



UNIVERSIDAD DE  
**COSTA RICA**



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

# Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

## **INFORME DE EVALUACIÓN**

LM-PI-UE-001-2017

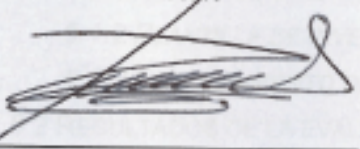
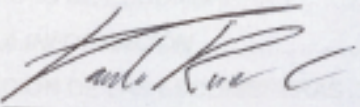
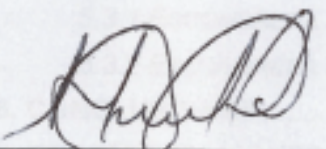
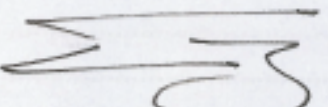
### **RUTA NACIONAL No. 35 SECTOR SIFÓN – LA ABUNDANCIA**

Preparado por:

Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional

San José, Costa Rica

Mayo, 2017

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                    |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Informe LM-PI-UE-001-17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                    | 2. Copia No. 8                     |
| 3. Título<br>INFORME DE EVALUACIÓN RUTA NACIONAL No. 35 SECTOR SIFÓN - LA ABUNDANCIA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                    | 4. Fecha<br>Mayo, 2017             |
| 7. Organización y dirección<br>Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales<br>Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,<br>San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica<br>Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                    |                                    |
| 8. Notas complementarias                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                    |                                    |
| 9. Resumen<br><i>Como parte de las funciones de evaluación y fiscalización encomendadas por ley al LanammeUCR, la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), desde el año 2010 evalúa y fiscaliza de forma periódica los trabajos que se realizan en el tramo Sifón - La Abundancia de la Ruta Nacional No.35.</i><br><i>Producto de estas evaluaciones se han remitido a la Administración observaciones y recomendaciones sobre la condición de los diferentes elementos de infraestructura del proyecto.</i><br><i>En el caso específico de las condiciones geológicas y geotécnicas, en meses recientes los esfuerzos se han enfocado en recabar información para generar un mapa de ingeniería geológica. Este mapa compila la información de la geología local y regional, incluyendo el tipo de rocas, las formaciones geológicas, las pendientes de la zona y los deslizamientos existentes, así como el estado de activos geotécnicos como los muros de contención, las escombreras, los terraplenes y las alcantarillas.</i><br><i>El presente documento es un informe con el avance alcanzado en el proceso de generación de dicho mapa. Se presenta un resumen con la información recopilada hasta la fecha, junto con el análisis de la misma y las recomendaciones pertinentes.</i> |                                                                                                                                                    |                                    |
| 10. Palabras clave<br>Infraestructura, geología, activos geotécnicos, escombreras, erosión                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                    | 11. Nivel de seguridad:<br>Ninguno |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                    | 12. Núm. de páginas<br>72          |
| 13. Preparado por:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                    |                                    |
| Ing. Ronald Naranjo U.<br>UGERVN<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Geól. Paulo Ruiz C., Ph.D.<br>UGERVN<br>                        |                                    |
| Fecha: 23 / 5 / 2017                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Fecha: 21 / 5 / 17                                                                                                                                 | Fecha: / /                         |
| 14. Revisado por:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                    |                                    |
| Lic. Miguel Chacón A.<br>Asesor Legal<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 15. Aprobado por:                                                                                                                                  |                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Ing. Guillermo Loria S., Ph.D.<br>Coordinador General PITRA<br> |                                    |
| Fecha: / /                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Fecha: / /                                                                                                                                         |                                    |



## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. POTESTADES.....</b>                                                    | <b>6</b>  |
| <b>2. ANTECEDENTES.....</b>                                                  | <b>6</b>  |
| <b>3. INTRODUCCIÓN.....</b>                                                  | <b>7</b>  |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL.....                                                    | 8         |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                               | 8         |
| <b>4. CONDICIONES GEOLÓGICAS DEL TRAMO SIFÓN – LA ABUNDANCIA.....</b>        | <b>9</b>  |
| 4.1 UBICACIÓN.....                                                           | 9         |
| 4.2 CONDICIONES TOPOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS.....                               | 9         |
| 4.3 TOPOGRAFÍA.....                                                          | 9         |
| 4.4 GEOMORFOLOGÍA Y PENDIENTES.....                                          | 12        |
| 4.5 DIRECCIÓN DE PENDIENTES.....                                             | 13        |
| 4.6 TECTÓNICA Y SISMICIDAD.....                                              | 15        |
| 4.7 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....                                           | 17        |
| 4.8 GEOLOGÍA.....                                                            | 21        |
| 4.9 INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS.....                                        | 23        |
| 4.10 INFORMACIÓN GEOLÓGICA PARA LA PUNTA SUR DEL PROYECTO.....               | 26        |
| 4.11 IDENTIFICACIÓN DE HIDROTHERMALISMO Y DRENAJE ÁCIDO DE ROCA (DAR).....   | 28        |
| <b>5. INVENTARIO DE ACTIVOS GEOTÉCNICOS TRAMO SIFÓN – LA ABUNDANCIA.....</b> | <b>38</b> |
| 5.1 ESCOMBRERAS.....                                                         | 38        |
| 5.1.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....                                           | 40        |
| 5.1.2 PLANTILLA DE INVENTARIO DE ESCOMBRERAS.....                            | 43        |
| 5.1.3 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....                                   | 45        |
| 5.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS ESCOMBRERAS.....                      | 46        |
| 5.2.1 SOBRE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL.....                                    | 46        |
| 5.2.2 SOBRE LA EROSIÓN.....                                                  | 49        |
| 5.2.3 CONDICIÓN ESTRUCTURAL.....                                             | 50        |
| 5.3 CASOS CRÍTICOS.....                                                      | 52        |
| 5.3.1 ESCOMBRERA S13.....                                                    | 52        |
| 5.3.2 ESCOMBRERA S13A.....                                                   | 56        |
| <b>6. CONCLUSIONES.....</b>                                                  | <b>58</b> |
| <b>7. RECOMENDACIONES.....</b>                                               | <b>60</b> |
| <b>8. REFERENCIAS.....</b>                                                   | <b>61</b> |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                     |                                                                                                                                                    |    |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>FIGURA No.1</b>  | MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO.....                                                                                                                | 10 |
| <b>FIGURA No.2</b>  | MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL (MED) DE LA ZONA DE ESTUDIO.<br>.....                                                                                  | 11 |
| <b>FIGURA No.3</b>  | MAPA DE PENDIENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....                                                                                                      | 13 |
| <b>FIGURA No.4</b>  | DIRECCIÓN DE PENDIENTES.....                                                                                                                       | 14 |
| <b>FIGURA No.5</b>  | MAPA DE TERREMOTOS HISTÓRICOS.....                                                                                                                 | 16 |
| <b>FIGURA No.6</b>  | SISMOS REGISTRADOS.....                                                                                                                            | 17 |
| <b>FIGURA No.7</b>  | DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN<br>METEOROLÓGICA LA BALSA BAJO LOS RODRÍGUEZ..                                                       | 20 |
| <b>FIGURA No.8</b>  | DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN<br>METEOROLÓGICA AGENCIA DE CIUDAD QUESADA.....                                                      | 20 |
| <b>FIGURA No.9</b>  | DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN<br>METEOROLÓGICA SANTA CLARA FLORENCIA.....                                                          | 21 |
| <b>FIGURA No.10</b> | DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN<br>METEOROLÓGICA EXTENSIÓN ZARCERO.....                                                              | 21 |
| <b>FIGURA No.11</b> | MAPA GEOLÓGICO (PRELIMINAR) DE LA RUTA SIFÓN - LA<br>ABUNDANCIA Y ALREDEDORES .....                                                                | 23 |
| <b>FIGURA No.12</b> | INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS DE LA RUTA SIFÓN - LA<br>ABUNDANCIA.....                                                                              | 24 |
| <b>FIGURA No.13</b> | DESLIZAMIENTOS ASOCIADOS A LA UNIDAD LITOLÓGICA<br>LACUSTRE PALMARES SOBRE LA RUTA 1.....                                                          | 27 |
| <b>FIGURA No.14</b> | LA RELACIÓN DEL DESLIZAMIENTO CON LA UNIDAD DE<br>SEDIMENTOS LACUSTRES PALMARES.....                                                               | 28 |
| <b>FIGURA No.15</b> | NOMENCLATURA Y LOCALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS<br>PARA ANÁLISIS DE PH EN PASTA Y DETERMINACIÓN DE PROCESOS DE DRENAJE<br>ÁCIDO DE ROCA..... | 29 |
| <b>FIGURA No.16</b> | TRABAJO EN LABORATORIO DE GEOQUÍMICA DE LA ESCUELA<br>CENTROAMÉRICA DE GEOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA.....                               | 30 |
| <b>FIGURA No.17</b> | ECUACIONES DEFINIDAS POR LA ESCUELA DE NANCY (FRANCIA)<br>PARA EL ANÁLISIS DE UN DESLIZAMIENTO PLANAR.....                                         | 33 |



**FIGURA No.18** VISTA DE PERFIL DE LAS DISTANCIAS A SER CONSIDERADAS AL DEFINIR UN ÁREA DE ESTUDIO. .... 33

**FIGURA No.19** EJEMPLO DE APLICACIÓN DE METODOLOGÍA HSQI EN VARIOS DE LOS TALUDES DE LA RUTA SIFÓN - LA ABUNDANCIA. .... 34

**FIGURA No.20** RESULTADOS GRÁFICOS DEL ANÁLISIS REALIZADO CON LA METODOLOGÍA HSQI. .... 36

**FIGURA No.21** RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR EL MÉTODO HSQI. .... 37

**FIGURA No.22** PLANTILLA PARA EL INVENTARIO DE LA CONDICIÓN DE LAS ESCOMBRERAS. .... 44

**FIGURA No.23** DAÑOS EN LA ESCOMBRERA S13. .... 52

**FIGURA No.24** VISTA AÉREA DEL COSTADO OESTE DE LA ESCOMBRERA S13. SE OBSERVAN VARIOS DESLIZAMIENTOS Y LA EROSIÓN SEVERA QUE ESTÁ TENIENDO LUGAR EN ESTE SITIO. .... 54

**FIGURA No.25** VISTA AÉREA DEL TALUD AL PIE DE LA ESCOMBRERA S13 ..... 55

**FIGURA No.26** DETERIOROS OBSERVADOS EN LA ESCOMBRERA S13A ..... 56



## 1. POTESTADES

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme), es una dependencia de la Universidad de Costa Rica (UCR) especializada en la Ingeniería Civil. El presente informe se enmarca dentro de las funciones que la ley N°8114 en sus artículos 5 y 6 encomienda al LanammeUCR en materia de evaluación, fiscalización, asesoría y capacitación, entre otras, para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública en la reconstrucción y conservación de la Red Vial costarricense.

## 2. ANTECEDENTES

La Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del PITRA, del LanammeUCR, desde el año 2010 evalúa y fiscaliza de forma periódica los trabajos que se realizan en el tramo Sifón – La Abundancia de la Ruta Nacional No.35.

Producto de estas evaluaciones se han remitido a la Administración observaciones y recomendaciones sobre la condición de los diferentes elementos de la infraestructura que se está desarrollando en el proyecto.

En el caso específico de las condiciones geológicas y geotécnicas, las observaciones se han enfocado en el estado de los taludes de corte realizados para la construcción de la carretera. Con el propósito de ampliar la evaluación en estas dos áreas, en meses recientes los esfuerzos se han enfocado en recabar información para la generación de un mapa de ingeniería geológica para el tramo Sifón – La Abundancia, de la Ruta Nacional No. 35. Este mapa compilará la información de la geología local y regional, incluyendo el tipo de rocas, las formaciones geológicas, las pendientes de la zona y los deslizamientos existentes, así como el estado de activos geotécnicos como son los muros de contención, las escombreras, los terraplenes y las alcantarillas.

El presente documento es un informe con el avance alcanzado en el proceso de generación de dicho mapa. Se presenta un resumen con la información recopilada hasta la fecha, junto con el análisis de la misma y las recomendaciones pertinentes.



### 3. INTRODUCCIÓN

El tramo de la Ruta Nacional No.35 evaluado en este informe se localiza en la provincia de Alajuela. Inicia en Sifón, cerca de San Ramón y finaliza en la intersección a Ciudad Quesada, aproximadamente a un kilómetro al oeste de la actual carretera Florencia – Ciudad Quesada. Su trazado es próximo a las poblaciones de Alto Villegas, Santa Elena y Buena Vista.

La longitud del tramo es de 29.73 km. En este trayecto se ubican nueve puentes y varios pasos elevados con caminos cantonales.

Dentro de los beneficios que se considera tendrá la carretera están: Incremento en el nivel de vida y la actividad turística de la región, disminución de una hora en el tiempo de recorrido San José – Ciudad Quesada, generación de fuentes de empleo durante la construcción de la carretera y posteriormente durante la operación de la misma.

Las labores de construcción dieron inicio en octubre del 2005. Desde un inicio las condiciones geológicas han provocado gran cantidad de desafíos geotécnicos, algunos de los cuales continúan sin una solución definitiva.

Partiendo de esta realidad, la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del PITRA (LanammeUCR), se propuso contribuir con la Administración del Estado costarricense mediante la generación de un mapa de ingeniería geológica de la carretera.

En este informe se describen las metodologías empleadas y los resultados obtenidos en el levantamiento de geología de la zona, el inventario de deslizamientos y la evaluación de la condición actual que presenta uno de sus activos geotécnicos más importantes, las escombreras.



### 3.1 Objetivo general

El objetivo general de este informe es presentar los resultados de la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas del tramo Sifón – La Abundancia, de la Ruta Nacional No.35. Se busca, de esta forma, aportar elementos a considerar por parte de la Administración activa del Estado costarricense, en la toma de decisiones para el diseño, construcción y mantenimiento de las obras geotécnicas de esta carretera.

### 3.2 Objetivos específicos

- Identificar las condiciones geológicas de la Ruta Nacional No. 35 en el tramo Sifón – La Abundancia, incluyendo el tipo de rocas, las formaciones geológicas, las pendientes de la zona y los deslizamientos existentes.
- Identificar y caracterizar las zonas con alteración hidrotermal, con el fin de determinar la posibilidad de presencia de drenaje ácido de roca (DAR), con potencial de afectar los taludes, las obras geotécnicas y el manejo de agua del proyecto.
- Analizar la susceptibilidad al deslizamiento de los taludes del proyecto mediante el uso de la metodología (Hill Slope Quality Index) HSQI.
- Crear un inventario con la ubicación y la condición de las escombreras del proyecto. Con esta información y mediante evaluaciones futuras se podrán establecer los cambios en su condición que afecten su desempeño.
- Implementar el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) en la obtención de información de los diferentes activos geotécnicos del proyecto y de topografía detallada cuando sea necesario.
- Fiscalizar el uso adecuado de la inversión pública mediante la evaluación de la condición de las obras geotécnicas del proyecto.





## **4. CONDICIONES GEOLÓGICAS DEL TRAMO SIFÓN – LA ABUNDANCIA**

### **4.1 Ubicación**

La zona de estudio (Figura No.1) está ubicada entre cuatro hojas topográficas (San Lorenzo, Quesada, Miramar y Naranjo) del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Aunque, el recorrido de la Ruta Nacional No.35 tramo Sifón - La Abundancia, se encuentra en las hojas topográficas Quesada y Naranjo.

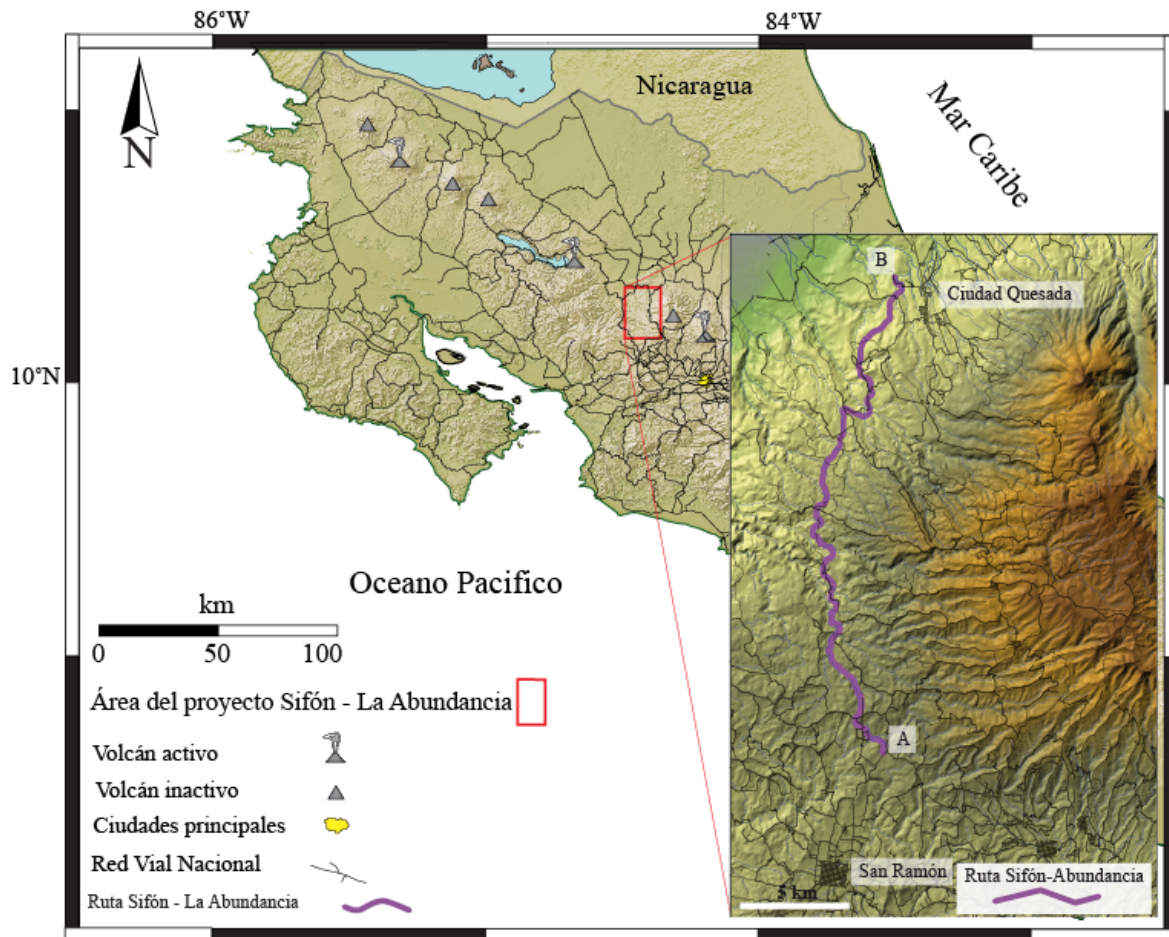
### **4.2 Condiciones topográficas y geológicas**

En esta sección se analizan la topografía, geomorfología - pendientes, geología y estructuras tectónicas, que se encuentran en las cercanías de la Ruta Nacional No.35 en el tramo Sifón – La Abundancia y que podrían llegar a influenciar la vulnerabilidad del proyecto.

El objetivo específico de este análisis es ubicar zonas en la ruta donde se deberá prestar mayor atención a fenómenos como deslizamientos, hundimientos, sismos entre otras amenazas. Se presentan diferentes mapas que muestran las principales características de cada uno de los factores analizados.

