



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: EIC-Lanamme-INF-1424-2024

INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL N° 606



Preparado por:

Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Agosto, 2024



1. Informe: EIC-Lanamme-INF-1424-2024	2. Versión No. 1
3. Título y subtítulo: INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL N° 606	4. Fecha del Informe 22/08/2024
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 606, 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 606, 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 106 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad, que entre otros rasgos presentan afectación por mal manejo de escorrentía superficial y erosión. Adicionalmente, se lograron inspeccionar y evaluar un total de 5 puntos con mayor especificidad.</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, que deben ser realizados por el profesional en geotecnia responsable de 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. Laura Solano Matamoros Inspectora nivel 2 Programa de Ingeniería Geotécnica	9. Revisado por: Lic. Giovanni Sancho Sanz Asesoría Legal LanammeUCR
10. Revisado y aprobado por: 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 606.

Este informe presenta los resultados de la aplicación de la herramienta y el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V 01, elaborado por el PIG del LanammeUCR y cuya validación se realiza en campo con criterio profesional experto.

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.

Es importante enfatizar que, aunque este informe cuenta con un respaldo técnico adecuado, corresponde a los resultados de una evaluación 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 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.....	26
VII.	RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LA INSPECCIÓN	27
VIII.	REFERENCIAS	28



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 606 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 606 y su entorno, para determinar si en su estado actual amerita realizar estudios y análisis adicionales para establecer su condición de estabilidad.

II.2 *Objetivos específicos*

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

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



III. ALCANCE DEL INFORME

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

En este sentido, la evaluación realizada establece dos áreas generales de estudio, a saber:

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

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

Tabla 1

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

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



IV. DESCRIPCIÓN DE LOS TALUDES INSPECCIONADOS

Con la finalidad de evaluar la condición desde el punto de vista geotécnico de los taludes y laderas de la ruta nacional 606 y contar con un inventario de los taludes o laderas que presentan indicios de inestabilidad a lo largo del sector de carretera de montaña de la ruta, se realizó el recorrido capturando las coordenadas, y evidencia fotográfica de los sitios que bajo el criterio del profesional experto en el área fueron considerados de interés para el monitoreo del comportamiento de los taludes y su afectación en la ruta.

En total fueron identificados 106 sitios con alguna evidencia de inestabilidad, de los cuales 5 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 todos se cuenta con el registro de su ubicación y referencia fotográfica como resultado de la aplicación de la herramienta simplificada de evaluación.

En la Figura 1 se muestran los sitios identificados con algún indicio de inestabilidad. En la Tabla 2 y Tabla 3 se enlistan las ubicaciones de los registros de sitios identificados con condiciones que son consideradas evidencias de inestabilidad registrados con la herramienta simplificada y con la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" del PIG respectivamente.

