EIC-Lanamme-INF-0972-2022

V.3 Resultados utilizando el método de equilibrio límite MEL en sitios específicos

Teniendo en consideración los sitios de análisis de estabilidad de taludes en la RN32, se utilizaron los Modelos de Elevación Digital (MED) obtenidos con ayuda del VANT, los parámetros y propiedades de los materiales mencionados anteriormente, y el uso de softwares especializados, para llevar a cabo un análisis de estabilidad de taludes, se obtuvieron los resultados de factores de seguridad de la Tabla 7. Para estos análisis fueron evaluadas las condiciones de talud seco y una condición en la que el material que conforma los taludes se encuentra completamente saturado. Para ambas condiciones se evaluó la respuesta de los taludes ante carga estática y pseudo estática.

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 42 de 73
---------------------------	-----------------	-----------------



Tabla 7

Factores de seguridad obtenidos para diferentes métodos de análisis de equilibrio límite en los diferentes sitios analizados

	Modelo	Condición	CGTLCR		
			GLE/Morgenstern-Price	Spencer	
Estático	1	Seca	1,56	1,41	1,5
	2		1,42	1,41	
	3		1,50	1,48	
	4		1,38	1,37	
	5		1,75	2,18	
	6		1,37	1,54	
	7		2,40	2,48	
	1	Saturado	2,18	2,38	
	2		1,24	1,14	
	3		2,02	1,81	
	4		1,54	1,59	
	5		1,85	1,52	
	6		1,35	1,24	
	7		1,84	1,82	
Pseudo-estático	1	Seca	1,50	1,48	1,1
	2		1,34	1,51	
	3		1,67	1,57	
	4		1,12	1,15	
	5		1,77	1,97	
	6		1,15	1,28	
	7		2,06	2,34	
	1	Saturado	1,88	1,60	
	2		1,72	1,22	
	3		2,00	2,53	
	4		2,27	1,44	
	5		2,48	2,06	
	6		1,35	1,38	
	7		1,83	1,34	

Como se puede observar en la Tabla 7, se resaltan en rojo los factores de seguridad que son inferiores a los valores mínimos recomendados por el CGTLCR. Para los casos de análisis en los que el factor de seguridad obtenido es cercano a 1, se considera que el talud bajo las condiciones supuestas se encuentra en equilibrio límite, lo cual se corrobora por lo observado en sitio cuando se realizaron las respectivas evaluaciones. Esto implica que, cualquier variación de las condiciones del terreno podría eventualmente ocasionar alguna inestabilidad en el medio. Se considera para los casos en los que el factor de seguridad sea inferior a lo recomendado en el CGTLCR, que el desempeño desde el punto de vista del método de equilibrio límite es inadecuado, bajo la composición y condiciones de análisis supuestas en este informe.

La variación de los factores de seguridad cuando se considera la condición saturada se puede asociar a diferentes propiedades intrínsecas del suelo que sufren alteraciones en condición saturada, como la cohesión, el peso unitario e incluso la presión de poros de los materiales que conforman ese talud en específico, y que no fueron contempladas de manera específica en los presentes análisis.



Cabe resaltar que, al analizar la estabilidad de un talud utilizando un modelo tridimensional, se deben tener en cuenta todos los esfuerzos y tensiones en el interior del talud. En la condición de saturación el agua llena los espacios entre las partículas del suelo, generando una presión de agua intersticial. Esta presión actúa en todas las direcciones y afecta la estabilidad del talud.

Debido a las diferencias en la distribución de esfuerzos en condiciones saturadas, la ubicación y forma de la superficie de falla pueden variar en algunas ocasiones significativamente en comparación con las condiciones secas. En algunas situaciones, la superficie de falla puede desplazarse a una zona diferente del talud, donde las tensiones y la resistencia al corte son más favorables, lo que puede resultar en factores de seguridad ligeramente mayores en condiciones saturadas.

Aunado a esto los análisis en condiciones con carga dinámica, en algunos casos se pueden ver afectadas de manera positiva para la estabilidad del talud las propiedades geomecánicas del suelo que lo conforman. Principalmente por reacomodo de las partículas de suelo que, por la aplicación de la carga sucede un efecto similar al de una compactación momentánea. Este se ve más pronunciado en suelos cohesivos y materiales sueltos, dando como resultado una mayor resistencia al deslizamiento y deformación.

A continuación, se muestran los mapas de distribución del factor de seguridad en las superficies de falla de cada talud analizado con la metodología de equilibrio límite, así como la escala utilizada para la distribución de los factores de seguridad según colores.

Figura 39

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 1 en condición de carga estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado

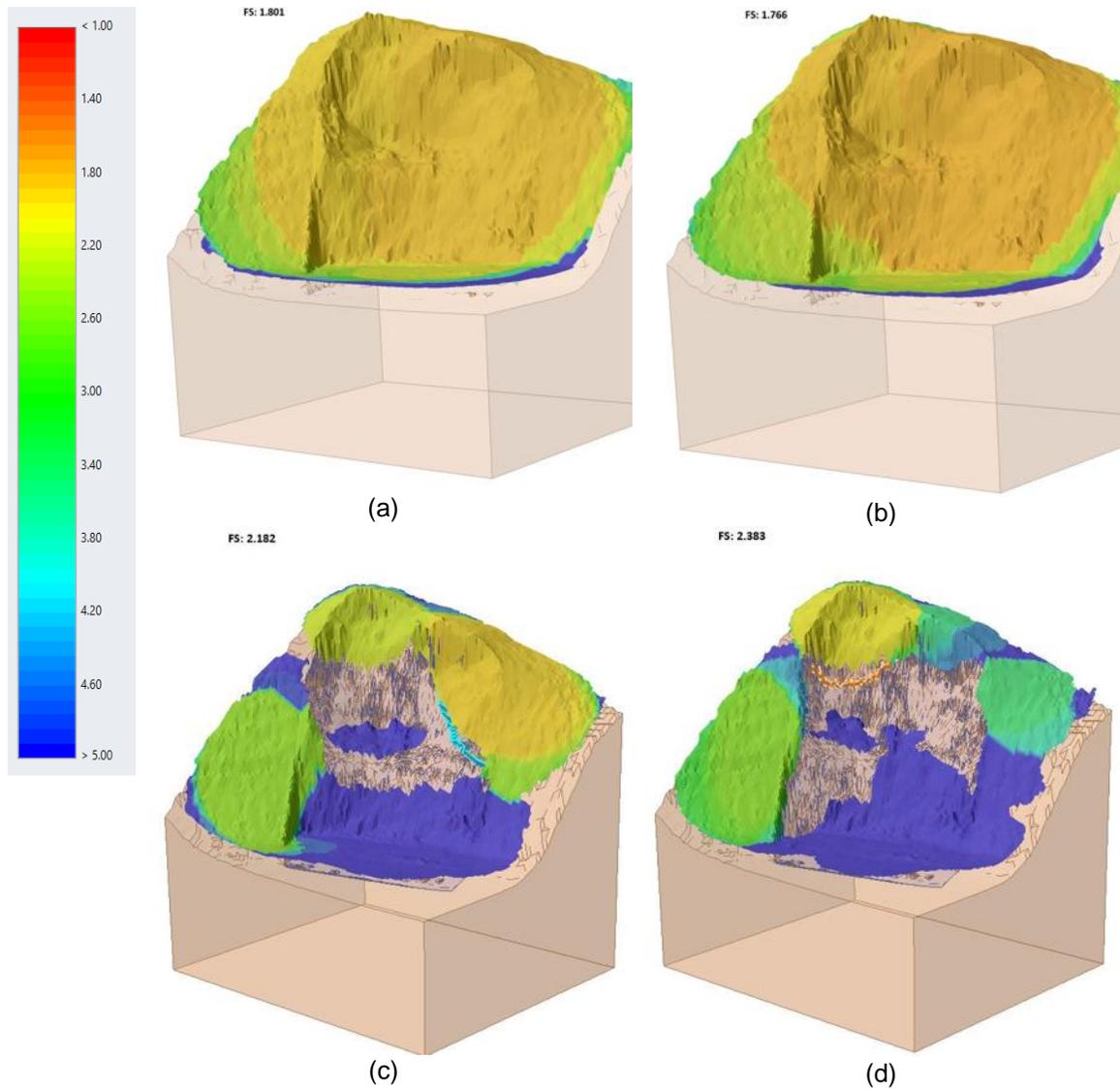
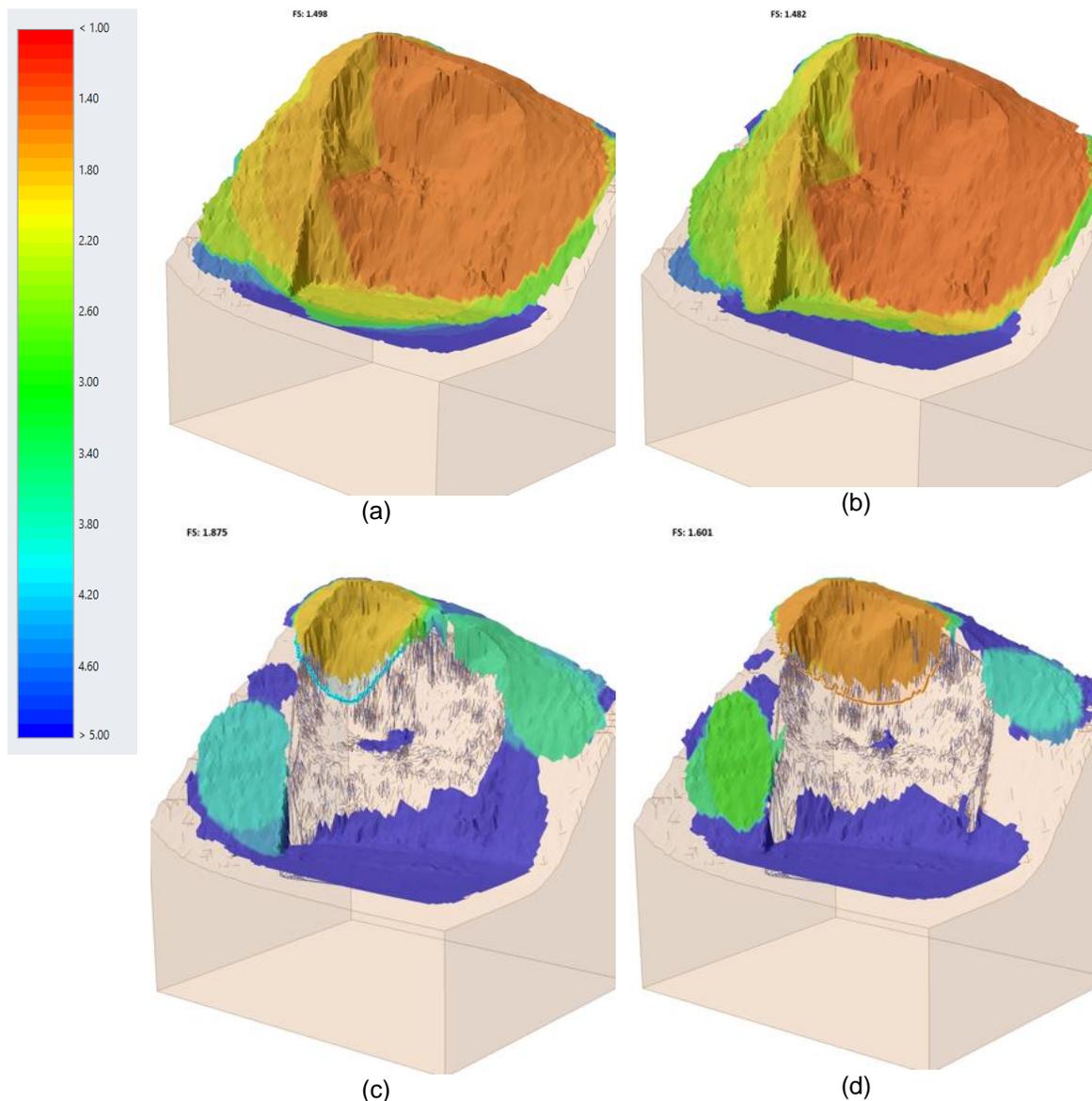


