



## Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: EIC-Lanamme-INF-1625-2024

### INFORME RESUMEN DE EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DE TALUDES EN RUTAS NACIONALES (RED VIAL ESTRATÉGICA)



Preparado por:

Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica  
Octubre, 2024



Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica | Tel: (506) 2511-2500 Fax: (506) 2511-4440  
 direccion.lanamme@ucr.ac.cr | [www.lanamme.ucr.ac.cr](http://www.lanamme.ucr.ac.cr)



## RESUMEN EJECUTIVO

Este informe tiene como propósito presentar el resumen de la realización de evaluaciones de carácter preliminar de los taludes a lo largo de las rutas nacionales con características de rutas de montaña y que forman parte de la Red Vial Estratégica de Costa Rica, según lo establecido en el Plan Nacional de Tránsito del 2011 al 2035.

Estas evaluaciones que se encuentran contenidas en el anexo de este informe resumen, presentan los resultados de la aplicación de la herramienta RC-545 “Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes” V02 y el instructivo IT-IN-05 “Procedimiento para inspección de taludes” V02, elaborado por el PIG del LanammeUCR y cuya validación se realiza en campo con criterio profesional experto.

De la aplicación de estas herramientas se obtiene que 19 sitios evaluados con el RC-545 arrojan como recomendación realizar el manejo adecuado de aguas de escorrentía superficial y de la erosión, mientras que para 40 sitios se recomienda realizar análisis más profundos, utilizando MED y programas de cómputo especializados en geotecnia para determinar su condición. Con la herramienta simplificada se logra detectar que existen 730 sitios que presentan erosión por la escorrentía superficial, 642 cuentan con características de deslizamiento que en algunos casos se considera oportuno revisar a profundidad (igual que los 40 sitios del RC-545) y 225 sitios presentaban material acumulado al pie del talud, entre otros aspectos.

Los resultados de estas evaluaciones 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 que pueden ser utilizados por la Administración para determinar la priorización de sus intervenciones.

Es importante enfatizar que, aunque las inspecciones realizadas cuentan con un respaldo técnico adecuado, corresponde a los resultados de una evaluación visual realizada en un momento específico. Por lo tanto, pueden constituir un insumo inicial tanto para los análisis definitivos como para la toma de decisiones finales o recomendaciones de diseños de obras de ser necesarias, por parte de la Administración. Es importante recalcar que para lograr realizar los análisis y tomar las decisiones definitivas, 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 estas rutas nacionales, promoviendo el bienestar de los usuarios y contribuyendo al desarrollo sostenible del país. Se insta a realizar estudios geotécnicos exhaustivos y a considerar todas las variables para tomar decisiones informadas y seguras.



## Contenido

|       |                                                  |    |
|-------|--------------------------------------------------|----|
| I.    | INTRODUCCIÓN .....                               | 5  |
| II.   | OBJETIVOS .....                                  | 6  |
| II.1  | Objetivo general .....                           | 6  |
| II.2  | Objetivos específicos .....                      | 6  |
| III.  | ALCANCE DEL INFORME .....                        | 7  |
| IV.   | DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO .....          | 8  |
| V.    | RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN .....                | 13 |
| VI.   | COMENTARIOS FINALES.....                         | 19 |
| VII.  | RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LA INSPECCIÓN ..... | 21 |
| VIII. | REFERENCIAS .....                                | 22 |
| IX.   | ANEXO .....                                      | 23 |



## 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 resumen de las inspecciones y evaluaciones realizadas a taludes de las rutas nacionales con características de carretera de montaña que forman parte de la Red Vial Estratégica, catalogada así en el Plan Nacional de Transportes del 2011 al 2035, y que se enmarca en las funciones de fiscalizador que la ley citada le confiere al LanammeUCR.

El trabajo realizado consiste en la inspección y evaluación de los taludes o laderas a lo largo de toda la ruta, con especial atención a aquellos que muestran signos de inestabilidad. Este análisis se llevó a cabo siguiendo el procedimiento establecido en el instructivo IT-IN-05 "Procedimiento para inspección de taludes" V02, desarrollado por el PIG del LanammeUCR. Además, se destaca que la validación de los resultados se realizó en campo, contando con la experiencia y el criterio profesional de expertos en el área.

Como parte de la evaluación, además de utilizar el RC-545 "Herramienta del Lanamme para inspección de taludes" V02, se implementó la herramienta simplificada que consiste en un levantamiento rápido para el cual se registra la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio, la evidencia de inestabilidad y una fotografía de la condición. La herramienta simplificada surge a raíz de la limitación de algunas zonas de las carreteras de montaña en cuanto a espacios disponibles para estacionar el vehículo sin obstruir el flujo del tránsito, sin poner en riesgo la vida de los operarios de las evaluaciones y de los usuarios de la carretera. Con esta otra herramienta es posible identificar sitios con evidencias de inestabilidad que puedan evolucionar a movimientos de material que eventualmente afecten la carretera al cambiar sus condiciones geométricas o de saturación del medio.

Los resultados de esta evaluación representan un insumo que permitirán tener un conocimiento de los sitios específicos que al momento de la evaluación presentan inestabilidades de algún tipo, así como recomendaciones técnicas generales para el mantenimiento de los taludes o laderas y prevención o mitigación de posibles deslizamientos.



|                           |                                               |                |
|---------------------------|-----------------------------------------------|----------------|
| EIC-Lanamme-INF-1625-2024 | Código: RC-546-V01. Vigente desde: 30/11/2023 | Página 6 de 23 |
|---------------------------|-----------------------------------------------|----------------|

## II. OBJETIVOS

### II.1 *Objetivo general*

Inspeccionar y evaluar la condición de los taludes o laderas a lo largo de las rutas nacionales con características de carretera de montaña que forman parte de la Red Vial Estratégica (sin contemplar rutas concesionadas) y su entorno, para determinar si en su estado actual amerita realizar estudios y análisis adicionales para establecer su estado de estabilidad.

### II.2 *Objetivos específicos*

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

El presente informe pretende establecer niveles de evaluación y clasificación de la condición de los taludes a partir de la evaluación visual, para la identificación de la necesidad o no de recomendaciones técnicas o intervenciones más profundas a cargo de profesionales en geotecnia responsables de la priorización de la intervención correspondiente, asignados por la Administración.



