

# Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: EIC-Lanamme-INF-1244-2024

## INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL 413



Preparado por:

Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica  
Agosto, 2024

<b>1. Informe:</b> EIC-Lanamme-INF-1244-2024	<b>2. Versión No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL 413	<b>4. Fecha del Informe</b> 27/08/2024
<b>5. Organización y dirección</b> 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	
<b>6. Palabras clave</b> Ninguna	
<b>7. Resumen</b> <i>El presente informe de inspección de los taludes de la Ruta Nacional 413, es producto de las inspecciones de taludes que realiza el Programa de Ingeniería Geotécnica del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) que se realizan en el marco de las competencias asignadas al LanammeUCR según se indica en el artículo 6 de la ley 8114.</i>  <i>Debido a las condiciones de estabilidad observadas a lo largo de la Ruta Nacional 413, este informe proporciona un inventario actualizado de los sitios que muestran evidencia de inestabilidad y los factores que pueden incidir negativamente en el equilibrio del terreno, lo cual puede ser utilizado como insumo para análisis detallados por parte de la Administración. En total fueron identificados 67 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad, fue posible notar que estos se encuentran distribuidos a lo largo de toda la ruta, donde el tramo que concentra la mayor cantidad de puntos con evidencias de inestabilidad se ubica entre los estacionamientos 3+500 al 10+000 (35 puntos), tramo localizado entre la Finca Alberta de Danta y Pacayitas.</i>  <i>Es importante destacar que este informe constituye un insumo y una guía que puede ser tomada en consideración para llevar a cabo análisis adicionales (con un mayor grado de detalle) por parte de un profesional en geotecnia responsable designado por la Administración para emitir las propuestas e implementar las obras requeridas, si fuese necesario.</i>  <i>Este informe de inspección de taludes tiene validez únicamente en su forma íntegra y original. No se permite la reproducción total ni parcial de este documento sin la autorización del director del LanammeUCR.</i>	
<b>8. Inspección e informe por:</b>  Ing. Gustavo A. Badilla Vargas, D.Sc. Inspector nivel 2 Programa de Ingeniería Geotécnica	<b>9. Revisado por:</b>  Lic. Nidia María Segura Jiménez Asesoría Legal LanammeUCR
<b>10. Revisado y aprobado por:</b>  Ing. Ana Lorena Monge Sandí, MSc. Coordinadora Programa Ingeniería Geotécnica	

## RESUMEN EJECUTIVO

Este informe tiene como propósito realizar una evaluación preliminar de los taludes a lo largo de la Ruta Nacional 413. 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 67 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad. No obstante, debido a la limitación encontrada en esta carretera 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 inspecciones, ni de los usuarios de la carretera, solo fue posible aplicar en dos 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 5+252 y 7+261 de la Ruta Nacional 413. Con base en esta evaluación se determinó que la condición de ambos taludes puede clasificarse como "media" y se sugiere realizar una evaluación específica del sitio, considerando la topografía actual y considerando 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 distribuidos a lo largo de toda la carretera, donde el tramo que concentra la mayor cantidad de puntos con evidencias de inestabilidad se ubica entre los estacionamientos 3+500 al 10+000 (35 puntos), tramo localizado entre la Finca Alberta de Danta y Pacayitas. 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 la mayoría de los taludes existentes carecen de sistemas adecuados 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. 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 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 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 .....	5
II.	OBJETIVOS .....	6
II.1	Objetivo general .....	6
II.2	Objetivos específicos .....	6
III.	ALCANCE DEL INFORME .....	7
IV.	DESCRIPCIÓN DE LOS TALUDES INSPECCIONADOS .....	8
V.	RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN .....	10
VI.	COMENTARIOS FINALES .....	14
VII.	RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LA INSPECCIÓN .....	18
VIII.	REFERENCIAS .....	19

## 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).

Dado lo anterior, el presente documento es un informe de inspección y evaluación de taludes de la Ruta Nacional 413 que se enmarca en las funciones de fiscalizador que la ley citada le confiere al LanammeUCR.

El trabajo realizado 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.

