



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte
Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional

INFORME DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO

EIC-Lanamme-INF-0309-2023

RUTA NACIONAL N°1, TRAMO SAN RAMÓN-CAMBRONERO
RUTA CANTONAL ALTERNA, RÍO JESÚS - PIEDRA BLANCA

San José, Costa Rica

Marzo, 2023



Documento generado con base en el Artículo 6, inciso c) de la Ley 8114 y lo señalado en el Capítulo II, Artículo 14 del Reglamento del Artículo 6 de la precitada ley, publicada mediante Decreto DE-37016-MOPT.



1. Informe EIC-Lanamme-INF-0309-2023		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: INFORME DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO RUTA NACIONAL N°1, TRAMO SAN RAMÓN-CAMBRONERO RUTA CANTONAL ALTERNA, RÍO JESÚS - PIEDRA BLANCA		4. Fecha del Informe Marzo 2023
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. Notas complementarias: No aplica		
7. Resumen En este informe se presenta la evaluación general y el seguimiento de las condiciones geológicas y geotécnicas, que presentan varios sitios en el tramo entre la ciudad de San Ramón y el sector de Cambronero de la Ruta Nacional No.1, así como en la Ruta Cantonal alterna entre Río Jesús y Piedra Blanca en San Ramón de Alajuela. Según las condiciones observadas se establece el riesgo potencial de pérdida de conectividad en cada sitio de interés. Varios de estos sitios tienen potencial de generar una interrupción completa en el tránsito y una afectación directa a los usuarios. Algunos sitios tienen años sin ser atendidos de forma efectiva por la Administración, en otros casos se han realizado y se están realizando actualmente labores de intervención. La zona en estudio se caracteriza por ser una zona montañosa, escarpada y con procesos de meteorización y erosión superficial natural y acelerada, en algunos casos por acción antrópica. Mediante el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados, también conocidos como drones, se realizó un levantamiento fotogramétrico, el cual permitió generar modelos de elevación con la topografía de varios de los puntos evaluados. Esta información permitió identificar rasgos en la superficie que son evidencia de la evolución y la actividad que se está presentando producto de la inestabilidad del terreno. Se presentan también las conclusiones de la evaluación, así como las recomendaciones que se consideran pertinentes para salvaguardar la seguridad de los usuarios y la calidad de la infraestructura vial del país.		
8. Palabras clave Ruta Nacional No.1, Ruta Alterna, taludes, deslizamiento, seguridad vial, infraestructura vial	9. Nivel de seguridad: Bajo	10. Núm. de páginas 56
11. Preparado por:		
Geol. Paulo Ruiz Cubillo, Ph.D. Geólogo UGERVN	Ing. Ronald Naranjo Ureña, PMP Ingeniero Civil UGERVN	Ing. Jairo Sanabria Sandino, PMP Ingeniero Civil UGERVN



12. Revisado por:

Ing. Roy Barrantes Jiménez, MSc, PMP
Coordinador
UGERVN

Ing. Ana Lorena Monge Sandí, MSc
Coordinadora
PIG

Lic. Giovanni Sancho Sanz
Asesor Legal

13. Aprobado por:

Ing. Ana Luisa Elizondo Salas MSc
Coordinadora General
PITRA



Tabla de contenido

1. POTESTADES.....	5
2. OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN.....	5
3. METODOLOGÍA Y ALCANCE DE LA EVALUACIÓN	5
3.1 Riesgo potencial de pérdida de conectividad.....	6
4. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	7
4.1 Localización de la zona de estudio	7
4.2 Geología y fallas en la zona de estudio	9
5. CONDICIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS	11
5.1 Punto 1 – Ruta Nacional No.1, Estacionamiento 58+586	11
5.2 Punto 2 – Ruta Nacional No.1, Estacionamiento 61+910	14
5.2.1 Análisis fotogramétrico.....	19
5.3 Punto 3 – Ruta Nacional No.1, Estacionamiento 66+035	21
5.4 Punto 4 – Ruta Nacional No.1, Estacionamiento 70+000	24
5.5 Punto 5 – Ruta Nacional No.1, Estacionamiento 60+745	30
5.6 Punto D-170922 – Ruta Nacional No.1, Estacionamiento 69+673.....	32
5.7 Ruta Cantonal alterna Río Jesús-Piedra Blanca.....	36
5.7.1 Puntos RA-1 y RA-2. Ruta cantonal alterna Río Jesús y Piedra Blanca.....	36
5.7.2 Punto RA-3. Ruta cantonal alterna Río Jesús y Piedra Blanca.	38
5.7.3 Punto RA-4. Ruta cantonal alterna Río Jesús y Piedra Blanca.	42
5.7.4 Análisis fotogramétrico.....	45
6. CONCLUSIONES	49
7. RECOMENDACIONES.....	52
8. REFERENCIAS	55



1. POTESTADES

El presente informe se enmarca en las funciones de evaluación bienal de la red vial nacional pavimentada, que los Artículos 5 y 6 de la Ley No. 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias encomienda a la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LANAMMEUCR) “para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense”.

2. OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN

El objetivo de la evaluación es brindar de forma oportuna información relevante para la toma de decisiones por parte de la Administración, mediante la evaluación y el seguimiento de la condición que presentan varios sitios de interés geológico y geotécnico en la Ruta Nacional No.1 (RN-1), en el tramo entre la ciudad de San Ramón y el sector de Cambronero, e igualmente evaluar estas condiciones en la ruta cantonal alterna Río Jesús-Piedra Blanca, habilitada recientemente por la Administración para el paso de vehículos livianos.

3. METODOLOGÍA Y ALCANCE DE LA EVALUACIÓN

Las evaluaciones que realiza la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN) del LanammeUCR incluyen, entre otras actividades, las evaluaciones de campo. Se realizan con el fin de complementar y actualizar la información recabada en informes anteriores, sobre el estado de los diferentes componentes de la infraestructura vial. Para este informe se cuenta, como antecedentes, con los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas en los años 2021 y 2022, en varios sitios de interés en este tramo de la Ruta Nacional No.1, los cuales se describen en los informes INF-PI-UGERVN-002-2021, INF-PI-UGERVN-004-2021 y EIC-Lanamme-INF-1587-2022.

Este año 2023 se realizó una gira de campo el 18 de enero, al sector de Cambronero en la Ruta Nacional No.1, en el tramo entre San Ramón y Esparza, así como en la ruta cantonal alterna Río Jesús-Piedra Blanca. En esta gira de seguimiento se realizaron observaciones *in situ* para un análisis visual de los cambios y estado actual de los seis puntos evaluados



en informes anteriores. Se incluyó la evaluación de la ruta alterna Río Jesús – Piedra Blanca, habilitada recientemente para el paso de vehículos livianos.

En el Punto 2 evaluado se realizó un vuelo programado con un dispositivo de Vuelo Aéreo No Tripulado (VANT), para generar un modelo digital del terreno y compararlo con el modelo realizado en el 2022, con el fin de identificar los principales cambios que ha experimentado este sector.

En un tramo de la ruta cantonal alterna Río Jesús – Piedra Blanca se hizo un levantamiento fotogramétrico, con el fin de tener un registro de los trabajos realizados en cuanto a la conformación de taludes y disposición de materiales en escombreras o botaderos.

Finalmente se procesó la información obtenida en campo, se clasificaron los sitios de acuerdo con el riesgo potencial de pérdida de conectividad que presentan. Se muestran los resultados de las evaluaciones, así como las conclusiones y las recomendaciones pertinentes.

Este informe cuenta con el aporte del Programa de Ingeniería Geotécnica del LanammeUCR, como parte del equipo de trabajo establecido para la valoración de las observaciones producto de esta evaluación.

3.1 Riesgo potencial de pérdida de conectividad

En el análisis de los puntos observados se incorpora una valoración técnica, por medio de observación y análisis del entorno de lo que se ha denominado "riesgo potencial de pérdida de conectividad" y se han definido tres niveles de riesgo potencial. Este análisis se realiza mediante la ponderación cualitativa de los distintos niveles de riesgo mencionados en la siguiente lista:

1. **Riesgo potencial bajo**. Cuando las condiciones del sitio observadas revelan una probabilidad de generar, bajo ciertas condiciones del entorno, una pérdida parcial de la conectividad del corredor, pero con posibilidades de recuperar esta conectividad



con intervenciones pequeñas o cuando la sección muestre algún nivel de redundancia en la conectividad (rutas alternas o condiciones topográficas favorables) o sea una ruta que forma parte de la red básica de acceso o de los conectores de Integración territorial definidos en el Plan Nacional de Transportes.

2. **Riesgo potencial medio.** Cuando las condiciones del sitio observadas revelan una probabilidad de generar, bajo ciertas condiciones del entorno, una pérdida significativa de la conectividad del corredor, con la posibilidad de recuperar esta conectividad con intervenciones importantes, pero con algún nivel de redundancia en la conectividad (rutas alternas o condiciones topográficas favorables) o sea una ruta que forma parte de la Red de Distribuidores Regionales definida en el Plan Nacional de Transportes.

3. **Riesgo potencial alto.** Cuando las condiciones del sitio observadas revelan una probabilidad de generar, bajo ciertas condiciones del entorno, una pérdida total de la conectividad del corredor, con la posibilidad de recuperar esta conectividad con intervenciones mayores y con poca o nula redundancia en la conectividad (inexistencia de rutas alternas o condiciones topográficas favorables) o sea una ruta que forma parte de la Red de Alta Capacidad definida en el Plan Nacional de Transportes.

4. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1 Localización de la zona de estudio

El tramo de carretera evaluado en la Ruta Nacional N°1 se localiza entre las localidades de San Ramón y Esparza (Figura 1). Además, se evaluaron las condiciones geológicas y geotécnicas de la Ruta Cantonal alterna habilitada recientemente entre las localidades de Río Jesús y Piedra Blanca para una longitud de 7,16 km.

Como se mencionó en el Informe EIC-Lanamme-INF-1587-2022, la *zona en estudio se caracteriza por ser una zona montañosa, escarpada y con procesos intensos de*



meteorización y erosión superficial natural y acelerada, en algunos casos por acción antrópica. Estos procesos propician la reptación del terreno y en algunos casos podrían ser los desencadenantes de procesos de remoción de masa más importantes. La ruta alterna entre los poblados de Río Jesús y Piedra Blanca, se localiza al sur de la Ruta Nacional N°1, sobre la divisoria de aguas.

