

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: EIC-Lanamme-INF-1203-2024

INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL 408



Preparado por:

Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Setiembre, 2024

1. Informe: EIC-Lanamme-INF-1203-2024	2. Versión No. 1
3. Título y subtítulo: INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL 408	4. Fecha del Informe 02/09/2024
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440	
6. Palabras clave Ninguna	
7. Resumen <i>El presente informe de inspección de los taludes de la Ruta Nacional 408, 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 408, 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 35 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 21+000 al 24+000 (14 puntos), que corresponde al tramo localizado entre la Escuela Ambiental de Taus y El Humo.</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>	
8. Inspección e informe por: Ing. Gustavo A. Badilla Vargas, D.Sc. Inspector nivel 2 Programa de Ingeniería Geotécnica	9. Revisado por: Lic. Nidia María Segura Jiménez Asesoría Legal LanammeUCR
10. Revisado y aprobado por: 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 408. 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 35 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 un talud 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; el cual se ubicaba en el estacionamiento 23+248 de la Ruta Nacional 408. 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.

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 21+000 al 24+000 (14 puntos), que corresponde al tramo localizado entre la Escuela Ambiental de Taus y El Humo. 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	15
VIII.	REFERENCIAS	16

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 408 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 23+248 se determinó que el material presente es un suelo residual cohesivo medianamente agrietado. En la evaluación fue posible observar que la falta de manejo de escorrentía superficial ha favorecido la presencia de erosión superficial en la cara del talud. Al momento de la inspección el talud se encontraba seco, 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.

Adicionalmente, 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. En total fueron identificados 35 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 una cantidad mayor se ubica entre los estacionamientos 21+000 al 24+000 (14 puntos), que corresponde al tramo localizado entre la Escuela Ambiental de Taus y El Humo.

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 408 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 408, 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 35 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad, de los cuales uno fue evaluado 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, el talud ubicado en el estacionamiento 23+248 (Latitud 9,80040857, Longitud -83,71364882) fue evaluado 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

