



# Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: EIC-Lanamme-INF-1514-2024

## INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL N° 2



Preparado por:

Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica  
Setiembre, 2024



<b>1. Informe:</b> EIC-Lanamme-INF-1514-2024	<b>2. Versión No. 1</b>
<b>3. Título y subtítulo:</b> INFORME DE INSPECCIÓN DE TALUDES RUTA NACIONAL N°2	<b>4. Fecha del Informe</b> 24/09/2024
<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> <i>El presente informe de inspección de los taludes de la ruta nacional 2, 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 2, 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 132 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 6 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 designado por la Administración 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.</i> <i>No se permite la reproducción total ni parcial de este documento sin la autorización del director del LanammeUCR</i>	
<b>8. Inspección e informe por:</b>  Ing. 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 2 y corresponde a un complemento al primer informe de evaluación presentado en diciembre de 2023 (informe EIC-Lanamme-INF-1708-2023) el cual se enfocó en los taludes con evidencias de inestabilidad a lo largo del tramo de la carretera de montaña entre los estacionamientos 25+258 hasta el 124+885, que corresponde al tramo que se encuentre entre San Isidro del Guarco y San Isidro del General. 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 6 nuevos sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad. No obstante, debido a la limitación encontrada en esta carretera en cuanto a espacios disponibles para estacionar el vehículo sin obstruir el flujo del tránsito, sin poner en riesgo la vida de los operarios de las inspecciones, ni de los usuarios de la carretera, fue posible aplicar en seis taludes la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02 bajo la metodología descrita en el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V02. Con base en esta evaluación se determinó que la condición de los taludes de los estacionamientos 187+909 y 238+920 es "media" por lo que se sugiere realizar una evaluación específica de cada uno de los sitios. En el caso de los otros cuatro taludes se determinó que su condición es "alta" por lo cual se requiere realizar análisis profundo de acuerdo con la condición de cada uno, al igual que los otros taludes deberá considerarse la topografía actual y escenarios con saturación del terreno y sismo.

En el caso de los otros sitios, fue posible identificar la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio y una fotografía de la condición con la implementación y uso de una herramienta simplificada. A partir de esta evaluación fue posible notar que los sitios de interés geotécnico se encuentran concentrados entre los estacionamientos 210+000 al 254+000 (58 puntos), tramo localizado entre El Brujo y Palmar Norte. 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 .....	7
II.1	Objetivo general .....	7
II.2	Objetivos específicos .....	7
III.	ALCANCE DEL INFORME .....	8
IV.	DESCRIPCIÓN DE LOS TALUDES INSPECCIONADOS.....	9
V.	RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN .....	12
VI.	COMENTARIOS FINALES.....	28
VII.	RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LA INSPECCIÓN .....	29
VIII.	REFERENCIAS .....	30



## 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 2 que se enmarca en las funciones de fiscalizador que la ley citada le confiere al LanammeUCR.

La evaluación de la condición de estabilidad de la ruta nacional 2 inició en octubre de 2022, enfocándose en los taludes que presentan evidencia de inestabilidad a lo largo del tramo de la carretera de montaña que abarca del kilómetro 25+258 hasta el 124+885, que corresponde al tramo que se encuentre entre San Isidro del Guarco y San Isidro del General. En diciembre de 2023 se emitió el primer informe de evaluación de la condición de estabilidad de los taludes del tramo de carretera de montaña de la ruta nacional 2, el cual se identifica con el consecutivo EIC-Lanamme-INF-1708-2023 en cual se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas en octubre de 2022 y noviembre de 2023. En este informe se presentó un inventario de sitios en los que se habían observado indicios de inestabilidad o que se podían suponer eran el resultado de deslizamientos previos. Este inventario proporcionó información sobre eventos pasados y su frecuencia, así como lugares con condiciones desfavorables para la estabilidad del talud, lo que permite identificar áreas con mayor densidad de sitios inestables que se pueden categorizar como propensas a deslizamientos. Adicionalmente, se realizaron análisis de estabilidad específicos para algunos de los taludes que presentaban indicios de inestabilidad o una superficie de falla de un deslizamiento, considerando no solo las características del talud observadas en sitio, si no también condiciones de saturación, tipo de suelo y cargas dinámicas. Para esto se realizaron levantamientos topográficos con ayuda de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT).

En este primer informe se evaluaron 52 sitios con evidencias de inestabilidad en el talud, por su parte en los análisis de las simulaciones realizadas, se observó que bajo condiciones de saturación se obtuvieron reducciones considerables en los valores de los factores de seguridad. Por ello, se recomendó implementar medidas que favorezcan la estabilidad del talud, como lo es el manejo de aguas de escorrentía superficial teniendo en consideración que los taludes analizados carecían de sistemas de drenaje superficial y control de la escorrentía superficial.

En junio de 2024 se realizó la primera gira de monitoreo en el tramo comprendido entre San Isidro del Guarco y San Isidro del General, donde se identificaron 54 nuevos sitios. Adicionalmente, en julio de 2024 se evaluó el tramo comprendido entre San Isidro del General y Paso Canoas, donde se identificaron otros 64 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad. Lo anterior representa un total de 118 nuevos sitios con alguna evidencia de inestabilidad.

