



# Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: EIC-Lanamme-INF-1687-2024

## INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL N° 27



Preparado por:

Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica  
Noviembre, 2024





## RESUMEN EJECUTIVO

Este informe tiene como propósito realizar una evaluación preliminar de los taludes a lo largo de la ruta nacional 27 y corresponde a un complemento de las evaluaciones puntuales de algunos taludes y que se detallan en los informes: EIC-Lanamme-INF-0954-2023; EIC-Lanamme-INF-0740-2022; EIC-Lanamme-INF-1536-2022; EIC-Lanamme-INF-1711-2022 y EIC-Lanamme-INF-1628-2022. Los resultados de esta evaluación ofrecen información valiosa para identificar las condiciones de sitios específicos 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.

En total fueron identificados 56 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad. No obstante, debido a la limitación encontrada en esta carretera 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 inspecciones, ni de los usuarios de la carretera, fue posible aplicar únicamente en siete taludes la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02 bajo la metodología descrita en el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V02. Los taludes evaluados se ubican en los estacionamientos 75+732, 72+841, 46+604, 44+376, 40+877, 38+377 y 28+408 de la ruta nacional 27. Con base en esta evaluación se determinó que la condición de los taludes de los estacionamientos 44+376, 40+877 y 28+408 es "baja" por lo que es posible brindar recomendaciones generales según la condición observada del talud enfocadas principalmente en la colocación de métodos adecuados para el manejo de erosión, a saber: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros. En el caso de los taludes de los estacionamientos 75+732, 46+604 y 38+377 su condición es "media" por lo que se sugiere realizar una evaluación específica de cada uno de los sitios. En el caso del talud del estacionamiento 72+841 se determinó que su condición es "alta" por lo cual se requiere realizar análisis profundo de acuerdo con su condición considerando la topografía actual y escenarios con saturación del terreno y sismo.

En el caso de los otros sitios, fue posible identificar la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio y una fotografía de la condición con la implementación y uso de una herramienta simplificada. A partir de esta evaluación fue posible notar que los sitios de interés geotécnico se encuentran concentrados entre los estacionamientos 35+000 al 50+000 (26 puntos), tramo localizado entre Balsa de Atenas y Orotina. De esta manera, en el tramo con mayor cantidad de taludes con evidencias de inestabilidad, es posible realizar, en visitas de campo posteriores, la aplicación de la herramienta RC-545.

De manera general, se resalta que se observaron taludes con sistemas inadecuados o insuficientes para el control de la escorrentía superficial, por lo que se recomienda implementar medidas integrales de mitigación para detener y evitar la erosión de la cara de los taludes, así como, mejorar los sistemas para el control de la escorrentía superficial y evitar que se magnifiquen los problemas de estabilidad que fueron observados. Además, se recomienda utilizar métodos adecuados para el control de la erosión superficial, tales como la colocación de vegetación, geomantas, biomantas, entre otros.

Es importante enfatizar que, aunque este informe cuenta con un respaldo técnico adecuado, corresponde a los resultados de una inspección visual realizada en un momento específico. Por lo tanto, constituye un insumo inicial para los análisis definitivos y para la toma de decisiones finales o recomendaciones de diseños de obras de ser necesarias. Para ello, se requiere un estudio completo que debe ser realizado por un profesional en geotecnia designado por la Administración o la Concesionaria para emitir propuestas e implementar obras de estabilidad de taludes, en caso de ser necesarias.



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 la Administración o la Concesionaria a realizar estudios geotécnicos exhaustivos, con la exploración geotécnica requerida, y a considerar todas las variables para tomar decisiones informadas y seguras.



## Contenido

I.	INTRODUCCIÓN .....	6
II.	OBJETIVOS .....	8
II.1	Objetivo general .....	8
II.2	Objetivos específicos .....	8
III.	ALCANCE DEL INFORME .....	9
IV.	DESCRIPCIÓN DE LOS TALUDES INSPECCIONADOS.....	10
V.	RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN .....	12
VI.	COMENTARIOS FINALES.....	27
VII.	RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LA INSPECCIÓN .....	31
VIII.	REFERENCIAS .....	32



## I. INTRODUCCIÓN

La inspección y evaluación a elementos que son considerados activos viales, como lo son los taludes, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley N°8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N°8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

La evaluación de la condición de estabilidad de la ruta nacional 27 inició en junio de 2022 con un análisis cinemático preliminar para determinar la probabilidad y tipología de falla del talud localizado en el estacionamiento 46+200 y en el que se había presentado un deslizamiento el 10 de mayo de 2022. Los resultados de estos análisis fueron presentados en el informe EIC-Lanamme-INF-0740-2022.

En octubre de 2022 se presentó el informe EIC-Lanamme-INF-1536-2022 relacionado con la visita de campo realizada el día 23 de setiembre al estacionamiento 17+065 donde ocurrió un deslizamiento en la margen aguas abajo del puente sobre el río Virilla el día 18 de setiembre de 2022, aunque en la visita no se observaron afectaciones en el puente, ni en los alrededores, asociadas a este deslizamiento se consideró apropiado sugerir una campaña de monitoreo periódico de la zona, con la finalidad de detectar posibles movimientos de la masa de suelo. Como complemento, en diciembre de 2022 se presentó el informe EIC-Lanamme-INF-1711-2022 en el cual se realizaron análisis con el Método de Equilibrio Limite (MEL) del deslizamiento en el kilómetro 17+065 y su influencia en la ruta nacional 27. A partir de los resultados preliminares obtenidos en las simulaciones se estableció que los factores de seguridad no cumplieron con lo recomendado en el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica (CGTLCR) en las zonas cercanas a la corona del talud. Al realizar la inspección visual del sitio durante el recorrido de la gira de campo, fue posible identificar esta condición ya que, debido al deslizamiento el terreno sufrió una relajación de esfuerzos ocasionando agrietamientos que dan como resultado bloques inestables. Sin embargo, las zonas de estudio posterior al deslizamiento adoptaron una pendiente a favor de la estabilidad, por lo que los resultados preliminares mostraron factores de seguridad favorables y que cumplieron con los requisitos del CGTLCR.

Por otro lado, el informe EIC-Lanamme-INF-1628-2022 presentado en noviembre de 2022, ante una solicitud de la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR, realizó un análisis de estabilidad de los taludes próximos ubicados en el lado oeste, sector sur del puente sobre la ruta nacional 27, en la ruta nacional 707, con la finalidad de verificar la necesidad de intervención de estos taludes dada la proximidad y posibles afectaciones a dicho puente. A partir de los resultados obtenidos en las simulaciones en la condición observada en aquel momento, para las propiedades de los materiales utilizados y las condiciones evaluadas, se determinó que los resultados de los factores de seguridad fueron favorables y cumplieron con los requisitos de estabilidad definidos por el CGTLCR. En este mismo informe se resaltó que, durante las visitas realizadas, se observaron que los taludes existentes carecen de sistemas adecuados para el control de la escorrentía superficial.

Finalmente, en el informe EIC-Lanamme-INF-0954-2023 presentado en agosto de 2023, se presentaron los resultados de los análisis de estabilidad con el Método de Equilibrio Limite (MEL) de los taludes de los estacionamientos 44+300 y 48+000. Los resultados de las simulaciones mostraron que los factores de seguridad fueron favorables en condiciones secas y estáticas, cumpliendo con las recomendaciones del CGTLCR. Sin embargo, en condiciones pseudo-estáticas o con niveles freáticos y saturación, los valores fueron inferiores a las recomendaciones del CGTLCR.