Específicamente, en el talud evaluado en el estacionamiento 5+252 se determinó que el material presente es un suelo residual cohesivo sin agrietamientos en la cara del talud. En la evaluación fue posible observar que el talud carece de sistemas para el manejo de escorrentía superficial lo cual eventualmente puede afectar la estabilidad del talud. Al momento de la inspección el talud se encontraba con evidencias de humedad a la mitad de la altura del talud, sin embargo, no fue observado un flujo de agua en la cara del talud. No obstante, es probable que esta condición varíe en la época lluviosa. Con base en la evaluación realizada, se determinó que la condición del talud puede clasificarse como "media" y se sugiere realizar una evaluación específica del sitio, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo.

Como parte de la evaluación, se implementó el uso de una herramienta simplificada 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 inspecciones 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.

Los resultados de esta evaluación representan un insumo que permitirá 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 taludes y laderas a lo largo de toda la Ruta Nacional 413 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 el talud y el estado que muestran al momento de la inspección
- Establecer si existe evidencia de movimiento o falla del talud bajo las condiciones del entorno en que se encuentra
- Verificar si existen obras de drenaje, manejo de aguas o estabilización
- Revisar si la condición del talud puede impactar directamente emplazamientos, vías o servicios cercanos que generen afectación a los usuarios de estos

El presente informe pretende establecer niveles de evaluación y clasificación de la condición de los taludes para la identificación de la necesidad o no de recomendaciones técnicas o intervenciones más profundas a cargo de profesionales en geotecnia asignados por la Administración, 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 determina 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 en el 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 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 Nacional 413, se realizó el recorrido de la ruta, capturando las coordenadas, y evidencia fotográfica de los sitios que bajo el criterio del profesional experto en el área fueron considerados de interés geotécnico para el monitoreo del comportamiento de los taludes y su afectación en la ruta.

En total fueron identificados 67 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad, de los cuales dos puntos fueron evaluados a detalle 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 los otros puntos se cuenta con el registro de su ubicación y referencia fotográfica como resultado de la aplicación de una herramienta simplificada de evaluación.

En la Tabla 2 se enlistan las ubicaciones de los registros de los sitios identificados con condiciones consideradas como evidencias de inestabilidad utilizando la herramienta simplificada. Por su parte, los taludes ubicados en los estacionamientos 5+252 (Latitud 9,87298057, Longitud -83,58545995) y 7+261 (Latitud 9,86935385, Longitud -83,59849032) fueron evaluados con la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02.