### III. ALCANCE DEL INFORME

El presente informe presenta un resumen de los resultados de la evaluación e inspección realizada por el personal del Programa de Ingeniería Geotécnica (PIG) del LanammeUCR en el año 2024, a taludes en carreteras con características de carretera de montaña que forman parte de la Red Vial Estratégica del país. Los resultados de estas evaluaciones por ruta se encuentran en los documentos anexos.

Los resultados de dichos informes no están destinados 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 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 específica que se pudo realizar en algunos de los taludes 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 en el criterio experto del PIG LanammeUCR

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



#### IV. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

Como se mencionó anteriormente, el presente informe muestra una síntesis de los resultados obtenidos al realizar la evaluación e inspección de distintas rutas nacionales que pertenecen a la Red Vial Estratégica según el Plan Nacional de Transportes (2011-2035) y que cuentan con características de carreteras de montaña, esto significa que poseen pendientes escarpadas, geometría sinuosa, ambientes montañosos como alta precipitación, presencia de neblina o con áreas boscosas protegidas, y que por lo tanto se pueden requerir obras especiales como viaductos, túneles, muros de retención y obras de protección, entre otros.

Por consiguiente, se escogieron las rutas con características de carretera de montaña mostradas en la Tabla 2, que se procedieron a evaluar en un período comprendido entre febrero y julio del año 2024. En esta tabla, se muestra la clasificación asignada a las rutas que pertenecen a la Red Vial Estratégica como: red de alta capacidad y distribuidores regionales, así como el tipo de carretera: según el Reglamento sobre Clasificación Funcional de los Caminos Públicos. Adicionalmente, las Figuras 1 y 2, se muestran las rutas evaluadas en las categorizaciones del Plan Nacional de Transportes y del tipo de carretera, respectivamente.

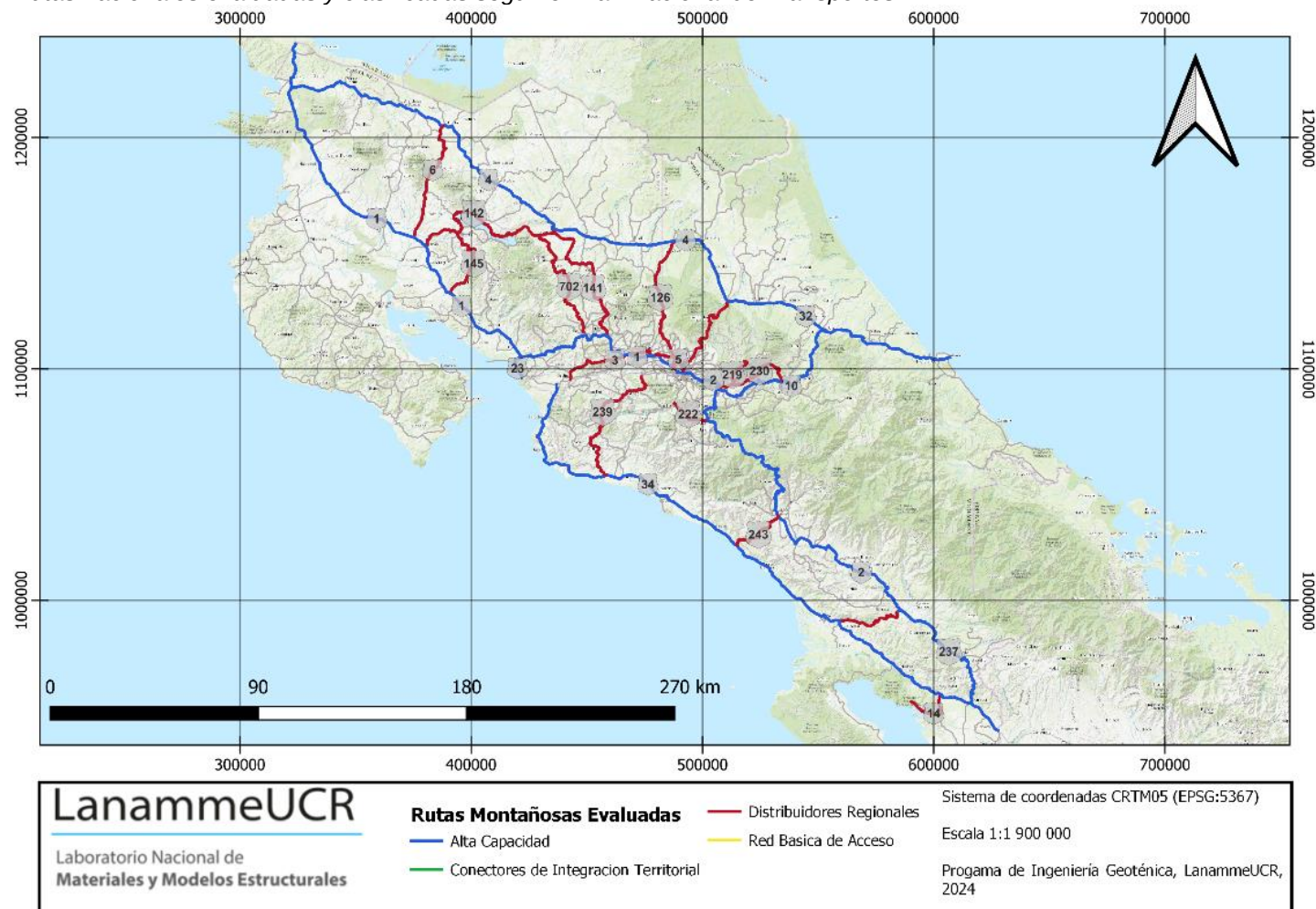
**Tabla 2**  
*Rutas nacionales evaluadas*

| Ruta | Plan Nacional de Transportes | Reglamento clasificación funcional de caminos |
|------|------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1    | Red de alta capacidad        | Primaria                                      |
| 2    | Red de alta capacidad        | Primaria                                      |
| 3    | Distribuidores regionales    | Primaria                                      |
| 4    | Red de alta capacidad        | Primaria                                      |
| 5    | Distribuidores regionales    | Primaria                                      |
| 6    | Distribuidores regionales    | Primaria                                      |
| 10   | Red de alta capacidad        | Primaria                                      |
| 14   | Distribuidores regionales    | Primaria                                      |
| 23   | Red de alta capacidad        | Primaria                                      |
| 32   | Distribuidores regionales    | Primaria                                      |
| 34   | Red de alta capacidad        | Primaria                                      |
| 126  | Distribuidores regionales    | Secundaria                                    |
| 141  | Distribuidores regionales    | Secundaria                                    |
| 142  | Distribuidores regionales    | Secundaria                                    |
| 145  | Distribuidores regionales    | Secundaria                                    |
| 219  | Distribuidores regionales    | Secundaria                                    |
| 222  | Distribuidores regionales    | Secundaria                                    |
| 230  | Distribuidores regionales    | Secundaria                                    |
| 237  | Red de alta capacidad        | Secundaria                                    |
| 239  | Distribuidores regionales    | Secundaria                                    |
| 243  | Distribuidores regionales    | Secundaria                                    |
| 702  | Distribuidores regionales    | Terciaria                                     |