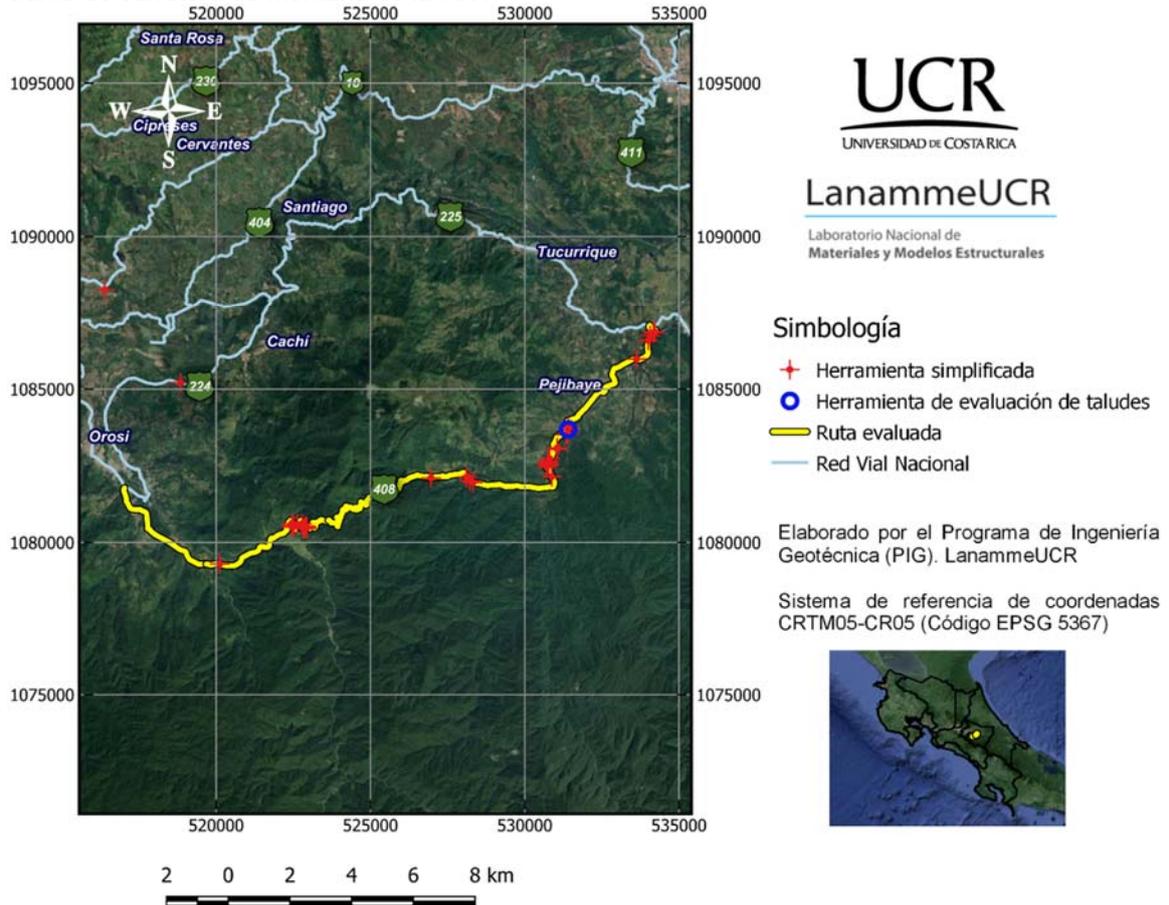
#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est.	#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est.
		Este	Norte				Este	Norte	
1	09/02/2024	520117,07	1079301,87	4+569	19	09/02/2024	530777,18	1082519,87	21+586
2	09/02/2024	522464,75	1080622,64	7+811	20	09/02/2024	530773,22	1082553,55	21+620
3	09/02/2024	522463,18	1080553,49	7+883	21	09/02/2024	530757,31	1082620,69	21+690
4	09/02/2024	522465,66	1080506,79	7+930	22	09/02/2024	530771,18	1082648,46	21+731
5	09/02/2024	522517,75	1080526,49	8+195	23	09/02/2024	530806,42	1082733,89	21+824
6	09/02/2024	522633,52	1080589,97	8+337	24	09/02/2024	531060,65	1083039,96	22+237
7	09/02/2024	522788,38	1080599,91	8+682	25	09/02/2024	531059,98	1083085,87	22+283
8	09/02/2024	522823,71	1080453,72	8+951	26	09/02/2024	531351,87	1083521,14	22+838
9	09/02/2024	522875,48	1080470,57	9+003	27	09/02/2024	531389,58	1083530,72	22+876
10	09/02/2024	522933,31	1080458,23	9+064	28	09/02/2024	531398,10	1083549,23	22+897
11	09/02/2024	522935,72	1080477,03	9+260	29	09/02/2024	531413,77	1083682,29	23+247
12	09/02/2024	522902,98	1080526,44	9+426	30	09/02/2024	531421,51	1083757,86	23+337
13	09/02/2024	526963,07	1082100,98	16+443	31	09/02/2024	533626,43	1085980,14	27+145
14	09/02/2024	528117,77	1082133,36	17+725	32	09/02/2024	534004,07	1086586,75	28+032
15	09/02/2024	528224,09	1082003,05	17+916	33	09/02/2024	534068,07	1086739,11	28+196
16	09/02/2024	528326,87	1081953,93	18+033	34	09/02/2024	534169,06	1086837,42	28+335
17	09/02/2024	530878,17	1082146,58	21+059	35	09/02/2024	534219,57	1086858,21	28+388
18	09/02/2024	530714,51	1082464,05	21+468					

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 el sitio inspeccionado y evaluado 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 21+000 al 24+000 (14 puntos), tramo localizado entre la Escuela Ambiental de Taus y El Humo.

Figura 1. Ubicación gráfica del inventario de taludes con evidencias de inestabilidad a lo largo del tramo de carretera de montaña de la RN408



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. Además, se observaron evidencias de erosión superficial y en algunos casos se detectan 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 408



(a) evidencias de deslizamientos en el talud y ausencia de cunetas, estación 4+569



(b) evidencias de deslizamientos en el talud y ausencia de cunetas, estación 7+930



(c) evidencias de deslizamientos en el talud y ausencia de cunetas, estación 22+897



(d) evidencias de erosión, deslizamientos y ausencia de cunetas, estación 21+586



(e) evidencias de erosión, deslizamientos y ausencia de cunetas, estación 22+237

En general, la superficie de ruedo de esta carretera consiste en lastre y en el caso de los taludes, casi en su totalidad, 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 estima 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 colocación de métodos adecuados para el manejo de erosión, a saber: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros.