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	29/04/2024	542494,20	1089835,52	0+681	35	29/04/2024	26/09/3393	28/06/4889	7+485
2	29/04/2024	542396,92	1089924,42	0+896	36	29/04/2024	07/08/3393	25/10/4890	8+180
3	29/04/2024	542399,31	1089948,56	0+920	37	29/04/2024	05/09/3393	11/11/4890	8+286
4	29/04/2024	542742,33	1090300,57	1+622	38	29/04/2024	04/10/3393	29/12/4890	8+498
5	29/04/2024	542762,63	1090500,25	1+975	39	29/04/2024	20/12/3393	02/11/4890	8+597
6	29/04/2024	542758,79	1090666,34	2+214	40	29/04/2024	09/10/3394	28/05/4891	9+331
7	29/04/2024	543023,68	1090882,27	2+756	41	29/04/2024	01/08/3394	12/07/4891	9+417
8	29/04/2024	543060,09	1090982,17	2+931	42	29/04/2024	10/06/3394	22/01/4892	9+746
9	29/04/2024	543048,33	1091455,81	3+503	43	29/04/2024	30/01/3394	20/02/4892	9+938
10	29/04/2024	543285,69	1091428,80	3+796	44	29/04/2024	02/02/3394	25/05/4893	10+479
11	29/04/2024	543567,38	1091478,96	4+199	45	29/04/2024	09/07/3395	17/06/4894	11+266
12	29/04/2024	543660,20	1091531,09	4+329	46	29/04/2024	07/08/3395	12/09/4894	11+368
13	29/04/2024	543720,80	1091581,84	4+408	47	29/04/2024	546263,79	1094078,15	11+844
14	29/04/2024	543732,89	1091632,11	4+466	48	29/04/2024	546215,92	1094267,44	12+061
15	29/04/2024	543674,28	1091700,46	4+556	49	29/04/2024	546492,81	1094393,32	12+448
16	29/04/2024	543754,45	1091694,14	4+665	50	29/04/2024	546698,78	1094398,52	12+660
17	29/04/2024	543953,52	1091594,36	4+932	51	29/04/2024	546872,40	1094255,84	12+929
18	29/04/2024	543970,82	1091569,16	4+961	52	29/04/2024	546898,64	1094250,05	12+963
19	29/04/2024	544029,10	1091348,41	5+224	53	29/04/2024	546935,16	1094251,77	13+000
20	29/04/2024	544034,10	1091321,86	5+252	54	29/04/2024	546998,78	1094405,09	13+382
21	29/04/2024	544524,65	1091245,26	5+838	55	29/04/2024	546909,03	1094555,75	13+577
22	29/04/2024	544654,80	1091188,24	5+986	56	29/04/2024	547026,09	1094996,71	14+201
23	29/04/2024	544767,06	1091224,80	6+106	57	29/04/2024	547002,00	1095114,72	14+334
24	29/04/2024	544784,98	1091229,69	6+125	58	29/04/2024	547325,68	1095498,10	14+870
25	29/04/2024	544858,20	1091247,84	6+200	59	29/04/2024	547379,27	1095520,46	14+914
26	29/04/2024	544911,57	1091240,37	6+256	60	29/04/2024	547540,22	1095565,04	15+115
27	29/04/2024	545024,21	1091228,46	6+371	61	29/04/2024	547414,24	1097427,42	17+446
28	29/04/2024	545128,92	1091316,39	6+521	62	29/04/2024	547329,08	1097532,79	17+585
29	29/04/2024	545173,80	1091387,53	6+615	63	29/04/2024	546827,33	1097833,84	18+429
30	29/04/2024	545242,78	1091387,68	6+684	64	29/04/2024	546770,59	1097864,09	18+510
31	29/04/2024	545368,84	1091417,73	6+822	65	29/04/2024	547091,72	1098768,59	19+599
32	29/04/2024	545472,47	1091423,82	6+930	66	29/04/2024	546981,07	1099226,44	20+130
33	29/04/2024	545453,81	1091708,66	7+245	67	29/04/2024	546896,51	1099483,24	20+407
34	29/04/2024	545546,46	1091799,41	7+377					

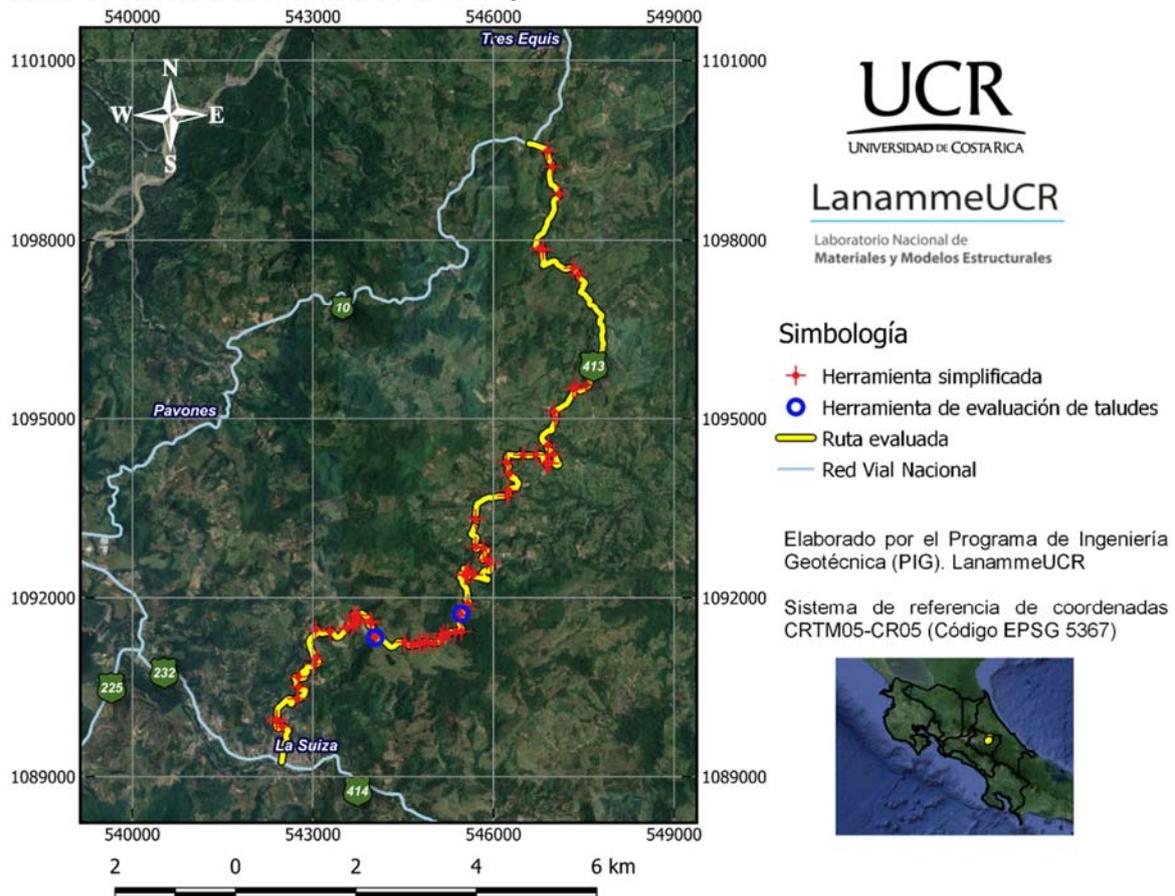
La herramienta simplificada surge a raíz de la limitación encontrada en esta carretera de montaña en cuanto a espacios disponibles para estacionar el vehículo sin obstruir el flujo del tránsito, sin poner en riesgo la vida de los operarios de las inspecciones y de los usuarios de la carretera. Con esta 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, en la Figura 1 se muestran con una cruz roja estos mismos sitios registrados 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.