El trabajo realizado en la gira de monitoreo de junio de 2024 y de la evaluación de julio de 2024, 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 2 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 2 y contar con un inventario de los taludes o laderas que presentan indicios de inestabilidad a lo largo del sector de carretera de montaña, 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 118 nuevos sitios con alguna evidencia de inestabilidad, de los cuales 54 puntos corresponden a la gira de monitoreo de junio de 2024 en el tramo comprendido entre San Isidro del Guarco y San Isidro del General. Por otro lado, se identificaron otros 64 sitios de interés geotécnico con alguna evidencia de inestabilidad en el tramo comprendido entre San Isidro del General y Paso Canoas en la visita realizada en julio de 2024. Estos nuevos sitios complementan a los 52 sitios previamente identificados en el informe EIC-Lanamme-INF-1708-2023, del tramo de montaña del kilómetro 25+258 hasta el 124+885, que corresponde al tramo que se encuentre entre San Isidro del Guarco y San Isidro del General. En la visita de julio de 2024 se evaluaron a detalle seis taludes aplicando la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02 bajo la metodología descrita en el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V02, y para todos se cuenta con el registro de su ubicación y referencia fotográfica como resultado de la aplicación de la herramienta simplificada de evaluación.

En la Tabla 2 se enlistan las ubicaciones de los sitios identificados con condiciones consideradas como evidencias de inestabilidad utilizando la herramienta simplificada. Por su parte, los taludes evaluados en los estacionamientos 187+909 (Latitud 9,158461, Longitud -83,393624), 227+315 (Latitud 8,98338, Longitud -83,256459), 238+387 (Latitud 8,96362, Longitud -83,320534), 238+645 (Latitud 8,962829, Longitud -83,322687), 238+920 (Latitud 8,960883, Longitud -83,324269) y 239+036 (Latitud 8,959872, Longitud -83,324606) fueron evaluados con la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02.

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

#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)			#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		
		Este	Norte	Est.			Este	Norte	Est.
1	18/06/2024	505466,03	1088523,06	25+703	21	18/06/2024	501915,96	1080418,01	42+075
2	18/06/2024	505201,61	1085944,46	28+394	22	18/06/2024	501980,44	1079906,84	42+639
3	18/06/2024	505609,14	1085582,10	29+238	23	18/06/2024	501909,24	1079717,76	42+843
4	18/06/2024	505454,74	1085475,70	29+435	24	18/06/2024	501944,20	1079566,68	42+998
5	18/06/2024	505157,18	1085132,54	29+916	25	18/06/2024	502108,44	1079150,96	43+649
6	18/06/2024	505006,43	1084942,69	30+174	26	18/06/2024	502317,02	1079007,73	43+914
7	18/06/2024	505045,52	1084472,57	30+851	27	18/06/2024	502366,54	1078666,74	44+286
8	18/06/2024	505533,97	1084466,84	31+479	28	18/06/2024	505549,89	1073926,10	53+056
9	18/06/2024	505484,63	1084247,32	31+717	29	18/06/2024	515695,48	1069485,17	67+685
10	18/06/2024	505463,67	1083599,98	32+546	30	18/06/2024	517293,57	1065661,33	72+243
11	18/06/2024	505989,27	1083306,48	33+219	31	18/06/2024	522940,05	1062184,20	80+645
12	18/06/2024	505853,75	1083161,42	33+421	32	18/06/2024	525615,07	1060104,19	87+080
13	18/06/2024	505746,10	1083148,68	33+533	33	18/06/2024	527613,47	1058195,25	90+703
14	18/06/2024	505302,51	1083066,11	34+050	34	18/06/2024	531857,57	1053915,16	102+922
15	18/06/2024	505132,59	1082641,28	34+513	35	18/06/2024	532109,69	1054103,88	103+261
16	18/06/2024	503139,48	1083018,48	37+105	36	18/06/2024	532873,87	1053435,67	105+120
17	18/06/2024	502008,53	1082599,48	38+409	37	18/06/2024	532501,03	1053285,75	105+540
18	18/06/2024	501471,91	1080465,50	41+603	38	18/06/2024	532064,82	1051367,26	108+196
19	18/06/2024	501609,90	1080512,87	41+750	39	18/06/2024	534027,25	1049410,28	111+858
20	18/06/2024	501756,98	1080468,59	41+907	40	18/06/2024	534387,63	1048768,25	112+651