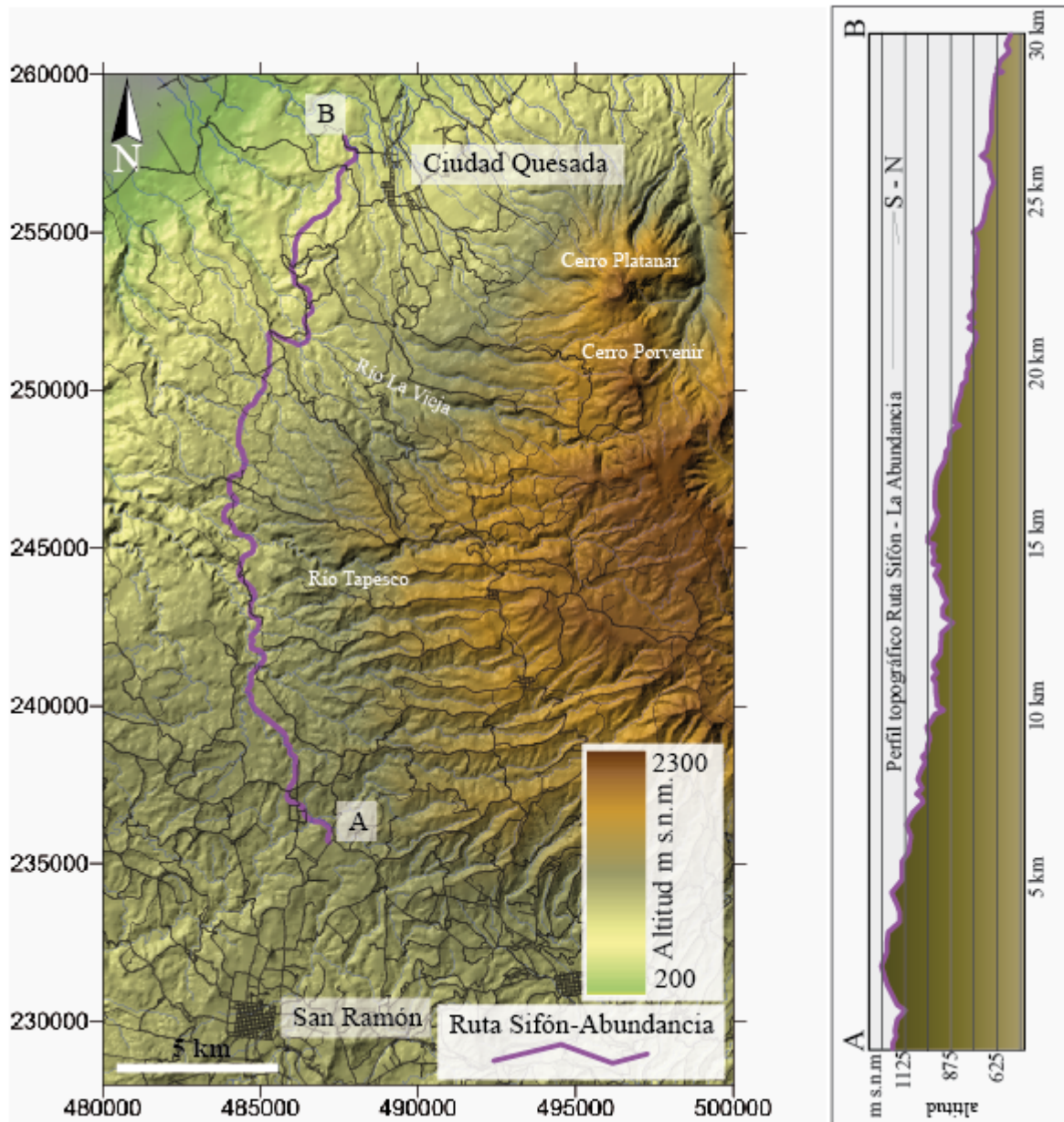
### **4.3 Topografía**

En general el trazado de la ruta Sifón – La Abundancia, presenta una disminución de altitud de Sur a Norte. La sección del trazado de la ruta del proyecto Sifón – La Abundancia, presenta un cambio de elevación que va aproximadamente desde los ~1125 m s.n.m. en la parte más sur del trazado y hasta casi los ~600 m s.n.m. en la parte norte del proyecto, no obstante su altitud máxima está en la zona sur y es aproximadamente de 1250 m s.n.m. según las hojas topográfica de Naranjo y Quesada del IGN respectivamente.



**Figura No.1** Mapa de ubicación del proyecto sobre el mapa de Costa Rica con las rutas nacionales y detalle de la ubicación de la Ruta Nacional No.35 en el tramo Sifón – La Abundancia.

Mediante un modelo de elevación digital (MED) generado con la información topográfica de las hojas a escala 1: 50 000 del IGN y el trazado de la Ruta Sifón- La Abundancia (ver Figura No.2), se puede observar que el proyecto está localizado en las partes bajas del flanco oeste de los edificios volcánicos de Porvenir y Platanar, la ruta atraviesa varios cañones de ríos en forma casi perpendicular y no está localizada sobre una divisoria montañosa como es frecuente en la rutas de montaña del país. Todo esto, genera que el trazado de la ruta sea relativamente rectilíneo, con solamente algunos cambios bruscos de dirección.



**Figura No.2** Modelo de elevación digital (MED) de la zona de estudio y perfil topográfico de la ruta que sigue el proyecto Sifón - La Abundancia.



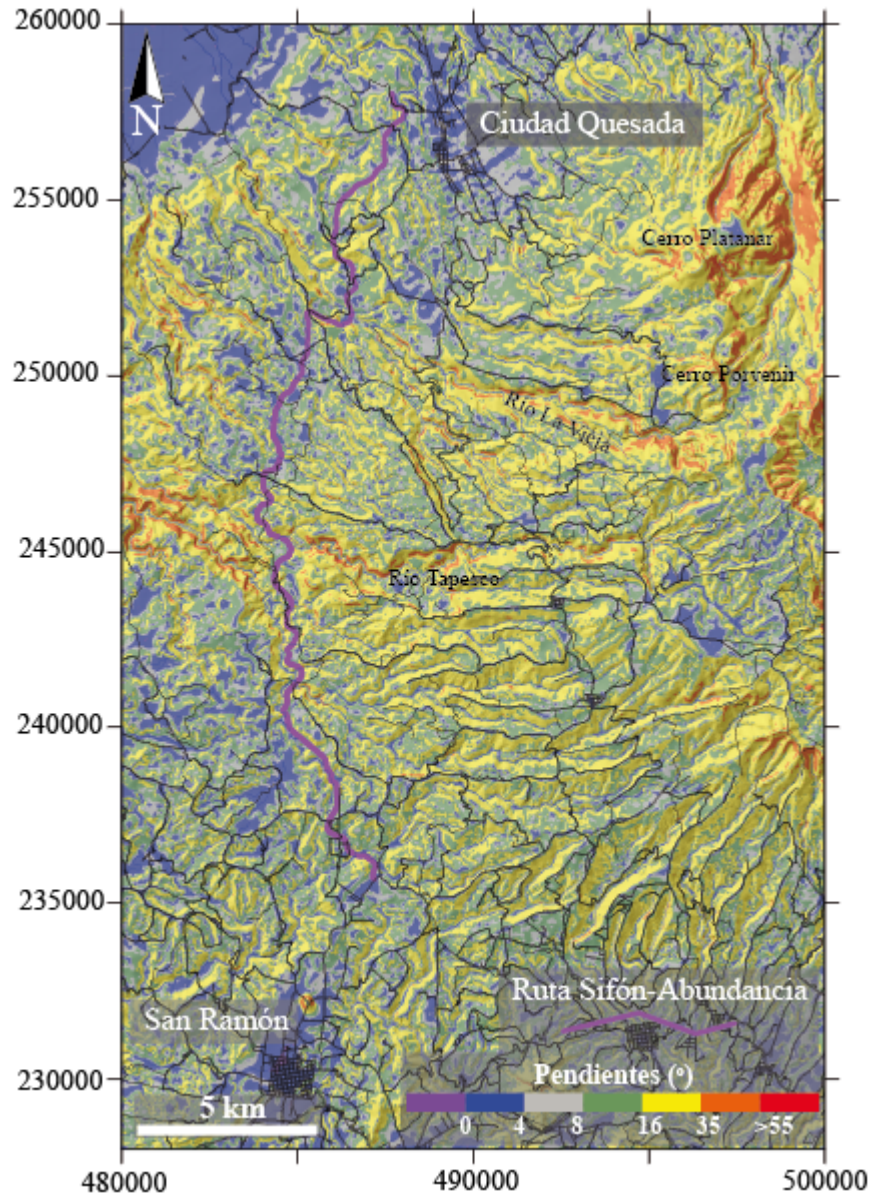
#### 4.4 Geomorfología y Pendientes

Geomorfológicamente el área de estudio en general presenta unidades de tipo denudacionales (producto de la erosión) de origen volcánico, con pendientes extremadamente altas ( $>55^{\circ}$ ), muy altas ( $35^{\circ}$ - $55^{\circ}$ ), altas ( $16^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ), moderadas ( $16^{\circ}$ - $8^{\circ}$ ) y bajas y muy bajas ( $<8^{\circ}$ ). Las geoformas actuales se deben a la erosión diferencial de rocas ígneas de tipo volcánicas (lavas- andesitas y basaltos) y flujos piroclásticos con y sin pómez, que han sido afectadas por meteorización, alteración hidrotermal y fallamiento local. También, existen geoformas que deben su origen a procesos de erosión fluvial que generaron cañones y valles de ríos. Además, existen fallas tectónicas que han generado escarpes pronunciados.

Las zonas de pendientes extremadamente altas ( $>55^{\circ}$ ) y muy altas ( $35^{\circ}$ - $55^{\circ}$ ), se ubican principalmente en los cañones de los ríos Tapesco, La Vieja y cerca de la cima de las laderas volcánicas de los cerros Porvenir y Platanar localizados en el sector noreste de la zona de estudio (ver Figura No.3). En estos sitios, son comunes los afloramientos de macizos rocosos, los procesos de denudación son severos y la cobertura vegetal es limitada.

Las zonas con pendientes altas ( $16^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ) son las más frecuentes en la zona de estudio. Este rango de pendientes está presente en muchos de los taludes de la ruta en el tramo Sifón – La Abundancia y las zonas montañosas cerca ella. Aquí los procesos de denudación son intensos, los deslizamientos pueden ser frecuentes y hay peligro extremo de erosión de suelos.

Los sitios asociados con pendientes moderadas a muy bajas ( $<16^{\circ}$ ) pueden verse afectados por procesos de erosión, deslizamientos ocasionales y reptación cuando no hay cobertura boscosa y mal manejo de los drenajes.



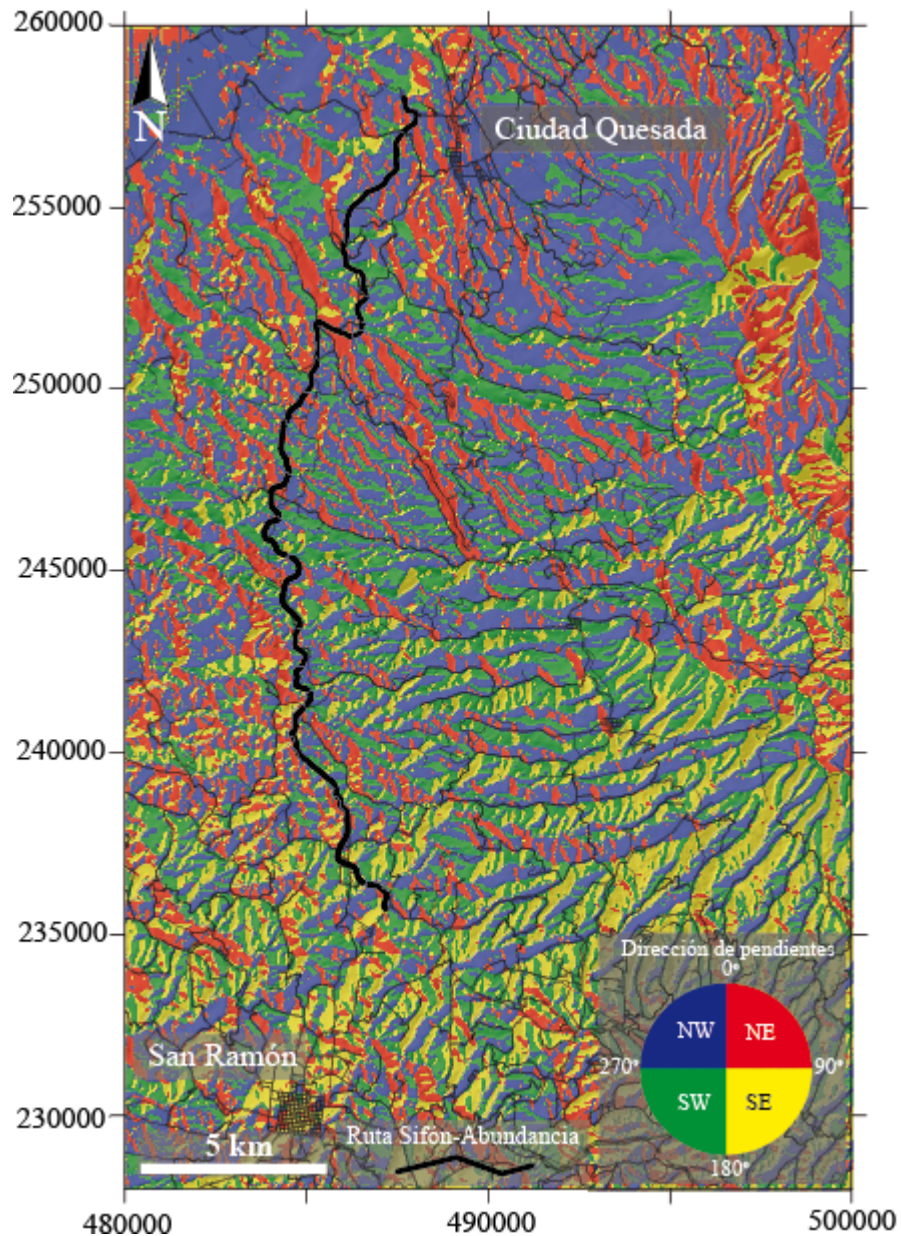
**Figura No.3** Mapa de pendientes de la zona de estudio.

#### 4.5 Dirección de pendientes

Se generó un mapa de dirección de pendientes, en el que se pueden observar mejor los alineamientos que podrían estar asociadas con zonas de falla y su relación con el trazado de la ruta Sifón – La Abundancia, el cual se muestra en la siguiente figura. Existen sitios donde estos alineamientos que podrían estar relacionados con fallas cortan casi



perpendicularmente la ruta o en ángulo de  $30^\circ$ . Otras estructuras lineales que cortan casi perpendicularmente la ruta, corresponden con divisorias y pequeñas cuencas hidrográficas.



**Figura No.4** Dirección de pendientes. En este mapa, son evidentes las estructuras lineales que podrían estar asociadas con fallas. Es muy claro el ejemplo del alineamiento en el cañón del Río La Vieja con un Rumbo SE-NW y sus pendientes inclinadas hacia el NE.



## 4.6 Tectónica y sismicidad

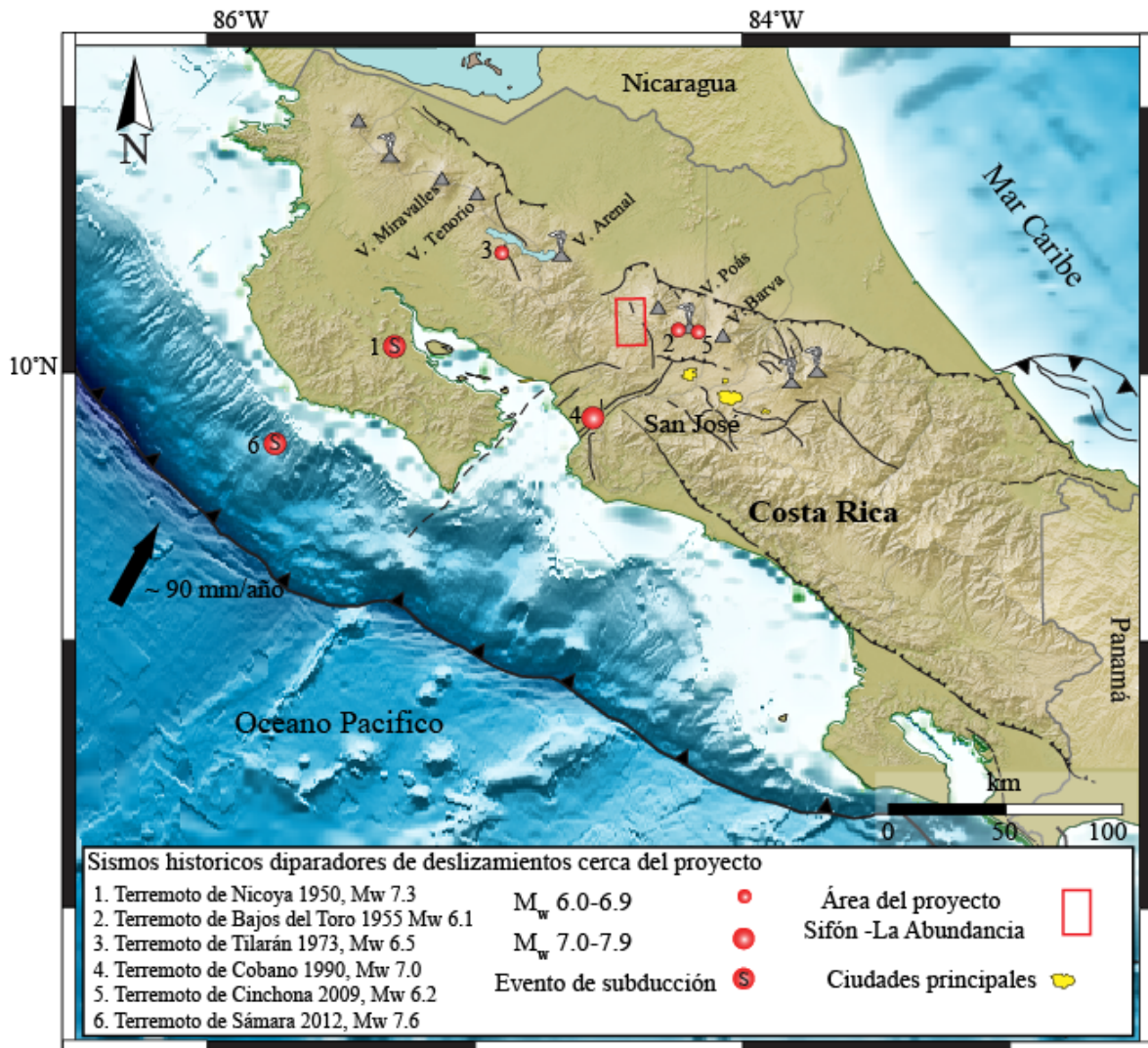
La zona donde se ubica el proyecto Sifón – La Abundancia, es una región con sismicidad moderada en el país. En esta zona, existen dos grandes fuentes sísmicas que han generado sismos con afectación a la red vial nacional y cantonal de la zona: 1.) La zona de subducción del Coco bajo la placa Caribe, 2.) El fallamiento local dentro de la placa Caribe.

Al menos una docena de fallas tectónicas cortan en algún punto la Ruta Sifón – La Abundancia, o se ubican en las cercanías del proyecto dentro del área de estudio definida para este informe. Algunas de estas fallas aparecen en el mapa geológico de la Hoja Naranja de (Huapaya y Rojas 2012) y el Atlas Tectónico de Costa Rica 2004. Otros alineamientos son sugeridos en este trabajo.

Aunque no existen estudios detallados sobre sismicidad directamente asociada a estas fallas, es muy probable que algunas de estas estén activas y puedan generar sismos que disparen deslizamientos en la ruta. Por lo tanto, se recomienda realizar un estudio neotectónico y sísmico más detallado en esta zona para determinar la amenaza real de estas estructuras en cuanto a la generación de deslizamientos sismo genéticos, lo cual debiera ser práctica común en el desarrollo de proyectos viales en el país.