En el año 2024, se continuó con el trabajo de inspección y evaluación de taludes de la ruta nacional 27, que se enmarca en las funciones de fiscalizador que la ley citada le confiere al LanammeUCR, dando como resultado el presente informe que complementa la información suministrada en los documentos anteriormente citados.

El trabajo realizado en las giras de evaluación y monitoreo realizadas desde junio de 2022 consiste en la inspección y evaluación de los taludes o laderas a lo largo de toda la ruta, con especial atención a aquellos que muestran signos de inestabilidad. Este análisis se llevó a cabo siguiendo el procedimiento establecido en el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V02, desarrollado por el PIG del LanammeUCR. Además, se destaca que la validación de los resultados se realizó en campo, contando con la experiencia y el criterio profesional de expertos en el área.

Como parte de la evaluación, además de utilizar el RC-545 "Herramienta del Lanamme para inspección de taludes" V02, se implementó la herramienta simplificada que consiste en un levantamiento rápido para el cual se registra la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio, la evidencia de inestabilidad 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 total fueron identificados 56 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad. No obstante, debido a la limitación encontrada en esta carretera, solo fue posible aplicar la herramienta RC-545 a los taludes localizado en los estacionamientos 75+732, 72+841, 46+604, 44+376, 40+877, 38+377 y 28+408 de la ruta nacional 27. Con base en esta evaluación se determinó que la condición de los taludes de los estacionamientos 44+376, 40+877 y 28+408 es "baja" por lo que es posible brindar recomendaciones generales según la condición observada del talud enfocadas principalmente en la colocación de métodos adecuados para el manejo de erosión, a saber: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros. En el caso de los taludes de los estacionamientos 75+732, 46+604 y 38+377 su condición es "media" por lo que se sugiere realizar una evaluación específica de cada uno de los sitios. En el caso del talud del estacionamiento 72+841 se determinó que su condición es "alta" por lo cual se requiere realizar un análisis profundo de su condición, al igual que los otros taludes deberá considerarse la topografía actual y escenarios con saturación del terreno y sismo.

A partir de esta evaluación fue posible notar que los sitios de interés geotécnico se encuentran concentrados entre los estacionamientos 35+000 al 50+000 (26 puntos), tramo localizado entre Balsa de Atenas y Orotina. De esta manera, en el tramo con mayor cantidad de taludes con evidencias de inestabilidad, es posible realizar, en visitas de campo posteriores, la aplicación de la herramienta RC-545.

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 o laderas y prevención o mitigación de posibles deslizamientos.



## II. OBJETIVOS

### II.1 *Objetivo general*

Inspeccionar y evaluar la condición de los taludes o laderas a lo largo de toda la ruta nacional 27 y su entorno, para determinar si en su estado actual amerita realizar estudios y análisis adicionales para establecer su condición de estabilidad.

### II.2 *Objetivos específicos*

- Determinar las características generales de los materiales que componen los taludes o laderas y el estado que muestran al momento de la inspección
- Establecer si existe evidencia de movimiento o falla en los taludes o laderas bajo las condiciones del entorno en que se encuentran
- Verificar si existen obras de drenaje, manejo de aguas o estabilización
- Revisar si la condición de los taludes o laderas puede impactar directamente emplazamientos, vías o servicios cercanos que generen afectación a los usuarios.

El presente informe pretende establecer niveles de evaluación y clasificación de la condición de los taludes o laderas para la identificación de la necesidad o no de recomendaciones técnicas o intervenciones más profundas a cargo de profesionales en geotecnia responsables de diseños, a partir de la evaluación visual realizada del talud.



### III. ALCANCE DEL INFORME

El presente informe no está destinado a presentar los resultados de una evaluación rigurosa del riesgo de los taludes evaluados, puesto que este tipo de evaluaciones requieren de la incorporación de conceptos más complejos. No obstante, el presente informe pretende establecer niveles de evaluación y clasificación de la condición de los taludes con base en el criterio experto del Programa de Ingeniería Geotécnica (PIG) del LanammeUCR, para la identificación de la necesidad o no de recomendaciones técnicas o intervenciones más profundas, a partir de la evaluación visual realizada del talud.

En este sentido, la evaluación realizada establece 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.

Para efectos de los alcances de este informe se han establecido tres niveles (ver Tabla 1), cuya asignación se establece según la aplicación de la herramienta RC-545 “Herramienta del LanammeUCR para la inspección de taludes” V02 y el instructivo IT-IN-05 “Procedimiento para inspección de taludes” V02, elaborado por el PIG del LanammeUCR y cuya validación se realiza en campo con criterio profesional experto y que se presentan a continuación:

Tabla 1. Clasificación de la condición de los taludes con base a criterio experto del PIG LanammeUCR

Clasificación	Descripción
Baja	El nivel de afectación del talud leve y la incidencia sobre las estructuras cercanas no implica análisis adicionales específicos o más profundos del sitio. Las recomendaciones que se brindan son de carácter general.
Media	El nivel de afectación del talud o la incidencia sobre estructuras cercanas requiere de una evaluación específica del sitio, con el fin de determinar si el talud requiere de recomendaciones especiales para el sitio o análisis más profundos, o si bien las recomendaciones generales son suficientes para mejorar la condición del talud.
Alta	El nivel de afectación del talud y la incidencia sobre estructuras cercanas requiere realizar un análisis con mayor detalle del sitio, incluyendo exploración geotécnica básica y el uso de algún software especializado. Las recomendaciones dependerán del resultado del análisis, si son requeridas.



#### IV. DESCRIPCIÓN DE LOS TALUDES INSPECCIONADOS

Con la finalidad de evaluar la condición desde el punto de vista geotécnico de los taludes y laderas de la ruta nacional 27 y contar con un inventario de los taludes o laderas que presentan indicios de inestabilidad a lo largo del sector de carretera de montaña de la ruta, se realizó el recorrido capturando las coordenadas, y evidencia fotográfica de los sitios que bajo el criterio del profesional experto en el área fueron considerados de interés para el monitoreo del comportamiento de los taludes y su afectación en la ruta.

En total fueron identificados 56 sitios con alguna evidencia de inestabilidad. Estos sitios complementan a las evaluaciones puntuales de los estacionamientos 44+300 y 48+000 del informe EIC-Lanamme-INF-0954-2023; el estacionamiento 46+200 del informe EIC-Lanamme-INF-0740-2022; el estacionamiento 17+065 en los informes EIC-Lanamme-INF-1536-2022 y EIC-Lanamme-INF-1711-2022, y del talud de aproximación al puente sobre ruta nacional 27 en la ruta nacional 707 en el informe EIC-Lanamme-INF-1628-2022. En las visitas realizadas desde mayo de 2023 se evaluaron a detalle siete taludes aplicando la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02 bajo la metodología descrita en el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V02, y para todos se cuenta con el registro de su ubicación y referencia fotográfica como resultado de la aplicación de la herramienta simplificada de evaluación.

En la Tabla 2 se enlistan las ubicaciones de los sitios identificados con condiciones consideradas como evidencias de inestabilidad utilizando la herramienta simplificada.