En general es una zona escarpada, ubicada cerca de la divisoria de aguas que conforma la cabecera del río Jesús María. Al sur de la ruta alterna y a una altitud menor se ubican las nacientes de los ríos Obispo, Quebrada la Veta y Río Agua Agria, así como otras 3 quebradas sin nombre que son afluentes del río Jesús María.

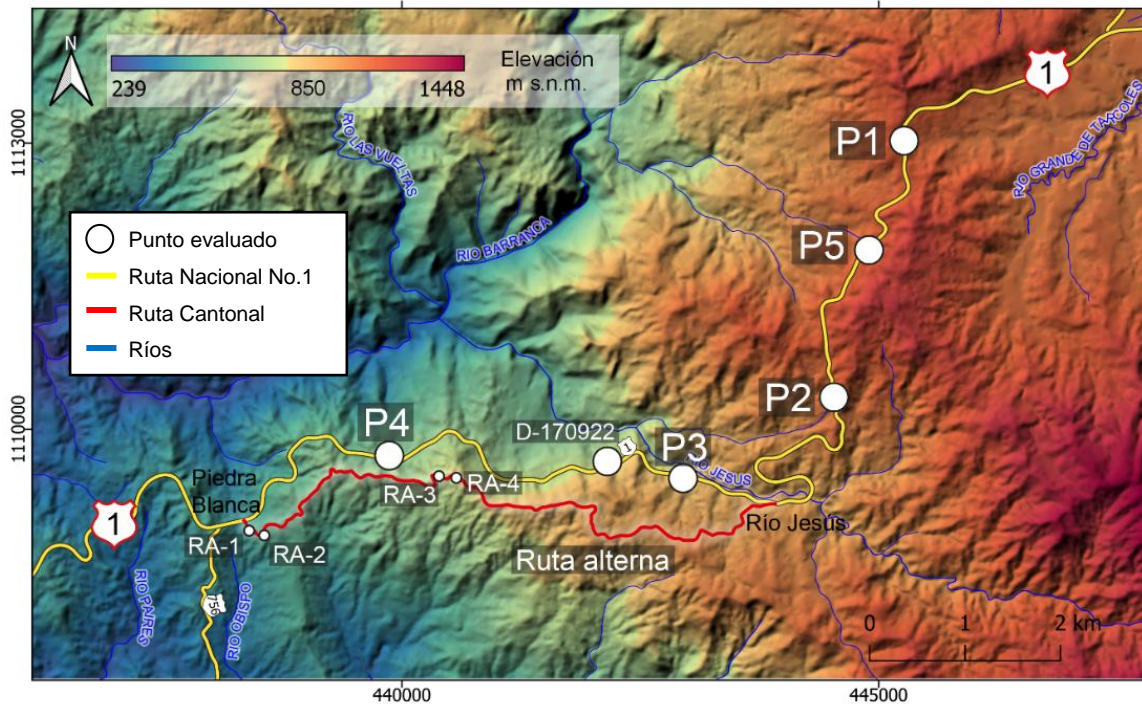


Figura 1. Mapa de localización de los tramos de carretera y los puntos evaluados en este informe. Se muestran en el modelo de elevación la Ruta Nacional No.1 y la Ruta Cantonal alterna Río Jesús – Piedra Blanca



La ubicación precisa de los puntos evaluados se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. *Coordenadas de la ubicación de puntos evaluados en la Ruta Nacional No.1. y en la Ruta Cantonal alterna entre Río Jesús y Piedra Blanca. Proyección CRTM05*

Ruta Nacional No.1			
Código	Ubicación		Estacionamiento
	Este	Norte	
P1	445443.26	1113352.83	58+586
P2	444481.36	1110675.64	61+910
P3	443046.90	1109496.55	66+035
P4	439926.58	1109669.18	70+000
P5	444737.55	1111683.82	60+745
D-170922	439950.82	1109611.18	69+673

Ruta Cantonal alterna Río Jesús - Piedra Blanca		
Código	Ubicación	
	Este	Norte
RA-P1	438416.71	1108939.30
RA-P2	438527.47	1108893.65
RA-P3	440356.48	1109509.64
RA-P4	440553.80	1109513,74

4.2 Geología y fallas en la zona de estudio

En la Figura 2 se presenta información relevante para el análisis de las condiciones geológicas, en la zona de estudio correspondiente al presente informe. Los sitios están relacionados con litologías que pertenecen al Grupo Aguacate, en su mayoría rocas ígneas con diferentes grados de alteración hidrotermal y meteorización intensa.

Según se ha mencionado en informes anteriores (INF-PI-UGERVN-002-2021, INF-PI-UGERVN-004-2021 y EIC-Lanamme-INF-1587-2022) y según se aprecia en la Figura 2, los puntos P2, P4 y P5 se ubican en zonas atravesadas por fallas tectónicas, de acuerdo con la información geológica comprobada en el campo y mediante fotografías aéreas.

Para los puntos P2 y P5 las fallas tectónicas presentan un rumbo NW-SE y tienen movimiento de rumbo de tipo dextral. El P4 está ubicado en una zona donde hay dos fallas tectónicas, una con rumbo NE-SE y otra con rumbo N-S.

Cerca del P3 hay varias fallas inferidas, las cuales en su mayoría atraviesan la ruta con rumbo NW-SE, este rumbo es recurrente en la zona debido a los esfuerzos tectónicos regionales.



Es frecuente que las zonas que atraviesan las fallas presenten alteración de los suelos y las rocas que están cerca de estas estructuras tectónicas, en algunos casos se puede presentar alteración hidrotermal y piritización (acumulación del mineral piritita que puede generar acidificación de aguas superficiales) como por ejemplo en el P2 y la falla que atraviesa ese sitio.

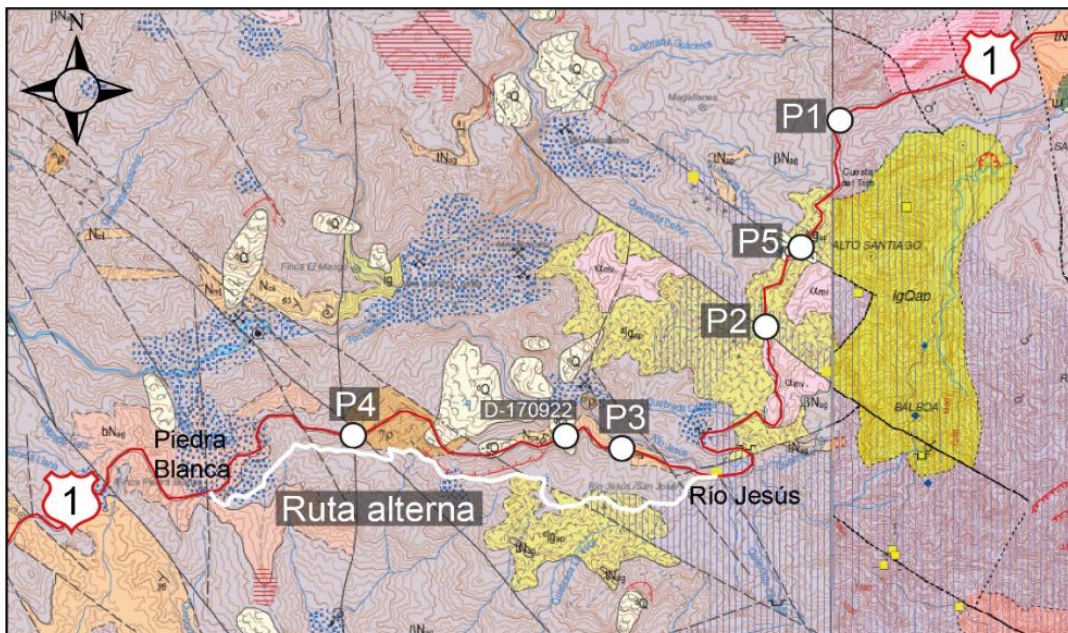


Figura 2. Mapa geológico a partir de los datos de los Mapas escala 1:50 000 de las hojas Naranja (3346-III) y Miramar (3246-II) de la Dirección General de Geología y Minas (Zacek V. Vorel T. Kyd P. Huapaya S. 2010 y Huapaya, S. & Rojas. V., 2012). Se indican los puntos evaluados en este informe y la ubicación de la ruta alterna



Todos estos tramos de carretera que son atravesadas por fallas tectónicas, por lo que deberían ser considerados por la Administración para realizar estudios más detallados, como por ejemplo el de prospección geofísica, con el fin de determinar la zona de afectación y alteración de los materiales en profundidad, además de determinar el ancho de la zona de influencia de la falla que atraviesa la carretera. Este tipo de estudios se deberían de considerar como un insumo para plantear y diseñar soluciones definitivas a los puntos que han sido evaluados en este informe.

5. CONDICIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS

5.1 Punto 1 – Ruta Nacional No.1, Estacionamiento 58+586

Tal y como se describe en los informes anteriores del LanammeUCR, en este sitio tiene lugar un deslizamiento que ha afectado durante varios años un tramo de carretera de aproximadamente 145 m de longitud. Las condiciones geológicas y geotécnicas de este sitio fueron descritas en términos generales en el informe INF-PI-UGERVN-002-2021.

En la gira de evaluación realizada el 18 de enero del 2023, en este sector de la carretera se identificó una intervención realizada en la superficie de ruedo. Tal como se aprecia en las figuras 3 y 4, se observó un tramo del pavimento que fue colocado en una fecha posterior a la evaluación realizada en octubre el año pasado (05/10/22).



Figura 3. Sector oeste de la corona del deslizamiento en la carretera. Se observan diferencias en la superficie del pavimento entre octubre del 2022 y enero del 2023, evidencia de intervenciones meses recientes. En el recuadro de color amarillo se muestra la zona de la calzada más afectada por el deslizamiento en este sector



Figura 4. Corona del deslizamiento en el sector este del pavimento. En esta comparación entre el 2022 y el 2023 se muestra la intervención realizada con el fin de allanar el desnivel provocado por el deslizamiento en este sector. Las fotografías fueron tomadas en sentidos opuestos de circulación vehicular



La intervención realizada por la Administración, con la colocación de una nueva capa de mezcla asfáltica, permitió ajustar la altura de la porción del terreno que se encontraba en una cota inferior debido al deslizamiento.

Tal como ha quedado evidenciado en los informes de evaluación anteriores (2021 y 2022), esta es una práctica de intervención que ha implementado la Administración en este sitio, la cual se traduce en una solución que permite el tránsito durante algún tiempo, posteriormente la grieta con el desnivel se vuelve a presentar y el sitio debe ser nuevamente intervenido. Como consecuencia estas intervenciones no resuelven el problema que provoca la inestabilidad de este tramo de la Ruta Nacional No.1.