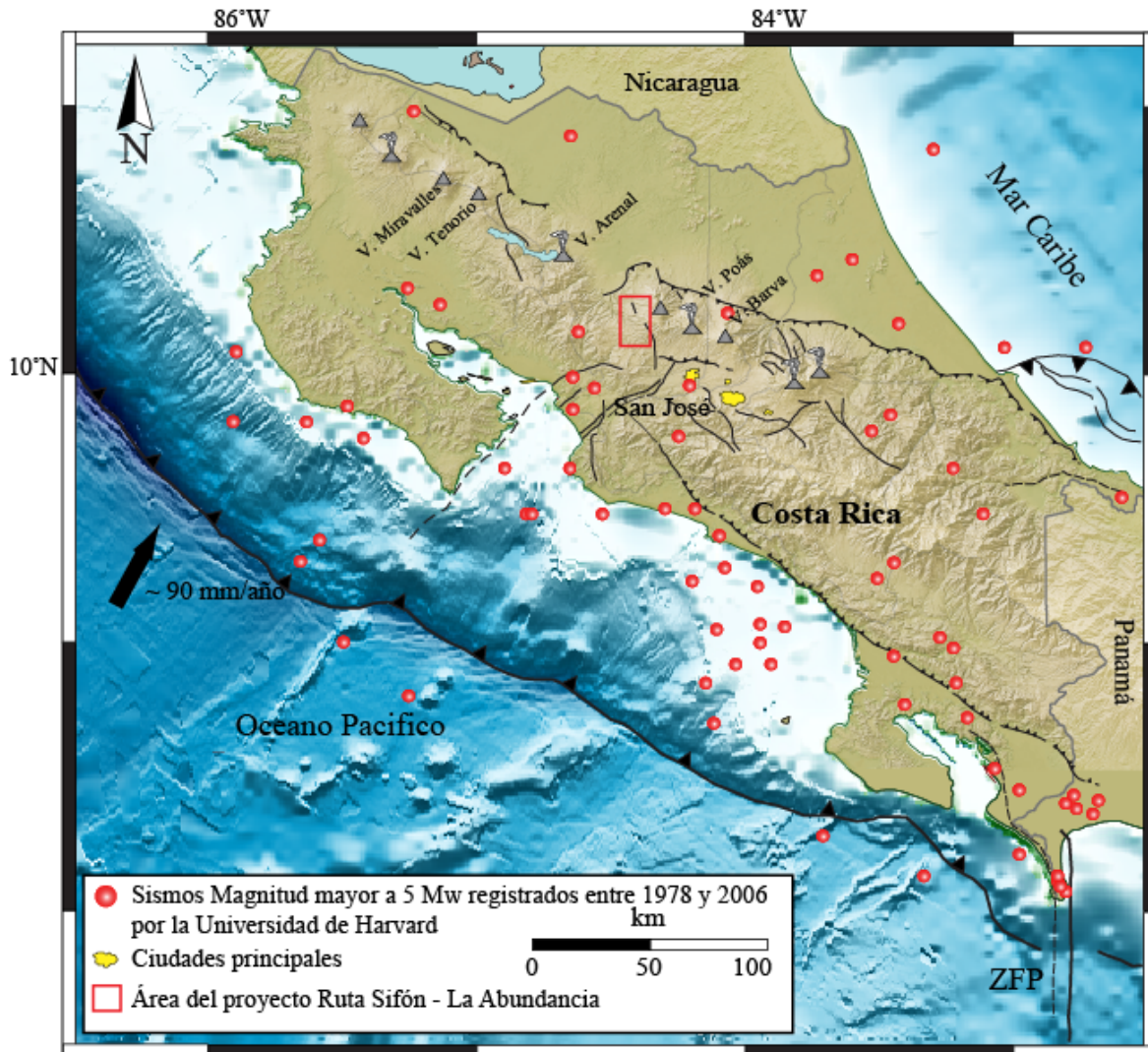
En un radio de ~150 km de distancia, en los últimos 64 años han ocurrido al menos cinco terremotos que han disparado deslizamientos en las zonas cercanas a sus epicentros y en zonas montañosas del país (Datos de la Red Sismológica Nacional - UCR). Dos de estos eventos fueron generados por el proceso de subducción de la placa Cocos bajo la placa Caribe: Terremoto de Nicoya 1950 y Terremoto de Samara 2012 (ver Figura No.5). Al ser eventos de subducción, estos ocurrieron a profundidades superiores a 30 km, por lo que la energía se extendió a más zonas del país y tuvo el potencial suficiente para afectar zonas montañosas y generar deslizamientos, como por ejemplo el caso del reciente Terremoto de Sámara del 2012 que disparó deslizamientos en la zona de Zarcero y Tilarán. De acuerdo con lo comentado por el Ingeniero Adán Corrales de la empresa Sánchez Carvajal, en varios taludes de la ruta Sifón – La Abundancia, debido al Terremoto de Samara se generaron deslizamientos importantes en el sector norte del proyecto que bloquearon completamente el paso. Más adelante en este informe se detallan otras observaciones realizadas en estos taludes.

Los otros cuatro terremotos históricos cerca de la zona de estudio, fueron generados por fallas locales y tuvieron una profundidad inferior a 25 km. La energía de los eventos superficiales se disipó rápidamente en el terreno y los deslizamientos ocurrieron en las cercanías de los epicentros de cada evento, como el caso del Terremoto de Bajos del Toro (6.1  $M_w$ ) de 1955 Tilarán (6.5  $M_w$ ) de 1973 y del Terremoto de Cinchona (6.2  $M_w$ ) del 2009.



**Figura No.5** Mapa de terremotos históricos ubicados en un radio de 150 km del proyecto de la Ruta Sifón – La Abundancia que han disparado deslizamientos, de acuerdo a datos de la Red Sismológica Nacional (RSN). Han ocurrido 2 eventos de subducción y 4 terremotos originados por fallas locales.





**Figura No.6** Sismos registrados por la Universidad de Harvard entre 1978 y 2006 con magnitud superior a 5Mw, en el recuadro de color rojo se ubica la zona de estudio. Ninguno se encuentra dentro del área de estudio.

#### 4.7 Caracterización climática

La vertiente Caribe de la cordillera de Tilarán, donde se ubica en mayor parte la ruta estudiada presenta un clima tropical muy húmedo por la influencia dominante de los vientos alisios del Noreste que transportan la humedad oceánica y la depositan en toda la región Caribe, principalmente en la región de montaña, la cual cubre al menos el 50% de la zona.



Herrera (1985) distingue tres tipos diferentes de clima entre la llanura menos húmeda y las regiones de montaña más húmedas. Estos tres tipos de clima son:

- Húmedo – caliente, con un pequeño déficit de agua entre febrero y abril o a veces sin déficit (F–6). La precipitación promedio está comprendida entre 2800 y 3400 mm y la temperatura entre 22° y 26°C.
- Muy húmedo – caliente sin déficit de agua (G–2 y G–4), con precipitación entre 3400 y 5100 mm y temperatura entre 25° y 27°C.
- Excesivamente húmedo – templado (fresco) y sin déficit de agua (H–3). La precipitación es superior a los 5100 mm y la temperatura está comprendida entre 15° y 20°C.

Según los datos climatológicos desarrollados por PROIGE, 1999, el régimen de lluvias de la vertiente Caribe de la Cordillera de Tilarán presenta dos máximos y dos mínimos de lluvias. En general, se presenta un contraste entre una estación lluviosa de mayo a diciembre, con un leve descenso de la lluvia en septiembre u octubre y una estación menos lluviosa entre diciembre y abril, sin tener un mes ecológicamente seco.

En la mayor parte de la vertiente Caribe de la Cordillera de Tilarán, el mínimo de lluvias se ubica en el mes de marzo, con excepción de Santa Clara que se da en el mes de abril. Toda la zona presenta un primer máximo pluviométrico cerca de la mitad del año (julio o agosto), mientras que el segundo máximo se presenta en algunas zonas, predominantemente en noviembre. En algunos años, la disminución de lluvias en septiembre u octubre no se produce o se manifiesta muy levemente, lo que origina la fusión de los dos máximos.

Las zonas de llanura reciben menos lluvia que las regiones de montaña, aspecto ya reconocido en la clasificación climática de Herrera (1985), citada anteriormente. Las diferencias pluviométricas entre la llanura y la montaña se explican por las lluvias provocadas por efecto orográfico en la región de montaña. Esta precipitación se incrementa hacia las cuencas superiores de los ríos, donde predomina una topografía montañosa de fuertes pendientes.

Las zonas de montaña propician la precipitación con las condiciones topográficas que incluyen valles muy estrechos y de fuertes pendientes, por donde se canalizan los vientos alisios del noreste.



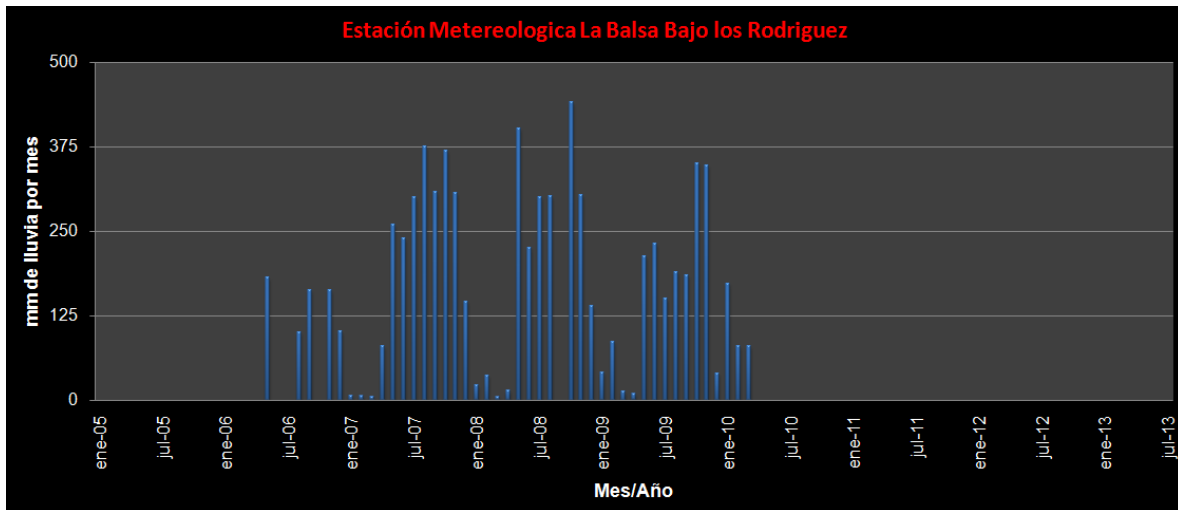
Desde la llanura usualmente se puede observar que la nubosidad de barlovento en la serranía comienza en forma aislada arriba de los 700 m s.n.m. y entre los 700 y 1500 m s.n.m. existe un piso de intensa nubosidad, particularmente al inicio de la mañana y al final de la tarde. El resto del día se mantiene despejado a causa del ascenso del aire caliente.

Durante el periodo de mayor influencia del viento alisio del noreste, que va de noviembre a final de febrero, se da una nubosidad casi permanente durante casi todo el día. Este piso de nubosidad es de gran importancia cuando se relaciona con la cobertura boscosa, ya que produce gran cantidad de agua por la condensación de las masas de aire húmedo al chocar con el estrato foliar y la gran cantidad de briófitos y musgos del bosque higrófilo.

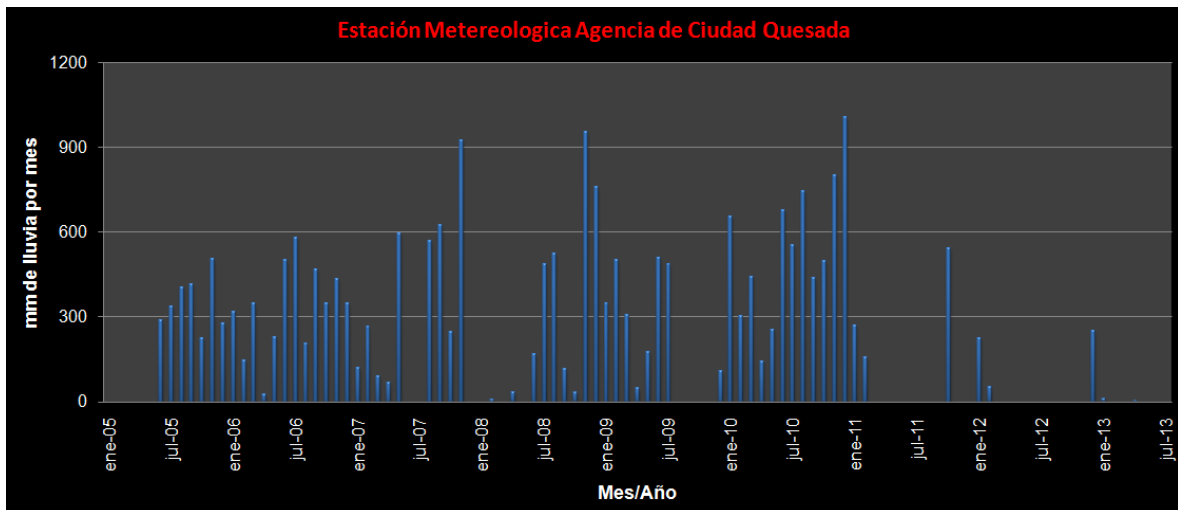
Arriba de los 1500 m s.n.m. hasta la cima se produce una concentración de nubes (estratos y cúmulos) producto de la ascendencia forzada de las masas del aire a lo largo de la montaña. Un gran número de días con lluvia y de cielo cubierto caracteriza esta región altitudinal.

En conclusión, la gran homogeneidad climática de esta vertiente como zona muy húmeda proviene sobre todo de las abundantes precipitaciones y de la ausencia de una estación seca definida. Las lluvias son provocadas principalmente por las masas de aire del noreste, pero el efecto orográfico es indispensable.

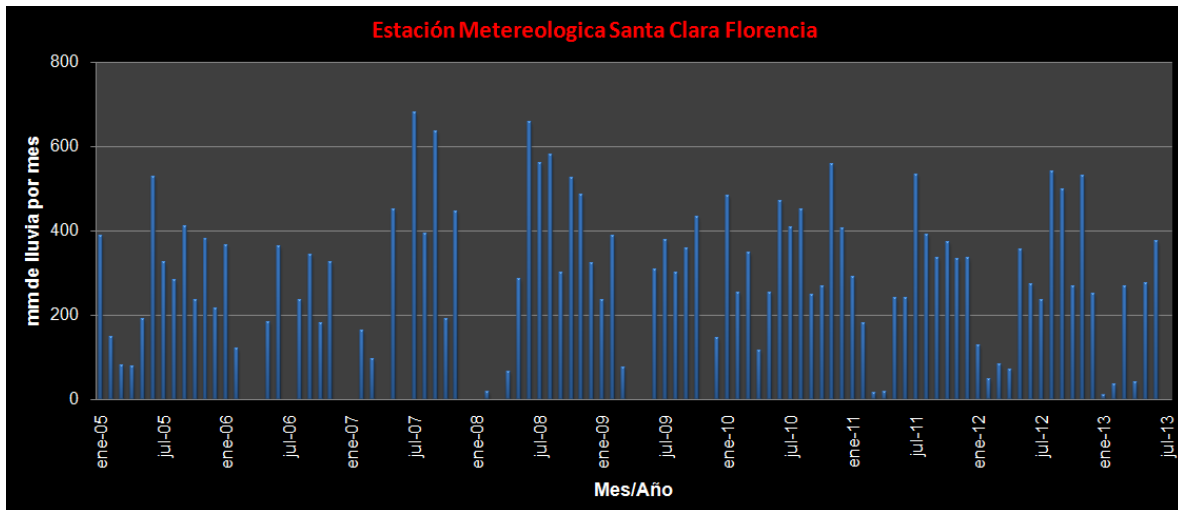
Las variaciones espaciales que se pueden reconocer tienen una explicación en función de en las condiciones locales del sitio y de relieve: condiciones de exposición y de abrigo. Sin embargo, las características generales de la región se mantienen: pluviosidad abundante y bien repartida.



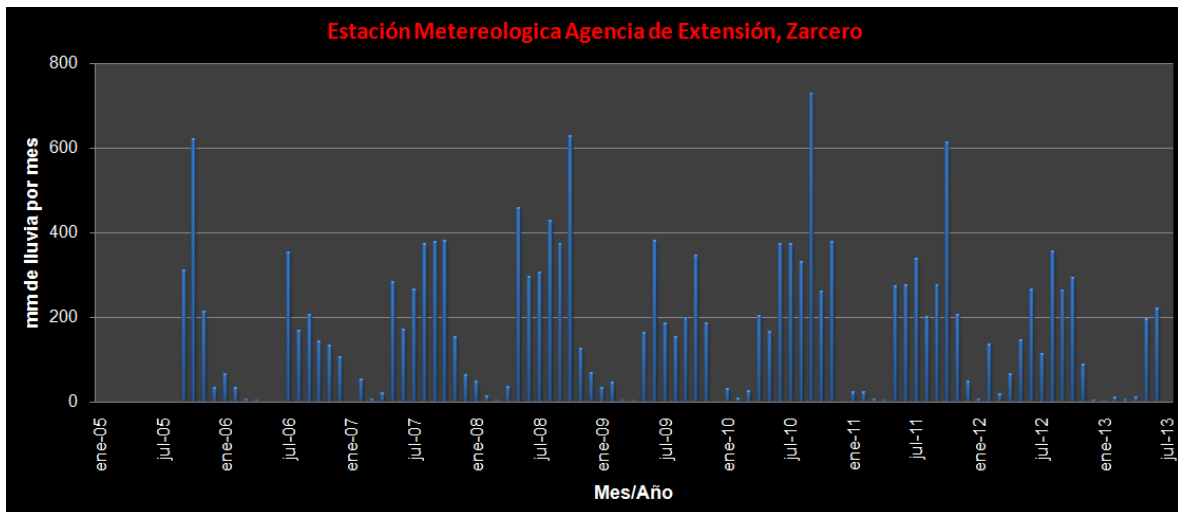
**Figura No.7** Datos de precipitación mensual de la estación meteorológica La Balsa Bajo los Rodríguez. Esta estación se encontraba ubicada hacia el Oeste de la Ruta Sifón La Abundancia.



**Figura No.8** Datos de precipitación mensual de la estación meteorológica Agencia de Ciudad Quesada. Esta estación se encuentra ubicada hacia el Noreste de la Ruta Sifón La Abundancia.



**Figura No.9** Datos de precipitación mensual de la estación meteorológica Santa Clara Florencia. Esta estación se encuentra ubicada hacia el Noroeste de la Ruta Sifón La Abundancia.



**Figura No.10** Datos de precipitación mensual de la estación meteorológica Extensión Zarcero. Esta estación se encuentra ubicada hacia el Este de la Ruta Sifón La Abundancia.

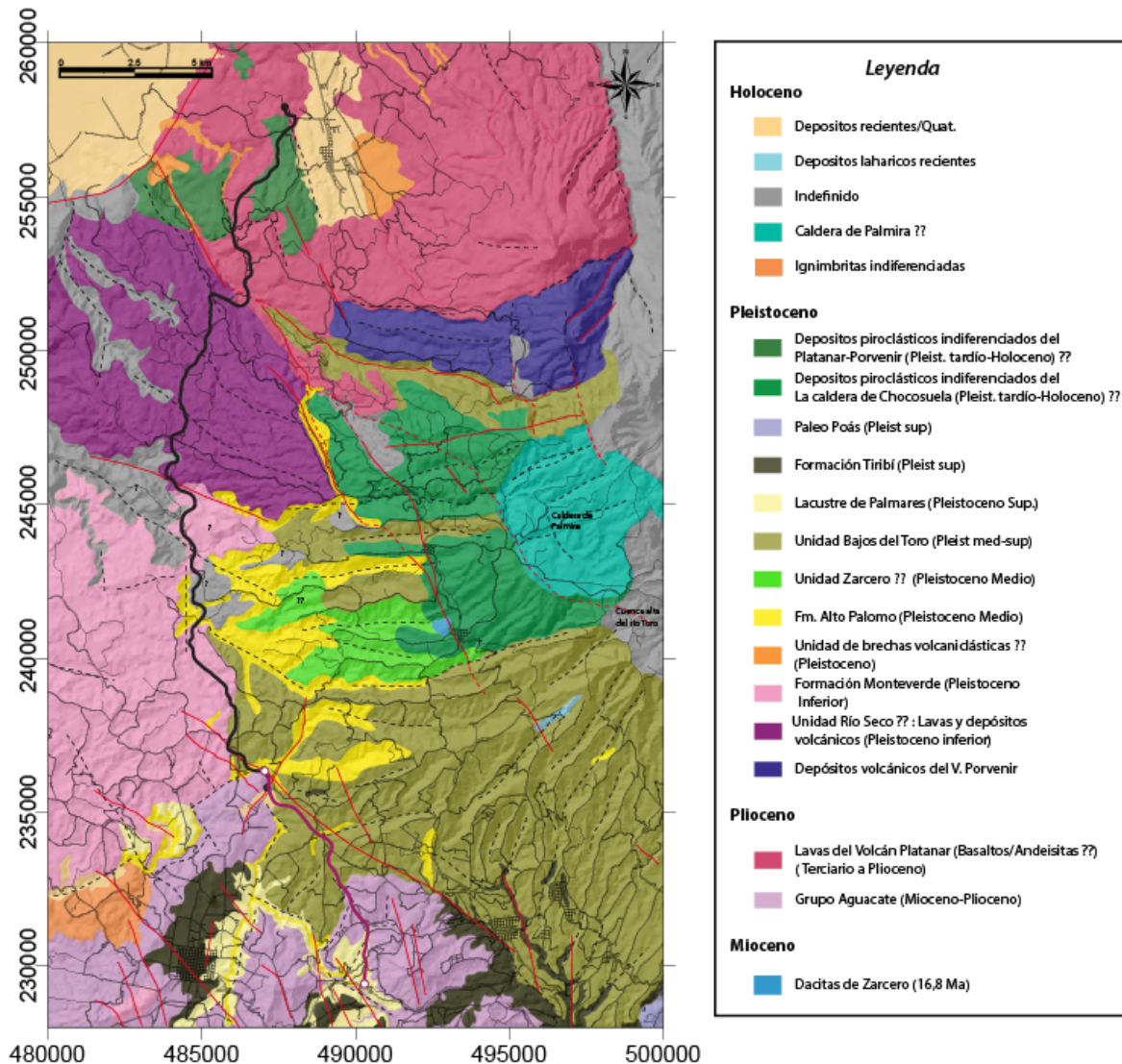
#### 4.8 Geología

Se ha trabajado en la generación de un nuevo mapa geológico general de la zona de estudio. Se incluye el posible trazado de la punta sur del proyecto y su relación con las formaciones geológicas de la zona. Este mapa es el resultado de trabajo de campo y compilación de otros trabajos anteriores y más recientes de otros autores. En este mapa



se muestran algunas de las estructuras tectónicas y alineamientos que fueron mencionadas anteriormente.