Figura 1

Ubicación de los sitios con evidencia de inestabilidad en la ruta nacional 606

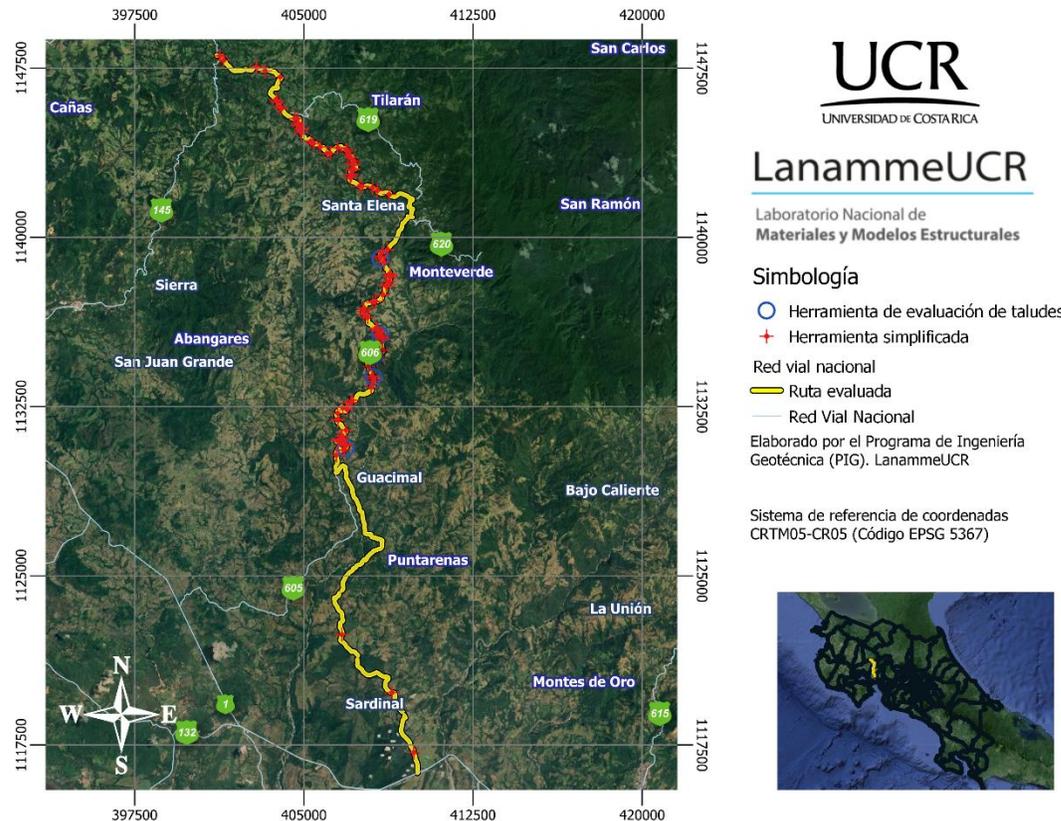




Tabla 2
Ubicación de los sitios identificados con la herramienta simplificada

#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est,	#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est,
		Este	Norte				Este	Norte	
1	26/4/2024	409870,05	1117164,65	0+930	41	26/4/2024	5/8/3017	18/3/5010	29+383
2	26/4/2024	408908,21	1119820,81	4+087	42	26/4/2024	31/7/3016	30/6/5011	30+075
3	26/4/2024	406689,04	1122390,19	8+392	43	26/4/2024	26/2/3016	3/11/5011	30+316
4	26/4/2024	406442,62	1130346,92	19+518	44	26/4/2024	15/1/3016	14/3/5012	30+464
5	26/4/2024	406763,67	1130574,25	20+115	45	26/4/2024	10/2/3016	4/6/5012	30+555
6	26/4/2024	406785,78	1130575,06	20+138	46	26/4/2024	22/2/3016	21/8/5012	30+637
7	26/4/2024	406884,46	1130773,49	20+406	47	26/4/2024	17/3/3017	5/5/5013	31+161
8	26/4/2024	406841,05	1130830,51	20+478	48	26/4/2024	17/7/3017	16/6/5013	31+319
9	26/4/2024	406691,86	1130930,64	20+680	49	26/4/2024	8/6/3018	1/4/5014	31+837
10	26/4/2024	406500,67	1130990,07	21+014	50	26/4/2024	31/10/3018	23/4/5015	32+281
11	26/4/2024	406600,80	1131030,93	21+126	51	26/4/2024	27/12/3018	16/7/5015	32+390
12	26/4/2024	406617,46	1131042,21	21+147	52	26/4/2024	30/3/3019	5/11/5015	32+542
13	26/4/2024	406630,86	1131065,09	21+174	53	26/4/2024	7/5/3019	22/5/5016	32+747
14	26/4/2024	406703,30	1131193,23	21+353	54	26/4/2024	12/5/3019	11/6/5016	32+769
15	26/4/2024	406873,72	1131454,29	21+713	55	26/4/2024	5/5/3019	16/7/5016	32+805
16	26/4/2024	406508,32	1131893,83	22+336	56	26/4/2024	30/4/3019	13/8/5016	32+833
17	26/4/2024	406510,47	1131943,13	22+388	57	26/4/2024	16/4/3019	24/10/5016	32+907
18	26/4/2024	406499,45	1132203,56	22+693	58	26/4/2024	2/8/3018	10/3/5018	33+528
19	26/4/2024	406727,42	1132462,72	23+285	59	26/4/2024	16/2/3018	21/8/5018	33+785
20	26/4/2024	406923,72	1132371,59	23+679	60	26/4/2024	25/1/3018	26/11/5018	33+887
21	26/4/2024	406941,76	1132516,70	23+836	61	26/4/2024	26/4/3018	15/5/5019	34+093
22	26/4/2024	407088,75	1132677,34	24+075	62	26/4/2024	1/1/3019	23/9/5019	34+384
23	26/4/2024	407142,80	1132787,48	24+203	63	26/4/2024	15/3/3019	31/5/5026	38+627
24	26/4/2024	407986,20	1133350,99	25+460	64	26/4/2024	5/10/3017	18/11/5026	39+333
25	26/4/2024	408098,12	1133625,99	25+800	65	26/4/2024	17/3/3017	10/4/5027	39+625
26	26/4/2024	408096,15	1133730,40	25+909	66	26/4/2024	30/11/3015	30/5/5027	40+131
27	26/4/2024	408074,39	1133813,37	26+002	67	26/4/2024	30/6/3014	16/6/5028	40+912
28	26/4/2024	408023,45	1133853,58	26+066	68	26/4/2024	26/1/3012	27/5/5031	43+702
29	26/4/2024	407873,08	1134271,80	26+537	69	26/4/2024	17/6/3005	5/12/5037	47+987
30	26/4/2024	407868,26	1134842,30	27+216	70	26/4/2024	26/12/3005	1/9/5040	49+406
31	26/4/2024	408008,05	1134921,19	27+389	71	26/4/2024	24/2/3003	9/11/5041	50+642
32	26/4/2024	408134,78	1134709,04	27+689	72	26/4/2024	23/1/3003	20/11/5041	50+675
33	26/4/2024	408186,55	1134741,49	27+759	73	26/4/2024	29/1/2999	9/9/5042	52+417
34	26/4/2024	408506,09	1135003,58	28+227	74	26/4/2024	30/8/2998	29/3/5043	52+705
35	26/4/2024	408492,91	1135489,44	28+757	75	26/4/2024	17/2/3004	28/5/5041	50+230
36	26/4/2024	408467,46	1135564,78	28+837	76	26/4/2024	22/6/3005	30/11/5037	47+981
37	26/4/2024	408423,09	1135602,29	28+898	77	26/4/2024	12/8/3005	31/8/5037	47+876
38	26/4/2024	408349,44	1135680,83	29+012	78	26/4/2024	1/12/3005	4/2/5037	47+640
39	26/4/2024	408281,75	1135831,33	29+182	79	26/4/2024	15/2/3006	2/11/5036	47+517
40	26/4/2024	408249,60	1135914,22	29+273	80	26/4/2024	26/9/3007	19/8/5035	46+714