No se observó evidencia de otros trabajos realizados en este sector desde la evaluación anterior, además de los ya indicados. Tanto en lo relativo a solucionar de forma definitiva los problemas debidos a la inestabilidad del terreno, como al manejo del agua de escorrentía, ya que no se identificaron obras de drenaje superficial construidas recientemente. Se mantienen las mismas deficiencias en este sentido detectadas en las evaluaciones de los años 2021 y 2022.

La valoración del riesgo potencial detectado en este punto continúa siendo **Riesgo potencial alto** de pérdida de conectividad, dado que se trata de una ruta de la Red de Alta Capacidad, es una zona de falla activa que muestra deterioros recientes, la cual atraviesa completamente la sección transversal de la carretera.

5.2 Punto 2 – Ruta Nacional No.1, Estacionamiento 61+910

Este sitio, al igual que el Punto 1, ha se han presentado, durante años, deterioros en la estructura del pavimento debido al movimiento del terreno. En el informe INF-PI-UGERVN-002-2021 las condiciones geológicas y geotécnicas de este sitio fueron descritas en términos generales.



La inestabilidad del terreno se manifiesta en la superficie en forma de grietas, hundimientos y desplazamientos en general, tanto en la estructura del pavimento como en el terreno circundante, con patrones que se repiten luego de las intervenciones que realiza cada cierto tiempo la Administración. Estas y otras observaciones fueron descritas en los siguientes informes de evaluación del LanammeUCR: INF-PI-UGERVN-002-2021, INF-PI-UGERVN-004-2021 y EIC-Lanamme-INF-1587-2022.

La Administración realizó varias obras durante el periodo de cierre de este tramo de la Ruta Nacional No.1, periodo que dio inicio en agosto del año 2022. Estas obras han mejorado la condición preexistente, brindando de forma temporal una sección con mejores estándares de seguridad y servicio.

Dentro de las obras construidas destaca un relleno granular de importantes dimensiones, el cual se extiende por un tramo de aproximadamente 150 m de longitud y presenta alturas máximas de 2,89 m aproximadamente (ver sección 5.2.1).

Para comparar visualmente este punto se utilizaron fotografías aéreas perpendiculares al terreno, tomadas con un VANT a una altura de 60 m sobre la superficie, según se observa en la Figura 5.



Figura 5. Vistas aéreas para la comparación de la condición del Punto 2, entre octubre del 2022 y enero del 2023. Se observa el relleno construido en la zona que ha presentado grietas y hundimientos, debido a la inestabilidad del terreno



Según se pudo observar en la superficie de los taludes del relleno, este fue construido con material granular.

En cuanto a la condición de la superficie de los taludes de este relleno, no se observó ningún tipo de protección superficial para evitar el daño por lluvia. Debe tomarse en cuenta que el material granular es susceptible de ser erosionado por acción del impacto y la escorrentía del agua de lluvia. Si no se evita el daño por erosión, eventualmente se podría ver comprometida la integridad o la estabilidad del relleno que da soporte a la carretera.

En la evaluación realizada en enero de este año 2023, no se pudo observar evidencia de daño en la superficie de ruedo que pueda relacionarse con el movimiento del terreno observado en las evaluaciones anteriores, como, por ejemplo, grietas o desplazamientos. Sin embargo, el relleno fue construido sobre un terreno que ha demostrado históricamente ser inestable, por lo tanto, es previsible que, de continuar el movimiento en el terreno, eventualmente dichos movimientos se reflejen en el relleno y en la estructura de pavimento en la parte superior, lo que se podría traducir en nuevos deterioros como grietas y hundimientos que, afecten directamente y de forma negativa el tránsito vehicular, así como la seguridad vial de los usuarios de esta importante Ruta Nacional.

Por otra parte, al costado oeste del relleno se observó una cuneta de concreto, dispuesta para el manejo de una parte del agua de escorrentía en este sector de la carretera, tal y como se observa en la Figura 6.



Figura 6. Cuneta de concreto al costado del relleno. A) Vista aérea del relleno y la cuneta de concreto. B) Vista al nivel de la cuneta. C y D) Separaciones milimétricas entre los paños de concreto de la cuneta, algunas de estas uniones presentan reparaciones recientes, sin embargo, la separación entre algunos segmentos de cuneta es apreciable actualmente



Según las dimensiones y la disposición del relleno granular, esta cuneta de concreto estaría también construida sobre una parte de este relleno (ver Figura 6 A). En la evaluación realizada se identificaron juntas constructivas en la cuneta revestida, las cuales han sido intervenidas con sello de concreto.

Es recomendable darle seguimiento al comportamiento de estas juntas, con el fin de determinar si su separación aumenta con el paso del tiempo y si pueden estar relacionadas con desplazamientos en el relleno que les da soporte, ya que eventualmente estos deterioros pueden afectar el desempeño y la efectividad de esta obra de drenaje y dañar posteriormente el relleno que da soporte a la carretera.

Se considera que en este sitio el nivel de riesgo potencial por pérdida de conectividad ahora presenta **Riesgo potencial medio** de pérdida de conectividad. Aunque las obras nuevas facilitan el paso por el sitio, la construcción en sí de las obras (relleno y alcantarilla) no parece solucionar el problema de inestabilidad del terreno y es de esperar deformaciones en el sitio que afecten la conectividad a mediano y largo plazo.

Se recomienda realizar los estudios y los diseños requeridos para la implementación de una solución definitiva para este sitio, ya que, como se ha mencionado, es previsible que el relleno recientemente construido, al estar sobre una zona históricamente inestable, eventualmente pueda presentar fallas y deterioros debido del movimiento del terreno.

5.2.1 Análisis fotogramétrico

En el punto P2 se hizo un análisis fotogramétrico para determinar los cambios topográficos que se han dado entre octubre del 2022 y enero del 2023, debido a las intervenciones realizadas en ese sector. Además, se hizo un levantamiento de un sector de la Ruta alterna entre el Río Jesús y Piedras Blancas, para analizar las características de la zona y futuras comparaciones.

Para hacer esta comparación, se obtuvo la topografía del terreno mediante modelos de elevación digital (MED), uno para cada momento de evaluación. Los MED fueron generados



mediante el software licenciado Agisoft Metashape mediante técnicas de fotogrametría, con las fotografías aéreas capturadas con un VANT tipo DJI Phantom 4 RTK en vuelos programados, el 05 de octubre de 2022 y el 18 de enero del 2023.

A partir de la comparación numérica de los MED, por medio de programas especializados, se determinó la diferencia de nivel topográfico en este sector después de la intervención realizada por parte de la Administración. Para esto se realizó un análisis de mínimos cuadrados mediante el programa gratuito CloudCompare.

Producto de dicha comparación se identificaron las diferencias entre la superficie de ruedo en el año 2022 y enero del 2023, después de los trabajos de intervención, ver Figura 23.

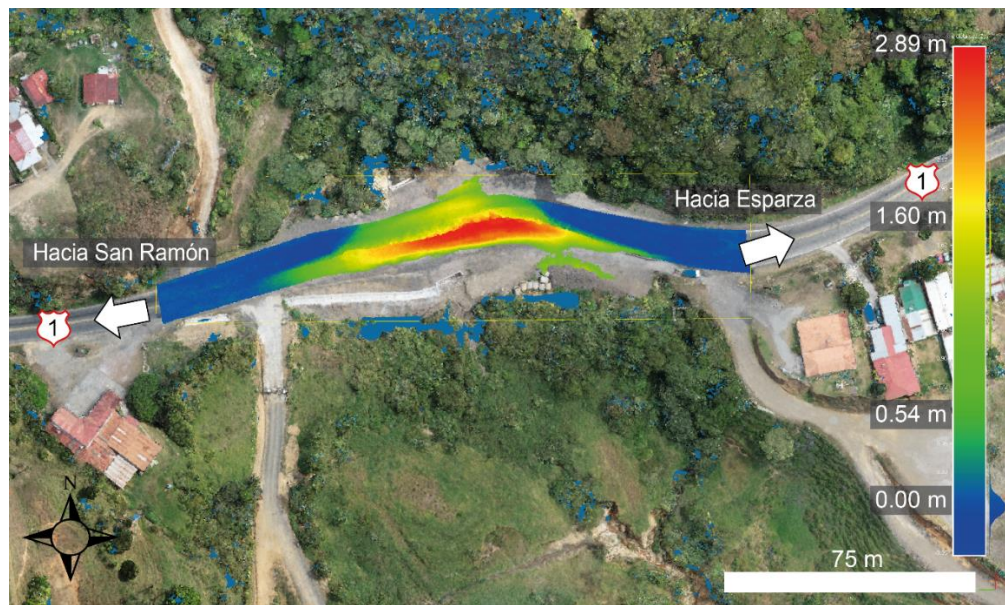


Figura 23. En esta figura se muestra el sector donde se ubica el deslizamiento del Empalme y las diferencias en la cota de la superficie debido a la intervención realizada por parte de la Administración. El color rojo indica las zonas con mayor cambio entre un MED y otro. La escala vertical en metros muestra el rango de diferencias verticales determinadas en la superficie de la zona analizada.



Tal como se aprecia en la Figura 23, de acuerdo con estos resultados, entre las dos fechas indicadas de los levantamientos de datos topográficos, posterior a la intervención realizada, la máxima diferencia de elevación registrada entre las superficies de ruedo es de 2.89 m. Siendo esto producto de la construcción del relleno.

Esta información representa un insumo para el control topográfico del desplazamiento que se pueda presentar en el relleno. Deben realizarse estudios planificados y ejecutados por parte de la Administración, para lograr una modelación detallada de las condiciones geológicas y geotécnicas que caracterizan este sitio.

5.3 Punto 3 – Ruta Nacional No. 1, Estacionamiento 66+035

La condición de este sitio ha sido descrita en los informes INF-PI-UGERVN-002-2021 y EIC-Lanamme-INF-1587-2022. El problema de inestabilidad afecta directamente el terreno que da soporte a la carretera. Esto provocó la pérdida de una porción importante de la estructura del pavimento, con la consecuente disminución de la sección horizontal disponible para el tránsito vehicular.

Posteriormente el avance del problema de inestabilidad llevó a la Administración a intervenir este sitio. Durante la evaluación del año 2022 se observó en varios puntos la ejecución de sondeos exploratorios (Informe EIC-Lanamme-INF-1587-2022). Más recientemente en la gira de evaluación realizada el 18 de enero del 2023, se observó la condición que presentan las obras que se están ejecutando en este Punto 3.