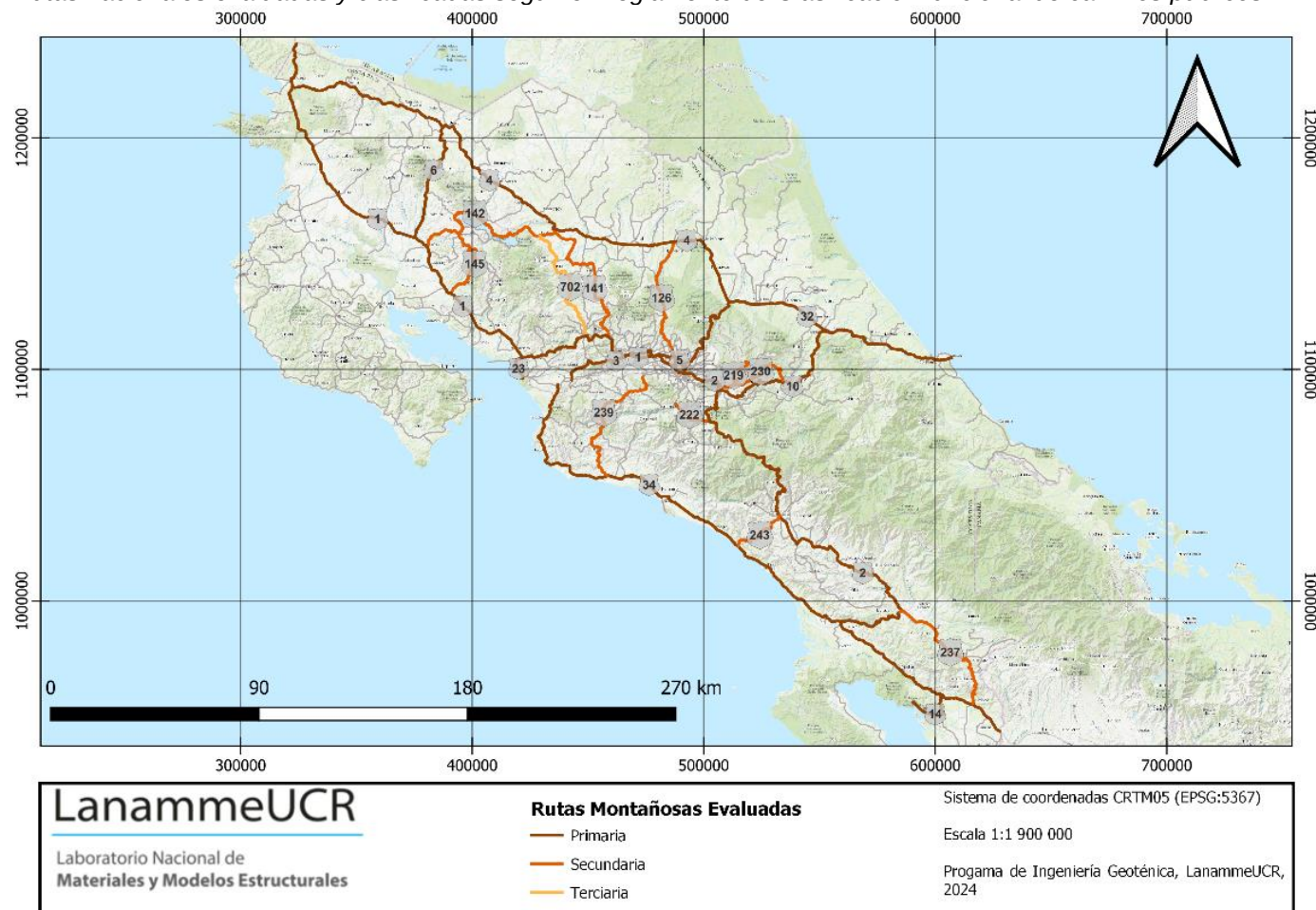
**Figura 1**

*Rutas nacionales evaluadas y clasificadas según el Plan Nacional de Transportes*



**Figura 2**

*Rutas nacionales evaluadas y clasificadas según el Reglamento de Clasificación funcional de caminos públicos*





La evaluación de las rutas se realizó observando y contemplando la condición desde el punto de vista geotécnico de los taludes y laderas, y que bajo el criterio del profesional experto del PIG se constituía como un punto de interés geotécnico, capturando las coordenadas de cada sitio de interés e incluyendo un registro fotográfico de lo observado en el lugar.

Estos registros conforman un inventario de sitios que poseen indicios de inestabilidad a lo largo del sector de carretera de montaña de cada ruta, que permiten realizar el monitoreo del comportamiento de esos taludes capturados y con ello determinar su afectación en la ruta.

Adicionalmente, en algunos puntos en los que las condiciones de la carretera lo permitían, fue posible aplicar 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, anteriormente mencionados en el alcance de este informe, y que permiten generar una valoración más específica del sitio evaluado para determinar el grado de afectación de este.

Los resultados del uso de esta herramienta permiten la clasificación indicada en la Tabla 1 del alcance, que le brinda una idea de la condición del sitio al personal del PIG, para posteriormente realizar un análisis exhaustivo basado en la revisión documental y en la evaluación teórica de la situación de estos resultados, y con ello establecer si los sitios se podrían atender únicamente con recomendaciones de manejo de escorrentía superficial y control de erosión, o si requiere de análisis más detallados y profundos utilizando incluso modelos de elevación digital (MED) si se tiene la posibilidad, para generar modelaciones numéricas y utilizar programas de cómputo especializados de geotecnia para determinar la condición del sitio evaluado. En este sentido, es que se presentan los resultados obtenidos en el siguiente apartado.

