



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

# Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

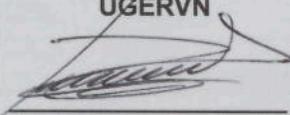
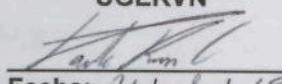
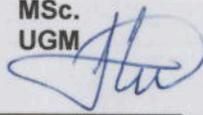
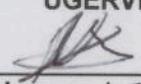
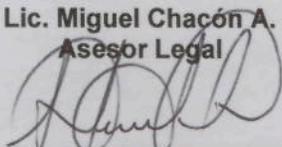
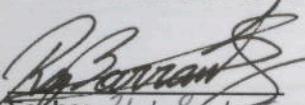
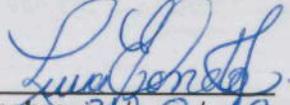
## **INFORME DE EVALUACIÓN**

LM-PI-UGERVN-002-2019

### **RUTA NACIONAL No. 606** **Sección Guacimal – Santa Elena**

San José, Costa Rica

Agosto, 2019

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>1. Informe</b> LM-PI-UGERVN-002-19   |  | <b>2. Copia No. 1</b>   |  |
| <b>3. Título</b><br>INFORME DE EVALUACIÓN RUTA NACIONAL No. 606, Sección Guacimal – Santa Elena   |  | <b>4. Fecha</b><br>Agosto, 2019   |  |
| <b>7. Organización y dirección</b><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   |  |   |  |
| <b>8. Notas complementarias</b>   |  |   |  |
| <b>9. Resumen</b><br>Los trabajos de mejoramiento de la sección Guacimal-Santa Elena de la Ruta Nacional 606 han sido objeto de dos contrataciones por parte del Consejo Nacional de Vialidad. En la primera contratación (2011LN-29-DI00) se amplió el ancho de la superficie de ruedo mediante cortes en los taludes, los cuales quedaron en una grave situación de vulnerabilidad que ha provocado gran cantidad de deslizamientos que han puesto en peligro la seguridad de los usuarios desde entonces. La segunda contratación (2016CD-14-6000001) pretendía culminar con una carretera pavimentada, con señalización vertical y horizontal, elementos de seguridad vial, con estudios básicos, diseños y construcción de obras para la estabilización de los taludes, controles de erosión y manejo de aguas. Sin embargo, esto no sucedió debido al incumplimiento contractual del contratista. Nuevamente las obras realizadas el año pasado (2018) se encuentran en clara condición de vulnerabilidad ante el daño por las lluvias y el tránsito vehicular. En este informe funcionarios del Programa de Infraestructura del Transporte del LanammeUCR presentan los resultados de la evaluación y fiscalización realizada durante los primeros meses de este año 2019 a las obras construidas. Con tal fin se realizaron varias giras de evaluación y se levantó información con equipo especializado. Adicionalmente, se recolectaron muestras de los materiales granulares que han sido colocados como parte de la construcción de la carretera, las cuales fueron analizadas en el laboratorio.<br>De la evaluación realizada se concluye que una gran cantidad de las obras construidas producto de las dos contrataciones que ha hecho la Administración han sufrido deterioros en diferentes grados de severidad. En muchos sectores los materiales granulares están contaminados con suelo y material orgánico, en las alcantarillas construidas faltan algunos elementos funcionales (tomas, cabezales, etc.) y de protección, y también en las cunetas construidas se observan agrietamientos que pueden afectar el desempeño de estas obras en el proyecto. Varios taludes continúan presentando condiciones de vulnerabilidad que elevan el riesgo para los usuarios por la caída de suelo y rocas en la carretera. Se recomienda nuevamente a la Administración, realizar los estudios y diseños requeridos para la adecuada construcción de las obras de estabilización y protección superficial necesarias para garantizar la estabilidad de estos taludes y mitigar la acción de los agentes erosivos. Además, todas las muestras incumplieron total o parcialmente la granulometría especificada en el CR-2010, lo que afecta principalmente el desempeño de estos materiales a mediano y largo plazo. |  |   |  |
| <b>10. Palabras clave</b><br>Infraestructura, taludes, superficie de ruedo, drenajes, evaluación.   |  | <b>11. Nivel de seguridad:</b><br>Bajo  |  |
|   |  | <b>12. Núm. de páginas</b> 77   |  |
| <b>13. Diseño y elaboración:</b>  |  |   |  |
| <b>Ing. Ronald Naranjo U.</b><br>UGERVN<br>  | <b>Geól. Paulo Ruiz C.,</b><br>Ph.D.<br>UGERVN<br>  | <b>Ing. Alonso Ulate C.,</b><br>MSc.<br>UGM<br>   | <b>Ing. Christian Valverde C., MSc.</b><br>UGERVN<br> |
| Fecha: 21 / 8 / 19  | Fecha: 21 / 8 / 19   | Fecha: 21 / 08 / 2019   | Fecha: 21 / 08 / 19  |
| <b>14. Revisión Legal:</b><br><b>Lic. Miguel Chacón A.</b><br>Asesor Legal<br>   | <b>15. Diseño y revisión técnica:</b><br><b>Ing. Roy Barrantes J.</b><br>Coordinador UGERVN<br> | <b>15. Aprobado por:</b><br><b>Ing. Ana Luisa Elizondo S.</b><br>Coord.a.i. General PITRA<br> |  |
| Fecha: 21 / 8 / 19  | Fecha: 21 / 8 / 19   | Fecha: 21 / 8 / 19  |  |



## TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| 1. POTESTADES .....  | 5  |
| 2. INTRODUCCIÓN.....   | 5  |
| 2.1 ANTECEDENTES .....   | 5  |
| 2.2 OBJETIVO GENERAL .....   | 8  |
| 2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 8  |
| 4. UBICACIÓN .....   | 9  |
| 3. NORMATIVA TÉCNICA UTILIZADA.....  | 10 |
| 4. ACTIVIDADES DE EVALUACIÓN Y EVALUACIÓN.....                                 | 10 |
| 4.1 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA .....                           | 11 |
| 4.1.2 GEOMORFOLOGÍA GENERAL.....   | 12 |
| 4.1.2.1 TOPOGRAFÍA Y PENDIENTES .....  | 12 |
| 4.1.2.2 ZONAS DE VIDA Y PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL.....                         | 16 |
| 4.1.2.3. GEOMORFOLOGÍA .....   | 19 |
| 4.1.3 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....                                       | 32 |
| UNIDAD RIODACITAS LA GUARIA.....   | 34 |
| UNIDAD ANDESITAS Y PIROCLASTOS MONTEVERDE .....                                | 35 |
| INTRUSIVO DE GUACIMAL .....  | 39 |
| 4.1.4 FALLAS Y ESTRUCTURAS TECTÓNICAS .....                                    | 43 |
| 4.1.5 CATÁLOGO DE AFLORAMIENTOS, ZONAS DE DESPRENDIMIENTO Y DESLIZAMIENTOS ... | 44 |
| 4.2 CONDICIONES GEOTÉCNICAS DE LOS TALUDES .....                               | 53 |
| 4.3 ENSAYOS, RESULTADOS Y ANÁLISIS .....                                       | 64 |
| 4.4 CONDICIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA.....                                       | 72 |
| 5. CONCLUSIONES.....   | 75 |
| 5. RECOMENDACIONES.....  | 76 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1.MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO.....                     | 9  |
| FIGURA 2.MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO. .... | 12 |
| FIGURA 3.MAPA DE ALTITUD DE LA ZONA DE ESTUDIO.....              | 13 |
| FIGURA 4. MAPA DE PENDIENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....          | 15 |



|  |    |
|--|----|
| <b>FIGURA 5.</b> MAPA DE ZONAS DE VIDA ASOCIADAS CON LA RUTA. ....                               | 18 |
| <b>FIGURA 6.</b> GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....  | 20 |
| <b>FIGURA 7.</b> MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA SECCIÓN ASOCIADA A LA RN-606... ..                    | 23 |
| <b>FIGURA 8.</b> GEOMORFOLOGÍA TALUD PK 10+730.....  | 25 |
| <b>FIGURA 9.</b> GEOMORFOLOGÍA TALUD PK 20+000.....  | 26 |
| <b>FIGURA 10.</b> GEOMORFOLOGÍA TALUD PK 21+000.....   | 27 |
| <b>FIGURA 11.</b> FOTOGRAFÍA DEL TALUD PK 21+000.....  | 28 |
| <b>FIGURA 12.</b> IMÁGENES AÉREAS DE ESCOMBRERAS.....  | 29 |
| <b>FIGURA 13.</b> IMÁGENES DE ESCOMBRERAS.....   | 29 |
| <b>FIGURA 14.</b> IMÁGENES DE ESCOMBRERAS.....   | 30 |
| <b>FIGURA 15.</b> IMÁGENES DEL TALUD EN EL PK 13+000.....  | 31 |
| <b>FIGURA 16.</b> MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....                                      | 33 |
| <b>FIGURA 17.</b> FOTOGRAFÍA PK 10+730.....  | 34 |
| <b>FIGURA 18.</b> FOTOGRAFÍAS DE TALUD PK 9+533.....   | 36 |
| <b>FIGURA 19.</b> TALUD DONDE AFLORAN TOBAS FALLADAS.....  | 38 |
| <b>FIGURA 20:</b> FOTOGRAFÍAS DE LAS SECCIONES DELGADAS.....                                     | 42 |
| <b>FIGURA 21.</b> FOTOGRAFÍA TALUD EN EL PK 13+448.....  | 43 |
| <b>FIGURA 22.</b> RELACIONES DEL PK 10+700.....  | 54 |
| <b>FIGURA 23.</b> DETALLE DE TALUD PK 10+700.....  | 55 |
| <b>FIGURA 24.</b> FOTOGRAFÍAS COMPARATIVAS PK 10+700.....  | 56 |
| <b>FIGURA 25.</b> FOTOGRAFÍAS COMPARATIVAS PK 10+700.....  | 57 |
| <b>FIGURA 26.</b> FOTOGRAFÍAS COMPARATIVAS PK 10+700.....  | 58 |
| <b>FIGURA 27.</b> VISTA GENERAL TALUDES DE CORTE EN EL PK 13+000.....                            | 59 |
| <b>FIGURA 28.</b> VISTA GENERAL TALUDES DE CORTE EN EL PK 13+000.....                            | 60 |
| <b>FIGURA 29.</b> SECCIÓN DEL TALUD EN EL PK 16+200.....   | 62 |
| <b>FIGURA 30.</b> TALUD DE CORTE EN PK 22+000.....   | 63 |
| <b>FIGURA 31.</b> FICHAS RESUMEN DE LOS SONDEOS 1 Y 2 REALIZADOS EN LA RUTA NACIONAL NO.606..... | 65 |
| <b>FIGURA 32.</b> FICHAS RESUMEN DE LOS SONDEOS 3 Y 4 REALIZADOS EN LA RUTA NACIONAL NO.606..... | 66 |
| <b>FIGURA 33.</b> MAPA DE CONDICIÓN Y UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA.....                       | 74 |



## 1. POTESTADES

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), es una dependencia de la Universidad de Costa Rica (UCR) especializada en la Ingeniería Civil. La ley N°8114 en sus artículos 5 y 6, encomienda al LanammeUCR una serie de funciones 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.

Esta labor de fiscalización es ejecutada por funcionarios de la Unidad de Gestión Municipal y la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional, del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR, dentro del marco legal de la Ley 8114.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 Antecedentes

Los trabajos de mejoramiento llevados a cabo en esta Ruta Nacional por parte de la Administración, han sido objeto de evaluación y evaluación por parte de funcionarios del PITRA-LanammeUCR desde el año 2013. Las labores realizadas por el LanammeUCR han incluido la evaluación directa en el campo y la ejecución de ensayos de laboratorio para determinar, entre otros aspectos, la evolución de la condición que ha presentado la infraestructura a lo largo de estos años, la calidad de los materiales utilizados, las condiciones que propician los problemas de inestabilidad de taludes y rellenos, la condición de la superficie de ruedo, el mantenimiento de los sistemas de drenaje, las afectaciones al medio ambiente y la vulnerabilidad de las obras construidas en este tramo de carretera.

Producto de dichas evaluaciones, las observaciones y recomendaciones pertinentes han sido remitidas a la Administración mediante los siguientes cinco informes:



Tabla 1. Informes de evaluación y fiscalización emitidos por el LanammeUCR referentes a la Ruta Nacional No.606 Sección Guacimal-Santa Elena.

| Informe               | Fecha de remisión        |
|-----------------------|--------------------------|
| LM-PI-UGERVN-009-2013 | 24 de setiembre del 2013 |
| LM-PI-UGERVN-001-2015 | 3 de febrero del 2014    |
| LM-PI-UE-001-2016     | 24 de mayo del 2016      |
| LM-PI-UE-007-2017     | 26 de octubre del 2017   |
| LM-PI-UGERVN-015-2018 | 13 de agosto del 2018    |

En el año 2016, mediante la Contratación Directa 2016CD-000014-0006000001, el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) adjudicó el diseño y la construcción de varias obras en este tramo de la Ruta Nacional 606. Las obras que fueron contratadas incluyeron el suministro y la colocación de materiales para la sub base y la base de la estructura de pavimento, la carpeta asfáltica, la señalización vertical y horizontal, algunos elementos de seguridad vial, estudios básicos, diseño y construcción de obras para la estabilización de los taludes, materiales para control de erosión, construcción de cunetas y otras obras menores. El monto presupuestado para dicha Contratación Directa fue de un poco más de 7400 millones de colones (Oficio CONAVI DIE-07-16-0207, 2016).

Posterior al inicio los trabajos de esta nueva contratación, en los meses de junio y julio del año 2018, funcionarios del LanammeUCR realizaron giras de evaluación en el proyecto. Estas giras tuvieron como objetivos la evaluación de las obras realizadas y la toma de muestras de algunos de los materiales que se estaban utilizando en el proyecto, con el fin de verificar el cumplimiento de las especificaciones y la búsqueda de oportunidades de mejora.

Del resultado de dichas evaluaciones, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Se presenta segregación de materiales durante la colocación de la base estabilizada.
- Se observa contaminación del material granular de sub base.



- Las tres muestras del agregado para subbase granular y agregado para base estabilizada no cumplen con las especificaciones de Abrasión de Los Ángeles de acuerdo con lo establecido en el CR-2010.
- Las muestras de agregado no cumplen las especificaciones del Índice de Durabilidad para la especificación de subbase granular y agregado para base estabilizada.
- Los agregados cumplen las especificaciones del CR-2010 para subbase granular y agregado para base estabilizada, respecto a la forma de las partículas.

La principal conclusión del informe LM-PI-UGERVN-015-2018, de agosto del 2018, fue que “De acuerdo con los resultados obtenidos de los ensayos realizados por el LanammeUCR a las muestras de material granular del Proyecto “Mejoramiento de la Ruta Nacional No.606, Sección: Guacimal – Santa Elena”, este material no cumple con las especificaciones mínimas establecidas en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010 para la construcción de las capas de sub base y base estabilizada, por lo tanto, según la normativa aplicable y a criterio del LanammeUCR, este material no es mecánicamente competente para la construcción de carreteras en Costa Rica.” (Informe LanammeUCR LM-PI-UGERVN-015-2018, 2018).

En enero de este año 2019, posterior a las condiciones de incumplimiento evidenciadas por el LanammeUCR, se cumplió la fecha de finalización contractual establecida para esta Contratación Directa, sin que el contratista lograra cumplir a cabalidad los objetivos del contrato con la Administración.

Con el fin de evaluar nuevamente la condición de la infraestructura construida en este tramo de la Ruta Nacional No.606, funcionarios del Programa de Infraestructura del Transporte del LanammeUCR, procedieron a realizar, en los primeros meses de este año 2019, giras de campo de evaluación y ensayos de laboratorio a los materiales empleados en las obras recientemente construidas.

En este informe de evaluación se presentan los resultados de dichas evaluaciones, junto con una serie de observaciones y recomendaciones para la Administración, con el fin de



que sean consideradas como un insumo para el desarrollo del proyecto en las etapas ulteriores.

## 2.2 Objetivo General

El objetivo general de este informe es evaluar el estado de la infraestructura vial de la Ruta Nacional No.606, sección “Guacimal – Santa Elena”, así como evaluar la gestión que ha llevado a cabo la Administración en la ejecución de los trabajos contratados para el mejoramiento de este tramo de carretera (Contratación Directa 2016CD-000014-0006000001).

Se busca, de esta forma, aportar elementos a considerar por parte de la Administración activa del Estado Costarricense, en la toma de decisiones relativas a la preservación de las obras que han sido efectuadas y las obras que faltan por construir en esta Ruta Nacional.

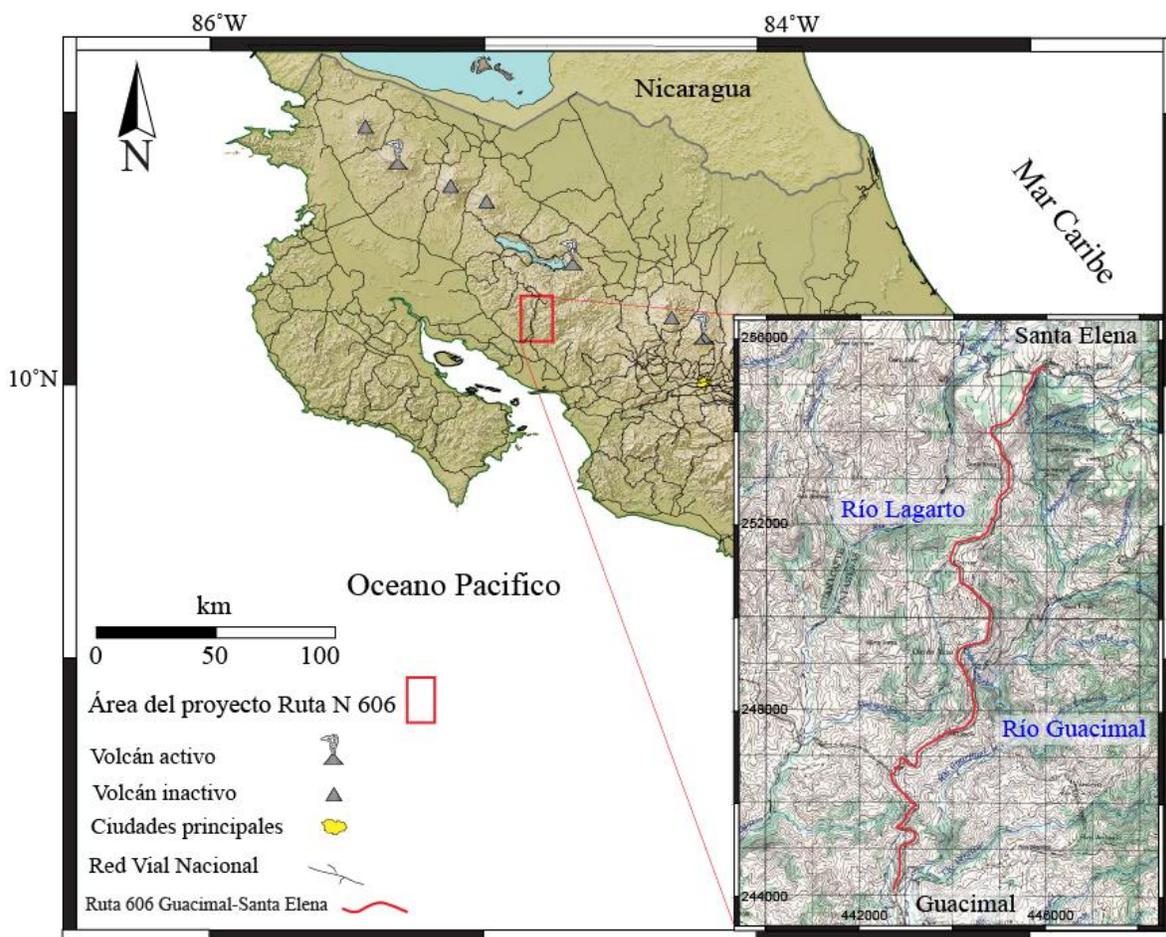
## 2.3 Objetivos específicos

- Evaluar la condición actual de las obras construidas en la sección Guacimal – Santa Elena de la Ruta Nacional No.606. Interesa primordialmente conocer la condición de la sub base granular, la base estabilizada, los sistemas de drenaje y la condición de los taludes.
- Realizar una caracterización geomorfológica y geológica de los taludes de la ruta y sus alrededores. Con el fin de que sirva de insumo para la Administración en la evaluación de la condición actual, la priorización de sectores críticos y el diseño de soluciones para la protección y estabilización de los taludes.
- Obtener muestras del material granular empleado en la construcción de la sub base y la base estabilizada, para su posterior análisis en el LanammeUCR mediante ensayos de laboratorio.
- Determinar el cumplimiento de los materiales granulares recolectados en el proyecto las especificaciones mínimas establecidas en la normativa nacional aplicable.
- Señalar otros elementos vulnerables en este tramo de carretera, que puedan afectar tanto el desempeño de la infraestructura como la seguridad de los usuarios.

- Realizar un inventario vial y evaluación visual por medio de equipos del alto desempeño (Geo3D) para crear un registro de la superficie de rueda.

#### 4. Ubicación

El proyecto fiscalizado se localiza en la parte oriental de la Hoja topográfica 3246-IV Juntas, escala 1: 50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Se analiza el tramo de la Ruta Nacional No.606 entre el sector de Guacimal y Santa Elena. Esta sección atraviesa gran parte de la divisoria que hay entre las cuencas del Río Lagarto y el Río Guacimal (ver Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de ubicación del proyecto.

Se muestra el trazado de la ruta sobre el mapa de Costa Rica con las rutas nacionales, se detalla la ubicación de la Ruta No. 606, entre el sector de Guacimal y Santa Elena.



### 3. NORMATIVA TÉCNICA UTILIZADA

El proceso de fiscalización que está llevando a cabo el LanammeUCR en este proyecto está enmarcado por la siguiente normativa técnica:

- Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010.
- Cartel de Licitación Contratación Directa Concursada 2016CD-000014-0006000001 “MEJORAMIENTO DE LA RUTA NACIONAL No. 606, SECCIÓN: GUACIMAL-SANTA ELENA”. Gerencia de Contratación de Vías y Puentes del Consejo Nacional de Vialidad.
- Contrato MEJORAMIENTO DE LA RUTA NACIONAL No. 606, SECCIÓN: GUACIMAL-SANTA ELENA, Contratación Directa Concursada 2016CD-000014-0006000001, entre el Consejo Nacional de Vialidad y el Consorcio Grupo Orosi.

Ensayos de laboratorio realizados en el LanammeUCR para el presente informe:

- IT-CA-01 (ASTM C 702)  
Procedimiento para reducir muestras de agregado a tamaños de ensayo.
- IT-CA-02 (ASTM C 136)  
Procedimiento para el análisis por mallas de agregado fino y grueso.
- IT-CA-03 (ASTM C 117)  
Método para determinar el material más fino que 0,075 mm por lavado en malla de 0,075 mm (No. 200).
- IT-CA-07 (ASTM C 131)  
Procedimiento para la determinación de la resistencia al desgaste de agregados gruesos hasta de 37,5 mm utilizando la máquina de Los Ángeles.
- IT-GC-05 (ASTM D 4318)  
Procedimiento para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.
- ASTM D-75  
Práctica Normativa para el muestreo de agregados.

### 4. ACTIVIDADES DE EVALUACIÓN Y EVALUACIÓN

Las actividades que se han desarrollado este año para llevar a cabo la evaluación de este proyecto incluyen giras de evaluación en el sitio y recolección de muestras de los materiales utilizados en la construcción de la carretera para su posterior análisis en el LanammeUCR.



Seguidamente se detallan las actividades de evaluación efectuadas, así como las principales observaciones derivadas del análisis de la información.