Los materiales que afloran en la zona de estudio son principalmente de origen volcánico y en menor cantidad depósitos recientes. Se incluyen principalmente ignimbritas soldadas y no soldadas, depósitos de flujos piroclásticos, depósitos de avalanchas volcánicas entre otros. De manera subordinada existen lavas y materiales de caída. A partir de estos materiales volcánicos se han desarrollado suelos regolitos, con espesores que en algunos casos superan el metro. Son de color rojizo y en algunos aun se observan residuos de los minerales originales. Estos suelos pueden absorber gran cantidad de agua, sin embargo al estar saturados su comportamiento varía y son más propensos a generar movimientos de masas. Los deslizamientos en la zona de estudio son frecuentes. En la siguiente sección se presenta una base de datos de deslizamientos realizada sobre las fotografías aéreas de los datos Lidar obtenidos en noviembre del año 2014.



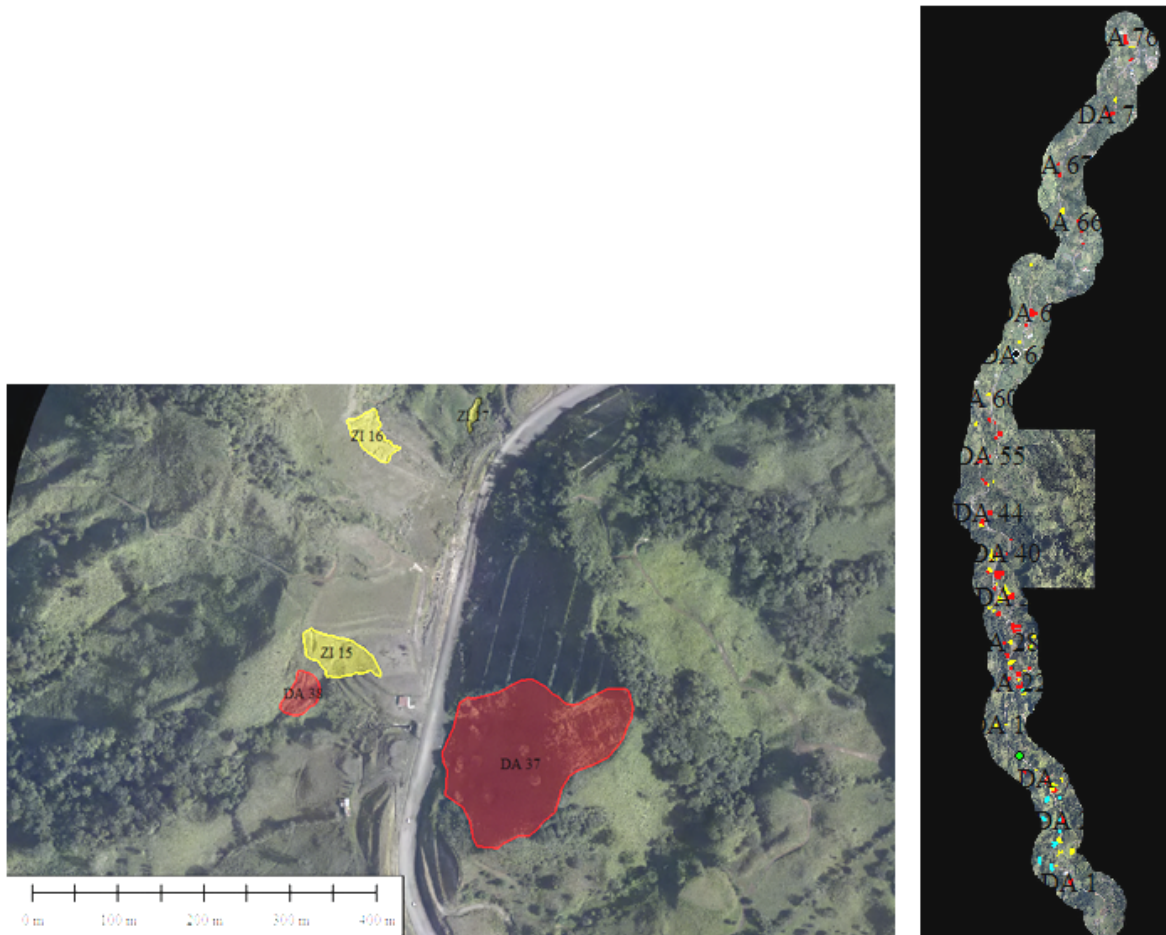
**Figura No.11** Mapa geológico (Preliminar) de la Ruta Sifón - La Abundancia y alrededores. La línea de color negro corresponde con el tramo del Proyecto Sifón - La Abundancia, mientras que la línea de color magenta, corresponde con el posible trazado de la Punta Sur del proyecto.

#### 4.9 Inventario de deslizamientos

- Se trabajó sobre las ortofotografías e información Lidar del proyecto en el tramo Sifón - La Abundancia.
- El inventario de deslizamientos que se observan en estas imágenes que fueron obtenidas en el año 2014, está completo e incluye 79 deslizamientos identificados, además 25 zonas de interés. Cada deslizamiento está clasificado según su

tipología, la unidad geológica en que ocurrieron, perímetro área, azimut de dirección, ángulo medio y % de inclinación máxima.

- Las zonas de interés corresponden, con sitios que muestran algún aspecto que indican inestabilidad en ese lugar. Estos aspectos pueden ser: grietas, reptación, árboles inclinado, estancamiento de agua entre otros.



**Figura No.12** Inventario de deslizamientos de la ruta Sifón - La Abundancia.

Se presenta a continuación la base de datos de los deslizamientos identificados mediante las imágenes Lidar.

**Tabla No.1** Base de datos de deslizamientos identificados en el proyecto sifón - La Abundancia. (Siguiete página).







#### **4.10 Información geológica para la punta sur del proyecto**

En trabajos de campo y de evaluación de aspectos geológicos que puedan generar problemas la red vial nacional, se han identificado deslizamientos en las rutas nacionales No. 1 y No. 148. Estos deslizamientos están asociados a los materiales de la unidad geológica llamada Lacustre Palmares. Según uno de los posibles trazados de la punta Sur de la Ruta Nacional No. 35 una sección, podría ser construida sobre esos materiales, por lo que aquí mostramos algunos aspectos que se deberían de considerar y enfocar más estudios detallados de los materiales que afloran en ese sitio.

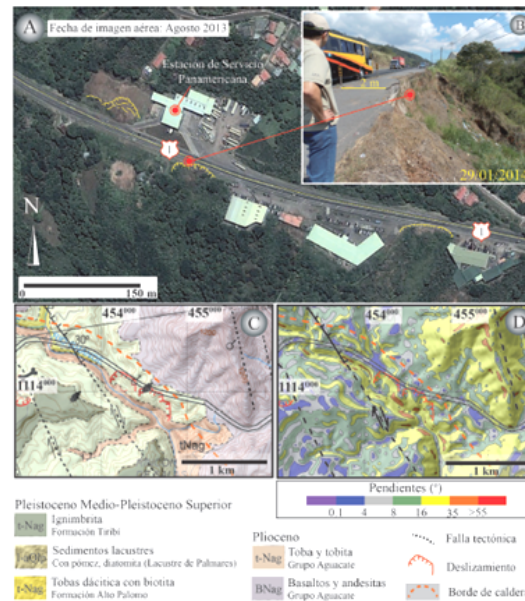
##### **Susceptibilidad litológica de la Unidad Lacustre Palmares**

La Unidad Lacustre Palmares, está constituida por sedimentos finos, laminados que presentan un color blancuzco, con presencia de pómez de color café y/o diatomitas. Tiene un espesor observado de hasta 8 m y en ella se han encontrado improntas de plantas así como restos óseos de vertebrados (Huapaya y Rojas 2012). En algunos cortes de carretera de la Ruta Nacional No. 1 y en rellenos de la Ruta Nacional No. 148, hemos identificado deslizamientos que ocurren en los materiales de esta unidad.

Debido a la recurrencia de presentar deslizamientos, se apunta a que los taludes tengan una susceptibilidad litológica alta a generar nuevos eventos disparados por exceso de lluvias o eventos sísmicos y que puedan afectar la sección de la Ruta Nacional No. 35. En la Figura 13, se presenta uno de los deslizamientos estudiados en la Ruta Nacional No. 1 cerca de la estación de servicio La Panamericana.

**Carretera conectará Sifón con Naranjo**

La sección sur de la nueva vía San Carlos tendrá cuatro carriles, dos en cada sentido, y estará diseñada para una velocidad de 80 kilómetros por hora.



**Figura No.13** Deslizamientos asociados a la unidad litológica Lacustre Palmares sobre la Ruta 1.

En la Ruta Nacional No. 148, en el estacionamiento 5+925 se estudió un deslizamiento asociado a la litología Lacustre Palmares. Esta ruta es una posible ruta alterna para seguir permitiendo el tránsito entre Palmares y Naranjo. Se trata de una zona donde ha ocurrido un deslizamiento relativamente pequeño (15 m de longitud) en lado derecho de la vía en dirección hacia Palmares, con una altura que no supera los 5 m y pendientes de entre 16 y 35°. Este evento, ha afectado el talud inferior de la vía con efectos negativos en la capa asfáltica también. Actualmente se ha depositado material de relleno de los escombros en el sitio, lo cual ha afectado aun más la zona.

En este sitio, aflora material de la Unidad Lacustre Palmares (misma litología de los puntos 2 y 3 en la figura 14). Esto demuestra que la susceptibilidad litológica de esta unidad para generar deslizamientos es muy alta y se deberán tomar todas las precauciones necesarias cuando la ampliación de la Ruta Nacional No. 1 y si la punta sur de la Ruta Nacional No. 35 pasa por tramos donde aflora esta unidad.



**Figura No.14** Se muestra la relación del deslizamiento del punto 5, con la unidad de Sedimentos Lacustres Palmares. Una fotografía aérea donde se muestra la ubicación de la corona del deslizamiento con respecto a la carretera y tres fotografías tomadas en el sitio, donde se muestra la afectación en la capa asfáltica y como actualmente se están depositando clandestinamente escombros y material en la zona del deslizamiento, generando un problema mayor.

#### 4.11 Identificación de hidrotermalismo y Drenaje Ácido de Roca (DAR)

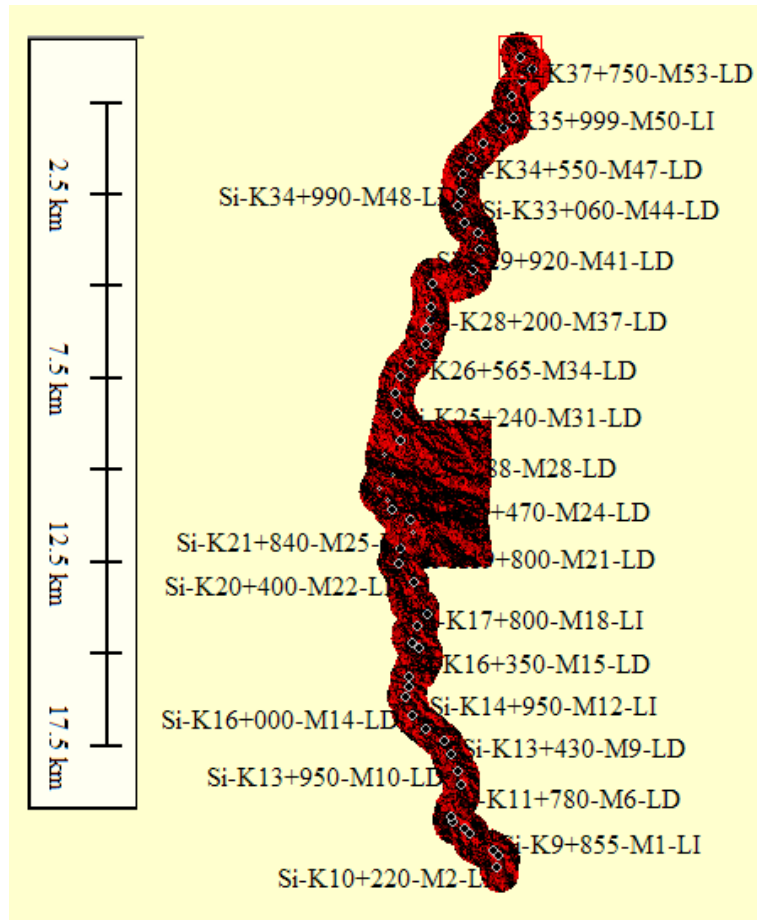
Para completar este objetivo se realizaron las siguientes actividades:

- Tres giras de campo en los meses de enero y febrero del 2016.
- Muestreo y caracterización de 57 puntos a lo largo de toda la ruta.
- Análisis de pH en pasta en laboratorio de geoquímica aplicada de la ECG.



- Interpretación de la información generada en las giras y en el laboratorio.

El muestreo se realizó a lo largo de la ruta, se trato de tomar al menos una muestra cada 500 metros. Cada sitio de muestreo fue identificado con un GPS de precisión, se tomaron fotografías y se realizó una descripción del sitio. En la siguiente figura se muestra un mapa de la ruta con la ubicación de las muestras.



**Figura No.15** Nomenclatura y localización de las muestras obtenidas para análisis de pH en pasta y determinación de procesos de Drenaje Ácido de Roca.

Los análisis de las muestras se realizaron en el laboratorio de geoquímica de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica, mediante la técnica de pH en pasta. La metodología en detalle se puede encontrar en Ruiz et al 2015.



**Figura No.16** Trabajo en laboratorio de geoquímica de la Escuela Centroamérica de Geología de la Universidad de Costa Rica, con las muestras recolectadas en los taludes de la Ruta Nacional No. 35.

En la siguiente tabla se muestran algunos de los resultados obtenidos.

**Tabla No.2** Base de datos de análisis de pH a los suelos de los taludes de la ruta Sifón - La Abundancia para determinar la ocurrencia o no de drenaje ácido de roca.

| Código de campo de muestra | Código de Muestra ECG | Coordenadas CRTM05      |                        | Muestras en Geoquímica tamizadas | Nuevo (con triplicado) |             | Observaciones            | Viejo (febrero) |               |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------|--------------------------|-----------------|---------------|
|                            |                       | Coordenadas [Norte (m)] | Coordenadas [Este (m)] |                                  | pH                     | Temperatura |                          | pH              | Temperatura   |
| Si-K9+855-M1-LI            | M1                    | 1121237.21              | 450770.63              | x                                | 4.61                   | 26.3        | Alto contenido de arcil  | 4.540           |               |
| Si-K10+220-M2-LI           | M2                    | 1121559.94              | 450822.16              | x                                | 4.8                    |             |                          |                 |               |
| Si-K10+440-M3-LD           | M3                    | 1121722.53              | 450675.77              | x                                | 4.49                   | 26.6        |                          | 4.770           | 25.160        |
| Si-K11+340-M4-LD           | M04                   | 1122187.67              | 450020.63              | x                                |                        |             |                          | 4.890           | 25.500        |
| Si-K11+530-M5-LD           | M05                   | 1122311.27              | 449888.76              | x                                |                        |             |                          | 4.857           | 26.033        |
| Si-K11+780-M6-LD           | M6                    | 1122488.35              | 449557.08              | x                                | 4.52*                  | 26.5        | Se utilizo 25 ml de agua |                 |               |
| Si-K12+100-M7-LI           | M07                   | 1122655.03              | 449538.17              | x                                |                        |             |                          | 4.57            | 22.000        |
| Si-K13+020-M8-LI           | M08                   | 1123507.03              | 449781.28              | x                                | 4.7*                   | 25.3        | Se utilizo 25 ml de agu  | 4.290           | * de otro pHn |
| Si-K13+430-M9-LD           | M9                    | 1123886.90              | 449683.39              |                                  |                        |             |                          |                 |               |
| K13+810-ALTER              |                       | 1124222.13              | 449561.83              |                                  |                        |             |                          |                 |               |
| Si-K13+950-M10-LD          | M10                   | 1124340.22              | 449503.89              | x                                | 5.09                   | 25.6        |                          |                 |               |
| Si-K14+340-M11-LD          | M11                   | 1124676.35              | 449314.90              | x                                | 4.86                   | 26.9        |                          |                 |               |
| Si-K14+950-M12-LI          | M12                   | 1125035.33              | 448846.41              | x                                |                        |             |                          |                 |               |
| Si-K15+430-M13-LD          | M13                   | 1125374.42              | 448480.15              | x                                | 4.34*                  |             | Se utilizo 35 ml de agua |                 |               |
| Si-K16+000-M14-LD          | M14                   | 1125888.03              | 448304.07              | x                                |                        |             |                          | 4.240           |               |
| Si-K16+350-M15-LD          | M15                   | 1126184.76              | 448389.12              | x                                | 5.66                   | 21.9        |                          | 5.400           |               |
| Si-K16+550-M16-LI          | M16                   | 1126429.35              | 448389.95              | x                                |                        |             |                          | 6.200           |               |
| Si-K17+580-M17-LD          | M17                   | 1127215.92              | 448653.66              | x (hay 2)                        | 4.89                   | 24.9        |                          | 4.96            | 25.1          |
| Si-K17+800-M18-LI          | M18                   | 1127357.59              | 448466.98              | x                                | 6.56                   |             | Alto contenido de raice  | 6.500           |               |
| -                          |                       | 1127617.31              | 448447.44              |                                  |                        |             |                          |                 |               |
| Si-K18+350-M19-LD          | M19                   | 1127831.30              | 448626.83              | x                                | 5.17                   | 27.2        |                          | 5.228           |               |
| Si-K18+740-M20-LD          | M20                   | 1128153.17              | 448880.77              | x                                | 7.56                   | 23.2        | Presenta poca magnet     |                 |               |
| Si-K19+800-M21-LD          | M21                   | 1129010.68              | 448517.68              | x                                | 6.96                   | 25          |                          | 6.735           |               |
| Si-K20+400-M22-LI          | M22                   | 1129494.05              | 448080.13              | x                                | 5.25                   | 23.3        |                          | 5.07            |               |
| Si-K20+900-M23-LD          | M23                   | 1129942.44              | 448129.70              | x                                |                        |             |                          | 7.13            |               |
| Si-K21+470-M24-LD          | M24                   | 1130361.98              | 448481.24              | x                                |                        |             |                          |                 |               |
| Si-K21+840-M25-LI          | M25                   | 1130681.49              | 448406.49              | x                                | 7.19                   | 25.7        | Alto contenido de raice  | 7.16            |               |
| Si-K22+500-M26-LD          | M26                   | 1130993.67              | 447915.03              | x                                |                        |             |                          |                 |               |
| Si-K22+820-M27-LD          | M27                   | 1131271.88              | 447770.88              | x                                |                        |             |                          | 7.05            | 26            |
| Si-K23+288-M28-LD          | M28                   | 1131581.75              | 447569.62              | x                                |                        |             |                          |                 |               |
| Si-K23+950-M29-LD          | M29                   | 1131945.21              | 447939.09              |                                  |                        |             |                          |                 |               |
| Si-K24+620-M30-LI          | M30                   | 1132504.21              | 447709.03              |                                  |                        |             |                          |                 |               |
| Si-K25+240-M31-LD          | M31                   | 1132879.98              | 448128.35              |                                  |                        |             |                          |                 |               |
| Si-K25+820-M32-LD          | M32                   | 1133428.45              | 448155.40              | x                                |                        |             |                          | 4.34            | 25.86         |
| Si-K26+020-M33-LD          | M33                   | 1133608.03              | 448066.49              |                                  |                        |             |                          |                 |               |



De estos resultados se derivan las siguientes observaciones:

- En la ruta existen algunos taludes en donde los materiales que los conforman presentan características típicas de alteración hidrotermal. Esto significa que presentan materiales con una respuesta mineralógica, textural y química a un cambio ambiental, en términos químicos y termales en presencia de agua caliente, vapor o gas.
- Dentro de los materiales que están afectado por alteración hidrotermal no se encontraron minerales como pirita u otros sulfuros que puedan generar Drenaje ácido de roca.
- Los resultados de pH en pasta no han mostrado zonas de acidez fuerte (datos de pH inferior a 5.5) y que estén relacionadas con zonas de alteración hidrotermal.
- Los taludes que se han revegetado naturalmente presentan una acidez más baja que los taludes en los que la vegetación aún no se ha regenerado sin ayuda de procesos antrópicos.

#### 4.13 Aplicación de método HSQI a la Ruta

Esta metodología fue propuesta y evaluada por Moreno-Ceballos (2015) en la carretera de Las Palmas cerca de Medellín usando curvas de nivel cada 2m, para esto siguió paso a paso la metodología explicada más adelante, los resultados fueron prometedores pues se cumplió con los criterios probabilísticos propuestos. De la misma manera Moreno-Ceballos(2015) aplica el método HSQI en la Carretera Nacional 25 de Colombia en el sector de La Pintada-La Felisa, continuando con el proceso metódico característico del HSQI logra determinar las susceptibilidades de distintos tramos de la carretera las cuales son verificadas comparando con la realidad actual de cada talud en el campo.