Tabla 2. cont

Ubicación de los sitios identificados con la herramienta simplificada

#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est,	#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est,
		Este	Norte				Este	Norte	
81	26/4/2024	404593,32	1145267,22	46+714	94	26/4/2024	406872,52	1143899,62	42+775
82	26/4/2024	404713,52	1145254,82	46+585	95	26/4/2024	406909,64	1143835,44	42+683
83	26/4/2024	404739,90	1145060,65	46+296	96	26/4/2024	406963,48	1143685,16	42+500
84	26/4/2024	404697,82	1144991,45	46+211	97	26/4/2024	407078,21	1143529,79	42+234
85	26/4/2024	404744,82	1144937,87	46+129	98	26/4/2024	407228,76	1143382,06	42+006
86	26/4/2024	404939,01	1144847,14	45+902	99	26/4/2024	407159,16	1143279,29	41+846
87	26/4/2024	404905,06	1144786,84	45+819	100	26/4/2024	407175,13	1143199,28	41+758
88	26/4/2024	404866,09	1144651,78	45+649	101	26/4/2024	407208,44	1143031,29	41+382
89	26/4/2024	404900,24	1144636,14	45+611	102	26/4/2024	407172,45	1143002,42	41+332
90	26/4/2024	405308,12	1144261,04	44+962	103	26/4/2024	407098,14	1142800,70	41+080
91	26/4/2024	405417,13	1144160,12	44+787	104	26/4/2024	407101,54	1142771,78	41+050
92	26/4/2024	405726,64	1144015,42	44+355	105	26/4/2024	407057,78	1142673,26	40+939
93	26/4/2024	406027,55	1143721,71	43+872	106	26/4/2024	407474,30	1142263,63	40+270

Tabla 3

Ubicación de los sitios evaluados con la herramienta de evaluación de taludes en carretera del PIG del LanammeUCR

#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est,	#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		Est,
		Este	Norte				Este	Norte	
1	26/4/2024	406853,65	1130658,12	20+257	4	26/4/2024	408376,25	1135668,99	28+983
2	26/4/2024	408074,42	1133814,39	26+005	5	26/4/2024	408384,98	1139062,94	33+790
3	26/4/2024	408104,50	1134721,54	27+653					

V. RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN

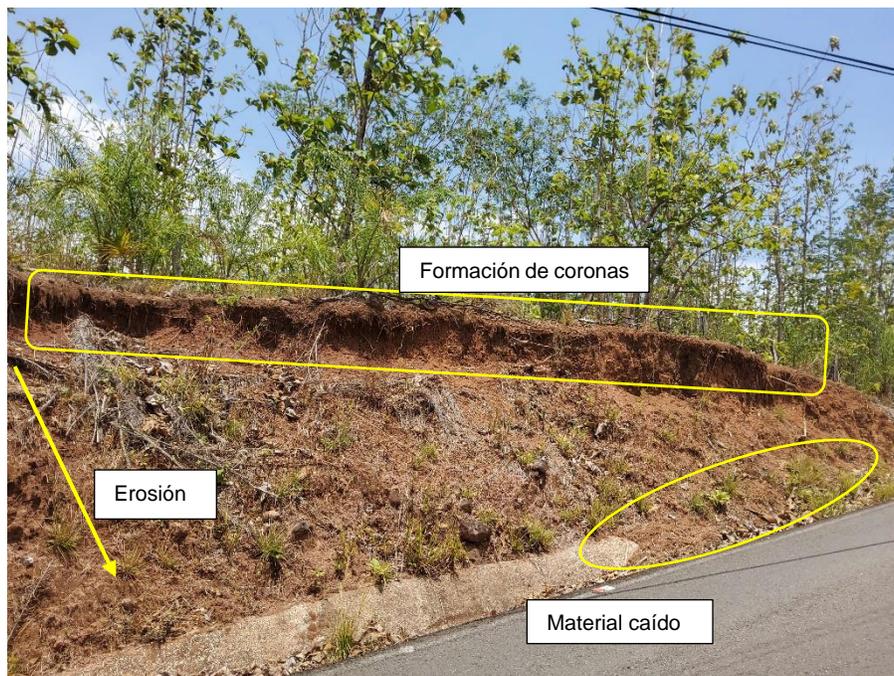
Con la finalidad de evaluar la condición y contar con un inventario de los taludes que presentan indicios de inestabilidad a lo largo de la ruta nacional 606, se utilizó la herramienta bajo la metodología descrita en apartados anteriores, para evaluar la condición de taludes.

A continuación, se muestra el resumen de los resultados de la inspección y evaluación de los taludes realizados con ayuda de la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02 para la inspección de taludes en carretera, aplicado a los sitios identificados con evidencia de inestabilidad de la ruta nacional 606, en los que las condiciones de la carretera permitieran un acercamiento al sitio, suficiente para realizar la inspección visual y mediciones necesarias para la evaluación sin poner en riesgo la integridad de los evaluadores y el equipo de trabajo.

De manera general los sitios identificados con alguna evidencia de inestabilidad son taludes que en la mayoría de los casos responden a un patrón de afectación por escorrentía superficial y pendientes escarpadas. Cabe resaltar la deficiencia en el sistema de manejo de agua, principalmente en la corona del talud, y ausencia de elementos de drenaje de agua de infiltración. Esta condición se muestra a manera de ejemplo en la Figura 2. Entre las principales observaciones del sitio se resaltan la formación de coronas, la afectación por erosión en la cara del talud y la acumulación de material caído en la cuneta, aunado a esto no existen estructuras para el manejo de agua en la corona del talud, ni medidas para controlar la erosión de la cara del talud.