#### 4.1 Caracterización Geológica y Geomorfológica

Esta sección del informe se realiza con el propósito de detallar y caracterizar de forma general para todo el tramo del proyecto aspectos geomorfológicos y geológicos asociados a los taludes, estos aspectos podrían ser un insumo importante para que se puedan tomar decisiones con un mejor criterio en cuanto a los métodos geotécnicos de estabilización y protección contra la erosión que se van a emplear en diferentes sitios. La caracterización geomorfológica y geotécnica de este trabajo también incluye otros aspectos como: caracterización tectónica y estructural del área de estudio, así como la caracterización y descripción de procesos erosivos que puedan tener un impacto en los taludes del proyecto.

La aplicación de la información aquí recopilada dentro de un modelo geológico podría ayudar a determinar cuáles son los lugares a los que se les debería de dar prioridad en cuanto a su intervención para así disminuir la afectación de los usuarios que utilizan la ruta.

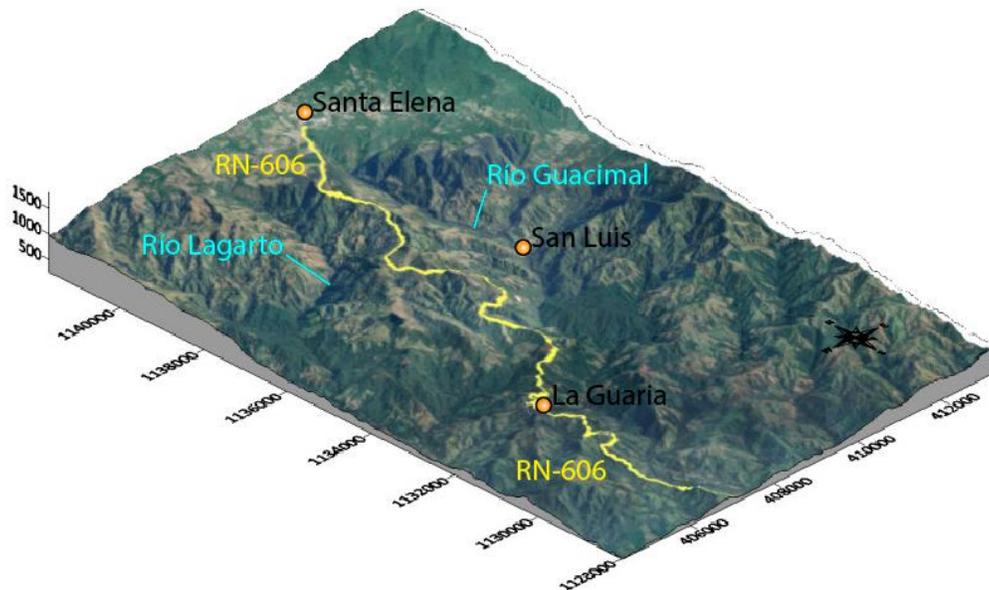
Dentro de los objetivos específicos de esta sección se pueden mencionar:

- Caracterización geomorfológica, basada en observaciones de campo y modelos de elevación digital de la zona de estudio.
- Levantamiento geológico que incluya la descripción de afloramientos rocosos, la descripción litológica y la estratigrafía general de la zona, así como la descripción de las discontinuidades (buzamiento, rugosidad, rellenos, abertura, persistencia de espaciamiento y condiciones de alteración) en los afloramientos rocosos.
- Confirmación de la litología y principales estructuras geológicas y estructurales.
- Obtener datos que podrían servir para generar los modelos geológicos de los principales taludes de la ruta.

## 4.1.2 Geomorfología General

### 4.1.2.1 Topografía y pendientes

La topografía del terreno de la zona donde se ubica el proyecto de la RN-606 es quebrada y montañosa, con valles profundos que son disecados por los ríos Guacimal y Lagarto al Este y Oeste de la ruta respectivamente. Otros ríos y quebradas de importancia de la zona son: Quebrada Salitres, Quebrada Cuarta, Quebrada Camastra y Quebrada Sucia. Excepto Quebrada Cuarta que corre en una dirección E-W todos los demás ríos presentan una dirección de flujo Norte Sur. La dirección fluvial de estos ríos no es completamente lineal ya que presentan una morfología de sistema meándrico en ciertos sectores. También se observan giros muy bruscos en las direcciones de agua que podrían relacionarse con fallas o erosión diferencial por la presencia de rocas intrusivas (Figura2).

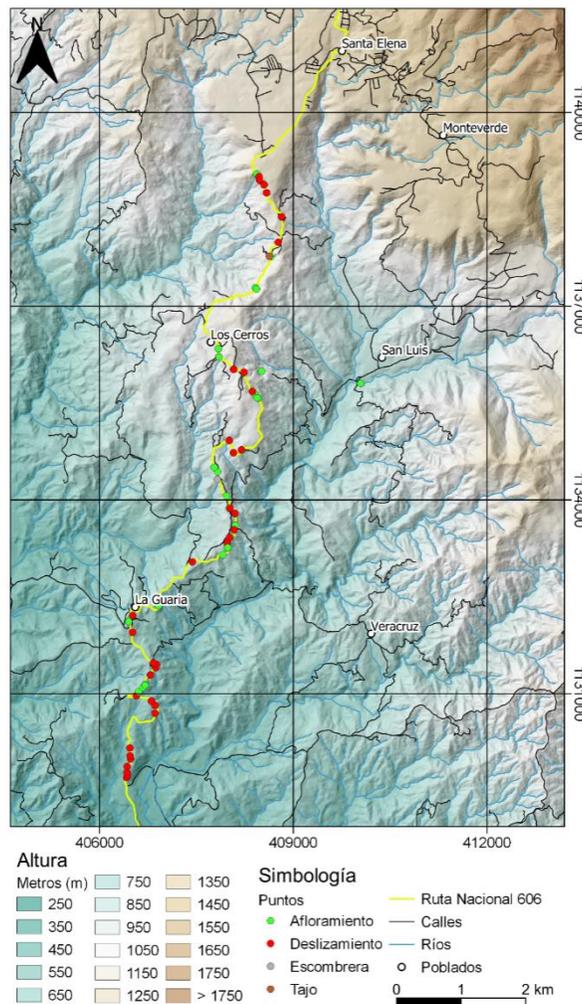


**Figura 2.** Modelo de elevación digital de la zona de estudio.

El MED con fotografías aéreas de la zona por la que atraviesa la Ruta 606 entre Guacimal y Santa Elena y su relación con las cuencas de los ríos Guacimal y Lagarto.



Las diferencias de altitud entre el inicio y el final del proyecto son aproximadamente de 900 m. El poblado de Guacimal se encuentra a 420 m s.n.m. mientras que la entrada a Santa Elena se encuentra a 1320 m s.n.m (Figura 3). Estas diferencias de altitud generan que un porcentaje muy alto de la ruta presente ascensos en dirección hacia Monteverde y muy pocos descensos.

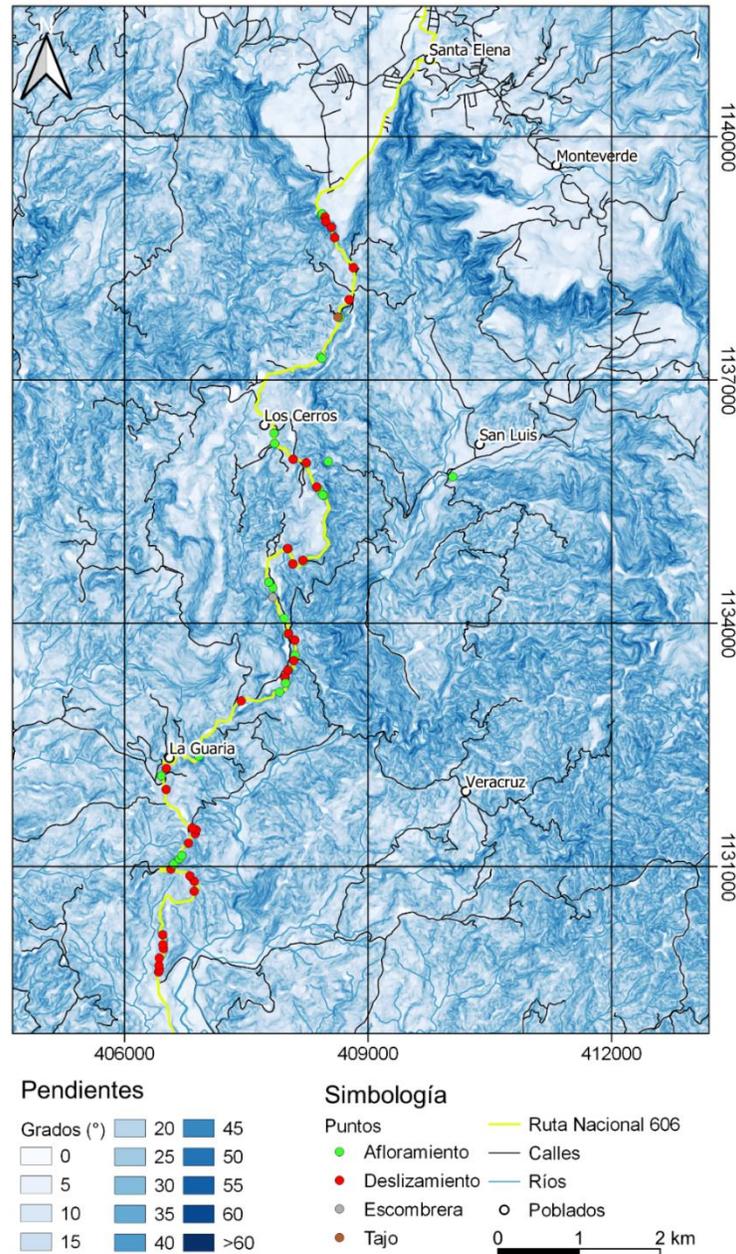


**Figura 3.** Mapa de altitud de la zona de estudio. Muestra la información topográfica con datos de altitud y la ubicación de los sitios estudiados a lo largo del proyecto desde el cruce de Guacimal (PK 6+780) hasta la entrada de Santa Elena (PK 23+650).



En la figura 3 se puede observar que el trazado de la RN-606 está ubicado sobre una fila montañosa que presenta un rumbo promedio casi Norte-Sur, con algunos tramos cortos con rumbos NE-SW, NW-SE y E-W. También se nota que, en algunos sectores, la ruta está ubicada exactamente sobre la divisoria de esta fila montañosa, mientras que otros tramos se ubican en alguna de las dos vertientes de esta. Siendo en este caso, que existen cortes en las laderas originales que dejan expuesta la vía a taludes y terraplenes en sus dos extremos, dejando abierta la posibilidad de que, en caso de deslizamientos, ésta sea afectada por material que se desprende de las laderas y ocasione un bloqueo de la vía, o hundimientos que abarquen la estructura soportante. Los tramos de la ruta que se ubican sobre la divisoria también pueden ser afectados por deslizamientos, sin embargo, estos eventos solamente incluirían terreno que soporta la estructura, causando hundimientos y socavamiento de la carretera.

La relación de las pendientes de la zona de estudio y el trazado por el que va la RN-606 se puede observar en la figura 4. Esta figura fue generada a partir de las curvas de nivel escala 1: 25 000 y muestra la situación general de la zona montañosa por la que atraviesa la carretera. El análisis de este mapa indica que existen características muy importantes de la zona, especialmente al comparar las pendientes altas ( $>30^\circ$ ) con unidades geológicas alteradas y con la presencia de fallas tectónicas en sus alrededores (ver más adelante). A los taludes ubicados en estos sitios, se les deberá de poner mayor atención durante la construcción de la carretera y estabilización de taludes, así como la posición en la que se han colocado las escombreras.



**Figura 4.** Mapa de pendientes de la zona de estudio. Se muestran junto con el trazado de la RN-606, Los puntos representan la ubicación de los sitios específicos que fueron estudiados en este trabajo.



Casi la totalidad del trazado actual de la RN-606 (entre Guacimal y Santa Elena) está ubicado sobre una divisoria. Respecto de la correlación de las pendientes con la posición de la ruta, se puede decir en general, que se observan tres secciones principales con pendientes bien diferenciadas. El primer tramo va desde el inicio del proyecto PK 6+780 hasta el PK12+000, ahí las pendientes son relativamente bajas y no superan los 20° de inclinación en las laderas de la divisoria. La segunda sección de la ruta se ubica entre el estacionamiento PK12+000 y PK21+000, es donde se presentan las pendientes más fuertes con ángulos van entre 25 y 40° principalmente en el sector este de las laderas de la divisoria. La tercera sección se ubica al final del proyecto entre los estacionamientos PK 21+000 y PK 23+650 donde se presentan las pendientes más suaves asociadas con el proyecto y que son muy bajas, no superando los 10°.

Basándose únicamente en las pendientes de la figura 4 y su relación con el trazado de la ruta, la sección intermedia de las tres descritas anteriormente es la que se presenta mayor susceptibilidad intrínseca a eventos de remoción de masa. A continuación, se describirán otros aspectos que también pueden influir en la susceptibilidad a generar deslizamientos, esto para poder realizar un análisis más integral.

La longitud del proyecto y las diferencias de altitud entre la zona donde inicia el proyecto y donde concluye también tiene influencia en cuanto a las zonas de vida que se presenta. Los tipos de zonas de vida se asocian a un nombre de tipo de bosque (según la clasificación de zonas de vida de Holdridge, 1967). Cada una de las zonas de vida se caracterizan por rango de temperatura y precipitación promedio anual como se verá más adelante.

#### **4.1.2.2 Zonas de Vida y Precipitación media anual**

Según la clasificación de tipos de clima basado en las zonas de vida Holdridge, 1967 para la zona del proyecto, la RN-606 presenta cuatro tipos de zonas de vida (tabla 2). Estas zonas de vida son: Bosque húmedo tropical (bh-T), Bosque húmedo transmontano (bh-T transmontano), Bosque húmedo premontano y bosque muy húmedo premontano y se pueden asociar con un patrón de precipitación media anual.



- Bosque húmedo Tropical (bh-T): presenta un ámbito de precipitación entre 1800 y más de 4000 mm de precipitación media anual. En esta zona de vida la estación seca varía de un lugar a otro, siendo entre 0 a 5 meses de duración (Bolaños et al, 2005).
- Bosque húmedo tropical transición a premontano (bh-T): transición entre bosque húmedo tropical y bosque húmedo premontano.
- Bosque húmedo premontano (bh-P): la precipitación anual varía entre 1200 y 2200 mm, y el periodo efectivo seco va de 3,5 a 5 meses.
- Bosque muy húmedo premontano (bmh-P): Esta zona de vida posee un rango de precipitación entre 2000 y 4000 mm como promedio anual.

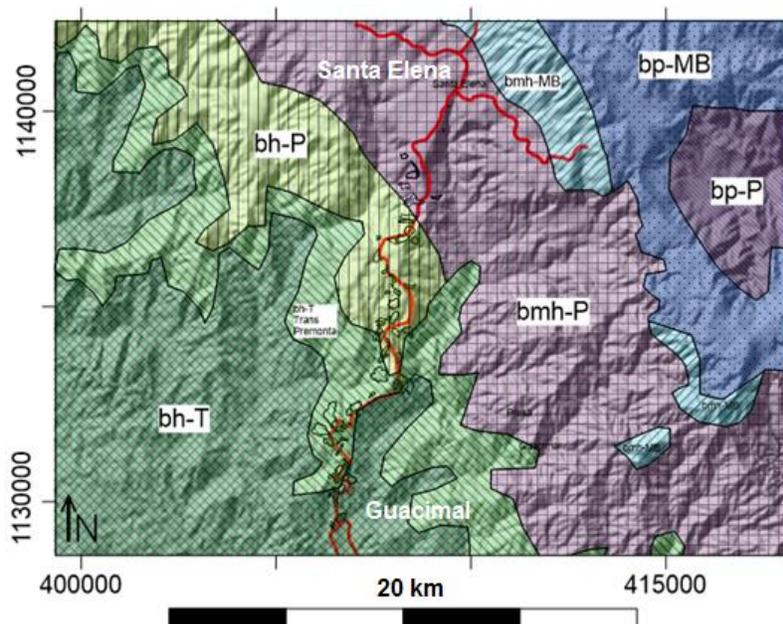
Tabla 2. Se muestran las diferentes zonas de vida que hay en el tramo de la RN-606 que está en estudio. Cada una de estas zonas se asocia con un precipitación máxima y mínima.

| Zona de Vida      | Nombre                       | Precipitación min. (mm/año) | Precipitación max. (mm/año) |
|-------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| bh-T              | bosque húmedo tropical       | 1800                        | 4000                        |
| bh-T transmontano | bosque húmedo transmontano   | 1400                        | 2800                        |
| bh-P              | bosque húmedo premontano     | 1200                        | 2200                        |
| bmh-P             | bosque muy húmedo premontano | 2000                        | 4000                        |

Conocer la distribución media de la precipitación a lo largo del año en una zona susceptible a deslizamientos es un aspecto importante. Las lluvias constituyen uno de los principales agentes erosivos y propician eventos de remoción de masa. La erosión puede disminuir en sitios protegidos por una cubierta vegetal, mientras que tiende a aumentar en lugares donde se ha removido la vegetación por deforestación, para hacer cortes en taludes o para desarrollar actividades antrópicas como ganadería o agricultura. La precipitación anual

media también se puede relacionar con la saturación de las laderas y mientras más saturadas estén serán sujetas a una mayor ocurrencia de deslizamientos.

En la figura 5, se muestra la relación entre las diferentes zonas de vida y el tramo de la RN-606. La sección de menor altitud del proyecto se asocia con la zona de vida tipo bosque húmedo tropical (bh-T), aproximadamente un 12 % del proyecto se encuentra en esta zona de vida que puede presentar precipitaciones de entre 1800 a 4000 mm/año. La siguiente zona de vida relacionada con la altitud es la de bosque húmedo transmontano (bh-T transmontano). Un 28 % de la ruta se asocia con ese tipo de zona de vida donde hay precipitaciones de entre 1400 a 2800 mm/año. La tercera sección de la ruta en cuanto a altitud está dentro de la zona de vida llamada bosque húmedo premontano (bh-P), corresponde con un 42% (el más extenso) de todo el tramo y presenta un rango de precipitaciones de entre 1200 y 2200 mm/año. El último tramo del proyecto está dentro de la zona de vida llamada bosque muy húmedo premontano (bmh-P), corresponde con un 12 % de todo el proyecto y presenta un rango de precipitaciones de entre 2000 a 4000 mm/año.



**Figura 5.** Mapa de zonas de vida asociadas con la ruta.

En este mapa se muestra la relación del proyecto de la RN-606 (línea de color rojo) con las diferentes zonas de vida de Holdrige que atraviesa. Cada zona de vida se asocia con diferentes rangos de precipitaciones máximas y mínimas que se muestran en la tabla 2.



De acuerdo con los datos de la tabla 2 y el mapa de la figura 5, en el proyecto se presenta una variabilidad de climas que puede generar un mínimo de 1400 mm de lluvia por año hasta 4000 mm de lluvia por año como máximo. Estos datos son estimaciones basados en el tipo de vegetación que se encuentra en cada una de las zonas y no se consideran datos exactos, por lo que sirven como una primera aproximación de las condiciones del lugar. Para el diseño de los taludes de la RN-606 se recomienda que lo más adecuado sería mejor utilizar los records históricos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona del proyecto.

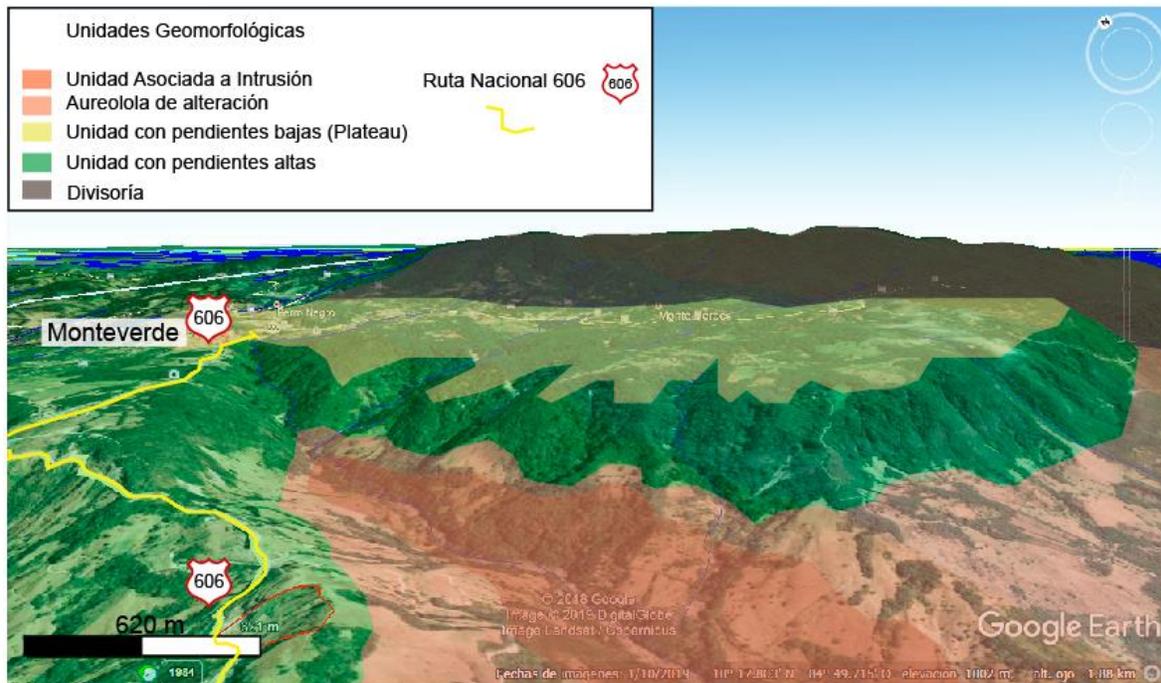
Otro aspecto que hay que tomar en cuenta es que las zonas de vida no incluyen procesos meteorológicos como El Niño o la Niña ni variaciones asociadas al Cambio Climático. Ese tipo de variaciones climáticas son importantes y deberían de considerarse en modelaciones relacionadas con el proyecto.

Para poder relacionar aún mejor la precipitación de una zona con la ocurrencia de deslizamientos y el diseño de taludes, se debe de trabajar con datos de umbrales de precipitación de eventos disparadores y bases de datos de los deslizamientos generados. Para esto hay que utilizar registros de precipitaciones locales y tener bases de datos lo más completas posibles de los deslizamientos que fueron disparados por un evento en particular. Además, hay que tomar en cuenta otros aspectos como tipo de roca, grado de meteorización, pendientes de los taludes entre otros. Hay que considerar que la cantidad de lluvia infiltrada necesaria para que se generen deslizamientos puede variar de una ladera a otra, por lo tanto, el establecimiento de umbrales de precipitación para una zona de estudio va a depender de la homogeneidad de las laderas también (González Díez et al., 2005).

#### **4.1.2.3. Geomorfología**

Geomorfológicamente el área de estudio asociada al proyecto en la RN-606 presenta cuatro unidades bien diferenciadas por sus pendientes, procesos denudacionales y origen litológico. La relación de la geomorfología con las formaciones litológicas es casi directa por lo que el mapa geomorfológico es muy similar al mapa geológico. Las unidades geomorfológicas que se han considerado son: 1. Unidad denudacional de pendiente suave a media asociadas al Grupo Aguacate, 2. Unidad denudacional de pendientes media a alta

asociadas con el Intrusivo de Guacimal, 3. Unidad denudacional de pendientes fuertes a medias asociada con la Formación Monteverde y 4. Unidad de Meseta asociada con un plateau de lavas que pertenece a la Formación Monteverde. A continuación, se detallan los principales aspectos de estas unidades y en la figura 6, y el mapa geomorfológico de la zona de estudio (Figura 7).



**Figura 6.** Geomorfología de la zona de estudio

Unidades geomorfológicas presentes en la sección superior del proyecto de la RN-606.

Descripción de las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio.