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

#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)			#	Fecha	Ubicación (CRTM-05)		
		Este	Norte	Est.			Este	Norte	Est.
41	18/06/2024	534465,44	1048671,52	112+773	80	18/06/2024	583880,65	992496,53	224+961
42	18/06/2024	534503,59	1048663,41	112+810	81	18/06/2024	583547,59	992621,23	225+319
43	18/06/2024	534467,81	1048670,18	112+776	82	18/06/2024	582955,47	992865,08	225+979
44	18/06/2024	535029,18	1048455,22	113+430	83	18/06/2024	581626,55	993525,15	227+501
45	18/06/2024	535090,93	1048320,65	113+591	84	18/06/2024	581283,81	993610,56	228+300
46	18/06/2024	534692,69	1047815,52	115+888	85	18/06/2024	581267,23	993512,36	228+400
47	18/06/2024	533315,86	1046953,02	118+628	86	18/06/2024	580166,14	993501,42	229+959
48	18/06/2024	533006,55	1046722,89	119+037	87	18/06/2024	579985,47	993489,43	230+141
49	18/06/2024	532574,08	1047033,78	120+515	88	18/06/2024	579719,71	993554,46	230+421
50	18/06/2024	531916,36	1046408,29	121+958	89	18/06/2024	579639,25	993327,06	230+699
51	18/06/2024	531389,23	1043964,36	125+077	90	18/06/2024	579725,47	992236,64	231+894
52	18/06/2024	531706,78	1044205,04	126+134	91	18/06/2024	578783,61	992025,37	232+980
53	18/06/2024	531636,48	1042039,34	128+636	92	18/06/2024	576499,73	992197,04	235+423
54	18/06/2024	531542,32	1041053,90	129+722	93	18/06/2024	576041,39	991007,65	236+736
55	18/06/2024	566734,74	1012750,90	188+004	94	18/06/2024	575561,40	990820,19	237+338
56	18/06/2024	580098,47	1002818,11	210+770	95	18/06/2024	575191,37	991181,61	237+906
57	18/06/2024	580143,27	1002636,21	210+958	96	18/06/2024	575139,66	991191,90	237+959
58	18/06/2024	580200,75	1002351,91	211+249	97	18/06/2024	574766,76	991201,02	238+337
59	18/06/2024	580226,17	1002282,79	211+321	98	18/06/2024	574477,63	991107,93	238+646
60	18/06/2024	580501,78	1002084,29	211+665	99	18/06/2024	574343,74	990605,18	239+227
61	18/06/2024	581874,04	1001471,93	213+296	100	18/06/2024	574624,57	990205,62	239+729
62	18/06/2024	582215,81	1000978,38	213+917	101	18/06/2024	574610,45	990175,34	239+762
63	18/06/2024	582379,55	1000859,27	214+119	102	18/06/2024	574594,28	990146,64	239+795
64	18/06/2024	582781,40	999813,96	215+436	103	18/06/2024	574027,70	989899,85	240+442
65	18/06/2024	582917,52	999578,71	215+719	104	18/06/2024	571834,39	989066,23	243+079
66	18/06/2024	583337,59	998916,07	216+520	105	18/06/2024	571646,79	989102,31	243+270
67	18/06/2024	583924,15	997835,47	218+005	106	18/06/2024	567042,46	990607,63	248+521
68	18/06/2024	583884,12	997656,77	218+190	107	18/06/2024	566971,04	990692,07	248+630
69	18/06/2024	584179,17	997285,31	218+669	108	18/06/2024	566829,03	990802,16	248+809
70	18/06/2024	584406,57	997104,17	218+959	109	18/06/2024	566536,69	990861,14	249+109
71	18/06/2024	584742,19	996921,76	219+343	110	18/06/2024	565795,09	991090,98	249+889
72	18/06/2024	584969,00	995568,42	220+950	111	18/06/2024	564386,02	991429,50	251+349
73	18/06/2024	583834,71	994622,42	222+453	112	18/06/2024	564284,84	991450,33	251+452
74	18/06/2024	583824,33	994587,16	222+490	113	18/06/2024	562618,57	991573,20	253+319
75	18/06/2024	584099,91	994086,84	223+108	114	18/06/2024	597452,81	961974,73	309+570
76	18/06/2024	584309,80	993483,69	223+788	115	18/06/2024	597504,06	961981,80	309+619
77	18/06/2024	584305,26	993400,32	223+871	116	18/06/2024	597537,45	962017,96	309+667
78	18/06/2024	584077,58	992613,02	224+721	117	18/06/2024	601504,68	960049,78	314+972
79	18/06/2024	583907,69	992495,39	224+934	118	18/06/2024	613987,63	955917,49	329+171

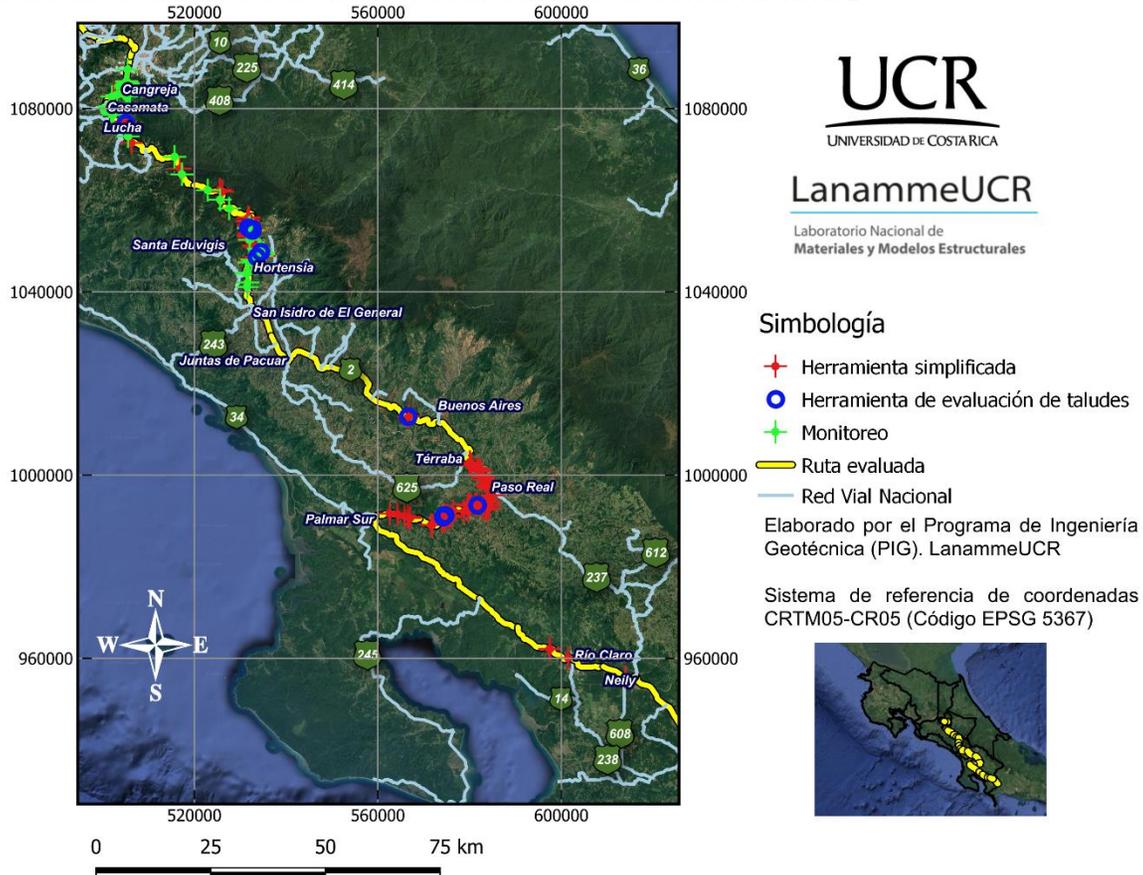
La herramienta simplificada surge a raíz de la limitación encontrada en esta carretera en cuanto a espacios disponibles para estacionar el vehículo sin obstruir el flujo del tránsito, sin poner en riesgo la vida de los operarios de las inspecciones y de los usuarios de la carretera. Con esta otra herramienta es posible identificar los sitios con evidencias de inestabilidad que puedan evolucionar a movimientos de material y que, eventualmente, puedan afectar la carretera al cambiar sus condiciones geométricas o de saturación del medio.

