

Universidad de Costa Rica

**Laboratorio Nacional de Materiales y
Modelos Estructurales
LanammeUCR**

Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional

Evaluación de las condiciones de ladera

**Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera
Ruta Nacional 27**

LM-PI-PV-ERV-27-10

Abril, 2010



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

Tabla de contenidos

	Página
1. Potestades	3
2. Objetivo de la evaluación.....	3
3. Alcance de la evaluación	3
4. Equipo evaluador.....	4
5. Introducción	5
6. Evaluación y gestión de los riesgos naturales.....	6
7. Carretera San José-Caldera y tramo evaluado	9
7.1. Descripción general de la Carretera San José-Caldera	9
7.2. Tramo evaluado	9
7.2.1. Información climatológica	12
7.2.2. Geología	13
7.2.3. Tipos de suelo.....	14
7.2.4. Uso de suelo	15
8. Metodología de evaluación del riesgo en la infraestructura.....	20
9. Evaluación de las condiciones de ladera de la sección Est. 39+000 a 53+000 ...	21
9.1. Taludes de corte y relleno en carreteras de montaña	21
9.2. Metodología de evaluación utilizada en este estudio	21
9.2.1. Comentarios generales sobre las condiciones de ladera	23
9.2.2. Comentarios sobre condiciones de ladera por estacionamiento	25
10. Conclusiones	41
11. Recomendaciones	42
12. Referencias bibliográficas.....	45



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

1. Potestades

La ejecución de las evaluaciones técnicas realizadas dentro del Programa de Infraestructura del Transporte (Pitra) y la Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR) de los distintos parámetros de la Red Vial Nacional, se fundamentan en las disposiciones que establece el Artículo 6 de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias.

De esta forma se responde al mandato expreso de la ley de realizar “*Evaluación anual de las carreteras y puentes en concesión*” e informar “*para lo que en derecho corresponda, a la Asamblea Legislativa, al Ministerio de la Presidencia, al MOPT, a la Contraloría General de la República y a la Defensoría de los Habitantes, el resultado final de las auditorías técnicas realizadas a proyectos en ejecución y de las evaluaciones efectuadas a la red nacional pavimentada, las carreteras y los puentes en concesión*”.

2. Objetivo de la evaluación

El objetivo de este tipo de evaluaciones realizadas por la Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR, es valorar la vulnerabilidad física de las carreteras nacionales más importantes del país ante amenazas naturales e identificar factores de riesgo y vulnerabilidad ante eventos naturales de los distintos elementos de la infraestructura vial, aplicando metodologías técnicas, objetivas y oportunas, como las desarrolladas por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), para establecer una base de información digital organizada que sirva como insumo técnico para promover los procesos de planificación y acciones preventivas o correctivas por parte de la Administración Activa del Estado costarricense o por parte del ente legalmente responsable de la administración de la infraestructura vial en concesión, facilitándoles la toma de decisiones y la priorización con el fin de reducir el riesgo existente.

3. Alcance de la evaluación

Se evalúan las condiciones de ladera de la sección comprendida entre los estacionamientos 39+000 y 53+000 del Tramo II de la Ruta Nacional 27 San José-Caldera, en una longitud de 14 kilómetros, en cuanto a las condiciones de laderas existentes y la susceptibilidad a deslizamientos de suelo y roca y desprendimientos de bloques o masas de roca, a partir de lo observado en campo durante diferentes visitas de campo realizadas por ingenieros del LanammeUCR.

La decisión de evaluar esta sección en primera instancia, corresponde a movimientos de ladera caracterizados por desprendimientos de material de tamaño considerable que se



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

han dado entre los estacionamientos 39+000 y 53+000 y a la susceptibilidad de esta sección a seguir registrándolos. La valoración del resto de la ruta se realizará como parte de la evaluación integral de la carretera San José-Caldera a realizarse durante el año 2010.

4. Equipo evaluador

El equipo evaluador estuvo conformado por:

Ing. Diego A. Cordero Carballo
Ing. José Francisco Garro Mora
Tec. Jairo Sanabria Sandino
Ing. Roy Barrantes Jiménez

Ingeniero evaluador
Ingeniero Evaluador
Asistente
Coordinador de la Unidad de Evaluación
de la Red Vial Nacional (UERVN)

Asesoría técnica

Ing. William Vargas Monge, Ph.D.

Asesor técnico

Apoyo técnico

Ing. Edgar Camacho Garita
Tania Ávila Esquivel
César Chaves Vargas

Ingeniero investigador
Asistente
Asistente

Control de legalidad

Lic. Miguel Chacón Alvarado

Asesor legal externo



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

5. Introducción

Costa Rica cuenta con una gran diversidad geomorfológica producto de su gran dinamismo hidrometeorológico, tectónico y volcánico, dando como resultado una gran variedad de paisajes naturales. Estos elementos deben considerarse en el desarrollo de la infraestructura del país, con la meta de reducir al máximo su riesgo ante amenazas naturales y el impacto que estas podrían generar sobre el medio ambiente.

Las rutas nacionales, como la analizada en este trabajo, son de una gran importancia estratégica para el país desde un punto de vista económico y social, siendo éstas las principales vías para la exportación e importación de bienes desde y hacia puertos, para el transporte de personas y mercancías y para el acceso a las principales ciudades del país.

En los últimos 30 años, el país ha presentado importantes daños en su infraestructura vial debido a eventos naturales, como son las lluvias, huracanes (e.g., Juana, 1988; César, 1996; Mitch, 1998; Alma, 2008) y eventos sísmicos importantes (e.g., Pérez Zeledón, 1983; Limón, 1991; Cinchona, 2009).

La evaluación de las zonas susceptibles a daños en la infraestructura por causas naturales o antropológicas, debe ser de gran importancia para los encargados de tomar decisiones a nivel técnico y político, especialmente a la hora de asignar recursos públicos para realizar reparaciones o rehabilitaciones de la infraestructura que presente algún nivel de daño.

Las rutas nacionales pueden ser clasificadas por su topografía en rutas de montaña o rutas de llanura/planicie, clasificación que permite relacionar a cada una las amenazas geológicas más comunes en nuestro país, siendo éstas los deslizamientos para las rutas de montaña y las inundaciones para las rutas de llanura/planicie. En ambos casos hay otros aspectos geotécnicos de los materiales localizados a lo largo de las rutas que de igual manera deben ser tomados en cuenta, como son los suelos expansivos o suelos con insuficiente capacidad de soporte.

En el presente estudio se evalúan las condiciones de ladera de la sección comprendida entre los estacionamientos 39+000 y 53+000 del Tramo II de la Ruta Nacional 27 San José-Caldera, en una longitud de 14 kilómetros, en cuanto a las condiciones existentes (susceptibilidad a deslizamientos de suelo y roca y desprendimientos de bloques o masas de roca), valoración que fue realizada por ingenieros del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

6. Evaluación y gestión de los riesgos naturales

La gestión de riesgo, según la define ITGD (2002)¹, es la capacidad de una sociedad y sus actores sociales para transformar el riesgo, actuando sobre las causas que lo producen, mediante un proceso planificado, concertado, participativo e integral. Esta gestión debe considerar las medidas y formas de intervención que tiendan a reducir, mitigar o prevenir los desastres naturales, abarcando el manejo de los desastres a nivel regional o de país, ligado a la búsqueda de la sostenibilidad.

El riesgo se puede precisar en función de dos factores: la amenaza y la vulnerabilidad, para lo cual es necesario definir estos términos. La amenaza está relacionada con el factor natural. Según la UNESCO (1984), ésta se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno o evento natural potencialmente capaz de causar pérdidas en la población y/o la infraestructura de una región, durante un lapso específico. La amenaza se caracteriza en función de la susceptibilidad del sitio, la severidad (i.e., intensidad y duración) y la frecuencia del evento (LanammeUCR, 2003). Por su parte, la vulnerabilidad está relacionada con un factor humano. Se puede definir como la estimación de las pérdidas o daños que pueden ser causados por un evento natural de cierta severidad, incluyendo daños a la construcción, daños personales e interrupción de las actividades económicas y del funcionamiento normal de las comunidades (OEA/DDRMA, 1991).

De acuerdo con los ingenieros William Vargas y José Garro (2003)² del LanammeUCR, las amenazas más importantes para la infraestructura vial de Costa Rica son las inundaciones y ondas de agua (caudales extremos), los deslizamientos de tierra y las vibraciones sísmicas. En un segundo nivel de importancia se pueden mencionar los flujos de lodos, los lahares, la licuación de suelos y la socavación. En un tercer nivel, se pueden nombrar los vientos fuertes, la ruptura superficial de fallas geológicas, los *tsunamis* y otras amenazas, como las asociadas a la actividad volcánica. En la Tabla 1 se muestran variables relacionadas con la amenaza naturales más importantes para la infraestructura vial.

Dentro de la infraestructura vial en nuestro entorno, los terraplenes de relleno, los taludes de corte y los puentes han demostrado ser las estructuras más vulnerables, seguidos por los sistemas de drenaje.

En un análisis de vulnerabilidad, ésta queda definida como el valor máximo alcanzado de vulnerabilidad para la totalidad de amenazas analizadas en cada tramo, por ende, en un tramo destacado con vulnerabilidad alta, ésta debe estar vinculada al menos con una amenaza.

¹ ITGD. (2002). *Taller de capacitación El fenómeno de El Niño y la gestión de riesgo de desastres*. Proyecto Moquegua.

² Vargas, W. & Garro, J. (2003). *Gestión de riesgos naturales en infraestructura vial*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.



Tabla 1. Variables importantes en la generación, extensión y propagación de amenazas naturales. (Vargas & Garro, 2003).