Según se observa en la Figura 7, el sitio está siendo intervenido con la construcción de varias obras. Destaca la alcantarilla de tubería de concreto que fue colocada, al momento de la evaluación se trabajaba en la construcción del relleno que confina la tubería y en el muro del cabezal aguas arriba, tal como se aprecia en las Figuras 7 y 8.



Figura 7. Obras en construcción en el Punto 3, Ruta Nacional 1. Se observa un tramo de la tubería de concreto que fue colocada como parte de las obras en este sitio, así como una parte del relleno al costado y sobre la tubería



Figura 8. Cabezal en construcción aguas arriba, Punto 3 Ruta Nacional 1. Se aprecian parte de los trabajos que se desarrollaban en la entrada de la alcantarilla al momento de la evaluación



Durante la gira de evaluación realizada el 18 de enero del 2023, el equipo evaluador del LanammeUCR fue informado de manera verbal, por parte de los contratistas que trabajan en este sitio, que, resultado de los sondeos y estudios llevados a cabo, se propuso a la Administración construir una obra de retención en el sector aguas abajo, a la salida de la alcantarilla, con el fin de resolver el problema de inestabilidad. Al momento de la evaluación no se realizaban trabajos en dicho sector para tal fin, por lo que las obras que serán construidas en este sitio de la Ruta Nacional No.1 serán objeto de seguimiento en evaluaciones posteriores del LanammeUCR.

En la Figura 9 se puede observar una parte del sector aguas abajo de la alcantarilla.



Figura 9. Obras en construcción en el Punto 3, Ruta Nacional 1, sector aguas abajo de la alcantarilla. Se observa una parte del relleno construido para el paso temporal del tránsito vehicular.



Debido a que en este punto se mantienen las mismas condiciones identificadas en la evaluación anterior el riesgo potencial detectado en este punto continúa siendo **Riesgo potencial alto** de pérdida de conectividad. La ausencia, hasta el momento, de obras de estabilización hace que se mantenga el riesgo potencial ante el eventual colapso del terreno que da soporte a la carretera, con el impacto y las consecuencias que dicha interrupción significa en una ruta de la Red de Alta Capacidad.

5.4 Punto 4 – Ruta Nacional No.1, Estacionamiento 70+000

Este sitio ha sido evaluado recientemente por el LanammeUCR mediante los siguientes informes: INF-PI-UGERVN-004-2021 y EIC-Lanamme-INF-1587-2022.

El problema de inestabilidad, al igual que en el punto anterior, afectó el terreno que da soporte a la carretera, provocando que una parte de la estructura del pavimento se deslizará, lo que ha disminuido la sección horizontal disponible para el tránsito vehicular.

En la figura 10 se muestra parte de la evolución que ha tenido el deslizamiento y su corona mediante dos fotografías aéreas, tomadas con una diferencia de 20 meses. De esta forma se observó como la corona del deslizamiento se ha ido desplazando hacia la carretera, disminuyendo la sección disponible de 8.4 m a 5.1 m (EIC-Lanamme-INF-1587-2022) y aumentando el riesgo para los usuarios.



Figura 10. Comparación de la condición del Punto 4 en la Ruta Nacional No.1 entre el 2021 y el 2022. Se aprecia el avance de la corona del deslizamiento y su afectación sobre la calzada. La línea de color rojo muestra la zona de la corona que ha afectado directamente el pavimento de la carretera. Fuente: EIC-Lanamme-INF-1587-2022

Durante el periodo de cierre de este tramo de la Ruta Nacional No.1, el cual dio inicio en agosto del año 2022, la Administración realizó varias obras en este Punto 4. Dentro de las obras construidas destaca la colocación de un puente tipo Bailey de un carril, tal como se muestra en la Figura 11.



Figura 11. Puente Bailey instalado en el Punto 4 de la Ruta Nacional No.1. Condición observada el día 18/01/2023.

El puente colocado permite el paso vehicular sobre el borde o corona del deslizamiento. La estructura metálica en ambos extremos está apoyada en el terreno aledaño a la corona del deslizamiento. Al puente se accede mediante dos rellenos de aproximación, construidos sobre el terreno natural, con el propósito de generar una zona de transición para unir el nivel de la rasante de la vía con el nivel del puente instalado. Estos rellenos fueron construidos con material granular, sobre el cual se colocó una capa de mezcla asfáltica.

En la Figura 12 se presenta una vista del costado del puente Bailey. Tal y como se aprecia, en el tramo central del deslizamiento la corona se encuentra debajo del puente instalado. La parte superior de la corona del deslizamiento tiene una pendiente empinada, cercana a la vertical.



Figura 12. Vista de costado del puente Bailey instalado en el Punto 4 de la Ruta Nacional No.1. La línea amarilla muestra el borde actual del deslizamiento

Considerando la evolución que ha tenido el desplazamiento de la corona del deslizamiento en los últimos años y la condición actual del mismo, es previsible que el deslizamiento continúe su avance adentrándose en el terreno aledaño a la corona del talud y que da soporte al puente recién instalado.

Se recomienda a la Administración, en caso de que no hayan sido realizados, llevar a cabo los estudios de suelo pertinentes y suficientes para determinar la condición de estabilidad actual del terreno en este tramo de la Ruta Nacional No.1, así como el diseño y la construcción de una solución definitiva para el problema de inestabilidad, que durante años se ha presentado en este sitio.



«Informe técnico»
Página 28

En esta misma zona se identificaron varias obras hidráulicas construidas recientemente por la Administración. En la Figura 13 a continuación se presentan algunas de las obras para el manejo del agua de escorrentía observadas.



Figura 13. Obras de drenaje recientemente construidas en el Punto 4, Ruta Nacional No.1. A) y B) Salida y entrada de la alcantarilla respectivamente. C) Cuneta de concreto al costado del puente Bailey

En la Figura 13 (A y B) se aprecia cómo las obras construidas incluyen varios componentes básicos requeridos para este tipo de obras, tales como el muro de cabezal, los aletones y el delantal, tanto a la entrada como a la salida de la alcantarilla. Al momento de la



evaluación, las obras de manejo de agua superficial ubicadas al costado del puente Bailey se encontraban inconclusas, tal como se muestra en la Figura 13 C. Los costados del relleno sobre la alcantarilla deben ser objeto de protección superficial, con el fin de evitar un deterioro por erosión que pueda poner en peligro la estabilidad de la estructura del pavimento, se desconoce si esta protección se va a realizar, por lo que será objeto de evaluación más adelante.

Se considera necesario mejorar la protección superficial de varios sectores que se observan vulnerables a la erosión y que forman parte de las obras de captación y conducción del agua de lluvia. En la Figura 14 se muestra un talud que fue cortado para la construcción de las obras de drenaje en este sitio, se recomienda a la Administración considerar el diseño e instalación de una protección superficial para este talud, así como otros taludes de corte y relleno que se determine deban ser protegidos.

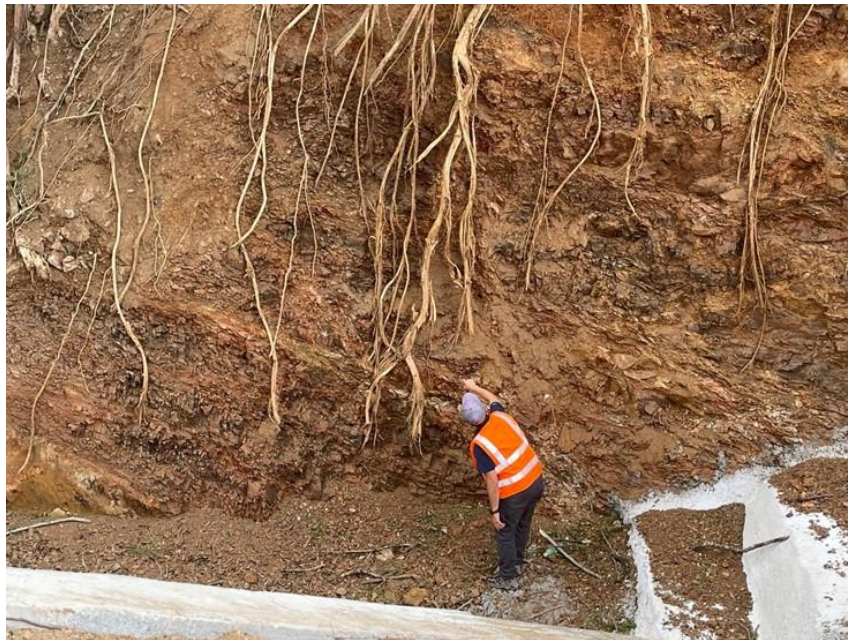


Figura 14. Talud de corte en la zona aguas arriba de la alcantarilla construida en el punto 4 de la Ruta Nacional No.1. Considerando la meteorización que presenta este talud, se recomienda considerar su protección superficial



La valoración del riesgo potencial detectado en este punto se considera que permanece como **Riesgo potencial alto** de pérdida de conectividad, ponderando los siguientes aspectos:

- a) La ausencia hasta el momento de obras definitivas de estabilización para este sitio.
- b) La disminución de la capacidad de la vía producto de la colocación del puente tipo Bailey de un solo carril, además, se limita su funcionalidad al impedir el paso de vehículos de carga ancha.
- c) La vulnerabilidad del puente al ubicarse en una zona que ha presentado inestabilidad en el terreno y estar sometido al tránsito pesado.
- d) La incapacidad de la ruta alterna habilitada recientemente de permitir el tránsito de vehículos pesados.

5.5 Punto 5 – Ruta Nacional No.1, Estacionamiento 60+745

Durante la gira de evaluación realizada en octubre del año 2022, se identificó un nuevo sitio de interés geotécnico, localizado en el estacionamiento 60+745.

De acuerdo con fotografías satelitales, durante el año 2016 en este sitio se construyó un muro de gaviones y varios sistemas de drenaje para el manejo del agua de escorrentía. En la gira realizada en el año 2022, se identificaron varias grietas y asentamientos en el pavimento, justo en el terreno que es retenido en la parte posterior del muro.

En la evaluación realizada este año 2023, se pudo observar una intervención que fue realizada en la carpeta asfáltica, en la parte posterior del muro de gaviones, justo en la zona en la que se habían identificado los deterioros (grietas y asentamientos) el año anterior.

Según se aprecia en la Figuras 15 y 16, en la zona mencionada se identificó un bacheo reciente.



Figura 15. Punto 5. Ruta Nacional No.1. Bacheo identificado en la zona en la cual se observaron grietas y asentamientos en la evaluación del año anterior 2022



Figura 16. Vista del bacheo sobre la calzada en la zona del Punto 5, en la Ruta Nacional No.1



No se observaron otras intervenciones realizadas desde la evaluación anterior en este sitio. El bacheo realizado permite el paso normal de los vehículos, sin embargo, no atiende el problema de estabilidad que lo origina.