Por su parte, en la Figura 1 se muestran los sitios identificados con algún indicio de inestabilidad. Las cruces rojas muestran los sitios de interés geotécnicos levantados con la herramienta simplificada, las cruces verdes también corresponden a puntos levantados con la herramienta simplificada en la gira de monitoreo de junio de 2024 y con un círculo azul los sitios inspeccionados y evaluados con la herramienta de inspección de taludes en carretera (RC-545) del PIG del LanammeUCR.



Figura 1

Ubicación de los sitios con evidencia de inestabilidad en la ruta nacional 2



Como se puede notar el tramo que concentra la mayor cantidad de puntos con evidencias de inestabilidad se ubica entre los estacionamientos 210+000 al 254+000 (58 puntos), tramo localizado entre El Brujo y Palmar Norte.



## 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 2, 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, aplicado a los sitios identificados con evidencia de inestabilidad de la ruta nacional 2, en los que las condiciones de la carretera permitieran un acercamiento al sitio, suficiente para realizar la inspección visual y mediciones necesarias para la evaluación sin poner en riesgo la integridad de los evaluadores y el equipo de trabajo.

Los taludes inspeccionados, generalmente, presentan alturas entre los 3 m a 15 m y muestran evidencias de movimiento de material, reflejado por la presencia de coronas, árboles inclinados y deslizamientos. Adicionalmente se observaron evidencias de erosión superficial y en algunos casos se observaron etapas tempranas de la formación de cárcavas asociadas con la falta de estructuras para el control y manejo de la escorrentía superficial (ver Figuras 2 y 3).

En general, no se observó la presencia de cunetas o contracunetas las cuales se consideran esenciales para asegurar la estabilidad de los taludes. De esta manera, se considera oportuno implementar un adecuado sistema de manejo de agua de escorrentía superficial que incluya contracunetas y estructuras de canalización de agua para evitar la escorrentía superficial sobre la cara de los taludes y, en el caso de existir algún sistema de drenaje, considerar mejorarlo.

En tal caso, el diseño y construcción debe ser adecuado y específico al talud a intervenir, así como también, cuando existen cunetas, se sugiere una limpieza del material caído acumulado al pie del talud y que obstruyen las cunetas. Adicionalmente, se recomienda la utilización de métodos adecuados para el manejo de erosión, a saber: vegetación, geomantas, biomantas, entre otros

Asimismo, 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 2**

Sitios identificados con evidencia de inestabilidad en la Ruta Nacional 2



(a) evidencias de erosión en la cara del talud y falta de cunetas, estación 112+810



(b) evidencias de erosión en la cara del talud, estación 218+005



(c) evidencias de erosión en la cara del talud, material deslizado y falta de cunetas, estación 220+950



(d) evidencias de erosión en la cara del talud, material deslizado y falta de cunetas, estación 248+521

**Figura 3**

*Sitios identificados con evidencia de inestabilidad en la Ruta Nacional 2*

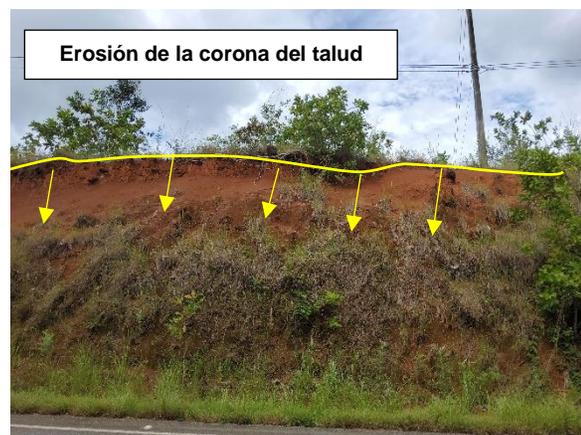


(a) evidencias de erosión en la cara del talud, material deslizado y falta de cunetas, estación 80+645

(b) evidencias de erosión en la cara del talud y material deslizado, estación 112+651



(c) evidencias de erosión en la cara del talud y falta de cunetas, estación 215+436



(d) evidencias de erosión en la cara del talud y falta de cunetas, estación 215+719