Figura 40

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 1 en condición de carga pseudo estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado



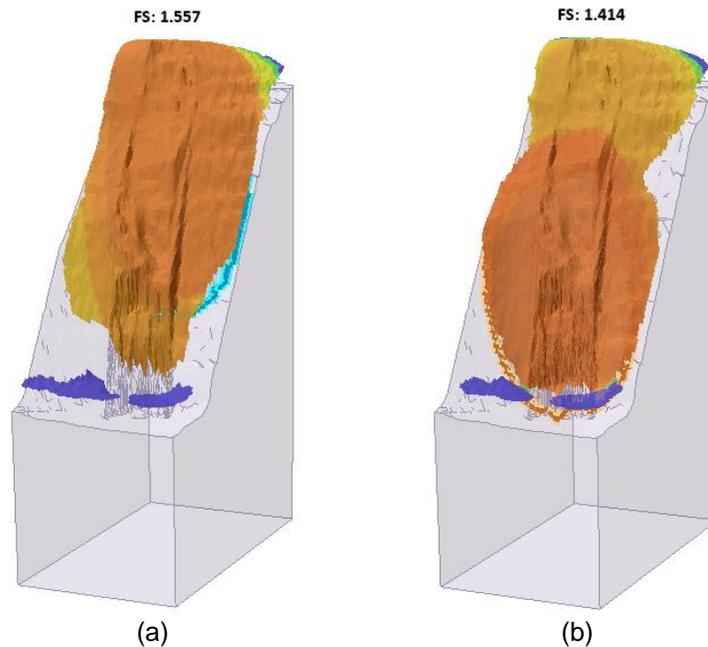
Al analizar los resultados obtenidos en este modelo, es posible observar cómo, partiendo de las suposiciones de los materiales que conforman el talud, tanto para la condición estática como para la condición pseudo estática, la saturación del medio despliegan un leve incremento en los factores de seguridad obtenidos.



Como se mencionó anteriormente esto puede deberse a la contribución de la presión de poro, sin embargo, al ser un análisis preliminar es importante recalcar que los resultados obtenidos no son definitivos y se recomienda complementar con análisis con exploración geotécnica propia del sitio. No obstante, los resultados de los factores de seguridad son adecuados desde el punto de vista del método de equilibrio límite y cumplen con los valores mínimos requeridos en el CGTLCR. Esta situación es congruente con lo observado en campo, ya que el sitio no presenta nuevas evidencias de inestabilidad.

Figura 41

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 2 en condición de carga estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado



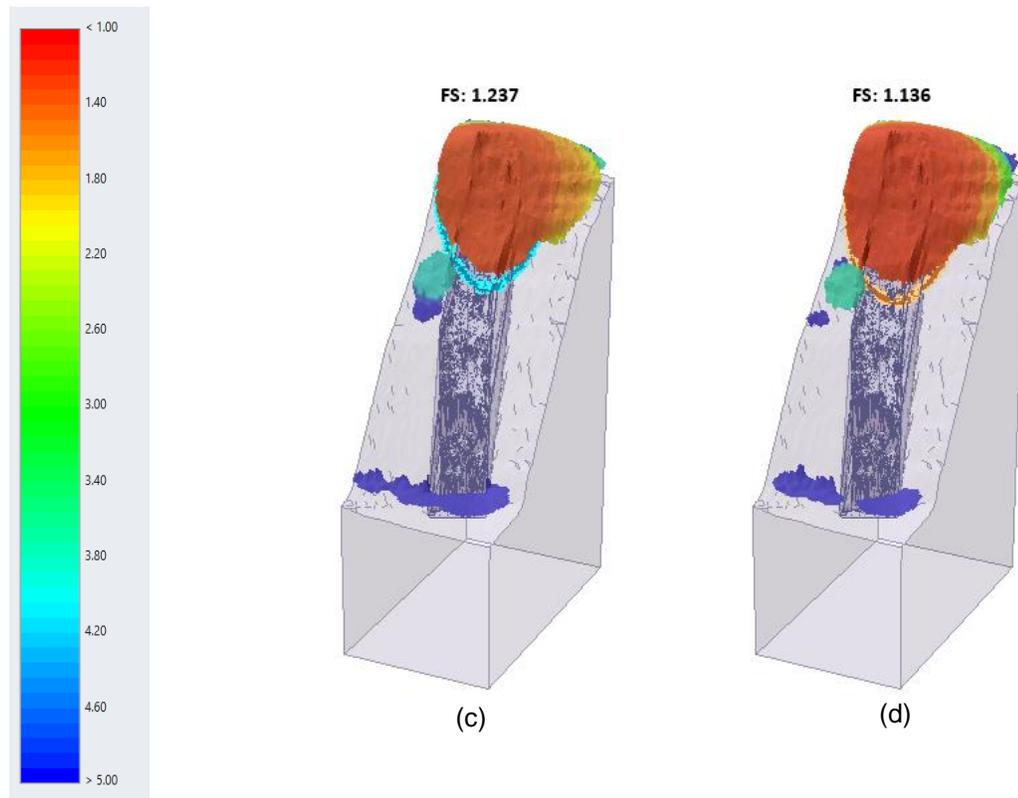
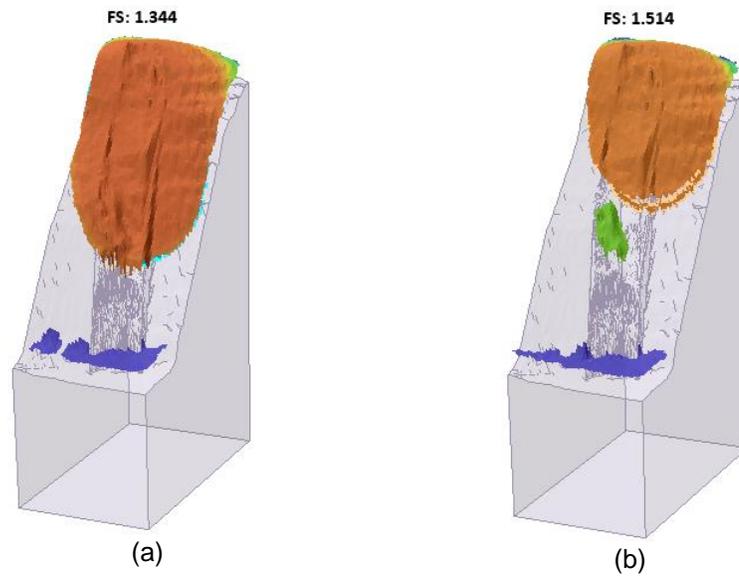
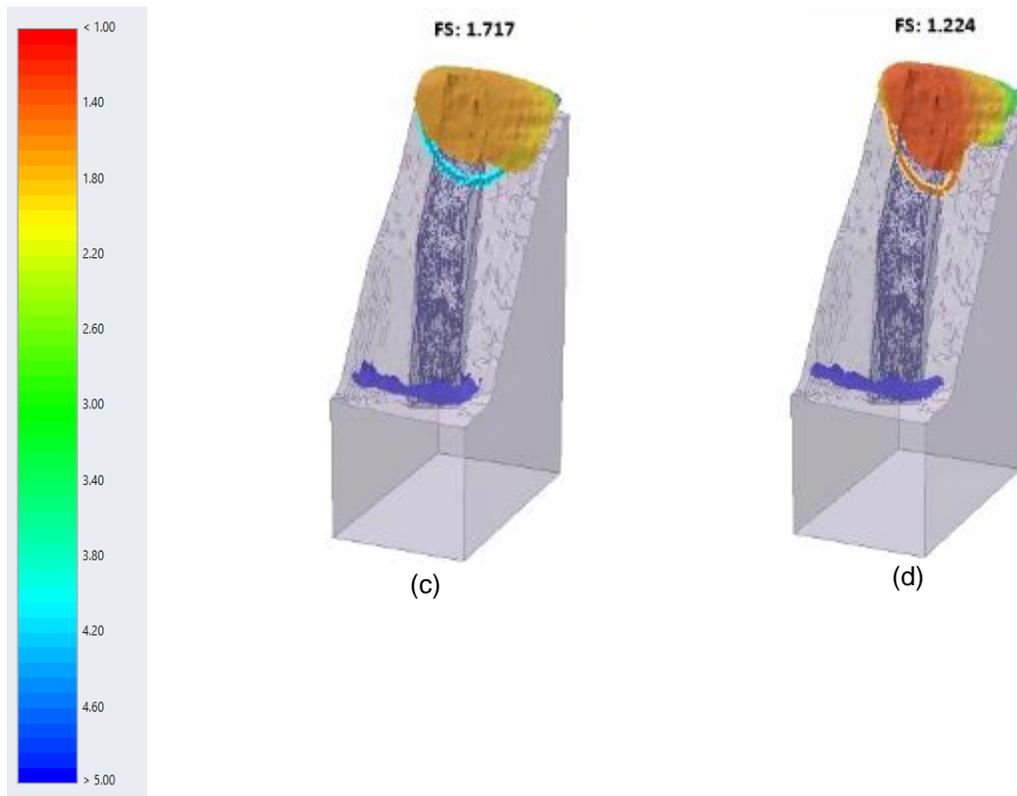


Figura 42

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 2 en condición de carga pseudo estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado





El sitio del modelo 2, despliega resultados de factores de seguridad adecuados para la metodología de equilibrio límite, sin embargo, en la condición estática no cumple con los valores mínimos requeridos en el CGTLCR. En este caso se presenta un incremento de los factores de seguridad al aplicar una carga de sismo con aceleración de 0,15g en condición saturada. Este fenómeno es poco usual y puede estar asociado al efecto de las cargas dinámicas en algunos suelos cohesivos y sueltos que ocasionan una mejora en la compactación del medio. Sin embargo, se considera apropiado realizar los análisis de estabilidad considerando propiedades geomecánicas específicas del sitio, ya que estos análisis parten de suposiciones y referencias anteriormente descritas.