Si no se han ejecutado, se recomienda a la Administración realizar los estudios de suelos y los análisis requeridos para determinar la condición actual de estabilidad del terreno y de la obra de contención (muro de gaviones), con el fin de determinar la necesidad de realizar otras obras que mejoren su condición y permitan garantizar un paso seguro para los usuarios.

Se considera que en este sitio el nivel de riesgo potencial por pérdida de conectividad se mantiene en **Riesgo potencial medio**. Se toma en cuenta la existencia de una obra de estabilización en el sitio y el bajo nivel de deformaciones observado hasta ahora en la superficie del pavimento. Esta condición si no es atendida adecuada y prontamente puede evolucionar a una condición de riesgo mayor al tratarse de una Ruta Nacional de la Red de Alta Capacidad.

5.6 Punto D-170922 – Ruta Nacional No. 1, Estacionamiento 69+673

Este punto de la carretera presenta un talud de corte en el costado izquierdo (sentido San Ramón – Esparza). La topografía del terreno, así como el trazado y la geometría de la vía producen pendientes elevadas en los taludes de corte, los cuales presentan vegetación de diferentes tamaños, incluyendo árboles y arbustos.

En este lugar ocurrió un deslizamiento el día 7 de setiembre del año 2022. El deslizamiento del material del talud de corte golpeó un bus que transitaba por el sitio en ese momento, precipitándolo hacia el talud inferior, provocando la muerte de nueve personas.

En el informe EIC-Lanamme-INF-1587-2022 se describió la condición que presentaba este sitio en el año 2022. En ese momento había ocurrido recientemente el deslizamiento antes mencionado. Se observaba la superficie de falla, material suelto en el talud y no había ninguna obra de protección o estabilización construida o en proceso de construcción. En



este tramo se ha observado la caída de rocas de diversos tamaños, una parte de este material llega a caer sobre la carretera.

Para este informe de evaluación se visitó nuevamente el lugar, el día 18 de enero, y se registró la condición donde se presentan varios activos geotécnicos de interés, tales como los taludes de corte, los sistemas de drenaje y las obras de protección o estabilización.

La condición observada en un sector de estos taludes se presenta en la siguiente Figura 17.

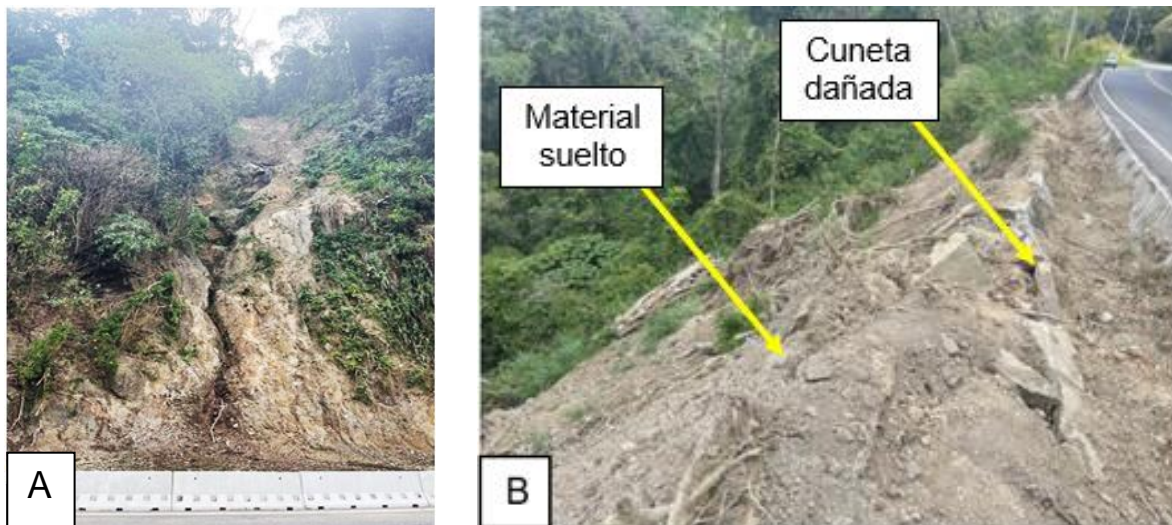


Figura 17. Condición observada en los taludes del Punto D-170922. Se aprecia la condición general del talud superior (A) y el inferior (B). A) El talud superior se observa en una condición muy similar a la del año anterior, sin intervención en su superficie luego del deslizamiento. B) Material suelo y cuneta destruida en el talud de la parte inferior

Tal como se aprecia en la figura anterior, en el talud superior no se observa evidencia de intervenciones recientes en la superficie o alguna obra geotécnica de estabilización.

Si no se han ejecutado, se recomienda a la Administración realizar los estudios geológicos y geotécnicos que permitan establecer la condición actual del talud y la necesidad de



intervenir el mismo, con el fin de mejorar su condición de estabilidad, la protección superficial o el control de materiales caídos. A pesar de haber tenido lugar un deslizamiento reciente, es importante realizar con celeridad los estudios para determinar si se requiere alguna obra de intervención, con el fin de garantizar la estabilidad del talud y la seguridad de los usuarios.

En la misma zona se localizan taludes con condiciones de pendiente elevada y altura importante muy cerca de la carretera, las cuales deben ser objeto de estudio, con el fin de determinar su condición y la necesidad de intervenirlos, ya sea con obras de contención o sistemas de protección superficial.

En este mismo tramo de carretera se observó la colocación de barreras de contención vehicular de concreto (tipo New Jersey) al costado de la vía, del lado de los taludes de corte, tal como se observa en la Figura 18.

El uso de ese tipo barreras para el control de caída de rocas o suelo no es recomendable, debido a que estos elementos no están diseñados para este fin. La contención de los materiales caídos y la seguridad que ofrecen a los usuarios es limitada, las rocas pueden fácilmente sobrepasar estas barreras o desplazarlas y caer sobre la carretera. Los sistemas de contención vehicular de concreto deben cumplir con lo indicado en el Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras, según se establece en el Decreto Ejecutivo N°. 37347-MOPT, o su versión más reciente donde se regule esta temática.

Se recomienda a la Administración valorar la posibilidad de realizar de forma prioritaria los estudios y diseños pertinentes, para determinar la necesidad de colocar sistemas de control de caídos en este tramo de carretera.



Figura 18. Barreras de contención vehicular de concreto, colocadas al costado de la vía al pie del talud que presentó el deslizamiento el día 17 de setiembre del año 2022. La contención de los materiales caídos y la seguridad que ofrecen a los usuarios es limitada



En lo referente al nivel de riesgo potencial de pérdida de la conectividad, se considera que en este sitio el riesgo es un **Riesgo potencial medio**. Se toma en cuenta las condiciones del sitio observadas, las cuales revelan una probabilidad de generar una pérdida significativa de la conectividad del corredor, con la posibilidad de recuperar esta conectividad con intervenciones importantes, pero con un nivel de redundancia en la conectividad que no garantiza, al menos, mantener las condiciones de capacidad y clasificación vehicular.

5.7 Ruta Cantonal alterna Río Jesús-Piedra Blanca

Recientemente la Administración intervino la Ruta Cantonal entre Río Jesús y Piedra Blanca en San Ramón, provincia de Alajuela. La localización de esta ruta se muestra en la Figura 1. La intervención ha tenido como objetivo habilitar esta vía para permitir el paso de vehículos livianos, como ruta alterna al sector de Cambronero en la Ruta Nacional No.1.

5.7.1 Puntos RA-1 y RA-2. Ruta cantonal alterna Río Jesús y Piedra Blanca

En las figuras 19 y 20, se presentan dos taludes de corte localizados al inicio del tramo en cuestión, en el sentido Piedra Blanca – Río Jesús. En estas figuras se puede apreciar las diferencias entre los materiales que conforman los taludes de corte de este tramo.

En el sitio de la Figura 19A, que corresponde con el Punto RA-1, el material se observa con una consistencia más firme, comparada con la consistencia más suelta del talud del Punto RA-2, de la Figura 19B. Comparativamente el material del Punto RA-1 se observa menos alterado, el material del Punto RA-2 es un suelo residual, con presencia de material orgánico. Sin embargo, a pesar de estas evidentes diferencias, ambos taludes presentan una pendiente muy similar, sin que se pueda apreciar un tratamiento diferenciado entre ambos materiales, a la hora de ser intervenidos mediante los cortes realizados por la Administración.



Figura 19. Condición observada en varios taludes de la Ruta Cantonal alterna. A) Talud del Punto RA-1: En general se observa una consistencia firme del material del talud, incluso todavía se pueden observar las marcas de la maquinaria empleada para el corte del talud. B) Talud en el Punto RA-2: Comparativamente la consistencia del material es más blanda y suelta que en el Punto RA-1, se presenta más como suelo y no como roca, y hay evidencia de material orgánico



En ninguno de estos dos taludes ni en el resto de los taludes de corte producto de la ampliación reciente de este tramo de carretera, se observaron obras o materiales instalados para la protección superficial de los mismos.

Tampoco se observaron obras de drenaje para el manejo del agua de escorrentía, tales como cunetas o contracunetas revestidas. Las cunetas al costado de la carretera, entre el talud de corte y el pavimento, están conformadas con el suelo nativo del sitio, sin revestimiento para su protección.

La ausencia de adecuadas obras de drenaje aumenta la vulnerabilidad de estos taludes ante la acción erosiva del agua. Por su consistencia de suelo suelto, en muchos sectores su resistencia al arrastre del agua es baja, lo que hace prever que se presente erosión en los mismos.

5.7.2 Punto RA-3. Ruta cantonal alterna Río Jesús y Piedra Blanca

El problema de vulnerabilidad persiste en los sitios en la que fue depositado el material de corte en muchas laderas a lo largo del tramo intervenido.

Tal como se aprecia en la Figura 20, una parte del material de corte extraído del terreno en este punto fue depositado al costado de la vía. Este material tiene una consistencia suelta, y está compuesto por suelo y rocas de diferentes tamaños, colocado en laderas empinadas y sin medidas de protección superficial que logren disminuir la erosión en estos rellenos y evitar el daño en la infraestructura o barreras de sedimentos para evitar la contaminación en los ríos y quebradas cercanas.