Por otro lado, fue posible observar que los taludes de relleno no tenían cunetas o algún otro mecanismo de control de la escorrentía superficial entre la superficie de ruedo y el borde del talud. Es importante mencionar que, en estos casos, esta zona corresponde a la corona del talud de relleno, por lo que la falta de control del agua superficial puede generar una reducción de la resistencia, favoreciendo la inestabilidad y deformaciones en la capa de ruedo. Lo anterior se puede ver reflejado con la presencia de pérdida de la sección transversal de la superficie de ruedo, como se observa en la **Figura 4**, 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 4**

Condición de los taludes de relleno inspeccionados en la Ruta Nacional 2



(a) evidencias de deslizamiento y falta de cunetas, estación 309+619



(b) agrietamiento y pérdida de sección transversal, estación 314+972



(c) pérdida de sección transversal, ausencia de cunetas y evidencias de deslizamiento, estación 112+820



En el caso de la Figura 3c, que corresponde a la estación 112+820, es importante destacar que se trata de un punto que fue identificado en la visita realizada en noviembre de 2023, sin embargo, debido a las precipitaciones que se presentaron a finales de mayo y principios de junio de 2024, se produjo un deslizamiento mayor de material que conllevó a una pérdida de la sección transversal y cierre parcial de la ruta. Adicionalmente, como una medida urgente de intervención en este punto, fue necesario realizar un realineamiento del trazado de la ruta realizando movimientos de tierra en el talud de corte con la finalidad de recuperar la sección transversal y reducir las afectaciones de los usuarios.

Otro punto, que fue identificado anteriormente es el que corresponde al estacionamiento 48+800, en el cual, de acuerdo con lo indicado en el informe EIC-Lanamme-INF-1708-2023, este punto había sido clasificado con condición “alta” el cual requería un análisis profundo de su condición.

En ambos taludes, se sugiere solicitar a la Administración las medidas que serán adoptadas en la intervención definitiva de estos taludes con la finalidad de evaluar la idoneidad de estas.

Por otro lado, para el tramo que concentra la mayor cantidad de puntos con evidencias de inestabilidad ubicado entre los estacionamientos 210+000 al 254+000 (58 puntos), tramo localizado entre El Brujo y Palmar Norte, se considera apropiado realizar análisis especializados de estabilidad, considerando la topografía actual y valorando escenarios con saturación del terreno y sismo.

Por su parte, en la Tabla 3 se pueden ver los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 187+909. Esta se puede resumir como sigue: el material presente es un suelo de relleno conformado sin grietas. Su pendiente es de aproximadamente 45°, por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de relleno de una altura aproximada de 15 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma compuesta, el cual no parece mostrar ningún tipo de falla, sin embargo, fue posible notar algunas evidencias de movimiento del terreno con la presencia de coronas en la parte superior del talud y agrietamientos en el pavimento. Asimismo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a una evolución de fallas y eventuales deslizamientos.

Adicionalmente, fue posible observar que el talud no tenía cunetas o algún otro mecanismo de control de la escorrentía superficial entre la superficie de ruedo y el borde del talud. Es importante mencionar que, en este caso, esta zona corresponde a la corona del talud de relleno, por lo que la falta de control del agua superficial puede generar una reducción de la resistencia, favoreciendo la inestabilidad y deformaciones en la capa de ruedo, así como afectaciones en la cara del talud, como la formación de coronas. Al momento de la inspección el talud, este se encontraba con agua en la corona, pero sin la presencia de un flujo de agua en la cara del talud, no obstante, es probable que esta condición varíe en la época lluviosa.

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 2), se observó la presencia de viviendas y redes eléctricas, por su parte no fueron observadas otras estructuras cercanas como puentes, redes de agua potable o pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como “media” y se sugiere realizar una evaluación específica del sitio, con análisis utilizando softwares especializados en geotecnia, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo.

Tabla 3. Talud en el estacionamiento 187+909

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Laura Solano
	Fecha	17/07/2024
	Ruta	2
	Latitud	9,158461
	Longitud	-83,393624
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	45°
	Altura del talud	15 m
	Material predominante	Suelo
	Estado del suelo	Relleno conformado
	Naturaleza del suelo	Ambos
	Agrietamiento en la cara del talud	Sin grietas
	Vegetación	Vegetación autóctona
	Uso de suelo	Camino/carretera
<b>Condición del talud</b>	Falla en el talud	No
	Forma del Talud	Compuesta
	Manejo de escorrentía	No hay manejo de escorrentía
	Afectación por escorrentía	Formación de cárcavas
	Agua en el talud	En la corona
	Flujo de agua en el talud	Sin Flujo
<b>Evidencia de movimiento</b>	Evidencia de movimiento	Sí
	Árboles inclinados	No
	Formación de Coronas	Sí
	Levantamiento al Pie del Talud	No
	Grietas en terreno	Grietas en la carretera
	Material caído	No
<b>Estructuras cercanas</b>	Presencia de obras de retención	No hay
	Presencia de viviendas y comercios	Más de 15 m
	Presencia de vías	0 m - 3 m
	Tipo de vía	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	0 m - 3 m	
<b>Recomendación final</b>		<b>Media - Evaluación específica del sitio</b>