En el caso de los sitios que presentan limitaciones de 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, se hizo uso de una herramienta simplificada, que permite capturar la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio y una fotografía de la condición del sitio.

El resumen de los resultados del empleo de la herramienta de evaluación o bien de la herramienta simplificada, se muestran en el siguiente apartado, en el cual se muestra una estadística de las condiciones generales para cada ruta. Sin embargo, el resultado detallado para cada sitio encontrado en cada una de las rutas evaluadas se muestra en los informes que se adjuntan en el anexo del presente informe. El listado de los informes es el que se presenta a continuación en la Tabla 3.



**Tabla 3**

*Informes de evaluación e inspección generados para las rutas nacionales*

| Ruta | Informes                  |
|------|---------------------------|
| 1    | EIC-Lanamme-INF-1438-2024 |
| 2    | EIC-Lanamme-INF-1514-2024 |
| 3    | EIC-Lanamme-INF-1429-2024 |
| 4    | EIC-Lanamme-INF-1436-2024 |
| 5    | EIC-Lanamme-INF-1467-2024 |
| 6    | EIC-Lanamme-INF-1351-2024 |
| 10   | EIC-Lanamme-INF-1189-2024 |
| 14   | EIC-Lanamme-INF-1581-2024 |
| 23   | (*)                       |
| 32   | EIC-Lanamme-INF-1483-2024 |
| 34   | EIC-Lanamme-INF-1267-2024 |
| 126  | EIC-Lanamme-INF-1497-2024 |
| 141  | EIC-Lanamme-INF-1398-2024 |
| 142  | EIC-Lanamme-INF-1422-2024 |
| 145  | EIC-Lanamme-INF-1439-2024 |
| 219  | EIC-Lanamme-INF-0679-2024 |
| 222  | EIC-Lanamme-INF-1217-2024 |
| 230  | EIC-Lanamme-INF-0693-2024 |
| 237  | EIC-Lanamme-INF-1035-2024 |
| 239  | EIC-Lanamme-INF-0659-2024 |
| 243  | EIC-Lanamme-INF-1201-2024 |
| 702  | EIC-Lanamme-INF-0951-2024 |

(\*): Esta ruta no cuenta con taludes que evaluar



## V. RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN

Como se mencionó en el apartado anterior, la evaluación de los taludes de las rutas nacionales se hizo de dos formas: una, cuando las condiciones de la ruta lo permitieron, se aplicó 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 la otra fue utilizar una herramienta simplificada que permite capturar la fecha del levantamiento, coordenadas exactas del sitio y una fotografía de la condición del sitio.

Debido a la aplicación de estas dos metodologías, a continuación, se presentará el resumen de los resultados para cada una de ellas, contemplando que el detalle de los resultados, como fecha, ubicación y estacionamiento para cada sitio de cada ruta se presentan en los informes anexos que se adjuntan a este informe.

En primer lugar, en la Tabla 4 se presenta el resultado de la aplicación de la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02.

**Tabla 4**

*Resultados de las evaluaciones de las rutas utilizando la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02*

| Ruta  | Plan Nacional de Tránsito | Recomendaciones en cuanto a manejo de escorrentía superficial y control de erosión | Requiere de un análisis profundo con modelo de elevación digital (MDE) | Total |
|-------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1     | Red de alta capacidad     | 3                                                                                  | 4                                                                      | 7     |
| 2     | Red de alta capacidad     | 0                                                                                  | 6                                                                      | 6     |
| 4     | Red de alta capacidad     | 0                                                                                  | 5                                                                      | 5     |
| 10    | Red de alta capacidad     | 0                                                                                  | 0                                                                      | 0     |
| 34    | Red de alta capacidad     | 0                                                                                  | 2                                                                      | 2     |
| 237   | Red de alta capacidad     | 2                                                                                  | 4                                                                      | 6     |
| 3     | Distribuidores regionales | 1                                                                                  | 1                                                                      | 2     |
| 5     | Distribuidores regionales | 0                                                                                  | 3                                                                      | 3     |
| 6     | Distribuidores regionales | 3                                                                                  | 0                                                                      | 3     |
| 14    | Distribuidores regionales | 0                                                                                  | 0                                                                      | 0     |
| 32    | Distribuidores regionales | 0                                                                                  | 1                                                                      | 1     |
| 126   | Distribuidores regionales | 5                                                                                  | 4                                                                      | 9     |
| 141   | Distribuidores regionales | 0                                                                                  | 1                                                                      | 1     |
| 142   | Distribuidores regionales | 2                                                                                  | 1                                                                      | 3     |
| 145   | Distribuidores regionales | 0                                                                                  | 0                                                                      | 0     |
| 219   | Distribuidores regionales | 0                                                                                  | 0                                                                      | 0     |
| 222   | Distribuidores regionales | 0                                                                                  | 1                                                                      | 1     |
| 230   | Distribuidores regionales | 0                                                                                  | 0                                                                      | 0     |
| 239   | Distribuidores regionales | 1                                                                                  | 4                                                                      | 5     |
| 243   | Distribuidores regionales | 1                                                                                  | 1                                                                      | 2     |
| 702   | Distribuidores regionales | 1                                                                                  | 2                                                                      | 3     |
| Total |                           | 19                                                                                 | 40                                                                     |       |

La información presentada es el resultado del análisis posterior a la aplicación de la herramienta RC-545, que se realiza en oficina aplicando el criterio técnico del personal experto del PIG, pues cuando se obtiene una clasificación "media" con la herramienta y según lo indicado en la Tabla 1, posteriormente se debe estudiar si las condiciones del talud pueden ser tratadas de manera similar que las clasificadas como "baja" y por lo tanto se considera suficiente con recomendaciones en cuanto a manejo del agua de escorrentía superficial y controles para la erosión, o bien si más bien requieren de análisis más profundos como los establecidos para la calificación "alta".