Como se puede notar, la mayoría de los deslizamientos se encuentran distribuidos a lo largo de toda la carretera, donde el tramo que concentra la mayor cantidad de puntos con evidencias de inestabilidad se ubica entre los estacionamientos 3+500 al 10+000 (35 puntos), tramo localizado entre la Finca Alberta de Danta y Pacayitas.

Figura 1. Ubicación gráfica del inventario de taludes con evidencias de inestabilidad a lo largo del tramo de carretera de montaña de la RN413



## V. RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN

Los taludes inspeccionados, generalmente, presentan alturas entre los 3 m a 10 m y muestran evidencias de movimiento de material, reflejado por la presencia de coronas, árboles inclinados y deslizamientos. Adicionalmente se observaron 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 (ver Figura 2).

Figura 2. Condición de taludes inspeccionados en la Ruta Nacional 413



(a) evidencias de erosión en la cara del talud y ausencia de cunetas, estación 0+921



(b) evidencias de erosión, talud saturado a media altura y falta de cunetas, estación 4+665



(c) evidencias de erosión, deslizamientos y ausencia de cunetas, estación 6+106



(d) evidencias de erosión, deslizamientos y ausencia de cunetas, estación 6+371



(e) evidencias de erosión en la cara del talud y ausencia de cunetas, estación 16+684



(f) evidencias de erosión en la cara del talud y ausencia de cunetas, estación 14+334

En general, no se observó la presencia de cunetas o contracunetas las cuales se consideran esenciales para asegurar la estabilidad de los taludes. De esta manera, 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, de ser así, 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.

Por otro lado, fue posible observar que la mayoría de los taludes de relleno no tienen cunetas o algún otro mecanismo de control de la escorrentía superficial entre la superficie de ruedo y el borde del talud. Es importante mencionar que, en estos casos, esta zona corresponde a la corona del talud de relleno, por lo que la falta de control del agua superficial puede generar una reducción de la resistencia, favoreciendo la inestabilidad y deformaciones en la capa de ruedo. Lo anterior se reflejó con la presencia de pérdida de la sección transversal de la superficie de ruedo (ver Figura 3a), situación que, si no es tratada en el momento oportuno, puede generar una falla y una pérdida mayor en la sección transversal. En otros casos, se observó que algunos puntos han sido intervenidos con la construcción de muros de retención (muros de gaviones), no obstante, en algunos puntos no se colocaron cunetas u otra estructura similar (Figura 3b). En el caso que fue considerada la colocación de cunetas, estas se encontraban obstruidas (Figura 3d), o bien, únicamente cubrían la longitud de la intervención (Figura 3c).