Tabla 2. Ubicación de los sitios identificados con la herramienta simplificada

#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est.	#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est.
		Este	Norte				Este	Norte	
1	25/06/2024	481747,66	1099659,13	7+955	29	25/06/2024	451984,80	1098110,10	42+509
2	25/06/2024	473979,38	1100302,11	16+920	30	25/06/2024	451702,77	1098028,72	42+804
3	25/06/2024	473000,47	1100848,00	18+072	31	25/06/2024	450680,75	1097892,05	43+891
4	25/06/2024	472684,70	1101183,46	18+535	32	25/06/2024	450295,90	1097786,97	44+297
5	25/06/2024	471970,96	1101959,93	19+730	33	25/06/2024	449975,65	1097750,76	44+622
6	25/06/2024	470660,17	1101805,44	21+050	34	25/06/2024	449574,82	1097446,68	45+146
7	25/06/2024	469484,02	1101902,87	22+241	35	22/01/2024	448974,32	1097513,73	45+773
8	25/06/2024	468683,33	1101858,67	23+053	36	25/06/2024	448905,10	1097441,01	45+872
9	25/06/2024	468226,90	1101778,21	23+516	37	25/06/2024	448634,40	1096910,61	46+468
10	25/06/2024	466449,20	1101987,12	25+323	38	25/06/2024	448600,13	1096850,93	46+537
11	25/06/2024	466144,69	1101997,63	25+628	39	25/06/2024	448163,01	1096780,36	47+023
12	25/06/2024	465843,93	1101959,64	25+932	40	25/06/2024	447427,81	1096761,11	47+778
13	25/06/2024	464615,20	1101694,29	27+193	41	22/01/2024	447426,71	1096760,27	47+779
14	25/06/2024	464343,96	1101717,55	27+465	42	25/06/2024	447206,69	1096833,55	48+011
15	25/06/2024	463041,39	1101971,67	28+816	43	25/06/2024	446836,59	1096789,69	48+405
16	25/06/2024	462601,25	1101924,25	29+264	44	22/01/2024	446491,62	1096649,17	48+780
17	25/06/2024	462299,92	1101867,83	29+581	45	25/06/2024	445159,38	1096738,40	50+127
18	25/06/2024	462011,80	1101691,65	29+933	46	25/06/2024	444941,98	1096572,05	50+404
19	25/06/2024	461479,38	1101723,70	30+467	47	25/06/2024	439699,49	1094828,49	56+264
20	25/06/2024	460437,03	1100396,12	32+498	48	25/06/2024	439466,83	1094775,04	56+502
21	25/06/2024	457543,91	1099282,86	35+749	49	25/06/2024	435117,32	1093383,40	61+479
22	25/06/2024	457172,29	1099307,58	36+124	50	25/06/2024	433647,01	1093792,17	63+046
23	25/06/2024	457034,06	1099286,39	36+265	51	25/06/2024	433186,92	1093788,24	63+507
24	25/06/2024	456145,74	1099347,89	37+285	52	25/06/2024	425756,21	1096310,07	72+010
25	25/06/2024	456064,57	1098981,25	37+671	53	25/06/2024	424976,65	1096735,01	72+939
26	22/01/2024	455378,51	1098623,14	38+484	54	25/06/2024	422449,60	1096756,29	75+691
27	25/06/2024	455355,91	1098610,70	38+510	55	25/06/2024	422316,19	1096629,74	75+877
28	25/06/2024	453352,65	1098601,45	40+990	56	25/06/2024	481707,35	1099634,44	80+019

La herramienta simplificada surge a raíz de la limitación encontrada en esta carretera en cuanto a espacios disponibles para estacionar el vehículo sin obstruir el flujo del tránsito, sin poner en riesgo

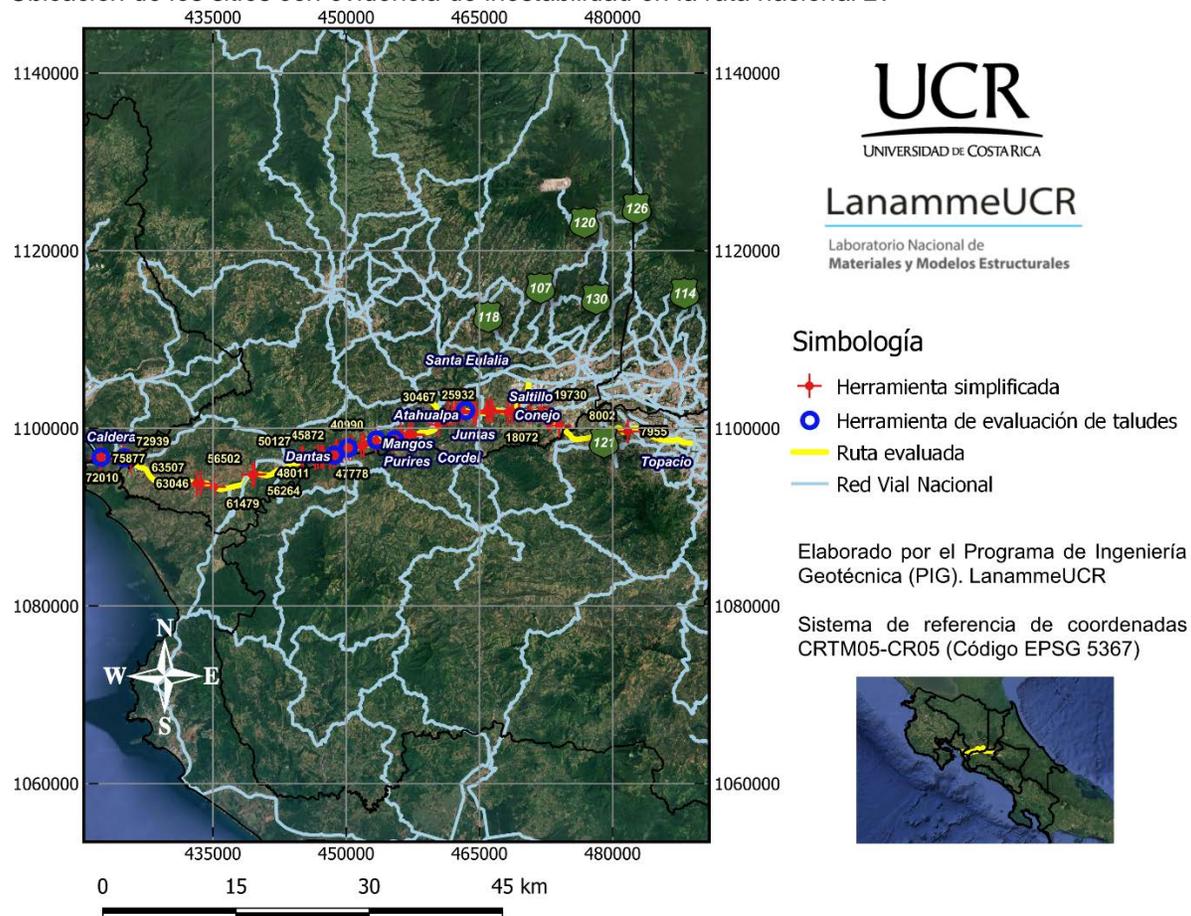


la vida de los operarios de las inspecciones y de los usuarios de la carretera. Con esta otra herramienta es posible identificar los sitios con evidencias de inestabilidad que puedan evolucionar a movimientos de material y que, eventualmente, puedan afectar la carretera al cambiar sus condiciones geométricas o de saturación del medio.

Por su parte, los taludes evaluados en los estacionamientos 75+732 (Latitud 9,9178046, Longitud -84,7075299), 72+841 (Latitud 9,9171614, Longitud -84,6835845), 46+604 (Latitud 9,9203067, Longitud -84,4681382), 44+376 (Latitud 9,9276297, Longitud -84,4539470), 40+877 (Latitud 9,9358407, Longitud -84,4246483), 38+377 (Latitud 9,9360291, Longitud -84,4062375) y 28+408 (Latitud 9,9659258, Longitud -84,3334162) fueron evaluados con la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02.