Figura 43

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 3 en condición de carga estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado

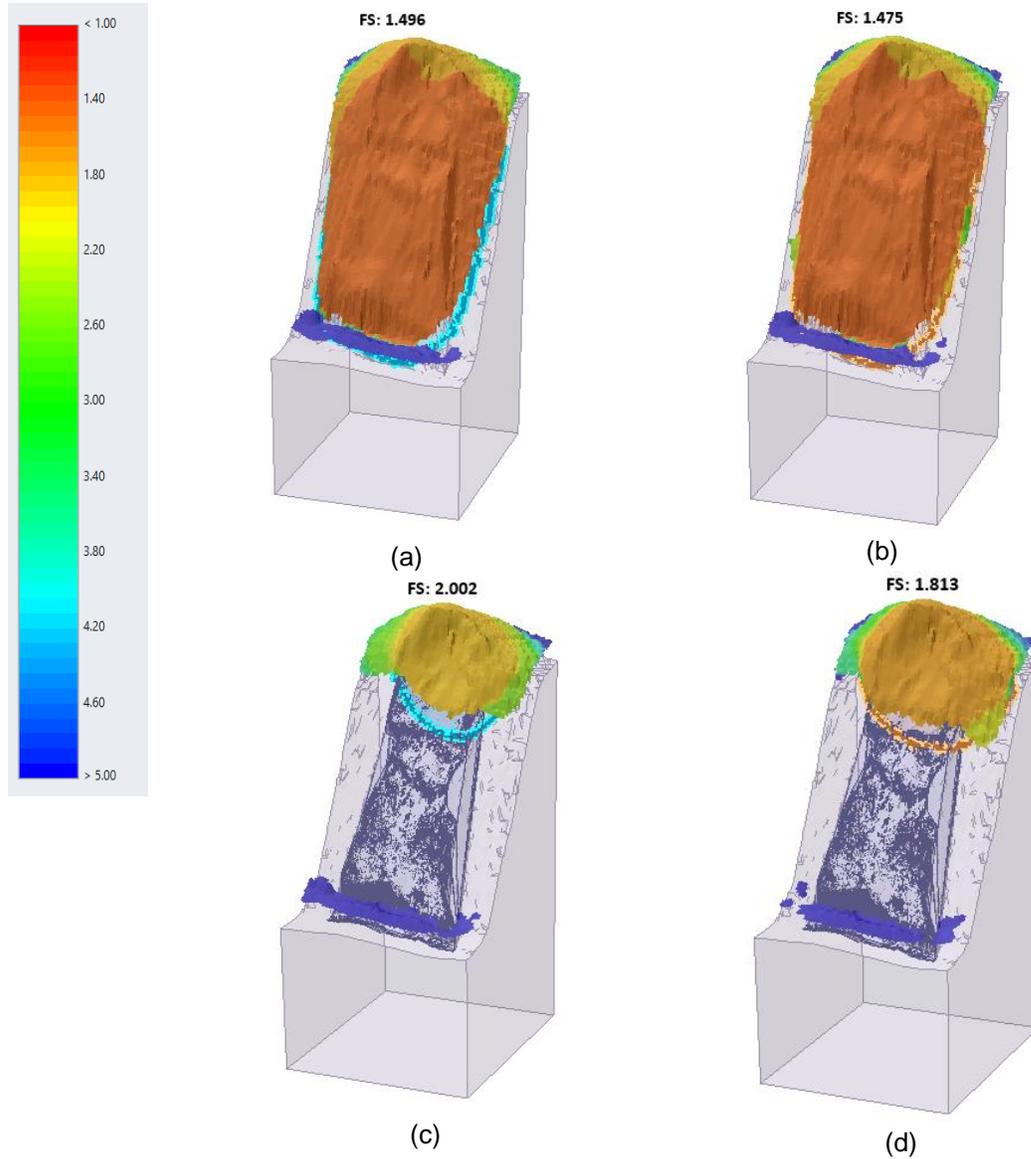
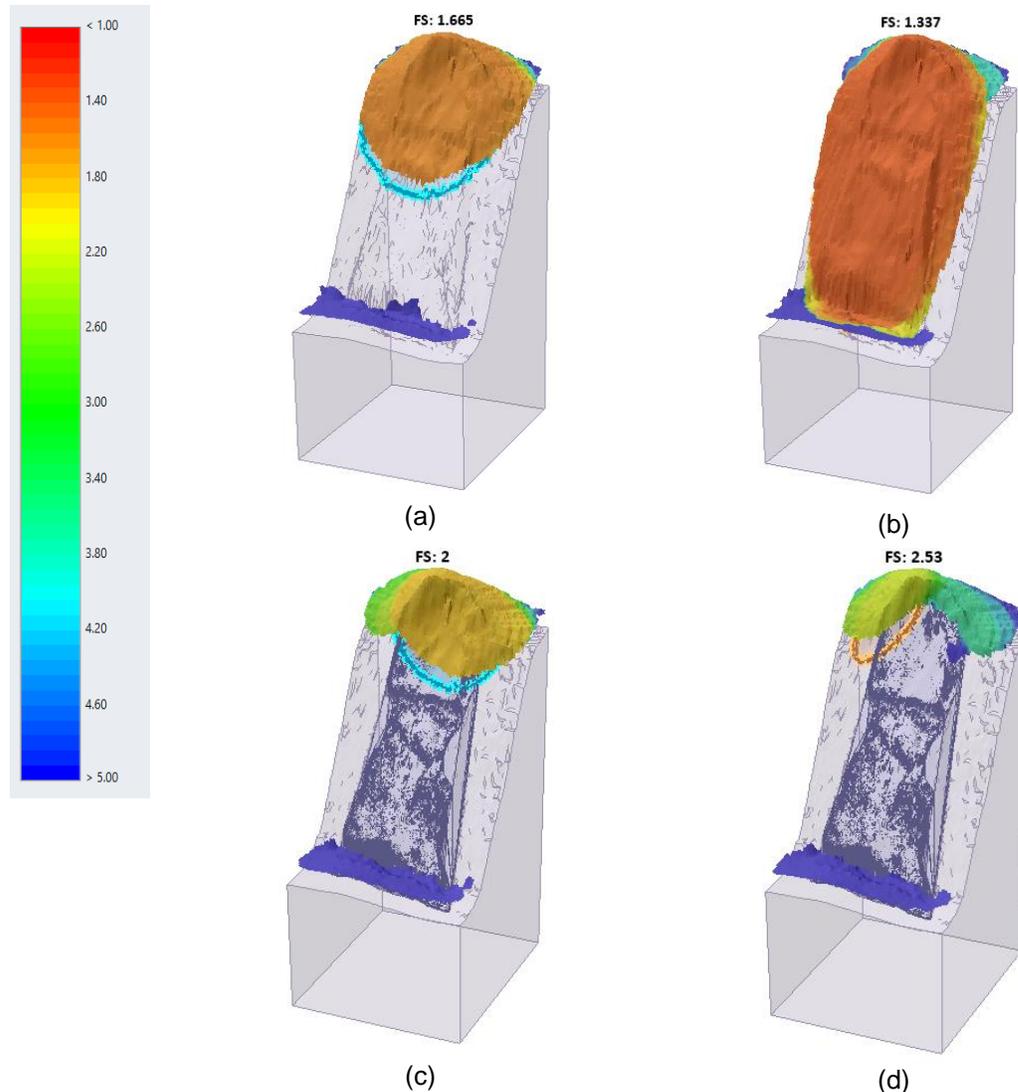


Figura 44

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 3 en condición de carga pseudo estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado



Como se observa en los resultados obtenidos para el análisis del modelo 3, se presenta un comportamiento similar al modelo 2, para el cual la condición de análisis pseudo estática despliega valores ligeramente mayores, así como el incremento de los FS al considerar el talud saturado. Como se mencionó anteriormente, esto puede estar relacionado a la conformación de los materiales supuestos para el análisis. Por lo tanto, se considera importante realizar análisis con las propiedades geomecánicas de los materiales específicas para este sitio. No obstante, el talud cumple con los valores mínimos de FS indicados en la normativa costarricense, los cual es consecuente con lo observado en campo, ya que el sitio no ha presentado desmejoras en el tiempo de este estudio.