Ocampo (2016), aplica y evalúa el método HSQI en la ruta Sifón-La Abundancia(Alajuela, Costa Rica) usando información Lidar, sus resultados muestran que el método HSQI puede predecir la estabilidad de taludes de acuerdo con los parámetros geológicos, geomorfológicos y geométricos introducidos.

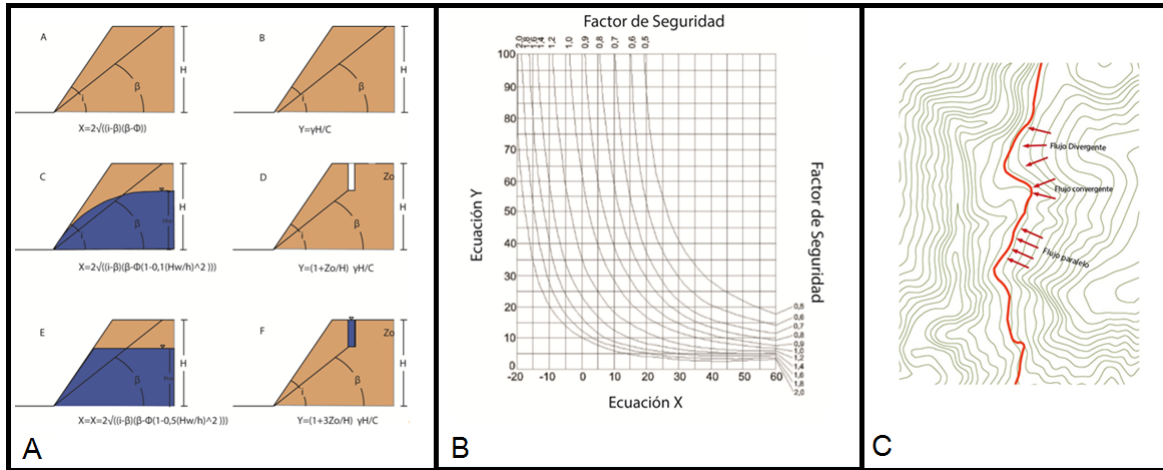


El método Hill-Slope Quality Index es una metodología para ser usada en la etapa de diseño de una carretera, permite dividir la longitud total en tramos de acuerdo a la calidad geotécnica que experimentaran en la fase de construcción (Moreno-Ceballos, 2015), usa como base las ecuaciones y metodología propuestas por la Escuela Nacional Superior de Ingeniería de Nancy, Francia (Sánchez, 1989), en lugar del factor de seguridad propone un concepto de índice de calidad de pendiente HSQI como indicativo de la susceptibilidad de las pendientes a los deslizamientos causados por un la construcción de una carretera.

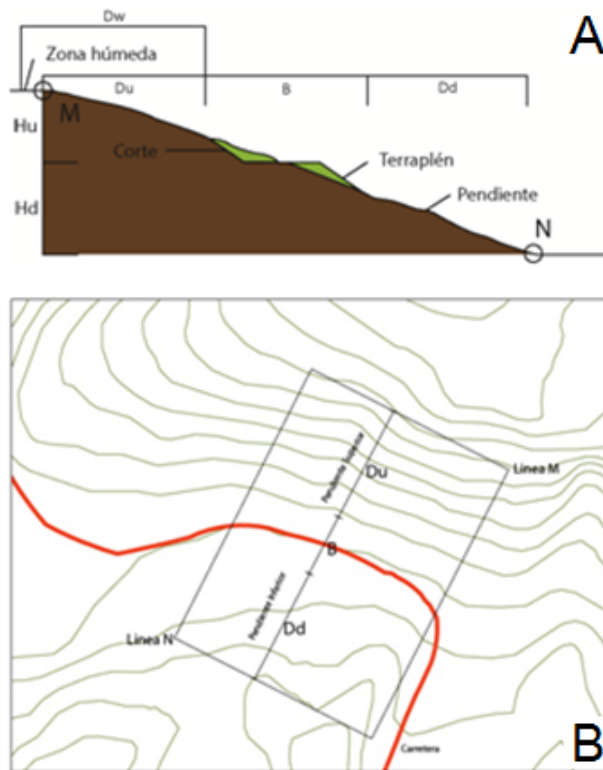
El método necesita de los parámetros de altura de la pendiente ( $H$ ), inclinación de la pendiente ( $i$ ), cohesión ( $c'$ ), ángulo de fricción ( $\phi'$ ), peso específico ( $\gamma$ ), altura máxima o estabilizada del nivel freático ( $H_w$ ), la profundidad de las fracturas ( $Z_o$ ) y el ángulo de inclinación de la familia principal de discontinuidades ( $\beta$ ). Para clasificar el deslizamiento como circular o planar se debe realizar un análisis de la geología de las pendientes. En general las rupturas circulares aparecen en rocas muy meteorizadas o en suelos mientras que las rupturas planares son típicas de macizos rocosos poco meteorizados y cuando la ruptura es controlada por las fracturas del macizo (Moreno-Ceballos, 2015). Una vez definido el tipo de deslizamiento dos valores  $X$  y  $Y$  son obtenidos a partir de 6 posibles ecuaciones (ver Figura 17) las ecuaciones A, C, E corresponden al valor  $X$ , las ecuaciones B, D, F al valor  $Y$ , la ecuación elegida para el valor  $X$  depende de la fricción presente en el talud mientras que aquella que se elija para  $Y$  depende de la cohesión del material. Una vez obtenidos estos valores se introducen en un gráfico biaxial (ver Figura 17) (Moreno-Ceballos, 2015)

Para analizar el agua superficial se relaciona las curvas de nivel de la pendiente con la carretera, de ser las curvas convexas hacia la carretera se definirá un flujo divergente de agua, al ser cóncavas hacia la carretera un flujo convergente debe ser definido y de ser las 12 curvas paralelas en relación con el eje de la carretera se asumirá un flujo paralelo (Moreno-Ceballos, 2015) (ver Figura 17).





**Figura No.17** A) Ecuaciones definidas por la Escuela de Nancy (Francia) para el análisis de un deslizamiento planar. B) Carta para el cálculo del factor de seguridad en un deslizamiento circular según la Escuela de Nancy. C) Definición de las condiciones de flujo según la morfología y su relación con la carretera.



**Figura No.18** A) Vista de perfil de las distancias a ser consideradas al definir un área de estudio. B) Vista en planta de las distancias a ser consideradas para definir el área de estudio.



Tabla No.3 Intervalos y clasificación del HSQI, tomado de Ceballos (2015).

| Valor HSQI         | Clasificación de Susceptibilidad |
|--------------------|----------------------------------|
| $HSQI \leq 1,0$    | Alta                             |
| $1,0 < HSQI < 1,4$ | Media                            |
| $HSQI > 1,4$       | Baja                             |

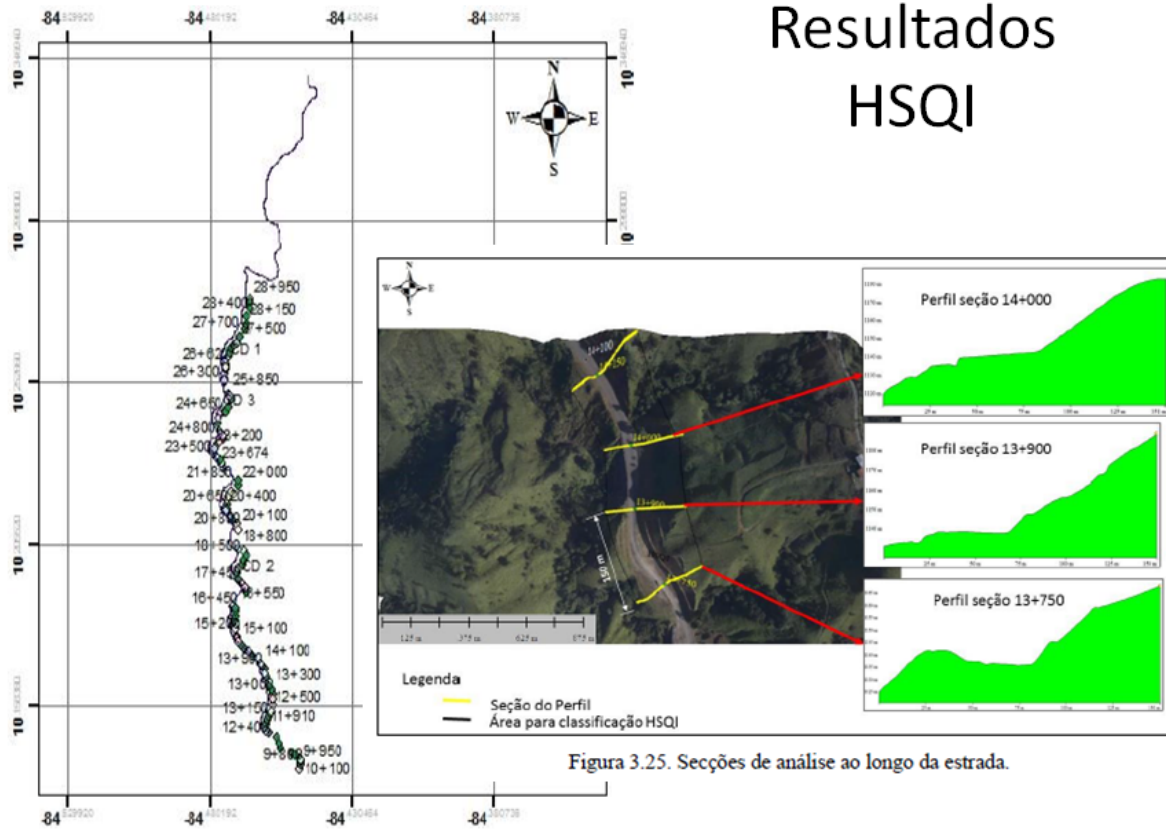
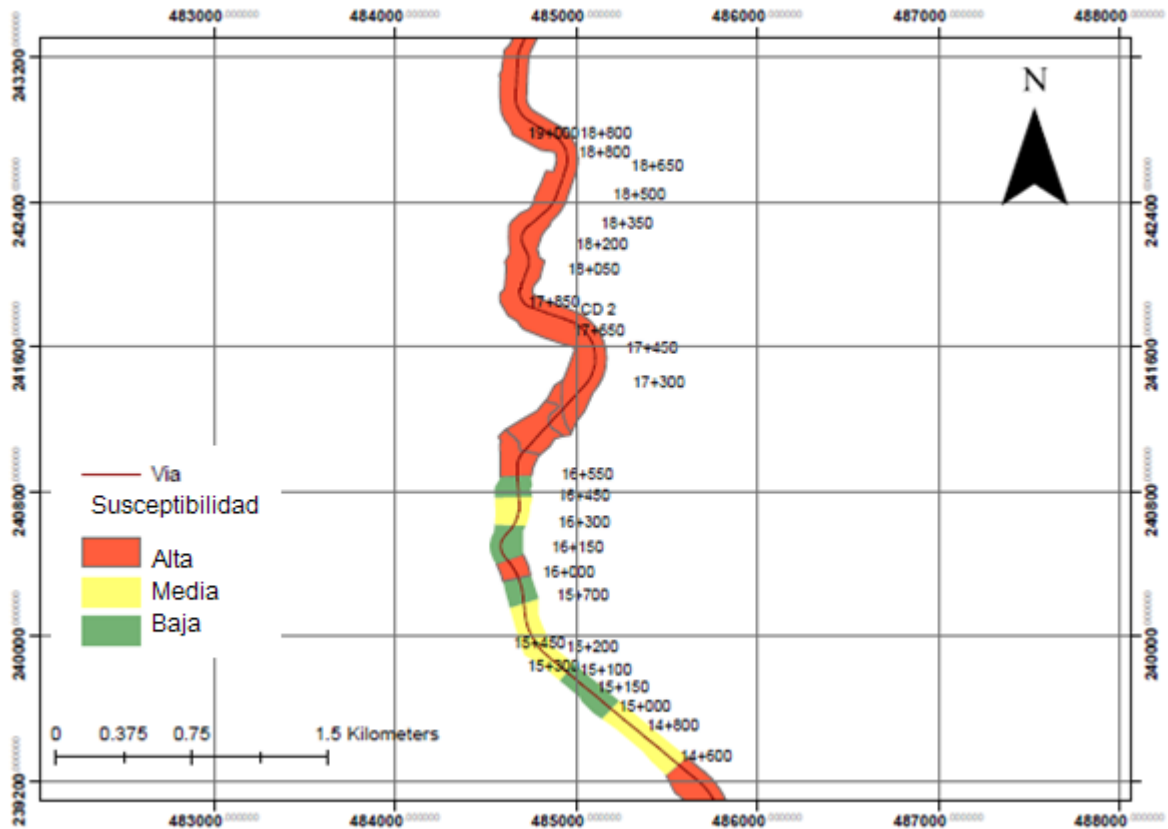


Figura No.19 Ejemplo de aplicación de metodología HSQI en varios de los taludes de la ruta Sifón - La Abundancia.



**Tabla No.4** Base de datos a partir del análisis HSQI de la Ruta Sifón - La Abundancia.

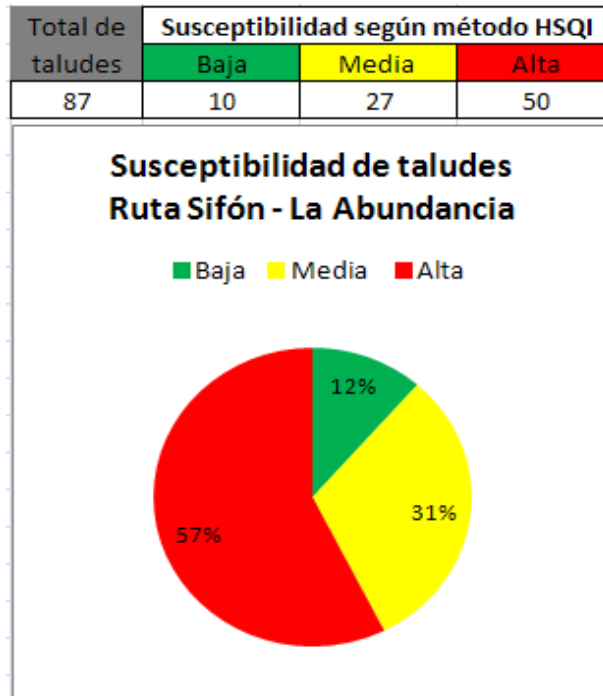
| SISTEMA HSQI |    |    |      |    |       |         |                               |         |            |          |          |     |     |      |                 |
|--------------|----|----|------|----|-------|---------|-------------------------------|---------|------------|----------|----------|-----|-----|------|-----------------|
| Estaca       | Hu | Hd | Hw   | Zo | i (°) | $\beta$ | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | c (kPa) | $\phi$ (°) | Geología | Ecuación | X   | Y   | HSQI | Susceptibilidad |
| 9+800        | 28 |    |      |    | 30    |         | 16.21                         | 3.07    | 33         | QRVA     | A,B      | -10 | 100 | 1.16 | MEDIA           |
| 9+950        | 25 |    |      |    | 15    |         | 16.21                         | 3.07    | 33         | QRVA     | A,B      | -25 | 100 | 2.00 | BAJA            |
| 10+100       | 38 |    |      |    | 30    |         | 16.21                         | 3.07    | 33         | QRVA     | A,B      | -10 | 100 | 1.16 | MEDIA           |
| 10+250       | 35 |    |      |    | 40    |         | 16.21                         | 3.07    | 33         | QRVA     | A,B      | 0   | 100 | 0.88 | ALTA            |
| 10+420       | 40 |    |      |    | 40    |         | 16.21                         | 3.07    | 33         | QRVA     | A,B      | 0   | 100 | 0.88 | ALTA            |
| 10+550       | 22 |    | 13.2 |    | 24    |         | 16.21                         | 3.07    | 33         | QRVA     | C,B      | -10 | 100 | 1.16 | MEDIA           |
| 11+050       | 8  |    |      |    | 40    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | A,B      | 2   | 17  | 1.47 | BAJA            |
| 11+450       | 14 |    |      |    | 40    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | A,B      | 2   | 30  | 1.18 | MEDIA           |
| 11+750       | 9  |    | 5.4  | 5  | 45    |         | 16.21                         | 3.07    | 33         | QRVA     | E,F      | 15  | 100 | 0.56 | ALTA            |
| 11+900       | 18 | 23 |      |    | 50    |         | 16.21                         | 3.07    | 33         | QRVA     | A,B      | 10  | 95  | 0.67 | ALTA            |
| 12+050       | 15 |    |      |    | 40    |         | 16.21                         | 3.07    | 33         | QRVA     | A,B      | 0   | 79  | 0.91 | ALTA            |
| 12+250       | 19 |    |      |    | 34    |         | 16.21                         | 3.07    | 33         | QRVA     | A,B      | -6  | 100 | 1.02 | MEDIA           |
| 12+350       | 5  |    |      |    | 15    |         | 16.21                         | 3.07    | 33         | QRVA     | A,B      | -25 | 26  | 2.00 | BAJA            |
| 12+400       | 15 |    | 9    |    | 20    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | E,B      | -9  | 33  | 1.58 | BAJA            |
| 12+500       | 25 |    | 15   |    | 20    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | E,B      | -9  | 54  | 1.34 | MEDIA           |
| 12+700       | 20 | 17 |      |    | 40    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | A,B      | 2   | 43  | 1.02 | MEDIA           |
| 13+000       | 31 |    |      | 5  | 40    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | AD       | 2   | 100 | 0.84 | ALTA            |
| 13+150       | 19 | 8  |      |    | 27    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | A,B      | -11 | 41  | 1.59 | BAJA            |
| 13+300       | 9  |    | 5.4  |    | 53    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | E,B      | 25  | 20  | 0.99 | MEDIA           |
| 13+450       | 8  |    |      |    | 45    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | A,B      | 7   | 17  | 1.30 | MEDIA           |
| 13+750       | 24 |    |      |    | 45    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | A,B      | 7   | 52  | 0.87 | ALTA            |
| 13+900       | 50 |    |      |    | 42    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | A,B      | 4   | 100 | 0.80 | ALTA            |
| 14+000       | 38 |    |      |    | 36    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | A,B      | -2  | 83  | 0.95 | ALTA            |
| 14+150       | 43 |    | 25.8 | 5  | 50    |         | 16.38                         | 7.53    | 32         | TMPV1    | E,D      | 22  | 100 | 0.50 | ALTA            |



**Figura No.20** Resultados gráficos del análisis realizado con la metodología HSQI, en un tramo de la Ruta Sifón - La Abundancia.

Del análisis realizado con la metodología HSQI se pueden obtener los siguientes resultados:

- Se analizaron 87 taludes
- 12 % resultó con susceptibilidad baja
- 31 % resultó con susceptibilidad media
- 57 % resultó con susceptibilidad alta



**Figura No.21** Resultados del análisis de susceptibilidad por el método HSQI.

Los resultados completos obtenidos con esta metodología se pueden consultar en Ocampo 2015.



## 5. INVENTARIO DE ACTIVOS GEOTÉCNICOS TRAMO SIFÓN – LA ABUNDANCIA

Actualmente se trabaja en el levantamiento del inventario de activos geotécnicos de este tramo de carretera. Luego de evaluar la información disponible sobre el proyecto se optó por dar inicio con el inventario de las escombreras.

### 5.1 Escombreras

Según indica el Ing. Raúl Alberto Actis, consultor internacional en estos temas, en su libro *Escombreras, ubicación, estabilidad y contaminación ambiental*, las escombreras pueden ser definidas de la siguiente forma: “Las escombreras o botaderos son lugares donde se depositan materiales de desecho provenientes de las industrias mineras, manufactureras, de la construcción o de actividades diversas.” (Actis, 2009).

En el caso de los desechos generados por la construcción de una carretera, las escombreras son rellenos artificiales que permiten la disposición final de los materiales como suelos o rocas sobrantes del movimiento de tierras, así como escombros producto de la remoción de estructuras.

En el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de este proyecto, realizado en el año 2004 por la empresa Siel – Siel S.A., se identificó el “Aumento de sedimentos y turbidez en los cauces” como uno de los impactos asociados a la construcción de la carretera, así mismo indica como medida ambiental correspondiente la “Aplicación de técnicas de control de erosión y otras como pozas de sedimentación y construcción de barreras de retención de sedimentos”.

