



# Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: EIC-Lanamme-INF-1439-2024

## INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL 145



Preparado por:

Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica  
Setiembre, 2024



<b>1. Informe:</b> EIC-Lanamme-INF-1439-2024	<b>2. Versión No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL 145	<b>4. Fecha del Informe</b> 05/09/2024
<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> El presente informe de inspección de los taludes de la ruta nacional N°145, 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.  Debido a las condiciones de estabilidad observadas a lo largo de la ruta nacional N°145, 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. Se encontraron 71 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad, que entre otros rasgos presentan afectación por mal manejo de escorrentía superficial y erosión.  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, que deben ser realizados por el profesional en geotecnia responsable de emitir las propuestas e implementar las obras requeridas designado por la Administración, si fuese necesario.  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.	
<b>8. Inspección e informe por:</b>  Ing. Laura Solano Matamoros Inspectora nivel 2 Programa de Ingeniería Geotécnica	<b>9. Revisado por:</b>  Lic. Giovanni Sancho Sanz Asesoría Legal LanammeUCR
<b>10. Revisado y aprobado por:</b>  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 N°145. Este informe presenta los resultados de la aplicación de la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02 y el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V02, elaborado por el Programa de Ingeniería Geotécnica (PIG) del LanammeUCR y cuya validación se realiza en campo con criterio profesional experto.

En total fueron identificados 71 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 y de los usuarios de la carretera, y las condiciones en sí de la carretera, solo fue posible identificar a la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio y una fotografía de la condición. A partir de esta evaluación fue posible identificar que los tramos de carretera que concentra la mayor densidad de sitios con indicios de inestabilidad se localizan entre los estacionamientos 9+400 al 19+200 y del 32+900 al 41+406.

Así pues, identificados los tramos con mayor cantidad de taludes con evidencias de inestabilidad, es posible realizar en visitas de campo posteriores la aplicación de 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.

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 para evitar que se magnifiquen los problemas de estabilidad que fueron observados. Además, también se recomienda colocar 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 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 .....	11
VI.	COMENTARIOS FINALES.....	16
VII.	RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LA INSPECCIÓN .....	17
VIII.	REFERENCIAS .....	18



## 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 N°145 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.

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.

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 N°145 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 y el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V 02, 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*

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
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.



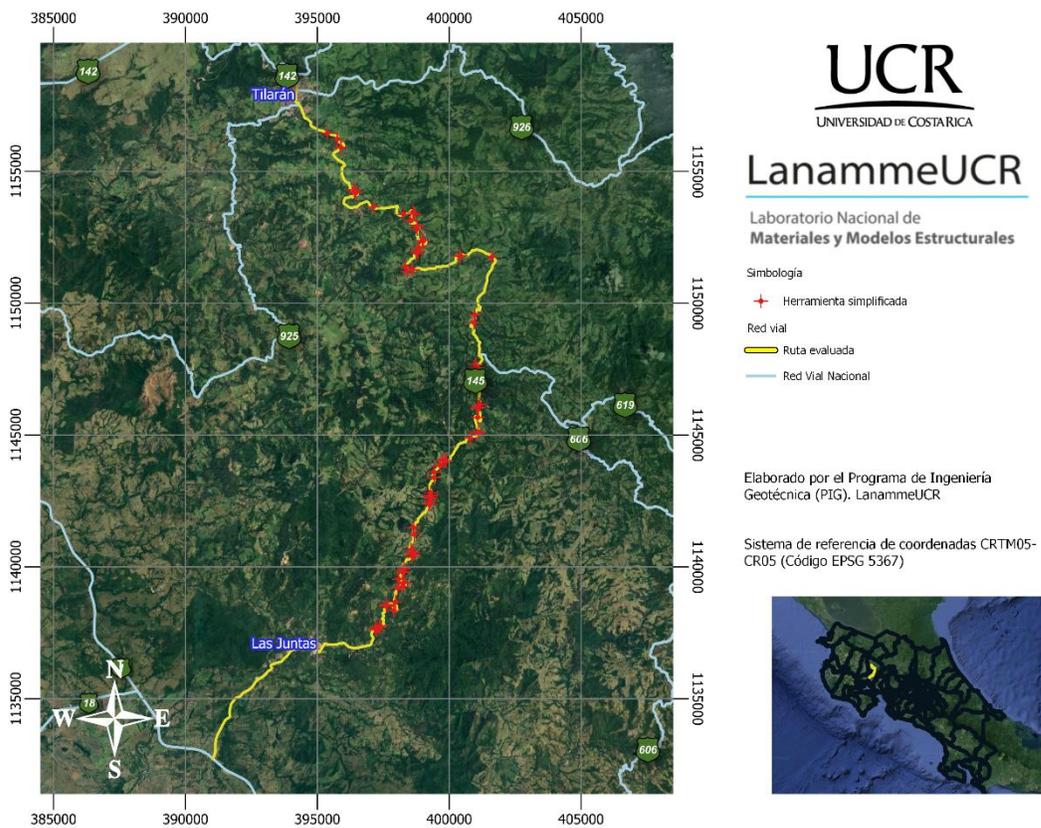
#### IV. DESCRIPCIÓN DE LOS TALUDES INSPECCIONADOS