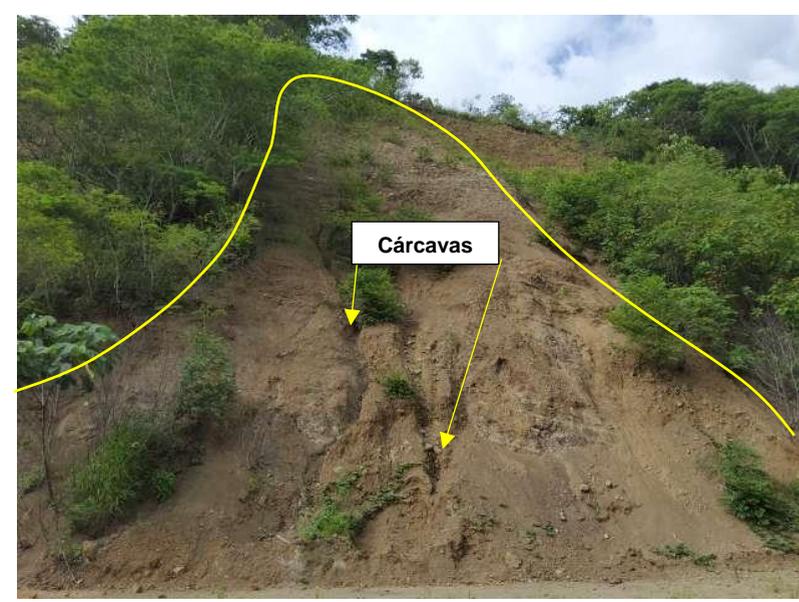
Por otro lado, en la Tabla 4 se pueden ver los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 227+315. Esta se puede resumir como sigue: el material presente es un material compuesto, primordialmente una roca medianamente fracturada sin presencia de materiales de relleno en las discontinuidades. Su pendiente es de aproximadamente  $65^\circ$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 30 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma compuesta. El talud presenta evidencias de movimiento con la presencia de árboles inclinados y la caída de un volumen muy pequeño de material (entre 50 a 200 m<sup>3</sup>). Asimismo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a una evolución de fallas y eventuales deslizamientos.

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

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 2) no se observó la presencia de viviendas, redes eléctricas, redes de agua potable, puentes, ni pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como “alta”, por lo que se sugiere realizar análisis profundos de la condición del talud con softwares especializados en geotecnia, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo, y poder así, brindar las recomendaciones específicas que pueden aplicarse para este talud.

Tabla 4. Talud en el estacionamiento 227+315

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Laura Solano
	Fecha	17/07/2024
	Ruta	2
	Latitud	8,98338
	Longitud	-83,256459
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	65°
	Altura del talud	30 m
	Material predominante	Roca
	Estado de la roca	Compuesto roca/suelo (primordialmente roca)
	Fracturación de la roca en la cara del talud	Medianamente fracturado
	Condición de las discontinuidades en roca	Discontinuidad sin relleno
	Espesor del relleno de discontinuidades	-
	Vegetación	Vegetación autóctona
<b>Condición del talud</b>	Uso de suelo	Camino/carretera
	Falla en el talud	No
	Forma del Talud	Compuesta
	Manejo de escorrentía	No hay manejo de escorrentía
	Afectación por escorrentía	Formación de cárcavas
	Agua en el talud	Seco
<b>Evidencia de movimiento</b>	Flujo de agua en el talud	Sin flujo
	Evidencia de movimiento	Sí
	Árboles inclinados	Sí
	Formación de Coronas	No se tiene acceso a información
	Levantamiento al Pie del Talud	No
	Grietas en terreno	No
<b>Estructuras cercanas</b>	Material caído	50 a 200 - Muy 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

**Alta - Requiere análisis profundo según condición del talud**



En el caso del talud del estacionamiento 238+387 la Tabla 5 resume los resultados de la caracterización de la evaluación realizada. En este caso el material presente en el talud es un material compuesto, primordialmente una roca medianamente fracturada sin presencia de materiales de relleno en las discontinuidades. Su pendiente es de aproximadamente  $65^\circ$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 50 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma compuesta en el cual no se apreciaron fallas en el talud. Sin embargo, el talud presenta evidencias de movimiento con la presencia de árboles inclinados y la caída de un volumen muy pequeño de material (entre 50 a 200 m<sup>3</sup>). Asimismo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a una evolución de fallas y eventuales deslizamientos.

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

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 2) no se observó la presencia de viviendas, redes eléctricas, redes de agua potable, puentes, ni pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como "alta", por lo que se sugiere realizar análisis profundos de la condición del talud con softwares especializados en geotecnia, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo, y poder así, brindar las recomendaciones específicas que pueden aplicarse para este talud.

Tabla 5. Talud en el estacionamiento 238+387

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Laura Solano
	Fecha	17/07/2024
	Ruta	2
	Latitud	8,96362
	Longitud	-83,320534
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	65°
	Altura del talud	50 m
	Material predominante	Roca
	Estado de la roca	Compuesto roca/suelo (primordialmente roca)
	Fracturación de la roca en la cara del talud	Medianamente fracturado
	Condición de las discontinuidades en roca	Discontinuidad sin relleno
	Espesor del relleno de discontinuidades	-
	Vegetación	Vegetación autóctona
	Uso de suelo	Camino/carretera
<b>Condición del talud</b>	Falla en el talud	No
	Forma del Talud	Compuesta
	Manejo de escorrentía	Sin manejo de escorrentía
	Afectación por escorrentía	Erosión superficial
	Agua en el talud	Seco
	Flujo de agua en el talud	Sin flujo
<b>Evidencia de movimiento</b>	Evidencia de movimiento	Sí
	Árboles inclinados	No
	Formación de Coronas	No
	Levantamiento al Pie del Talud	No
	Grietas en terreno	No
	Material caído	50 a 200 - Muy pequeño
<b>Estructuras cercanas</b>	Presencia de obras de retención	No hay
	Presencia de viviendas y comercios	No hay
	Presencia de vías	0 m - 3 m
	Tipo de vía	Autopista
	Presencia de redes eléctricas	0 m - 3 m
	Presencia de red de agua potable	No hay
	Presencia de puentes vehiculares	No hay
	Presencia de pasos peatonales	No hay
Presencia de cultivos	No hay	
<b>Recomendación final</b>		<b>Alta - Requiere análisis profundo según condición del talud</b>