1. Unidad denudacional de pendiente media a suave que se asocia al Grupo Aguacate. Esta unidad se encuentra ubicada en las partes de menor altitud del sector este y oeste de la fila por donde va la RN-606 y hacia el poblado de Guacimal, las pendientes de 8 a 35° están presentes cerca de los cauces de los ríos Lagarto y Guacimal. Cerca del poblado de San Luis al Norte las rocas asociadas a esta unidad geomorfológica se encuentran con metasomatismo debido a la interacción que tuvieron con el intrusivo. Las pendientes en este sector van de 16° a 35° por lo que su susceptibilidad a generar deslizamientos se incrementa. Presenta un drenaje dendrítico que se puede ver interrumpido por fallas o



erosión diferencial. Su origen se debe a materiales volcánicos meteorizados y fuertemente erosionados.

2. Unidad denudacional de pendientes media a alta asociadas con el Intrusivo de Guacimal. Esta unidad se localiza principalmente en el sector bajo de la cuenca del río Guacimal. Presenta pendientes con ángulos entre  $16^\circ$  y  $35^\circ$ , en algunos casos son superiores. Este tipo de pendiente se debe a la resistencia del intrusivo a procesos de meteorización y erosión por lo que deja escarpes más pronunciados en comparación con litologías presentes en el Grupo Aguacate. Dentro de esta unidad se incluyen también las zonas que se asocian a la aureola de alteración generada por el intrusivo. Presenta un drenaje dendrítico que se puede ver interrumpido por fallas o erosión diferencial.

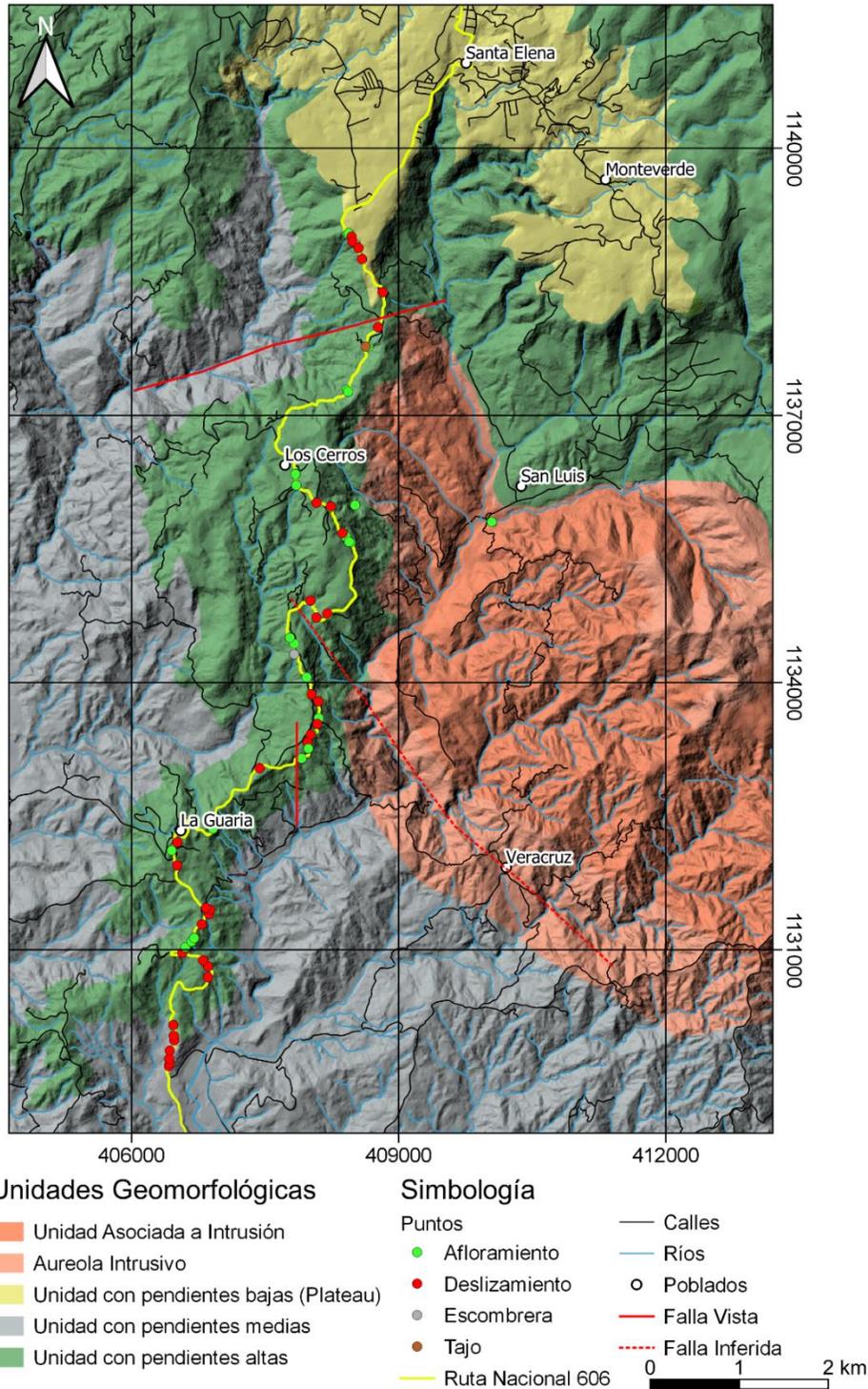
3. Unidad denudacional de origen ígneo con pendientes altas y moderadas, corresponde con las volcanitas levantadas y basculadas que por los procesos denudacionales se han erosionado fuertemente. Se asocia con la unidad la Formación Monteverde. Esta morfología presenta pendientes altas ( $35^\circ$ - $55^\circ$ ) y moderadas ( $16^\circ$ - $35^\circ$ ). Su forma actual se debe a la erosión diferencial de rocas ígneas de tipo volcánicas (lavas-andesitas y basaltos) que han sido afectadas por meteorización, alteración hidrotermal y fallamiento local. Las rocas alteradas se han erosionado más rápido que las rocas sanas ayudando a moldear la topografía actual. El patrón de drenaje presente es dendrítico, paralelo y subparalelo. Las quebradas que atraviesan la ruta en la vertiente Oeste son afluentes del Río Lagarto, mientras que las quebradas que cortan la ruta en la vertiente Este son afluentes del Río Guacimal. Generalmente las zonas más propensas a presentar deslizamientos están constituidas por rocas alteradas y en zonas de pendiente moderada y alta. Su origen se debe a materiales volcánicos meteorizados y fuertemente erosionados.

4. Esta unidad geomorfológica corresponde con la meseta de Monteverde, el cambio de topografía asociado a esta morfología inicia cerca de Santa Elena y sube hasta la divisoria continental (fuera del área de estudio). Esta unidad tiene pendientes fuertes, desde los 1400 a 1600 m s.n.m., posteriormente se mantiene constante entre 1600 – 1700 m s.n.m. con pendientes muy suaves entre  $0 - 8^\circ$ . Su origen se debe a coladas de lava que formaron una meseta y que ha sido muy poco disectada. Presenta patrones de drenaje subradiales a subparalelos que se alargan en dirección noroeste del eje de la meseta.



Las unidades que se acaban de describir se presentan en el mapa geomorfológico (Figura 7) donde se puede observar cómo el tramo en estudio de la RN-606 atraviesa en mayor porcentaje la unidad con pendientes altas asociadas a los productos de la Formación Monteverde y solamente al inicio tiene una sección que se asocia con el Grupo Aguacate que presenta pendientes más suaves. Al final, el proyecto atraviesa nuevamente productos de la Formación Monteverde, pero presenta pendientes muy bajas ya que están asociados con la meseta de lavas.

Integrando el mapa geomorfológico con los datos de las pendientes de la figura 4 y el trazado de la ruta, deducimos que la sección entre el estacionamiento PK12+000 y PK21+000, es la que presenta mayor susceptibilidad intrínseca a eventos de remoción de masa. Las pendientes entre los estacionamientos PK 6+780 y PK 12+000 son más suaves que la sección descrita anteriormente por lo que la susceptibilidad intrínseca a deslizamientos es menor y finalmente, la sección entre los estacionamientos PK21+000 y PK 23+650 presenta baja susceptibilidad debido a las pendientes tan suaves que la constituye. Esta última sección tiene una excepción en los taludes de la ruta cerca del estacionamiento PK 22+000 ya que, al cortar la zona de transición de la meseta, las pendientes de los taludes quedaron muy elevadas, tal y como se muestra en el detalle de esos sitios más adelante.



**Figura 7.** Mapa geomorfológico de la sección asociada a la RN-606.

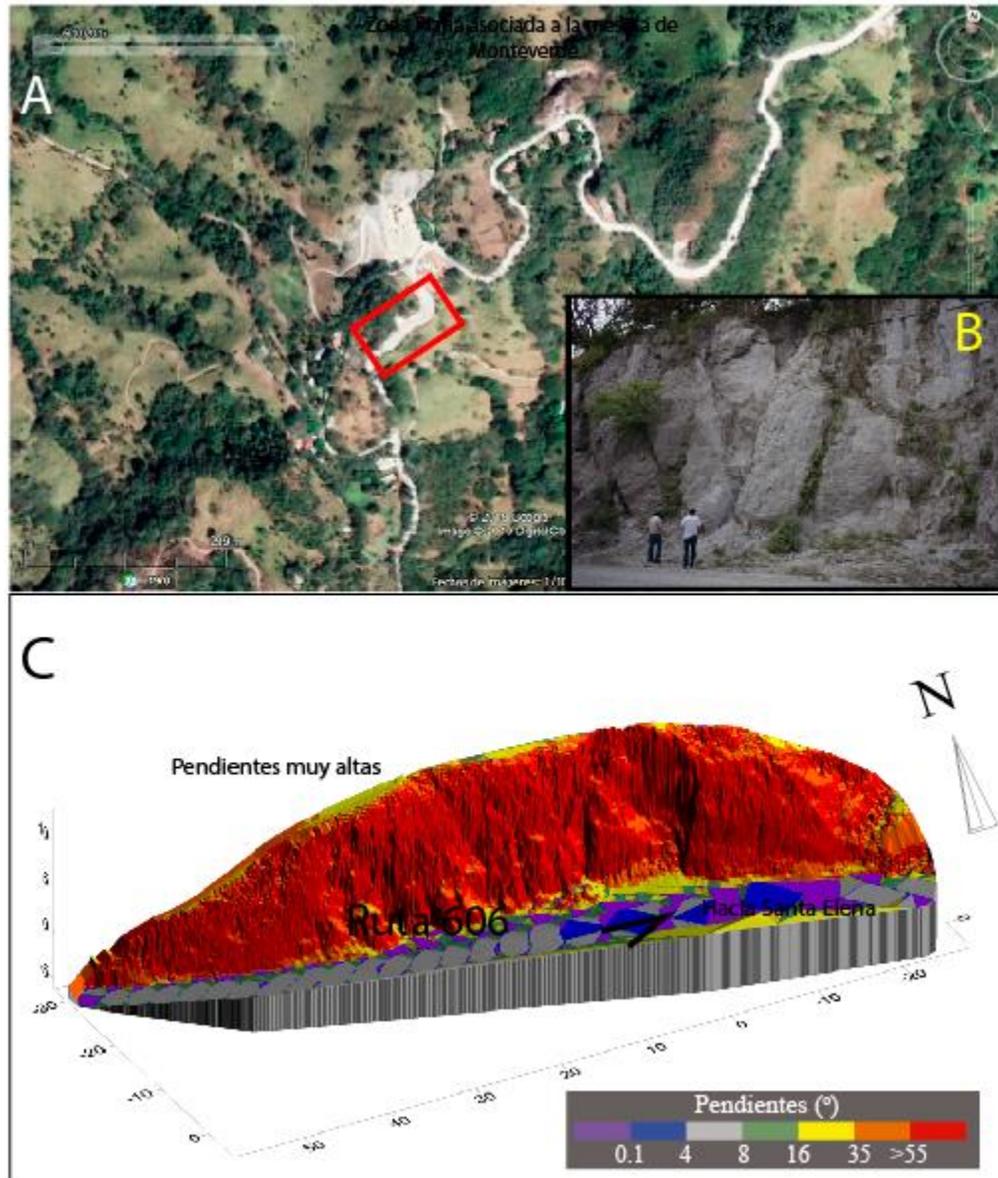


Las estructuras tectónicas (fallas) presentes en la zona de estudio se describen en detalle en la sección de geología. La relación de las estructuras presentes con las unidades morfológicas se da principalmente en los sistemas de drenaje, ya que, existe una alineación de los cauces principales. Estos alineamientos se dan principalmente en el sentido Norte – Sur algunos como el de río Guacimal por varios kilómetros.

Después de la tormenta Nate en octubre 2017 se observaron varios deslizamientos en las zonas de montañosas relacionadas con la unidad geomorfológica de pendientes altas. También se identificaron algunos eventos en la unidad de pendientes más moderadas y bajas. Sobre la RN-606 se presentaron algunos movimientos de masa que se reportan en el catálogo de deslizamientos del proyecto. Sin embargo, no todos los deslizamientos se pueden asociar con el paso de la Tormenta Nate, algunos se dieron mucho antes de ese evento y otros son posteriores.

Como se detalla más adelante en este trabajo, la densidad de deslizamientos en la zona de estudio y sobre le RN-606, se da principalmente en el tramo que está sobre la unidad de denudacional de origen ígneo con pendientes altas y moderadas asociadas a la Formación Monteverde. Los deslizamientos presentes ocurren en los taludes de corte que se han realizado durante la construcción de la carretera. Son principalmente de tipo traslacionales, algunos rotacionales y además en varios taludes se presentan eventos de caída de bloques.

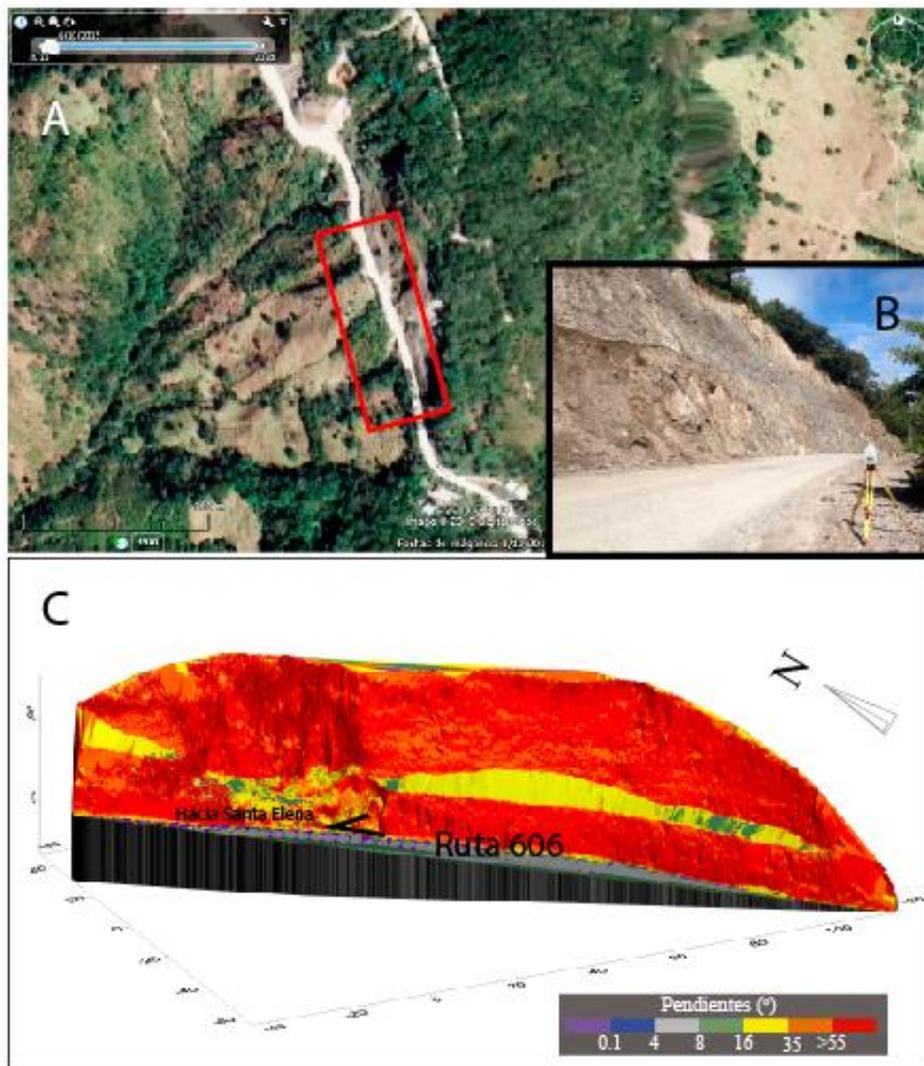
Uno de los taludes sobre la RN-606 donde el LanammeUCR ha dado seguimiento y recolectado datos por caída de bloques de gran tamaño, es el talud del estacionamiento del kilómetro 10+730. Este es un talud con pendientes muy altas ( $> 55^\circ$ ) en lavas muy fracturadas y fácil de disgregar por erosión hídrica. La longitud del talud es cercana a los 60 m y tiene una altura de unos 10 m (Figura 8). En este lugar se han dado eventos con bloques de tamaño métrico. Estos bloques caen por gravedad desde una altura máxima de 10 metros. La caída de estos bloques se origina por fracturas de descompresión que permiten el ingreso de agua y generan erosión desprendiendo los bloques que caen por el peso al perder el sustento.



**Figura 8.** Geomorfología talud kilómetro 10+730

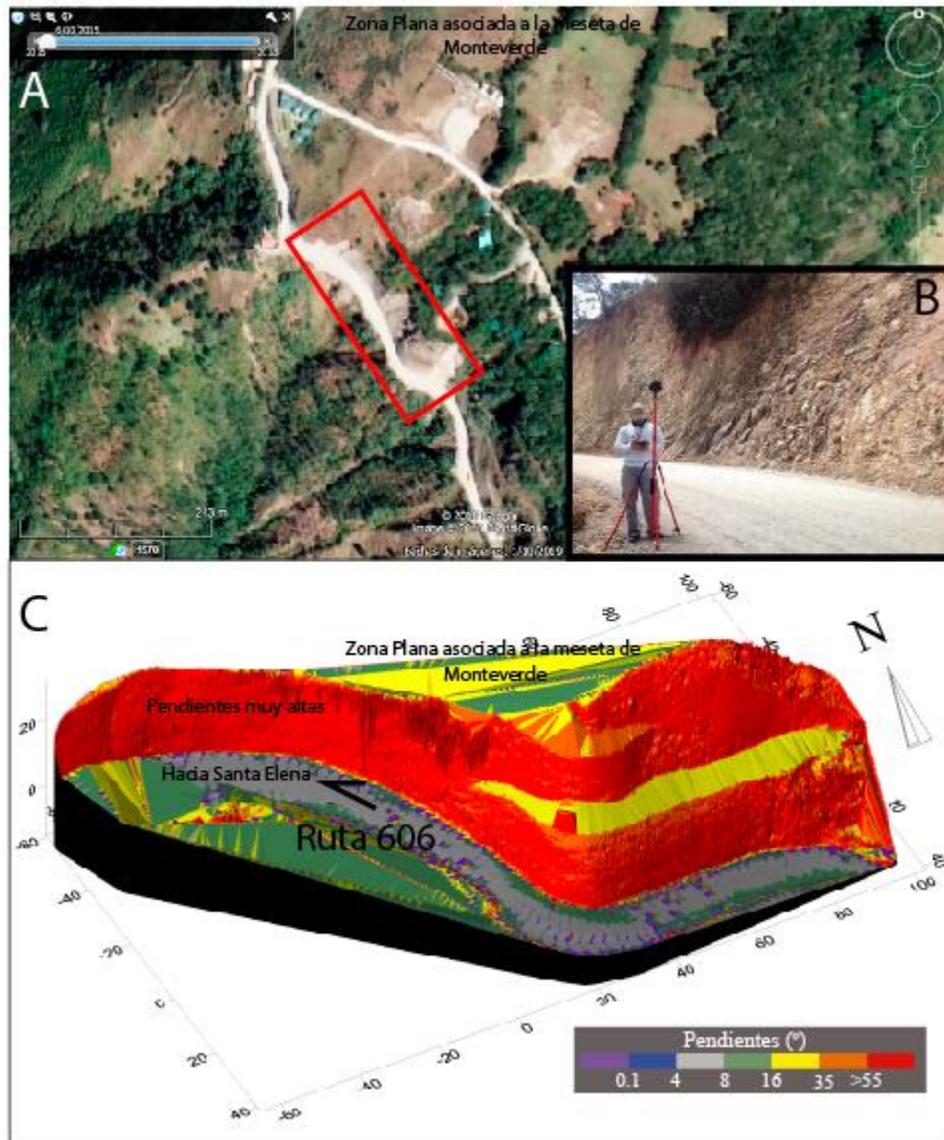
A) Vista aérea del kilómetro 10+730, imagen obtenida de Google Earth. B) Fotografía del talud y los bloques que pueden colapsar vistos desde la carretera. C) Modelo de elevación digital con información de las pendientes del talud de kilómetro 10+730, generado con datos LIDAR por la UGERVN.

En el mapa geomorfológico (Figura 7), se pueden ver algunos deslizamientos sobre la RN-606 en el sector norte que están en contacto con la unidad de pendientes bajas de meseta o Plateau, esos deslizamientos corresponden a los taludes ubicados en los estacionamientos del kilómetro 20+000 hasta 22+000 donde el borde de ese plateau o meseta es cortado por el trazado de la carretera y han quedado taludes con pendientes muy altas y una zona plana en la parte superior como se ve en las siguientes figuras 9.



**Figura 9.** Geomorfología talud kilómetro 20

A) Vista aérea del kilómetro 20, imagen obtenida de Google Earth. B) Fotografía del talud del kilómetro 20 desde la carretera. C. Modelo de elevación digital con información de las pendientes del kilómetro 20, generado con datos LiDAR por la UGERVN.



**Figura 10.** Geomorfología talud kilómetro 21.

A) Vista aérea del kilómetro 21 B, imagen obtenida de Google Earth. B) Fotografía del talud del kilómetro 21 desde la carretera. C. Modelo de elevación digital con información de las pendientes del kilómetro 21, generado con datos LiDAR por la UGERVN.

Pese a que se han realizado algunos trabajos para mejorar la geometría del talud ubicado en el kilómetro 21, sigue presentando pendientes muy altas y el manejo de agua no es el más adecuado (Figura 11). Los procesos de escorrentía y erosión podrían generar deslizamientos en este sector.

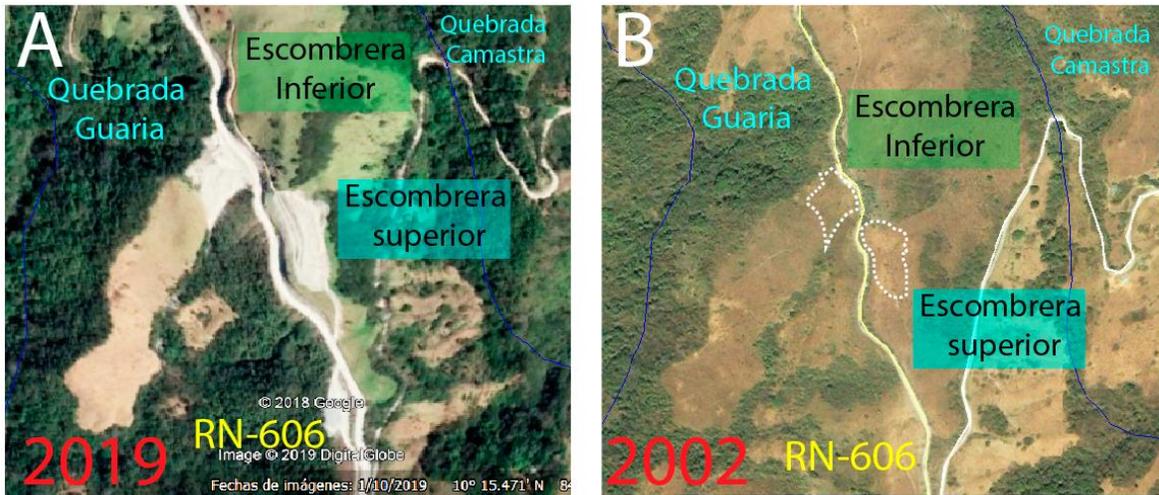


**Figura 11.** Fotografía del talud kilómetro 21

Talud ubicado en el estacionamiento 21+000. Se aprecia la pendiente casi vertical en el talud y la parte plana en la cima. Sobre la carretera se observa la capa de protección que se colocó para que no se perdieran los trabajos realizados hasta ese momento. Fotografía tomada en marzo 2019

Además de los taludes descritos anteriormente, donde se presentan deslizamientos importantes, en el área de estudio se han generado cambios antrópicos en la geomorfología necesarios de considerar ya que podrían ser sitios propensos a procesos de remoción de masa. Estos sitios están relacionados con la construcción de la carretera y están ubicados sobre la unidad geomorfológica de pendientes altas, relacionadas con la Formación Monteverde.