Con la finalidad de evaluar la condición desde el punto de vista geotécnico de los taludes y laderas de la ruta nacional N°145 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 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 para el monitoreo del comportamiento de los taludes y su afectación en la ruta.

En total fueron identificados 71 sitios con alguna evidencia de inestabilidad. En la Figura 1 se muestran los sitios identificados con algún indicio de inestabilidad. En la Tabla 2 se enlistan estos mismos sitios y las coordenadas registradas con la herramienta simplificada.

Figura 1

Ubicación de los sitios con evidencia de inestabilidad en la ruta nacional N°145





**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	24/7/2024	397203,34	1137655,67	9+497	37	24/7/2024	401103,28	1145076,23	20+824
2	24/7/2024	397244,01	1137611,60	9+556	38	24/7/2024	401105,89	1145121,38	20+872
3	24/7/2024	397362,13	1137740,19	9+764	39	24/7/2024	401081,66	1145670,42	21+600
4	24/7/2024	397389,13	1137760,05	9+801	40	24/7/2024	401073,13	1146014,15	22+321
5	24/7/2024	397616,22	1138506,38	10+788	41	24/7/2024	401114,70	1146056,57	22+381
6	24/7/2024	397610,30	1138527,93	10+811	42	24/7/2024	401160,91	1146168,63	22+506
7	24/7/2024	397628,57	1138576,11	10+867	43	24/7/2024	401047,40	1147559,16	24+351
8	24/7/2024	397897,99	1138343,72	11+407	44	24/7/2024	400990,01	1147669,37	24+489
9	24/7/2024	397967,55	1138667,65	11+922	45	24/7/2024	400940,27	1149267,60	26+608
10	24/7/2024	398054,49	1139204,57	12+517	46	24/7/2024	400973,95	1149559,45	26+907
11	24/7/2024	398240,28	1139266,97	12+740	47	24/7/2024	401622,37	1151755,68	29+596
12	24/7/2024	398285,96	1139405,65	12+990	48	24/7/2024	400427,04	1151801,66	31+009
13	24/7/2024	398089,10	1139536,75	13+248	49	24/7/2024	400395,44	1151787,40	31+046
14	24/7/2024	398237,37	1139796,41	13+573	50	24/7/2024	398613,91	1151267,88	33+120
15	24/7/2024	398238,48	1139825,96	13+603	51	24/7/2024	398418,21	1151209,71	33+330
16	24/7/2024	398291,45	1139934,79	13+739	52	24/7/2024	398346,02	1151377,92	33+556
17	24/7/2024	398601,94	1140388,10	14+423	53	24/7/2024	398761,58	1151901,88	34+279
18	24/7/2024	398628,37	1140465,70	14+512	54	24/7/2024	398821,84	1151962,58	34+364
19	24/7/2024	398623,47	1140550,21	14+601	55	24/7/2024	398850,91	1152114,11	34+520
20	24/7/2024	398553,36	1140643,90	14+722	56	24/7/2024	399028,73	1152371,67	35+045
21	24/7/2024	398675,03	1141231,69	15+397	57	24/7/2024	398980,97	1152378,91	35+094
22	24/7/2024	398651,60	1141488,10	15+663	58	24/7/2024	398790,71	1152820,44	35+696
23	24/7/2024	399232,18	1142373,79	16+770	59	24/7/2024	398786,82	1152913,61	35+907
24	24/7/2024	399286,36	1142488,99	16+904	60	24/7/2024	398542,66	1153132,65	36+364
25	24/7/2024	399287,13	1142598,99	17+015	61	24/7/2024	398683,58	1153384,01	36+753
26	24/7/2024	399289,39	1142627,38	17+044	62	24/7/2024	398629,05	1153457,80	36+855
27	24/7/2024	399294,29	1142697,08	17+114	63	24/7/2024	398280,11	1153363,77	37+284
28	24/7/2024	399297,41	1142716,54	17+135	64	24/7/2024	397117,84	1153649,60	38+820
29	24/7/2024	399296,22	1142807,66	17+226	65	24/7/2024	396450,65	1154175,89	41+012
30	24/7/2024	399434,36	1143386,67	17+930	66	24/7/2024	396443,57	1154198,07	41+034
31	24/7/2024	399420,85	1143600,31	18+225	67	24/7/2024	396404,18	1154311,69	41+193
32	24/7/2024	399646,85	1143860,11	18+619	68	24/7/2024	396390,30	1154294,41	41+216
33	24/7/2024	399749,41	1144049,03	18+900	69	24/7/2024	395890,85	1155906,94	43+454
34	24/7/2024	399827,35	1144025,70	18+982	70	24/7/2024	395759,28	1156221,62	43+985
35	24/7/2024	399877,40	1144019,30	19+033	71	24/7/2024	395382,34	1156443,55	44+523
36	24/7/2024	400798,15	1144885,08	20+429					