Figura 3. Condición de los taludes de relleno inspeccionados en la Ruta Nacional 413



(a) pérdida de sección, ausencia de cunetas y evidencias de deslizamiento, estación 11+368



(b) punto intervenido con un muro de retención, pero sin cunetas, estación 14+914



(c) punto que ha sido previamente intervenido con un muro de retención, presencia de cunetas únicamente en el sector intervenido, estación 5+252



(d) punto que ha sido previamente intervenido con un muro de retención, presencia de cunetas obstruidas, estación 4+959

Para el tramo que concentra la mayor cantidad de puntos con evidencias de inestabilidad se ubica entre los estacionamientos 3+500 al 10+000 (35 puntos), tramo localizado entre la Finca Alberta de Danta y Pacayitas se considera apropiado realizar análisis especializados de estabilidad, considerando la topografía actual y valorando escenarios con saturación del terreno y sismo.

Para esto es recomendable realizar un levantamiento topográfico del talud y analizarlo en softwares especializados aplicando la geometría representativa del sitio. Una posibilidad para contar con la topografía del sitio es realizar el levantamiento con Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) para la generación de Modelos de Elevación Digital (MED), y posteriormente analizarlos con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente los taludes ubicados en los estacionamientos 5+252 (Latitud 9,87298057, Longitud -83,58545995) y 7+261 (Latitud 9,86935385, Longitud -83,59849032) fueron evaluados con la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02, esta herramienta permitió realizar una caracterización de la condición del talud, de las evidencias de movimiento presente en el mismo y de las condiciones del entorno de este, asignando una calificación acorde con lo observado en campo.

Específicamente, en la Tabla 3 se pueden ver los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 5+252. Esta se puede resumir como sigue: el material presente en este talud es material de suelo residual cohesivo de alta rigidez sin agrietamientos en la cara del talud. Su pendiente es de aproximadamente 73°, por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 24 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma compuesta en el cual no se han presentado fallas. Aunque no fue posible notar evidencias de movimiento con la presencia de árboles inclinados, formación de coronas, levantamiento en el pie del talud, grietas alrededor del talud o material caído, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a la evolución de las fallas y eventuales deslizamientos.

Adicionalmente, no fueron observadas obras para el control de la escorrentía superficial en la cara del talud, ni la presencia de contracunetas o cunetas en la base del talud. Esta falta de control de la escorrentía representa una condición desfavorable para la estabilidad del talud ya que incrementa los efectos de la erosión. Al momento de la inspección el talud se encontraba con evidencias de humedad a la mitad de la altura del talud, sin embargo, no fue observado 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 413) se observó la presencia de viviendas y redes eléctricas, no fueron observadas otras estructuras cercanas como puentes, agua potable o pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como "media" y se considera necesario realizar una evaluación específica del sitio, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo para establecer las recomendaciones técnicas pertinentes para la atención de este talud.

Tabla 3. Talud en el estacionamiento 5+252

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Gustavo Badilla	<p>Condición actual del talud evaluado, la cual consiste en un talud de suelo cohesivo sin agrietamientos de aproximadamente 24 m de altura</p>  <p>El talud muestra algunas evidencias de erosión. No se observa la presencia de cunetas, contracunetas u otra medida de control de escorrentía superficial</p> 
	Fecha	26/04/2024	
	Ruta	413	
	Latitud	9,87298057	
	Longitud	-83,58545995	
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm	
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	73°	
	Altura del talud	24 m	
	Material predominante	Suelo	
	Estado del suelo	Suelo residual	
	Naturaleza del suelo	Cohesivo	
	Agrietamiento cara del talud	Sin grietas	
	Vegetación	Arbustos	
Uso de suelo	Camino/carretera		
<b>Condición del talud</b>	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	A media altura	
	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	Más de 15 m	
	Presencia de vías	0 m - 3 m	
	Tipo de vía	Arterial	
	Presencia de redes eléctricas	0 m - 3 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>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 7+261. Esta se resume como sigue: el material presente en este talud es un material de suelo residual cohesivo medianamente agrietado. Su pendiente es de aproximadamente 60°, por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 18 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma compuesta y que muestra evidencias de un deslizamiento rotacional. Fue posible notar otras evidencias de movimiento con la presencia de árboles inclinados, la formación de coronas y grietas alrededor del talud. En el momento de la evaluación no se observó material caído. Tampoco se observaron obras de retención en este talud.