En la sección 11.4 se indican las siguientes medidas mínimas que deberá implementar La Contratista, para reducir el impacto generado por la erosión y la sedimentación:

- Instalar vallas de sedimentos, a fin de capturarlos antes de que dejen el área de trabajo, y en particular, previo a que alcancen cuerpos de agua cercanos. Estas pueden constituirse con estructura metálica y geotextiles, u otros medios filtrantes.
- Abrir canales temporales corta corrientes, de modo que se disminuya la velocidad y capacidad de arrase del flujo de escorrentía. El agua captada debe ser dirigida a un cuerpo receptor, previo paso por algún sistema de retención de sedimentos.



- Construir trampas de sedimentos, tales como pozas o lagunas: éstas generalmente se realizan excavando en depresiones naturales o creando pequeñas presas.
- Sembrar vegetación en las áreas descubiertas.

Posteriormente, en el mismo EIA (sección 11.11), se indican las condiciones que deben cumplir los sitios de botadero o escombreras:

- Evitar afectación de masas boscosas o la afectación de cuerpos de agua.
- Ser estables (que no evidencien cicatrices activas de deslizamiento, u otros procesos erosivos significativos).
- Los rellenos deberán hacerse de forma ordenada, y deberán ser compactados en forma tal que se asegure su estabilidad; deberán también estar provistos del suficiente drenaje para evitar empozamientos.
- En todos los casos la cobertura vegetal deberá evitar procesos erosivos posteriores.

Estas mismas indicaciones están contenidas en el Plan de Gestión Ambiental (sección 12.1) del EIA.

Adicionalmente, en el Plan de Monitoreo (sección 12.2.3 Sedimentos) se establecen las siguientes disposiciones:

- Realizar mediciones, periódicas y comparativas en la calidad de las aguas de los ríos en que se estén construyendo algún puente o cerca de los que se esté realizando otras actividades con elevado potencial de generar sedimentos, con la finalidad de evaluar la cantidad de sedimentos que se generan por las actividades de construcción.
- Realizar mediciones de sedimentos aguas arriba de la obra y aguas abajo (aproximadamente a 100 m), con el fin de obtener una base comparativa.
- Elaborar recomendaciones para la minimización de este impacto, en caso de ser necesario.
- Persona responsable: Ingeniero residente y la Regencia Ambiental.



### 5.1.1 Criterios de evaluación

Para evaluar de forma sistemática la condición de las escombreras, y determinar el cumplimiento de las medidas de mitigación establecidas en el EIA, fue necesario establecer criterios de evaluación visual para precisar la condición de estas obras.

Se consultaron fuentes bibliográficas como el manual “Escombreras, ubicación, estabilidad y contaminación ambiental” editado por la Fundación EMPREMIN de Argentina en el año 2009, la “Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción” de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) del año 2011, el “Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010” del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica y el “Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica”, de la Asociación Costarricense de Geotecnia (2015).

El análisis de los principios y las recomendaciones descritas en esos documentos, así como el criterio profesional de los evaluadores involucrados, permitió establecer las siguientes definiciones para la evaluación visual de la condición de los elementos que componen una escombrera.

#### Tipo de cobertura

Tabla No.5 Elemento: Vegetación

| Condición  | Descripción                                                                                                                                                                                                                |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Excelente  | La vegetación cubre por completo la superficie, la densidad de la vegetación dificulta observar la superficie de la escombrera, se han establecido al menos tres tipos de vegetación, no hay erosión                       |
| Buena      | La vegetación cubre la mayor parte de la superficie, en algunos sectores se observa sin dificultad la superficie de la escombrera, crece solo uno o dos tipos de vegetación, no hay erosión                                |
| EleRegular | Se observan claros en los cuales la densidad de la vegetación permite observar sin dificultad la superficie de la escombrera, crece solo uno o dos tipos de vegetación, se observa al menos un tipo de erosión             |
| Mala       | La densidad de la vegetación es muy baja, las plantas crecen aisladas y se observan zonas sin vegetación, la vegetación no crece de forma homogénea, crece solo un tipo de vegetación, se observan varios tipos de erosión |





**Tabla No.6** Elemento: Manto de control de erosión

| Condición | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Excelente | El manto utilizado es un manto diseñado para control de erosión, se encuentra completamente en contacto con la superficie de la escombrera mediante pines, cuenta con zanja de anclaje en la parte superior y al pie, no se observa erosión ni deslizamientos por debajo del manto, no presenta roturas y la vegetación crece densamente a través del manto en toda la superficie cubierta                                                                            |
| Buena     | El manto utilizado es un manto diseñado para control de erosión, se encuentra completamente en contacto con la superficie de la escombrera mediante pines, cuenta con zanja de anclaje en la parte superior y al pie, no se observan deslizamientos por debajo del manto, se observa erosión leve por debajo del manto, no presenta roturas y la vegetación crece únicamente por sectores a través del manto                                                          |
| Regular   | El manto utilizado es un manto diseñado para control de erosión, algunos sectores no están en contacto con la superficie de la escombrera, se observan pocos pines para la fijación del manto al talud, no cuenta con zanja de anclaje en la parte superior ni al pie, no se observan deslizamientos por debajo del manto, se observa erosión leve por debajo del manto, presenta roturas en algunos sectores y la vegetación crece en pocas zonas a través del manto |
| Mala      | El manto colocado no es un manto diseñado para control de erosión, está en contacto con la escombrera en muy pocos sectores, no cuenta con zanja de anclaje en la parte superior ni al pie, se observan deslizamientos y erosión severa por debajo de la superficie del manto, presenta roturas en muchos sectores y la vegetación no crece a través del manto                                                                                                        |

**Tabla No.7** Elemento: Suelo o escombros expuestos

| Condición | Descripción                                                                                                                                                                          |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Excelente | El suelo o los escombros se encuentran expuestos pero no presentan evidencia de erosión en toda el área, la consistencia del suelo es compacta, sin materiales sueltos ni socavación |
| Buena     | El suelo o los escombros se encuentran expuestos, presenta evidencia                                                                                                                 |



|         |                                                                                                                                                                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | de erosión laminar en menos de un tercio del área, la consistencia del suelo es compacta, sin materiales sueltos ni socavación                                                                          |
| Regular | El suelo o los escombros se encuentran expuestos, presenta evidencia de erosión laminar y surcos en aproximadamente la mitad del área, la consistencia del suelo es suelta, sin compactación            |
| Mala    | El suelo o los escombros se encuentran expuestos, presenta evidencia de erosión laminar severa con surcos y cárcavas en más de la mitad del área, la consistencia del suelo es suelta, sin compactación |

**Tabla No.8** Elemento: Tipo de erosión

| Tipo     | Descripción                                                                                                                                                                                                            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Laminar  | Se observa desprendimiento y transporte del suelo en capas superficiales bien definidas por acción de la escorrentía                                                                                                   |
| Surcos   | Se observan canales bien definidos en la superficie de la escombrera, formados por el desprendimiento y transporte del suelo, los cuales tienen un ancho o una profundidad inferior a 30 cm                            |
| Cárcavas | Erosión severa, en la cual se observan canales bien definidos en la superficie de la escombrera, formados por el desprendimiento y transporte del suelo, los cuales tienen un ancho o una profundidad superior a 30 cm |
| Otros    | Se observan agujeros en la terraza o en la superficie del talud que podrían indicar erosión interna o procesos de tubificación, puede incluir también el lavado de minerales por disolución                            |

**Tabla No.9** Elemento: Barrera de sedimentos

| Condición | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Excelente | La barrera no presenta roturas, tanto los postes como el geotextil no se han desplazado de su posición original ni han perdido su verticalidad, el geotextil se encuentra debidamente anclado a la superficie y a los postes, sin espacios entre el geotextil y la superficie del suelo, cumple de forma efectiva su función |



|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Buena   | La barrera presenta roturas puntuales, tanto los postes como el geotextil no se han desplazado de su posición original ni han perdido su verticalidad, el geotextil se encuentra debidamente anclado a la superficie y a los postes, sin espacios entre el geotextil y la superficie del suelo, los sedimentos se han acumulado en algunos sectores deformando el geotextil, la barrera cumple de forma efectiva su función |
| Regular | La barrera presenta roturas puntuales, varios postes han perdido su verticalidad, el geotextil se encuentra anclado a la superficie y a los postes, se observan espacios entre el geotextil y la superficie del suelo, los sedimentos se han acumulado en algunos sectores deformando el geotextil, sectores de la barrera han perdido efectividad en la contención de sedimentos                                           |
| Mala    | La barrera presenta roturas, los postes han perdido su verticalidad, el geotextil está desprendido de los postes, se observan espacios entre el geotextil y la superficie del suelo, los sedimentos se han acumulado en algunos sectores rasgando o enterrando el geotextil, la barrera ha perdido efectividad en la contención de sedimentos                                                                               |

### 5.1.2 Plantilla de inventario de escombreras

Una vez establecidos los criterios para la evaluación de la condición superficial de las escombreras, se generó una plantilla de inventario de escombreras para el registro de los datos en el campo.

Esta plantilla incluye información básica para la identificación de las escombreras, aspectos relativos al tipo y condición de la cobertura superficial, tipos de erosión, presencia y condición de barrera de sedimentos, así como aspectos relativos a la condición de estabilidad de la escombrera, tales como: Presencia de grietas, deslizamientos o deformaciones.

En la siguiente figura se presenta la plantilla desarrollada para inventariar en el campo la condición de las escombreras.



**LanammeUCR**

**Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional**

**Inventario de escombrera en carretera**

Fecha: \_\_\_\_\_ Evaluador: \_\_\_\_\_ Ruta: \_\_\_\_\_

Ubicación: \_\_\_\_\_ Lado: \_\_\_\_\_

En uso: \_\_\_\_\_ Antigua: \_\_\_\_\_ Ambas: \_\_\_\_\_ Fotografías: \_\_\_\_\_

**Condición superficial**

| Tipo de cobertura           | % | Condición | Observaciones |
|-----------------------------|---|-----------|---------------|
| Vegetación                  |   |           |               |
| Manto de control de erosión |   |           |               |
| Suelo o escombros           |   |           |               |
| Otro                        |   |           |               |

| Erosión  | % | Observaciones |
|----------|---|---------------|
| Laminar  |   |               |
| Surcos   |   |               |
| Cárcavas |   |               |
| Otro     |   |               |

**Condición estructural**

| Deterioro      | Observaciones |
|----------------|---------------|
| Grietas        |               |
| Deslizamientos |               |
| Deformaciones  |               |
| Otros          |               |

**Barrera para control de sedimentos**

Tipo: \_\_\_\_\_ Porcentaje de extensión: \_\_\_\_\_ Condición: \_\_\_\_\_

**Observaciones y recomendaciones:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

LanammeUCR

**Figura No.22** Plantilla para el inventario de la condición de las escombreras.



### 5.1.3 Levantamiento de la información

Mediante el oficio LM-IC-D-0074-16, el LanammeUCR solicitó al Director de la Unidad Ejecutora del proyecto, el Ing. Pablo Torres, información sobre la localización de todas las escombreras construidas hasta esa fecha.

El Ing. Torres mediante el oficio GCVP-PSC-28-16-105, remitió la respuesta al oficio del LanammeUCR con la información solicitada. Según esta información, en el proyecto se han construido un total de 84 escombreras, localizadas entre los estacionamientos 9+900 y 38+950.

Con esta información, entre los meses de abril y agosto se realizaron giras a la carretera en construcción con el fin de evaluar la condición de las escombreras reportadas por la Unidad Ejecutora del CONAVI.

Al mes de agosto del presente año se ha inventariado la condición superficial de un total de 43 escombreras, la lista de los sitios evaluados se presenta a continuación.

**Cuadro No.10** Escombreras inventariadas al mes de agosto del 2016, RN 35.

| ID     | Fecha de Inspección | Estacionamiento    | Nombre | ID     | Fecha de Inspección | Estacionamiento | Nombre |
|--------|---------------------|--------------------|--------|--------|---------------------|-----------------|--------|
| 35-001 | 18/05/2016          | 9+900              | S1     | 35-027 | 26/05/2016          | 14+200          | S3-A   |
| 35-002 | 18/05/2016          | 13+300             | S3     | 35-028 | 26/05/2016          | 14+950          | S4     |
| 35-003 | 18/05/2016          | 14+650             | S3-C   | 35-029 | 26/05/2016          | 15+650          | S7     |
| 35-004 | 18/05/2016          | 16+000             | S8     | 35-030 | 01/06/2016          | 17+950          | S12    |
| 35-005 | 18/05/2016          | 16+625             | S9     | 35-031 | 01/06/2016          | 21+000          | S15    |
| 35-006 | 18/05/2016          | 17+320             | S10    | 35-032 | 01/06/2016          | 20+850          | S13-B  |
| 35-007 | 18/05/2016          | 17+950             | S12    | 35-033 | 01/06/2016          | 21+250          | S17    |
| 35-008 | 18/05/2016          | 18+240             | S12-A  | 35-036 | 01/06/2016          | 23+400          | T2     |
| 35-009 | 18/05/2016          | 18+450             | S13    | 35-037 | 01/06/2016          | 24+450          | T4     |
| 35-010 | 18/05/2016          | 20+750             | S15    | 35-038 | 01/06/2016          | 20+650          | S14-D  |
| 35-011 | 18/05/2016          | -                  | -      | 35-039 | 01/06/2016          | 20+400          | S14-C  |
| 35-012 | 18/05/2016          | 24+430             | T5     | 35-040 | 01/06/2016          | 20+400          | S14-B  |
| 35-015 | 18/05/2016          | 26+100             | T10    | 35-041 | 08/06/2016          | 34+950          | T30    |
| 35-016 | 18/05/2016          | 29+640             | T20    | 35-045 | 08/06/2016          | 32+780          | T25-A  |
| 35-017 | 18/05/2016          | Fuera del proyecto | -      | 35-046 | 15/06/2016          | 36+200          | T33-A  |
| 35-018 | 18/05/2016          | 32+740             | T25-A  | 35-047 | 29/06/2016          | 15+400          | S5     |
| 35-019 | 18/05/2016          | 36+450             | T34    | 35-048 | 05/08/2016          | 19+050          | S13-A  |
| 35-021 | 26/05/2016          | 17+400             | S11    | 35-049 | 05/08/2016          | 23+100          | T1A    |
| 35-022 | 26/05/2016          | 11+150             | S1-B   | 35-050 | 05/08/2016          | 25+050          | T7     |
| 35-023 | 26/05/2016          | 11+950             | S1-A   | 35-051 | 05/08/2016          | 25+350          | T8     |
| 35-024 | 26/05/2016          | 12+650             | S2     | 35-052 | 05/08/2016          | 25+600          | T9     |
| 35-026 | 26/05/2016          | 13+250             | S3     |        |                     |                 |        |

Notas: La columna **ID** corresponde es el consecutivo asignado en la base de datos del LanammeUCR, la columna **Nombre** es la identificación utilizada en el proyecto.

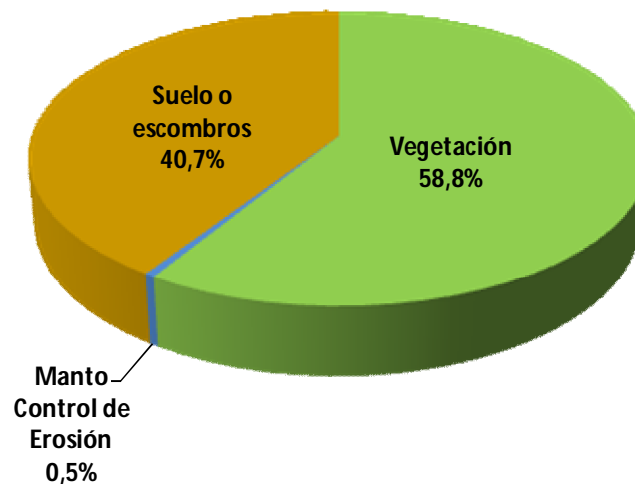


## 5.2 Resultados de la evaluación de las escombreras

### 5.2.1 Sobre la condición superficial

Una vez procesados los datos de las 43 escombreras evaluadas, se determinó la siguiente distribución para el tipo de cobertura que presentan. En el Anexo A se presenta el inventario completo.

#### Tipo de cobertura de las escombreras



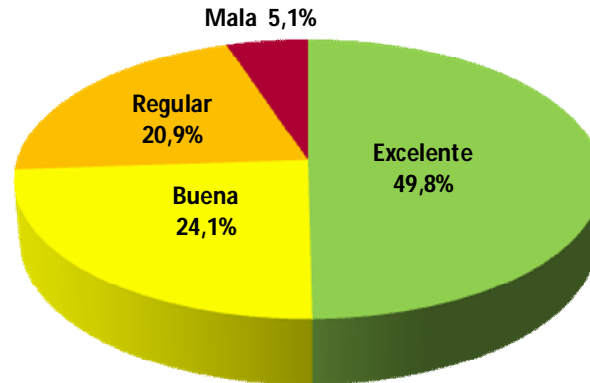
**Gráfico No.1** Distribución del tipo de cobertura identificado en las escombreras.

Según se observa, la mayor parte de la superficie de las escombreras evaluadas está cubierta por vegetación, sin embargo en un 40.7% del área el suelo o los escombros se encuentran expuestos, sin ningún tipo de protección, lo que representa un alto porcentaje. El uso de los mantos para control de erosión ha sido muy limitado, únicamente en un 0.5% de las áreas evaluadas se han utilizado estos materiales.

Al analizar en detalle la condición de las áreas que presentan vegetación se obtiene el siguiente resultado.



### Condición de la cobertura vegetal



**Gráfico No.2** Condición de las áreas que presentan vegetación.

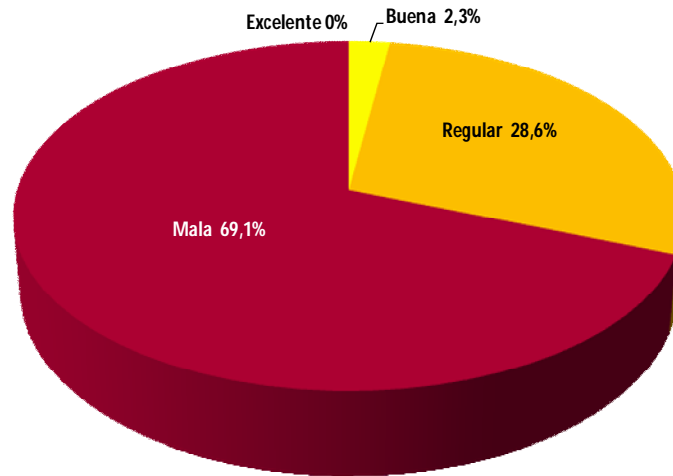
Según estos resultados, la mitad de la superficie con vegetación tiene una condición excelente, es decir, la vegetación es densa y cubre por completo la superficie de la escombrera, se han establecido varios tipos de vegetación y no hay evidencia de erosión.

Aproximadamente una cuarta parte presenta erosión leve y otra cuarta parte presenta erosión en forma de surcos y cárcavas, es decir son zonas en las cuales el suelo está siendo arrastrado fuera de la escombrera, a pesar de que presentan algún grado de vegetación.

En lo que respecta a la condición de las áreas que no tienen ningún tipo de cobertura, o sea las áreas en las cuales los suelos depositados en las escombreras se encuentran expuestos, los resultados se presentan en el gráfico No 3.



### Condición de las zonas con suelo o escombros expuestos



**Gráfico No. 3** Distribución porcentual de la condición superficial de las áreas con suelo o escombros expuestos.

Según estos resultados casi un 70% del área que no tiene ningún tipo de cobertura está en una mala condición. Esto significa que presenta erosión laminar severa, con surcos y cárcavas y el suelo se encuentra suelto, sin compactación.

Un alto porcentaje de estas zonas sin protección corresponden a escombreras que actualmente están en uso, por este motivo es importante proteger estas zonas para evitar que los materiales sean arrastrados hacia los ríos y quebradas cercanas, con la consecuente afectación ambiental que esto conlleva, tal como está previsto en el Plan de Gestión Ambiental y el Plan de Monitoreo del EIA.

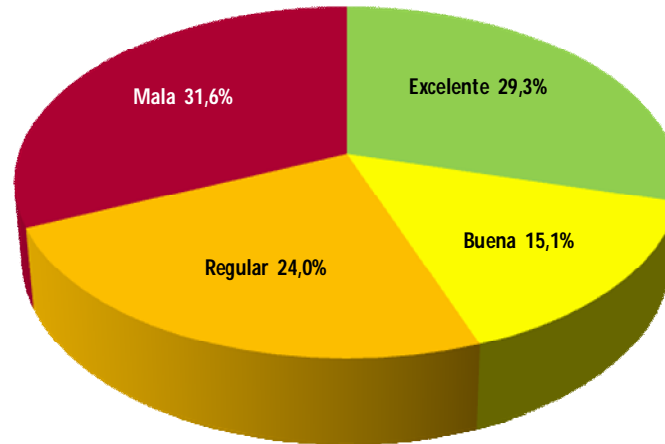
La evolución de estas áreas será objeto de seguimiento en las visitas posteriores al proyecto.