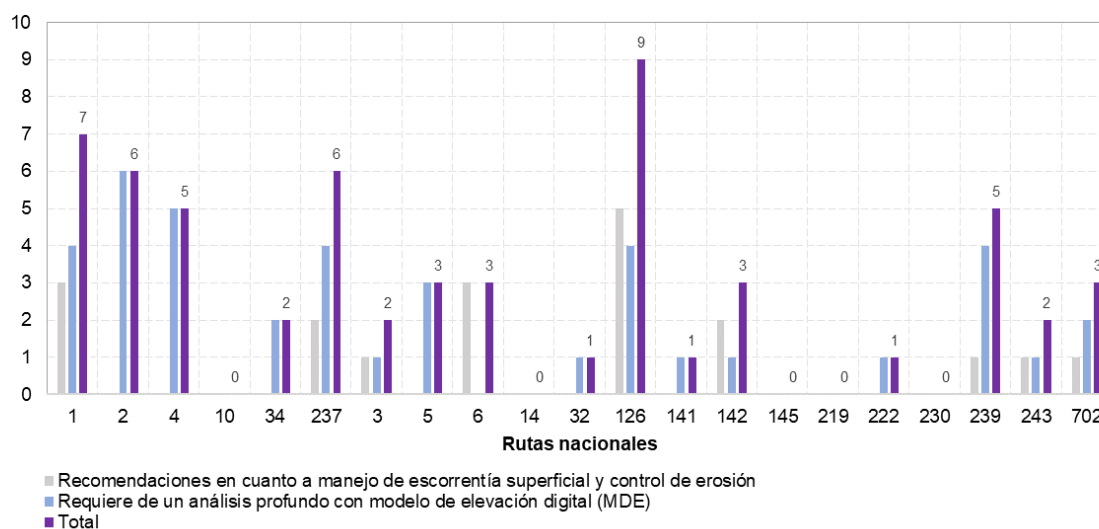


En la Figura 3 se observa la distribución del resultado por ruta y en la Figura 4 la distribución total de los sitios. El detalle de la calificación con la herramienta RC-545 para cada punto se encuentra en el informe correspondiente a cada ruta nacional adjunto en el anexo.

### Figura 3

Distribución del resultado de la clasificación con la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02 por ruta nacional

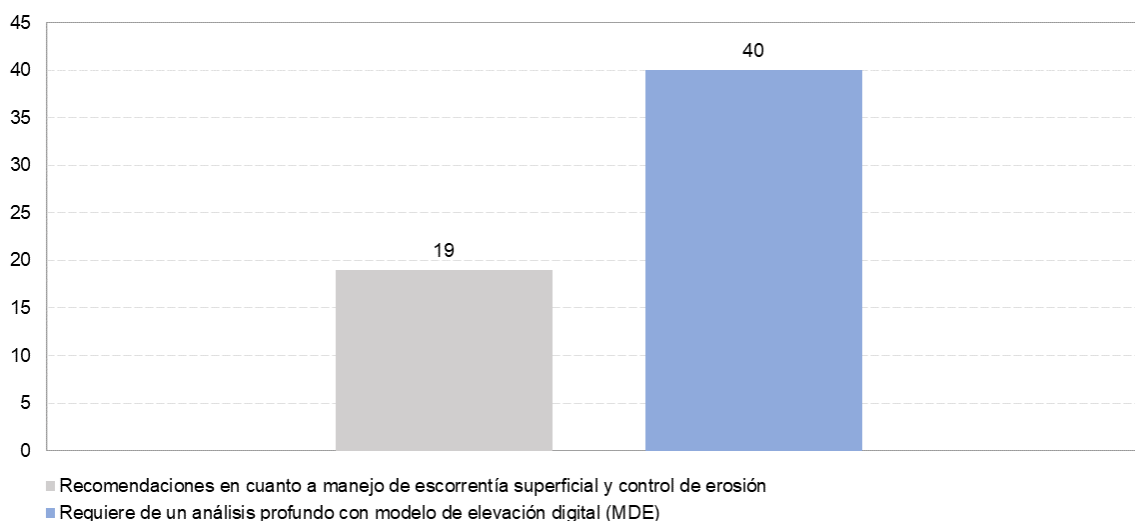
#### Calificación de los sitios con la herramienta de evaluación e inspección por ruta



### Figura 4

Distribución del resultado de la clasificación con la herramienta RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02 en total

#### Clasificación con la herramienta de evaluación e inspección





A raíz de lo observado de la Tabla 4 y de la Figura 3, la ruta en la que pudo obtenerse una mayor cantidad de puntos evaluados con la herramienta RC-545 es la ruta nacional 126, lo cual es consistente con lo visto en sitio. Por su parte en las rutas 10, 14, 145, 219 y 230 no fue posible realizar una evaluación más detallada pues las condiciones de la carretera, ya sea por la cantidad de vehículos transitando o bien porque no existían lugares donde estacionar de manera segura. Esto mismo sucede con la ruta nacional 32, que solo fue factible evaluar a detalle un solo sitio, sin embargo, entre los años 2022 y 2023 se realizó una evaluación de la zona montañosa de la ruta por existir cierres por el mantenimiento de esta, por lo que se pudo evaluar a detalle 34 sitios. Estos sitios se encuentran descritos en el informe EIC-Lanamme-INF-1493-2023, que fue entregado a la Administración el año pasado.

En cuanto a la ruta nacional 23, no cuenta con taludes para evaluar, como se mencionó en la nota de la Tabla 3. Sin embargo, en el año 2023, se realizó un análisis de licuación por parte del PIG de la zona, que también es un problema de índole geotécnico que se puede presentar en sitios costeros como en el que se encuentra la ruta nacional 23. Los resultados se encuentran en el informe EIC-Lanamme-INF-1240-2023, que también fue entregado a la Administración en el 2023.

Por su parte, los resultados de la aplicación de la herramienta simplificada son los que se muestran en la Tabla 5, que muestran la cantidad de sitios de interés geotécnico que en el momento de las visitas señalaban problemas de erosión por presencia de escorrentía superficial, material caído al pie del talud, presencia de bloques de roca en la vía entre otros, pero que no pudieron ser evaluados a detalle porque la carretera no presentaba las condiciones adecuadas sin poner en riesgo a los usuarios y los responsables de la inspección.