Figura 20. Punto RA-3. Localizado a 535 m desde el cruce en Piedra Blanca con la Ruta Nacional No.1. Se observa material de corte suelto, colocado al costado de la vía en las laderas de la montaña. No se observan obras de protección superficial, ni drenajes que permitan captar y conducir el agua de lluvia, de forma tal que no se dañen los taludes por la erosión. A) Vista en el sentido Piedra Blanca – Río Jesús. B) Vista en el sentido contrario de circulación vehicular



El manejo y la disposición final de estos materiales está regulado en el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica, CR-2020. La *Sección 204 Excavación, terraplenado y pedraplenado* de dicho manual indica: “El material removido se colocará en los sitios de botaderos o donde indique la Administración, y de acuerdo con la *Subsección 111.05 Sitios de disposición de materiales: tierra, material vegetal disminuido y escombreras.*” (CR-2020).

El uso de terrenos aledaños a la Ruta Cantonal como botaderos del material de corte, así como el impacto que han tenido estas actividades en la zona, se puede observar mediante la comparación de fotografías satelitales, tal como se muestra en la Figura 21.

En la Figura 21 se aprecia parte de los cambios que ha experimentado la zona producto de la intervención realizada. Zonas aledañas a la carretera fueron utilizadas como botaderos del material de corte de los taludes, sin que se hayan implementado, hasta la fecha de emisión este informe, medidas para el control de la erosión.

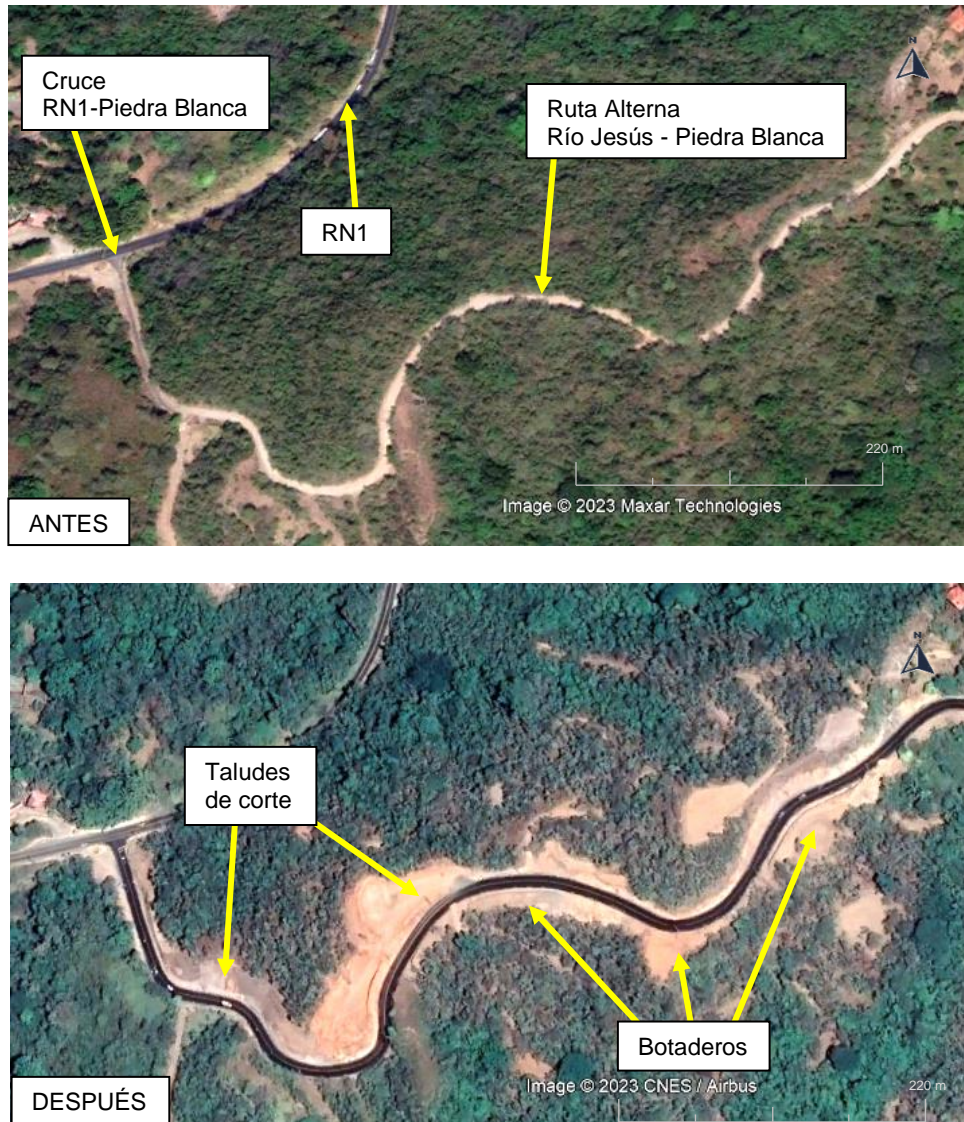


Figura 21. Comparación de la condición antes y después en la zona intervenida por la Administración en esta Ruta Cantonal. A) Condición en el año 2022, antes de la intervención. B) Condición actual, año 2023, luego de la intervención

En este sentido cabe recordar lo previsto en el **Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica, el CR-2020**. En la “Sección 157 Control de la erosión del suelo” este manual dispone los lineamientos para



el suministro, construcción y mantenimiento permanente y temporal de las obras para el control de la erosión y del arrastre de sedimentos, estableciendo de esta forma requerimientos técnicos y mecanismos administrativos para llevar a cabo estas actividades.

De igual forma, el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica, el cual es de acatamiento obligatorio desde su publicación en La Gaceta N°87 del martes 27 de octubre del 2015, en la sección “6.2.1 *Drenaje superficial*” indica: “El diseño del drenaje superficial debe incluir también el detalle de los canales colectores, estructuras de disipación de energía, así como las medidas de protección contra la erosión superficial, necesarias para garantizar la estabilidad del talud y minimizar la cantidad de sedimentos que causen un impacto ambiental negativo. Estas obras deben ser contempladas desde la etapa de diseño del proyecto del talud.” (CGTLCR, 2015).

Por lo tanto, se recomienda a la Administración llevar a cabo el diseño y construcción de las obras de protección y los drenajes superficiales requeridos para garantizar una adecuada protección de las obras construidas en esta Ruta Cantonal entre los poblados de Río Jesús y Piedra Blanca, habilitada como ruta alterna a la Ruta, Nacional No.1 para vehículos livianos.

5.7.3 Punto RA-4. Ruta cantonal alterna Río Jesús y Piedra Blanca

El Punto 4 evaluado en esta ruta se localiza aproximadamente a 3 km del cruce entre la Ruta Nacional No.1 y Piedra Blanca. En este sitio se intervino el terreno mediante cortes para generar nuevos taludes. Tal como se observa en las Figura 22 y 23, una parte del material cortado fue depositado en varios lugares aledaños, incluyendo la ladera de la montaña al costado de la vía y en partes altas del terreno.



Figura 22. Punto RA-4 de la ruta alterna. Localizado a 3 km desde el cruce en Piedra Blanca con la Ruta Nacional No.1. Se observan parte de los impactos generados en la zona. Se identificaron materiales depositados al costado de la vía, sin evidencia de procesos adecuados de compactación, controles de erosión y retención de sedimentos

La ausencia de una adecuada disposición de los materiales de corte, en zonas de montaña como es el caso del tramo evaluado, genera una vulnerabilidad ante los efectos negativos del agua de esorrentía.

Es previsible, si no se subsanan estas carencias, que se presenten en el corto plazo deterioros ocasionados por los efectos de la erosión.



Figura 23. Ausencia de cunetas y evidencia de surcos y cárcavas en taludes de la Ruta alterna.

A raíz de lo anterior, estos materiales pueden obstruir los drenajes superficiales, naturales o artificiales de la zona cercana al tramo intervenido, los sedimentos pueden también depositarse en la calzada, afectando negativamente la seguridad de los usuarios.

Adicionalmente, se genera una afectación por los materiales finos que son arrastrados y depositados en forma de sedimentos, como consecuencia de rellenos o botaderos de suelo y rocas sin protección superficial, y sin un manejo adecuado de las aguas superficiales.

Tomando en cuenta la vulnerabilidad generada ante la ausencia de obras para la protección superficial de los taludes, u obras de drenaje para el manejo del agua de escorrentía, así como la disposición de los materiales de corte al costado de la vía en taludes de elevada pendiente, se considera que los sitios intervenidos recientemente en la Ruta Cantonal alterna evaluada presentan un **Riesgo potencial bajo**.



Esta categoría de riesgo implica que se ha identificado la posibilidad de que se produzca una pérdida parcial de la conectividad del corredor, con posibilidades de requerir intervenciones relativamente pequeñas o cuando la sección muestre algún nivel de redundancia.

Se debe considerar que la vulnerabilidad identificada en los sitios evaluados agiliza el deterioro de los taludes conformados, lo que puede aumentar en el corto plazo el nivel de riesgo de pérdida de conectividad en esta Ruta Cantonal, con la consecuente pérdida de redundancia en el sector de Cambronero en la Ruta Nacional No.1.

5.7.4 Análisis fotogramétrico

En este sitio, mediante un VANT también se realizó un análisis fotogramétrico y se construyó un modelo de elevación digital (MED) en sector central de la ruta alterna entre Río Jesús y Piedra Blanca. El MED generado, se utilizó para hacer un análisis más detallado de características topográficas y geomorfológicas que permitió una mejor evaluación de las amenazas y vulnerabilidades de esta ruta.

En la Figura 24 se puede ver la ubicación de los puntos evaluados en la ruta alterna, así como diferencias altitudinales. Las diferencias de altitud que presenta la ruta alterna entre Río Jesús y Piedras Blancas son entre 941 y 640 m s.n.m. respectivamente. Mientras que el sector levantado con VANT está ubicado entre 870 y 760 m s.n.m. (Figura 24C).