Figura 45

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 4 en condición de carga estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado

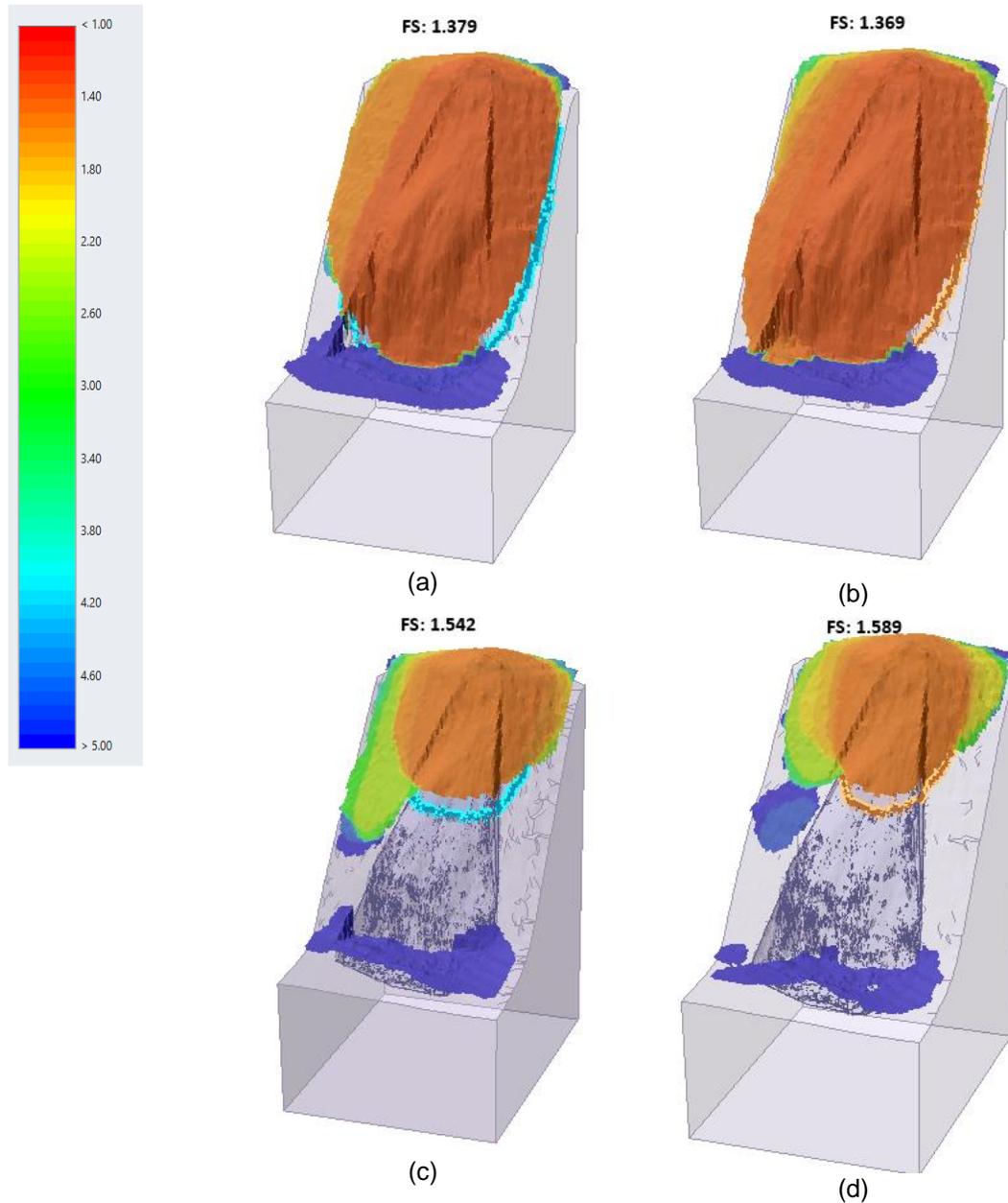
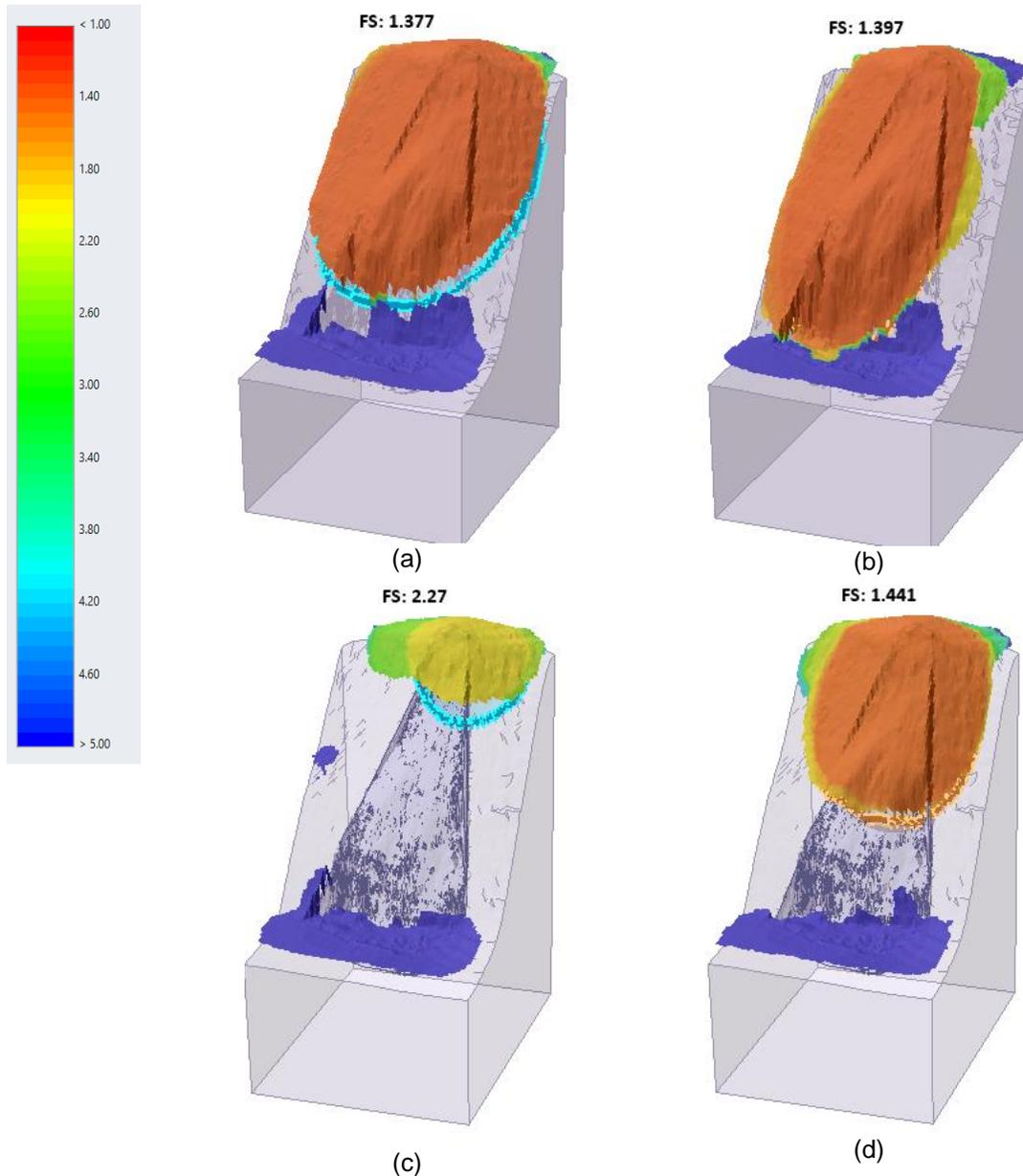


Figura 46

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 4 en condición de carga pseudo estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado



Como se observa en los resultados obtenidos para el análisis del modelo 4, se presenta un comportamiento similar a los descritos en modelos anteriores, para el cual la condición de análisis pseudo estática despliega valores ligeramente mayores, así como el incremento de los FS al considerar el talud saturado. Como se mencionó anteriormente, esto puede estar relacionado a la conformación de los materiales supuestos para el análisis.

Por lo tanto, se considera importante realizar análisis con las propiedades geomecánicas de los materiales específicas para este sitio. No obstante, el talud cumple con los valores mínimos de FS

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 53 de 73
---------------------------	-----------------	-----------------

indicados en la normativa costarricense, los cual es consecuente con lo observado en campo, ya que el sitio no ha presentado desmejoras en el tiempo de este estudio.

Figura 47

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 5 en condición de carga estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado

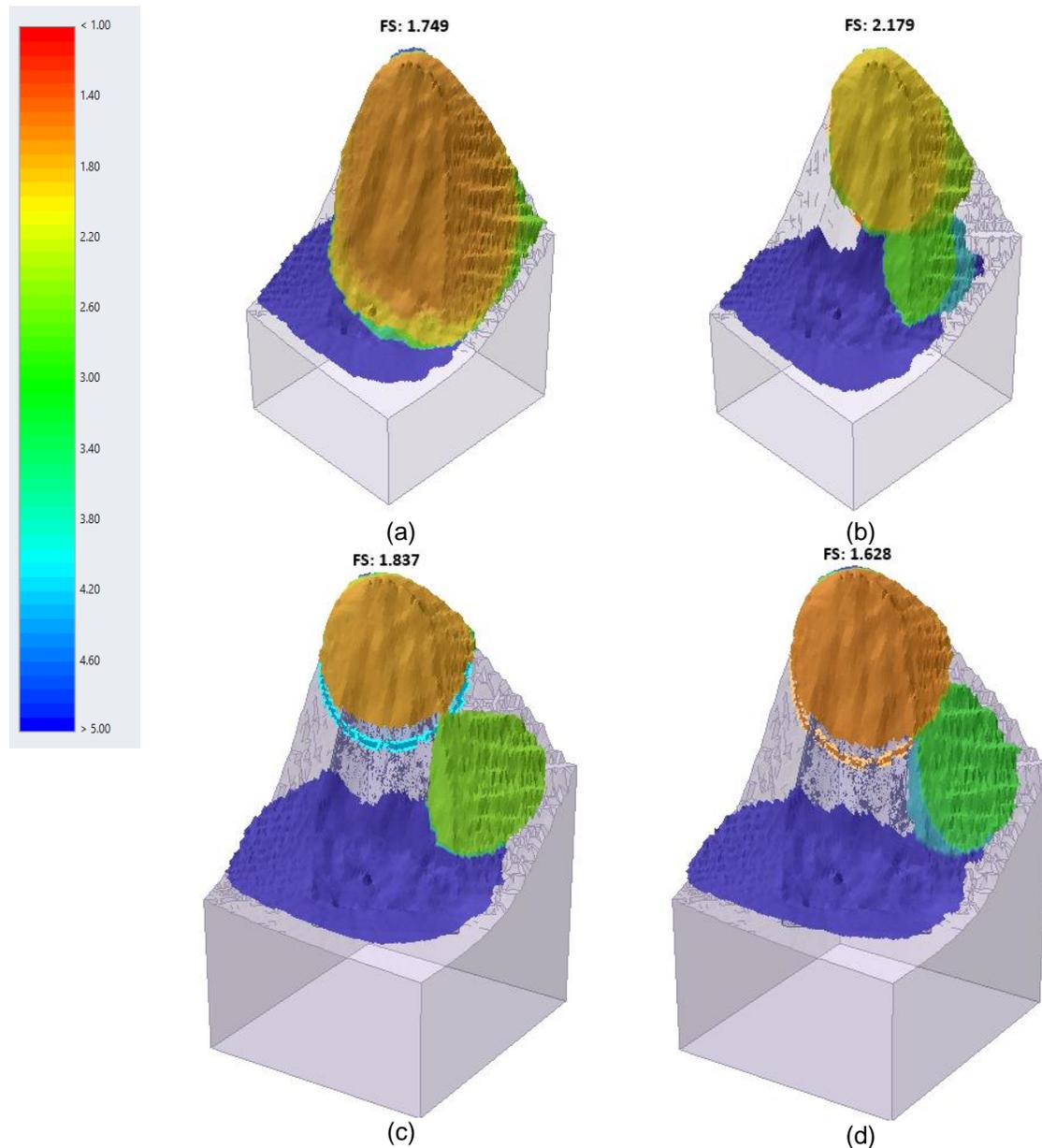
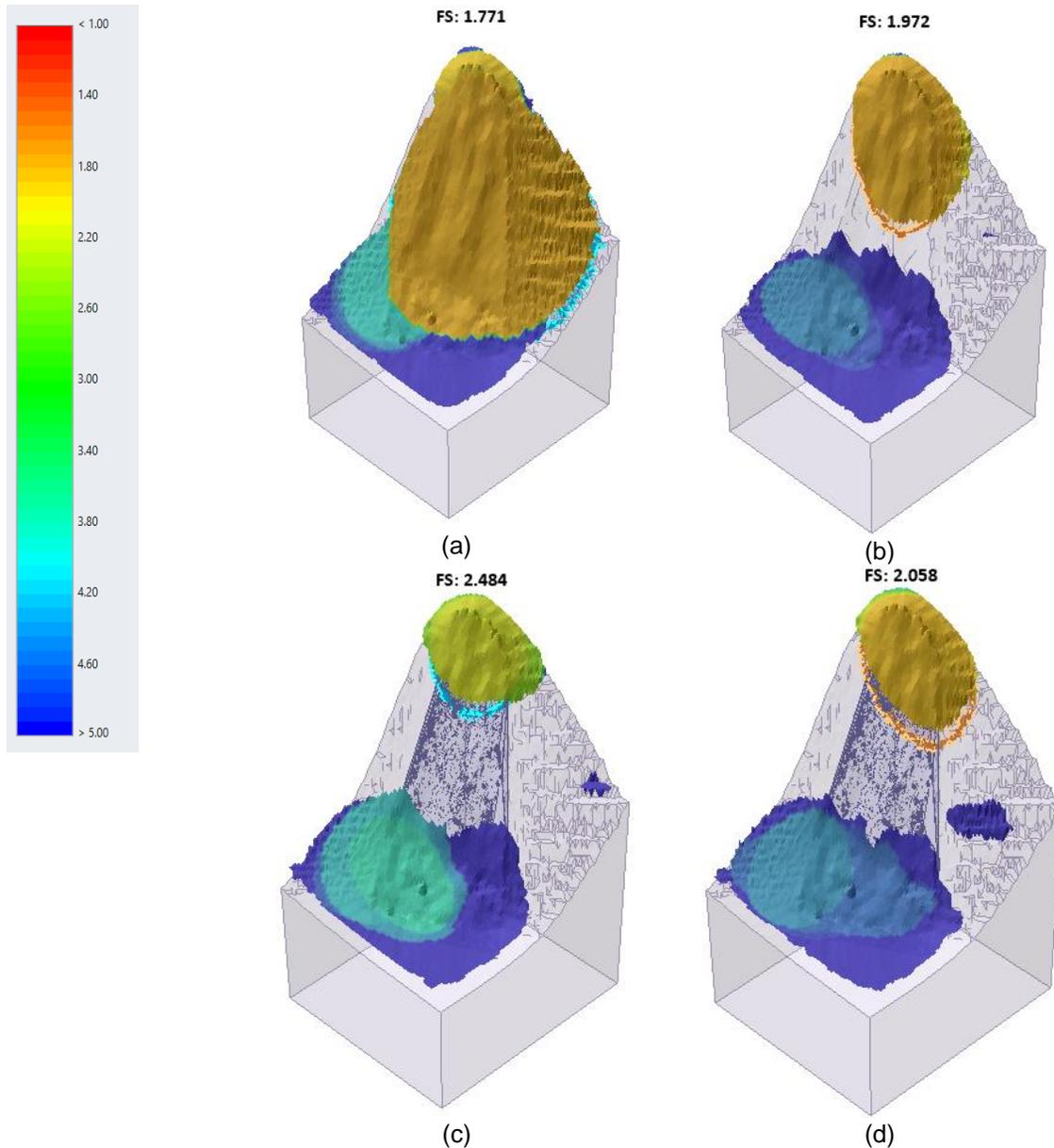


Figura 48

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 5 en condición de carga pseudo estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado



Los resultados de los factores de seguridad obtenidos para el modelo 5 se consideran aceptables desde el punto de vista de la metodología de equilibrio límite, además cumplen con los valores mínimos requeridos en el CGTLCR para las condiciones de análisis estáticas y pseudo estáticas. Dicha situación es concordante con la condición en campo del sitio ya que, durante el período de análisis de este informe, el sitio no ha presentado desmejora. Cabe resaltar que, para este análisis al igual que en casos anteriormente mencionados, se observa el incremento de los FS al considerar el estado saturado del suelo, como ya se mencionó, esta condición puede estar asociada a la



contribución de la presión de poro. Sin embargo, al ser un análisis preliminar es importante recalcar que los resultados obtenidos no son definitivos y se recomienda complementar con análisis basados en parámetros determinados con una exploración geotécnica propia del sitio.

Figura 49

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 6 en condición de carga estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado

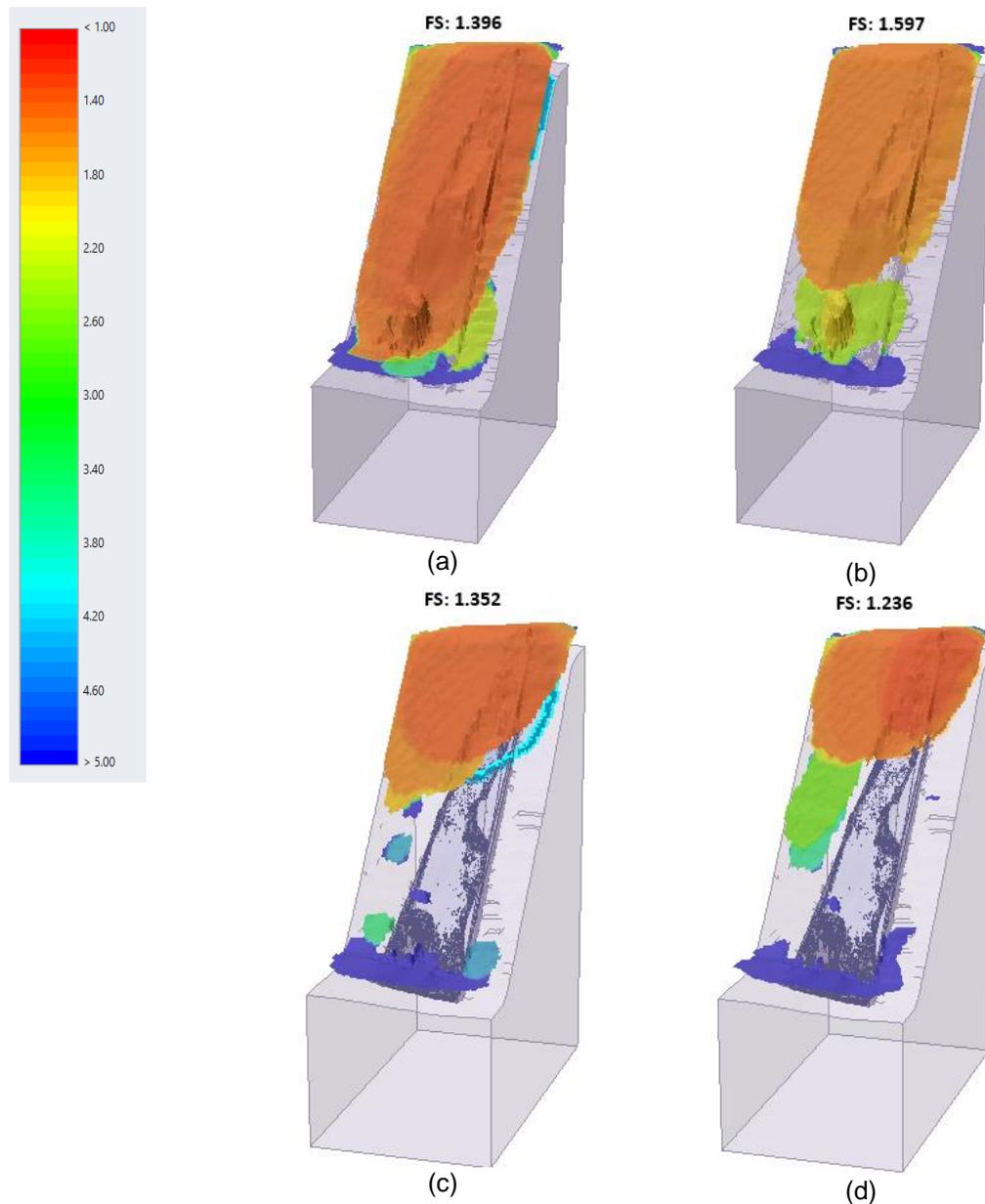
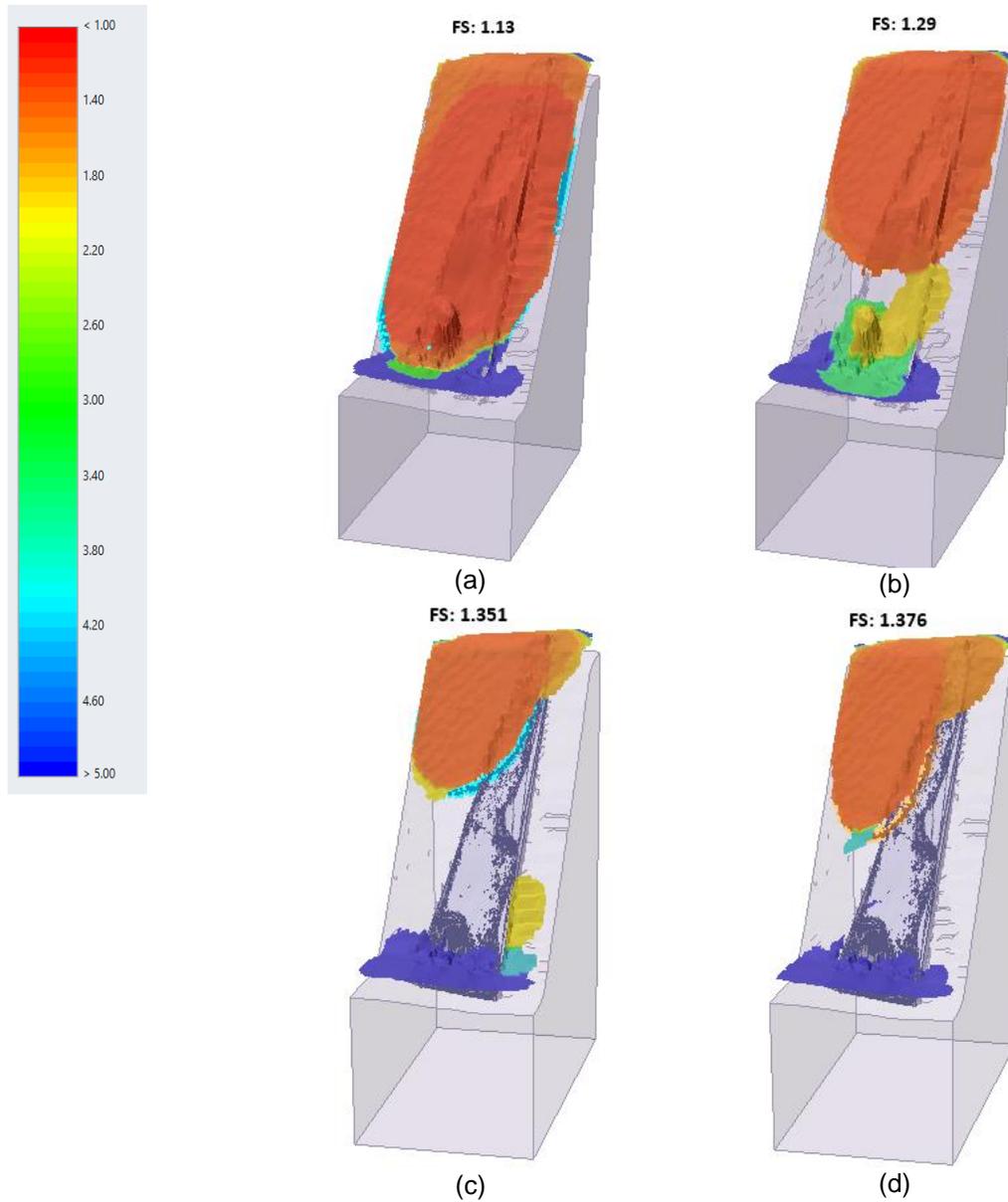