La Figura 1 muestra los sitios identificados con algún indicio de inestabilidad. Las cruces rojas muestran los sitios de interés geotécnicos levantados con la herramienta simplificada y con un círculo azul los sitios inspeccionados y evaluados con la herramienta de inspección de taludes en carretera (RC-545) del PIG del LanammeUCR.

Figura 1 Ubicación de los sitios con evidencia de inestabilidad en la ruta nacional 27



Como se puede notar el tramo que concentra la mayor cantidad de puntos con evidencias de inestabilidad se ubica entre los estacionamientos 35+000 al 50+000 (26 puntos), tramo localizado entre Balsa de Atenas y Orotina.



## V. RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN

Con la finalidad de evaluar la condición y contar con un inventario de los taludes que presentan indicios de inestabilidad a lo largo de la ruta nacional 27, se utilizó la herramienta bajo la metodología descrita en apartados anteriores, para evaluar la condición de taludes.

A continuación, se muestra el resumen de los resultados de la inspección y evaluación de los taludes realizados con ayuda de la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02 para la inspección de taludes en carretera, aplicado a los sitios identificados con evidencia de inestabilidad de la ruta nacional 27, en los que las condiciones de la carretera permitieran un acercamiento al sitio, suficiente para realizar la inspección visual y mediciones necesarias para la evaluación sin poner en riesgo la integridad de los evaluadores y el equipo de trabajo.

Los taludes inspeccionados, generalmente, presentan alturas entre los 3 m a 15 m y muestran evidencias de erosión superficial y en algunos casos se observaron etapas tempranas de la formación de cárcavas asociadas con la falta de estructuras para el control y manejo de la escorrentía superficial. En algunos casos, fue posible observar evidencias de pequeños deslizamientos de material y en el caso de taludes rocosos se observó la presencia de caídos en la base de los taludes. (ver Figuras 2 y 3).

En general, se observó la presencia de cunetas y en algunos casos se observaron contracunetas las cuales se consideran esenciales para asegurar la estabilidad de los taludes. De esta manera, se considera oportuno indicar que un adecuado sistema de manejo de agua de escorrentía superficial que incluya contracunetas y estructuras de canalización de agua permite evitar la escorrentía superficial sobre la cara de los taludes. No obstante, las evidencias de erosión superficial observadas indican que, en algunos taludes, los sistemas existentes son insuficientes, razón por la cual, se sugiere mejorarlo, en tal caso, el diseño y construcción debe ser adecuado y específico al talud a intervenir. Adicionalmente, cuando existen cunetas o contracunetas, se sugiere una limpieza del material caído acumulado que puede obstruirlo. Finalmente, se recomienda la utilización de métodos adecuados para el manejo de erosión, a saber: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros.

Adicionalmente, en el caso de los taludes que presentan superficies de falla, o bien, poseen un histórico de inestabilidad conocido que, además, tienen una altura considerable y pendiente escarpada, se estima importante complementar la evaluación con análisis especializados de estabilidad, considerando la pendiente actual en condiciones críticas (saturación y sismo). Para esto es recomendable efectuar un levantamiento topográfico del talud y un análisis utilizando softwares especializados aplicando la geometría representativa del sitio. Una posibilidad para contar con la topografía del sitio es realizar un levantamiento con Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) para la generación de Modelos de Elevación Digital (MED), y posteriormente realizar análisis con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión.



**Figura 2**

*Sitios identificados con evidencia de inestabilidad en la ruta nacional 27*



(a) evidencias de erosión, falta de cunetas y material deslizado, estación 7+955



(b) evidencias de erosión en la cara del talud y falta de cunetas, estación 22+241



(c) evidencias de erosión en la cara del talud, estación 23+516



(d) evidencias de erosión en la cara del talud, estación 25+628



(e) evidencias de erosión y material deslizado, estación 25+932



(f) evidencias de erosión en la cara del talud, estación 25+628



**Figura 3**

*Sitios identificados con evidencia de inestabilidad en la ruta nacional 27*



(a) evidencias de erosión en la cara del talud, estación 36+265



(b) material deslizado con presencia de flujo en la base del talud, estación 42+804



(c) roca desprendida obstruyendo la cuneta, estación 43+891



(d) evidencias de erosión en la cara del talud y falta de cunetas, estación 45+146



(e) malla para control de caídos deteriorada y rocas desprendidas, estación 45+872



(f) evidencias de erosión en la cara del talud y falta de cunetas, estación 45+146



Por otro lado, para el tramo que concentra la mayor cantidad de puntos con evidencias de inestabilidad ubicado entre los estacionamientos 35+000 al 50+000 (26 puntos), tramo localizado entre Balsa de Atenas y Orotina, se considera apropiado realizar análisis especializados de estabilidad, considerando la topografía actual y valorando escenarios con saturación del terreno y sismo.

Por su parte, en la Tabla 3 se pueden ver los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 75+732. Esta se puede resumir como sigue: el material presente es una roca medianamente fracturada, sin relleno en las discontinuidades. Su pendiente es de aproximadamente  $75^{\circ}$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 31 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma cóncava, el cual no parece mostrar ningún tipo de falla, sin embargo, fue posible notar algunas evidencias de movimiento del terreno con la presencia de coronas en la parte superior del talud y la caída de material que, por la longitud del talud, se estima entre 5000 a 50000 m<sup>3</sup> (medianamente grande). Asimismo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a una evolución de fallas y eventuales deslizamientos.

Adicionalmente, fue posible observar que el talud no tenía cunetas o algún otro mecanismo adecuado para el control de la escorrentía superficial. Es importante mencionar que la falta de control del agua superficial puede generar una reducción de la resistencia, favoreciendo la inestabilidad, deformaciones del talud y afectaciones en la cara del talud, incrementándose la formación de coronas. Al momento de la inspección el talud se encontraba con seco y sin la presencia de un flujo de agua en la cara del talud, no obstante, es probable que esta condición varíe en la época lluviosa.

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 27), se observó la presencia de una obra de retención, muro de gaviones, en mal estado. No fueron observadas viviendas, redes eléctricas, ni otras estructuras cercanas como puentes, redes de agua potable o pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como "media" y se sugiere realizar una evaluación específica del sitio, con análisis utilizando softwares especializados en geotecnia, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo.



Tabla 3. Talud en el estacionamiento 75+732

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Gustavo Badilla	
	Fecha	25/06/2024	
	Ruta	27	
	Latitud	9,9178046	
	Longitud	-84,7075299	
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm	
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	75°	
	Altura del talud	31 m	
	Material predominante	Roca	
	Estado de la roca	Roca fracturada	
	Fracturación de la roca en la cara del talud	Medianamente fracturado	
	Condición de las discontinuidades en roca	Sin relleno	
	Espesor del relleno de discontinuidades	-	
	Vegetación	Autóctona	
	Uso de suelo	Camino/carretera	
<b>Condición del talud</b>	Falla en el talud	No	
	Forma del Talud	Cóncava	
	Manejo de escorrentía	No hay manejo de escorrentía	
	Afectación por escorrentía	Erosión superficial	
	Agua en el talud	Seco	
	Flujo de agua en el talud	Sin Flujo	
<b>Evidencia de movimiento</b>	Evidencia de movimiento	Si	
	Árboles inclinados	No	
	Formación de Coronas	Si	
	Levantamiento al Pie del Talud	No	
	Grietas en terreno	No	
	Material caído	5000 a 50000 - Medianamente grande	
<b>Estructuras cercanas</b>	Presencia de obras de retención	En mal estado	
	Presencia de viviendas y comercios	No hay	
	Presencia de vías	0 m - 3 m	
	Tipo de vía	Autopista	
	Presencia de redes eléctricas	No hay	
	Presencia de red de agua potable	No hay	
	Presencia de puentes vehiculares	No hay	
	Presencia de pasos peatonales	No hay	
	Presencia de cultivos	No hay	
<b>Recomendación final</b>		<b>Media - Evaluación específica del sitio</b>	



Por otro lado, en la Tabla 4 se pueden ver los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 72+841. Esta se puede resumir como sigue: el material presente es un material compuesto, primordialmente un suelo friccionante con evidencias de una falla compuesta. Su pendiente es de aproximadamente  $65^{\circ}$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 40 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma compuesta. El talud presenta evidencias de movimiento con la presencia de árboles inclinados, formación de coronas y la caída de un volumen medianamente grande de material (entre 5000 a 50000 m<sup>3</sup>). Asimismo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a una evolución de fallas y eventuales deslizamientos.