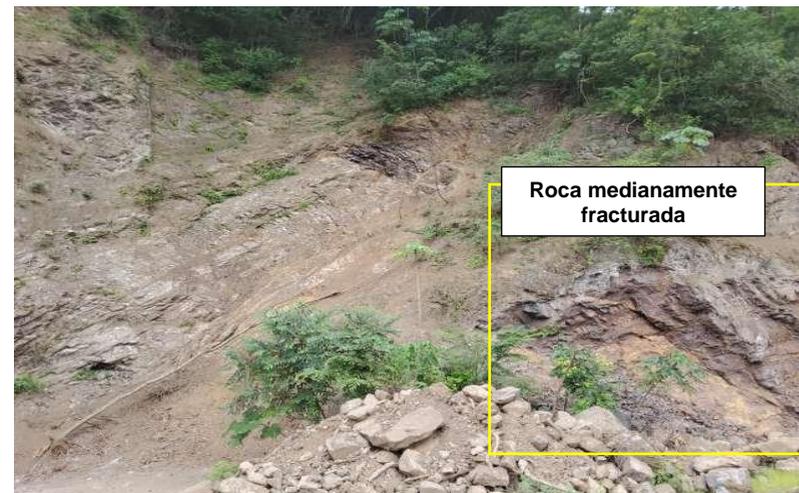
En la Tabla 6 se pueden ver los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 238+645. En este caso el material presente en el talud es un material compuesto, primordialmente una roca medianamente fracturada sin presencia de materiales de relleno en las discontinuidades. Su pendiente es de aproximadamente  $65^{\circ}$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 30 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma compuesta en el cual no se apreciaron fallas en el talud. Sin embargo, el talud presenta evidencias de movimiento con la presencia de la caída de un volumen muy pequeño de material (entre 50 a 200 m<sup>3</sup>). Asimismo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a una evolución de fallas y eventuales deslizamientos.

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

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 2) se observó la presencia de redes eléctricas, sin embargo, no se observó la presencia de viviendas, redes de agua potable, puentes, ni pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como “alta”, por lo que se sugiere realizar análisis profundos de la condición del talud con softwares especializados en geotecnia, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo, y poder así, brindar las recomendaciones específicas que pueden aplicarse para este talud.

Tabla 6. Talud en el estacionamiento 238+645

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Laura Solano
	Fecha	17/7/2024
	Ruta	2
	Latitud	8,962829
	Longitud	-83,322687
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	65°
	Altura del talud	30 m
	Material predominante	Roca
	Estado de la roca	Compuesto roca/suelo (primordialmente roca)
	Fracturación de la roca en la cara del talud	Medianamente fracturado
	Condición de las discontinuidades en roca	Discontinuidad sin relleno
Espesor del relleno de discontinuidades	-	
<b>Condición del talud</b>	Vegetación	Vegetación autóctona
	Uso de suelo	Camino/carretera
	Falla en el talud	No
	Forma del Talud	Compuesta
	Manejo de escorrentía	No hay manejo de escorrentía
	Afectación por escorrentía	Erosión superficial
	Agua en el talud	Seco
	Flujo de agua en el talud	Sin flujo
<b>Evidencia de movimiento</b>	Evidencia de movimiento	Sí
	Árboles inclinados	No
	Formación de Coronas	No se tiene acceso a información
	Levantamiento al Pie del Talud	No
	Grietas en terreno	No
	Material caído	50 a 200 - Muy pequeño
<b>Estructuras cercanas</b>	Presencia de obras de retención	No hay
	Presencia de viviendas y comercios	No hay
	Presencia de vías	0 m - 3 m
	Tipo de vía	Autopista
	Presencia de redes eléctricas	3 m - 8 m
	Presencia de red de agua potable	No hay
	Presencia de puentes vehiculares	No hay
	Presencia de pasos peatonales	No hay
<b>Recomendación final</b>		<b>Alta - Requiere análisis profundo según condición del talud</b>





La Tabla 7 resume los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 238+920, en el cual se tiene un talud de roca medianamente fracturada sin presencia de materiales de relleno en las discontinuidades. Su pendiente es de aproximadamente  $65^\circ$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 35 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma compuesta en el cual no se apreciaron fallas en el talud. Sin embargo, el talud presenta evidencias de movimiento con la presencia de la caída de un volumen muy pequeño de material (entre 50 a 200 m<sup>3</sup>). Asimismo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a una evolución de fallas y eventuales deslizamientos.

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

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 2) se observó la presencia de redes eléctricas, sin embargo, no se observó la presencia de viviendas, redes de agua potable, puentes, ni pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como “media” y se sugiere realizar una evaluación específica del sitio, con análisis utilizando softwares especializados en geotecnia, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo.