Figura 50

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 6 en condición de carga pseudo estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado



Los resultados de los factores de seguridad ante deslizamiento del modelo 6 en términos del método de equilibrio límite se consideran adecuados, sin embargo, no cumplen en condición estática con los valores mínimos recomendados en el CGTLCR así como, para la condición seca del análisis pseudo estático. Si bien el talud se estima estable, se considera apropiado implementar medidas que favorezcan la estabilidad del talud, como lo es el manejo de aguas de escorrentía superficial, así como realizar los análisis tomando en consideración los parámetros geomecánicas específicos del sitio.



Figura 51

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 7 en condición de carga estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado

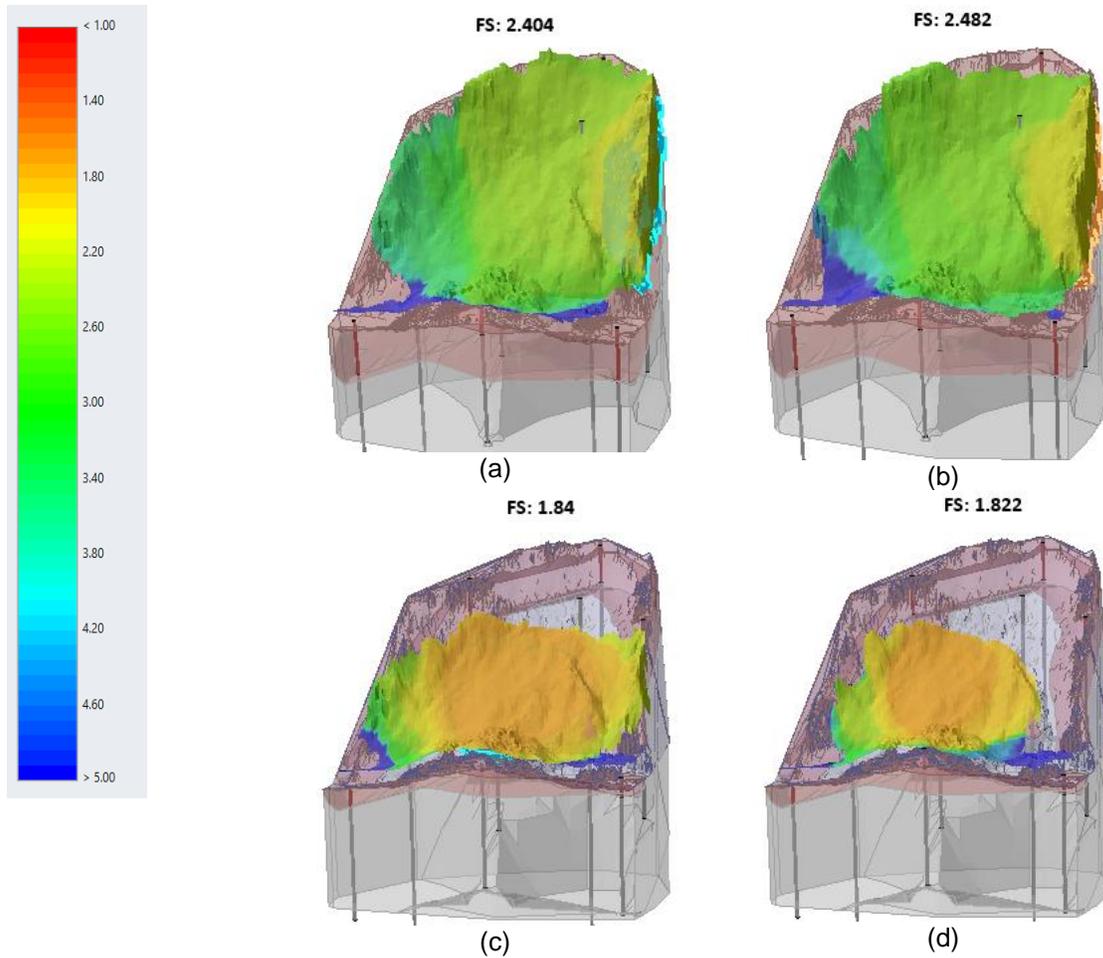
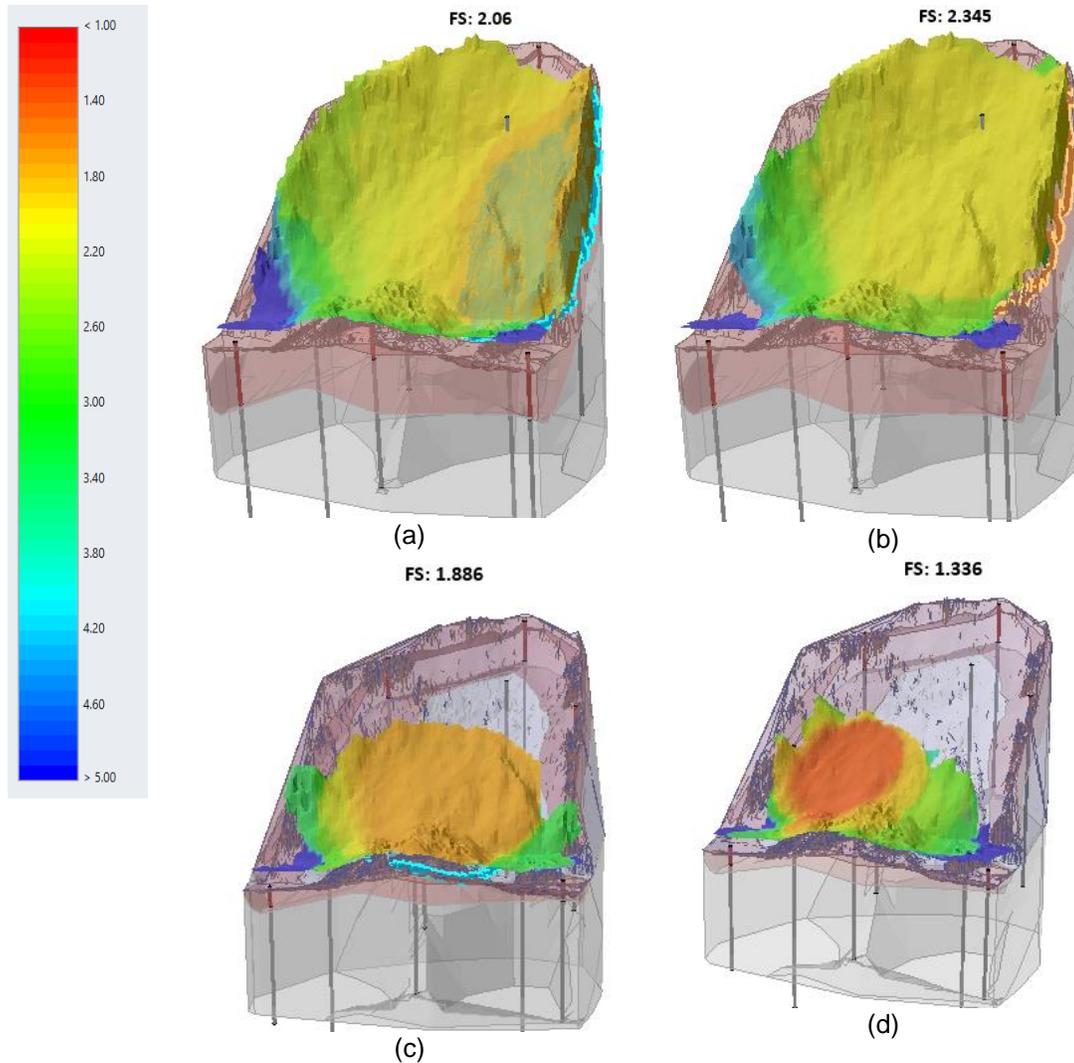