Amenaza	Variables
Vibración sísmica	Magnitud del sismo
	Distancia a la fuente sísmica
	Condiciones geológicas y geotécnicas locales del terreno
Licuación de suelos	Nivel de agua subterránea
	Tipo y resistencia del suelo
	Aceleración sísmica
Lahares (flujos de lodo)	Patrón de distribución de cenizas y piroclastos
	Intensidad y duración de precipitación
	Características hidrográficas e hidrológicas de las cuencas
	Tipo de cobertura superficial
	Topografía
Inundación	Intensidad y duración de precipitación
	Características hidrográficas e hidrológicas de las cuencas
	Tipo de cobertura superficial/Usos de suelo (vegetal, urbano)
	Topografía
Movimientos de masas de suelo • Deslizamientos • Flujos de detritus	Geología
	Topografía
	Tipo de suelo
	Tipo de cobertura superficial/Usos de suelo
	Características hidrográficas e hidrológicas de las cuencas
	Régimen de precipitación
	Aceleración sísmica
	Tipo de mineral arcilloso
Expansión y contracción de arcillas	Precipitación promedio anual
	Variación estacional de precipitación

El riesgo total o final se puede cuantificar en términos económicos, para lo cual se puede considerar el riesgo total como la suma de todos los riesgos específicos, que a su vez son función del tiempo y el espacio. Este valor económico conlleva una probabilidad intrínseca por lo que usualmente se proponen escenarios según sea su probabilidad. En ocasiones, estos escenarios no solo señalan los datos directos sobre la estructura, sino que también presentan daños indirectos asociados. La definición de estos escenarios queda fuera del alcance de este estudio.

La gestión del riesgo consiste en la implementación sistemática de medidas para la reducción de la vulnerabilidad. La mayoría de las amenazas naturales no están sujetas a un posible control humano o tecnológico, por lo que la reducción de la vulnerabilidad es la mejor y, en algunos casos, la única forma de reducir el riesgo. Medidas de la gestión del riesgo engloban aspectos como la evaluación, prevención, mitigación, preparación y respuesta ante dicho riesgo.



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

En el LanammeUCR se ha desarrollado investigación que ha abarcado tanto la evaluación de amenazas como la de los componentes estructurales más importantes de la infraestructura vial nacional, como son los puentes, taludes de corte, terraplenes y sistemas de drenaje. Como resultado de este trabajo en el LanammeUCR se han adaptado y desarrollado metodologías de evaluación necesarias para la identificación, cuantificación y priorización del riesgo, convirtiéndolas en herramientas útiles para los encargados de la toma de decisiones.

En el LanammeUCR se desarrollan evaluaciones de la vulnerabilidad ante amenazas naturales de la infraestructura vial por medio de la Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional con fundamento en la Ley N° 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias.



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

7. Carretera San José-Caldera y tramo evaluado

7.1. Descripción general de la Carretera San José-Caldera

La Carretera San José-Caldera inicia en la esquina sureste del Parque Metropolitano La Sabana (Est. 0+000 del proyecto) y finaliza cerca del puerto de Caldera (Est. 76+620).

La carretera, de 76,6 kilómetros, se puede dividir en tres tramos. El primero, de 14 kilómetros de longitud, comunica La Sabana con Ciudad Colón; el segundo tramo de 39 kilómetros, comunica Ciudad Colón con Orotina; y el último tramo, de 24 kilómetros de longitud, comunica Orotina con Caldera.

Desde un punto de vista topográfico, el primero y tercer tramo recorren zonas de pendientes poco pronunciadas. El segundo tramo por su parte, recorre zonas con pendientes más pronunciadas, caracterizándose por atravesar cortes de montaña de altura considerable, con taludes en suelo y predominantemente en roca.

7.2. Tramo evaluado

El tramo analizado de la carretera San José-Caldera corresponde a la sección comprendida entre los estacionamientos 39+000 y 53+000 (Tramo II). La ubicación geográfica del tramo analizado así como el mapa de pendientes de la zona analizada se muestra en las Figuras 1 y 2.

Las elevaciones a lo largo del tramo estudiado varían entre los 382 msnm en el Estacionamiento 39+800 hasta los 190 msnm en el Estacionamiento 47+380. El Grafico 1 muestra el perfil de elevación del tramo.

Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27

LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

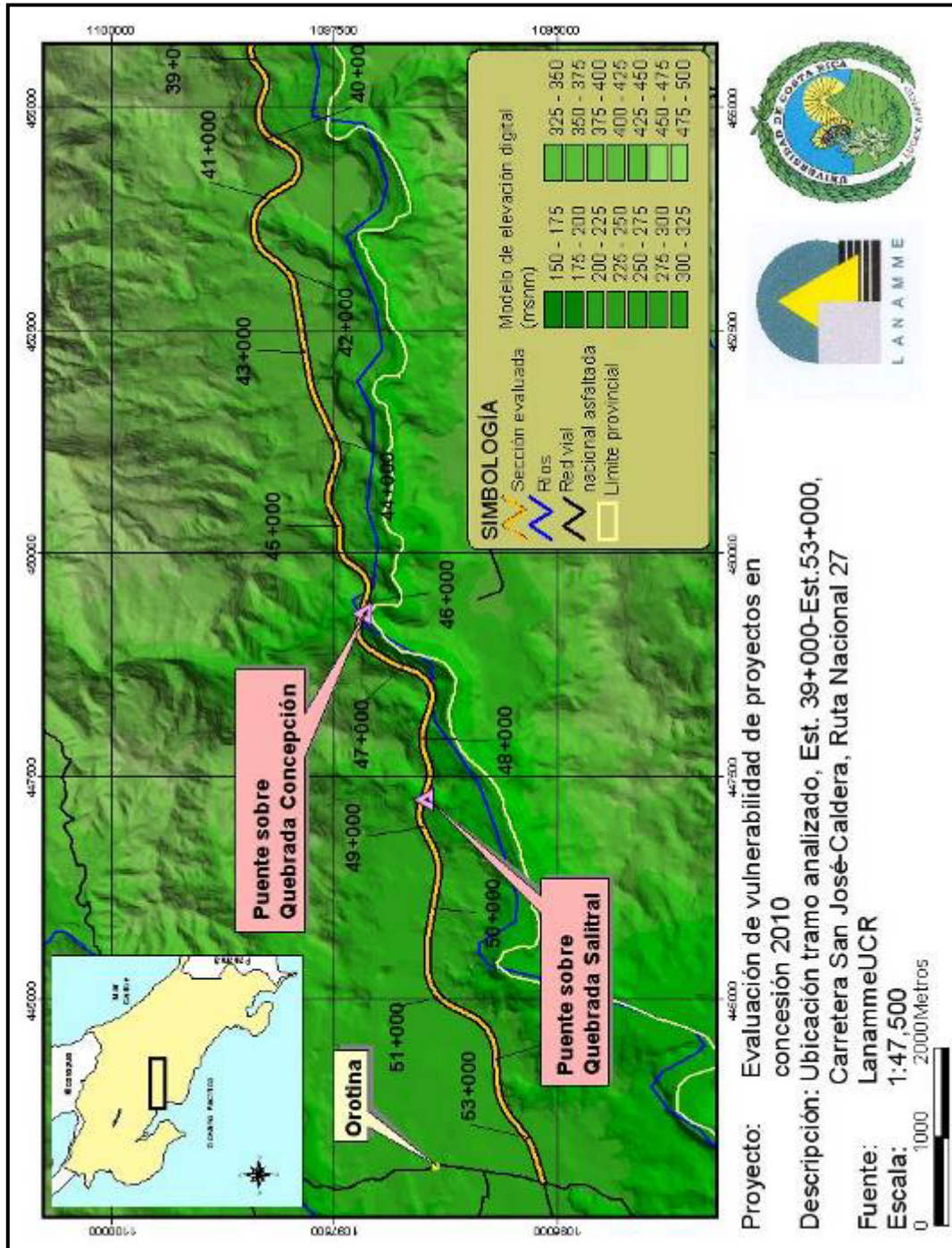


Figura 1. Tramo analizado de Ruta Nacional 1. (LanammeUCR, 2010).

Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27

LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

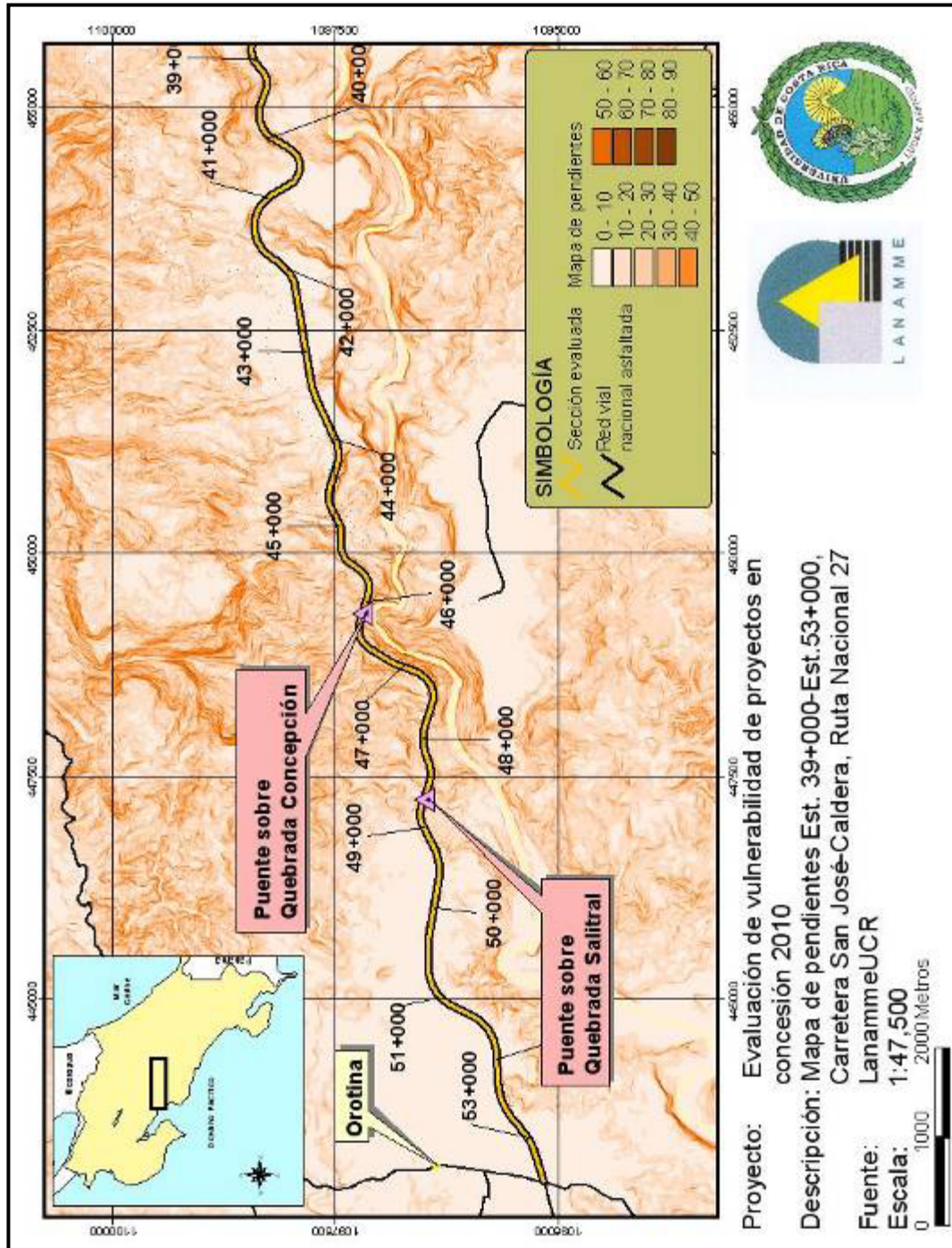


Figura 2. Mapa de pendientes. (LanammeUCR, 2010).

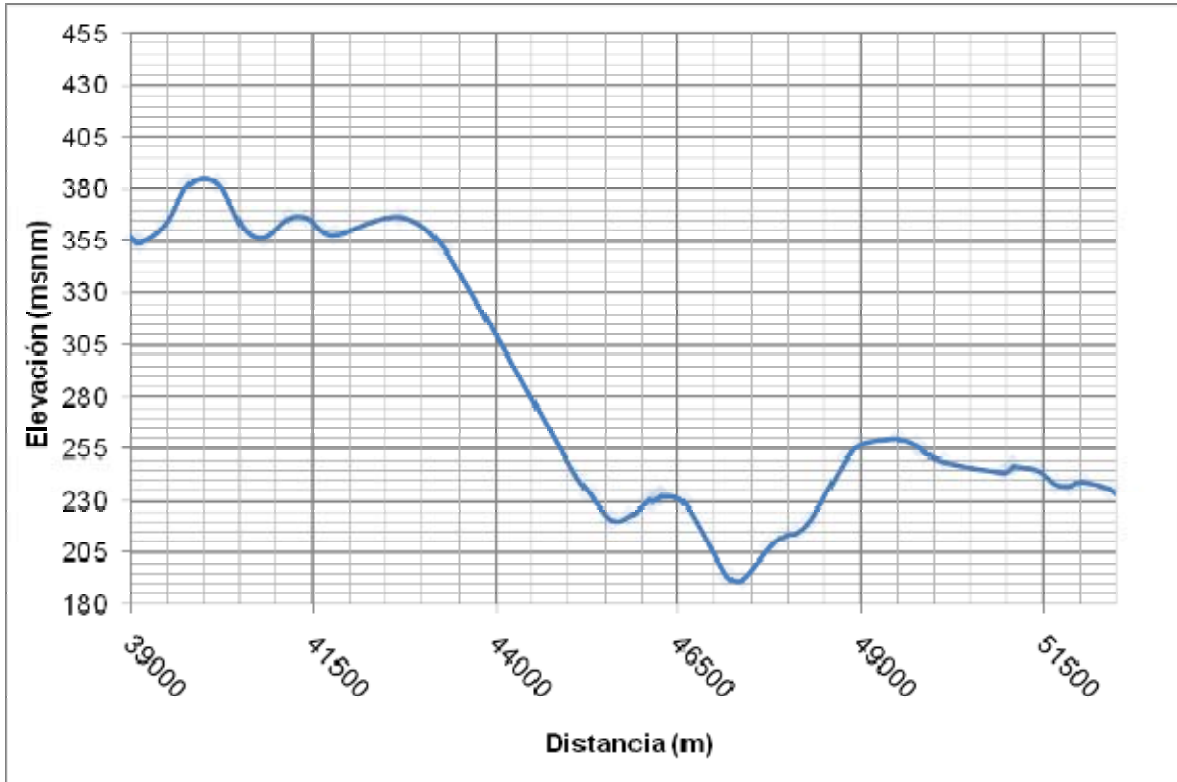


Gráfico 1. Perfil de elevaciones del tramo analizado. (LanammeUCR, 2010).

7.2.1. Información climatológica

De acuerdo con la propuesta planteada por Orozco (2007)³ en su trabajo *Zonificación climática de Costa Rica para la Gestión de Infraestructura Vial*, la sección analizada de Carretera San José-Caldera atraviesa la región Golfo de Nicoya y Llanura Guanacasteca (GNG). La Figura 3 muestra la ubicación de la sección analizada de acuerdo con la zonificación propuesta.

Según Orozco (2007) la región Golfo de Nicoya y Llanura Guanacasteca (GNC) se caracteriza por presentar las temperaturas promedio más altas del país, con zonas muy secas; presenta las intensidades de lluvia más altas del país, aunque la menor cantidad de días de lluvia, y muy altas velocidades de viento en época seca.

³ Orozco, E. (2007). *Zonificación climática de Costa Rica para la Gestión de Infraestructura Vial*. Informe de Proyecto de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

En cuanto a las variables pluviométricas promedio de las zonas en mención, se puede destacar que la zona Golfo de Nicoya y Llanura Guanacasteca (GNG) presenta una precipitación promedio anual de 1911 milímetros, con 4 meses secos durante el año, con 172 días de lluvia en el año.

En cuanto a las variables térmicas promedios anuales, la región Golfo de Nicoya y Llanura Guanacasteca (GNG) presenta una temperatura máxima de 33°C, una temperatura promedio de 26°C y una temperatura mínima de 15°C.

7.2.2. Geología

La información geológica de la zona fue obtenida a partir del “Mapa geológico de Costa Rica” (Fernández et al., 1997), del libro “Geología de Costa Rica” (Denyer & Kussmaul, 2000) y del documento “Estudio de factibilidad: Anteproyecto de Carretera Ciudad Colón-Puerto Caldera, Geología y Geotecnia” (Torres & Madrigal, 1977). (La Figura 4 muestra la ubicación de la sección analizada respecto a la geología).

Se presenta a continuación una descripción de las unidades litoestratigráficas que atraviesa la sección analizada de la carretera San José-Caldera:

- 1. Formación Esparza (Tp-e):** Se compone de clastos centimétricos, angulosos a subredondeados, con un máximo de 50 centímetros, compuestos por lavas andesíticas porfiríticas con megacristales de plagioclasa, o bien con gran cantidad de piroxenos, lavas vesiculares, cuarzo lechoso y tobas. Algunos de estos clastos presentan alteración hidrotermal y representan un 30% del total de la roca, flotando en una matriz arcillosa (70%) café rojiza. El espesor de esta formación puede alcanzar los 50 metros, aunque puede ser tan delgada como 1 o 2 metros.
- 2. Formación Orotina (Qv-o):** Se compone de ignimbritas no estratificadas, con fragmentos de pómez de tamaño variable.
- 3. Formación Grupo Aguacate (Tva):** Esta formación está compuesta enteramente de rocas volcánicas. Su edad no ha sido determinada por métodos directos sino por la relación de sobre posición con rocas supuestamente de la Formación Carballo de edad Mioceno medio. Su litología cubre todos los ámbitos de rocas volcánicas como lavas, andesíticas y basálticas, tobas e ignimbritas, así como aglomerados y brechas. En el área de interés esta formación está dividida en dos por el Valle del Grande de Tárcoles.

Siendo una unidad volcánica no hay buzamientos. Presenta algunas fracturas de plano casi vertical y rumbo N23°W, N30°W, N60°W y N55°W.

Las rocas sanas de esta formación son duras y resistentes y presentan casi ningún problema de estabilidad o capacidad soportante. Por el contrario, cuando



meteorizadas, su comportamiento es similar al comportamiento de un suelo, variando sus parámetros con el grado de avance que la meteorización acuse. En forma generalizada, la capa de meteorización escasamente supera los veinte metros de espesor, ocupando la misma una posición paralela a la superficie topográfica actual. Presenta con mucha frecuencia secciones que han sufrido fuerte actividad hidrotermal, encontrándose en ellas, como fenómeno común, diversos grados de arcillificación, básicamente caolinización, fenómeno que redundan en un empeoramiento significativo del comportamiento de la roca como medio soportante. El paso de estas secciones requiere la aplicación de medidas preventivas específicas, las cuales deben ser validadas por medio de estudios geológico-geotécnicos específicos para cada zona bajo análisis, como taludes de poca inclinación, buenos sistemas de drenaje y utilización de materiales de préstamo.

7.2.3. Tipos de suelo

De acuerdo con los ingenieros Roy Bogantes, Gastón Laporte, Carlos Quesada y Alexis Vásquez (2002)⁴, la sección analizada de la carretera San José-Caldera atraviesa los siguientes tipos de suelos, según se muestra en la Figura 5.