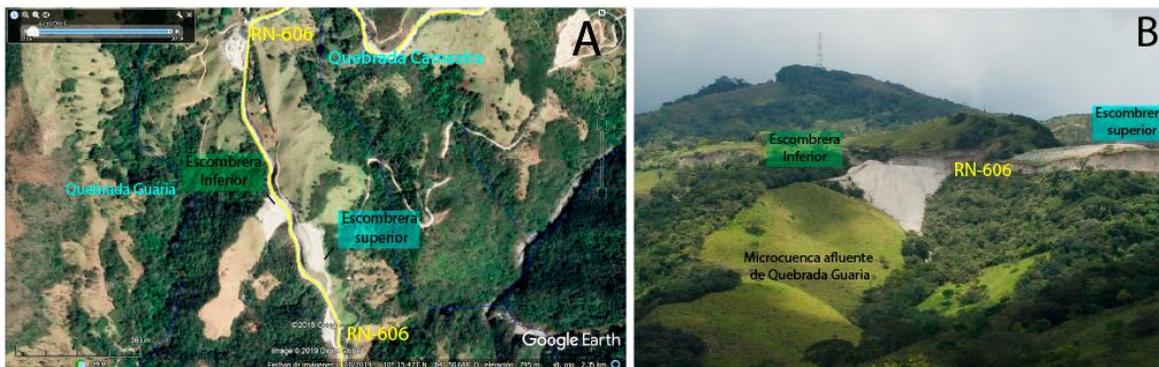
El cambio geomorfológico de estos lugares es notorio si se utilizan imágenes de Google Earth para comparar como era el terreno a lo largo de varios sectores de la ruta en el año 2002 (antes de iniciar la construcción de la carretera) y el año 2019 (ver figura 12).



**Figura 12.** Imágenes aéreas de escombreras.

Comparación de imágenes satelitales de Google Earth entre el año 2002 y 2019 donde se observa cómo se ha modificado la morfología debido a lo colocación de material en diferentes sectores que presentan pendientes muy altas.

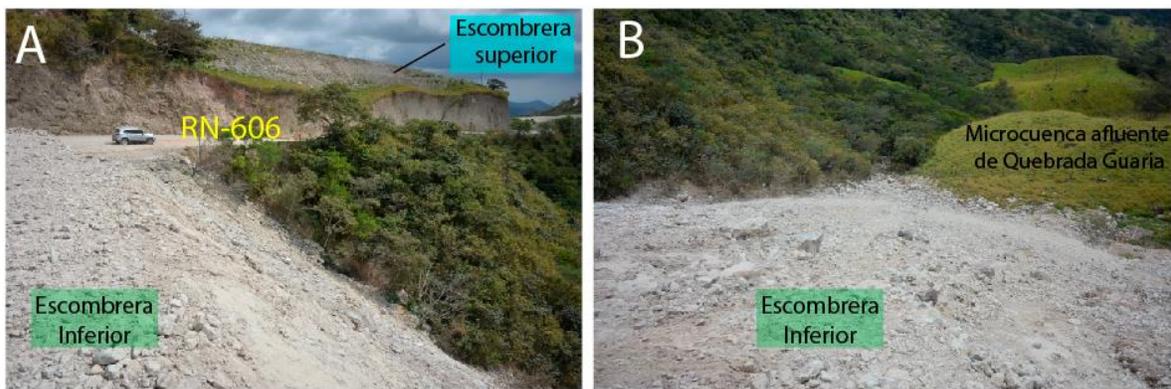
En esta escombrera se colocó material removido de los taludes y ahora está en la parte superior de una loma (escombrera superior) y en la cabecera o zona colectora de una microcuenca que es afluente de la Quebrada Guaria (escombrera inferior) ver la Figura 13.



**Figura 13.** Imágenes de escombreras.

A) Imagen aérea tomada de Google donde se aprecia la ubicación de las escombreras que han modificado la geomorfología de la zona de estudio. B) Fotografía oblicua donde se puede ver claramente como el material lanzado en la parte superior de la microcuenca que es afluente de la Quebrada Guaria no está contenido.

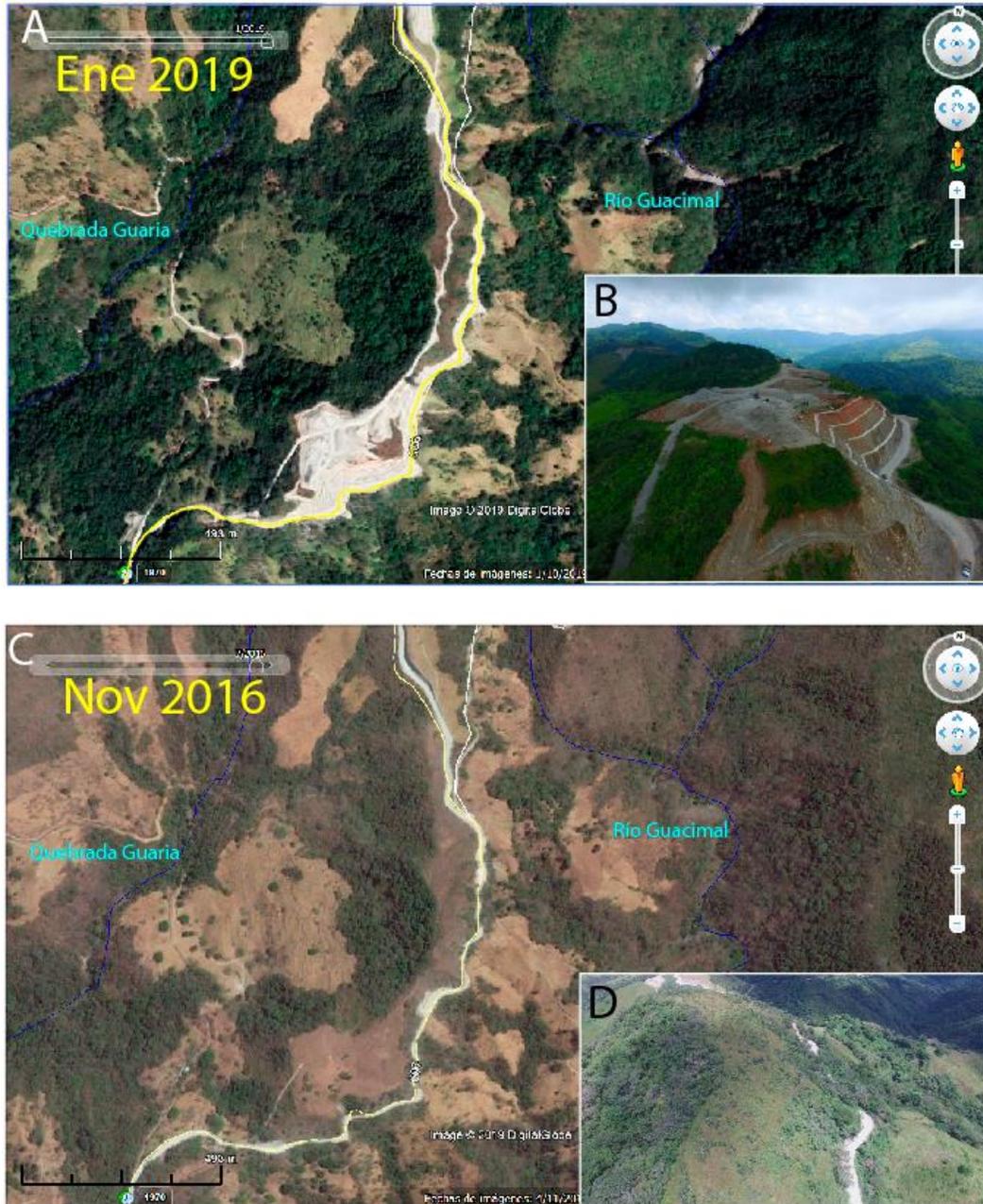
El principal problema que representan estos cambios en la morfología es que el material colocado en esas zonas no fue adecuadamente compactado y las escombreras no cuentan con un diseño, situación verificada en el análisis documental del proyecto. Por los intensos procesos de erosión generados por la falta de vegetación y escorrentía, estas escombreras tienen características que las hace muy vulnerables a deslizamientos (Figura 14).



**Figura 14.** Imágenes de escombreras

A) Fotografía donde se observa la escombrera superior e inferior y la RN-606. B) Vista desde la escombrera inferior hacia la microcuena que es afluente de la Quebrada Guaria. En ambas imágenes se pueden ver los altos ángulos que presentan los materiales que fueron apilados en este sitio, la falta de vegetación y algunos bloques removidos y desplazados pendiente abajo.

Otro de los sitios donde se generó un cambio en la morfología debido a la construcción de la carretera es entre el estacionamiento del kilómetro 13+000 y 14+000. Aquí se realizó una intervención sobre una montaña perteneciente a la Unidad de pendientes altas asociada a Monteverde donde se hicieron cortes en taludes para generar una topografía de bermas y reducir la pendiente. Para observar el cambio se utilizan imágenes satelitales de Google Earth y fotografías aéreas tomadas por este laboratorio mediante vehículos aéreos no tripulados (ver figura 15).



**Figura 15.** Imágenes del talud en el kilómetro 13.

Comparación de imágenes entre el año 2016 y 2019. A) Imagen satelital tomada de Google Earth de enero 2019. B) Fotografía aérea capturada con un VANT de los taludes del kilómetro 13+000. C) Imagen satelital tomada de Google Earth de noviembre 2016. D) Fotografía aérea capturada con un VANT de la montaña antes de hacer los cortes del kilómetro 13+000.



#### 4.1.3 Geología del área de estudio

La geología del área de estudio que está presente en el tramo de la RN-606 desde el cruce de Guacimal (PK 6+780) hasta la entrada de Santa Elena (PK 23+650) está definida de forma general, por rocas volcánicas pertenecientes al Grupo Aguacate de edad Mioceno tardío a Plioceno, rocas de la Formación Monteverde (Pleistoceno Temprano) y sobre ellas, depósitos recientes de aluviones y coluvios. Entre los principales materiales del Grupo Aguacate, están las lavas muy meteorizadas. Para la Formación Monteverde los productos en mayor proporción son lavas, en menor proporción las brechas, rocas piroclásticas y epiclásticas. Además, en las cercanías del río Guacimal, cerca del poblado de San Luis, aflora El Intrusivo de Guacimal, este cuerpo plutónico es de composición granítica (de edad Mioceno terminal – Plioceno inicial). Se considera que este cuerpo es el responsable de diferentes zonas de alteración hidrotermal de las rocas del Grupo Aguacate que intruye.

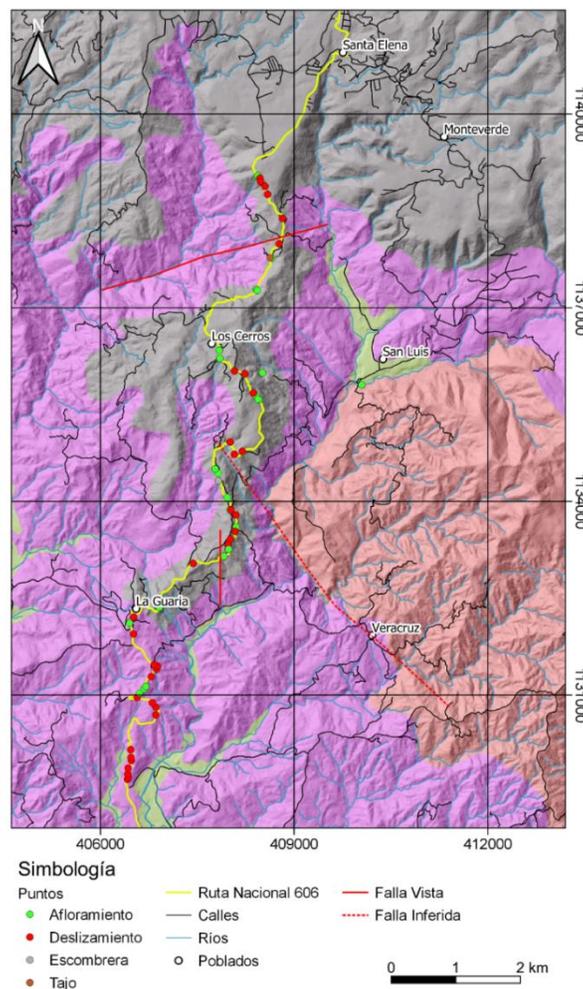
Para establecer la geología detallada, se hizo un levantamiento geológico minucioso de 55 sitios de la sección de la ruta entre Guacimal y Santa Elena, así como afloramientos cerca del poblado de San Luis. El trabajo en la RN-606 se enfocó en taludes y sitios que tuvieran o hayan tenido algún problema geotécnico evidente o donde se pudiera desarrollar algún proceso que con el tiempo implicara inestabilidad para el sitio. Se incluyen, tajos informales, taludes de corte y relleno (relacionados con la construcción de la carretera), taludes naturales y sitios donde se ha depositado material removido para generar escombreras.

En cada uno de los lugares caracterizados geológicamente (ver figura 16) se identificó el tipo de roca y su asociación con la litología correspondiente, ya sea Grupo Aguacate Formación Monteverde o el Intrusivo de Guacimal. Aunque en las zonas de baja altitud de los primeros kilómetros del tramo, se supone que hay material del Grupo Aguacate, este no fue asociado con ninguno de los sitios estudiados en detalle en este trabajo.

Los taludes estudiados y asociados con la Formación Monteverde se agruparon en cinco principales tipos de litología que aparecen en varios puntos de la carretera y que se agruparon en subunidades informales. Estas subunidades son: 1) Andesitas Basáltica Santa Elena, 2) Andesitas Lindora, 3) Tefras Lindora, 4) Andesitas La Guaria y 5) Riodacitas La Guaria.

Como se mencionó anteriormente, en el sector de San Luis, al este del proyecto, se caracterizaron varios afloramientos de roca que se asocian con el Intrusivo de Guacimal. Aunque este material no aflora en los taludes del de la RN-606, se consideró su análisis para recopilar información y sea esta un insumo en caso de que se llegue a considerar estas rocas como posible fuente de material para agregado, base o sub-base.

En la figura 16 se presentan los sitios estudiados en relación con el mapa geológico escala 1: 50 000 que generado para el área de estudio.



**Figura 16.** Mapa Geológico de la zona de estudio.

Sitios estudiados a lo largo del proyecto de la RN-606 desde el cruce de Guacimal (PK 6+780) hasta la entrada de Santa Elena (PK 23+650) y su relación con las litologías presentes en el área de estudio, según el mapa geológico escala 1: 50 000.



## Unidad Riodacitas La Guaria

Esta unidad aflora en la Guaria, donde se encuentra el talud del kilómetro 10+730 con bloques decimétricos a métricos con colores grisáceos claros. Žáček *et al.*, (2012) describen una riolita que tiene un color gris claro y granulometría media, ligeramente porfirítica, en su mayoría muy fisurada y con desintegración en cuadrados.



**Figura 17.** Fotografía kilómetros 10+730

Talud del estacionamiento kilómetros 10+730 donde afloran las lavas riodacitas en forma de bloques de tamaño métrico.

Petrográficamente es una roca con textura afaníticaporfirítica de color gris claro, con fenocristales de cuarzo con un tamaño máximo de 1,5 x 1 mm en un 10%, fenocristales de feldespato con un tamaño máximo de 2,5 x 1,5 mm en un 10% y fenocristales de biotita con un tamaño máximo de 2 mm en un 5% aproximadamente, algunos de estos fenocristales se encuentran alterados.

Para esta unidad no hay una edad asignada, según Žáček *et al.*, (2011) mencionan que no se pudo realizar análisis químico de estas rocas debido a la ausencia de muestras sanas,



Alvarado y Gans (2012) le asignan una edad 1,71- 1,59 Ma. Esta unidad se encuentra sobre yaciendo al Intrusivo Guacimal.

### **Unidad Andesitas y Piroclastos Monteverde**

Se divide esta unidad en cuatro subunidades debido al cambio mineralógico y de texturas en: subunidad Andesitas La Guaria, subunidad Tefras Lindora, subunidad Andesitas Lindora y subunidad Andesitas basálticas Santa Elena.

#### *Subunidad Andesitas La Guaria*

Esta unidad aflora cerca del poblado de Lindora, se observan afloramientos en el tramo de carretera desde la Lindora hasta La Guaria. Definidas por Chaves & Sáenz (1974) como Miembro Monteverde del Grupo Aguacate, refiriéndose a lavas y tobas andesíticas a riodacíticas. Kussmaul & Sprechmann (1982) consideraron estas lavas como andesíticas similares a las emitidas por los volcanes actuales del arco magmático Cuaternario. Según Žáček et al. (2011), está conformada por lavas andesíticas.

Petrográficamente se describe una roca con textura afanítica-porfirítica, matriz grisácea en un 60%, plagioclasa con tamaño promedio de 2 mm en un 32% y piroxeno con un tamaño promedio de 1,5 mm en un 8%. En esta unidad se observan xenolitos y existe una zona de silicificación que preserva fantasmas de minerales ferromagnesianos. Se encuentra en contacto con las riodacitas, sobreyaciendo una parte de la secuencia, hasta el contacto con las tefras.

Las muestras que presentan xenolitos corresponde a una lava de tipo andesita, con fenocristales de plagioclasa alterados en una matriz de color gris claro. El tamaño de los xenolitos puede variar desde métricos a centimétricos como se observa en las siguientes figuras.



**Figura 18.** Fotografías de talud 9+533.

En las fotografías se muestra el talud ubicado en el estacionamiento PK 9+ 533. Se observan xenolitos de tamaño centimétricos hasta métrico.

Desde el punto de vista geotécnico implica que los taludes que presentes ese tipo de roca pueden presentar comportamientos heterogéneos en sus propiedades. Por ejemplo, la meteorización y erosión que se da en estos taludes puede ser diferencial. Esto implica que uno de los materiales puede comportarse de forma diferente al otro, generando una



velocidad de meteorización más rápida y por lo tanto se podría erosionar primero, esto generaría que el otro material quede sin sustento y posteriormente también se erosione.

Cigolini y Chaves (1986) proponen una edad posterior al vulcanismo Mio-Plioceno; además, las dataciones Ar-Ar reportadas por Alvarado et al. (1992) entre 2,2 - 1,0 Ma. Según Gillot et al. (1994) su edad es 2 - 1 Ma., es decir, Pleistoceno inferior (Žáček et al., 2012).

#### *Subunidad Tefras Lindora*

Esta unidad aflora en varios cortes de carretera en las cercanías de la Lindora. Definidas por Chaves & Sáenz (1974) como Miembro Monteverde del Grupo Aguacate.

Según Žáček et al. (2011), está conformada por lavas andesíticas hasta andesita-basálticas no alteradas, en menor cantidad hay rocas piroclásticas (brechas y tobas).

Se define esta unidad como una secuencia de tefra estratificada, con estructura paralela y ondulada; además, con sectores de moldes “rellenados”, reemplazando a las raíces de los árboles, además de presencia de lapilli acrecional. Esta secuencia se encuentra basculada en una dirección N25W/7° generando una topografía subhorizontal (Figura 19).

Cigolini y Chaves (1986) proponen una edad posterior al vulcanismo Mio-Plioceno; además, las dataciones Ar-Ar reportadas por Alvarado et al. (1992) entre 2,2 - 1,0 Ma. Según Gillot et al. (1994) su edad es 2 - 1 Ma., es decir, Pleistoceno inferior (Žáček et al., 2012).



**Figura 19.** Talud donde afloran tobas falladas

*Subunidad andesitas Lindora*

Esta unidad aflora en Lindora, definidas por Chaves & Sáenz (1974) como Miembro Monteverde del Grupo Aguacate, refiriéndose a lavas y tobas andesíticas a riodacíticas. Kussmaul & Sprechmann (1982) consideraron estas lavas como andesíticas similares a las emitidas por los volcanes actuales del arco magmático Cuaternario. Según Žáček et al. (2011), está conformada por lavas andesíticas.

Petrográficamente se describe como una roca con textura afanítica porfirítica 60 % matriz de color gris oscuro, 40% fenocristales (25% plagioclasa, con tamaño promedio 2 mm, 15% piroxenos con un tamaño promedio de 1 mm). Pátina café-grisácea. Esta unidad se encuentra infrayaciendo la andesita basáltica tiene una transición a lateritas hasta llegar a una roca de grano más fino con textura fluidal que se encuentra en contacto con las tefras.



Se diferencia de la unidad de andesitas La Guaria debido al porcentaje de piroxenos y el cambio textural que posee esta unidad que va de una matriz con fenocristales bien desarrollados a una textura con granos finos y fluidales.

Cigolini y Chaves (1986) proponen una edad posterior al vulcanismo Mio-Plioceno; además, las dataciones Ar-Ar reportadas por Alvarado et al. (1992) entre 2,2 - 1,0 Ma. Según Gillot et al. (1994) su edad es 2 -1 Ma., es decir, Pleistoceno inferior (Žáčeket al., 2012).

#### *Subunidad andesitas basálticas Santa Elena*

Esta unidad aflora en Santa Elena presentando los mejores afloramientos en los cortes de carretera en las cercanías del poblado de Santa Elena, definidas por Chaves & Sáenz (1974) como Miembro Monteverde del Grupo Aguacate, refiriéndose a lavas y tobas andesíticas a riodacíticas. Kussmaul & Sprechmann (1982) consideraron estas lavas como andesíticas similares a las emitidas por los volcanes actuales del arco magmático Cuaternario. Según Žáčeket al. (2011), está conformada por lavas andesita-basálticas no alteradas.

Petrográficamente son rocas afaníticasporfiríticas con 50% matriz de color negro, 50% fenocristales (25% plagioclasa de tamaño promedio 1 mm y máximo de 3 mm, 24% piroxeno de tamaño promedio 1 mm y máximo de 2 mm, 1% olivino de tamaño promedio 0,5 mm). La muestra posee una pátina de óxidos de hierro de 4 mm, se observa alteración de cristales ferromagnesianos a clorita y/o epidota. La muestra posee una pátina de óxidos de hierro de 4 mm, se observa alteración de cristales ferromagnesianos a clorita y/o epidota. Esta unidad sobreyace una secuencia de andesitas.

Cigolini y Chaves (1986) proponen una edad posterior al vulcanismo Mio-Plioceno; además, las dataciones Ar-Ar reportadas por Alvarado et al. (1992) entre 2,2 - 1,0 Ma. Según Gillot et al. (1994) su edad es 2 -1 Ma., es decir, Pleistoceno inferior (Žáčeket al., 2012).

#### **Intrusivo de Guacimal**

Aflora principalmente cerca del poblado de San Luis, entre Guacimal y Santa Elena, sobre las márgenes del río Guacimal por lo que los mejores afloramientos se encuentran en las



márgenes del río Guacimal, donde se observan bloques subangulares de métricos a decimétricos. Esta unidad fue mencionada por primera vez por Chaves y Sáenz (1974). Kussmaul & Sprechmann (1982) les asignaron el nombre de Formación Granito-Gabro de Guacimal. El carácter petroquímico es calco-alcalino, teniendo con cierta afinidad con las rocas plutónica del tipo-S; con cierto origen por contaminación sedimentaria (Villegas, 1997).

Tiene una forma semi-ovalada, está elongado con una disposición NW-SE. Intruye a las rocas del Grupo Aguacate con una amplia aureola de alteración hidrotermal. Está sobreyacido por las rocas de la Formación Monteverde (Záček et al., 2011). De acuerdo con (Žáček et al., 2011), el contacto sur o sureste del plutón tiene un carácter tectónico y sigue una importante zona de fallas con tendencia NW-SE asociado con una intensa alteración hidrotermal, principalmente silicificación.