Adicionalmente, se analiza a continuación la condición superficial de las 43 escombreras evaluadas, sin discriminar el tipo de cobertura que presentan. Este resultado se muestra en el siguiente gráfico.





### Condición superficial del total de las escombreras evaluadas



**Gráfico No. 4** Condición superficial del total de las escombreras evaluadas, incluyendo las que presentan cobertura vegetal, manto de control de erosión o ninguna cobertura.

Del gráfico anterior se concluye que un poco menos del 50% de la superficie de las escombreras evaluadas presenta una condición que se considera excelente o buena, consecuentemente casi el 50% de la superficie de las escombreras tiene una condición mala o regular.

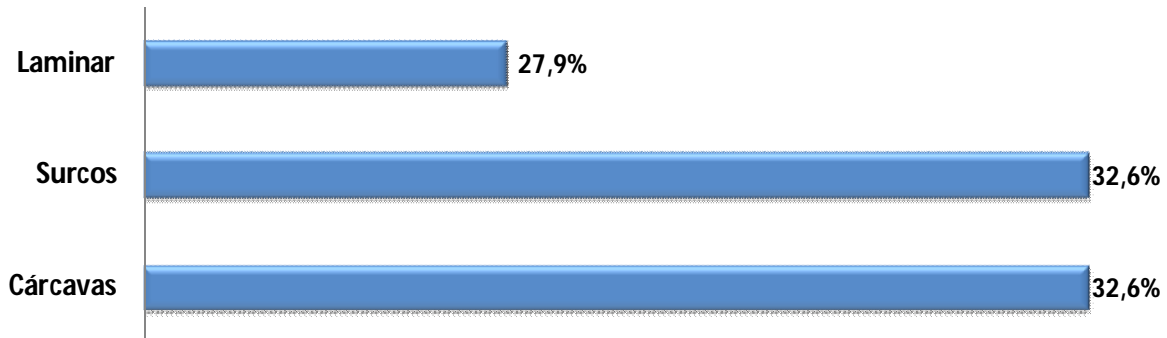
Debido a que el proyecto se encuentra en ejecución, esta es una situación que será objeto de seguimiento por parte del equipo evaluador, ya que debe ser atendida en el corto plazo para disminuir el impacto ambiental actual y futuro de las actividades que se están realizando.

#### 5.2.2 Sobre la erosión

La evaluación realizada permitió identificar los tipos de erosión que presentan actualmente las escombreras del proyecto. En el gráfico No.5 se presentan los resultados obtenidos, según el tipo de erosión observada.



### Tipo de erosión presente en las escombreras



**Gráfico No.5** Distribución porcentual de la erosión según su tipo.

Aproximadamente una tercera parte de las escombreras evaluadas hasta la fecha presenta erosión en forma de surcos y cárcavas, los cuales son considerados grados de erosión leves o severos respectivamente.

Por otra parte, la erosión laminar es un tipo de erosión que se presenta al inicio de los procesos erosivos. Por esta razón debe ser mitigada antes de que derive en mayor arrastre de partículas y avance hasta la formación de surcos o cárcavas. En esta situación se encuentran un 27.9% de las escombreras evaluadas.

#### 5.2.3 Condición estructural

La evaluación realizada sobre la condición estructural de las escombreras está basada en la evidencia visual de los deterioros.

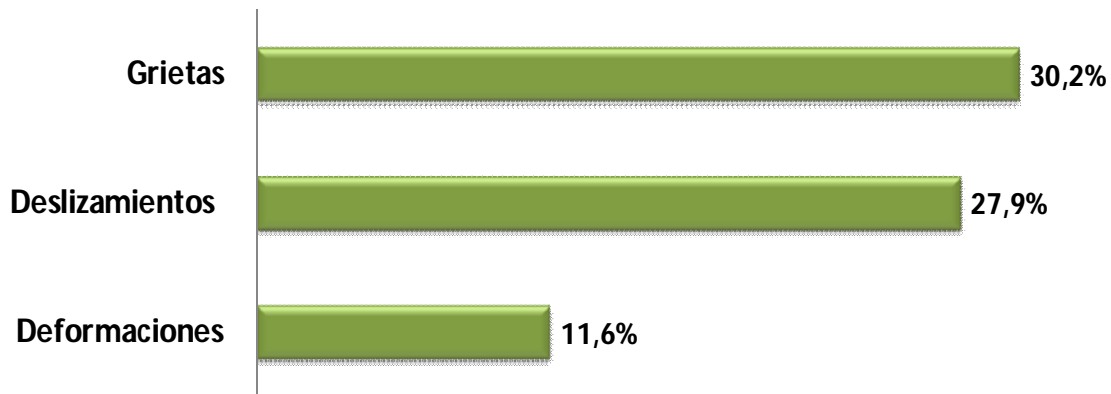
El trabajo incluyó la identificación de grietas en las terrazas y taludes de las escombreras. Estas grietas pueden estar asociadas tanto a procesos de cambios volumétricos por variaciones en el porcentaje de humedad en materiales arcillosos, como a movimientos de la masa de suelo o escombros dentro de la escombrera. No se discriminó entre ambos tipos de grietas debido a que las que se deben a cambios de humedad muchas veces generan zonas de infiltración dentro de la escombrera, lo que satura el suelo y aumenta el peso de los materiales, favoreciendo la generación de superficies de falla. Por lo tanto,



este tipo de grietas participan el proceso de deterioro estructural y deben ser corregidas para evitar daños en el futuro.

Se registraron también los deslizamientos y las deformaciones en la superficie, observables a simple vista. En el siguiente gráfico se presentan los resultados obtenidos.

### Daños estructurales identificados en las escombreras



**Gráfico No.6** Porcentaje de las escombreras que presentan daños estructurales, según el tipo de daño identificado.

Según se observa en el gráfico anterior, aproximadamente una tercera parte de las escombreras evaluadas presenta agrietamiento en su superficie, tal como se mencionó anteriormente, estas grietas pueden o no estar directamente relacionadas con movimientos de masas dentro de la escombrera, sin embargo pueden desencadenar procesos que deriven en inestabilidad, por lo tanto, deben ser objeto de intervención para evitar mayores daños.

Además, un poco más de una cuarta parte de las escombreras presenta deslizamientos, los cuales pueden ser localizados y pequeños en comparación con el tamaño de la escombrera o grandes y con características que comprometen la estabilidad de todo el relleno. Todos los deslizamientos, grandes o pequeños deben ser atendidos, ya que en la mayoría de los casos son procesos dinámicos y progresivos.

Visualmente se logró identificar un 11.6% de escombreras con deformaciones, es decir 5 de las 43 escombreras evaluadas. Estas deformaciones son producto de inestabilidad o

asentamientos diferenciales en la masa de suelo, por lo tanto, cada caso deberá ser analizado para determinar si se está presentando un movimiento que comprometa la estabilidad, o si corresponde con un asentamiento que está en proceso de alcanzar su condición de equilibrio sin que comprometa la estabilidad de la escombrera.

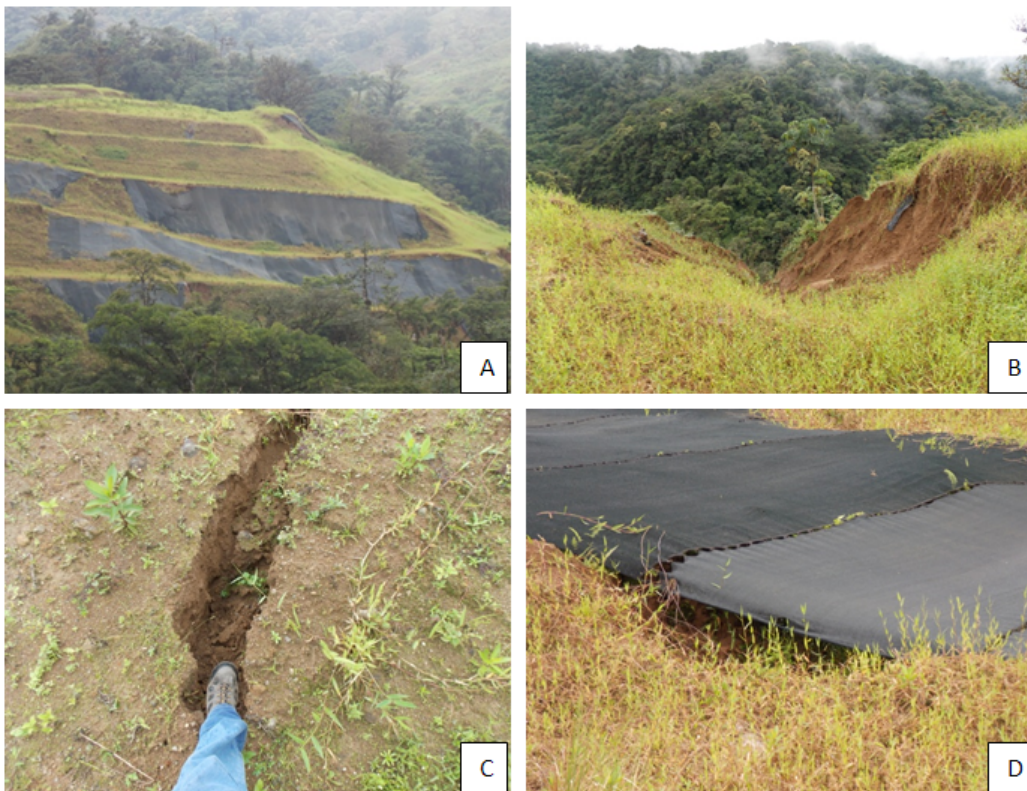
### 5.3 Casos críticos

Luego de inspeccionar 43 escombreras y analizar los resultados de la evaluación, se han identificado dos escombreras que presentan condiciones de deterioro muy avanzadas.

A continuación se presenta el detalle de las observaciones realizadas en estas escombreras.

#### 5.3.1 Escombrera S13

Estacionamiento: 18+450



**Figura No.23** Daños en la escombrera S13. A) Costado norte de la escombrera, se observan las deformaciones de las bermas inferiores. B) Deslizamiento en el costado oeste, hacia la quebrada. C) Detalle de una de las grietas de la parte superior de la terraza. D) Manto colocado en el costado norte de la terraza, se observa que el manto no está en contacto con el talud, la erosión y los deslizamientos continúan por debajo del manto.



Inventario de escombrera S13

| Condición superficial |           |                          |           |                   |           |         |        |          |                      | Condición Estructural |                |               |
|-----------------------|-----------|--------------------------|-----------|-------------------|-----------|---------|--------|----------|----------------------|-----------------------|----------------|---------------|
| Tipo de Cobertura     |           |                          |           |                   |           | Erosión |        |          |                      | Grietas en superficie | Deslizamientos | Deformaciones |
| Vegetación            |           | Manto control de erosión |           | Suelo o escombros |           | Laminar | Surcos | Cárcavas | Barera de sedimentos |                       |                |               |
| %                     | Condición | %                        | Condición | %                 | Condición |         |        |          |                      |                       |                |               |
| 60                    | Buena     | 20                       | Mala      | 20                | Mala      | Si      | Si     | Si       | No                   | Si                    | Si             | Si            |

Observaciones:

Gran deterioro superficial, erosión severa en los costados norte y oeste, evidencia de deslizamientos antiguos que no han sido reparados. Aproximadamente un 60% de la escombrera tiene cobertura vegetal, sin embargo aunque en este sector la vegetación cubre casi por completo la superficie, en algunos sectores se observa sin dificultad la superficie de la escombrera, además crece solo uno o dos tipos de vegetación. Se observaron grietas que indican deslizamientos activos. Caída de gran cantidad de material al río Espino. El manto sintético colocado no está en contacto con el suelo por lo que su aporte en el control de erosión es muy limitado.

En las siguientes figuras se observan fotografías obtenidas mediante Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), de la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR.



**Figura No.24** Vista aérea del costado oeste de la escombrera S13. Se observan varios deslizamientos y la erosión severa que está teniendo lugar en este sitio.

Los deterioros observados en esta escombrera, así como el patrón de las grietas en la terraza, son evidencia de que existe una condición de inestabilidad en una gran porción de la escombrera, lo que está afectando tanto el costado norte como el costado oeste (hacia el río Espino).



**Figura No.25** Vista aérea del talud al pie de la escombrera S13, costado oeste. En la parte superior de la fotografía se observa el río Espino. Nótese la gran cantidad de sedimentos y materiales que están cayendo en el río.

En la figura anterior se observa un sector del talud al pie de la escombrera S13, el cual ha sido afectado por varios deslizamientos. El agua de escorrentía está arrastrando gran cantidad de materiales que aumentan los sedimentos en el río.

#### Recomendaciones:

Realizar estudios geotécnicos de caracterización de materiales y de estabilidad, con el fin de establecer la condición de estabilidad actual de la escombrera y las intervenciones requeridas para prevenir mayores deslizamientos, debe ser prioridad detener el arrastre de sedimentos hacia el río Espino.



Se recomienda tomar en cuenta el estudio realizado por el geólogo Gerardo J. Soto en abril del 2015, en el cual se estableció la base geológica y tectónica de la zona, mediante el análisis geomorfológico, fotogeológico y geológico de campo. Este estudio permitió concluir que “Las escombreras han sido instaladas en estas áreas previamente con problemas de reptación, y podrían haber redispuesto o acelerado el proceso de deslizamiento.” (Soto, 2015).

### 5.3.2 Escombrera S13A

Estacionamiento: 19+050



**Figura No.26** Deterioros observados en la escombrera S13A. A) Cárcava de aproximadamente 1 m de profundidad y ancho variable. B) Material colocado recientemente en la escombrera, este material está siendo arrastrado por el agua de escorrentía. C) Sistema de surcos y cárcavas formados en la terraza de la escombrera, evidencia de erosión superficial. D) Detalle de una de las zonas con poca cobertura vegetal, se aprecia con facilidad la superficie de la escombrera.





Inventario de la escombrera S13A

| Condición superficial |           |                          |           |                   |           |         |        |          |                      | Condición Estructural |                |               |
|-----------------------|-----------|--------------------------|-----------|-------------------|-----------|---------|--------|----------|----------------------|-----------------------|----------------|---------------|
| Tipo de Cobertura     |           |                          |           |                   |           | Erosión |        |          |                      | Grietas en superficie | Deslizamientos | Deformaciones |
| Vegetación            |           | Manto control de erosión |           | Suelo o escombros |           | Laminar | Surcos | Cárcavas | Barera de sedimentos |                       |                |               |
| %                     | Condición | %                        | Condición | %                 | Condición |         |        |          |                      |                       |                |               |
| 70                    | Buena     | 0                        | -         | 30                | Mala      | Si      | Si     | Si       | No                   | Si                    | Si             | Si            |

Observaciones:

La escombrera presenta gran cantidad de surcos y cárcavas, aproximadamente un 70% de la superficie presenta cobertura vegetal, sin embargo la densidad de la vegetación es baja, lo que puede favorecer los procesos erosivos. El 30% restante de la superficie no presenta ningún tipo de cobertura, el suelo o los escombros están expuestos con erosión severa, es decir, el suelo está siendo arrastrado hacia los cuerpos de agua en la parte inferior, en este caso hacia la quebrada Laguna.

En la superficie se observó además evidencia de daños estructurales importantes en la escombrera, como son las grietas, los deslizamientos y las deformaciones. En la zona de la escombrera que colinda con la ruta en construcción se ha identificado una grieta de longitud importante, con dirección noroeste. Dicha grieta se presenta con cierta periodicidad y debe ser rellenada con material granular para no afectar el paso de maquinaria en este tramo de carretera.

Recomendaciones:

Se recomienda intervenir este sector a la mayor brevedad, con el fin de evitar mayores implicaciones en la estabilidad de la carretera y evitar que continúe avanzando el deterioro superficial y el arrastre de materiales hacia la quebrada Laguna y el río Espino.

Una vez que se implemente la solución estructural se recomienda realizar siembra intensiva de vegetación, considerar también el uso de mantos para control de erosión y el diseño e implementación de sistemas para el manejo del agua superficial.



## 6. CONCLUSIONES

La geología de la zona en la cual se localiza el tramo Sifón – La Abundancia de la Ruta Nacional No.35 es variable y compleja. Existen zonas donde la litología es un factor determinante en la susceptibilidad a generar deslizamientos, como es el caso donde afloran los materiales de la unidad Lacustre Palmares. En el tramo Sifón - La Abundancia afloran gran cantidad de materiales de origen volcánico. A partir de estos materiales volcánicos se han desarrollado suelos regolitos, con espesores que en algunos casos superan el metro. Son de color rojizo y en algunos aun se observan residuos de los minerales originales. Estos suelos pueden absorber gran cantidad de agua, sin embargo al estar saturados su comportamiento varía y son más propensos a generar movimientos de masas.

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de este proyecto identificó el “Aumento de sedimentos y turbidez en los cauces” como uno de los principales impactos asociados a la construcción de la carretera.

- El EIA indica como medida ambiental correspondiente la “Aplicación de técnicas de control de erosión y otras como pozas de sedimentación y construcción de barreras de retención de sedimentos”.
- En el mismo EIA, se establecen las siguientes condiciones que deben cumplir los sitios de botadero o escombreras:
  - Evitar afectación de masas boscosas o la afectación de cuerpos de agua.
  - Ser estables (que no evidencien cicatrices activas de deslizamiento, u otros procesos erosivos significativos).
  - Los rellenos deberán hacerse de forma ordenada, y deberán ser compactados en forma tal que se asegure su estabilidad; deberán también estar provistos del suficiente drenaje para evitar empozamientos.
  - En todos los casos la cobertura vegetal deberá evitar procesos erosivos posteriores.
- Según la evaluación realizada a 43 escombreras, aproximadamente un 60% de la superficie se encuentra cubierta por vegetación y en un 40% del área el suelo o los



escombros se encuentran expuestos, sin ningún tipo de protección, lo que se considera un alto porcentaje.

- El uso de los mantos para control de erosión ha sido muy limitado, únicamente en un 0.5% de las áreas evaluadas se han utilizado estos materiales.
- Cerca de la mitad de la superficie de las escombreras que presenta vegetación tiene una condición excelente, es decir, la vegetación es densa, cubre por completo la superficie de la escombrera, se han establecido varios tipos de vegetación y no hay evidencia de erosión.
- Aproximadamente una cuarta parte de la superficie de las escombreras presenta erosión leve y otra cuarta parte presenta erosión en forma de surcos y cárcavas, es decir, son zonas en las cuales el suelo está siendo arrastrado fuera de la escombrera, a pesar de que presentan algún grado de vegetación.
- Casi un 70% del área de las escombreras que no tiene ningún tipo de cobertura está en una mala condición. Esto significa que presenta erosión laminar severa, con surcos y cárcavas y el suelo se encuentra suelto, sin compactación.
- Un poco menos del 50% de la superficie de las escombreras evaluadas presenta una condición que se considera excelente o buena, consecuentemente casi el 50% de la superficie de las escombreras tiene una condición mala o regular.
- Aproximadamente una tercera parte de las escombreras evaluadas hasta la fecha presenta erosión en forma de surcos y cárcavas, los cuales son considerados grados de erosión leves o severos respectivamente.
- Un poco más de una cuarta parte de las escombreras evaluadas presenta deslizamientos, los cuales pueden ser localizados y pequeños en comparación con el tamaño de la escombrera o grandes y con características que comprometen la estabilidad de todo el relleno.
- Las escombreras S13 y S13A presentan altos niveles de deterioro, tanto superficial como de estabilidad. Se observaron deformaciones, grietas importantes en las terrazas y en los costados que son indicadores de deslizamientos activos.
- El arrastre de los suelos de estas escombreras están generando un impacto directo en el río Espino.



## 7. RECOMENDACIONES

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, en cumplimiento de las funciones que la ley N°8114 en sus artículos 5 y 6 le encomienda en materia de evaluación y fiscalización de la Red Vial Nacional, recomienda al Consejo Nacional de Vialidad y a la Gerencia del Proyecto Sifón – La Abundancia de la Ruta Nacional No.35, considerar los siguientes aspectos:

- Verificar el cumplimiento de las medidas ambientales establecidas en el Estudio de Impacto Ambiental para las escombreras del proyecto Sifón – La Abundancia, en lo referente a:
  - Evitar afectación a los cuerpos de agua
  - Garantizar su estabilidad (no deben presentar grietas por deformaciones y/o deslizamientos.
  - Evitar la generación de procesos erosivos significativos.
  - En todos los casos la cobertura vegetal deberá evitar procesos erosivos posteriores.
- Intensificar el uso de mantos para control de erosión, considerar el uso de geosintéticos diseñados para tal fin. Evitar el uso de materiales como el “Saran” o “Ground Cover”, ya que no favorecen el crecimiento de la vegetación.
- Aumentar la cobertura, la densidad y la variedad de la vegetación en las superficies expuestas de las escombreras.
- Realizar los estudios y los diseños necesarios para intervenir las escombreras del proyecto que presentan deslizamientos y/o deformaciones.
- Intervenir a la mayor brevedad las escombreras S13 y S13A, debido al grado avanzado de deterioro superficial y estructural que presentan, con el fin de detener la carga de sedimento que está cayendo al río Espino.
- Llevar a cabo la caracterización geotécnica de las unidades geológicas que han sido identificadas, con el fin de proponer soluciones geotécnicas adecuadas para resolver los problemas de deslizamientos en los taludes de la Ruta Nacional 35. Esta recomendación se extiende al tramo de la punta sur del proyecto, la cual aun esta en diseño.