Adicionalmente, no fueron observadas obras para el control de la escorrentía superficial en la cara del talud, ni la presencia de contracunetas o cunetas en la base del talud. Esta falta de control de la escorrentía combinado con los agrietamientos de la cara del talud, son condiciones desfavorables para la estabilidad del talud ya que incrementa los efectos de la erosión. Al momento de la inspección el talud se encontraba con evidencias de humedad hasta la corona del talud, sin embargo, no fue observado 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 413) y redes eléctricas, no fueron observadas otras estructuras cercanas como puentes, viviendas, agua potable o pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como "media" y se considera necesario realizar una evaluación específica del sitio, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo para establecer las recomendaciones técnicas pertinentes para la atención de este talud.

Tabla 4. Talud en el estacionamiento 7+261

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Gustavo Badilla	<p>Condición actual del talud evaluado, la cual consiste en un talud de suelo residual medianamente agrietado de aproximadamente 18 m de altura</p>  <p>Evidencias de erosión en la cara del talud. No se observa la presencia de cunetas, contracunetas u otra medida de control de escorrentía superficial</p> 
	Fecha	26/04/2024	
	Ruta	413	
	Latitud	9,86935385	
	Longitud	-83,59849032	
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm	
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	60°	
	Altura del talud	18 m	
	Material predominante	Suelo	
	Estado del suelo	Suelo residual	
	Naturaleza del suelo	Cohesivo	
	Agrietamiento cara del talud	Medianamente agrietado	
	Vegetación	Arbustos	
	Uso de suelo	Camino/carretera	
<b>Condición del talud</b>	Falla en el talud	Deslizamiento rotacional	
	Forma del Talud	Compuesta	
	Manejo de escorrentía	No hay manejo de escorrentía	
	Afectación por escorrentía	Formación de cárcavas	
	Agua en el talud	En la corona	
	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	Grietas alrededor del talud	
	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	0 m - 3 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>Media - Evaluación específica del sitio</b>	



Por la condición observada en campo para los taludes evaluados se recomienda implementar un adecuado sistema de manejo de agua de escorrentía superficial que incluya cunetas, contracunetas y estructuras de canalización de agua de escorrentía superficial, y considerar una mejora en el sistema de drenajes existente, o bien, llevar a cabo un diseño y construcción sistemas de drenaje específicos y adecuados para cada uno de los taludes. Además, se recomienda utilizar métodos adecuados para el control de la erosión superficial, tales como la colocación de vegetación, geomantas, biomantas, entre otros.



## VI. COMENTARIOS FINALES

Después de realizar la visita de campo a la Ruta Nacional 413, de manera general se resalta que casi la totalidad de los taludes existentes carecen de sistemas adecuados 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. Igualmente se recomienda utilizar métodos adecuados para el control de la erosión superficial, tales como la colocación de vegetación, geomantas, biomantas, entre otros.

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 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 que tiene el agua en la estabilidad de los taludes y laderas, así como también 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 y a los usuarios de la ruta.

Adicionalmente, cuando se requiera un análisis más específico, resulta apropiado, de ser posible, identificar la superficie de falla crítica en la modelación tridimensional, para luego 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 de la condición de estos taludes por parte del ingeniero especializado en geotecnia a cargo asignado por la Administración.

Finalmente se considera importante complementar los análisis de estabilidad incluyendo el componente de esfuerzo-deformación en las zonas próximas a la superficie de ruído 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 del terreno 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 la evaluación realizada de 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 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 inspeccionados y, posterior a esto, realizar los respectivos análisis de estabilidad.

Adicionalmente, de la visita de campo realizada, fue posible observar que los taludes inspeccionados carecen de sistemas de drenaje superficial y control de la escorrentía. 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 inventariados, 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.

Se considera recomendable la colocación de métodos adecuados para el control de la erosión superficial, tales como: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros, en los sitios que se determine pertinente a raíz de una inspección y evaluación más a detalle. Estos métodos deben contar con un diseño específico para el sitio evaluado y su selección 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 inspección y evaluación apropiada del sitio concreto, 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 analizarlos 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 con evidencias de inestabilidad se ubica entre los estacionamientos 3+500 al 10+000 (35 puntos), tramo localizado entre la Finca Alberta de Danta y Pacayitas.



## 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.