Adicionalmente, no fueron observadas cunetas, contracunetas u otras medidas de protección de la cara del talud, por lo cual se tiene afectaciones por erosión superficial como lo es la formación de cárcavas. Al momento de la inspección el talud se encontraba seco y sin la presencia de un flujo de agua en la cara del talud, no obstante, es probable que esta condición varíe en la época lluviosa.

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 27) se observó la presencia de redes eléctricas, sin embargo, no se observó la presencia de viviendas, redes de agua potable, puentes, ni pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como "alta", por lo que se sugiere realizar análisis profundos de la condición del talud con softwares especializados en geotecnia, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo, y poder así, brindar las recomendaciones específicas que pueden aplicarse para este talud.

Tabla 4. Talud en el estacionamiento 72+841

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Gustavo Badilla	
	Fecha	25/06/2024	
	Ruta	27	
	Latitud	9,9171614	
	Longitud	-84,6835845	
	Precipitación	Menos de 2000 mm	
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	65°	
	Altura del talud	40 m	
	Material predominante	Suelo	
	Estado del suelo	Compuesto (primordialmente suelo)	
	Naturaleza del suelo	Friccionante	
	Agrietamiento cara del talud	Fallado	
	Vegetación	Autóctona	
	Uso de suelo	Camino/carretera	
<b>Condición del talud</b>	Falla en el talud	Compuesto	
	Forma del Talud	Compuesta	
	Manejo de escorrentía	No hay manejo de escorrentía	
	Afectación por escorrentía	Erosión superficial	
	Agua en el talud	Seco	
	Flujo de agua en el talud	Sin flujo	
<b>Evidencia de movimiento</b>	Evidencia de movimiento	Si	
	Árboles inclinados	Si	
	Formación de Coronas	Si	
	Levantamiento al Pie del Talud	No	
	Grietas en terreno	No	
	Material caído	5000 a 50000 - Medianamente grande	
<b>Estructuras cercanas</b>	Presencia de obras de retención	No hay	
	Presencia de viviendas y comercios	No hay	
	Presencia de vías	0 m - 3 m	
	Tipo de vía	Autopista	
	Presencia de redes eléctricas	3 m - 8 m	
	Presencia de red de agua potable	No hay	
	Presencia de puentes vehiculares	No hay	
	Presencia de pasos peatonales	No hay	
	Presencia de cultivos	No hay	
<b>Recomendación final</b>		<b>Alta - Requiere análisis profundo según condición del talud</b>	



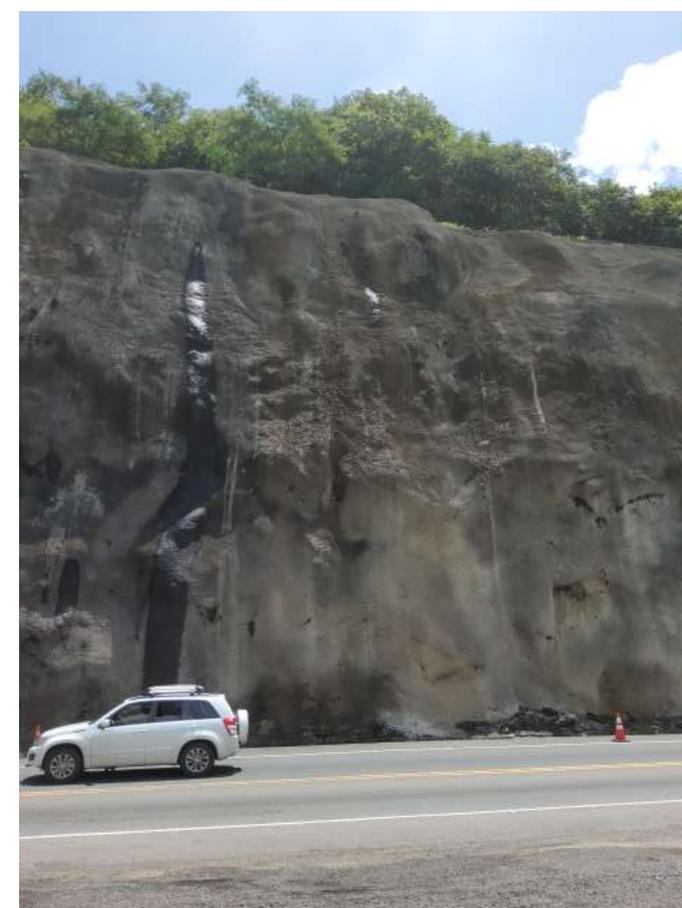
En el caso del talud del estacionamiento 46+604 la Tabla 5 resume los resultados de la caracterización de la evaluación realizada. En este caso el material presente en el talud es un material rocoso medianamente fracturado sin presencia de materiales de relleno en las discontinuidades. Su pendiente es de aproximadamente  $75^\circ$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 23 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma compuesta en el cual se apreciaron fallas. El talud presenta evidencias de movimiento, no obstante, no fue posible tener acceso a la corona del talud para confirmar la presencia o no de agrietamientos. Asimismo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a una evolución de fallas y eventuales deslizamientos.

Adicionalmente, fueron observadas cunetas y contracunetas y en algunos sectores fueron colocadas algunas medidas de protección de la cara del talud (concreto lanzado), sin embargo, en los sectores donde no fueron colocadas medidas de protección de la cara del talud, se observaron algunas afectaciones por erosión superficial. Al momento de la inspección el talud se encontraba con la presencia de un flujo de agua a media altura en la cara del talud, no obstante, es probable que esta condición varíe en la época lluviosa.

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 27) no se observó la presencia de viviendas, redes eléctricas, redes de agua potable, puentes, ni pasos peatonales. Adicionalmente, aunque se observaron obras de retención próximas a este sector, se observaron sectores cuya intervención puede ser insuficiente o se encuentra en mal estado. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como "media" y se sugiere realizar una evaluación específica del sitio, con análisis utilizando softwares especializados en geotecnia, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo.