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.

Esta herramienta consiste en un levantamiento rápido en el cual se almacena únicamente la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio y una fotografía de la condición. En la Figura 1 se muestran con una cruz roja los sitios registrados con la herramienta simplificada.

De manera general la ruta nacional N°145 no presenta afectaciones que impliquen un riesgo geotécnico importante, ya que pareciera responder a patrones de afectación por deficiencias en el manejo de agua de escorrentía superficial y con recomendaciones generales y reconformación de la geometría de algunos taludes, se considera suficiente para mejorar la condición geotécnica de la ruta. Por este motivo, se realizaron únicamente levantamientos con la herramienta simplificada en los que se obtiene coordenadas exactas del sitio y la fotografía de la condición. Esta información es suficiente para mantener monitoreada la ruta e identificar si las afectaciones identificadas cambian con el tiempo.



## 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 N°145, 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, de los sitios identificados con evidencia de inestabilidad de la ruta nacional N°145, en los que las condiciones de la carretera permitieron 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

En la Figura 2 se presentan a manera de ejemplo la condición observada de manera recurrente a lo largo de la ruta nacional N°145, como consecuencia de la afectación por escorrentía y la deficiencia en las estructuras para el manejo de agua de escorrentía superficial, ausencia de sistemas de drenaje de agua de infiltración y sistemas para el control de la erosión en los taludes.

En la Figura 2 a y b se puede apreciar la acumulación de pequeños volúmenes de material caídos y que al momento de la evaluación se encontraban acumulados al pie del talud. En el caso específico de la Figura 2 a, se identifica la estructura de la cuneta la cual presenta fracturamiento y además se encontró obstruida por el material caído. En la Figura 2 b y c se señala la afectación en el pie del talud producto de la escorrentía superficial, y específicamente en la Figura 2 d se evidencia la erosión al pie del talud por la ausencia de la estructura de la cuneta para el manejo del agua.

De manera general se estima recomendable implementar sistemas para el control de erosión y manejo de agua de escorrentía superficial, con el fin de evitar que las condiciones identificadas al momento de la evaluación se magnifiquen, así como limpieza del material caído acumulado al pie del talud y que obstruye la cuneta.

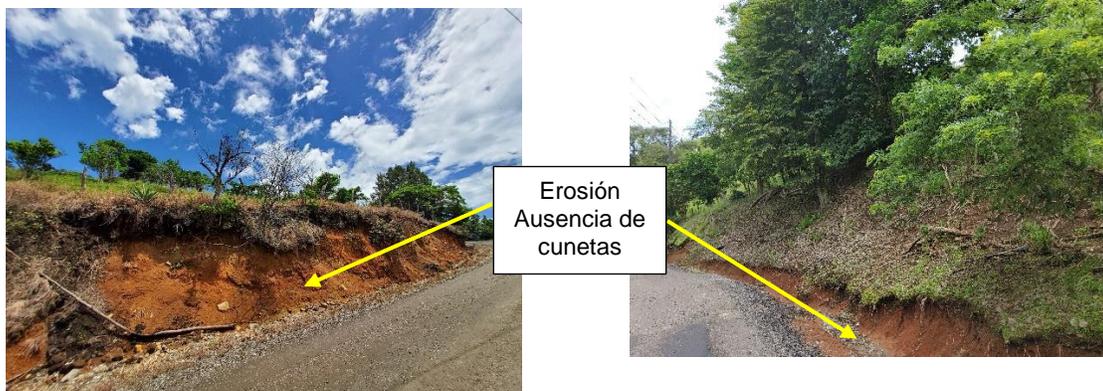
**Figura 2**

*Afectación por escorrentía a lo largo de la ruta nacional N°145*



(a) Est. 10+787

(b) Est.13+602



(c) Est. 20+428

(d) Est. 26+907

Durante la inspección se identificaron algunos sitios en los que se observa un deterioro del pavimento, reducción del ancho de la vía, e incluso evidencia de medidas para intentar mantener el nivel de la superficie, esta condición se presenta en la Figura 3, en la que se muestran los taludes de la margen inferior a la carretera ubicados en los estacionamientos 11+920, 13+032 y 41+010 respectivamente.