- 1. Suelos residuales rojizos (*Lat*):** Son suelos rojizos, mal llamados *lateríticos* en el ámbito ingenieril. Son suelos residuales de gran desarrollo, lo que se traduce en un espesor de la capa de suelo (material con grado de alteración VI) con un espesor superior a los 2 metros. Se encuentran extendidos a lo largo y ancho del país y pueden desarrollarse prácticamente a partir de cualquier roca madre y en cualquier clima. Los óxidos de hierro le confiere la coloración y mineralógicamente predominan los minerales arcillosos caoliníticos, con la presencia ocasional de halloisita. Son arcillas limosas de alta plasticidad (generalmente MH según la clasificación SUCS), con límites líquidos superiores al 70%. Usualmente contienen más del 65% de arcilla caolinítica en su granulometría.

Desde un punto de vista ingenieril presentan buenas condiciones de cimentación para obras livianas como casas y carreteras. Su principal problema radica en su susceptibilidad a fenómenos de inestabilidad de taludes como reptación y deslizamientos superficiales. El fenómeno de reptación se aprecia en este tipo de suelos sobre todo en la zona de Puriscal, y los deslizamientos superficiales con frecuencia son desatados por lluvias, aunque como sucedió durante el terremoto de Limón (1991), los sismos también pueden ser factores desencadenantes de la inestabilidad. La propensión a la inestabilidad de estos suelos puede explicarse si se considera un perfil típico de un suelo residual, en la cual se observa que existe una superficie preferencial de falla entre los horizontes de suelo residual y roca

⁴ Bogantes, R., Laporte, G., Quesada, C. & Vásquez, A. (2002). *Zonificación geotécnica general de Costa Rica considerando elementos edáficos y climáticos*. San José, Costa Rica.



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

meteorizada. Su permeabilidad es buena por su alto contenido de arcilla caolinítica. Son suelos difíciles de compactar, por su alta humedad natural y óptima. Se han encontrado casos en los que su consistencia es muy blanda, principalmente en zonas lluviosas.

- 2. Suelos de poco espesor (Roc):** Son suelos poco desarrollados por la existencia de un material resistente a poca profundidad, usualmente menos de 60 centímetros. Este material usualmente es el horizonte C del perfil de meteorización; sin embargo, en el caso de algunos aluviones estos materiales son bloques de roca sana. El desarrollo de estos suelos se ve limitado por dos factores principales: en primer lugar, si el suelo se ubica en fuertes pendientes, los procesos de erosión superan los de formación del suelo, y no pueden desarrollar espesores importantes. En este caso, el suelo presenta un color rojizo, signo de que la roca subyacente se encuentra muy meteorizada. En segundo lugar, en muchos aluviones se presentan gran cantidad de bloques resistentes a la meteorización, con lo que el suelo tampoco se puede desarrollar, aunque se ubique sobre topografía plana.

Desde un punto de vista ingenieril, en el caso de ubicarse en zonas montañosas, el suelo prácticamente no existe, y se encuentra roca alterada superficial (i.e., grado de alteración IV a V del perfil típico de suelo residual y grado de alteración de roca). Dependiendo de la formación geológica y de las condiciones locales, pueden presentarse deslizamientos en roca en algunas zonas. Al estar constituidos por roca alterada, el material es de muy baja permeabilidad, ya que las fracturas usualmente se encuentran llenas de minerales arcillosos.

Si se ubican sobre aluviones en zonas planas, el suelo se caracteriza por la gran cantidad de bloques, lo que puede dificultar su excavación. Su permeabilidad es alta, ya que estos aluviones no están cementados y usualmente contienen cantidades apreciables de materiales limosos y arenosos, que le confieren una buena permeabilidad.

Estos suelos también pueden presentarse sobre ignimbritas masivas resistentes a la meteorización. En este caso, la topografía puede ser plana y se presentan excelentes condiciones de cimentación, tanto de estructuras puntuales como en obras viales. Son suelos poco permeables, por la presencia de la ignimbrita o toba masiva a poca profundidad.

7.2.4. Uso de suelo

En total, la sección analizada de la carretera San José-Caldera atraviesa cuatro usos de suelos, a saber: cultivos permanentes, pasto con agricultura, bosque natural y bosque secundario. El detalle de los usos de suelo que atraviesa la sección analizada se muestra en la Figura 6.

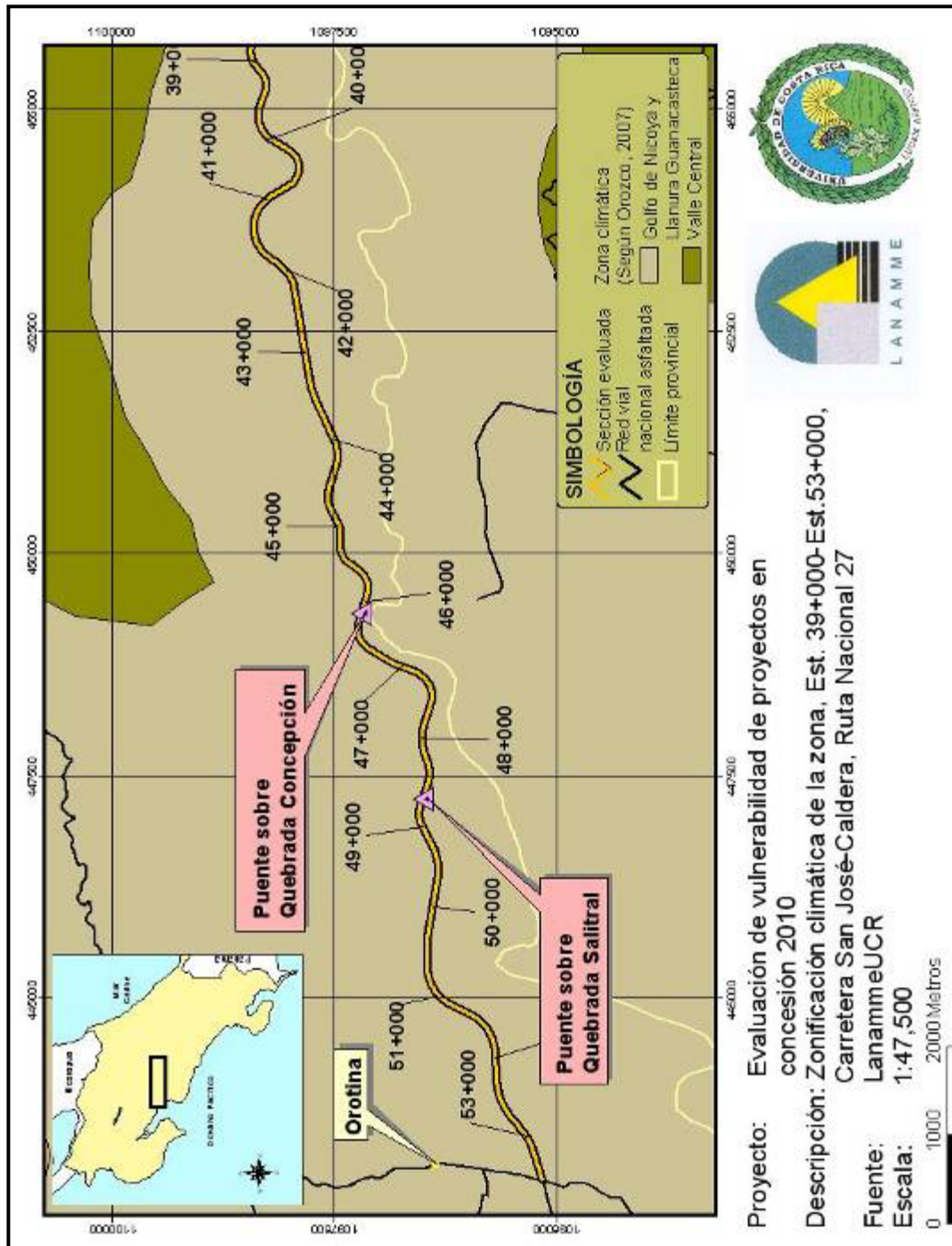


Figura 3. Zonificación climática. (LanammeUCR, 2010; adaptada de Orozco, 2007).

Evaluación de las condiciones de ladera
 Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
 Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27