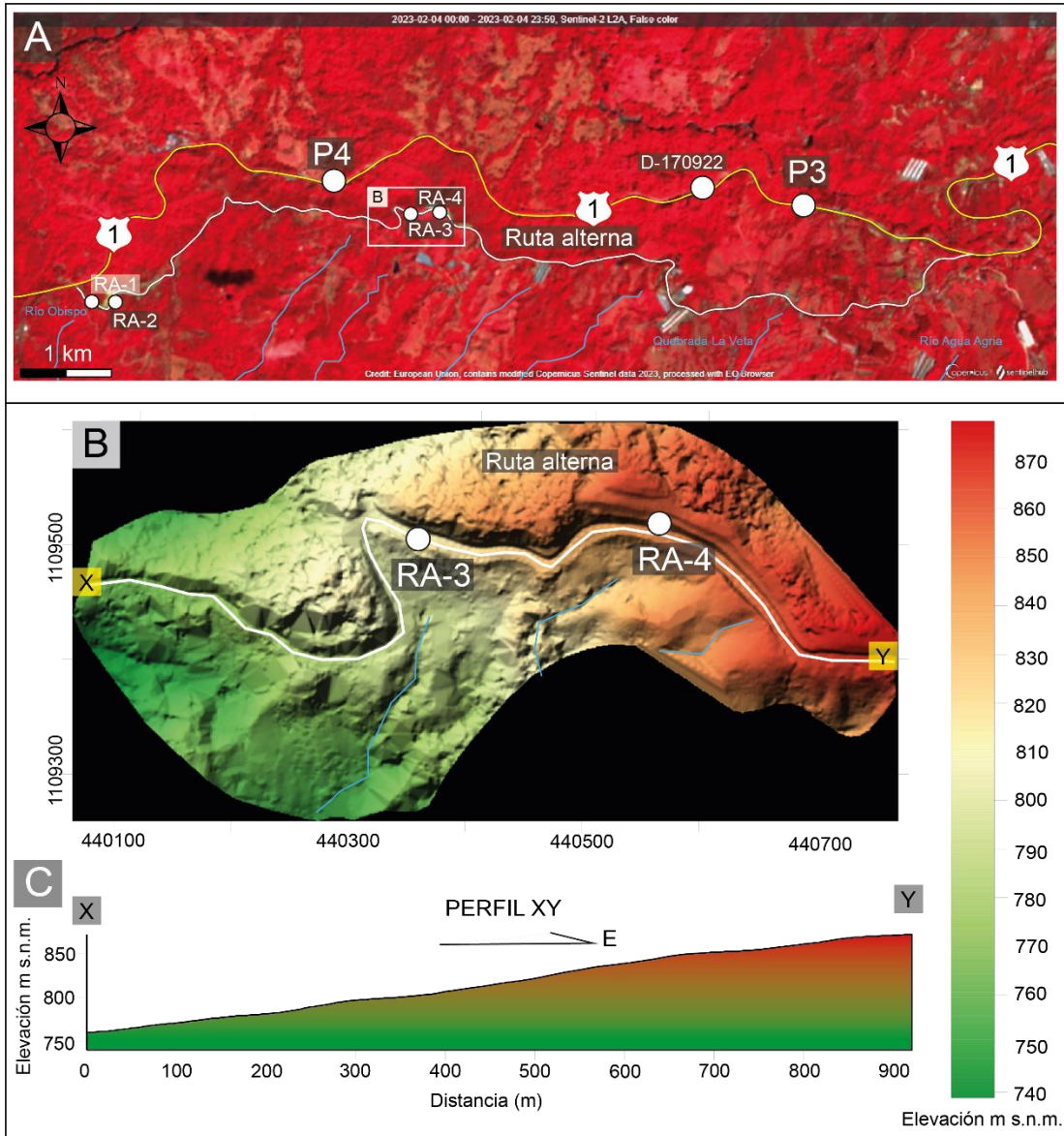


Figura 24 A) Imagen satelital de Color Falso infrarrojo para identificar la vegetación, del 30 enero 2023, donde se ve una sección de la RN-1 y toda la Ruta alterna entre Río Jesús y Piedras Blancas (Fuente: Sentinel-2 L2A Copernicus), las zonas en color rojo son zonas con vegetación. B) Modelo de elevación digital de un tramo de la ruta alterna generado a partir de fotogrametría con VANT. C) Perfil topográfico de la superficie de rueda en este de la ruta alterna.



El MED generado con VANT permitió hacer un análisis de las pendientes de los taludes de ese sector. En general se caracterizan por ser fuertes ($16 - 35^\circ$) a muy fuertes $> 35^\circ$. Este rango de pendientes favorece la susceptibilidad a la erosión hídrica de los materiales descubiertos en los cortes, de igual forma ocurre con el material colocado en los botaderos y que no tiene ninguna protección contra la escorrentía (Figura 25).

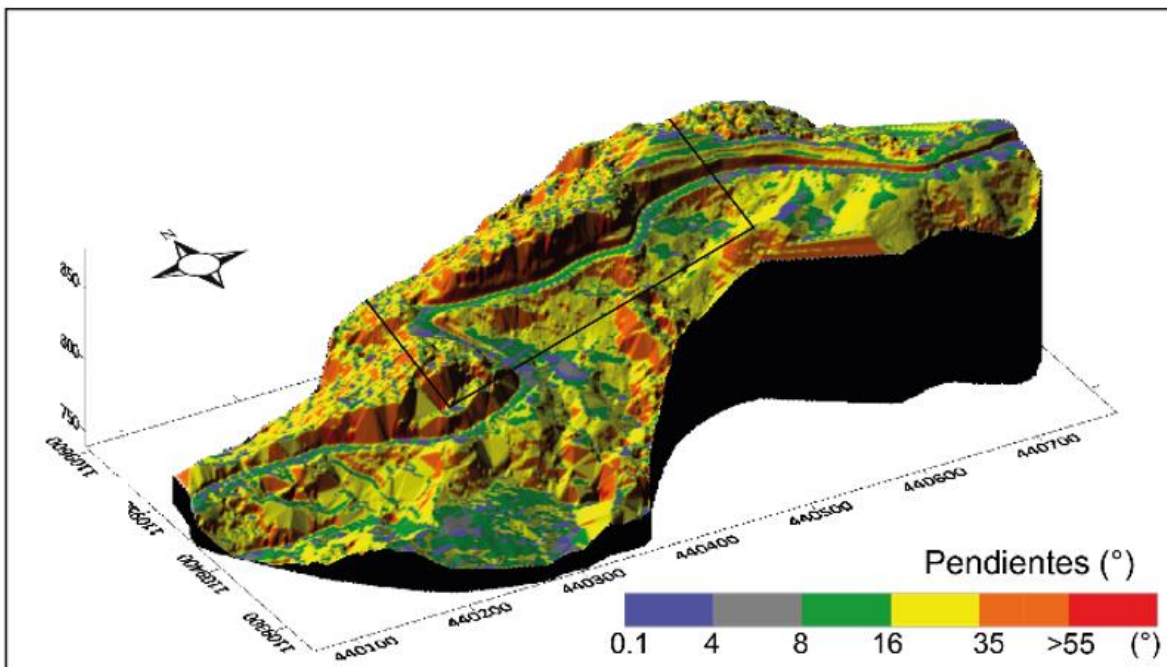


Figura 25. MED con información de las pendientes de los taludes

Los materiales geológicos que afloran en este sector están relacionados con el Grupo Aguacate, son principalmente lavas alteradas por procesos intensos de meteorización y alteración hidrotermal, este tipo de materiales presentan una susceptibilidad litológica alta a la generación de deslizamientos. Esto junto con los ángulos “fuertes” y “muy fuertes” de los taludes predispone que se generen deslizamientos desencadenados por eventos disparadores como exceso de lluvia o sismos.



Entre las principales características observadas en este tramo de la ruta alterna y gracias al análisis fotogramétrico, es la sinuosidad de la ruta, con curvas cerradas. En la figura 26 se observa una fotografía aérea de una de las curvas más cerradas de este tramo y el MED con las pendientes en porcentaje de la vía en tramo evaluado.

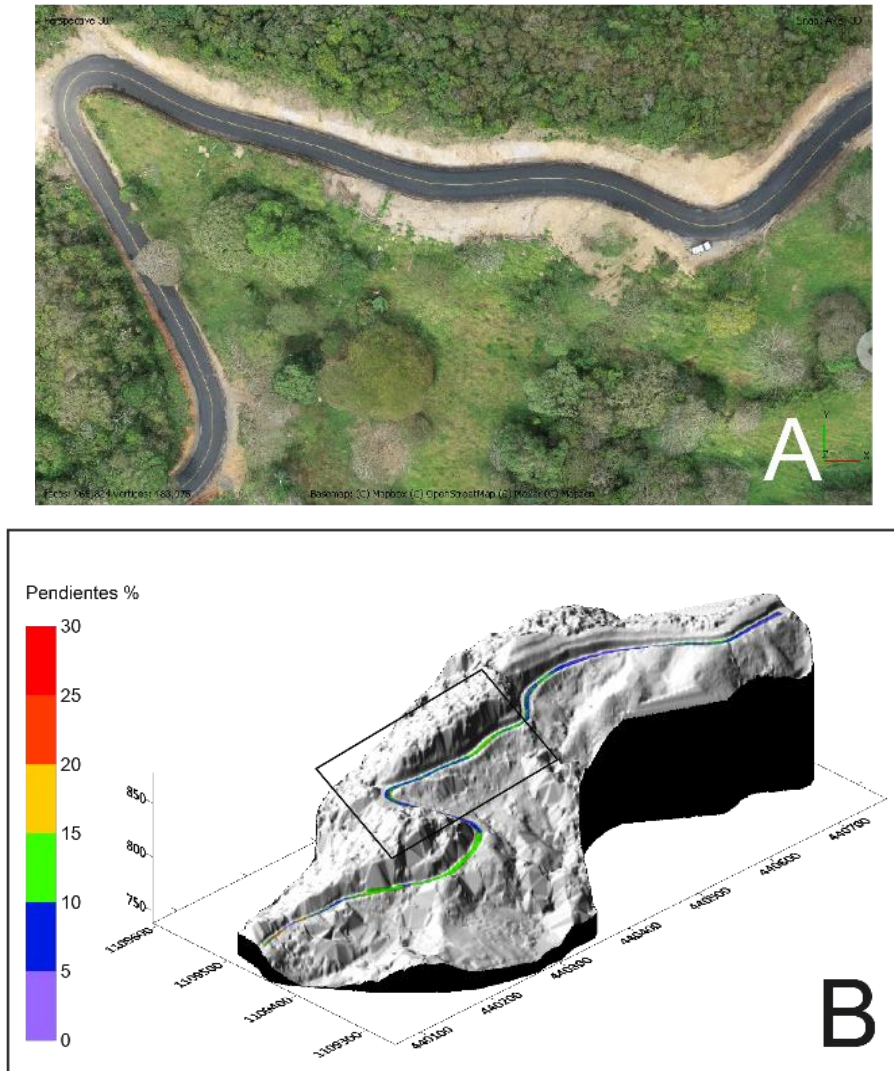


Figura 26. A) Fotografía aérea que muestra la sinuosidad de la ruta y los taludes donde se hicieron cortes. B) Modelo de elevación digital con los valores en porcentaje de la pendiente del tramo de vía digitalizado



Las principales amenazas identificadas en este sector evaluado son: la ocurrencia de deslizamientos en los sitios de botaderos, escorrentía sin adecuada captación y conducción por la falta de obras de drenaje, el encharcamiento de agua en la vía con la posibilidad de favorecer la ocurrencia de accidentes de tránsito en una vía con pendientes fuertes y curvas cerradas.