Figura 52

Factores de seguridad obtenidos en el modelo 7 en condición de carga pseudo estática para: (a) GLE Seco; (b) Spencer Seco; (c) GLE Saturado; (d) Spencer Saturado



El modelo 7 corresponde con el sitio del deslizamiento ocurrido en junio 2022. El talud ha presentado un comportamiento estable desde entonces, el personal del PIG del LanammeUCR ha monitoreado en diferentes ocasiones y condiciones climáticas el sitio, observando movimiento de volúmenes de material extremadamente pequeños de menos de 50 m³, localizados principalmente en el afloramiento de material suelto color rojizo de la margen derecha de la cara del talud. Las observaciones durante los monitoreos son consecuentes con los resultados obtenidos en los análisis de estabilidad, los cuales desde el punto de vista del método de equilibrio límite se consideran adecuados y cumple con los valores mínimos recomendados en el CGTLCR.



VI. Situación actual

Recientemente se realizó una visita al sitio evaluado para monitorear la condición actual de los taludes identificados con factores que resultaban desfavorables para la estabilidad, con el objetivo de mantener actualizado el inventario de taludes a lo largo del tramo de carretera de montaña de la RN32.

El día 12 de setiembre se realizó el recorrido utilizando la herramienta para la evaluación de la condición de taludes en carretera del PIG del LanammeUCR y su versión simplificada. Se realizó la actualización de la evaluación a aquellos taludes que presentaron cambios en su condición desde la última evaluación, así como nuevos sitios con evidencia de inestabilidad. En la Tabla 8, se enlistan con su respectiva ubicación en coordenadas y descripción de la condición actualizada los sitios levantados.

Tabla 8

Ubicación de los sitios evaluados en setiembre 2023 y descripción de la condición actualizada

	Latitud	Longitud	Observaciones
1	10,0991296°N	83,9777220°W	Revegetado, se observa abundante flujo de agua en la cara del talud
2	10,1065934°N	83,9752720°W	Nueva evidencia de movimiento
3	10,1104096°N	83,9743833°W	Nueva evidencia de movimiento
4	10,1118128°N	83,9742058°W	Nueva evidencia de movimiento
5	10,1276124°N	83,9668288°W	Nueva evidencia de movimiento
6	10,1294401°N	83,9696604°W	Talud presenta desmejora
7	10,1313263°N	83,9699945°W	Talud presenta desmejora
8	10,1383439°N	83,9724497°W	Nueva evidencia de movimiento
9	10,1386332°N	83,9724575°W	Nueva evidencia de movimiento
10	10,1389360°N	83,9725391°W	Nueva evidencia de movimiento
11	10,1403788°N	83,9730353°W	Talud presenta desmejora
12	10,1449965°N	83,9740606°W	Nueva evidencia de movimiento
13	10,1570385°N	83,9553184°W	Talud presenta desmejora
14	10,1459512°N	83,9552410°W	Nueva evidencia de movimiento
15	10,1712935°N	83,9333471°W	Nueva evidencia de movimiento
16	10,1710539°N	83,9335109°W	Talud presenta desmejora
17	10,1831081°N	83,9166564°W	Nueva evidencia de movimiento
18	10,1948475°N	83,9013714°W	Revegetado

Tal y como se indica en la Tabla 8, los levantamientos 1 y 18 del 2023 corresponden a sitios que se encontraron en mejores condiciones que en su última inspección en el 2022. En las Figura 53 y Figura 54 se muestran las fotografías que evidencian la condición de los sitios en 2022 y 2023. Sin embargo, el sitio de la Figura 53, a pesar de observarse revegetado se identifica un flujo importante de agua que aflora desde la parte alta del talud, por lo tanto, el sitio debe mantenerse en observación, ya que el flujo de agua constante puede generar erosión del talud, debilitando la estructura tornándose susceptible a deslizamientos.

Por su parte en las Figura 55 a la Figura 59, se muestra la evidencia de los sitios que han presentado una desmejora en su condición desde su evaluación en el 2022. Se puede observar que la zona que inicialmente se identificó la evidencia de inestabilidad, un año después se encuentra ampliada el área afectada de la cara del talud. En el caso de los sitios de las Figura 58 y Figura 59, en el 2022 parecían zonas revegetadas sin mayor indicio de inestabilidad, sin embargo, es posible que sus condiciones de saturación cambiaron afectando negativamente la estabilidad del talud.

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 60 de 73
---------------------------	-----------------	-----------------

Figura 53

Evidencia de revegetación del talud ubicado en las coordenadas 10,0991296, -83,9777220



2022



2023

Se puede observar en las fotografías de la figura 54 como el talud se ha revegetado, tanto al pie como en la cara del talud. Sin embargo, es posible observar el flujo de agua constante que aflora desde la corona del talud, por lo que, se considera oportuno mantener labores de monitoreo de este sitio.

Figura 54

Evidencia de revegetación del talud ubicado en las coordenadas 10,1948475, -83,9013714



2022



2023

En la Figura 55, se observa en las fotografías el incremento en el área deslizada, así como zonas con evidencias de saturación y flujo constante de agua aflorando a media altura en la cara del talud. Desde el punto de vista geotécnico, el sitio presenta evidencias de desmejora que pueden afectar considerablemente la estabilidad. Por lo que, se considera oportuno monitorear el sitio y realizar análisis detallados considerando parámetros geomecánicos específicos del sitio, así como la implementación de sistemas de manejo de aguas de escorrentía superficial.

Figura 55

Condición desmejorada del talud ubicado en las coordenadas 10,1294401, -83,9696604



2022



2023

Como se observa en las fotografías de la Figura 56, en el sitio persiste la caída de pequeños volúmenes de material acumulándose al pie del talud. Esto de acuerdo con la evidencia fotográfica ha ocasionado un incremento en la altura de la zona deslizada. Una vez más se considera apropiado mantener monitoreo constante de este sitio.

Figura 56

Condición desmejorada del talud ubicado en las coordenadas 10,1313263, -83,9699945



2022



2023

En el caso de la Figura 57 no se observa un incremento considerable del área afectada por caídas de material. No obstante, el sitio no se ha revegetado, y en contraparte se evidencia que el material deslizado para el 2023, está conformado principalmente por suelo, mientras que en el registro del 2022 se observa mayor cantidad de material vegetal. Por lo anterior, se intuye que en el sitio hay pequeños volúmenes de suelo deslizados que mantienen el talud con evidencia de inestabilidad.

Figura 57

Condición desmejorada del talud ubicado en las coordenadas 10,1403788, -83,9730353



2022



2023

En el caso de la Figura 58, es evidente la desmejora en la condición del talud, para el 2022 el talud parecía haberse reconstituido de manera favorable para la estabilidad de este, sin embargo, en la inspección realizada en el 2023 se encontró material acumulado al pie del talud producto de un deslizamiento reciente. En el sitio no fue posible identificar flujo de agua aflorando en la cara del talud, sin embargo, se observó húmedo hasta la corona.

Figura 58

Condición desmejorada del talud ubicado en las coordenadas 10,1570385, -83,9553184



2022



2023



Para el sitio Figura 59, se observa como en el 2022 a pesar de observarse el talud revegetado y reconformado, la geometría evidenciaba la superficie de falla crítica. Para el registro del 2023, se encuentra que nuevamente vuelve a movilizarse material sobre la misma superficie. Por lo que, se considera apropiado mantener labores de monitoreo en el sitio.

Figura 59

Condición desmejorada del talud ubicado en las coordenadas 10,1710539, -83,9335109



Adicionalmente se evaluaron 8 sitios con la herramienta de evaluación de la condición de taludes en carretera del PIG del LanammeUCR, de los cuales 7 presentan una condición calificada como “Media-Evaluación específica del sitio” y 1 se califica como “Alta- Requiere análisis más profundo”. En la Figura 60 a la Figura 66 se muestra el resumen de la aplicación de la herramienta de evaluación de la condición de taludes en carretera, aplicado a los sitios identificados con evidencia de inestabilidad entre el estacionamiento 20+000 al 63+185 durante la inspección de actualización de datos del 2023.