LM-PI-PV-ERV-27-10
 Abril 2010

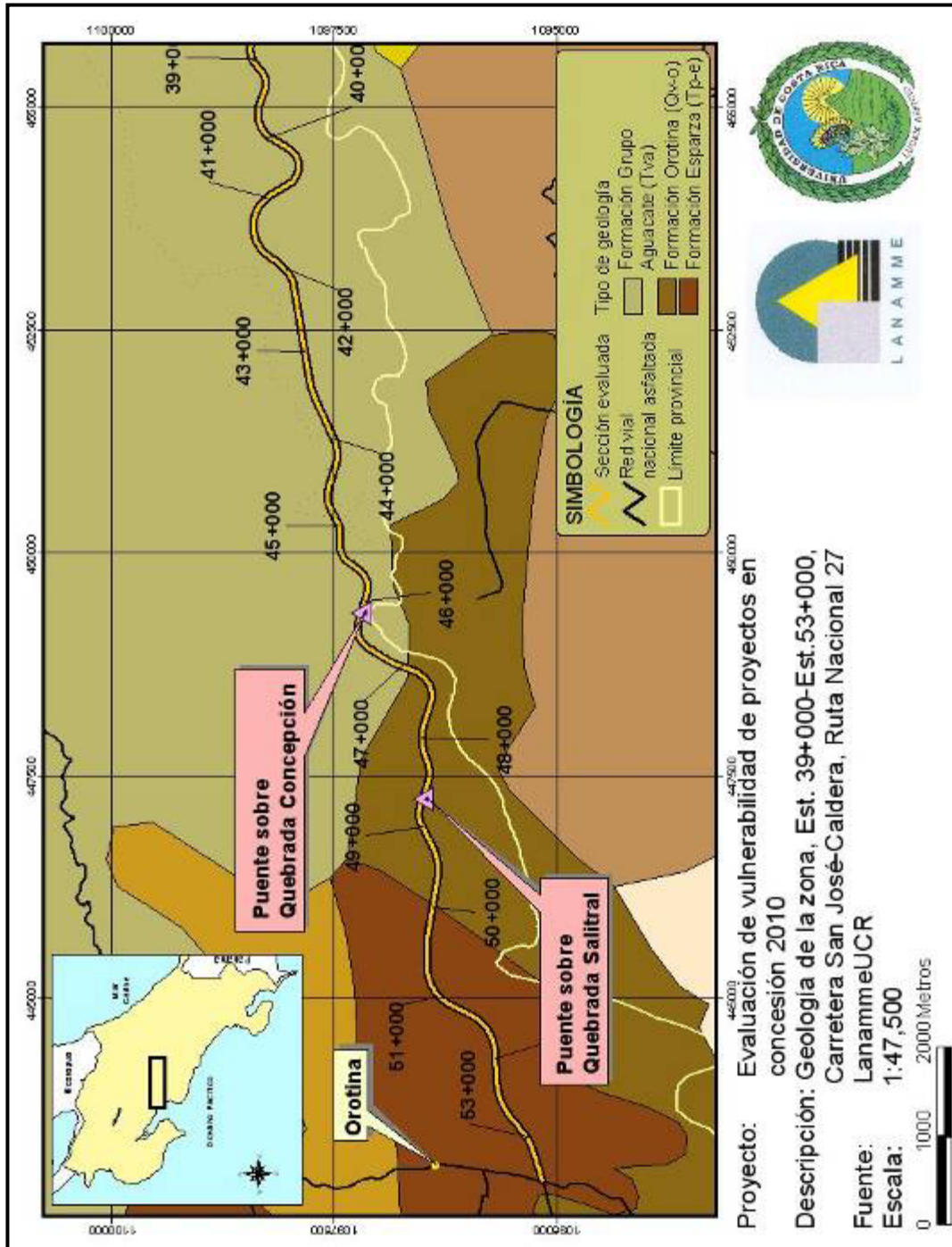


Figura 4. Geología de la zona. (LanammeUCR, 2010).

Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27

LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

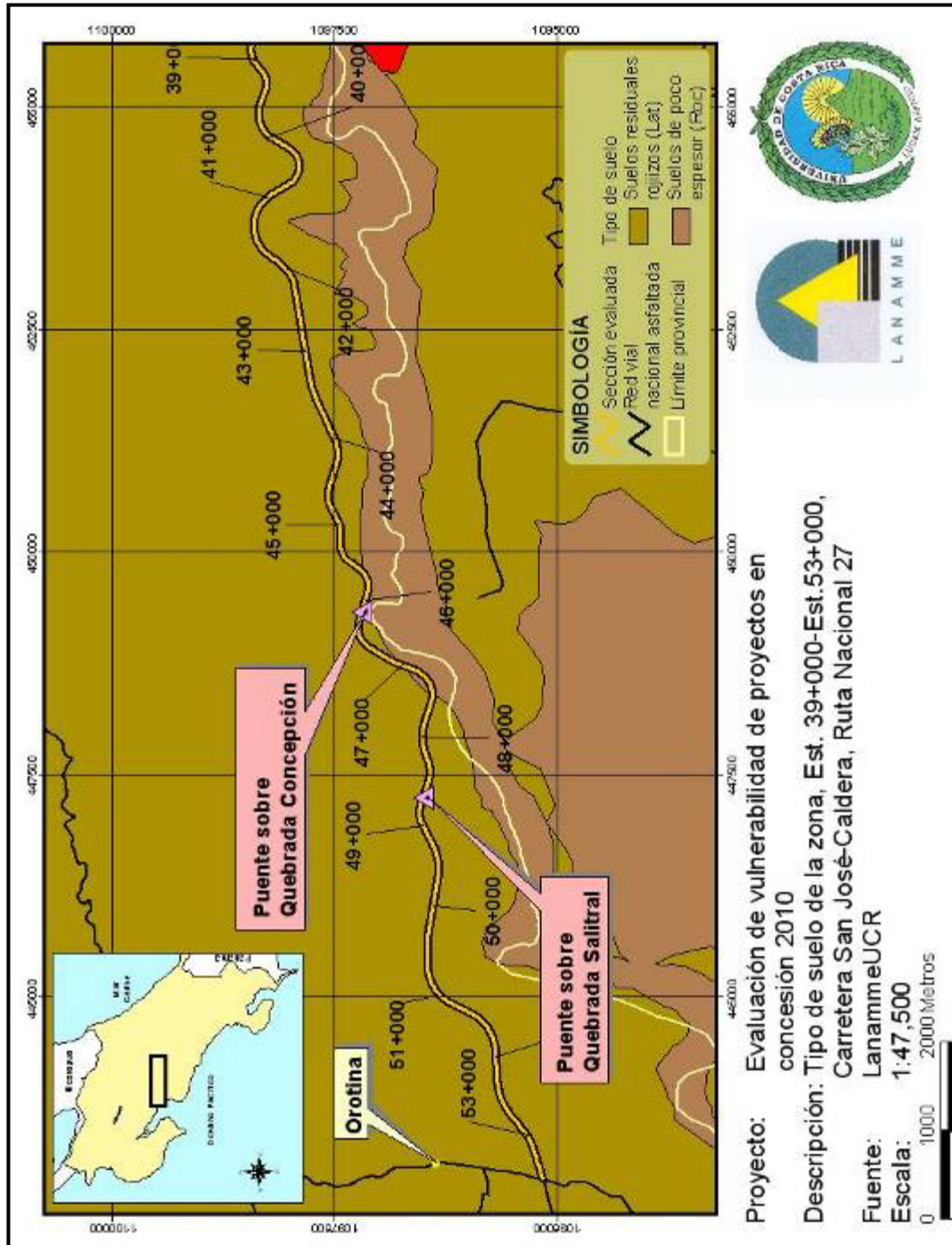


Figura 5. Tipos de suelo de la zona. (LanammeUCR, 2010).

Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27

LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

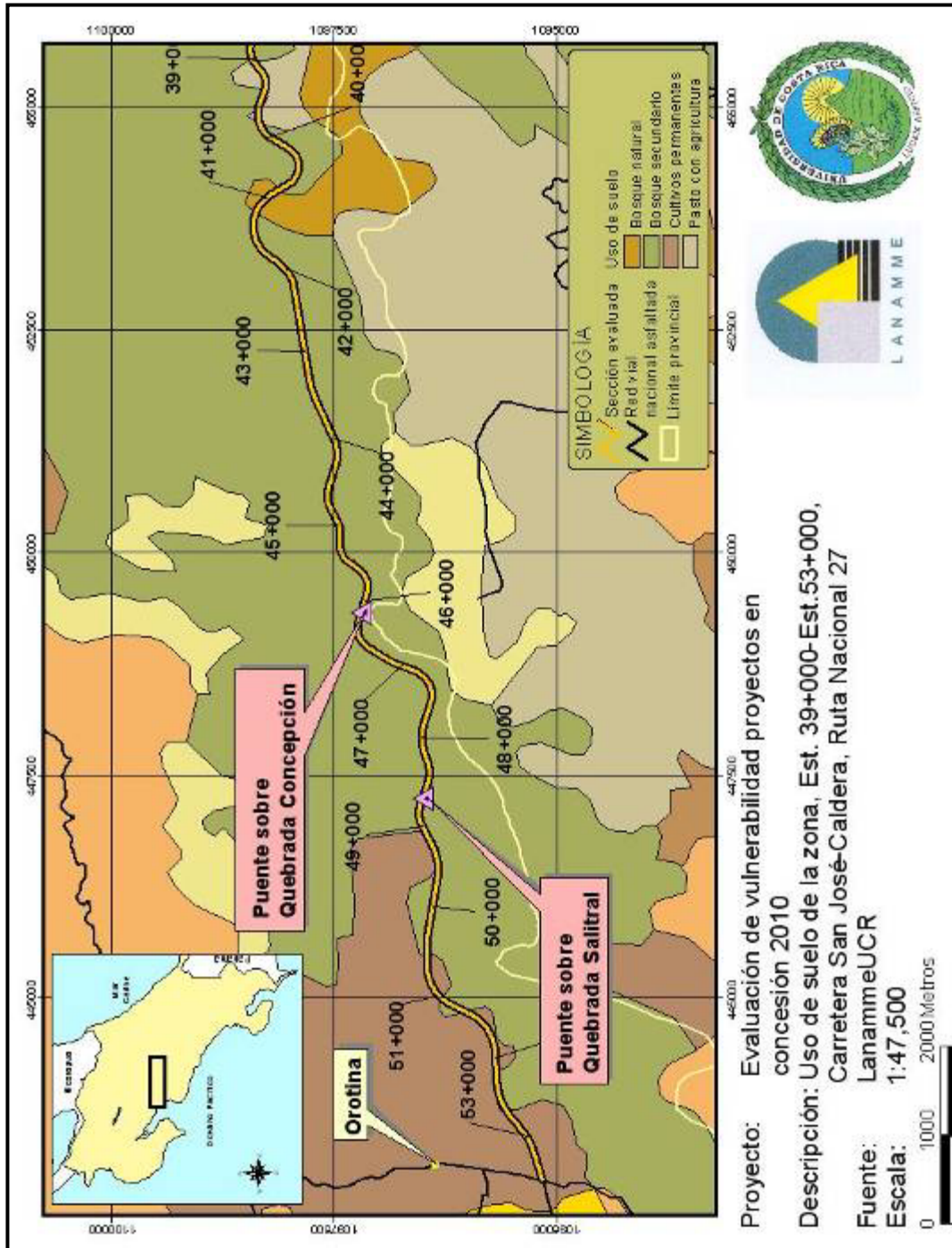


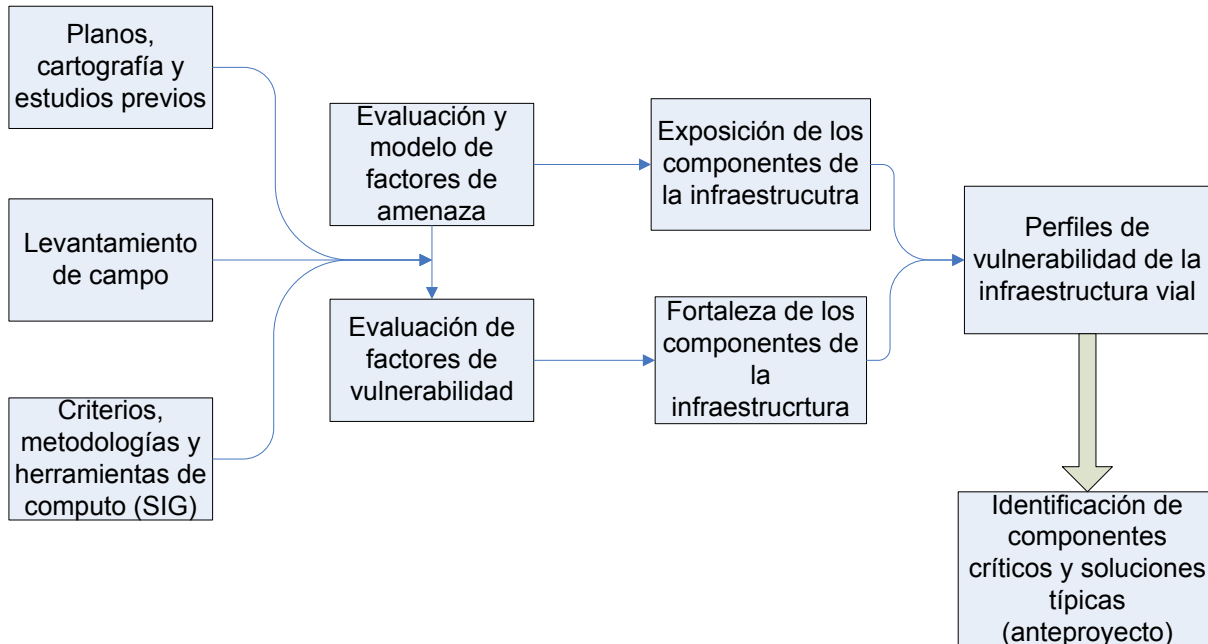
Figura 6. Uso de suelo de la zona. (LanammeUCR, 2010).

8. Metodología de evaluación del riesgo en la infraestructura

La metodología empleada por el LanammeUCR para la evaluación de riesgos naturales de la infraestructura vial se presenta en el Esquema 1. Posterior a las etapas mostradas en dicho esquema, y fuera del alcance del presente trabajo, se encuentra un análisis económico (costo-beneficio) que la Administración debería realizar de las posibles soluciones, de la definición de las prioridades de inversión y de la implementación de proyectos de reducción de la vulnerabilidad para diversos escenarios de riesgo.

Para este trabajo se realizó, primeramente, una valoración visual de las zonas identificadas con susceptibilidad a movimientos de ladera por sus condiciones geológico-geotécnicas, por lo que no se llegaron a realizar los perfiles de vulnerabilidad, etapa que será completada posteriormente cuando se realice la valoración integral de la carretera San José-Caldera. Para la valoración integral se utilizarán diversas metodologías de análisis que han sido probadas, desarrolladas y/o adaptadas por el LanammeUCR y que permitirán obtener los perfiles mencionados.

Esquema 1. Evaluación de riesgos naturales en la infraestructura vial.
 (Vargas & Garro, 2003).





Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

9. Evaluación de las condiciones de ladera de la sección Est. 39+000 a 53+000

9.1. Taludes de corte y relleno en carreteras de montaña

Los taludes de corte y relleno han demostrado ser los puntos más vulnerables de la infraestructura vial de montaña. Estos puntos están expuestos a deslizamientos de suelo y roca, a desprendimientos de roca y a erosión por malos manejos de aguas superficiales y subterráneas, entre otros.

La evaluación de la amenaza a movimientos de ladera tiene la dificultad de no presentar periodos de retorno claros (frecuencia) dado principalmente a que pueden ser disparados por múltiples eventos (e.g., sismo, lluvia, erosión), por lo que su valoración se limita a evaluar la susceptibilidad (pendiente, geología) y su magnitud (volumen, velocidad).

La evaluación de vulnerabilidades en un corredor genera gran cantidad de información que se puede presentar de varias maneras o formatos, utilizando para ello Sistemas de Información Geográfica.

La salida más empleada en los estudios realizados son los mapas temáticos, en los cuales se reúnen varios elementos tales como modelos de elevación digital, mapas de pendientes y de vulnerabilidad/susceptibilidad a distintas amenazas.

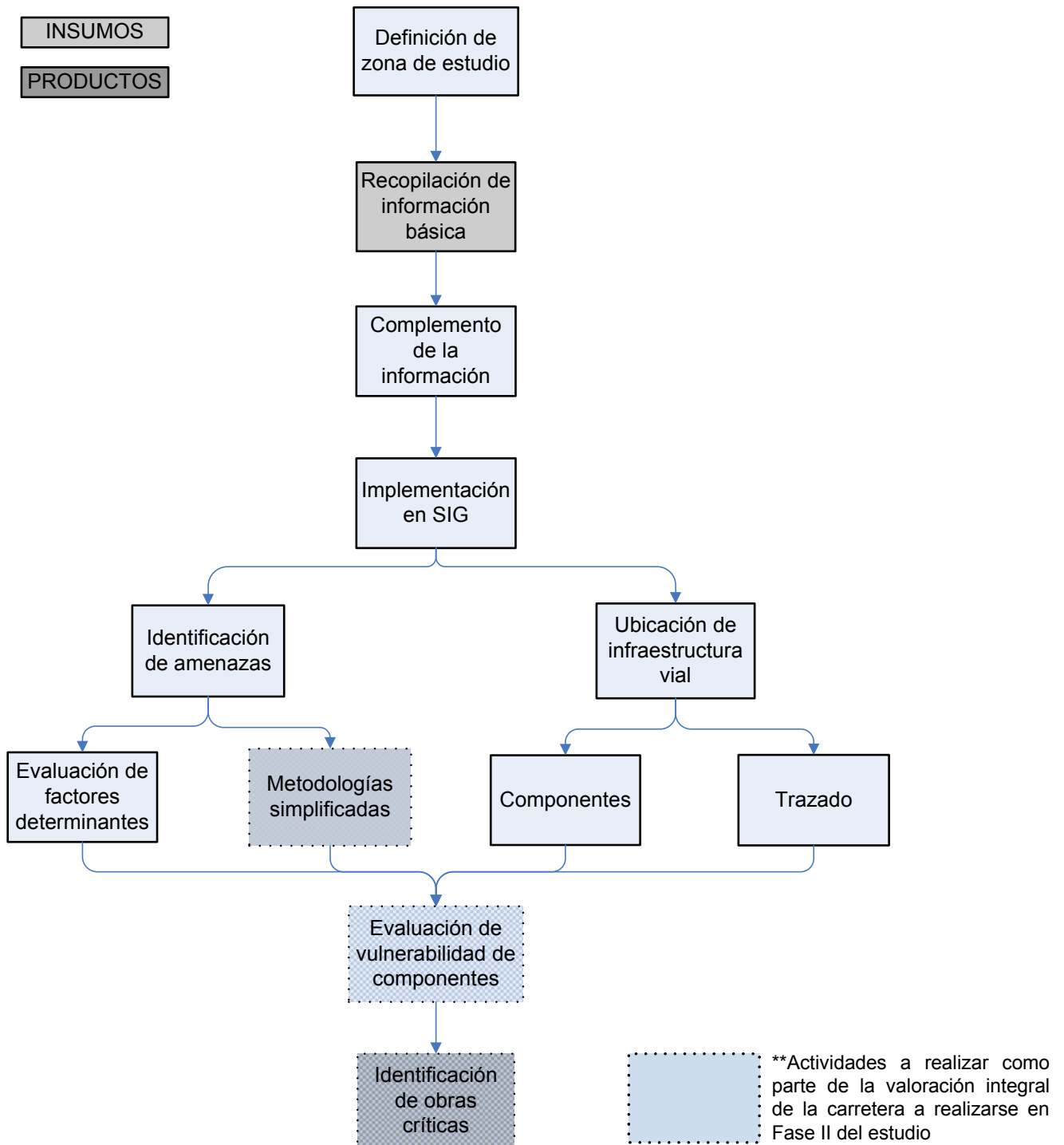
9.2. Metodología de evaluación utilizada en este estudio

Para el desarrollo de este estudio el 17 de febrero de 2010, el 23 de febrero de 2010 y el 16 de marzo de 2010 técnicos e ingenieros del LanammeUCR recorrieron el tramo analizado para recopilar información sobre las condiciones de ladera. En dichos recorridos se recopiló información de taludes de corte y relleno, tales como su ubicación geográfica y características geológico-geotécnicas.

La información recolectada se complementó con información disponible de la zona (e.g., curvas de nivel, mapas geológicos, mapas de uso de suelo), para posteriormente ser procesada por medio de los Sistemas de Información Geográfica ArcGis y ArcView. Las etapas de aplicación de metodologías simplificadas, evaluación de vulnerabilidad de componentes e identificación de obras críticas, incluidas en las evaluaciones integrales de la red vial nacional, se desarrollarán como parte de la evaluación integral de la ruta, trabajo que está programado a realizarse el presente año como parte de las labores de evaluación de proyectos en concesión de la Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR.