Figura 2

Erosión en el talud del estacionamiento 8+392



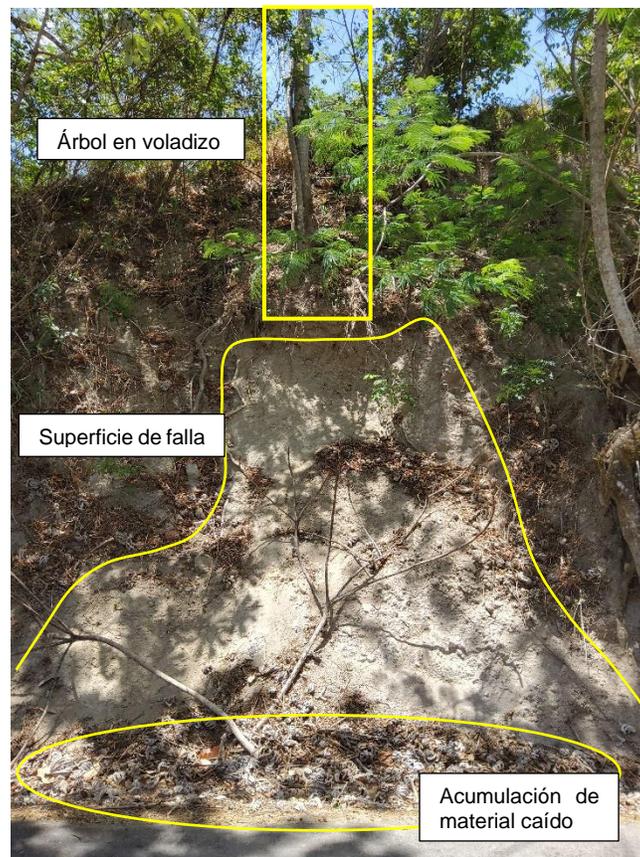
Para estos casos, se estima recomendable implementar sistemas para el control de erosión y manejo de agua de escorrentía superficial, con el fin de evitar que las condiciones identificadas al momento

de la evaluación se magnifiquen, así como limpieza del material caído acumulado al pie del talud y que obstruye la cuneta.

En la Figura 3 se muestra el sitio ubicado en el estacionamiento 19+518, en el que se identifica una superficie de falla de un deslizamiento aparentemente rotacional. Como resultado del deslizamiento, se encuentra un pequeño volumen de material caído al pie del talud que obstruye la estructura de la cuneta, además, tras el deslizamiento parte de la vegetación de la parte alta del talud queda con poco confinamiento, en especial el árbol señalado en la imagen, el cual queda en voladizo. Esta condición es desfavorable para la estabilidad del talud y la seguridad de los usuarios de la vía.

Figura 3

Deslizamiento en el talud del estacionamiento 19+518



Aunado a las observaciones mencionadas anteriormente, cabe resaltar que no hay sistemas de drenaje ni para el control de erosión en el talud, así como tampoco contracunetas, además, la pendiente del talud es escarpada. Dadas las condiciones observadas se considera recomendable realizar una limpieza de la vegetación con poco confinamiento, así como del material acumulado al pie del talud. Implementar sistemas para el control de erosión y manejo de agua de escorrentía superficial, así como realizar estudios adicionales para determinar si es suficiente con la reconformación del talud o amerita obras de estabilización para mejorar la condición de estabilidad del sitio.

Durante la inspección se identificó el sitio ubicado en el estacionamiento 21+014 (ver Figura 4), que corresponde a un talud que muestra evidencias claras de inestabilidad, como la presencia de material caído, erosión significativa y la formación de cárcavas. Se resalta la presencia de la estructura ubicada en la corona del talud, la cual puede verse afectada por una desmejora en la condición del talud, producto de la magnificación de las condiciones observadas. Es importante destacar que el sitio no cuenta con estructuras para el manejo del agua de escorrentía superficial, sistemas de drenaje ni medidas de control de erosión en la cara del talud.

Figura 4

Estructura en la corona del talud del estacionamiento 21+014

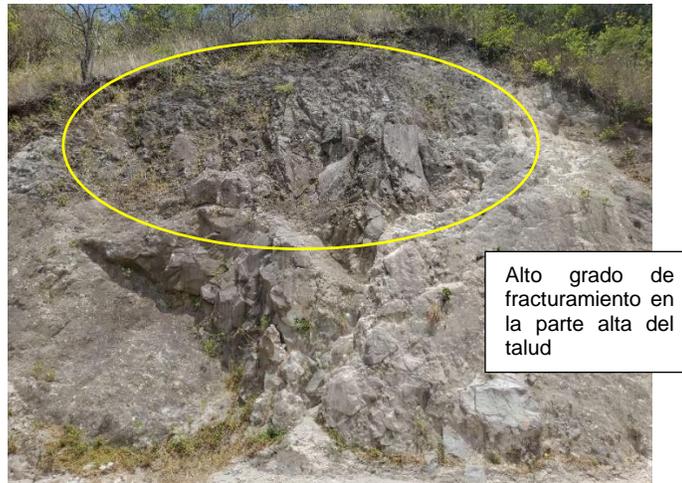


Se sugiere realizar análisis más profundos considerando la carga transmitida por la estructura señalada en cada talud, es importante contemplar realizar análisis con mayor detalle de los sitios, incluyendo exploración geotécnica y el uso de algún software especializado. Para esto es recomendable realizar un levantamiento topográfico de los taludes para efectuar el análisis en softwares especializados aplicando la geometría representativa del sitio, y las condiciones de carga a las que está sometido el talud, así como la incidencia de un posible deslizamiento o movimiento de la masa de suelo a estructuras cercanas. 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.