Tabla 5. Talud en el estacionamiento 46+604

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Gustavo Badilla
	Fecha	10/07/2024
	Ruta	27
	Latitud	9,920307
	Longitud	-84,468138
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	75°
	Altura del talud	23 m
	Material predominante	Roca
	Estado de la roca	Roca fracturada
	Fracturación de la roca en la cara del talud	Medianamente fracturado
	Condición de las discontinuidades en roca	Sin relleno
	Espesor del relleno de discontinuidades	-
	Vegetación	Autóctona
	Uso de suelo	Camino/carretera
<b>Condición del talud</b>	Falla en el talud	Si
	Forma del Talud	Compuesta
	Manejo de escorrentía	Si
	Afectación por escorrentía	Erosión superficial
	Agua en el talud	Si
	Flujo de agua en el talud	Con flujo a media altura
<b>Evidencia de movimiento</b>	Evidencia de movimiento	Si
	Árboles inclinados	No
	Formación de Coronas	No se tiene acceso a información
	Levantamiento al Pie del Talud	No
	Grietas en terreno	No
	Material caído	No
<b>Estructuras cercanas</b>	Presencia de obras de retención	Insuficiente o en mal estado
	Presencia de viviendas y comercios	No hay
	Presencia de vías	0 m - 3 m
	Tipo de vía	Autopista
	Presencia de redes eléctricas	No hay
	Presencia de red de agua potable	No hay
	Presencia de puentes vehiculares	No hay
	Presencia de pasos peatonales	No hay
	Presencia de cultivos	No hay
<b>Recomendación final</b>		<b>Media - Evaluación específica del sitio</b>





En la Tabla 6 se pueden ver los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 44+376. En este caso el material presente en el talud es un material compuesto, primordialmente una roca altamente fracturada sin presencia de materiales de relleno en las discontinuidades. Su pendiente es de aproximadamente  $65^{\circ}$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 100 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma rectilínea recientemente intervenido en el cual no se apreciaron fallas en el talud ni evidencias de movimiento. Asimismo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a una evolución de fallas y eventuales deslizamientos.

Adicionalmente, fueron observadas cunetas y contracunetas y en algunos sectores fueron colocadas algunas medidas de protección de la cara del talud (concreto lanzado y geomantas), sin embargo, en los sectores donde no fueron colocadas medidas de protección de la cara del talud, se observaron algunas afectaciones por erosión superficial. En general, las obras de retención observadas se encuentran en buen estado. Al momento de la inspección el talud se encontraba seco y sin la presencia de un flujo de agua en la cara del talud, no obstante, es probable que esta condición varíe en la época lluviosa.

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 27) se observó la presencia de puentes vehiculares (puente de la ruta nacional 707), sin embargo, no se observó la presencia de viviendas, redes de agua potable, ni pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como “baja”, por lo que es posible brindar recomendaciones generales según la condición observada del talud enfocadas principalmente en la colocación de métodos adecuados para el manejo de erosión, a saber: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros.

No obstante, por el histórico de este sector, se sugiere realizar un acompañamiento periódico de la condición, esto debido a que este punto ha sido objeto de diversos análisis, estudios de campo y laboratorio por parte de la Concesionaria, INSUMA y el LanammeUCR, de los cuales se hacen mención en el informe EIC-Lanamme-INF-0954-2023, elaborado por el Programa de Ingeniería Geotécnica (PIG) del LanammeUCR.

Tabla 6. Talud en el estacionamiento 44+376

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Gustavo Badilla
	Fecha	18/10/2023
	Ruta	27
	Latitud	9,9276297
	Longitud	-84,4539470
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	65°
	Altura del talud	100 m
	Material predominante	Roca
	Estado de la roca	Compuesto (primordialmente roca)
	Fracturación de la roca en la cara del talud	Altamente fracturado
	Condición de las discontinuidades en roca	Sin relleno
	Espesor del relleno de discontinuidades	-
<b>Condición del talud</b>	Vegetación	Autóctona
	Uso de suelo	Camino/carretera
	Falla en el talud	No
	Forma del Talud	Rectilínea
	Manejo de escorrentía	Drenaje en buen estado
	Afectación por escorrentía	Ninguna
	Agua en el talud	Seco
	Flujo de agua en el talud	Sin Flujo
<b>Evidencia de movimiento</b>	Evidencia de movimiento	No
	Árboles inclinados	No
	Formación de Coronas	No
	Levantamiento al Pie del Talud	No
	Grietas en terreno	No
	Material caído	No
<b>Estructuras cercanas</b>	Presencia de obras de retención	En buen estado
	Presencia de viviendas y comercios	No hay
	Presencia de vías	3 m - 8 m
	Tipo de vía	Arterial
	Presencia de redes eléctricas	No hay
	Presencia de red de agua potable	No hay
	Presencia de puentes vehiculares	Más de 15 m
	Presencia de pasos peatonales	No hay
<b>Recomendación final</b>		<b>Baja - Recomendaciones generales según la condición del talud</b>





La Tabla 7 resume los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 40+877, en el cual se tiene un material compuesto, primordialmente un suelo friccionante sin la presencia de grietas. Su pendiente es de aproximadamente  $60^\circ$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 15 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma rectilínea en el cual no se apreciaron fallas en el talud. Asimismo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a una evolución de fallas y eventuales deslizamientos.

Adicionalmente, fueron observadas cunetas y contracunetas, sin embargo, no fueron observadas otras medidas de protección de la cara del talud, por lo cual se tiene afectaciones por erosión superficial. Al momento de la inspección el talud se encontraba seco y sin la presencia de un flujo de agua en la cara del talud, no obstante, es probable que esta condición varíe en la época lluviosa.

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 27) no se observó la presencia de viviendas, redes de agua potable, redes eléctricas, puentes, ni pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como "baja", por lo que es posible brindar recomendaciones generales según la condición observada del talud enfocadas principalmente en la colocación de métodos adecuados para el manejo de erosión, a saber: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros.

Tabla 7. Talud en el estacionamiento 40+877

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Gustavo Badilla	
	Fecha	19/05/2023	
	Ruta	27	
	Latitud	9,9358407	
	Longitud	-84,4246483	
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm	
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	60°	
	Altura del talud	15 m	
	Material predominante	Suelo	
	Estado del suelo	Compuesto (primordialmente suelo)	
	Naturaleza del suelo	Friccionante	
	Agrietamiento cara del talud	Sin grietas	
	Vegetación	Ninguna	
<b>Condición del talud</b>	Uso de suelo	Camino/carretera	
	Falla en el talud	No	
	Forma del Talud	Rectilínea	
	Manejo de escorrentía	Drenaje en buen estado	
	Afectación por escorrentía	Ninguna	
	Agua en el talud	Seco	
	Flujo de agua en el talud	Sin Flujo	
<b>Evidencia de movimiento</b>	Evidencia de movimiento	No	
	Árboles inclinados	No	
	Formación de Coronas	No	
	Levantamiento al Pie del Talud	No	
	Grietas en terreno	No	
	Material caído	No	
<b>Estructuras cercanas</b>	Presencia de obras de retención	No hay	
	Presencia de viviendas y comercios	No hay	
	Presencia de vías	0 m - 3 m	
	Tipo de vía	Autopista	
	Presencia de redes eléctricas	No hay	
	Presencia de red de agua potable	No hay	
	Presencia de puentes vehiculares	No hay	
	Presencia de pasos peatonales	No hay	
<b>Recomendación final</b>		<b>Baja - Recomendaciones generales según la condición del talud</b>	 En el momento de la visita realizada, el talud se encontraba en las últimas etapas de su reconfiguración, por lo que fue posible observar una pequeña cantidad de material acumulado en la base del mismo, la cual fue retirada posteriormente



En la Tabla 8 se pueden ver los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 38+377. Esta se puede resumir como sigue: el material presente es material compuesto primordialmente por un suelo altamente agrietado con características cohesivas y friccionantes. Su pendiente es de aproximadamente  $50^\circ$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 15 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma compuesta el cual no muestra evidencias de falla, sin embargo, presenta algunas evidencias de movimiento del terreno debido a la presencia de árboles inclinados, formación de coronas y un volumen mediano de material caído (500 a 5000 m<sup>3</sup>). Sin embargo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a la evolución de las fallas y eventuales deslizamientos.