Por otro lado, fue posible observar que algunos 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 correspondería 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 puede ver reflejado con la presencia de pérdida de la sección transversal de la superficie de ruedo, tal y como se observa en la Figura 3, situación que, si no es tratada en el momento oportuno, puede generar una falla y una pérdida mayor en la sección transversal o ancho del pavimento.

Figura 3. Condición de los taludes de relleno inspeccionados en la Ruta Nacional 408



(a) borde de la carretera sin la presencia de cunetas, estación 21+468



(b) borde de la carretera sin la presencia de cunetas, estación 17+916



(c) borde de la carretera sin la presencia de cunetas, estación 22+237



(d) borde de la carretera sin la presencia de cunetas, estación 23+247

Para el sector con mayor concentración o densidad de taludes con evidencias de deslizamientos, entre los estacionamientos 21+000 al 24+000 (14 puntos), tramo localizado entre la Escuela Ambiental de Taus y El Humo 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 para efectuar el análisis 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 realizar análisis con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente el talud ubicado en el estacionamiento 23+248 fue evaluado con la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes", 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. Esta se puede resumir como sigue: el material presente en este talud es un suelo residual cohesivo medianamente agrietado. Su pendiente es de aproximadamente 55°, por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 25 m. Por lo observado en campo, aunque este talud no presenta material caído, si presenta evidencias de movimiento con la formación de coronas.

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, promoviendo la formación de cárcavas. Al momento de la inspección el talud se encontraba seco, no obstante, es probable que esta condición varíe en la época lluviosa.

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (Ruta Nacional 408), redes eléctricas y un puente vehicular cercano, no fueron observadas otras estructuras cercanas como viviendas, 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, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo.

Adicionalmente, debido a que este talud se encuentra dentro del sector con mayor concentración o densidad de taludes con evidencias de deslizamientos, se considera prioritario realizar el levantamiento topográfico y la generación de un MED para realizar los análisis especializados correspondientes y poder establecer así, las recomendaciones técnicas para la atención de este talud.

Por la condición observada en campo, para todos 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.

Tabla 3. Talud en el estacionamiento 23+248

Datos Generales	Profesional a cargo	Gustavo Badilla	Condición actual del talud evaluado, la cual consiste en un talud de suelo de aproximadamente 25 m de altura 
	Fecha	09/02/2024	
	Ruta	408	
	Latitud	9,80040857	
	Longitud	-83,71364882	
	Precipitación	3000 mm - 4500 mm	
Caracterización del talud	Pendiente	55°	
	Altura del talud	25 m	
	Material predominante	Suelo	
	Estado del suelo	Suelo Residual	
	Naturaleza del suelo	Cohesivo	
	Agrietamiento en la cara del talud	Medianamente agrietado	
	Vegetación	Pastos Naturales	
	Uso de suelo	Camino/carretera	
Condición del talud	Falla en el talud	Compuesto	Evidencias de erosión en la cara del talud. No se observa la presencia de cunetas, contracunetas u otra medida de control de escorrentía superficial 
	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	
Evidencia de movimiento	Evidencia de movimiento	Si	Se observó la formación de cárcavas asociadas con la erosión por escorrentía superficial 
	Árboles inclinados	No	
	Formación de Coronas	Si	
	Levantamiento al Pie del Talud	No	
	Grietas en terreno	Grietas alrededor del talud	
	Material caído	No	
Estructuras cercanas	Presencia de obras de retención	No hay	
	Presencia de viviendas y comercios	No hay	
	Presencia de vías	0 m - 3 m	
	Tipo de vía	Local	
	Presencia de redes eléctricas	8 m - 15 m	
	Presencia de red de agua potable	No hay	
	Presencia de puentes vehiculares	Más de 15 m	
	Presencia de pasos peatonales	No hay	
	Presencia de cultivos	No hay	
Recomendación final		Media - Evaluación específica del sitio	



VI. COMENTARIOS FINALES

Después de realizar la visita de campo a la Ruta Nacional 408, 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 colocar 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, se sugiere además 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 la componente 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 probables afectaciones que puede sufrir la vía, debido a 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 recomienda la utilización 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 realizar análisis con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión, especialmente entre los estacionamientos 21+000 al 24+000 (14 puntos), el cual corresponde al tramo localizado entre la Escuela Ambiental de Taus y El Humo.



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.