6. CONCLUSIONES

Producto de la evaluación y del seguimiento de la condición que presentan los sitios de interés considerados en este informe se obtienen las siguientes conclusiones.

Conclusión general

En ambos tramos de las rutas evaluadas, la Ruta Nacional No.1 y la Ruta Cantonal alterna, se han identificado deficiencias en la protección superficial de taludes y en la gestión del agua de escorrentía. Esto pone en riesgo la vida útil de las obras y aumenta los costos de mantenimiento, además de poner en peligro la seguridad de los usuarios. Se requiere una pronta intervención por parte de la Administración para abordar estas problemáticas y garantizar la estabilidad y la vida útil de las carreteras.

En segundo lugar, es necesario que la Administración realice estudios y diseños pertinentes y suficientes para abordar situaciones específicas identificadas, como la inestabilidad del terreno en el Punto 2 de la Ruta Nacional No.1 y la falta de intervención en el sitio D-170922. También es crucial reemplazar soluciones temporales, como el puente tipo Bailey en el estacionamiento 70+000, con soluciones definitivas y duraderas. La priorización de estas intervenciones es crucial para mantener la conectividad y garantizar la seguridad de los usuarios.

Se han identificado esfuerzos por parte de la Administración en abordar algunos de los problemas identificados en los sitios evaluados, como la construcción de un relleno en el



Punto 2 de la Ruta Nacional No.1 y la colocación de un puente tipo Bailey en el estacionamiento 70+000. Sin embargo, se requiere una atención continua y que la Administración continúe realizando estudios y diseños pertinentes para la implementación de soluciones definitivas.

Por último, es importante considerar la relevancia estratégica de estas rutas para la economía y la movilidad de los usuarios. La Ruta Nacional No.1 y la Ruta Nacional No.27 son los principales ejes de comunicación y transporte hacia la zona Pacífica, lo que incrementa la necesidad de mantener e intervenir estas rutas. La Administración debe establecer una priorización de las intervenciones en estas vías, considerando su importancia y el impacto potencial en la economía y la vida de los ciudadanos.

Sobre los sitios evaluados en la Ruta Nacional No.1.

- Los puntos P1, P2 y P3 presentan una condición de riesgo potencial alto de pérdida de conectividad. Estos sitios mantienen su condición de **Riesgo potencial alto** identificada en evaluaciones anteriores (2021 y 2022), Estos sitios requieren atención por parte de la Administración, con el fin de salvaguardar la vida de los usuarios y el servicio que brinda la carretera.
- En ninguno de los sitios evaluados en este informe se identificaron materiales o sistemas para la protección superficial de los taludes, a pesar de que en varios de estos sitios se identificó la necesidad de protegerlos de la acción de los agentes erosivos. Esto se observó tanto en taludes de corte como de relleno, debido principalmente a topografía montañosa con elevadas pendientes y el tipo de materiales que se observan.
- Las obras que carecen de estos sistemas de protección superficial son más vulnerables ante la acción erosiva del agua y el viento, son obras que pueden ver reducida su vida útil e incrementados los costos de mantenimiento.
- En el Punto 2 de la Ruta Nacional No.1, la Administración construyó un relleno sobre una zona que durante años ha sido inestable. Tal y como ha sido evidenciado en



informes anteriores del LanammeUCR, la inestabilidad del terreno en este sitio produce desplazamientos en el suelo que da soporte a la estructura del pavimento, los cuales se manifiestan en la superficie como grietas y hundimientos que han requerido frecuentes intervenciones. Es previsible que estos movimientos del terreno se continúen presentando y afecten la estabilidad del relleno, que fue construido sobre el mismo lugar inestable.

- En el estacionamiento 70+000, que correspondiente al Punto 4 de la Ruta Nacional No.1 evaluado en este informe, la Administración colocó un puente tipo Bailey, con el fin de habilitar el paso sobre del deslizamiento que ha afectado este punto desde hace varios años (Informes INF-PI-UGERVN-002-2021, INF-PI-UGERVN-004-2021 y EIC-Lanamme-INF-1587-2022). Este puente debe ser considerado una solución temporal, debido al comportamiento observado en el movimiento del terreno. Por lo tanto, es necesario que la Administración realice los estudios y los diseños pertinentes y suficientes, para determinar la condición actual del sitio, así como las obras definitivas requeridas para garantizar la estabilidad del terreno.
- El sitio identificado como D-170922, el cual es el lugar donde ocurrió el deslizamiento de material que impactó un autobús en el año 2022, no ha sido objeto de ningún tipo de intervención, ni en obras de estabilización o en sistemas de protección superficial o para el control de la caída de rocas proveniente de estos taludes. El único cambio observado en este tramo de carretera fue la colocación de barreras de contención vehicular de concreto (tipo New Jersey) a un costado de la vía. Estos elementos no están diseñados para la contención de los materiales caídos y la seguridad que ofrecen a los usuarios es muy limitada. Deben realizarse con diligencia los estudios y los diseños pertinentes para determinar la necesidad de colocar sistemas de control de caídos apropiados para las condiciones presentes en este tramo de carretera.



Sobre los sitios evaluados en la Ruta Cantonal alterna, entre Río Jesús y Piedra Blanca en San Ramón:

- De acuerdo con la evaluación visual realizada, los taludes de este tramo recientemente intervenido, presentan materiales de consistencia muy variable. Los materiales varían desde rocas alteradas con hidrotermalismo a suelos muy meteorizados.
- En ningún talud de corte, generado por la ampliación reciente de este tramo de carretera, se observaron obras construidas o materiales instalados para la protección superficial de los mismos.
- No se identificaron obras de drenaje para el manejo del agua de escorrentía, tales como cunetas o contracunetas revestidas. Las cunetas al costado de la carretera, entre el talud de corte y el pavimento, están conformadas con el suelo nativo del sitio, sin revestimiento para su protección.
- En varios tramos de esta ruta se observó material de corte depositado en las laderas de la montaña, sin ningún tipo de protección superficial para el control de la erosión, o elementos para el control de los sedimentos, tales como sedimentadores o barreras de sedimentos.
- La inadecuada disposición de los materiales de corte, en zonas de montaña como es el caso del tramo evaluado, genera una vulnerabilidad en las obras ante los efectos negativos del agua de escorrentía, con posibles deterioros en el corto plazo, ocasionados por el lavado de materiales, la obstrucción de los sistemas de drenaje y la socavación de las obras.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Administración considerar las siguientes recomendaciones para la atención de los temas tratados en este informe técnico:

- Realizar estudios técnicos, diseño de soluciones y planes de mantenimiento, para determinar las acciones necesarias para la atención de los sitios evaluados en este



informe. A partir de dichos estudios, incluir el diseño y construcción de obras para el manejo de aguas superficiales y subterráneas a considerar en la solución integral del problema.

- Considerar las condiciones geológicas, sísmicas, tectónicas, geomorfológicas y geotécnicas, así como las características hidrológicas e hidráulicas presentes en la zona de los deslizamientos para establecer el modelo geológico – geotécnico, requerido para realizar los análisis de estabilidad y establecer las posibles soluciones de sostenimiento y refuerzo, que resulten necesarias.
- Realizar los mismos estudios indicados en el punto anterior para identificar otros sectores en estas rutas que estén presentando condiciones de inestabilidad o que requieran protección superficial, debido a su impacto en la seguridad de los usuarios y el servicio que brinda la vía.
- Todos los tramos de carretera que son atravesadas por fallas tectónicas deben de ser considerados para realizar estudios como el de prospección geofísica, con el fin de determinar la zona de afectación y alteración de los materiales en profundidad, además de determinar el ancho de la zona de influencia de la falla que atraviesa la carretera.
- Realizar estudios para la identificación de posibles riesgos relacionados con: curvas peligrosas, zonas de adelantamiento, sectores susceptibles a la formación de neblina, cruces con otras vías, zonas de alta velocidad, zonas con presencia de peatones y ciclistas, entre otros puntos.
- Cualquier SCV, ya sea que se instale de forma temporal o permanente, requiere de un diseño adecuado, siguiendo los criterios y procedimientos del Manual SCV: *Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carretera*, considerando factores como el nivel de riesgo en el margen de la vía, las velocidades de operación y los volúmenes vehiculares.
- Mantener cerradas al tránsito vehicular las zonas con deslizamientos, hasta que no se hayan realizado las obras necesarias para gestionar de forma efectiva los riesgos para los usuarios, tanto por la caída de material o la falla del terreno que



da soporte a la carretera, como en lo que respecta a los elementos y las condiciones de seguridad vial.



8. REFERENCIAS

1. Asociación Costarricense de Geotecnia. (2015). Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
2. Al-Rawabdeh, A., Moussa, A., Foroutan, M., El-Sheimy, N., & Habib, A. (2017). Time series UAV image-based point clouds for landslide progression evaluation applications. *Sensors (Switzerland)*, 17(10).
3. Huapaya, S., & Rojas, V. (2012). Mapa Geológico de Hoja Naranja (3346-III) – Escala 1: 50 000. San José, Costa Rica: Dirección de Geología y Minas.
4. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2021). Informe INF-PI-UGERVN-002-2021. San José, Costa Rica: Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional, UCR.
5. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2022). Informe INF-PI-UGERVN-004-2021. San José, Costa Rica: Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional, UCR.
6. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2022). Informe EIC-Lanamme-INF-1587-2022. San José, Costa Rica: Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional, UCR.
7. Lague, D., Brodu, N., & Leroux, J. (2013). Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 82, 10-26.
8. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2011). Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011-2035. San José, Costa Rica: MOPT.
9. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2020). Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2020. San José, Costa Rica: MOPT.



10. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2011). Manual de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras. SIECA.
11. Valverde, G. (2011). Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras.
12. Ye, N., Zhu, H., Wei, M., & Zhang, L. (2021). Accurate and dense point cloud generation for industrial Measurement via target-free photogrammetry. *Optics and Lasers in Engineering*, 140.
13. Zacek, V., Vorel, T., Kyd, P., & Huapaya, S. (2010). Mapa Geológico 1: 50 000, hoja Miramar (3246-II), Republica de Costa Rica. Servicio Geológico Checo, Praha. ISBN 978-80-7075-743.