Adicionalmente, aunque se observó la presencia de cunetas, éstas se encuentran obstruidas y se consideran insuficientes para garantizar la estabilidad del talud. No fue posible observar la presencia y el estado de las contracunetas y otras medidas de protección en la cara del talud, por lo que se observaron afectaciones por erosión superficial y la formación de cárcavas. Al momento de la inspección el talud se encontraba seco y sin la presencia de flujo de agua en la cara del talud, no obstante, es probable que esta condición varíe en la época lluviosa y es posible que se dé un ascenso de los niveles de saturación y flujo de agua.

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 27) no se observó la presencia de viviendas, redes de agua potable, redes eléctricas, puentes, ni pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización la condición del talud puede clasificarse como “media” y se sugiere realizar una evaluación específica del sitio, con análisis utilizando softwares especializados en geotecnia, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo y poder así, brindar las recomendaciones específicas que pueden aplicarse para este talud.

Tabla 8. Talud en el estacionamiento 38+377

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Gustavo Badilla	<p>Por lo observado en sitio, el talud presenta diferentes intervenciones entre las cuales se destaca la presencia de un enrocado en la base del talud cuya función es servir como obra de retención por gravedad y la colocación de geomantas para proteger la cara del talud ante la erosión.</p> 
	Fecha	19/05/2023	
	Ruta	27	
	Latitud	9,9360291	
	Longitud	-84,4062375	
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm	
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	50°	
	Altura del talud	15 m	
	Material predominante	Suelo	
	Estado del suelo	Compuesto (primordialmente suelo)	
	Naturaleza del suelo	Ambos	
	Agrietamiento cara del talud	Altamente agrietado	
	Vegetación	Ninguna	
<b>Condición del talud</b>	Uso de suelo	Camino/carretera	
	Falla en el talud	No	
	Forma del Talud	Compuesta	
	Manejo de escorrentía	No hay manejo de escorrentía	
	Afectación por escorrentía	Erosión superficial	
	Agua en el talud	Seco	
	Flujo de agua en el talud	Sin Flujo	
<b>Evidencia de movimiento</b>	Evidencia de movimiento	Si	
	Árboles inclinados	Si	
	Formación de Coronas	Si	
	Levantamiento al Pie del Talud	No	
	Grietas en terreno	No	
	Material caído	500 a 5000 - Mediano	
<b>Estructuras cercanas</b>	Presencia de obras de retención	En mal estado	
	Presencia de viviendas y comercios	No hay	
	Presencia de vías	3 m - 8 m	
	Tipo de vía	Autopista	
	Presencia de redes eléctricas	No hay	
	Presencia de red de agua potable	No hay	
	Presencia de puentes vehiculares	No hay	
	Presencia de pasos peatonales	No hay	
<b>Recomendación final</b>		<b>Media - Evaluación específica del sitio</b>	<p>No obstante, existen sectores del talud que no han sido intervenidos lo que propicia problemas de deslizamientos de material en esas zonas</p> 



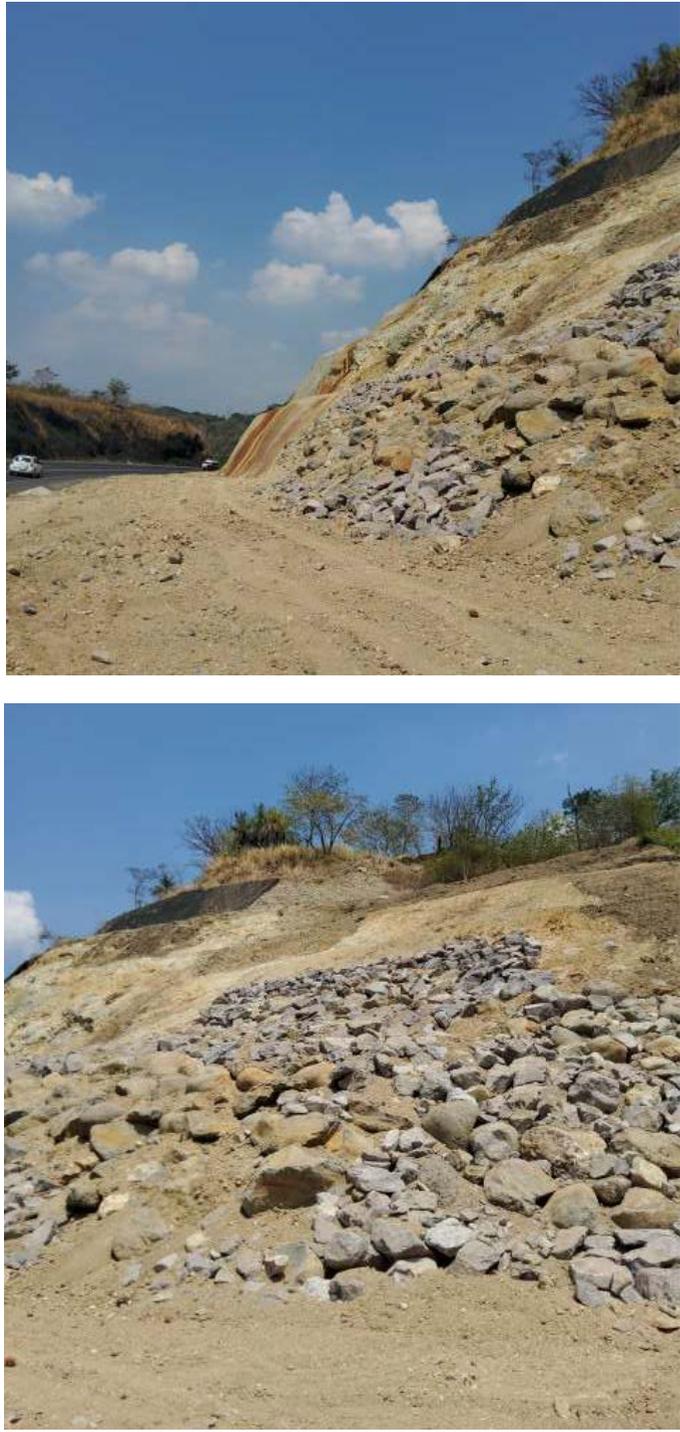
Finalmente, la Tabla 9 resume los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 28+408, en el cual se tiene un talud de roca medianamente fracturada sin presencia de materiales de relleno en las discontinuidades. Su pendiente es de aproximadamente  $45^\circ$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 61 m. Por lo observado en campo, el talud tiene bermas y no se apreciaron fallas en el talud. El talud tampoco presenta evidencias de movimiento. Asimismo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a una evolución de fallas y eventuales deslizamientos.

Adicionalmente, fueron observadas cunetas, contracunetas y algunas medidas de protección de la cara del talud, por lo cual se tienen pocas afectaciones por erosión superficial. Al momento de la inspección el talud se encontraba seco y sin la presencia de un flujo de agua en la cara del talud, no obstante, es probable que esta condición varíe en la época lluviosa.

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 27) no se observó la presencia de redes eléctricas, viviendas, redes de agua potable, puentes, ni pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como "baja", por lo que es posible brindar recomendaciones generales según la condición observada del talud enfocadas principalmente en la colocación de métodos adecuados para el manejo de erosión, a saber: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros.