## 8. REFERENCIAS

Actis, R. (2009). Escombreras, ubicación, estabilidad y contaminación ambiental. Editorial LDM, Córdoba, Argentina, 56 pp.

Asociación Costarricense de Geotecnia (2015), Código geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica. Editorial Tecnológica. San José, Costa Rica.

Huapaya, S & Rojas, V., 2012: Mapa Geológico de Hoja Naranjo (3346-III) – Escala 1: 50 000, Dirección de Geología y Minas, San José, Costa Rica.

MOPT (2010), Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010. San José, Costa Rica.

Moreno, C., 2015: Sistema de classificação Geotécnica de encostas para projetos de estradas baseado no índice de qualidade HSQI: Proposta metodológica e validação.-122 pags. Universidade de Brasília, Brasil [Tesis Maestría.].

Ocampo, M., 2016: Sistema de classificação Geotécnica de encostas para projetos de estradas baseado no índice de qualidade HSQI: Aplicação na Costa Rica.-189 pags. Universidade de Brasília, Brasil [Tesis Maestría.].

Ruiz, P., Arauz, A., Garcia, J., Villalobos, G., Sedo, A. & Suarez, C., 2015: Drenaje ácido de roca en taludes de la ruta nacional 27, San José Caldera, Costa Rica. Rev. Geol. Amér. Central, 53: 25-46, DOI: 0.15517/rgac.v53i0.21146.

Siel-Siel (2004), Estudio de Impacto Ambiental Carretera Naranjo-Florencia. Expediente Administrativo No. 040-2002 SETENA. San José, Costa Rica.

Soto, G. (2015), Informe geológico sobre los sitios de las escombreras 13 y 13A de la Ruta Nacional Naranjo – Florencia. San José, Costa Rica.

UICN, Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe (2011), Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción. Impresiones Unicornio. San José, Costa Rica.



**UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA**



**LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**

## **ANEXO A**

### **INVENTARIO DE ESCOMBRERAS**



| ID     | Ruta | Datos Generales     |                       |             |                    |        |      |
|--------|------|---------------------|-----------------------|-------------|--------------------|--------|------|
|        |      | Fecha de Inspección | Profesional Evaluador |             | Estacionamiento    | Nombre | Lado |
|        |      |                     | Nombre                | Institución |                    |        |      |
| 35-001 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 9+900              | S1     | LI   |
| 35-002 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 13+250             | S3     |      |
| 35-003 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 14+700             | S3-C   |      |
| 35-004 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 16+000             | S8     |      |
| 35-005 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 16+625             | S9     |      |
| 35-006 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 17+320             | S10    |      |
| 35-007 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 17+950             | S12    |      |
| 35-008 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 18+240             | S12-A  |      |
| 35-009 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 18+450             | S13    |      |
| 35-010 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 20+750             | S15    |      |
| 35-011 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     |                    |        |      |
| 35-012 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 24+430             | T5     |      |
| 35-015 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 26+100             | T10    |      |
| 35-016 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 29+640             | T20    | LI   |
| 35-017 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | Fuera del proyecto | -      | LI   |
| 35-018 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 32+740             | T25-A  | LI   |
| 35-019 | 35   | 18/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 36+450             | T34    |      |
| 35-021 | 35   | 26/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 17+400             | S11    | LI   |
| 35-022 | 35   | 26/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 11+150             | S1-B   | LI   |
| 35-023 | 35   | 26/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 11+950             | S1-A   | LI   |
| 35-024 | 35   | 26/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 12+650             | S2     | LI   |
| 35-026 | 35   | 26/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 13+250             | S3     | LI   |
| 35-027 | 35   | 26/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 14+200             | S3-A   | LI   |
| 35-028 | 35   | 26/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 14+950             | S4     | LI   |



| ID     | Tipo de Cobertura |           |                          |           |                   |           |
|--------|-------------------|-----------|--------------------------|-----------|-------------------|-----------|
|        | Vegetación        |           | Manto control de erosión |           | Suelo o escombros |           |
|        | %                 | Condición | %                        | Condición | %                 | Condición |
| 35-001 | 70                | Regular   |                          |           | 30                | Regular   |
| 35-002 | 80                | Excelente |                          |           | 20                | Regular   |
| 35-003 | 50                | Excelente |                          |           | 50                | Mala      |
| 35-004 | 20                | Excelente |                          |           | 80                | Mala      |
| 35-005 | 10                | Regular   |                          |           | 90                | Mala      |
| 35-006 | 70                | Buena     |                          |           | 30                | Regular   |
| 35-007 | 90                | Excelente |                          |           | 10                | Regular   |
| 35-008 | 10                | Buena     |                          |           | 90                | Mala      |
| 35-009 | 60                | Buena     | 20                       | Mala      | 20                | Mala      |
| 35-010 | 95                | Excelente |                          |           | 5                 | Buena     |
| 35-011 | 10                | Mala      |                          |           | 90                | Regular   |
| 35-012 | 80                | Mala      |                          |           | 20                | Buena     |
| 35-015 | 80                | Excelente |                          |           | 20                | Regular   |
| 35-016 |                   |           |                          |           | 100               | Mala      |
| 35-017 |                   |           |                          |           | 100               | Mala      |
| 35-018 |                   |           |                          |           | 100               | Mala      |
| 35-019 | 20                | Buena     |                          |           | 80                | Mala      |
| 35-021 | 100               | Excelente |                          |           |                   |           |
| 35-022 | 80                | Buena     |                          |           | 20                | Mala      |
| 35-023 | 70                | Regular   |                          |           | 30                | Mala      |
| 35-024 | 90                | Excelente |                          |           | 10                | Regular   |
| 35-026 | 95                | Excelente |                          |           | 5                 | Buena     |
| 35-027 | 50                | Regular   |                          |           | 50                | Mala      |
| 35-028 | 80                | Excelente |                          |           | 20                | Mala      |





| ID     | Erosión |        |          |                      |           | Observaciones sobre la erosión             |
|--------|---------|--------|----------|----------------------|-----------|--------------------------------------------|
|        | Laminar | Surcos | Cárcavas | Barera de sedimentos |           |                                            |
|        |         |        |          | Existencia           | Condición |                                            |
| 35-001 | No      | No     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-002 | No      | No     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-003 | No      | No     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-004 | No      | No     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-005 | No      | No     | No       | Si                   | Buena     |                                            |
| 35-006 | No      | No     | No       | Si                   | Regular   |                                            |
| 35-007 | No      | No     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-008 | No      | No     | Si       | No                   |           |                                            |
| 35-009 | No      | Si     | Si       | No                   |           |                                            |
| 35-010 | No      | No     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-011 | No      | Si     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-012 | No      | No     | No       | No                   |           | Material muy suelto                        |
| 35-015 | No      | No     | Si       | No                   |           |                                            |
| 35-016 | No      | No     | Si       | Si                   | Mala      |                                            |
| 35-017 | No      | No     | Si       | No                   |           |                                            |
| 35-018 | No      | No     | Si       | No                   |           |                                            |
| 35-019 | No      | Si     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-021 | No      | No     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-022 | No      | No     | Si       | No                   |           |                                            |
| 35-023 | No      | Si     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-024 | No      | No     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-026 | No      | No     | No       | No                   |           |                                            |
| 35-027 | Si      | Si     | Si       | No                   |           | Pérdida de gran cantidad de suelo          |
| 35-028 | No      | No     | Si       | No                   |           | Pérdida de material colocado recientemente |



| ID     | Condición Estructural |                |               |                                                                   |
|--------|-----------------------|----------------|---------------|-------------------------------------------------------------------|
|        | Grietas en superficie | Deslizamientos | Deformaciones | Observaciones sobre la condición estructural                      |
| 35-001 | No                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-002 | No                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-003 | No                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-004 | Si                    | No             | No            | Grietas por desecación                                            |
| 35-005 | Si                    | No             | No            | Grietas por desecación                                            |
| 35-006 | Si                    | Si             | Si            | Grietas por desecación y deslizamientos                           |
| 35-007 | No                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-008 | No                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-009 | Si                    | Si             | Si            | Deslizamientos y deformaciones importantes                        |
| 35-010 | No                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-011 | No                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-012 | No                    | No             | No            | Surcos por socavación                                             |
| 35-015 | Si                    | Si             | No            |                                                                   |
| 35-016 | Si                    | Si             | No            | Deslizamientos superficiales                                      |
| 35-017 | Si                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-018 | Si                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-019 | No                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-021 | No                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-022 | Si                    | Si             | No            | Desecación, 4 cm ancho, 1 m de profundidad                        |
| 35-023 | No                    | No             | No            | Grietas por desecación                                            |
| 35-024 | Si                    | Si             | Si            | Agrietamiento en terraza y ladera, deslizamientos pequeños al pie |
| 35-026 | Si                    | No             | No            | Grietas por desecación                                            |
| 35-027 | No                    | No             | No            |                                                                   |
| 35-028 | No                    | No             | No            |                                                                   |



| ID     | Observaciones y recomendaciones                                                                                              |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 35-001 | Considerar la construcción de cunetas revestidas                                                                             |
| 35-002 | Sin rótulo                                                                                                                   |
| 35-003 | Sembrar vegetación en zonas sin protección                                                                                   |
| 35-004 | Sembrar vegetación en zonas sin protección                                                                                   |
| 35-005 | Dar seguimiento, altura 60 m. Sembrar vegetación y construir cunetas                                                         |
| 35-006 | Deslizamientos sin reparación, cerca del río, dar seguimiento                                                                |
| 35-007 | En propiedad privada                                                                                                         |
| 35-008 | Erosión severa, cárcavas, cerca de río, dar seguimiento, altura 60 m                                                         |
| 35-009 | Mejorar manejo de escorrentía superficial. Requiere solución para lograr estabilización. Dar seguimiento                     |
| 35-010 | Revestir las cunetas                                                                                                         |
| 35-011 | Presenta material granular, erosión leve, sembrar vegetación                                                                 |
| 35-012 | Dar seguimiento, sembrar vegetación e implementar manejo de aguas superficial                                                |
| 35-015 | Dar seguimiento, restaurar zonas erosionadas y sembrar vegetación                                                            |
| 35-016 | Uso reciente, dar seguimiento, altura 60 m, tiene barrera solo en un sector                                                  |
| 35-017 | En uso, dar seguimiento.                                                                                                     |
| 35-018 | En uso, dar seguimiento.                                                                                                     |
| 35-019 | En uso, dar seguimiento.                                                                                                     |
| 35-021 | Buena cobertura vegetal, se pueden sembrar árboles u otras especies                                                          |
| 35-022 | Muchas grietas, intenso. Reconformar el frente y proteger contra erosión. Cárcavas de hasta 2 m de prof. Dar seguimiento     |
| 35-023 | Proteger contra erosión. Dar seguimiento.                                                                                    |
| 35-024 | Zona intervenida por posible deslizamiento, sin vegetación ni control de erosión. Se recomienda conformar cunetas en ladera. |
| 35-026 | Parte inferior muy buena vegetación. Construir cunetas en berma. Talud superior inicia crecimiento de vegetación.            |
| 35-027 | Se recomienda siembra de vegetación y conformación de cunetas                                                                |
| 35-028 | Se colocó agregado en la parte superior, el cual se está lavando                                                             |



| ID     | Ruta | Datos Generales     |                       |             |                 |        |      |
|--------|------|---------------------|-----------------------|-------------|-----------------|--------|------|
|        |      | Fecha de Inspección | Profesional Evaluador |             | Estacionamiento | Nombre | Lado |
|        |      |                     | Nombre                | Institución |                 |        |      |
| 35-029 | 35   | 26/05/2016          | RN                    | LANAMME     | 15+650          | S7     | LI   |
| 35-030 | 35   | 01/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 17+950          | S12    | LI   |
| 35-031 | 35   | 01/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 21+000          | S15    | LI   |
| 35-032 | 35   | 01/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 20+850          | S13-B  | LI   |
| 35-033 | 35   | 01/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 21+250          | S17    | LI   |
| 35-036 | 35   | 01/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 23+400          | T2     | LI   |
| 35-037 | 35   | 01/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 24+450          | T4     | LI   |
| 35-038 | 35   | 01/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 20+650          | S14-D  | LI   |
| 35-039 | 35   | 01/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 20+400          | S14-C  | LI   |
| 35-040 | 35   | 01/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 20+400          | S14-B  | LD   |
| 35-041 | 35   | 08/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 34+950          | T30    | LI   |
| 35-045 | 35   | 08/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 32+780          | T25-A  | LI   |
| 35-046 | 35   | 15/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 36+200          | T33-A  | LD   |
| 35-047 | 35   | 29/06/2016          | RN                    | LANAMME     | 15+400          | S5     | LI   |
| 35-048 | 35   | 05/08/2016          | RN                    | LANAMME     | 19+050          | S13-A  | LI   |
| 35-049 | 35   | 05/08/2016          | RN                    | LANAMME     | 23+100          | T1A    | LI   |
| 35-050 | 35   | 05/08/2016          | RN                    | LANAMME     | 25+050          | T7     | LI   |
| 35-051 | 35   | 05/08/2016          | RN                    | LANAMME     | 25+350          | T8     | LD   |
| 35-052 | 35   | 05/08/2016          | RN                    | LANAMME     | 25+600          | T9     | LI   |



| ID     | Tipo de Cobertura |           |                          |           |                   |           |
|--------|-------------------|-----------|--------------------------|-----------|-------------------|-----------|
|        | Vegetación        |           | Manto control de erosión |           | Suelo o escombros |           |
|        | %                 | Condición | %                        | Condición | %                 | Condición |
| 35-029 | 60                | Regular   |                          |           | 40                | Mala      |
| 35-030 | 70                | Buena     |                          |           | 30                | Regular   |
| 35-031 | 95                | Excelente |                          |           | 5                 | Buena     |
| 35-032 | 95                | Excelente |                          |           | 5                 | Buena     |
| 35-033 | 70                | Regular   |                          |           | 30                | Regular   |
| 35-036 | 20                | Mala      |                          |           | 80                | Mala      |
| 35-037 | 100               | Excelente |                          |           |                   |           |
| 35-038 | 40                | Regular   |                          |           | 60                | Regular   |
| 35-039 | 20                | Mala      |                          |           | 80                | Mala      |
| 35-040 | 70                | Regular   |                          |           | 30                | Regular   |
| 35-041 | 90                | Excelente |                          |           | 10                | Regular   |
| 35-045 |                   |           |                          |           | 100               | Mala      |
| 35-046 | 100               | Excelente |                          |           |                   |           |
| 35-047 | 50                | Buena     |                          |           | 50                | Mala      |
| 35-048 | 70                | Buena     |                          |           | 30                | Mala      |
| 35-049 | 30                | Buena     |                          |           | 70                | Regular   |
| 35-050 | 100               | Buena     |                          |           |                   |           |
| 35-051 | 50                | Buena     |                          |           | 50                | Regular   |
| 35-052 | 90                | Regular   |                          |           | 10                | Regular   |



| ID     | Erosión |        |          |                      |           | Observaciones sobre la erosión                                     |
|--------|---------|--------|----------|----------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------|
|        | Laminar | Surcos | Cárcavas | Barera de sedimentos |           |                                                                    |
|        |         |        |          | Existencia           | Condición |                                                                    |
| 35-029 | No      | No     | No       | No                   |           |                                                                    |
| 35-030 | Si      | No     | No       | No                   |           |                                                                    |
| 35-031 | No      | No     | No       | No                   |           |                                                                    |
| 35-032 | No      | No     | No       | No                   |           |                                                                    |
| 35-033 | Si      | Si     | No       | No                   |           |                                                                    |
| 35-036 | Si      | Si     | Si       | No                   |           | Erosión severa. Cárcavas varios metros de ancho. Pérdida de suelo. |
| 35-037 | No      | No     | No       | No                   |           |                                                                    |
| 35-038 | Si      | No     | No       | No                   |           |                                                                    |
| 35-039 | Si      | Si     | Si       | No                   |           | Cárcava de 3 m de ancho debe ser sustituida por cuneta revestida.  |
| 35-040 | Si      | Si     | No       | No                   |           | Erosión en el pie del talud                                        |
| 35-041 | No      | No     | No       | No                   |           |                                                                    |
| 35-045 | Si      | Si     | Si       | Si                   | Buena     | Pérdida importante de suelos                                       |
| 35-046 | No      | No     | Si       | No                   |           | Gran socavación en cuneta                                          |
| 35-047 | Si      | Si     | No       | No                   |           |                                                                    |
| 35-048 | Si      | Si     | Si       | No                   |           | Grandes cárcavas, pérdida importante de suelos                     |
| 35-049 | Si      | No     | No       | No                   |           | Erosión superficial en zonas sin vegetación                        |
| 35-050 | No      | No     | No       | No                   |           |                                                                    |
| 35-051 | Si      | Si     | No       | No                   |           | Unos pocos surcos por erosión                                      |
| 35-052 | No      | Si     | No       | Si                   | Regular   | Unos pocos surcos por erosión                                      |



| ID     | Condición Estructural |                |               |                                                  |
|--------|-----------------------|----------------|---------------|--------------------------------------------------|
|        | Grietas en superficie | Deslizamientos | Deformaciones | Observaciones sobre la condición estructural     |
| 35-029 | No                    | No             | No            |                                                  |
| 35-030 | No                    | Si             | No            | Deslizamiento antiguo con vegetación             |
| 35-031 | No                    | No             | No            |                                                  |
| 35-032 | No                    | No             | No            |                                                  |
| 35-033 | No                    | No             | No            |                                                  |
| 35-036 | No                    | No             | No            |                                                  |
| 35-037 | No                    | No             | No            |                                                  |
| 35-038 | No                    | Si             | No            | Deslizamiento al pie del talud                   |
| 35-039 | No                    | No             | Si            |                                                  |
| 35-040 | No                    | Si             | No            | Deslizamiento al pie del talud                   |
| 35-041 | No                    | No             | No            |                                                  |
| 35-045 | Si                    | No             | No            |                                                  |
| 35-046 | No                    | No             | No            |                                                  |
| 35-047 | No                    | No             | No            |                                                  |
| 35-048 | Si                    | Si             | Si            | Grandes deformaciones, hay control topográfico   |
| 35-049 | No                    | No             | No            |                                                  |
| 35-050 | No                    | Si             | No            | Varios deslizamientos viejos en el pie           |
| 35-051 | No                    | No             | No            |                                                  |
| 35-052 | No                    | Si             | No            | Deslizamiento en el sector cercano a la quebrada |



| ID     | Observaciones y recomendaciones                                                                                                          |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 35-029 | Agregados en la parte superior, colocadas recientemente. Proteger parte superior.                                                        |
| 35-030 | Construir cunetas, sembrar vegetación.                                                                                                   |
| 35-031 | Construir cunetas en concreto                                                                                                            |
| 35-032 | Construir cuneta en concreto. Cárcava apróx. 1 m ancho parte media. Mejorar                                                              |
| 35-033 | Mejorar cobertura vegetal. Construir cunetas en las bermas.                                                                              |
| 35-036 | Reconformar taludes. Revegetar. Construir cunetas para evitar erosión hacia la quebrada.                                                 |
| 35-037 | Escombrera en buen estado                                                                                                                |
| 35-038 | Sin rótulo. Mejorar cobertura de vegetación, monitorear comportamiento del deslizamiento. Construir cunetas.                             |
| 35-039 | Sin rótulo. Agua acumulada en terraza. Mejorar manejo de agua superficial. Sembrar vegetación                                            |
| 35-040 | Mejorar manejo de escorrentía superficial. Construir cuneta en el pie del talud.                                                         |
| 35-041 | Escombrera en buen estado                                                                                                                |
| 35-045 | Sin manejo de aguas. Erosión generalizada. Mejorar manejo de aguas y sembrar vegetación                                                  |
| 35-046 | Gran socavación en cuneta posterior, del lado de la carretera, reconformar y recubrir con concreto                                       |
| 35-047 | Sembrar vegetación en zonas sin protección                                                                                               |
| 35-048 | Gran deterioro superficial y evidencia de deslizamientos, ausencia de manejo de aguas. Manejar aguas superficiales, revisar estabilidad. |
| 35-049 | Material de la escombrera es agregado                                                                                                    |
| 35-050 | Revisar nivel de afectación por deslizamientos antiguos en el pie                                                                        |
| 35-051 |                                                                                                                                          |
| 35-052 | Escombrera frente al talud en el que había fallado el muro de gaviones                                                                   |