Una de las condiciones observadas de manera recurrente durante la evaluación de la ruta son los taludes de roca en condición mediana a altamente fracturada, además de su gran altura y alta pendiente. En la Figura 5, se muestra a manera de ejemplo esta condición en el talud ubicado en el estacionamiento 25+799, en el que se puede observar el talud de roca con un alto grado de fracturamiento en la parte alta del talud, además no cuenta con estructuras para el manejo de agua de escorrentía superficial ni protección contra caídos.

Figura 5

Talud de roca ubicado en el estacionamiento 25+799



Se recomienda mantener un monitoreo constante de los taludes conformados por roca, así como implementar adecuados sistemas para el manejo de agua de escorrentía superficial y en caso de considerarse necesario implementar sistemas para la protección de la vía y los usuarios contra los caídos de roca.

En la Figura 6 se muestra los taludes de los estacionamientos 29+272 y 32+389, los cuales se conforman por material compuesto suelo roca, primordialmente suelo. En ambos casos no existen obras para el manejo de agua de escorrentía superficial en la corona del talud ni al pie, así como tampoco hay sistemas de drenaje ni para el control de la erosión. En consecuencia, se observan los taludes con un importante grado de erosión que deja parcialmente y en algunos casos totalmente sin confinamiento bloques de roca, los cuales pueden resultar inestables.

Figura 6

Erosión en taludes de material compuesto en los estacionamientos 29+272 y 32+389

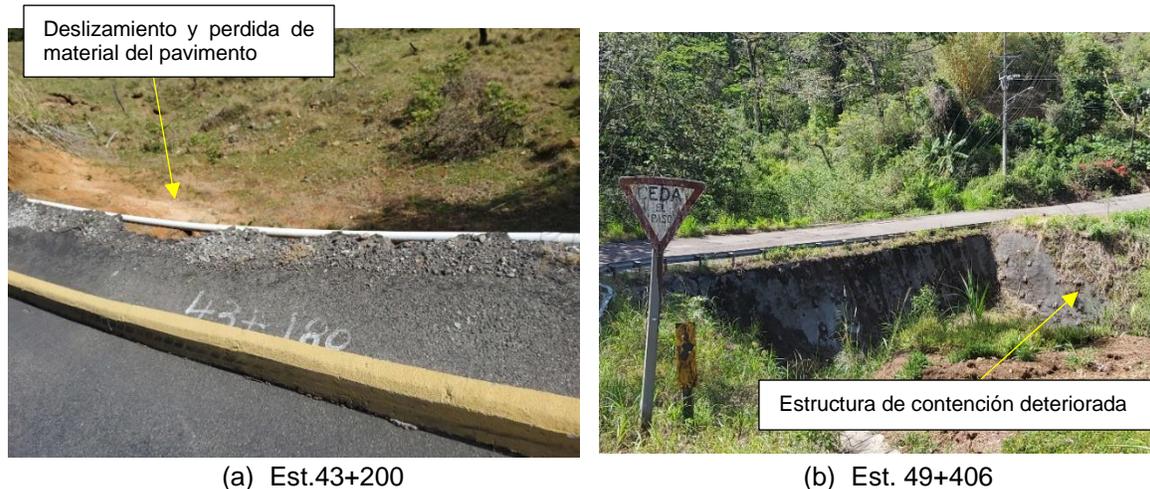


Se considera recomendable limpiar la zona al pie de los taludes para remover el material caído acumulado. Adicionalmente se estima conveniente analizar la estabilidad del talud con las pendientes residuales y realizar la exploración geotécnica necesaria para la propuesta de estabilidad específica de cada sitio en caso de considerarse necesario por parte de un ingeniero especialista en geotecnia encargado del proyecto asignado por la Administración, así como 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.

Durante la inspección se identificaron dos estacionamientos 43+200 y 49+406, (ver Figura 7) que corresponden a taludes ubicados en la margen inferior de la carretera que muestran evidencias claras de inestabilidad, como el agrietamiento del pavimento, pérdida de sección de la vía, erosión significativa y deterioro de estructura de contención respectivamente.

Figura 7

Deslizamiento del talud de la margen inferior a la carretera en los estacionamientos 43+200 y 49+406