Figura 60

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,055897, -84.007455 (18+021)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo	
	10.055897/ -84.007455	2000 mm - 3000 mm	60	Escarpado	15	Compuesto (primordialmente suelo)	Medianamente agrietado	Ambos	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	No	No	Rectilínea	A media altura	Sin flujo	No	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	0 m - 3 m	Autopista	No	3 m - 8 m	No	No	No			

Figura 61

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,171293, -83,933347 (42+559)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo	
	10.171293/ -83.933347	4500 mm - 5500 mm	75	Escarpado	12	Suelo residual	Sin grietas	Cohesivo	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	No	No	Rectilínea	En la corona	Sin flujo	Sí	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	0 m - 3 m	Autopista	No	3 m - 8 m	No	No	No			



Figura 62

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,171326, -83,933393 (42+562)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo	Media - Evaluación específica del sitio
	10.171326/ -83.933393	4500 mm - 5500 mm	75	Escarpado	25	Suelo residual	Medianamente agrietado	Cohesivo	Bosque secundario	Camino/carretera	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno	
	No	No	Compuesta	En la corona	Sin flujo	No	No	No	No	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	No	0 m - 3 m	Autopista	No	3 m - 8 m	No	No	No			

Figura 63

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,183108, -83,916656 (44+952)

Fotografía	Caracterización										Clasificación
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo	Media - Evaluación específica del sitio
	10.183108/ -83.916656	4500 mm - 5500 mm	65	Escarpado	12	Suelo residual	Sin grietas	Cohesivo	Bosque secundario	Camino/carretera	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento					
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del	Material caído	Grietas en el terreno	
	No	No	Compuesta	En la corona	Sin flujo	Sí	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No	
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes					
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal		
No hay	Más de 15 m	0 m - 3 m	Autopista	No	3 m - 8 m	No	No	No			

Figura 64

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,129529,-83,969811 (31+143)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Naturaleza del material	Vegetación	Uso del suelo		
	10.129529/-83.969811	3000 mm - 4500 mm	55	Escarpado	25	Compuesto (primordialmente suelo)	Fallado	Cohesivo	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	No	No	Convexa	En la corona	Sin flujo	Sí	Sí	No	50 a 200 - Muy pequeño	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No		Autopista	No	No	No	No	No				

Figura 65

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,095036,-83,981838 (26+139)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/ Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.095036/-83.981838	3000 mm - 4500 mm	85	Escarpado	20	Compuesto (primordialmente roca)	Medianamente fracturado	Condición masiva	Bosque secundario	Camino/carretera	Media - Evaluación específica del sitio	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		
	Planar	No	Rectilínea	En la corona	Sin Flujo	Sí	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño	No		
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
No hay	No	0 m - 3 m	Autopista	No	No	No	No	No				

Figura 66

Resultado de evaluación del talud de suelo ubicado en las coordenadas 10,091713,-83,982585 (25+729)

Fotografía	Caracterización										Clasificación	
	Latitud/Longitud	Precipitación	Pendiente (°)		Altura del talud	Tipo de material	Condición de la cara del talud	Discontinuidad en la roca	Vegetación	Uso del suelo		
	10.091713/ -83.982585	3000 mm - 4500 mm	75	Escarpado	30	Roca sana	Poco fracturado	Condición masiva	Bosque secundario	Camino/carretera	Alta - Requiere análisis profundo según condición del talud	
	Condición del talud					Evidencia de movimiento						
	Falla en el talud	Manejo de escorrentía	Forma del talud	Presencia de agua en el talud	Flujo de agua en el talud	Árboles inclinados	Formación de coronas	Levantamiento al pie del Talud	Material caído	Grietas en el terreno		No
	No	Drenaje obstruido	Cóncava	En la corona	En la corona	Sí	No	No	0 a 50 - Extremadamente pequeño			
	Estructuras cercanas					Redes y Puentes						
	Obras de retención	Viviendas o comercios	Vías	Tipo de vía	Cultivos	Eléctrica	Agua potable	Vehicular	Peatonal			
	No hay	No	0 m - 3 m	Autopista	No	No	No	No	No			



Cabe resaltar que, para los sitios que presentaron desmejoras en su condición de estabilidad no se había realizado levantamiento topográfico con el VANT y por lo tanto no se han realizado análisis más a detalle. Entre las principales limitaciones para levantamientos con el VANT que se presentan en la RN32 se encuentran la falta de espacio para estacionar y colocar el equipo de trabajo, la densidad de la vegetación que cubre los taludes, y la composición de los materiales. Esta última se caracteriza por materiales compuestos de suelo y roca que, al presentar caídas de material se depositan y acumulan al pie del talud, lo que imposibilita obtener la geometría real de los taludes. Estas condiciones se pueden observar en la referencia del 2022 de los taludes que presentaron desmejora.

Actualmente se realizaron los levantamientos de 5 de los sitios evaluados con la herramienta de evaluación de la condición de taludes en carretera del PIG del LanammeUCR. Estos se muestran en la Tabla 9 y se encuentran en la etapa de procesamiento y limpieza de las nubes de puntos. Los resultados de estabilidad de estos puntos serán comentados en futuros informes.

Tabla 9

Ubicación de los taludes del tramo de carretera de montaña de la RN n°32 levantados con VANT en el 2023

Coordenadas		Fotografía
Latitud	Longitud	
10,055897	-84,007455	
10,171293	-83,933347	



10,171326	-83,933393	
10,129529	-83,969811	
10,091713	-83,982585	



VII. Comentarios Finales

Si bien estos análisis cuentan con el respaldo técnico y teórico apropiado, dadas las limitaciones de la exploración geotécnica de los sitios específicos para este informe, es importante indicar que estos análisis no representan los resultados definitivos, tanto para tomar decisiones finales, así como para recomendar y diseñar algún tipo de obra. Para ello, se requiere realizar el estudio completo que debe ser efectuado por el profesional en geotecnia responsable que la Administración designe y emitir las propuestas e implementación de obras de estabilidad de taludes, en caso de ser necesarias. Sin embargo, el presente informe constituye un insumo y una guía que puede ser tomada en consideración para llevar a cabo análisis más exhaustivos para evaluar las condiciones de los sitios y analizar posibles afectaciones que puede tener la estructura del pavimento y cualquier otra obra cercana.

Se sugiere llevar a cabo estudios adicionales incluyendo cantidad de puntos estudiados óptimos, ensayos in situ y de laboratorio, que constituye una exploración geotécnica más a detalle. La omisión de estos aspectos podría significar riesgos económicos a la administración y a los usuarios. Es por ello, que se considera recomendable realizar la exploración geotécnica detallada para establecer un modelo geotécnico específico y representativo de cada una de las zonas de estudio y, posterior a esto, realizar los respectivos análisis de estabilidad en condición tanto estática como pseudo-estática, así como evaluar diferentes condiciones de saturación de los materiales, dada la influencia observada en los análisis del presente informe, así como también evaluar diferentes propuestas de estabilización de los taludes y su respectiva optimización. Se conoce la limitación existente como zona protegida de la sección montañosa de esta ruta nacional, sin embargo, es importante para el PIG del LanammeUCR enfatizar en la importancia, de que estos estudios se realicen, en cuanto se logre aprobar su intervención.

A partir de los resultados obtenidos en las modelaciones se destaca que, para las propiedades de los materiales utilizados y las condiciones evaluadas, los resultados de los factores de seguridad en la modelación tridimensional, en términos generales, fueron favorables desde el punto de vista del método de equilibrio límite. Sin embargo, en algunas condiciones analizadas, principalmente los análisis estáticos no cumplen con las recomendaciones dadas por el CGTLCR.

Como se mencionó en apartados anteriores, se han presentado situaciones de análisis en las cuales se observó un aumento en los factores de seguridad en condiciones saturadas en comparación con la condición seca. La saturación del suelo modifica la distribución de esfuerzos en el interior del talud, lo que puede influir en la ubicación y la forma de la superficie de falla. No obstante, es crucial destacar que estos efectos pueden variar según el tipo de suelo y las condiciones específicas del sitio. Por lo tanto, resulta esencial realizar un análisis detallado que considere la composición geotécnica específica del sitio, así como las propiedades hidráulicas del suelo y la variación de los estratos de materiales que componen el talud.

Adicionalmente, cuando se requiere un análisis más específico, resulta apropiado identificar la superficie de falla crítica en la modelación tridimensional y analizar esta superficie en dos dimensiones, modificando las condiciones de análisis, es decir, estática, pseudoestática, seca y saturada. Este enfoque permite simular el comportamiento de la misma superficie de falla bajo diferentes condiciones y, de esta manera, obtener resultados más representativos. Estos resultados proporcionarán la base para ofrecer recomendaciones específicas por parte de un ingeniero especializado en geotecnia que esté a cargo del proyecto.

Adicionalmente, en algunos casos específicos al considerar la aplicación de una carga de sismo, se observó un incremento en los factores de seguridad respecto a la condición estática. Es importante destacar que el aumento en los factores de seguridad en el análisis pseudo estático no es una

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 71 de 73
---------------------------	-----------------	-----------------



condición usual y depende estrictamente de las características específicas del suelo y de la naturaleza de la carga dinámica aplicada. Por lo tanto, es esencial realizar un análisis geotécnico detallado y considerar las condiciones específicas del sitio para comprender completamente cómo la carga dinámica afecta la estabilidad del talud en cada caso particular.

Los análisis de estabilidad con el método de equilibrio límite se realizaron de acuerdo con las metodologías de GLE Morgenstern-Price y Spencer. A pesar de ser teorías conocidas como rigurosas por utilizar ecuaciones de equilibrio y consideran las fuerzas que actúan sobre el talud, en algunos casos se obtuvieron resultados variables entre mismas condiciones de análisis para ambos métodos. Cabe resaltar que las diferencias principales entre las teorías Morgenstern-Price (GLE) y Spencer radican en su fundamentación teórica. GLE utiliza superficies de falla para determinar la estabilidad del talud y considera las fuerzas y momentos para calcular los factores de seguridad, además en el análisis pseudo estático considera tanto las fuerzas inerciales como las fuerzas estáticas. Por su parte Spencer se basa en la teoría de resistencia de materiales y utiliza ecuaciones basadas en el equilibrio de fuerzas para calcular los factores de seguridad.

Finalmente se considera importante complementar los análisis de estabilidad con análisis de esfuerzo-deformación en las zonas próximas a la superficie de ruedo usando el Método de Elementos Finitos (MEF), con la finalidad de incluir un análisis de deformaciones en los taludes y sectores próximos a éstos, y establecer posibles afectaciones que puede sufrir la vía debido a las deformaciones por la redistribución de los esfuerzos in situ y verificar el estado límite de servicio de los taludes, pavimento y cualquier otra obra de infraestructura cercana.

Adicionalmente, se resalta que, durante la visita realizada, se observó que la mayoría de los taludes existentes carecen de sistemas adecuados para el control de la escorrentía superficial, se recomienda implementar medidas integrales de mitigación para detener y evitar la erosión de la cara de los taludes, así como, colocar sistemas para el control de la escorrentía superficial y evitar que se magnifiquen los problemas de estabilidad que fueron observados.



VIII. Referencias

1. Asociación de geotecnia (2009). Código de Cimentaciones de Costa Rica. Tecnológico de Costa Rica
2. Carballo, R. (2019). Aplicación y determinación de la eficiencia del método HSQI en la sección de montaña, entre el peaje del Zurquí y el cruce de Río Frío de la Ruta Nacional N°32. Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciado en geología. San José, Costa Rica.
3. Laboratorio de Geotécnia (2022). EIC-Lanamme-INF-0972-2022 Informe de ensayo muestras Ruta Nacional n°32. LanammeUCR. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

EIC-Lanamme-INF-1493-2023	Octubre de 2023	Página 73 de 73
---------------------------	-----------------	-----------------