El cuerpo intrusivo está formado principalmente por rocas que se clasifican como monzogranitos y granodioritas, aunque hay algunos diques delgados y enclaves de composiciones más básicas (dioritas, monzodioritas y monzogradroscuárcicos), subordinados. Se considera que este plutón se emplazó a una profundidad somera de unos 3 kilómetros y temperaturas bajas de unos 760-800°C. Las edades de la intrusión se han establecido en un rango de 6,4-5,2 millones de años (Mioceno terminal – Plioceno temprano) (Kussmaul, 1987; Záček et al., 2011; Alvarado & Gans, 2012).

Petrográficamente el tipo de roca es descrito como: roca fanerítica porfirítica con fenocristales de cuarzo en un 40% con un tamaño promedio de 2 mm y uno máximo de 5 mm, feldespato potásico en un 50% con un tamaño promedio de 3 mm, piroxeno 9% con un tamaño promedio de 1.5 mm y epidota en un 1% con un tamaño promedio de 1mm alterando a los piroxenos. Una monzodiorita de la localidad de Bajo Caliente ha sido datada en 3.9 (para la biotita y 5.0 para el feldespato potásico). (Schulz et al., 1987).

#### Secciones delgadas

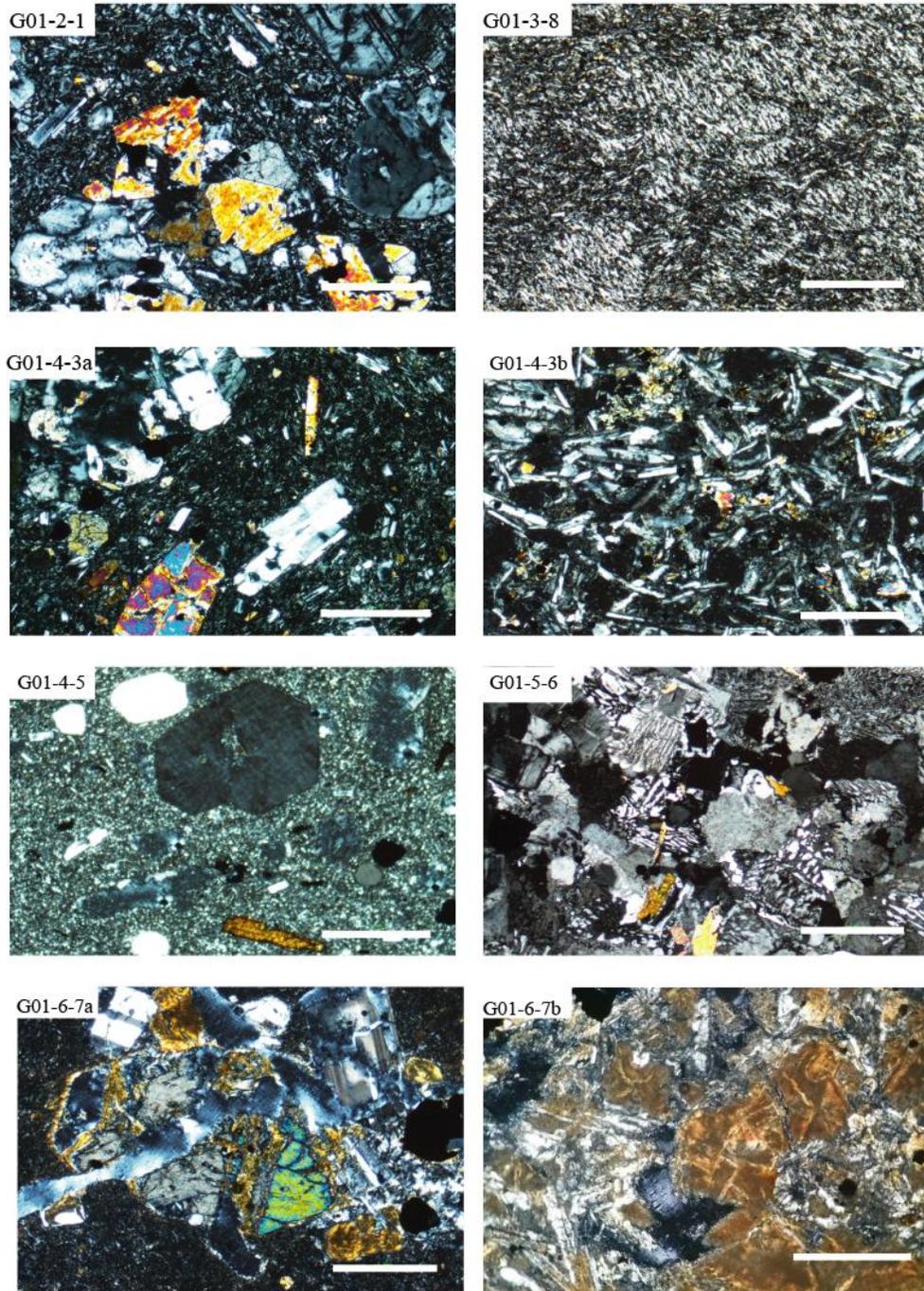
Se realizaron 6 secciones delgadas de roca, las mismas fueron descritas utilizando microscopio de luz polarizada. Las muestras se encuentran codificadas, en orden de recolección. En la tabla 3 se muestran resumidas las descripciones, cabe mencionar que las



muestras G01-4-3 y G01-6-7 se encuentran compuestas por dos rocas, la primera roca caja y la segunda xenolito. Se muestra en la figura 20 las fotografías de las secciones delgadas, se puede observar la diferencia en el grado de meteorización de la roca entre ambas muestras, en específico las muestras con xenolitos.

Tabla 3. Descripción petrográfica microscópica de rocas ígneas.

| Código   | X      | Y       | Fenocristales |    |     |    |    |    |    |   |       | Matriz |     |     |   | Nombre     |       |
|----------|--------|---------|---------------|----|-----|----|----|----|----|---|-------|--------|-----|-----|---|------------|-------|
|          |        |         | Q             | A  | Plg | Cp | Op | Bt | Ol | M | Otros | Q      | Plg | Cpx | M |            | Otros |
| G01-2-1  | 408438 | 1139048 | 0             | 0  | 35  | 14 | 0  | 0  | 2  | 4 | 0     | 0      | 31  | 9   | 2 | 2          | And   |
| G01-3-8  | 408368 | 1135679 | 0             | 0  | 2   | 2  | 0  | 0  | 0  | 1 | 2     | 0      | 65  | 23  | 5 | 0          | And   |
| G01-4-3a | 407985 | 1133260 | 0             | 0  | 34  | 7  | 2  | 0  | 0  | 2 | 0     | 0      | 39  | 12  | 4 | 0          | And   |
| G01-4-3b | 407985 | 1133260 | 0             | 0  | 7   | 8  | 0  | 0  | 0  | 0 | 10    | 0      | 40  | 11  | 4 | 20         | Mgb   |
| G01-4-5  | 406451 | 1132116 | 0             | 8  | 1   | 0  | 0  | 2  | 0  | 1 | 1     | 8      | 15  | 0   | 3 | 39/3<br>/9 | Rdcit |
| G01-5-6  | 410044 | 1135805 | 4             | 39 | 18  | 2  | 0  | 3  | 0  | 3 | 2     | 0      | 0   | 0   | 0 | 0          | Grt   |
| G01-6-7a | 406704 | 1131132 | 0             | 0  | 16  | 9  | 0  | 0  | 0  | 5 | 0     | 0      | 22  | 10  | 6 | 30/2       | And   |
| G01-6-7b | 406704 | 1131132 | 0             | 0  | 17  | 16 | 0  | 0  | 7  | 0 | 0     | 0      | 24  | 0   | 6 | 1/27<br>/2 | And   |



**Figura 20:** Fotografías de las secciones delgadas.

Estas imágenes fueron realizadas con muestras obtenidas de los taludes de la RN-606 y el sector de San Luis. Muestra de Intrusivo de Guacimal (G01-5-6). Lava con xenolito (G01-4-3), xenolito (G01-6-7 a y b) La barra de color blanco en las imágenes corresponde con la escala de 0,5 mm.

#### 4.1.4 Fallas y estructuras tectónicas

En la zona de estudio hay una serie de fallas principales con dirección NW, se ubican cerca de Guacimal y en la parte alta, cerca de Santa Elena. Otras fallas menores son paralelas a estas, de algunos kilómetros de longitud y cortan la carretera en algunos tramos. Hay otras fallas menores que son perpendiculares y con dirección NE.

En esta sección se describen las estructuras tectónicas presentes y estudiadas que tengan alguna relación con el trazado de la RN-606. Se utilizan nombres asociados a lugares geográficos cercanos a ellas para poder referenciarlas. En algunos taludes aparte de que se observaron evidencias de estas fallas, también se consideraron en evidencias obtenidas en imágenes satelitales y modelos de elevación digital.

##### *Falla La Guaría*

Esta estructura se puede observar en el talud de corte ubicado en el estacionamiento del kilómetro 13+448 aproximadamente, en el lado izquierdo del RN-606 hacia Monteverde. Por el desplazamiento de los materiales que afloran en ese talud, se considera que esta estructura tiene un componente de movimiento vertical de tipo normal, con un rumbo Nf cuyo plano es  $Ef/75^\circ$  (Figura 21). Se expresa de forma rectilínea en los mapas y se muestra una fotografía a continuación del lugar donde aflora para mostrar cómo se ve en el talud cortando la subunidad Andesitas La Guaría.



**Figura 21.** Fotografía talud en el kilómetro 13+448  
Falla de movimiento vertical observada en el talud del kilómetro 13+448



### *Falla Veracruz*

Posee movimiento sinistral con rumbo NW, se infiere mediante la presencia de silicificación de roca en el kilómetro 15+726 y evidencia geomorfológica, como desplazamiento de ríos, y se plantea como el límite entre la unidad Intrusivo Guacimal y subunidad Andesita la Guaria por los cambios de pendiente.

### *Sistema de falla La Lindora*

Se plantea un sistema de falla cercana al estacionamiento del kilómetro 20+298. En este sitio hay un corte que se ha utilizado como tajo informal para extraer materiales. Las rocas que afloran en este sitio son pertenecientes a la unidad Andesitas y Piroclastos Monteverde, se ubica al norte del área de estudio, no se logra ubicar un plano de falla, pero debido a la fuerte presencia de alteración hidrotermal, el diaclasamiento y lajamiento de la roca es abundante, se interpreta como un sistema de falla. Debido a la presencia de evidencias de hidrotermalismo se considera que los fluidos aprovecharon los planos de ruptura y el lajamiento de la roca para alterar las rocas de este sitio.

#### **4.1.5 Catálogo de afloramientos, zonas de desprendimiento y deslizamientos**

Vulnerabilidad de deslizamiento en taludes Ruta 606 Monte Verde.

La susceptibilidad de una zona a presentar deslizamientos está dada por cuatro factores que son determinantes. Los primeros tres factores son propios de cada zona que se estudia y el cuarto factor corresponde con el disparador del evento. Estos cuatro factores son: 1.) Las pendientes del talud. 2.) La condición física y el grado de alteración de las rocas y suelos que conforman la ladera. 3.) El contenido de humedad de los suelos, o sea la cantidad de agua existente en el subsuelo. 4.) Disparadores del deslizamiento que puede ser de dos tipos: a.) Evento sísmico que genere aceleraciones altas b.) Evento atmosférico que genere exceso de lluvia. Puede que se den eventos que no estén asociados directamente con alguno de estos dos disparadores. En ese caso, se le podría atribuir a una pérdida de equilibrio debido a factores antrópicos (vibración generada por vehículos pesados, trabajos en la vía o taludes entre otros).



Otros factores, como presencia o ausencia de vegetación, pueden influir en aspectos como escorrentía y erosión de taludes que además pueden influir en la generación de surcos cárcavas y aumento de pendiente de las laderas. Mientras más altas son las pendientes de las laderas más complicado es el control de erosión con vegetación. Los procesos de erosión pueden generar la pérdida de material que da sustento a rocas y con ello propiciar su caída.

En informes anteriores presentados por el LanammeUCR, se han especificado los principales puntos donde los taludes podrían presentar problemas de estabilidad y generar deslizamientos que afecten la ruta y sus los usuarios. Aquí se caracterizaron esos sitios y otros sobre el proyecto. Toda la información se presenta en una tabla resumida y un catálogo de deslizamientos compuestas por fichas para cada sitio estudiado.

El catálogo de deslizamientos incluye información detallada de 41 sitios donde se identificaron desprendimientos sobre la carretera. Además, se identificaron los principales taludes que podrían presentar problemas de erosión por las altas pendientes y exposición de materiales que son muy susceptibles a este proceso. A continuación, se describe de forma resumida cada uno de los sitios observados en la tabla 4.



Tabla 4. Resumen de taludes y sitios estudiados.

| Estacionamiento y lado<br>Tipo   | Dimensiones largo (m) x alto(m)<br>Rumbo de la ruta y Pendiente de<br>talud | Descripción de sitio y muestras   | Tipo de roca<br>Unidad informal<br>Subunidad Informal                                      | Disposición de diaclasas   |
|----------------------------------|---|---|--|--|
|                                  |   |   |  | Indicadores de<br>deslizamientos/Inestabilidad – Intervención geotécnica                           |
| Pk 6+978<br>LD<br>Deslizamiento  | 5 x 6<br>N20E, 80'  | Deslizamiento traslacional pequeño, con solo superficie deslizándose, vegetación en la parte superior.<br><br>Lavas completamente meteorizadas  | Suelos regolitos<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría | No hay diaclasas<br>Corona de colapso, superficie deslizada<br>Estabilización y control de erosión |
| Pk 7+045<br>LD<br>Deslizamiento  | 4 x 4<br>N15W<br>Erosión por flujos de agua                                 | Desprendimiento por erosión.<br><br>Lavas completamente meteorizadas  | Suelos regolitos<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría | No hay diaclasas<br>Superficie erosionada intensamente<br>Estabilización y control de erosión      |
| Pk 7+095'<br>LD<br>Deslizamiento | 4 x 2<br>Erosión por escorrentía  | Desprendimiento de material por erosión, material se encuentra obstruyendo alcantarilla.<br><br>Lavas completamente meteorizadas  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría         | No hay diaclasas<br>Superficie erosionada intensamente<br>Estabilización y control de erosión      |
| Pk 7+131'<br>LD<br>Deslizamiento | 30 x 4<br>N1, 45'<br>Erosión por escorrentía                                | Desprendimiento de material por erosión<br><br>Lavas completamente meteorizadas   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría         | Control de erosión   |
| Pk 7+334'<br>LD<br>Deslizamiento | 5 x 4<br>Erosión por escorrentía  | Desprendimiento de material, se observa tronco colgando en ladera<br><br>Lavas completamente meteorizadas   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría         | Control de erosión   |
| Pk 7+385'<br>LI<br>Deslizamiento | 1.5 x 2<br>Erosión por escorrentía  | Erosión de la cuneta, profundidad de dos metros<br><br>Lavas completamente meteorizadas   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría         | Control de erosión   |
| Pk 7+515'<br>LD<br>Deslizamiento | 5 x 3<br>Erosión por escorrentía  | Desprendimiento de material<br><br>Lavas completamente meteorizadas   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría         | Control de erosión   |
| Pk 8+396<br>LI<br>Deslizamiento  | 8 x 4<br>Erosión por escorrentía  | Desprendimiento de material por erosión<br><br>Lavas completamente meteorizadas   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría         | Control de erosión   |
| Pk 8+480<br>LI<br>Deslizamiento  | 7 x 9<br>Erosión por escorrentía  | Desprendimiento de material por erosión<br><br>Lavas completamente meteorizadas   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría         | Estabilización y control de erosión  |
| Pk 8+605<br>LI<br>Deslizamiento  | 10 x 6<br>Erosión por escorrentía   | Desprendimiento de material por erosión. Se observan bloques con soporte por matriz en la cima del afloramiento, además de dos coronas definidas.<br><br>Lavas completamente meteorizadas | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría         | Estabilización y control de erosión  |
| Pk 8+618<br>LI<br>Deslizamiento  | 7 x 4<br>Erosión por escorrentía  | Desprendimiento de material en la cima del afloramiento<br><br>Lavas completamente meteorizadas   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría         | Estabilización y control de erosión  |
| Pk 8+715<br>LI<br>Deslizamiento  | 30 x 8<br>Erosión por escorrentía   | Desprendimiento de material por erosión<br><br>Lavas completamente meteorizadas   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría         | Control de erosión   |
| Pk 8+976'<br>LD<br>Deslizamiento | 4 x 3<br>Erosión por escorrentía  | Deslizamiento traslacional, con caída de material en la base<br><br>Lavas completamente meteorizadas  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría         | Estabilización y control de erosión  |
| Pk 3+380<br>LI<br>Afloramiento   | 30 x 5<br>N74E<br>Esferoidal<br>Erosión por escorrentía                     | Estructura con paquetes de roca muy meteorizada en contacto con paleosuelo N80W/25, estos paquetes se encuentran fracturados y observan lentes de xenolitos<br><br>Roca muy meteorizada   | Andesita<br>Unidad andesitas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría     | Control de erosión   |



| Estacionamiento y lado Tipo           | Dimensiones largo (m) x alto(m)<br>Rumbo de la ruta y Pendiente de talud     | Descripción de sitio y muestras  | Tipo de roca<br>Unidad informal<br>Subunidad Informal                                     | Disposición de diaclasas<br><br>Indicadores de<br>deslizamientos/Inestabilidad - Intervención geotécnica                      |
|---------------------------------------|--|--|---|---|
| Pk 9+481*<br>LI<br>Afloramiento       | 9 x 8<br>Erosión por escorrentía   | Estructura con paquetes de brecha con distintas granulometrías en contacto con un paleosuelo de 1.5 metros y en la parte superior se observa las lavas meteorizadas con xenolitos  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría        | Control de erosión  |
| Pk 9+533*<br>LI<br>Afloramiento       | 35 x 9<br>N10°E<br>Alteración hidrotermal arenización                        | Estructura con lavas completamente meteorizadas, con xenolitos ácidos con tamaños desde centimétricos hasta métricos<br><br>Se observan lavas completamente meteorizadas, se pueden describir como 70% matriz color gris oscuro y 30% fenocristales, 25 plagioclasas muy hidratadas y 5% piroxenos oxidados, se encuentran xenolitos decimétricos hasta métricos los cuales están completamente meteorizados y son fisibles a la mano, se observan algunos que parecen tener textura fanerítica. | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría        | Talud descubierto<br>Control de erosión   |
| Pk 9+645<br>LI<br>Deslizamiento       | 8 x 5<br>Erosión por escorrentía   | Desprendimiento de material, con cobertura vegetal en medio del desprendimiento  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría        | Estabilización y control de erosión   |
| Pk 9+792*<br>LI<br>Deslizamiento      | 10 x 6<br>Erosión por escorrentía  | Desprendimiento de material  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría        | Estabilización y control de erosión   |
| Pk 9+837*<br>LI<br>Deslizamiento      | 12 x 6<br>Erosión por escorrentía  | Desprendimiento y erosión de material, presencia de surcos   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría        | Estabilización y control de erosión   |
| Pk 9+879*<br>LI<br>Deslizamiento      | 5 x 3.5<br>Erosión por escorrentía   | Deslizamiento rotacional, con material acumulado en la base del afloramiento   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría        | Estabilización y control de erosión   |
| Pk 10+507*<br>LI<br>Deslizamiento     | 10 x 3<br>Erosión por escorrentía  | Desprendimiento de material en la cima del afloramiento con presencia de cobertura vegetal   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría        | Estabilización y control de erosión   |
| Pk 10+730<br>LI<br>Afloramiento       | 40 x 12<br>N15°W, 85°<br>Esferoidal<br>Erosión por escorrentía               | Afloramiento con presencia de bloques métricos<br><br>Roca afanítica-porfirítica con matriz grisácea clara   | Riodacitas<br>Unidad riodacitas La Guaría<br>Subunidad Riodacitas La Guaría               | Fracturas - N80°W/55<br>Talud descubierto<br>Control de erosión   |
| Pk 10+778*<br>LI<br>Contacto inferido | 0  | Contacto inferido entre riodacitas y andesitas<br><br>Se observan lavas completamente meteorizadas, se pueden describir como 70% matriz color gris oscuro y 30% fenocristales, 25 plagioclasas muy hidratadas y 5% piroxenos oxidados  | Riodacitas<br>Unidad andesitas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad Riodacitas La Guaría | Manejo de aguas   |
| Pk 10+850<br>LI<br>Deslizamiento      | 30 x 8<br>esferoidal<br>Erosión por escorrentía                              | Estructura muy masiva, de color gris; con rocas redondeados (de 1m de diámetro). Afectados por la meteorización, con corona de deslizamiento encima de este, con el límite de vegetación.  | Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría                    | Estabilización y control de erosión   |
| Pk 11+750*<br>LI<br>Afloramiento      | 50 x 7<br>65-70°<br>esferoidal<br>Erosión por escorrentía                    | Estructura masiva de color grisácea con bloques decimétricos de composición andesítica y ausencia de xenolitos<br><br>Roca afanítica porfirítica con ma  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría        | Talud descubierto<br>Control de erosión   |
| Pk 12+752<br>LI y LD<br>Deslizamiento | 15 x 7<br>N60°W, 85°<br>Erosión Antrópica/fluvial<br>Erosión por escorrentía | Allado izquierdo se observa una cuneta de erosión con una profundidad que va de un metro a 8 metros aproximadamente, hacia el desagüe se erosiona generando un surco de 3 metros. Allado derecho se observa una zona de inestabilidad por desprendimientos de bloques del talud  | Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría                    | Erosión en cuneta, caída de bloques en talud vertical, presencia de surcos en talud.<br>Control de erosión y manejo de aguas. |