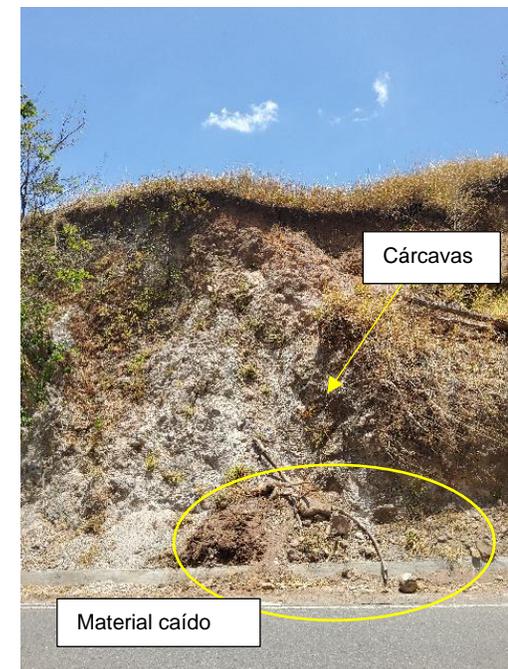
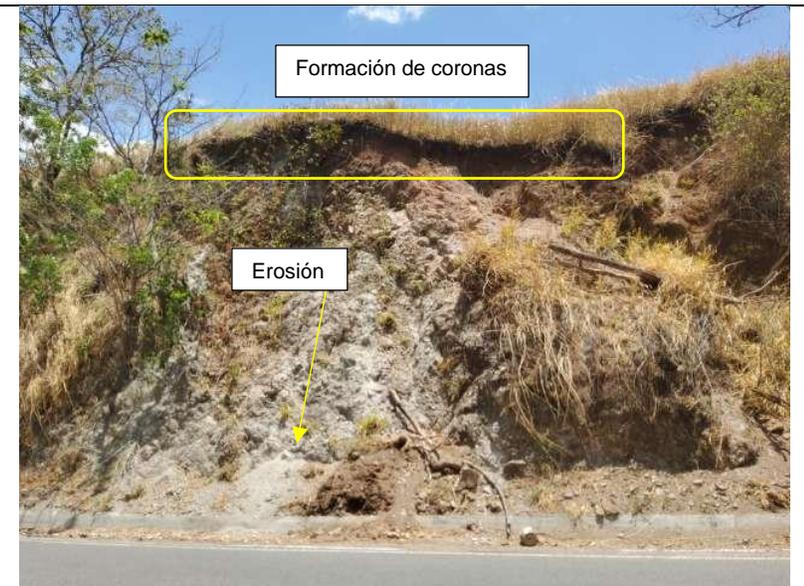
Dada la ubicación de los taludes de los estacionamientos 43+200 y 49+406, no fue posible acceder a ellos para realizar la evaluación con la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02, por lo que se considera apropiado realizar análisis especializados de estabilidad, considerando la pendiente actual en condiciones críticas (saturación y sismo). Para esto es recomendable realizar un levantamiento topográfico del talud para realizar el 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.

En la Tabla 4 se muestra el resultado del talud ubicado en el estacionamiento 20+256. Dicho talud está conformado por un material compuesto en el cual predomina la roca. Su pendiente es aproximadamente de 65° y el talud tiene una altura cercana a los 10,5 m. La roca se encuentra altamente fracturada y no se logra identificar relleno en sus discontinuidades. Al momento de evaluación el talud se encontraba seco, se identificó la formación de coronas y el material acumulado al pie del talud como evidencia de movimiento en la zona circundante al talud.

Tabla 4

Resultado de evaluación del talud ubicado en el estacionamiento 20+256

Datos Generales	Profesional a cargo	Laura Solano
	Fecha	26/4/2024
	Ruta	606
	Latitud	10,22415698
	Longitud	-84,85021465
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm
Caracterización del talud	Pendiente	65°
	Altura del talud	10,5 m
	Material predominante	Roca
	Estado de la roca	Compuesto (primordialmente roca)
	Fracturación de la roca en la cara del talud	Altamente fracturado
	Condición de las discontinuidades en roca	Sin relleno
	Espesor del relleno de discontinuidades	-
	Vegetación	Ninguna
Condición del talud	Uso de suelo	Camino/carretera
	Falla en el talud	Cuña
	Forma del Talud	Rectilínea
	Manejo de escorrentía	Drenaje obstruido
	Afectación por escorrentía	Ninguna
	Agua en el talud	Seco
Evidencia de movimiento	Flujo de agua en el talud	Sin Flujo
	Evidencia de movimiento	Si
	Árboles inclinados	Si
	Formación de Coronas	Si
	Levantamiento al Pie del Talud	No
	Grietas en terreno	No
Estructuras cercanas	Material caído	0 a 50 Extremadamente pequeño
	Presencia de obras de retención	No hay
	Presencia de viviendas y comercios	No hay
	Presencia de vías	0 m - 3 m
	Tipo de vía	Autopista
	Presencia de redes eléctricas	No hay
	Presencia de red de agua potable	No hay
	Presencia de puentes vehiculares	No hay
	Presencia de pasos peatonales	No hay
Presencia de cultivos	No hay	
Recomendación final	Media - Evaluación específica del sitio	





Al aplicar la evaluación con la herramienta RC-545 al talud en el estacionamiento 20+256, se obtiene para el nivel de afectación o la incidencia sobre estructuras cercanas la clasificación “media”, de acuerdo con el criterio experto del PIG, el talud no requiere de una evaluación específica del sitio, y las recomendaciones generales como manejo de escorrentía superficial e implementación de técnicas para el control de la erosión son suficientes para mejorar la condición del talud.

El resultado de la evaluación del talud en 26+003 se describe en la Tabla 5. El talud alcanza aproximadamente 8,5 m de altura con una pendiente aproximada de 67°. El material que lo conforma es compuesto suelo roca, primordialmente suelo. La cara del talud se encontró medianamente agrietada, con bloques de roca expuestos y con pérdida de confinamiento por erosión de la matriz de suelo, aunado a esto no se identifican estructuras para el manejo de agua de escorrentía superficial. Finalmente, no se identificaron estructuras cercanas que pueden verse afectadas ante una posible inestabilidad del sitio.