El Esquema 2 presenta la metodología de trabajo utilizada.

Esquema 2. Metodología utilizada en el estudio.



9.2.1. Comentarios generales sobre las condiciones de ladera

Durante los recorridos realizados por ingenieros del LanammeUCR por el tramo en estudio, se pudo constatar la susceptibilidad de movimientos de laderas que pueden poner en riesgo a los usuarios de la carretera San José-Caldera y comprometer la operatividad de la misma ante un evento natural como pueden ser lluvias intensas o eventos sísmicos.

Los movimientos de laderas, para el caso particular de la sección analizada de la carretera San José-Caldera y por lo observado en sitio, se reflejan principalmente en un tipo de falla que corresponde a desprendimientos y caídos; sin embargo, no se puede descartar que se puedan dar otros tipos de falla en este y otros tramos que dependerán de las condiciones geológico-geotécnicas particulares de cada punto (e.g., deslizamientos en suelo). Los movimientos de ladera identificados corresponden a desprendimientos de roca de volumen pequeño; no obstante, por el tamaño de los fragmentos y la altura de rebote que puedan tener al desprenderse y la energía cinética asociada que puedan desarrollar estos fragmentos, representan un riesgo para los usuarios de la carretera, principalmente en casos donde estos desprendimientos se den precisamente cuando el usuario transite por la zona afectada. Es importante, por medio de una inspección periódica de las laderas (e.g., taludes de corte), identificar si otros tipos de falla (e.g., falla por cuña, volcamiento o deslizamientos de rocas o deslizamientos de suelo) pueden poner en riesgo la operatividad de la carretera.



Fotografía 1. Presencia de bloques sueltos en cara de talud en Estacionamiento 47+700. Condiciones al 23 de febrero de 2010. (LanammeUCR, 2010).

Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27

LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

Para este caso particular, se observaron desprendimientos predeterminados por condiciones de meteorización y erosión del macizo, que junto con la pérdida de confinamiento al realizarse los cortes y a presiones hidrostáticas, entre otros factores, contribuyen a la apertura de las discontinuidades y al aflojamiento del material expuesto.

Otro tipo de falla a la que se le debe poner atención, y que no necesariamente está asociada a la resistencia al corte de los suelos, es la producida por agentes erosivos (e.g., lluvia, escurrimiento superficial, viento) sobre los materiales que componen el talud expuestos al ambiente.

La falla por erosión, por lo general, se manifiesta en irregularidades y surcos dejados por la escorrentía en el plano del talud originalmente regular, condición que si no se atiende a tiempo podría repercutir en la formación de cárcavas o la falla del talud.



Fotografía 2. Formación de surcos en talud afectado por escurrimiento superficial en Estacionamiento 48+250. Condiciones al 23 de febrero de 2010. (LanammeUCR, 2010).

Los cortes en materiales volcánicos o ígneos, incluyen lavas y flujos piroclásticos, siendo las lavas los materiales de textura más variable. Los flujos piroclásticos son más variados y se presentan como ignimbritas en formaciones columnares y brechas volcánicas con granulometría variada con tamaños que se pueden categorizar entre bloques y arena, predominando una matriz arenosa-limosa sin cohesión en algunos sectores. Sobre estos materiales se observan suelos residuales con diferentes grados de desarrollo, tendientes a una textura arcillosa o limo-arcillosa.



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

Las lavas presentan alguna problemática de desprendimientos por la descompresión, la cual no aparenta ser grave, excepto para los taludes de gran altura, donde fragmentos de roca pueden desarrollar una alta energía cinética al desprenderse y trayectorias de rebote diversas que pueden alcanzar la carretera.

Las ignimbritas por su parte, no aparentan una problemática grave pero pueden ser susceptibles a volcamiento, especialmente en caso de un evento sísmico o lluvia prolongada, debido a la pérdida de confinamiento que produjo la excavación de los taludes.

Las brechas aparentan ser los peores materiales desde un punto de vista mecánico, ya que son los más susceptibles a desmoronarse, erosionarse y socavarse. Debido a su granulometría es probable que también tengan una permeabilidad mayor que la de las lavas e ignimbritas, condición que puede favorecer la falla y pérdida del recubrimiento de concreto lanzado.

También se observan fuertes alteraciones hidrotermales en algunos materiales aparentemente arcillosos.

9.2.2. Comentarios sobre condiciones de ladera por estacionamiento

Se evaluaron en total diez puntos que al día de la última gira de campo realizada (16 de marzo de 2010) se consideraron como puntos críticos desde un punto de movimiento de ladera, considerando las condiciones geológico-geotécnicas identificadas en campo. Se presenta a continuación comentarios de las condiciones particulares para cada punto. La Figura 7 muestra la ubicación espacial de los puntos evaluados.

Punto 1 - Estacionamiento 41+750

En este estacionamiento, el talud está compuesto por brecha volcánica en la parte inferior y por materiales rojizos arcillosos en la parte superior y en este caso particular, al talud sí se le ha dado tratamiento.

En el talud se encuentran ubicados elementos drenantes puntuales que evacúan a la cara del talud, la cual tiene tratamiento con concreto lanzado. Esta solución, de mantenerse, debe comprender un sistema de mantenimiento del concreto lanzado, pues en caso

Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27

LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

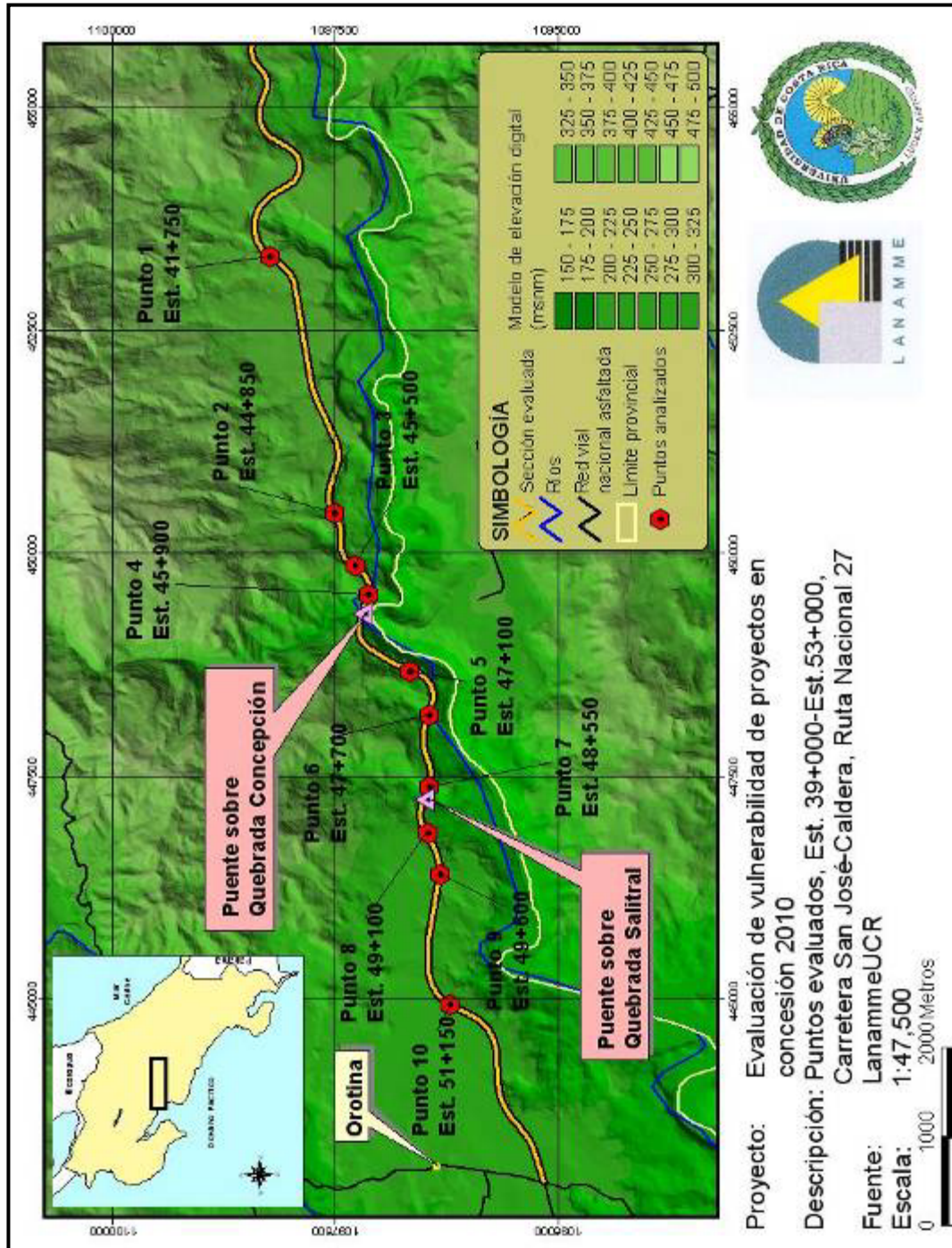


Figura 7. Ubicación de puntos evaluados. (LanammeUCR, 2010).

Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27

LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

que este se desprenda o se degrade en la zona de evacuación del agua, la misma podría eventualmente producir socavación de la base del talud y producir surcos con los problemas asociados a este tipo de erosión.



Fotografía 2. Talud tratado con concreto lanzado y drenes en Estacionamiento 41+750.
Condiciones al 16 de marzo de 2010. (LanammeUCR, 2010).