| Estacionamiento y lado<br>Tipo    | Dimensiones largo (m) x alto(m)<br>Rumbo de la ruta y Pendiente de<br>talud                   | Descripción de sitio y muestras  | Tipo de roca<br>Unidad informal<br>Subunidad Informal  | Disposición de diaclasas<br><br>Indicadores de<br>deslizamientos/Inestabilidad - Intervención geotécnica                |
|-----------------------------------|---|--|--|---|
| Pk 13+448*<br>LI<br>Falla         | 250 x 45<br>Ei, 70*<br><br>Esferoidal/ Descompresión<br>Erosión por escorrentía               | Su estructura es masiva, dividido en 5 terrazas. Sin embargo, hay sectores que se observa ondulaciones de diaclasas (de lava), cerca de la zona de la fractura (posible falla). En el quinto terraza (superior), se observa de color rojo.<br><br>Lava muy meteorizada con algunos núcleos bastante meteorizados afaníticos porfiríticos de 60% matriz color gris oscuro y 40 fenocristales, 30% plagioclasa de promedio de 2mm y 10% piroxenos de promedio de 1,5mm. Posee una patina de 0,5mm color gris de 0,5 mm de espesar. No se observan xenolitos  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaria             | Falla normal Eñ75 Diaclasas S50W/20, S22E/77, S27W/40, S84E/70<br>Estabilización, control de erosión y manejo de aguas. |
| Pk 13+641*<br>LI<br>Afloramiento  | 75 x 22<br>N05°W, 70*<br><br>Esferoidal/ por debajo del paleosuelo<br>Erosión por escorrentía | Su estructura está dividido por un contacto de paleosuelo inclinado, es masivo de color rojo. En el sector superior, paralelamente, de este, es masivo como un metro, luego, se forman columnas que está perpendicular. La zona inferior, es muy masiva, con textura granular, se encuentran algunos bloques subred ondeados.<br><br>Lava muy meteorizada con algunos núcleos bastante meteorizados afaníticos porfiríticos de 60% matriz color gris oscuro y 40 fenocristales, 30% plagioclasa de promedio de 2mm y 10% piroxenos de promedio de 1,5mm. Posee una patina de 0,5mm color gris de 0,5 mm de espesar. Además se observan xenolitos centimétricos a decimétricos, los cuales están muy meteorizados pero apariencia de textura fanerítica | Paleosuelo -Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaria | Fracturas S30W/80<br>Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.  |
| Pk 13+711*<br>LI<br>Deslizamiento | 100 x 18<br>65*<br><br>Descompresión<br>Erosión por escorrentía                               | Su estructura está diaclasado, por lo cual de izquierda a derecha, se está inclinando, hasta finalizar en el punto anterior.<br><br>Lava muy meteorizada con algunos núcleos bastante meteorizados afaníticos porfiríticos de 60% matriz color gris oscuro y 40 fenocristales, 30% plagioclasa de promedio de 2mm y 10% piroxenos de promedio de 1,5mm. Posee una patina de 0,5mm color gris de 0,5 mm de espesar. No se observan xenolitos  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaria             | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.   |
| Pk 13+804*<br>LI<br>Deslizamiento | 50 x 14<br>N28°E, 70*<br><br>Erosión Antrópica<br>Erosión por escorrentía                     | Su estructura es masiva, con corona bien definido. Presente en la base del talud, depósitos de rocas de forma redondeada (max. 2,7 x 2 m).<br><br>Lava muy meteorizada con algunos núcleos bastante meteorizados afaníticos porfiríticos de 60% matriz color gris oscuro y 40 fenocristales, 30% plagioclasa de promedio de 2mm y 10% piroxenos de promedio de 1,5mm. Posee una patina de 0,5mm color gris de 0,5 mm de espesar. Además se observan xenolitos centimétricos a decimétricos, los cuales están muy meteorizados pero apariencia de textura fanerítica  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaria             | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.   |
| Pk 13+954*<br>LI<br>Deslizamiento | 100 x 30<br>80*<br><br>Esferoidal<br>Erosión por escorrentía                                  | Se observa clastos que pertenece a la roca madre, de forma redondeada y fracturada, de color gris oscuro, el tamaño máximo es de 3 m de altura con 2 m de ancho.<br><br>Roca con textura afanítica-porfirítica, matriz grisácea en un 60%, plagioclasa con tamaño promedio de 2 mm en un 32% y piroxeno con un tamaño promedio de 1,5 mm en un 8%  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaria             | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.   |



| Estacionamiento y lado<br>Tipo    | Dimensiones largo (m) x alto(m)<br>Rumbo de la ruta y Pendiente de<br>talud | Descripción de sitio y muestras  | Tipo de roca<br>Unidad informal<br>Subunidad Informal  | Disposición de diaclasas<br><br>Indicadores de<br>deslizamientos/Inestabilidad – Intervención geotécnica |
|-----------------------------------|---|--|--|--|
| Pk 14+202*<br>LI<br>Deslizamiento | 10 x 8<br>70°<br><br>Esferoidal<br>Erosión por escorrentía                  | Estructura muy masiva, se puede observar la corona de deslizamiento, está separado en dos zonas por el contacto de paleosuelo. La zona inferior, su estructura es muy masiva, de color gris claro. La zona superior, es de color rojo, menos masivo y meteorizado.<br><br><b>Roca completamente meteorizada</b>  | Paleosuelo – Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría                    | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.  |
| Pk 14+320*<br>LI<br>Deslizamiento | 30 x 6<br>N30°E, 75°  | Estructura muy masiva, con corona presente y su base con depósitos de bloques.<br><br>En apariencia andesita pero no se encuentran núcleos sanos en los taludes  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría                                 | --   |
| Pk 14+825<br>LD<br>Escombrera     | 70 x 8<br>N44°W, 85°<br>Erosión por escorrentía                             | Tiene forma de medio círculo. El material transportado está aplanado, no tan compactado, pendiente fuerte en su borde con desprendimiento de material (bloques) métrico y centimétrico.<br><br>Bloques con matriz afánítica-porfirítica grisácea con fenocristales de plagioclasa hidratada con un tamaño promedio de 2 mm, piroxeno con un tamaño promedio de 1 mm  | Andesita<br>Unidad andesitas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría                             | Control de erosión/Estudio de estabilización   |
| Pk 14+920*<br>LD<br>Afloramiento  | 50 x 12<br>N22°W, 80°<br>Erosión Antrópica                                  | Estructura muy masiva, con surcos provocado por el corte de la maquinaria (antrópico). No está cubierto por vegetación.<br><br>En apariencia andesita pero no se encuentran núcleos sanos en los taludes   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría                                 | Talud descubierto<br>Control de erosión  |
| Pk 15+430*<br>LI<br>Deslizamiento | 0<br>S52°E<br>Erosión fluvial<br>Erosión por escorrentía                    | Deslizamiento, naciente de agua, se observa un árbol caído. Se encuentra un árbol con raíces expuestas, problemas con Minae.<br><br>Secuencia de tobas, infrayaciendo se observa una lava completamente meteorizada con algunos núcleos bastante meteorizados afáníticos porfiríticos de 70% matriz color gris oscuro y 30 fenocristales, 25% plagioclasa de promedio de 2mm y 5% piroxenos de promedio de 1,5mm. Posee una patina de 0,5mm color gris de 0,5 mm de espesar. | Contacto roca silicificada –Andesita<br>Unidad andesitas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.  |
| Pk 15+726*<br>LI<br>Deslizamiento | 40 x 15<br>S50°E, 65°<br>Erosión por escorrentía                            | Desprendimiento por erosión, roca muy diaclasada, según checos hay falla.<br><br>Roca color gris clara con composición silícea con alta porosidad, presenta fantasmas de minerales ferromagnesianos  | Roca silicificada<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría                        | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.  |
| Pk 15+894*<br>LI<br>Deslizamiento | 10 x 20<br>75°<br>Erosión por escorrentía                                   | Desprendimiento por erosión, roca muy diaclasada, según checos hay falla.<br><br>Secuencia de tobas, infrayaciendo se observa una lava completamente meteorizada con algunos núcleos bastante meteorizados afáníticos porfiríticos de 70% matriz color gris oscuro y 30 fenocristales, 25% plagioclasa de promedio de 2mm y 5% piroxenos de promedio de 1,5mm. Posee una patina de 0,5mm color gris de 0,5 mm de espesar.  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaría                                 | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.  |



| Estacionamiento y lado Tipo       | Dimensiones largo (m) x alto(m)<br>Rumbo de la ruta y Pendiente de talud | Descripción de sitio y muestras   | Tipo de roca<br>Unidad informal<br>Subunidad Informal                                  | Disposición de diaclasas<br><br>Indicadores de deslizamientos/Inestabilidad - Intervención geotécnica |
|-----------------------------------|--|---|--|---|
| Pk 16+153*<br>LI<br>Afloramiento  | 635 x 25<br><br>Esferoidal<br>Erosión por escorrentía                    | Estructura masiva, soportado por bloques subredondeado a redondeado, entre 20 m a 1m; muy meteorizado.<br><br>Secuencia de tobas, infrayaciendo se observa una lava completamente meteorizada con algunos núcleos bastante meteorizados afaníticos porfiríticos de 70% matriz color gris oscuro y 30 fenocristales, 25% plagioclasa de promedio de 2mm y 5% piroxenos de promedio de 1,5mm.<br><u>Posee una patina de 0,5mm color gris de 0,5 mm de espesar.</u>  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas La Guaria     | Talud descubierto<br>Control de erosión   |
| Pk 16+963*<br>LI<br>Afloramiento  | 35 x 10<br>N56°W<br><br>Esferoidal<br>Erosión por escorrentía            | Estructura masiva, de colores rojos-anaranjado, hay un posible contacto entre lava (inferior) y toba (superior). El primero es más masivo y meteorizado esferoidal. El segundo, está estratificado, con estructura paralela y ondulado; además, hay sectores de moldes "reellenados", reemplazando a los raíces de los árboles.<br><br>Secuencia de tobas, infrayaciendo se observa una lava completamente meteorizada con algunos núcleos bastante meteorizados afaníticos porfiríticos de 70% matriz color gris oscuro y 30 fenocristales, 25% plagioclasa de promedio de 2mm y 5% piroxenos de promedio de 1,5mm.<br><u>Posee una patina de 0,5mm color gris de 0,5 mm de espesar.</u> | Tobas y andesitas<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad tefras Lindora | N25W/7 Buzamiento tobas   |
| Pk 17+084*<br>LI<br>Deslizamiento | 20 x 10<br><br>Erosión por escorrentía                                   | Deslizamiento, de tipo caída de bloques, se observa la corona bien definida. Su base es masiva, hay bloques con meteorización esferoidal.<br><br>Roca con textura afanítica con matriz color gris oscuro, no se diferencian cristales a simple vista, presenta pátinas café de 0,5 mm de espesar.   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas Lindora       | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.   |
| Pk 17+429*<br>LD<br>Deslizamiento | 0<br><br>Erosión por escorrentía   | Deslizamiento, se observa desprendimiento de material en la ladera.<br><br><u>Roca complemente meteorizada</u>  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas Lindora       | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.   |
| Pk 17+481*<br>LI<br>Deslizamiento | 20 x 45<br><br>Erosión por escorrentía                                   | Deslizamiento, se observa desprendimiento de material suelo rojizo en la ladera.<br><br><u>Roca complemente meteorizada</u>   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas Lindora       | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.   |
| Pk 17+907*<br>LD<br>Afloramiento  | 0<br><br>Erosión por escorrentía   | Su estructura es diaclasada, hay cambio de dirección de diaclasas.<br><br><u>Roca complemente meteorizada</u>   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas Lindora       | N80W/18, N50W/20, N20W/20<br>Control de erosión   |
| Pk 18+034*<br>LD<br>Deslizamiento | 34 x 4<br><br>Erosión por escorrentía                                    | Transición entre lateritas y rocas diaclasadas con un alto grado de meteorización. Presenta dos pequeños deslizamientos.<br><br><u>Roca complemente meteorizada</u>   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas Lindora       | E1/38<br>Control de erosión   |
| Pk 19+724<br>LD<br>Afloramiento   | 10 x 3<br>80°<br><br>laterización<br>Erosión por escorrentía             | Se observan 3 capas una superior color rojizo, en apariencia de suelo laterítico, debajo una lava completamente meteorizada color amarillo opaco y bajo esta una lava completamente meteorizada color amarillo rojizo de textura más fina.<br><br><u>Roca complemente meteorizada</u>   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas Lindora       | Talud descubierto<br>Control de erosión   |



| Estacionamiento y lado Tipo           | Dimensiones largo (m) x alto(m)<br>Rumbo de la ruta y Pendiente de talud                            | Descripción de sitio y muestras   | Tipo de roca<br>Unidad informal<br>Subunidad Informal   | Disposición de diaclasas<br><br>Indicadores de<br>deslizamientos/Inestabilidad - Intervención geotécnica<br>Zona de falla inferida  |
|---------------------------------------|---|---|---|---|
| Pk 20+298<br>LD<br>Deslizamiento/Tajo | 40 x 8<br>N50°W<br><br>Alteración hidrotermal/ antrópica/<br>diferencial<br>Erosión por escorrentía | Tajo con alteración hidrotermal, con estructura masiva. En la base se observa los depósitos de deslizamiento por caída. Al lado izquierda se observa diaclasas deformadas.<br><br>Roca completamente meteorizada  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas Lindora                          | Se observa lajamiento, y diaclasas deformadas en forma curva, el desprendimiento activo de materiales no permite una mejor caracterización<br><br>Es un deslizamiento relativamente alejado de la carretera, pero se recomienda Estabilización geotécnica, control de erosión y manejo de |
| Pk 20+400<br>LD<br>Deslizamiento      | 100 x 20<br>N18°E, 70°<br>Erosión por escorrentía   | Deslizamiento, se observa desprendimiento de material en la ladera.<br><br>Roca afanítica porfírica 60% matriz de color gris oscuro, 40% fenocristales (25% plagioclasa, con tamaño promedio 2 mm, 15% piroxenos con un tamaño promedio de 1mm. Pátina café-grisácea<br>Afloramiento con horizontes de meteorización muy largo  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas Lindora                          | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.   |
| Pk 20+985<br>LI<br>Deslizamiento      | 45 x 9<br>N10°W<br>Erosión por escorrentía  | Roca afanítica porfírica 60% matriz de color gris oscuro, 40% fenocristales (25% plagioclasa, con tamaño promedio 2 mm, 15% piroxenos con un tamaño promedio de 1mm. Pátina café-grisácea   | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas Lindora                          | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.   |
| Pk 21+440<br>LD<br>Deslizamiento      | 150 x 15<br>N35°W, 70°<br>Erosión por escorrentía   | Deslizamiento, se observa desprendimiento de material en la ladera, causado por la erosión fluvial de la ladera<br><br>Roca afanítica porfírica 60% matriz de color gris oscuro, 40% fenocristales (25% plagioclasa, con tamaño promedio 2 mm, 15% piroxenos con un tamaño promedio de 1mm. Pátina café-grisácea  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas Lindora                          | Se observa desprendimiento de material de la ladera con caída de material, exposición de raíces en la corona del desprendimiento, sobre la corona del desprendimiento hay casas construidas<br>Estabilización geotécnica, control de erosión y manejo de aguas.                           |
| Pk 21+668<br>LI<br>Deslizamiento      | 40 x 15<br>N70°W, 70°<br>Esferoidal/ Antrópica, Erosión por escorrentía                             | Drenaje sin medidas de amortiguamiento, se observan bloques ladera abajo, ha sido usada como escombrera<br><br>Roca afanítica porfírica 60% matriz de color gris oscuro, 40% fenocristales (25% plagioclasa, con tamaño promedio 2 mm, 15% piroxenos con un tamaño promedio de 1mm. Pátina café-grisácea  | Andesita<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas Lindora                          | Se observa desprendimiento de bloques en la base.<br>Estabilización geotécnica, control de erosión y manejo de aguas.   |
| Pk 21+713<br>LD<br>Deslizamiento      | 45 x 14<br>N50°W, 75°<br>Esferoidal y Descompresión   | Estructura masiva, con 2 niveles de terrazas (antrópico). En la terraza inferior se observan surcos provocados por el corte de maquinaria (lado izquierdo). En la zona derecha y superior, hay una corona de deslizamiento, por ende, en la base se observa los depósitos. Hay bloques de rocas subredondeados meteorizados en la orilla de la calle.<br><br>Roca afanítica porfírica 50% matriz de color negro, 50% fenocristales (25% plagioclasa de tamaño promedio 1 mm y máximo de 3 mm, 24% piroxeno de tamaño promedio 1 mm y máximo de 2 mm, 1% olivino de tamaño promedio 0,5 mm). La muestra posee una pátina de óxidos de hierro de 4mm, se observa alteración de cristales ferromagnesianos a clorita y/o epidota. La muestra posee una pátina de óxidos de hierro de 4mm, se observa alteración de cristales ferromagnesianos a clorita y/o epidota. | Andesita basáltica<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas basálticas Santa Elena | Estabilización, control de erosión y manejo de aguas.   |



| Estacionamiento y lado Tipo      | Dimensiones largo (m) x alto(m)<br>Rumbo de la ruta y Pendiente de talud        | Descripción de sitio y muestras  | Tipo de roca<br>Unidad informal<br>Subunidad Informal   | Disposición de diaclasas<br><br>Indicadores de deslizamientos/Inestabilidad - Intervención geotécnica  |
|----------------------------------|---|--|---|--|
| Pk 21+763<br>LD<br>Deslizamiento | 35 x 14<br>N10°W, 70°<br><br>Esferoidal/ Erosión antrópica y debido a gravedad  | Deslizamiento; muy masivo. En la base, hay depósitos de rocas mal seleccionados, son principalmente redondeados, de rango de tamaño entre 25 cm a 2 m. Además, moldes del bloque desprendidos por gravedad.<br>Presencia de bloques diaclasados con dirección preferencial hacia el SW/NE<br><br>Roca afanítica porfírica 50% matriz de color negro, 50% fenocristales ( 25% plagioclasa de tamaño promedio 1mm y máximo de 3 mm, 24% piroxeno de tamaño promedio 1mm y máximo de 2 mm, 1% olivino de tamaño promedio 0,5 mm). La muestra posee una pátina de óxidos de hierro de 4mm , se observa alteración de cristales ferromagnesianos a clorita y/o epidota. La muestra posee una pátina de óxidos de hierro de 4mm , se observa alteración de cristales ferromagnesianos a clorita y/o epidota. | Andesita basáltica<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas basálticas Santa Elena | Direcciones w/45 y N70E/90<br><br>Se observa que los desprendimientos de bloques aprovechan una dirección w/45 y N70E/90 por corte de carretera rumbo N86°W que facilita su inestabilidad. Estos bloques desprendidos se estiman en varios metros.<br>Estabilización geotécnica, control de erosión y manejo de aguas. |
| Pk 21+ 863<br>LD<br>Afloramiento | 100 x 10<br>N86°W, 75°<br><br>Esferoidal/ Erosión antrópica y debido a gravedad | Estructura de dominancia masiva, de color rosado de textura arcillosa. La zona inferior está raspada por equipo de maquinaria. se observan diaclasas sin una orientación preferencial.<br><br>Roca afanítica porfírica 50% matriz de color negro, 50% fenocristales ( 25% plagioclasa de tamaño promedio 1mm y máximo de 3 mm, 24% piroxeno de tamaño promedio 1mm y máximo de 2 mm, 1% olivino de tamaño promedio 0,5 mm). La muestra posee una pátina de óxidos de hierro de 4mm , se observa alteración de cristales ferromagnesianos a clorita y/o epidota. La muestra posee una pátina de óxidos de hierro de 4mm , se observa alteración de cristales ferromagnesianos a clorita y/o epidota.  | Andesita basáltica<br>Unidad lavas y piroclastos Monteverde<br>Subunidad andesitas basálticas Santa Elena | Fracturas dispuestas de forma decimétrica hasta métrica en todas direcciones.<br><br>Bloques hasta métricos caídos en la base del talud<br>Control de erosión y manejo de aguas.   |
| No                               | 0<br><br>Erosión fluvial  | Río Guacimal, afloran rocas parte del intrusivo en las márgenes del río<br><br>Roca fanerítica porfírica con fenocristales de cuarzo en un 40% con un tamaño promedio de 2 mm y uno máximo de 5 mm, feldespatos potásico en un 50% con un tamaño promedio de 3 mm, piroxeno 9% con un tamaño promedio de 1.5 mm y epidota en un 1% con un tamaño promedio de 1mm alterando a los piroxenos.  | Unidad Intrusivo Guacimal   | --   |



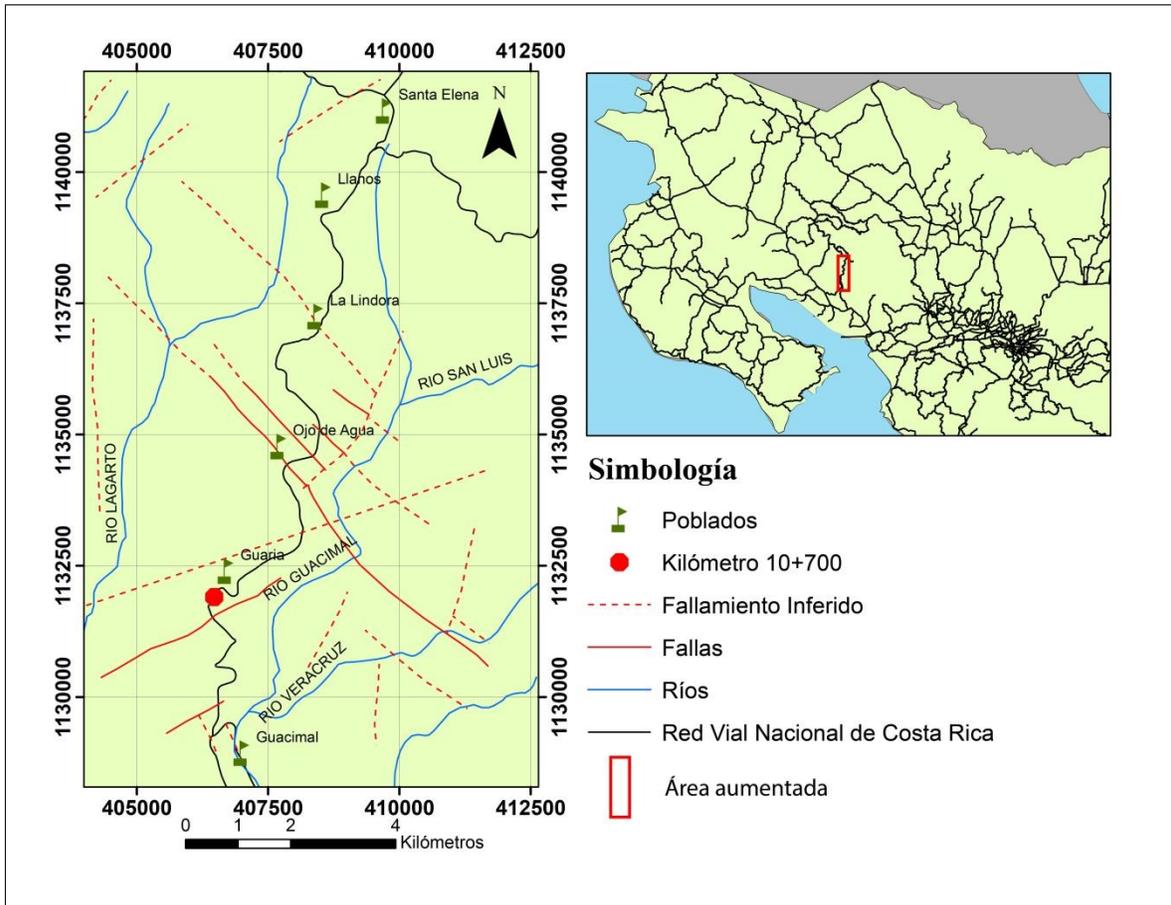
## 4.2 Condiciones geotécnicas de los taludes

Luego de las intervenciones que los diferentes contratistas han realizado en los taludes de este tramo de carretera, persisten varios sitios con condiciones de inestabilidad o deterioro que se considera deben ser atendidos. Seguidamente, se presentan las observaciones y las recomendaciones generales para los sitios que se consideran más críticos.

### Talud en PK 10+700

En este sitio se localiza un talud de corte al costado izquierdo de la carretera (sentido Guacimal – Santa Elena). Desde que fue cortado, en el año 2014, tanto su condición superficial como su estabilidad se han venido deteriorando.

Este talud consiste de lavas pertenecientes a la parte basal de la Formación Monteverde, específicamente en riocitasporfíricas (roca con aproximadamente 60% de sílice cuyos cristales se observan a simple vista), presentan gran frecuencia de xenolitos de rocas ácidas epidotizadas, probablemente arrancadas del Intrusivo de Guacimal (al NE de la zona de estudio) durante el ascenso del magma, es posible observar también cristales de plagioclasas remanentes de la meteorización de la roca.



**Figura 22.** Relaciones del kilómetro 10+700

Mapa de ubicación del kilómetro 10+700 de la Ruta Nacional No.606, se observan los diversos poblados y ríos cercanos a la ruta, así como las distintas fallas que atraviesan el área.