Tabla 5

Resultado de evaluación del talud ubicado en el estacionamiento 26+003

Datos Generales	Profesional a cargo	Laura Solano
	Fecha	26/4/2024
	Ruta	606
	Latitud	10,25272087
	Longitud	-84,83914813
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm
Caracterización del talud	Pendiente	67°
	Altura del talud	8,5 m
	Material predominante	Suelo
	Estado del suelo	Compuesto (primordialmente suelo)
	Naturaleza del suelo	Ambos
	Agrietamiento en la cara del talud	Medianamente agrietado
	Vegetación	Ninguna
	Uso de suelo	Camino/carretera
Condición del talud	Falla en el talud	No
	Forma del Talud	Rectilínea
	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
	Árboles inclinados	Si
	Formación de Coronas	Si
	Levantamiento al Pie del Talud	No
	Grietas en terreno	No
	Material caído	0 a 50 Extremadamente pequeño
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	Autopista
	Presencia de redes eléctricas	No hay
	Presencia de red de agua potable	No hay
	Presencia de puentes vehiculares	No hay
	Presencia de pasos peatonales	No hay
	Presencia de cultivos	No hay
Recomendación final	Baja - Recomendaciones generales según la condición del talud	





Dado que el resultado de la evaluación con la herramienta RC-545 da un nivel de incidencia bajo a las estructuras cercanas, este sitio no requiere de análisis más profundos. Se considera apropiado mantener el talud monitoreado, realizar una limpieza del material acumulado al pie del talud, implementar adecuados sistemas para el manejo de escorrentía superficial e implementación de técnicas para el control de la erosión, los cuales resultarían suficientes para mejorar la condición del talud.

Una condición similar se encuentra en el estacionamiento 27+652, en el que se encuentra un talud primordialmente de suelo con bloques de roca, de cerca de los 18 m de altura y aproximadamente 60° de pendiente. Con evidencia de un aparente deslizamiento traslacional y un volumen pequeño de material acumulado al pie del talud. En el momento de la visita el talud se observó en condición seca y sin flujo. La cara del talud presenta un alto grado de erosión y formación de cárcavas, aunado a esto no existen en el sitio estructuras para el manejo de agua de escorrentía superficial.

Tabla 6

Resultado de evaluación del talud ubicado en el estacionamiento 27+652

Datos Generales	Profesional a cargo	Laura Solano
	Fecha	26/4/2024
	Ruta	606
	Latitud	10,2609228
	Longitud	-84,83889549
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm
Caracterización del talud	Pendiente	60°
	Altura del talud	18 m
	Material predominante	Suelo
	Estado del suelo	Compuesto (primordialmente suelo)
	Naturaleza del suelo	Ambos
	Agrietamiento en la cara del talud	Fallado
	Vegetación	Ninguna
	Uso de suelo	Camino/carretera
Condición del talud	Falla en el talud	Deslizamiento traslacional
	Forma del Talud	Convexa
	Manejo de escorrentía	No hay manejo de escorrentía
	Afectación por escorrentía	Formación de cárcavas
	Agua en el talud	Seco
	Flujo de agua en el talud	Sin Flujo
Evidencia de movimiento	Evidencia de movimiento	Si
	Árboles inclinados	No
	Formación de Coronas	No
	Levantamiento al Pie del Talud	No
	Grietas en terreno	No
	Material caído	0 a 50 Extremadamente pequeño
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	Autopista
	Presencia de redes eléctricas	No hay
	Presencia de red de agua potable	No hay
	Presencia de puentes vehiculares	No hay
	Presencia de pasos peatonales	No hay
	Presencia de cultivos	No hay
Recomendación final	Baja - Recomendaciones generales según la condición del talud	





El resultado de la evaluación con la herramienta RC-545 da un nivel de incidencia bajo a las estructuras cercanas, y de acuerdo con el criterio experto del PIG, este sitio no requiere de análisis más profundos. Se considera apropiado mantener el talud monitoreado, realizar una limpieza del material acumulado al pie del talud, implementar adecuados sistemas para el manejo de escorrentía superficial e implementación de técnicas para el control de la erosión, los cuales resultarían suficientes para mejorar la condición del talud.

En la Tabla 7 se muestra el resultado tras aplicar la herramienta RC-545 al talud del estacionamiento 28+989, el cual tiene una altura cercana a los 20 m y una pendiente aproximada de 57°. Se encuentra conformado por material compuesto suelo-roca primordialmente roca altamente fracturada. La cara del talud presenta un alto grado de erosión y se encontró al momento de la inspección en condición seca y sin flujo. Al igual que como se mencionó en casos anteriores, no se encuentran estructuras para el manejo del agua de escorrentía superficial.

Tabla 7

Resultado de evaluación del talud ubicado en el estacionamiento 28+982

Datos Generales	Profesional a cargo	Laura Solano
	Fecha	26/4/2024
	Ruta	606
	Latitud	10,26949504
	Longitud	-84,83643663
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm
Caracterización del talud	Pendiente	57°
	Altura del talud	20 m
	Material predominante	Roca
	Estado de la roca	Compuesto (primordialmente roca)
	Fracturación de la roca en la cara del talud	Altamente fracturado
	Condición de las discontinuidades en roca	Sin relleno
	Espesor del relleno de discontinuidades	-
	Vegetación	Ninguna
Condición del talud	Uso de suelo	Camino/carretera
	Falla en el talud	No
	Forma del Talud	Rectilínea
	Manejo de escorrentía	No hay manejo de escorrentía
	Afectación por escorrentía	Erosión superficial
	Agua en el talud	Seco
Evidencia de movimiento	Flujo de agua en el talud	Sin Flujo
	Evidencia de movimiento	No
	Árboles inclinados	No
	Formación de Coronas	No
	Levantamiento al Pie del Talud	No
	Grietas en terreno	No
Estructuras cercanas	Material caído	No
	Presencia de obras de retención	No hay
	Presencia de viviendas y comercios	No hay
	Presencia de vías	0 m - 3 m
	Tipo de vía	Autopista
	Presencia de redes eléctricas	No hay
	Presencia de red de agua potable	No hay
	Presencia de puentes vehiculares	No hay
Presencia de pasos peatonales	No hay	
Presencia de cultivos	No hay	
Recomendación final		Baja - Recomendaciones generales según la condición del talud