**Tabla 5**

*Resultados de las evaluaciones de las rutas utilizando la herramienta simplificada*

| Ruta  | Plan Nacional de Tránsito | Puntos evaluados |
|-------|---------------------------|------------------|
| 1     | Red de alta capacidad     | 61               |
| 2     | Red de alta capacidad     | 114              |
| 4     | Red de alta capacidad     | 78               |
| 10    | Red de alta capacidad     | 69               |
| 34    | Red de alta capacidad     | 41               |
| 237   | Red de alta capacidad     | 152              |
| 3     | Distribuidores regionales | 26               |
| 5     | Distribuidores regionales | 4                |
| 6     | Distribuidores regionales | 21               |
| 14    | Distribuidores regionales | 16               |
| 32    | Distribuidores regionales | 129              |
| 126   | Distribuidores regionales | 19               |
| 141   | Distribuidores regionales | 80               |
| 142   | Distribuidores regionales | 135              |
| 145   | Distribuidores regionales | 71               |
| 219   | Distribuidores regionales | 19               |
| 222   | Distribuidores regionales | 57               |
| 230   | Distribuidores regionales | 43               |
| 239   | Distribuidores regionales | 15               |
| 243   | Distribuidores regionales | 48               |
| 702   | Distribuidores regionales | 58               |
| Total |                           | 1256             |



Las condiciones de cada sitio se clasificaron en las categorías que se muestran en la Tabla 6, en las que se debe tener en consideración que para un mismo sitio de interés geotécnico se pueden tener más de una condición, por lo que el total de clasificación descritas en esta tabla no corresponde exactamente al número de puntos evaluados que muestra la Tabla 5. En la Figura 5 se puede observar la clasificación de los puntos de interés geotécnico en cada categoría por ruta nacional y en la Figura 6 se muestra la cantidad de sitios por categoría en el total de las rutas evaluadas.

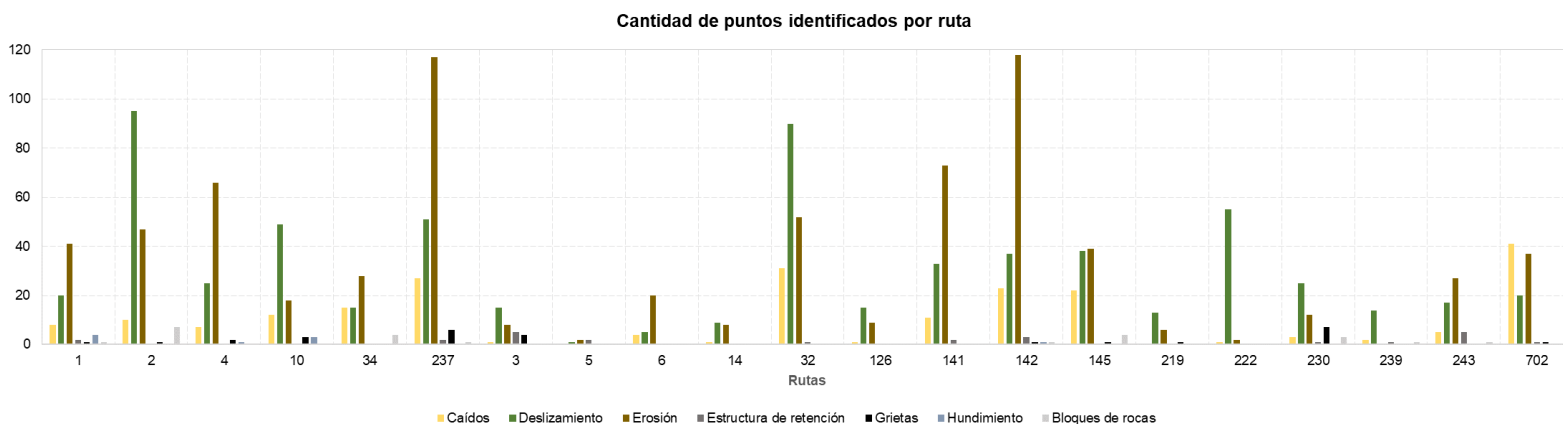
**Tabla 6**

*Categorización de los resultados de las evaluaciones de las rutas utilizando la herramienta simplificada*

| Ruta  | Plan Nacional de Tránsito | Caídos | Deslizamiento | Erosión | Estructura de retención | Bloques de rocas | Grietas | Hundimiento |
|-------|---------------------------|--------|---------------|---------|-------------------------|------------------|---------|-------------|
| 1     | Red de alta capacidad     | 8      | 20            | 41      | 2                       | 1                | 1       | 4           |
| 2     | Red de alta capacidad     | 10     | 95            | 47      | 0                       | 7                | 1       | 0           |
| 4     | Red de alta capacidad     | 12     | 49            | 18      | 0                       | 0                | 3       | 3           |
| 10    | Red de alta capacidad     | 1      | 15            | 8       | 5                       | 0                | 4       | 0           |
| 34    | Red de alta capacidad     | 1      | 9             | 8       | 0                       | 0                | 0       | 0           |
| 237   | Red de alta capacidad     | 3      | 25            | 12      | 1                       | 3                | 7       | 0           |
| 3     | Distribuidores regionales | 7      | 25            | 66      | 0                       | 0                | 2       | 1           |
| 5     | Distribuidores regionales | 15     | 15            | 28      | 0                       | 4                | 0       | 0           |
| 6     | Distribuidores regionales | 27     | 51            | 117     | 2                       | 1                | 6       | 0           |
| 14    | Distribuidores regionales | 0      | 1             | 2       | 2                       | 0                | 0       | 0           |
| 32    | Distribuidores regionales | 4      | 5             | 20      | 0                       | 0                | 0       | 0           |
| 126   | Distribuidores regionales | 31     | 90            | 52      | 1                       | 0                | 0       | 0           |
| 141   | Distribuidores regionales | 1      | 15            | 9       | 0                       | 0                | 0       | 0           |
| 142   | Distribuidores regionales | 11     | 33            | 73      | 2                       | 0                | 0       | 0           |
| 145   | Distribuidores regionales | 23     | 37            | 118     | 3                       | 1                | 1       | 1           |
| 219   | Distribuidores regionales | 22     | 38            | 39      | 0                       | 4                | 1       | 0           |
| 222   | Distribuidores regionales | 0      | 13            | 6       | 0                       | 0                | 1       | 0           |
| 230   | Distribuidores regionales | 1      | 55            | 2       | 0                       | 0                | 0       | 0           |
| 239   | Distribuidores regionales | 2      | 14            | 0       | 1                       | 1                | 0       | 0           |
| 243   | Distribuidores regionales | 5      | 17            | 27      | 5                       | 1                | 0       | 0           |
| 702   | Distribuidores regionales | 41     | 20            | 37      | 1                       | 0                | 1       | 0           |
| Total |                           | 225    | 642           | 730     | 25                      | 23               | 28      | 9           |