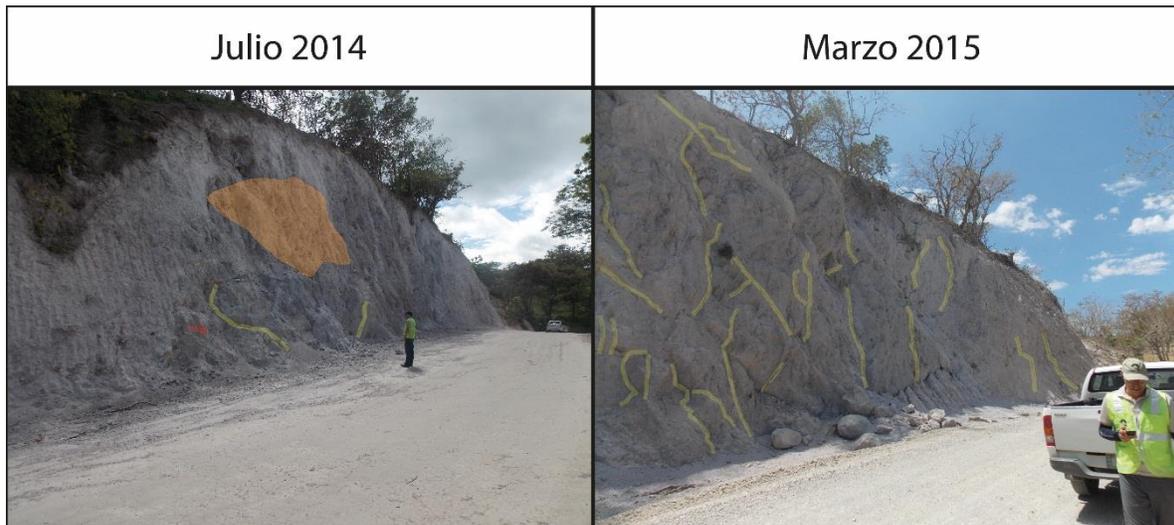
La cercanía de este punto con una traza de falla de dirección SW-NE (ver Figura 22) puede explicar el nivel de alteración de la roca, la cual tiene una dureza muy baja (deleznable con las manos o quebrada con un golpe de la piqueta) por consiguiente es muy susceptible a la meteorización y erosión. Esta falla es posible causante de un fracturamiento severo en el talud, el cual en el 2014 era visible principalmente en una gruta de aproximadamente dos metros y medio de alto por un metro y medio de ancho y un metro de profundidad (ver Figura 23) localizada en la parte izquierda del talud, esta gruta presenta varias diaclasas decimétricas en su zona superior.



**Figura 23.** Detalle de talud PK 10+700

Fotografía de la gruta presente en el talud, resaltado el rojo se puede apreciar la depresión, así como las principales diaclasas que conforman la gruta.

Para marzo del 2015 el talud presenta avance en su erosión, la remoción de material causada por agentes erosivos como el agua y viento, deja ver diversas fracturas a lo largo del talud (ver Figura 24), estas fracturas presentan tamaños variables (decimétrico hasta varios metros). Para esta época es posible apreciar el inicio de la formación de surcos en el talud, los cuales siguen el camino de las principales fracturas subverticales por ser zonas de baja resistencia. La gruta mencionada anteriormente no presenta un cambio apreciable a esa fecha.

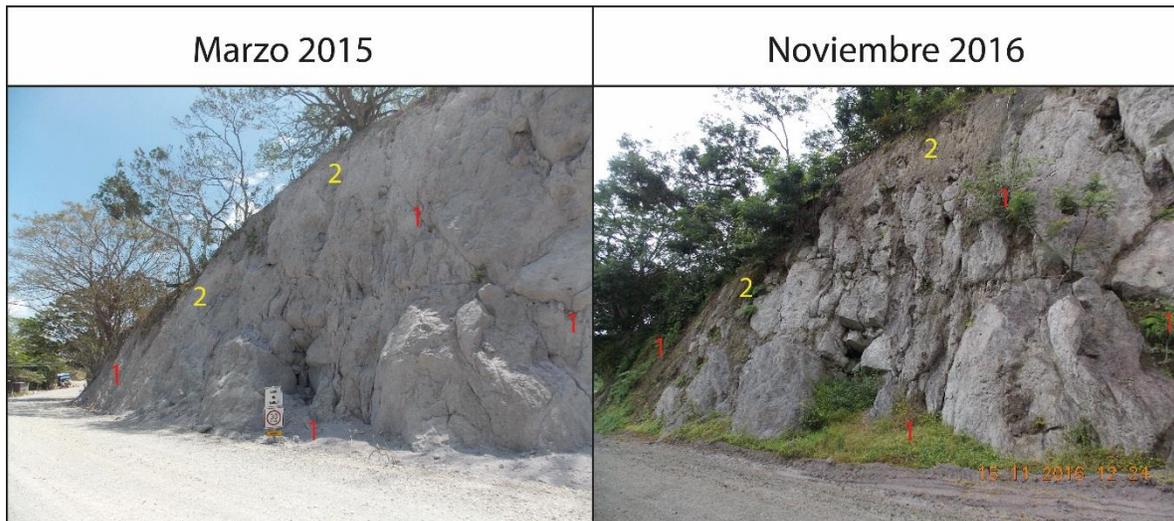


**Figura 24.** Fotografías comparativas PK 10+700.

Comparación del talud en el PK 10+700, 9 meses después de haber sido cortado. En la imagen de julio del 2014 se puede observar en amarillo dos fracturas importantes y en anaranjado una zona de fracturas pequeñas pero muy agrupadas, en marzo del 2015 se puede apreciar tanto la creciente heterogeneidad de la superficie como la aparición de grietas (líneas amarillas) en el talud.

En abril del 2016 se aprecia un incremento en la cantidad de surcos en el talud, lo que le da un aspecto más disectado, se aprecia el crecimiento de vegetación (ver Figura 25) en la parte alta y media del talud, esta vegetación crece desde las fracturas, lo cual incrementa con el tiempo la caída de bloques y la erosión del talud. Posteriormente, en noviembre del mismo año, el talud presenta un cambio visual notorio, debido en gran medida a una pérdida significativa de material y al cambio de tonalidad de ciertos sectores de un color gris a un color marrón.

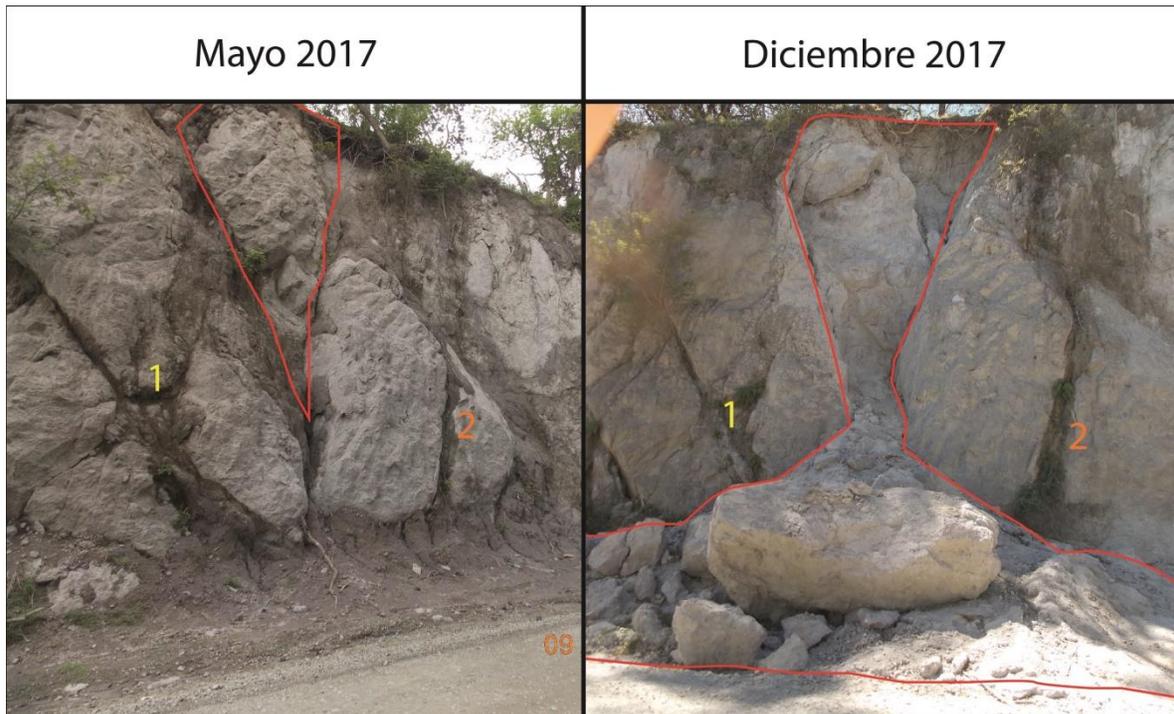
En esta fecha se puede apreciar como las épocas lluviosas junto con las fracturas, han definido diversos bloques de dimensiones métricas. La vegetación abunda en comparación con el mes de abril donde ya son varios sectores los que presentan un crecimiento avanzado de vegetación en la parte media y zacate sobre los conos de talus en la parte inferior del talud.



**Figura 25.** Fotografías comparativas PK 10+700.

Comparación de la vegetación y coloración del talud, marcado como 1 están los cambios en la vegetación y como 2 los cambios en la coloración. En marzo del 2015 no se observa vegetación importante en la superficie del talud, la coloración de este es gris y es homogénea a lo largo su superficie. En noviembre del 2016 se aprecia como la vegetación ha llegado al talud en las zonas baja, media y alta de este, la coloración en ciertos sectores ha tomado un tono marrón, posiblemente por acción de la materia orgánica y de la meteorización.

Seis meses después, en mayo del 2017, el talud no muestra un cambio significativo aparte del crecimiento de la vegetación que ya existía en el 2016, sin embargo, en diciembre del mismo año el talud presentó el desprendimiento de un bloque de tamaño considerable (ver Figura 26), el bloque desprendido tiene unas dimensiones aproximadas de 3 m de largo, 2 m de alto y 1 m de ancho. Es importante destacar que el paso de la tormenta tropical Nate (octubre de ese mismo año), por la cantidad de precipitación que generó ayudara a la caída del bloque de material.



**Figura 26.** Fotografías comparativas km 10+700.

Antes y después de la caída del bloque del talud. Los puntos 1 y 2 son referencias para determinar la ubicación del desprendimiento antes de que hubiera ocurrido. Resaltado en rojo en la fotografía de mayo del 2017 se destaca el área antes del desprendimiento, en diciembre del 2017 se observa también en rojo la depresión remanente en el talud y el material desprendido en el evento.

Del análisis de la información generada en estos años sobre las características particulares, los deterioros y los cambios que ha experimentado este talud, se concluye que el mismo presenta importantes vulnerabilidades de naturaleza geológica y geotécnica, que deben ser atendidas de manera adecuada, con el fin de disminuir el riesgo que representa para los usuarios la caída de bloques de este material en la carretera.

### **Taludes en el kilómetro 13**

El tramo de carretera correspondiente al kilómetro 13+000 ha sido uno de los tramos que ha requerido mayor intervención. La elevada pendiente, un limitado ancho de vía y sobre todo condiciones geológicas desfavorables, entre otros aspectos, han provocado que este tramo requiera estudios y caracterizaciones más detalladas.



Durante el año 2018 este talud fue intervenido por el contratista mediante la remoción de una parte del macizo, para conformar taludes y bermas intermedias que favorezcan tanto la estabilidad global como el manejo del agua de escorrentía en estos taludes.

En las siguientes figuras se presentan vistas generales de la condición actual de varios taludes en este tramo de la vía.



**Figura 27.** Vista general de un sector de los taludes de corte en el kilómetro 13+000.



**Figura 28.** Vista general de un sector de los taludes de corte en el kilómetro 13.

Los trabajos llevados a cabo en estos taludes favorecen la estabilidad global del macizo rocoso, además, si se construyen cunetas revestidas en las bermas, esto mejoraría significativamente el manejo del agua de escorrentía de este sector.

Sin embargo, el riesgo de caída de rocas en la carretera persiste y es elevado en varios tramos de este kilómetro 13+000. El problema se origina en el alto grado de meteorización que presentan algunos sectores, así como en la orientación de las fracturas de la roca, la susceptibilidad a la erosión y la cercanía de estos taludes con la carretera.

En la siguiente tabla se resumen las principales observaciones y recomendaciones que se generan luego del análisis de la información recopilada sobre este sector de la Ruta Nacional.



Tabla 5. Observaciones y recomendaciones generales para la atención de los taludes del kilómetro 13, Ruta Nacional No.606.

| Inicio | Final  | Observaciones   |
|--------|--------|---|
| 13+046 | 13+132 | Talud de corte, intervenido en la primera contratación. Presenta caída de rocas y muy poca vegetación. Evaluar la estabilidad y considerar medidas de protección superficial. |
| 13+132 | 13+245 | Zona permanece sin intervención, planos de fracturas no favorables. Considerar intervención.  |
| 13+245 | 13+500 | Zona intervenida recientemente, caída de bloques. Considerar el diseño y construcción de medidas de protección superficial.   |
|        | 13+288 | Bajante de concreto inconcluso. Completar las obras para el manejo adecuado del agua de escorrentía.  |
| 13+500 | 13+561 | Talud de corte, intervenido recientemente, riesgo por caída de rocas. Considerar protección superficial.  |
| 13+561 | 13+770 | Zona no intervenida, caída de rocas, erosionable. Considerar diseño y construcción de protección superficial.   |
| 13+770 | 13+900 | Zona no intervenida, poco erosionable. Verificar condiciones de estabilidad.  |
| 13+900 | 13+921 | Talud inestable por caída de rocas. Considerar evaluación de medidas necesarias para mitigación del riesgo.   |
| 13+921 | 14+100 | Talud inestable por caída de rocas. Considerar evaluación de medidas necesarias para mitigación del riesgo.   |

### Talud en PK 16+200

Este es un talud que también fue intervenido recientemente por el contratista. Presenta roca muy meteorizada. La forma en que se han meteorizado los materiales es de tipo esferoidal o en capas de cebolla, lo que ha generado que existan bloques redondeados con diferentes diámetros que van desde centimétricos los más comunes hasta métrico los menos frecuentes.



Estos bloques quedan rodeados por el material alterado que es más fino y susceptible a ser erosionado por acción de la lluvia o el viento. Actualmente se observa gran cantidad de bloques de roca sin soporte, lo que los hace susceptibles a caer en la carretera, afectando la seguridad de los usuarios. El talud presenta terrazas y pendientes superiores a 30°. No se observan obras para el manejo del agua superficial que logren evitar que el agua corra por la superficie del talud.

En la siguiente figura se puede observar la condición geológica predominante en este talud de corte.



**Figura 29.** Sección del talud en el PK 16+200.

Se observa el alto grado de meteorización que presenta, así como los bloques de roca que quedaron expuestos después de realizar el corte y ahora constituyen una amenaza para la seguridad de los usuarios.

Se recomienda considerar realizar el diseño y construcción de obras para la estabilización o remoción de los bloques de roca y la protección superficial del talud, así como mejorar el manejo del agua de escorrentía, con el fin de mitigar el riesgo que representa la caída de estos materiales en la vía.



### Talud en PK 22+000

Este talud fue cortado en el año 2014 como parte de los trabajos contratados en la primera licitación (No.2011LN-0029-0DI00). Al no contar con obras para el manejo del agua de escorrentía, ha estado expuesto, desde el inicio, a la acción erosiva del agua de lluvia. Esto ha provocado gran cantidad de deslizamientos, de diferentes volúmenes, durante las estaciones lluviosas.

En la siguiente figura se observa la condición que presenta actualmente un sector de este talud.



**Figura 30.** Talud de corte en PK 22+000.

Desde que fue cortado el talud ha experimentado deterioros que provocan deslizamientos cada estación lluviosa.

Se recomienda realizar los estudios y la construcción de obras para el adecuado manejo del agua de escorrentía en el área del talud, así como obras para la protección superficial del mismo, de forma que se logre minimizar el daño provocado por el agua y la inestabilidad del suelo y las rocas en algunos sectores (Informe LM-PI-UE-001-2016).



### 4.3 Ensayos, Resultados y Análisis

Se realizaron cinco sondeos de las capas de materiales granulares ya colocadas en la carretera: subbase granular y capa de agregado para base estabilizada (capa colocada sin estabilizar con cemento). Los sondeos se realizaron entre el 14 y 18 de enero de 2019. La Tabla 6 muestra la ubicación de cada sondeo y el tipo de capa de la cual se tomaron las muestras de agregado.

Tabla 6. Ubicación de los muestreos de material de subbase granular y agregado para base estabilizada.

| Sondeo | Estación | Coordenadas      |                  | Lado de la Vía | Capa | No. Muestra |
|--------|----------|------------------|------------------|----------------|------|-------------|
|        |          | N                | W                |                |      |             |
| 1      | 7+400    | N 10°<br>13.172´ | W 84°<br>51.226´ | LD             | SBG  | M105-19     |
| 2      | 12+350   | N 10°<br>14.556´ | W 84°<br>50.871´ | LD             | SBG  | M106-19     |
| 3      | 17+750   | N 10°<br>16.383´ | W 84°<br>50.376´ | LD             | SBG  | M107-19     |
| 4      | 21+750   | N 10°<br>17.887´ | W 84°<br>50.090´ | LD             | ABE  | M103-19     |
| 5      | 23+150   | N 10°<br>18.406´ | W 84°<br>49.839´ | LD             | ABE  | M104-19     |

LD= Lado derecho, LI= Lado izquierdo, SBG= Subbase granular, ABE=Capa de agregado para base estabilizada.

Los espesores de las capas de subbase granular y agregado para base estabilizada, que se encontraron en los sondeos indicados, varían según su ubicación como se muestra en la Tabla 7. Además, se indican como referencia los espesores especificados en el contrato 2016CD-14-6000001.

Tabla 7. Espesores existentes y descripción.

| Capa | Espesores de diseño (cm) | Espesores de capa existentes en cada sitio de sondeo (cm) |          |          |          |          |
|------|--------------------------|---|----------|----------|----------|----------|
|      |                          | Sondeo 1  | Sondeo 2 | Sondeo 3 | Sondeo 4 | Sondeo 5 |
| ABE  | 20                       | -   | -        | -        | 17       | 22       |



|     |    |    |    |    |    |    |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| SBG | 30 | 30 | 30 | 20 | 18 | 33 |
| SR  | -  | 12 | 16 | 10 | 6  | 5  |

ABE= Capa de agregado para base estabilizada, SBG=subbase granular, SR= capa subrasante o relleno granular existente.

Los espesores de capa de subbase granular medidos en los sondeos 3 y 4, fueron menores a los espesores especificados en el diseño de pavimentos del proyecto. De manera similar, en los sondeos 4 y 5 se midieron espesores menores a los especificados en la capa de agregado para base estabilizada. Lo anterior se puede asociar al tiempo que estos materiales llevan expuestos al tránsito vehicular y al efecto de la erosión por escorrentía pluvial. Se recomienda a la Administración, que previo a retomar las obras de construcción de la carretera, se evalué la condición de las obras realizadas anteriormente en toda su longitud, para garantizar que las capas de la estructura del pavimento sean reconstituidas según el diseño original.

La descripción visual de las capas de materiales granulares, de acuerdo a lo observado durante los sondeos, se muestran en las Figuras 31, 32 y 33.

| Capa identificada | Sondeo 1  | Sondeo 2   |
|-------------------|---|--|
| ABE               | -   | -  |
| SBG               | Material granular quebrado, TMN=81mm, color gris claro                              | Material granular quebrado, TMN=75mm, color gris claro                               |
| SR                | Material tipo rocoso, arenoso, color café oscuro                                    | Material tipo rocoso, arenoso, color café oscuro                                     |
| Drenajes          | Cuneta no revestida LD, Talud LI  | Talud LI, Cuneta no revestida LD   |
| Fotografía        |  |  |

ABE= Capa de agregado para base estabilizada, SBG=subbase granular, SR= capa subrasante o relleno granular existente, LD= lado derecho, LI=Lado izquierdo.

**Figura 31.** Fichas resumen de los sondeos 1 y 2 realizados en la Ruta Nacional No.606.

| Capa identificada | Sondeo 3   | Sondeo 4  |
|-------------------|--|---|
| ABE               | -  | Material granular quebrado TMN=45mm, color gris claro                               |
| SBG               | Material granular quebrado, TMN=58mm, color gris claro                               | Material granular quebrado, TMN=58mm, color gris                                    |
| SR                | Material rocoso-arenoso, color café oscuro, algunas partículas blancas               | Material rocoso-arenoso, color café claro y algunas partículas blancas              |
| Drenajes          | Talud LI, Cuneta no revestida LD   | Talud LD, Talud LI, cunetas no revestidas   |
| Fotografía        |    |  |
| Capa identificada | Sondeo 5   |   |
| ABE               | Material granular quebrado TMN=43mm, color gris claro                                |   |
| SBG               | Material granular quebrado-arenoso, TMN=51mm, color gris                             |   |
| SR                | Material rocoso-arenoso, color café claro y algunas partículas blancas               |   |
| Drenajes          | Cuneta no revestida LI   |   |
| Fotografía        |  |   |

ABE= Capa de agregado para base estabilizada, SBG=subbase granular, SR= capa subrasante o relleno granular existente, LD= lado derecho, LI=Lado izquierdo.

**Figura 32.** Fichas resumen de los sondeos 3 y 4 realizados en la Ruta Nacional No.606.



Las muestras de los materiales granulares ya mencionados fueron ensayadas en el laboratorio en cuanto a Límites de Atterberg, Resistencia a la Abrasión Los Ángeles y Análisis Granulométrico, cuyos resultados se muestran en las Tablas 8, 9 y 10 respectivamente.

La evaluación de los resultados de los ensayos realizados se realiza respecto a las especificaciones más actualizadas del Manual CR-2010 (*Decreto Ejecutivo DE-41286-MOPT, del 06 de junio del 2018*). Esto debido a que en este momento no se tiene una contratación vigente para la construcción de la carretera. En informes anteriores del LanammeUCR se utilizaron las especificaciones aplicables y que se encontraban vigentes al momento de realizar la evaluación, esto de acuerdo con la contratación que estuviera en ejecución en ese momento.

La muestra de SBG obtenida en el Sondeos 2 presenta incumplimiento en cuanto al Límite Líquido (LL) y la muestra obtenida en el Sondeo 3 presenta incumplimiento tanto en el Límite Líquido (LL) como en el Índice de Plasticidad (IP). Esto se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados de los ensayos de Límites de Atterberg (ASTM D 4318).

| Sondeo | No. Muestra | Tipo de capa | Límite Líquido (LL) |  | Índice de Plasticidad (IP) |  | Cumplimiento                  |
|--------|-------------|--------------|---------------------|--|----------------------------|--|-------------------------------|
|        |             |              | Resultado           | Especificación Manual CR-2010 Subsecciones 703.05 y 703.21 | Resultado                  | Especificación Manual CR-2010 Subsecciones 703.05 y 703.21 |                               |
| 1      | M105-19     | SBG          | 29                  | 30 máximo  | 7                          | 7 máximo   | Sí cumple                     |
| 2      | M106-19     | SBG          | 31                  | 30 máximo  | 7                          | 7 máximo   | No cumple LL,<br>Sí cumple IP |
| 3      | M107-19     | SBG          | 35                  | 30 máximo  | 8                          | 7 máximo   | No cumple                     |
| 4      | M103-19     | ABE          | NP                  | 40 máximo  | NP                         | 8 máximo   | Sí cumple                     |
| 5      | M104-19     | ABE          | NP                  | 40 máximo  | NP                         | 8 máximo   | Sí cumple                     |

ABE= Capa de agregado para base estabilizada, SBG=subbase granular



Los resultados de los ensayos de resistencia a la abrasión por desgaste en la maquina Los Ángeles, que se realizaron a las muestras de los materiales obtenidos en los sondeos, se resumen en la Tabla 9. En este caso, todas las muestras cumplen con la especificación indicada en el Manual CR-2010.

Tabla 9. Resultados de los ensayos de resistencia al desgaste (ASTM C 131).

| Sondeo | No. Muestra | Tipo de capa | Desgaste por abrasión<br>en Máquina Los Ángeles (%) |   | Cumplimiento |
|--------|-------------|--------------|---|---|--------------|
|        |             |              | Resultado   | Especificación<br>Manual CR-2010<br>Subsecciones<br>703.05 y 703.21 |              |
| 2      | M106-19     | SBG          | 47  | 50% máximo  | Sí cumple    |
| 3      | M107-19     | SBG          | 37  | 50% máximo  | Sí cumple    |
| 4      | M103-19     | ABE          | 18  | 50% máximo  | Sí cumple    |
| 5      | M104-19     | ABE          | 30  | 50% máximo  | Sí cumple    |

ABE= Capa de agregado para base estabilizada, SBG=subbase granular

Los resultados del ensayo de análisis granulométrico para las muestras de subbase granular (SBG) obtenidas en los sondeos 1, 2 y 3, se presentan en los Gráficos 1, 2 y 3 respectivamente. Se puede observar que las muestras de SBG no cumplen total o parcialmente con la distribución de tamaños indicada en el Manual CR-2010. Se recomienda a la Administración verificar estas y otras propiedades de los materiales que han sido colocados en el proyecto por los diferentes contratistas, con el fin de garantizar que cumplen con las especificaciones y normativa aplicable, según sea el caso.