En la Figura 3 a, se identifica un muro de gaviones en el talud inferior a la carretera, el muro presenta señales de deterioro tales como, pérdida de material de relleno de las celdas, cortes en la malla y deformaciones. Además, la cuneta y el pavimento en la corona del muro presenta alto grado de agrietamiento.

En la Figura 3 b, se ubica una superficie de falla característica de un deslizamiento rotacional, que, además, ocasionó la pérdida de sección de la vía. Por último, en la Figura 3 c se señala el agrietamiento del pavimento y desalineamiento de la estructura de la cuneta, además, se observan árboles inclinados, indicadores de inestabilidad del talud ubicado en la margen inferior de la carretera.

### Figura 3

*Inestabilidad en el talud de la margen inferior de la carretera*



(a) Est.11+920

(b) Est. 19+032



(c) Est. 41+010

Dada la ubicación de los taludes de la Figura 3, no fue posible acceder a él para realizar la evaluación con la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02, por lo que se considera apropiado realizar análisis especializados de estabilidad, considerando la pendiente actual en condiciones críticas (saturación y sismo). Para esto es recomendable realizar 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



EIC-Lanamme-INF-1439-2024	Código: RC-546-v01. Vigente desde: 30/11/2023	Página 14 de 18
---------------------------	---	-----------------

Elevación Digital (MED), y posteriormente realizar análisis con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión.

Adicionalmente, se considera importante complementar los análisis de estabilidad con análisis de esfuerzo deformación en las zonas próximas a la superficie de ruedo usando el Método de Elementos Finitos (MEF), con la finalidad de incluir un análisis de deformaciones en los taludes y sectores próximos a éstos, y establecer 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.

En la Figura 4 se muestran cuatro sitios que presentan una superficie de falla en taludes de más de 10 m de altura. Entre las principales observaciones, que se repiten en los cuatro casos y a lo largo de toda la ruta, se destaca la ausencia de estructuras para el manejo de agua de escorrentía superficial. Además, se presenta acumulación de material al pie del talud, humedad en su cara y pendientes escarpadas.

Particularmente, el talud del estacionamiento 18+225 (Figura 4 b) es un talud de roca que presenta una falla por cuña. En el caso del talud del estacionamiento 36+854 (Figura 4 d), se presenta una forma compuesta como consecuencia de la presencia de dos superficies de falla, siendo del tipo rotacional la zona del medio superior del talud y traslacional la señalada en la zona medio inferior.

De manera general se estima recomendable implementar sistemas para el control de erosión y manejo de agua de escorrentía superficial, con el fin de evitar que las condiciones identificadas al momento de la evaluación se magnifiquen, así como limpieza del material caído acumulado al pie del talud y que obstruye la cuneta.

Adicionalmente, en el caso de los taludes que presenta superficies de falla 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 4**  
Afectación por escorrentía a lo largo de la ruta nacional N°145



(a) Est. 14+722



(b) Est. 18+225



(c) Est. 24+351



(d) Est. 36+854



## VI. COMENTARIOS FINALES

Después de realizar la visita de campo a la ruta nacional N°145, 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.

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 los análisis del presente informe, y 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, 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, y en especial aquellos estacionamientos en los que se identifican pérdida de la sección de la vía, agrietamiento en el pavimento y estructuras de retención en mal estado, 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, pseudoestática, seca y saturada. Este enfoque permite simular el comportamiento de la misma superficie de falla bajo diferentes condiciones y, de esta manera, obtener resultados más representativos. Estos resultados proporcionarán la base para ofrecer recomendaciones específicas por parte de un ingeniero especializado en geotecnia que esté a cargo del proyecto asignado por la Administración.

Finalmente 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 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 la visita de campo realizada, fue posible observar que 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.

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 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 realizar análisis con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión, especialmente en los tramos que concentran la mayor cantidad de puntos con evidencias de inestabilidad ubicados entre los estacionamientos 9+400 al 19+200 y del 32+900 al 41+406.



## 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.