**Figura 5**

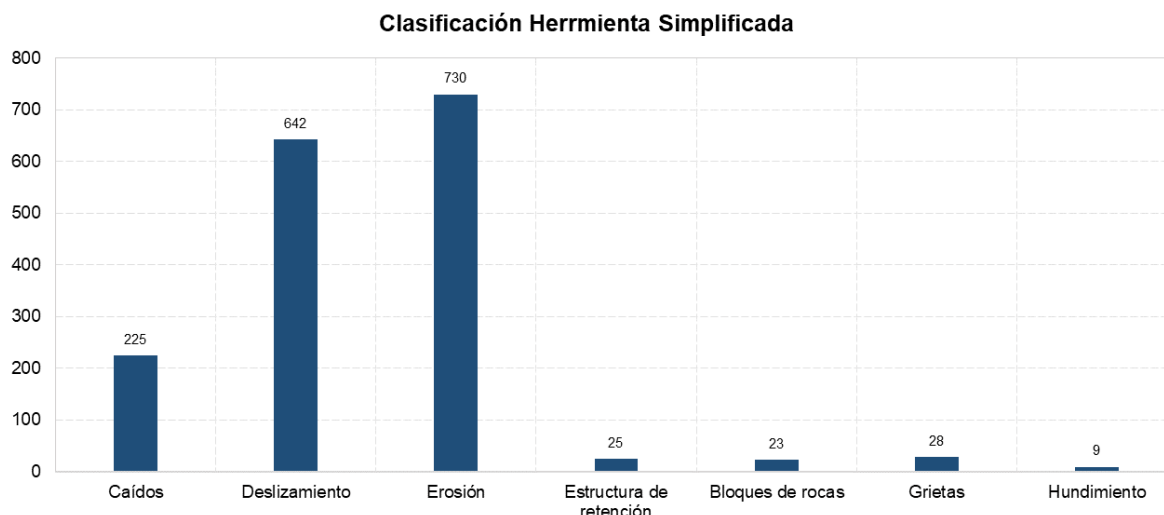
*Distribución del resultado de la clasificación con la herramienta simplificada por ruta nacional*





**Figura 6**

*Distribución de las categorías de clasificación de los sitios de interés geotécnico obtenidos con la herramienta simplificada*



Finalmente, en la Tabla 7 se muestra el resumen de la cantidad de sitios de interés geotécnico que fueron detectados durante las evaluaciones a las rutas nacionales, estudiados ya sea con la herramienta RC-545 o bien con la herramienta simplificada y considerando los 34 sitios evaluados en detalle para la ruta nacional 32 descritos en el informe EIC-Lanamme-INF-1493-2023.

**Tabla 7**

*Resumen de cantidad de sitios de interés geotécnico detectados en evaluación a rutas nacionales*

| Ruta | Plan Nacional de Tránsito | Total de sitios detectados en visitas de PIG |
|------|---------------------------|----------------------------------------------|
| 1    | Red de alta capacidad     | 68                                           |
| 2    | Red de alta capacidad     | 120                                          |
| 4    | Red de alta capacidad     | 83                                           |
| 10   | Red de alta capacidad     | 69                                           |
| 34   | Red de alta capacidad     | 43                                           |
| 237  | Red de alta capacidad     | 158                                          |
| 3    | Distribuidores regionales | 28                                           |
| 5    | Distribuidores regionales | 7                                            |
| 6    | Distribuidores regionales | 24                                           |
| 14   | Distribuidores regionales | 16                                           |
| 32   | Distribuidores regionales | 164                                          |
| 126  | Distribuidores regionales | 28                                           |
| 141  | Distribuidores regionales | 81                                           |
| 142  | Distribuidores regionales | 138                                          |
| 145  | Distribuidores regionales | 71                                           |
| 219  | Distribuidores regionales | 19                                           |
| 222  | Distribuidores regionales | 58                                           |
| 230  | Distribuidores regionales | 43                                           |
| 239  | Distribuidores regionales | 20                                           |
| 243  | Distribuidores regionales | 50                                           |
| 702  | Distribuidores regionales | 61                                           |

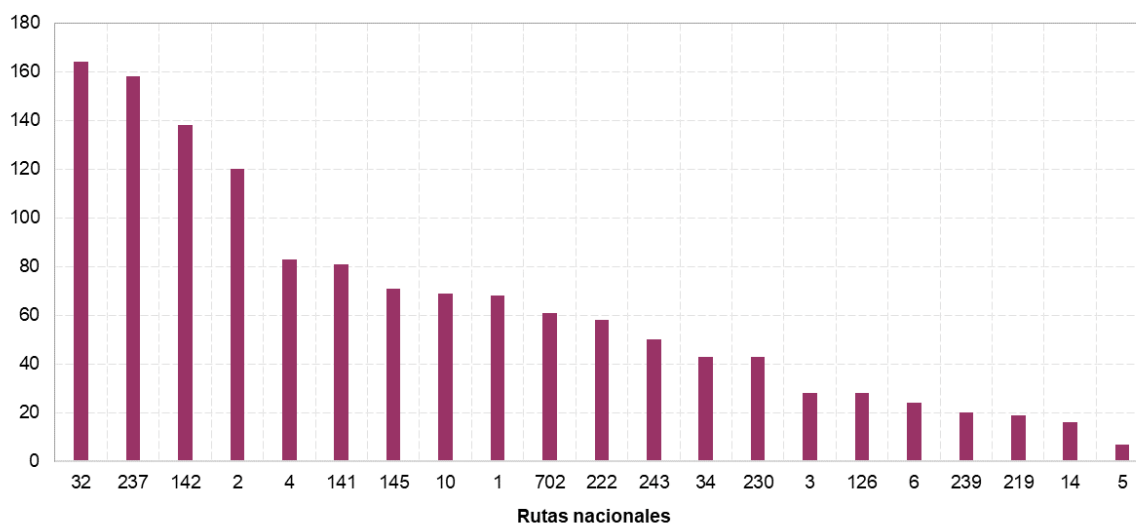


En el gráfico de la Figura 7, se muestra la distribución de cantidad de sitios de interés geotécnico detectados durante las evaluaciones de las rutas nacionales, en orden de ruta con mayor a menor cantidad de sitios. Como es de esperar y dado el comportamiento de esta, la ruta 32 es la que presenta una mayor cantidad de sitios a los que prestar atención.