Gráfico 1. Curva granulométrica obtenida para la muestra del Sondeo 1, mediante ensayos en el laboratorio (ASTM C136 y C117).

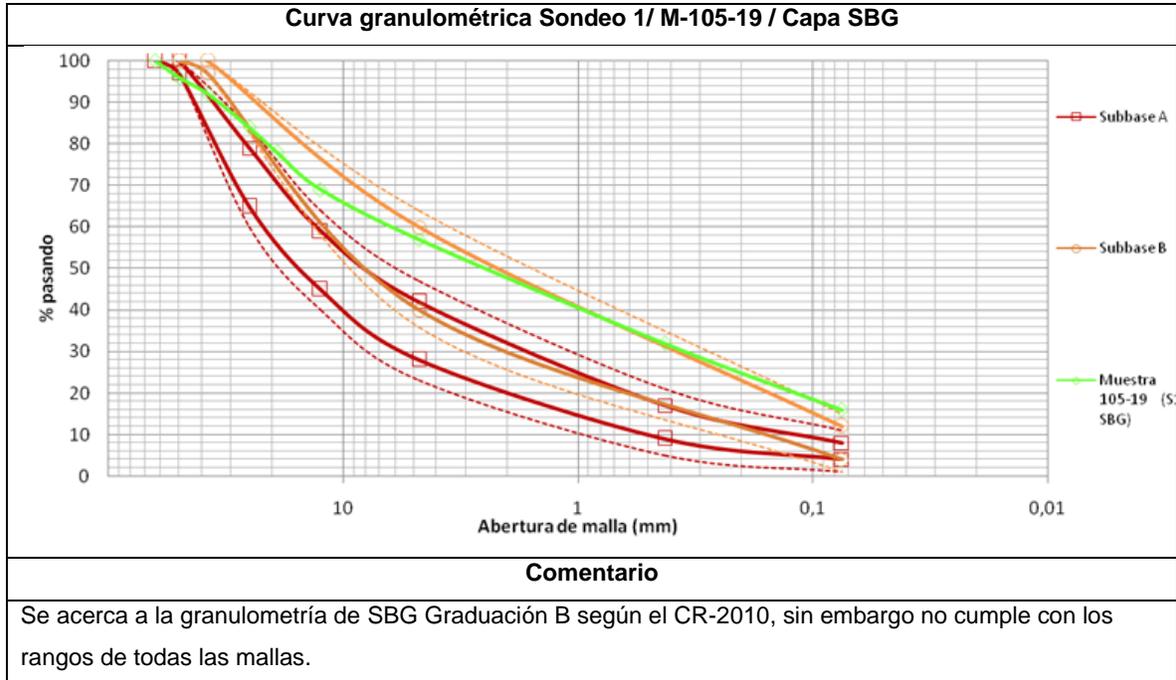


Gráfico 2. Curva granulométrica obtenida para la muestra del Sondeo 2, mediante ensayos en el laboratorio (ASTM C136 y C117).

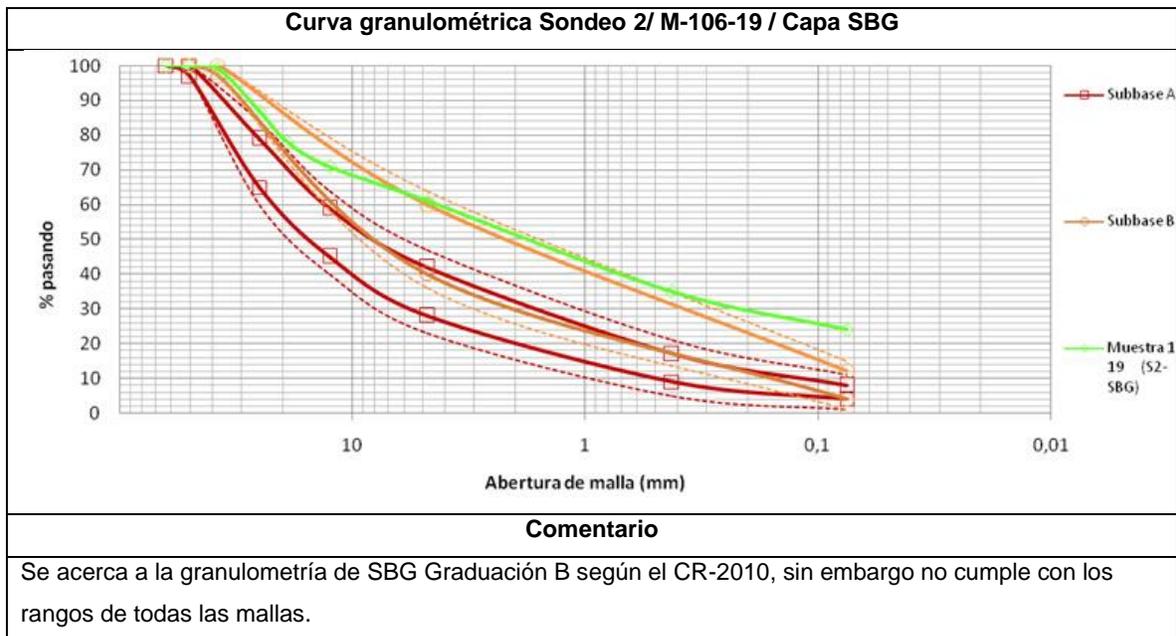
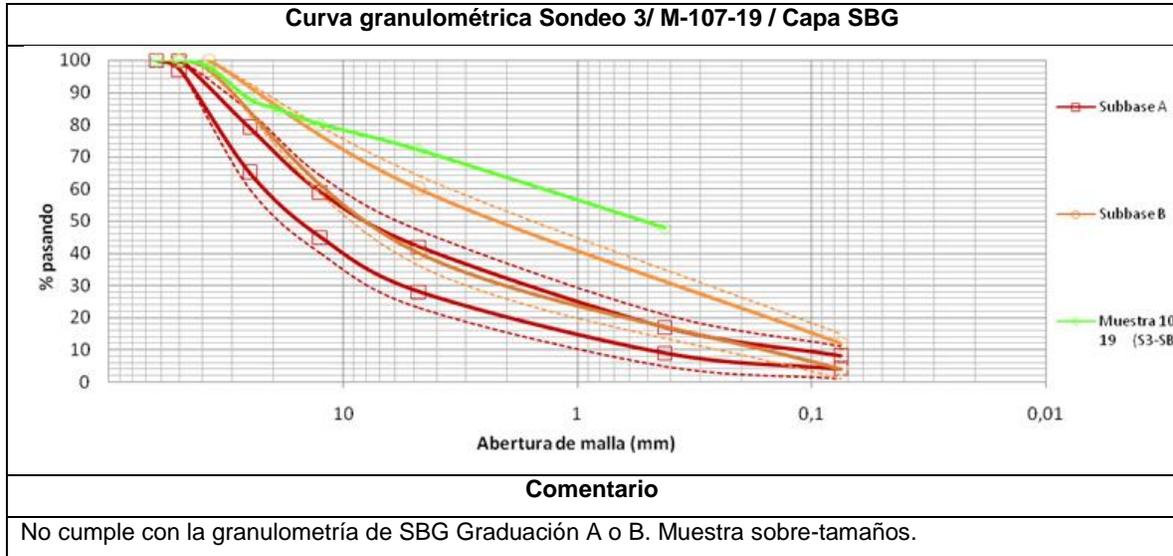




Gráfico 3. Curva granulométrica obtenida para la muestra del Sondeo 3, mediante ensayos en el laboratorio (ASTM C136 y C117).

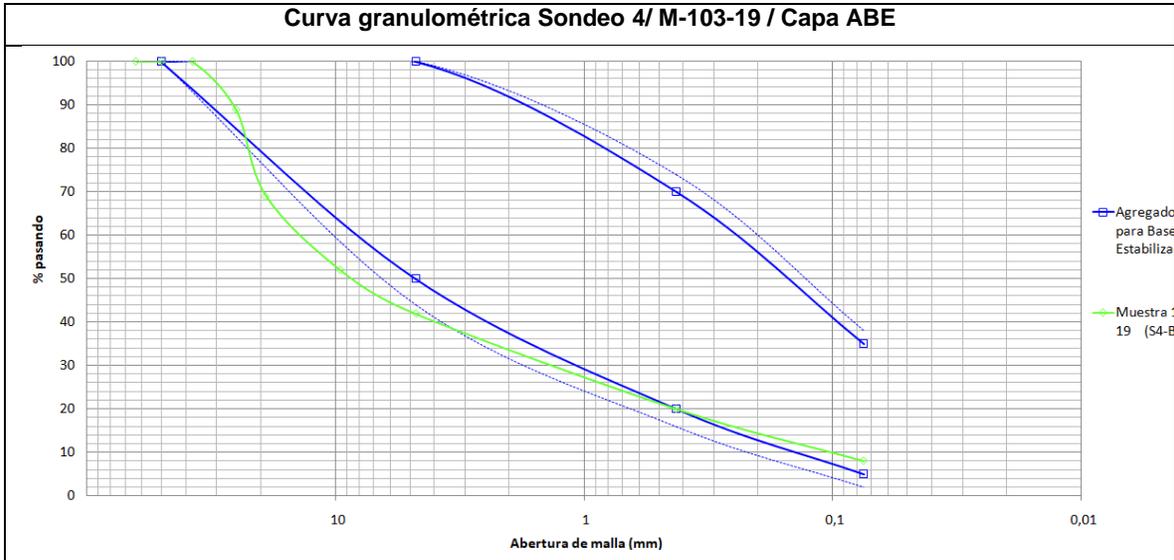


Los resultados del ensayo de análisis granulométrico para las muestras de agregado para base estabilizada (ABE) obtenidas en los sondeos 3 y 4, se presentan en los Gráficos 4 y 5 respectivamente. En este caso se observa que la granulometría de las muestras no cumple todas las especificaciones indicadas en el Manual CR-2010 Subsección 703.21, pues presenta sobre tamaños en varias mallas. Se recomienda a la Administración verificar estas y otras propiedades de los materiales que han sido colocados en el proyecto por los diferentes contratistas, con el fin de garantizar que cumplen con las especificaciones y normativa aplicable, caso contrario para aplicar las medidas correctivas de sean requeridas.

En el Anexo I, se adjuntan los informes de laboratorio: I-147-19 e I-151-19, donde se presentan con detalle los resultados de todos los ensayos realizados.



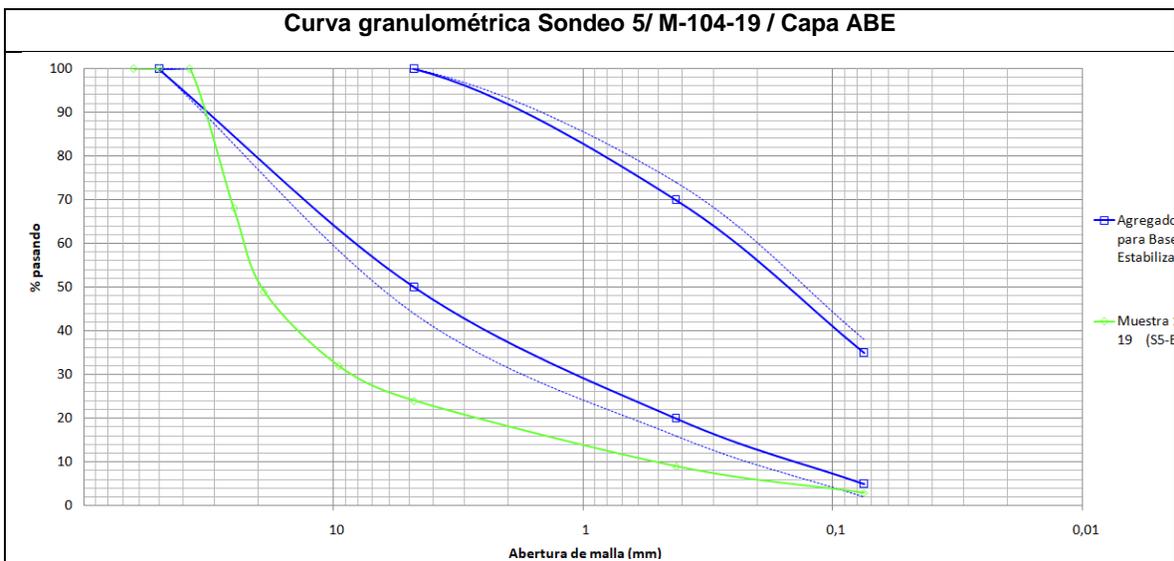
Gráfico 4. Curva granulométrica obtenida para la muestra del Sondeo 4, mediante ensayos en el laboratorio (ASTM C136 y C117).



**Comentario**

La curva granulométrica de la muestra cumple con las mallas de la fracción fina e intermedia, sin embargo presenta sobre-tamaños en la malla No.4.

Gráfico 5. Curva granulométrica obtenida para la muestra del Sondeo 5, mediante ensayos en el laboratorio (ASTM C136 y C117).



**Comentario**

La muestra presenta sobre tamaños en la mayor parte de su curva granulométrica.



#### 4.4 Condición de la infraestructura

Con base en la información recopilada en el campo por funcionarios del LanammeUCR, así como el análisis del levantamiento fotográfico de la carretera, realizado por medio de las cámaras de alta definición del equipo Geo3D del LanammeUCR, se realizó un inventario general de las obras efectivamente realizadas en este tramo de la Ruta Nacional No.606.

Se levantó información referente a la superficie de ruedo y obras complementarias como alcantarillas, cunetas, cordón y caño, así como de las aceras a los costados de la vía. Esta información incluye todas las obras existentes en el derecho de vía al momento del levantamiento (realizado en enero, febrero y marzo, 2019), es decir, se incluye tanto la obra realizada en la última contratación como la obra realizada por los contratistas anteriores.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las obras inventariadas, así como los comentarios y las recomendaciones pertinentes para ser consideradas por la Administración. En la Figura 33 se puede observar esta información de manera gráfica sobre el trazado de la ruta.

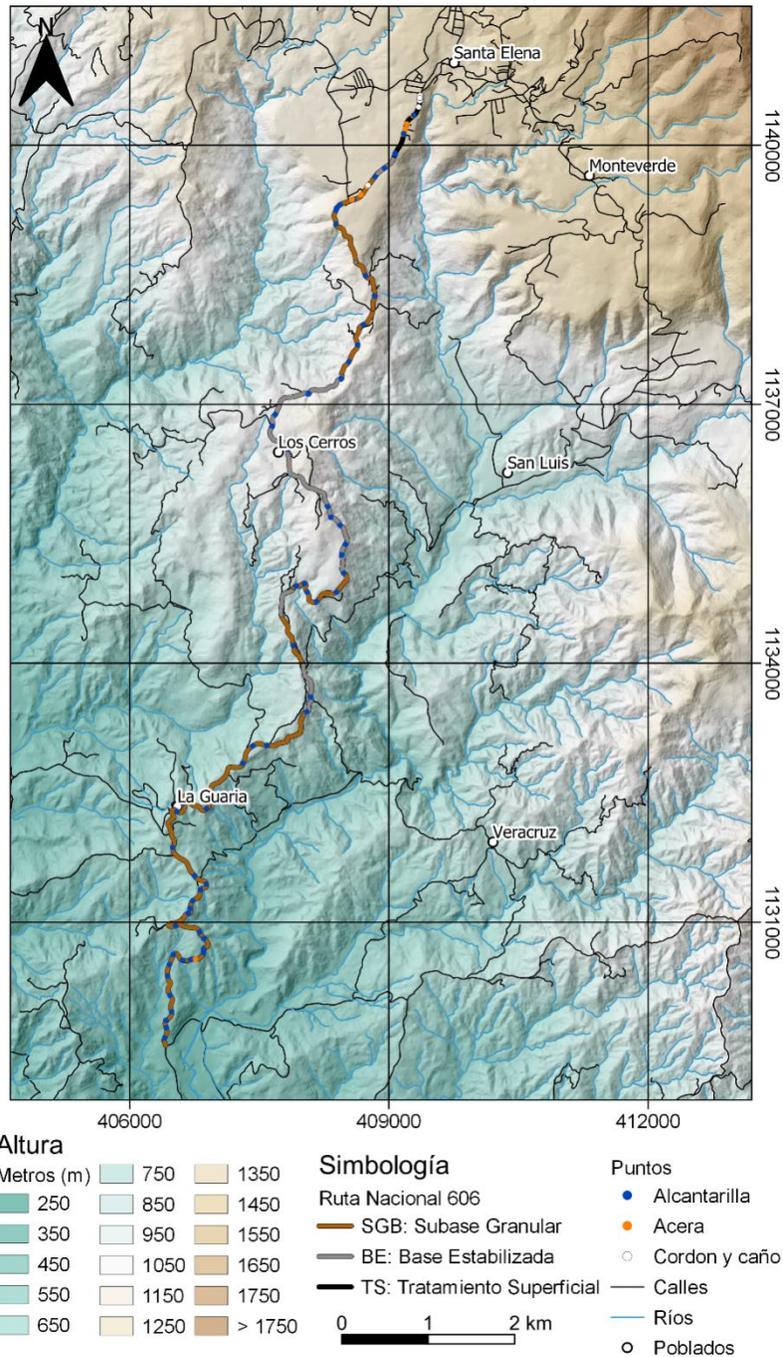
Casi todas las obras presentan algún grado de deterioro, por lo que se recomienda a la Administración evaluar de forma detallada la condición que presentan y que pueda afectar tanto su desempeño como su vida útil a mediano y largo plazo. Se debe considerar el periodo que estas obras deberán espera para ser completadas, lo que hace suponer un avance en su deterioro.



Tabla 10. Resumen de cantidades de obra existente en el tramo Guacimal – Santa Elena, Ruta Nacional No.606.

| Obra               | Cantidad | Comentarios  |
|--------------------|----------|--|
| Alcantarillas      | 12 und   | CONAVI reporta 12 alcantarillas intervenidas por el Contratista, de las cuales 5 fueron recibidas conforme. En la mayoría de las alcantarillas está pendiente la construcción de alguno de los elementos necesarios para su funcionamiento y protección.   |
| Sub base granular  | 16882 m  | Prácticamente en toda la longitud del proyecto se ha colocado material granular de sub base, sin embargo, en muchos sitios este material se encuentra contaminado, ha tenido pérdida de finos y ha disminuido su espesor. CONAVI reporta colocación de este material en 3180 m por parte del último contratista.   |
| Base estabilizada  | 830 m    | CONAVI reporta la colocación de 830 m por el último contratista, sin embargo, la base, al haber estado expuesta ha experimentado deterioros importantes como pérdida de material y contaminación.  |
| Cuneta de hormigón | 618 m    | Estas cunetas presentan por sectores grietas de diversas magnitudes, por lo que se recomienda a la Administración evaluar la condición de estas obras y la necesidad de sustituir las que no cumplan con la calidad esperada.  |
| Cordón y caño      | 244 m    | Obra construida a ambos lados de la carretera. CONAVI reporta la construcción de 132 m de este elemento a ambos lados de la carretera por parte del último contratista. A la fecha presenta una buena condición, se recomienda realizar un inventario detallado de su condición, previo al inicio de los trabajos. |
| Acera              | 855 m    | Se considera la longitud total de acera a ambos costados de la carretera. Varios tramos presentan agrietamiento de diferentes magnitudes. CONAVI reporta la construcción de 639 m por parte del último contratista.  |

Fuente: LanammeUCR y Oficio GCTI-25-19-0193.



**Figura 33.** Mapa de condición y ubicación de la infraestructura. Mapa con información recolectada con el equipo Geo3d a lo largo del tramo de la ruta Nacional No. 606.



## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos del trabajo de evaluación realizado en el campo, así como de los ensayos llevados a cabo por el LanammeUCR en las muestras de material granular del Proyecto “Mejoramiento de la Ruta Nacional No.606, Sección: Guacimal – Santa Elena”, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Las obras construidas en este tramo de la Ruta Nacional No.606 se encuentra en una condición de vulnerabilidad, debido principalmente a que los trabajos que fueron contratados no fueron concluidos. Faltan obras para la protección de la infraestructura, por lo que está expuesta a la acción de las lluvias, y con el agravante de que posiblemente pasarán varios meses antes de que se reanuden los trabajos requeridos para completar las obras.
- La mayoría de las obras construidas producto de las dos contrataciones que ha hecho la Administración, han sufrido deterioros en diferentes grados de severidad. En muchos sectores los materiales granulares están contaminados con suelo y material orgánico, en las alcantarillas construidas faltan algunos elementos funcionales y de protección y, también en las cunetas construidas se observan agrietamientos que pueden afectar el desempeño de estas obras en el proyecto.
- De la caracterización geomorfológica se concluye que existen pendientes “altas” y “muy altas” en la zona de estudio que tienen una influencia directa en la susceptibilidad al deslizamiento.
- Los taludes de los kilometrajes 10+700, 13+000 al 14+100, 16+200 y 22+000, continúan presentando condiciones de vulnerabilidad que elevan el riesgo para los usuarios por la caída de suelo y rocas en la carretera. Se recomienda, tal y como se ha indicado en informes anteriores a la Administración, realizar los estudios y diseños requeridos para la adecuada construcción de las obras de estabilización y protección superficial necesarias para garantizar la estabilidad de estos taludes y mitigar la acción de los agentes erosivos. Los sitios indicados anteriormente no son una lista definitiva ni excluyente de los sitios que requieren atención por parte de la Administración.



- De los ensayos realizados a los materiales granulares que han sido colocados en el proyecto, se desprenden las siguientes observaciones: en varios sitios evaluados en el proyecto, los espesores existentes de estos materiales son inferiores a los espesores que están especificados en los planos de la contratación. En muchos sitios el espesor ha disminuido por la acción erosiva del agua y el tránsito vehicular. Las muestras evaluadas cumplieron con la resistencia a la abrasión requerida según el manual CR-2010. Las muestras obtenidas en los sondeos no cumplen totalmente la granulometría especificada en el Manual CR-2010.

## 5. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Administración considerar las observaciones remitidas por el LanammeUCR mediante el oficio LM-IC-D-023219, recibido el 26 de marzo del presente año. Las principales recomendaciones contenidas en dicho oficio se resumen a continuación:

- Planificar e implementar un plan de monitoreo de la condición que presentan los taludes a lo largo de la carretera, principalmente estar vigilantes de las condiciones que propician la caída de rocas que representan un riesgo para la seguridad de los usuarios.
- Instalar los dispositivos de señalización temporal necesarios para garantizar la seguridad de los usuarios durante esta etapa previa a la reanudación de los trabajos en la carretera. Existen varios tramos en los cuales se debe advertir a los usuarios de peligros como curvas pronunciadas o sitios en los cuales se reduce peligrosamente el ancho de la calzada y no existe ninguna señalización preventiva o barreras físicas de contención.
- Incluir, dentro de las actividades que se deben realizar, el mantenimiento de las cunetas y las alcantarillas existentes en el proyecto. Varias alcantarillas están colmatadas por sedimentos, lo que provoca durante la estación lluviosa que el agua de escorrentía genere daños en la superficie de ruedo y en los taludes de relleno.



- Proteger la superficie de ruedo de todo el tramo de carretera entre Guacimal y Santa Elena. Considerar aplicar el tratamiento superficial a todo el tramo que actualmente está en subbase. Lo anterior en el entendido de que bajo las condiciones actuales este tipo de intervención es una medida temporal para la protección de la superficie de ruedo.

Finalmente, se recomienda a la Administración emplear este informe como insumo para el desarrollo de las etapas futuras del proyecto, bajo la modalidad de diseño – construcción – mantenimiento que la Administración considere más oportuna.