Tabla 7. Talud en el estacionamiento 238+920

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Laura Solano	
	Fecha	17/7/2024	
	Ruta	2	
	Latitud	8,960883	
	Longitud	-83,324269	
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm	
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	65°	
	Altura del talud	35 m	
	Material predominante	Roca	
	Estado de la roca	Roca fracturada	
	Fracturación de la roca en la cara del talud	Medianamente fracturado	
	Condición de las discontinuidades en roca	Discontinuidad sin relleno	
	Espesor del relleno de discontinuidades	-	
<b>Condición del talud</b>	Vegetación	Vegetación autóctona	
	Uso de suelo	Camino/carretera	
	Falla en el talud	No	
	Forma del Talud	Compuesta	
	Manejo de escorrentía	No hay manejo de escorrentía	
	Afectación por escorrentía	Erosión superficial	
	Agua en el talud	Seco	
<b>Evidencia de movimiento</b>	Flujo de agua en el talud	Sin flujo	
	Evidencia de movimiento	Sí	
	Árboles inclinados	No	
	Formación de Coronas	No	
	Levantamiento al Pie del Talud	No	
	Grietas en terreno	No	
<b>Estructuras cercanas</b>	Material caído	50 a 200 - Muy 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	8 m - 15 m	
	Presencia de red de agua potable	No hay	
	Presencia de puentes vehiculares	No hay	
Presencia de pasos peatonales	No hay		
<b>Recomendación final</b>		<b>Media - Evaluación específica del sitio</b>	



Finalmente, en la Tabla 8 se pueden ver los resultados de la caracterización de la evaluación realizada para el talud del estacionamiento 239+036. Esta se puede resumir como sigue: el material presente es una roca masiva poco fracturada. Su pendiente es de aproximadamente  $65^\circ$ , por lo cual se puede clasificar como escarpada. Se trata de un talud de corte de una altura aproximada de 40 m. Por lo observado en campo, el talud tiene una forma compuesta el cual no muestra evidencias de falla, sin embargo, presenta algunas evidencias de movimiento del terreno debido a la presencia de árboles inclinados y un volumen muy pequeño de material caído (50 a 200 m<sup>3</sup>). Sin embargo, no se puede descartar que el proceso de meteorización conlleve a la evolución de las fallas y eventuales deslizamientos.

Adicionalmente, debido a la ausencia de cunetas, contracunetas y otras medidas de protección en la cara del talud, se observaron afectaciones por erosión superficial y la formación de cárcavas. Al momento de la inspección el talud se encontraba con presencia de agua y flujo de agua al pie del talud del talud, no obstante, es probable que esta condición varíe en la época lluviosa y es posible que se dé un ascenso de los niveles de saturación y flujo de agua.

En los alrededores, además de la presencia de la carretera (ruta nacional 2) se observó la presencia de redes eléctricas, sin embargo, no se observó la presencia de viviendas, redes de agua potable, puentes, ni pasos peatonales. Así pues, con base en esta caracterización, la condición del talud puede clasificarse como "alta", por lo que se sugiere realizar análisis profundos de la condición del talud con softwares especializados en geotecnia, considerando la topografía actual y considerando escenarios con saturación del terreno y sismo, y poder así, brindar las recomendaciones específicas que pueden aplicarse para este talud.

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

Tabla 8. Talud en el estacionamiento 239+036

<b>Datos Generales</b>	Profesional a cargo	Laura Solano	 <p><b>Erosión</b></p>
	Fecha	17/7/2024	
	Ruta	2	
	Latitud	8,959872	
	Longitud	-83,324606	
	Precipitación	2000 mm - 3000 mm	
<b>Caracterización del talud</b>	Pendiente	65°	
	Altura del talud	40 m	
	Material predominante	Roca	
	Estado de la roca	Roca sana	
	Fracturación de la roca en la cara del talud	Poco fracturado	
	Condición de las discontinuidades en roca	Condición masiva	
	Espesor del relleno de discontinuidades	-	
<b>Condición del talud</b>	Vegetación	Vegetación autóctona	
	Uso de suelo	Camino/carretera	
	Falla en el talud	No	
	Forma del Talud	Compuesta	
	Manejo de escorrentía	Sin manejo de escorrentía	
	Afectación por escorrentía	Formación de cárcavas	
	Agua en el talud	Al pie	
<b>Evidencia de movimiento</b>	Flujo de agua en el talud	Al pie	
	Evidencia de movimiento	Sí	
	Árboles inclinados	Sí	
	Formación de Coronas	No se tiene acceso a información	
	Levantamiento al Pie del Talud	No	
	Grietas en terreno	No	
<b>Estructuras cercanas</b>	Material caído	50 a 200 - Muy 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	8 m - 15 m	
	Presencia de red de agua potable	No hay	
	Presencia de puentes vehiculares	No hay	
Presencia de pasos peatonales	No hay		
<b>Recomendación final</b>		<b>Alta - Requiere análisis profundo según condición del talud</b>	 <p><b>Flujo de agua en la cara del talud</b></p> <p><b>Ausencia de estructuras para el manejo de agua</b></p>



## VI. COMENTARIOS FINALES

Después de realizar la visita de campo a la ruta nacional 2, 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 informe EIC-Lanamme-INF-1708-2023, 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, 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 designado 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 constituya 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 evaluación apropiada del sitio específico, así como para conocer su topografía específica, se recomienda realizar el levantamiento con Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) para la generación de Modelos de Elevación Digital (MED) como medida alternativa para generar dicha topografía, y posteriormente realizar análisis con softwares especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión especialmente en el tramo que concentra la mayor cantidad de puntos entre los estacionamientos 210+000 al 254+000 (54 puntos), tramo localizado entre El Brujo y Palmar Norte.



### 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.