**Figura 7**

*Cantidad de sitios de interés geotécnico detectados en total durante las evaluaciones a las rutas nacionales*

**Sitios de interés geotécnico detectados en las evaluaciones a rutas nacionales**



La información previamente citada, puede ser de interés para la Administración, pues se cuenta con datos con los que quizás pueda determinar la prioridad de atención de las rutas nacionales o sitios en específico que le interese intervenir.



## VI. COMENTARIOS FINALES

Después de realizar la visita de campo a las rutas nacionales elegidas por sus características de carretera de montaña y que forman parte de la Red Vial Estratégica de Costa Rica, 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. Como se mencionó en el apartado anterior, 730 de los 1349 sitios evaluados (equivalente a 54%) presentan problemas de erosión que pueden estar relacionados con el manejo de la escorrentía superficial, 682 (51%) presentan características de deslizamientos, que dependiendo de su condición es importante realizar análisis de estabilidad. Cabe recordar que los sitios que presentan características de deslizamiento también pueden mostrar señales de erosión u otro tipo de categorización descrita en el apartado anterior. El resto de las condiciones observadas en sitio no es que se deben dejar de atender, pero representan una menor cantidad de peligro.

En los 40 casos indicados en los que se requiere un análisis más profundo y específico del sitio, arrojado por el uso del registro RC-545 "Herramienta del Lanamme para la inspección de taludes" V02, como los que muestran una superficie de falla claramente definida, o especialmente en aquellos estacionamientos en los que se identifican estructuras en la corona del talud que presenta evidencias de inestabilidad, resulta apropiado identificar la superficie de falla crítica tras modelar en tres dimensiones la geometría actual del sitio, y analizar esta superficie en dos dimensiones, modificando las condiciones de análisis, es decir, estática, pseudoestática, seca y saturada.

Para llevar a cabo este análisis profundo, 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 indicados en el párrafo anterior.

Asimismo, 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.

Estos enfoques mostrados anteriormente permiten 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 e incluso propuestas de estabilización de los taludes y su respectiva optimización, en caso de ser necesarias, por parte de un ingeniero especializado en geotecnia designado por la Administración que esté a cargo del proyecto.

La omisión de estos aspectos podría significar riesgos económicos a la Administración y a los usuarios de la ruta, pues sin una evaluación geotécnica detallada, es posible que no se detecten problemas subyacentes que podrían provocar inestabilidades en los taludes. Esto puede resultar en



|                           |                                               |                 |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|
| EIC-Lanamme-INF-1625-2024 | Código: RC-546-v01. Vigente desde: 30/11/2023 | Página 20 de 23 |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|

deslizamientos o fallas estructurales que afecten carreteras, puentes u otras infraestructuras cercanas.

En este mismo sentido, la reparación o reconstrucción de estas estructuras podría requerir inversiones significativas, y se podrían generar mayores costos de mantenimiento pues tenderían a ser más frecuentes. Además, el problema más palpable es que podría generar interrupciones en el tráfico por cierres de carreteras o desvíos, causando costos adicionales para la Administración en términos de reparaciones de emergencia, y además afecta la economía local y nacional debido a los retrasos en el transporte de bienes y personas.,

Finalmente, se podría limitar el desarrollo económico regional y reducir los ingresos potenciales para la Administración pública.



## VII. RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LA INSPECCIÓN

Dado el alcance de las inspecciones y evaluaciones realizadas en los sitios visitados, no forma parte emitir recomendaciones y diseños detallados de alguna obra de retención, si es que se requiriese. 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 las visitas de campo realizadas, 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.

Además, 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 designado por la Administración, que indique la forma adecuada de colocar estas alternativas, con el fin de optimizar la solución y no generar problemas mayores a posteriori.

Asimismo, se sugiere mantener un monitoreo continuo de las estructuras de estabilización de taludes y de protección contra caídos implementadas en algunas rutas. Este monitoreo es esencial para asegurar el desempeño óptimo de la obra a lo largo de su vida útil.

En los taludes en los que se dificulta acceder a ellos por tratarse de taludes pendiente debajo de la carretera, se considera pertinente 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 programas de cómputo especializados en geotecnia que permitan determinar las superficies de falla con mayor precisión. Los distintos sitios que se consideraron en esta categoría se encuentran descritos a detalle en los informes adjuntos en el anexo de este informe para cada ruta.



|                           |                                               |                 |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|
| EIC-Lanamme-INF-1625-2024 | Código: RC-546-v01. Vigente desde: 30/11/2023 | Página 22 de 23 |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|

## 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.



## IX. ANEXO

### INFORMES INDIVIDUALES DE LA EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DE LAS RUTAS NACIONALES

- RN1: EIC-Lanamme-INF-1438-2024
- RN2: EIC-Lanamme-INF-1514-2024
- RN3: EIC-Lanamme-INF-1429-2024
- RN4: EIC-Lanamme-INF-1436-2024
- RN5: EIC-Lanamme-INF-1467-2024
- RN6: EIC-Lanamme-INF-1351-2024
- RN10: EIC-Lanamme-INF-1189-2024
- RN14: EIC-Lanamme-INF-1581-2024
- RN32: EIC-Lanamme-INF-1483-2024
- RN34: EIC-Lanamme-INF-1267-2024
- RN126: EIC-Lanamme-INF-1497-2024
- RN141: EIC-Lanamme-INF-1398-2024
- RN142: EIC-Lanamme-INF-1422-2024
- RN145: EIC-Lanamme-INF-1439-2024
- RN219: EIC-Lanamme-INF-0679-2024
- RN222: EIC-Lanamme-INF-1217-2024
- RN230: EIC-Lanamme-INF-0693-2024
- RN237: EIC-Lanamme-INF-1035-2024
- RN239: EIC-Lanamme-INF-0659-2024
- RN243: EIC-Lanamme-INF-1201-2024
- RN702: EIC-Lanamme-INF-0951-2024