En general, por la condición observada para los otros taludes se considera oportuno implementar un adecuado sistema de manejo de agua de escorrentía superficial que incluya contracunetas y estructuras de canalización de agua para evitar la escorrentía superficial sobre la cara de los taludes y, en el caso de existir algún sistema de drenaje, considerar mejorarlo, en tal caso, el diseño y construcción debe ser adecuado y específico al talud a intervenir. Adicionalmente, se recomienda la utilización de métodos adecuados para el manejo de erosión, a saber: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros.

Tabla 9. Talud en el estacionamiento 28+408

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Gustavo Badilla	
	Fecha	03/04/2024	
	Ruta	27	
	Latitud	9,9659258	
	Longitud	-84,3334162	
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm	
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	45°	
	Altura del talud	61 m	
	Material predominante	Roca	
	Estado de la roca	Roca fracturada	
	Fracturación de la roca en la cara del talud	Medianamente fracturado	
	Condición de las discontinuidades en roca	Sin relleno	
	Espesor del relleno de discontinuidades	-	
Vegetación	Autóctona		
<b>Condición del talud</b>	Uso de suelo	Camino/carretera	
	Falla en el talud	No	
	Forma del Talud	Con Bermas	
	Manejo de escorrentía	Drenaje en buen estado	
	Afectación por escorrentía	Ninguna	
	Agua en el talud	Seco	
	Flujo de agua en el talud	Sin Flujo	
<b>Evidencia de movimiento</b>	Evidencia de movimiento	No	
	Árboles inclinados	No	
	Formación de Coronas	No	
	Levantamiento al Pie del Talud	No	
	Grietas en terreno	No	
	Material caído	No	
<b>Estructuras cercanas</b>	Presencia de obras de retención	No hay	
	Presencia de viviendas y comercios	No hay	
	Presencia de vías	3 m - 8 m	
	Tipo de vía	Autopista	
	Presencia de redes eléctricas	No hay	
	Presencia de red de agua potable	No hay	
	Presencia de puentes vehiculares	No hay	
	Presencia de pasos peatonales	No hay	
<b>Recomendación final</b>		<b>Baja - Recomendaciones generales según la condición del talud</b>	



## VI. COMENTARIOS FINALES

Después de realizar la visita de campo a la ruta nacional 27, de manera general se resalta que la mayoría de los taludes existentes presentan oportunidades de mejora en los sistemas para el control de la escorrentía superficial, por lo que 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.

Se sugiere llevar a cabo estudios adicionales incluyendo ensayos in situ y de laboratorio, que constituye una exploración geotécnica más a detalle que permita establecer un modelo geotécnico específico y representativo de los sitios que no pudieron ser evaluados con la herramienta RC-545, pero que, con el registro mostrado en apartados anteriores, queda en evidencia que, ante una posible inestabilidad el nivel de afectación a las estructuras cercanas puede ser alto. 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 análisis previos realizados a diferentes puntos sobre la ruta nacional 27 y que se discuten en las evaluaciones puntuales de los estacionamientos 44+300 y 48+000 del informe EIC-Lanamme-INF-0954-2023; el estacionamiento 46+200 del informe EIC-Lanamme-INF-0740-2022; el estacionamiento 17+065 en los informes EIC-Lanamme-INF-1536-2022 y EIC-Lanamme-INF-1711-2022, y del talud de aproximación al puente sobre ruta nacional 27 en la ruta nacional 707 en el informe EIC-Lanamme-INF-1628-2022. En estos análisis se sugiere a la Administración y a la Concesionaria evaluar diferentes propuestas de estabilización de los taludes y su respectiva optimización, en caso de ser necesarias.

La omisión de estos aspectos podría significar riesgos económicos a la Administración, a la Concesionaria y a los usuarios de la ruta, pues sin una evaluación geotécnica detallada, es posible que no se detecten problemas subyacentes que podrían provocar inestabilidades en los taludes. Esto puede resultar en deslizamientos o fallas estructurales que afecten carreteras, puentes u otras infraestructuras cercanas.

En este mismo sentido, la reparación o reconstrucción de estas estructuras podría requerir inversiones significativas, y se podrían generar mayores costos de mantenimiento pues tenderían a ser más frecuentes. Además, el problema más palpable es que podría generar interrupciones en el tráfico por cierres de carreteras o desvíos, causando costos adicionales para la Administración y la Concesionaria en términos de reparaciones de emergencia, y además afecta la economía local y nacional debido a los retrasos en el transporte de bienes y personas.

Finalmente, se podría limitar el desarrollo económico regional y reducir los ingresos potenciales para la Administración pública.

Para los casos mencionados en apartados anteriores, en los que se requiere un análisis más específico, por ejemplo, sitios en los que el talud presenta una superficie de falla claramente definida, resulta apropiado identificar la superficie de falla crítica tras modelar en tres dimensiones la geometría actual del sitio, y analizar esta superficie en dos dimensiones, modificando las condiciones de análisis, es decir, estática, pseudo-estática, 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 designado por la Administración.



Por último, se considera valioso complementar los análisis de estabilidad con análisis de esfuerzo-deformación contemplando las cargas impuestas por una estructura ubicada en la corona del talud. Estos análisis se realizan 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.



## VII. RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LA INSPECCIÓN

Dado el alcance de las inspecciones y evaluaciones realizadas en los sitios visitados, en este informe no es posible emitir recomendaciones y diseños detallados de alguna obra de retención. Así pues, corresponde a la Administración o la Concesionaria la designación de un profesional en geotécnica para la elaboración de un estudio completo y la emisión de las propuestas de las obras de estabilidad o retención de talud, en caso de ser necesarias.

De manera general se sugiere llevar a cabo estudios adicionales incluyendo ensayos in situ y de laboratorio, que constituye una exploración geotécnica más a detalle. Con ello sería posible establecer modelos geotécnicos específicos y representativos de cada uno de los taludes analizados y, posterior a esto, realizar los respectivos análisis de estabilidad.

De las visitas de campo realizadas, fue posible observar que algunos de los taludes analizados carecen de sistemas de drenaje superficial y control de la escorrentía superficial. Por lo cual se recomienda construir sistemas de drenajes en el propio talud, así como llevar a cabo el diseño y construcción del sistema de drenajes específicos para los problemas observados en cada uno de los taludes evaluados, estos sistemas deben incluir contracunetas y estructuras de canalización de agua de escorrentía superficial. El diseño de estas obras deberá estar a cargo y bajo la supervisión del ingeniero en geotecnia encargado del proyecto, designado por la Administración o la Concesionaria.

Se considera recomendable la colocación de métodos adecuados para el control de la erosión superficial, tales como: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros. Estos métodos deben contar con un diseño específico para el sitio evaluado y el diseño y selección del método deberá estar a cargo y bajo la supervisión del ingeniero en 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.

Dada la dificultad para acceder a ciertos taludes y hacer una evaluación apropiada del sitio específico, así como para conocer su topografía específica, se recomienda realizar el levantamiento con Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) para la generación de Modelos de Elevación Digital (MED) como medida alternativa para generar dicha topografía, y posteriormente realizar análisis con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión especialmente en el tramo que concentra la mayor cantidad de puntos entre los estacionamientos 35+000 al 50+000 (26 puntos), tramo localizado entre Balsa de Atenas y Orotina.



## VIII. REFERENCIAS

- LanammeUCR (2023). **RC-545 Herramienta del LanammeUCR para la inspección de taludes” V02, en Survey123**. LanammeUCR. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.
- Programa de Ingeniería Geotécnica (2023). **IT-IN-05 “Procedimiento para inspección de taludes” V02**. LanammeUCR. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.