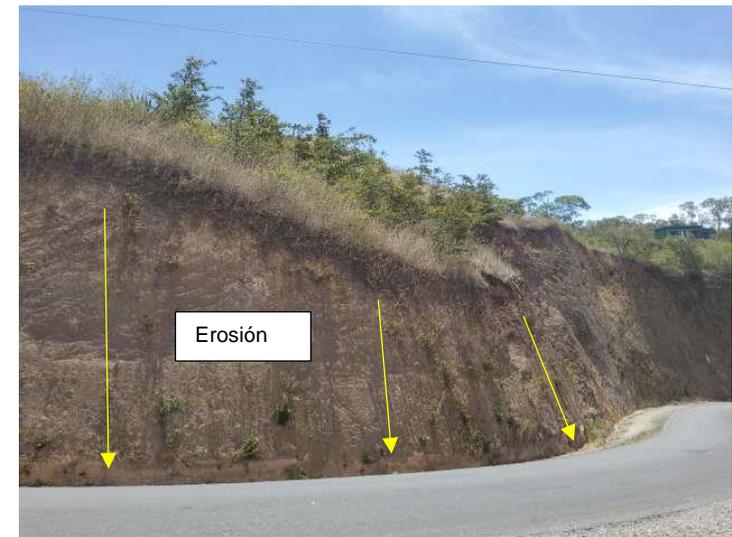
Dada la ubicación del talud, y su lejanía a otras estructuras que pueden verse afectadas ante una posible inestabilidad del sitio, el resultado de la evaluación con la herramienta RC-545 da un nivel de incidencia bajo a las estructuras cercanas, y de acuerdo con el criterio experto del PIG, este sitio no requiere de análisis más profundos. Sin embargo, se recomienda mantener un monitoreo constante del sitio, realizar una limpieza del material acumulado al pie del talud, implementar adecuados sistemas para el manejo de escorrentía superficial e implementación de técnicas para el control de la erosión, los cuales resultarían suficientes para mejorar la condición del talud.

Por último, en la Tabla 8 se presenta el resumen de la evaluación del talud ubicado en el estacionamiento 33+789. Este talud tiene la particularidad de que se extiende por aproximadamente 200 m a lo largo de la carretera, y en general presenta un alto grado de erosión en la cara del talud. Está conformado por material compuesto suelo-roca primordialmente suelo medianamente agrietado. En el momento de la evaluación el talud se encontraba seco y sin flujo. En las cercanías al talud se identificaron estructuras de redes eléctricas, y viviendas y comercios aproximadamente a una distancia no mayor que 8 m. Finalmente se resalta que no existen estructuras para el manejo de agua de escorrentía en el sitio, esto se considera desfavorable para la condición de estabilidad del sitio.

Tabla 8

Resultado de evaluación del talud ubicado en el estacionamiento 33+789

Datos Generales	Profesional a cargo	Laura Solano
	Fecha	26/4/2024
	Ruta	606
	Latitud	10,30017924
	Longitud	-84,83643786
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm
Caracterización del talud	Pendiente	75°
	Altura del talud	11 m
	Material predominante	Suelo
	Estado del suelo	Compuesto (primordialmente suelo)
	Naturaleza del suelo	Ambos
	Agrietamiento en la cara del talud	Medianamente agrietado
	Vegetación	Ninguna
	Uso de suelo	Camino/carretera
Condición del talud	Falla en el talud	No
	Forma del Talud	Rectilínea
	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
	Árboles inclinados	No
	Formación de Coronas	No
	Levantamiento al Pie del Talud	No
	Grietas en terreno	No
	Material caído	0 a 50 Extremadamente pequeño
Estructuras cercanas	Presencia de obras de retención	No hay
	Presencia de viviendas y comercios	3 m - 8 m
	Presencia de vías	0 m - 3 m
	Tipo de vía	Autopista
	Presencia de redes eléctricas	3 m - 8 m
	Presencia de red de agua potable	No hay
	Presencia de puentes vehiculares	No hay
	Presencia de pasos peatonales	No hay
	Presencia de cultivos	No hay
Recomendación final	Media - Evaluación específica del sitio	





Como resultado de la evaluación con la herramienta RC-545 se obtiene para el talud del estacionamiento 33+789 una clasificación “media” para el nivel de afectación del talud o la incidencia sobre estructuras cercanas. Dada las dimensiones y extensión del talud, y la cercanía con otras estructuras, así como la erosión superficial, se recomienda realizar un análisis con mayor detalle del sitio, incluyendo exploración geotécnica básica y el uso de algún software especializado. 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 analizarlos con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión.

Además, se recomienda implementar un adecuado sistema de manejo de agua de escorrentía superficial que incluya contracunetas y estructuras de canalización de agua de escorrentía superficial, y considerar una mejora en el sistema de drenajes existente, el diseño y construcción del sistema de drenajes específico adecuado para el talud.



VI. COMENTARIOS FINALES

Después de realizar la visita de campo a la ruta nacional 606, 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 podría 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, 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, 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 estructura en la corona del talud que presenta evidencias de inestabilidad, 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 designado por la Administración que esté a cargo del proyecto.

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.

Sin embargo, 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 evaluación apropiada del sitio específico, así como para conocer su topografía específica, se recomienda realizar el levantamiento con Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) para la generación de Modelos de Elevación Digital (MED) como medida alternativa para generar dicha topografía, y posteriormente realizar análisis con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión.



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.