Punto 2 - Estacionamiento 44+850

En este estacionamiento se pudo identificar un deslizamiento de tipo rotacional, evidente pues en el sector de acumulación del deslizamiento hay presencia de vegetación con cierto grado de inclinación con respecto a la vertical (indicativo de zonas deslizadas recientes).

Es importante estudiar este tipo de deslizamientos, que si bien no se encuentran inmediatamente junto a la carretera, sí pueden representar una amenaza para la seguridad de los usuarios de la carretera, la operatividad de la misma y puede ser indicativo de problemas de estabilidad de ladera a mayor escala.



Fotografía 3. Deslizamiento en Estacionamiento 44+850. Condiciones al 16 de marzo de 2010. (LanammeUCR, 2010).

Punto 3 - Estacionamiento 45+500

En este estacionamiento se identificó el efecto de hidrotermalismo (caolinización) sobre el macizo rocoso. En esta sección se ubicaron vallas de protección tipo “New Jersey” contra caídos. Esta solución puede no ser suficiente para retener los fragmentos de rocas que se desprendan, pues por la altura del talud y las trayectorias de caída y rebote que pueden generar los fragmentos, las vallas podrían no cumplir enteramente la función de protección.



Fotografía 4. Talud afectado en Estacionamiento 45+500. *Condiciones al 16 de marzo de 2010.* (LanammeUCR, 2010).

Punto 4 - Estacionamiento 45+900

En esta sección se identificó que el material que compone el talud muestra un comportamiento químicamente activo. La degradación (descomposición) del material debido al ataque químico está desprendiendo el concreto lanzado como se muestra en las fotografías 5 a 7. De igual manera se pudo identificar, a nivel de corona del talud, una estructura que aparenta estar en voladizo, situación que se recomienda revisar a la mayor brevedad para asegurar la estabilidad y buen funcionamiento de la estructura.



Fotografías 5,6, y 7. Talud con evidencia de desprendimiento de concreto lanzado.
Condiciones al 16 de marzo de 2010. (LanammeUCR, 2010).

Punto 5 - Estacionamiento 47+100

En esta sección se identificaron condiciones de hidrotermalismo, aunque el material muestra una degradación menos severa que para otros puntos identificados anteriormente. En el estacionamiento 47+200 se observó la utilización de mallas para protección contra caídos y desprendimientos, solución que se considera útil siempre y cuando ésta haya sido diseñada considerando las condiciones geológico-geotécnicas particulares de la zona tratada y la cual debe ir complementada con un plan de mantenimiento de la malla y limpieza de las zonas de deposición de caídos, aspectos que se recomienda sean valorados por la Administración.



Fotografía 8. Talud en Estacionamiento 47+100. *Condiciones al 16 de marzo de 2010.*
(LanammeUCR, 2010).



Fotografía 9. Talud con malla y protecciones contra caídos y desprendimientos en Estacionamiento 47+200. *Condiciones al 16 de marzo de 2010.* (LanammeUCR, 2010).

Punto 6 - Estacionamiento 47+700

En esta sección se identificó el mismo comportamiento hidrotermal que en otros puntos evaluados, con presencia de aroma leve a sulfato. El material seco del talud se muestra altamente erosionable, mientras que el material húmedo muestra un comportamiento plástico.

Se identificó la ausencia de construcción de contracunetas, condición que al igual que en otras zonas en las que no se ha construido estas estructuras, beneficia la acumulación de agua los canales no impermeabilizados (encharcamiento) y saturación de los materiales que componen el talud, aumentando la susceptibilidad a deslizamientos.

La fotografía 10 muestra las condiciones identificadas en este estacionamiento, donde se observa claramente la separación entre las zonas húmedas y las secas. Se observa acumulación de material suelto en la berma inferior, muestra de procesos de deterioro tipo desmoronamiento o lavado superficial, tanto en el sector seco como en la zona húmeda del talud.



Fotografía 10. Talud en Estacionamiento 47+700. *Condiciones al 16 de marzo de 2010.*
(LanammeUCR, 2010).

Punto 7 - Estacionamiento 48+550

En esta sección se identificaron taludes de roca meteorizada. En algunos casos se evidenció un aroma a sulfuro, lo que hace suponer que el hidrotermalismo ha sido causa de la meteorización. De igual manera se evidencia una acción de moldeo por acción erosiva de agua de escorrentía superficial.



Fotografías 11 y 12. Talud afectado por hidrotermalismo en Estacionamiento 48+550.
Condiciones al 16 de marzo de 2010. (LanammeUCR, 2010).

Se identificó la ausencia de construcción de contracunetas (la ausencia de impermeabilización de canales de drenaje a nivel de corona de los taludes), lo cual beneficia la acumulación de agua en los canales no impermeabilizados (encharcamiento) y saturación de los materiales que componen el talud, aumentando la susceptibilidad a deslizamientos. Es importante recalcar que la construcción de las contracunetas no solamente se refiere a la impermeabilización de los canales de drenaje, sino también a proveerles a éstos una adecuada pendiente para garantizar un drenaje del agua captada de forma rápida y eficiente. Para lograr en el tiempo el objetivo de los canales de drenaje, se debe implementar un programa de mantenimiento de los mismos que prevea los movimientos en el terreno que puedan causar el agrietamiento de las estructuras de las contracunetas y por ende la infiltración de agua en el terreno, que conllevan a la disminución de la resistencia al corte y al aumento de la susceptibilidad de falla de los taludes.



Fotografías 13, y 14. Canales de drenaje no impermeabilizados en Estacionamiento 48+550. Condiciones al 16 de marzo de 2010. (LanammeUCR, 2010).



Fotografía 15. Canales de drenaje no impermeabilizados en Estacionamiento 48+550. Condiciones al 16 de marzo de 2010. (LanammeUCR, 2010).

Punto 8 - Estacionamiento 49+100

En esta sección se identificaron taludes en roca con materiales de origen ígneo (lavas), con alturas entre 10 y 12 metros de altura.



Fotografía16. Talud en Estacionamiento 49+100. *Condiciones al 16 de marzo de 2010.*
(LanammeUCR, 2010).

En algunas zonas el macizo muestra evidencias de fracturación, susceptibles a sufrir desprendimientos y caída de rocas. Si bien las partículas de roca son de tamaño pequeño, por la altura y trayectorias de rebote que pueden desarrollar pueden poner en peligro a los usuarios de la carretera.



Fotografías 17 y 18. Fracturación del macizo que conforma el talud en Estacionamiento 49+100. *Condiciones al 16 de marzo de 2010.* (LanammeUCR, 2010).

En zonas particulares del talud se identificaron evidencias de zonas con alteraciones producto del hidrotermalismo. (Ver Fotografía 19).



Fotografía 19. Evidencia de hidrotermalismo en talud en Estacionamiento 49+100. *Condiciones al 16 de marzo de 2010.* (LanammeUCR, 2010).

Punto 9 - Estacionamiento 49+600

En esta sección se identificaron taludes de alturas considerables, que rondan los 20 metros. La estratigrafía identificada en la zona está compuesta por una capa superficial de suelo residual rojizo arcilloso, que superpone a un material denso (colada de lava o ignimbritas), que a su vez superpone un estrato de lahar, en el cual se evidencian rocas redondeadas de tamaño pequeño.



Fotografía 20. Talud en Estacionamiento 49+600. *Condiciones al 16 de marzo de 2010.*
(LanammeUCR, 2010).

Punto 10 - Estacionamiento 51+150

En esta sección se identificó homogeneidad en los materiales con presencia de eventos geológicos marcados. Los taludes, de poca altura (5 metros), presentan una inclinación de entre 58° y 64°.

En las Fotografías 21 y 22 se muestra un ejemplo de lo mencionado anteriormente, con presencia de roca meteorizada tipo cascajo al lado izquierdo y suelo, con evidencia de una meteorización más rápida, al lado derecho.



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



Unidad
Evaluación de la
Red Vial Nacional

LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010



Fotografías 21 y 22. Talud en Estacionamiento 51+150. *Condiciones al 16 de marzo de 2010.* (LanammeUCR, 2010).

Las fotografías 23 y 24 detallan el tipo de roca meteorizada encontrada.



Fotografía 23. Roca meteorizada en talud en Estacionamiento 51+150.
Condiciones al 16 de marzo de 2010. (LanammeUCR, 2010).



Fotografía 24. Roca meteorizada en talud en Estacionamiento 51+150.
Condiciones al 16 de marzo de 2010. (LanammeUCR, 2010).



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

10. Conclusiones

1. Se pudo constatar la susceptibilidad de movimientos de laderas en el tramo analizado de la carretera San José-Caldera, situación que pone en riesgo la seguridad de los usuarios de la carretera y compromete la operatividad de la misma ante un evento natural como pueden ser lluvias intensas o sismo.
2. Los movimientos de laderas, para el caso particular de la carretera San José-Caldera y por lo observado en sitio, se reflejan principalmente en un tipo de falla que corresponde a derrumbes y caídos, tipo de falla predeterminada por la orientación de las discontinuidades del macizo, y que junto con la pérdida de confinamiento al realizarse los cortes y a presiones hidrostáticas, entre otros factores, contribuyen a la apertura de las discontinuidades y la inestabilidad del material expuesto.
3. Otro tipo de falla identificada es la producida por agentes erosivos (e.g., lluvia, escurrimiento superficial, viento) sobre los materiales que componen el talud, la cual se manifiesta en irregularidades y surcos dejados por la escorrentía en el plano del talud originalmente regular, condición que si no se atiende a tiempo podría repercutir en la formación de cárcavas o la falla del talud.
4. Los cortes en materiales volcánicos o ígneos, incluyen lavas y flujos piroclásticos. Las lavas presentan alguna problemática de desprendimientos por la descompresión, la cual no aparenta ser grave, excepto para taludes de gran altura, donde fragmentos de roca pueden adquirir una alta energía cinética al desprenderse. Las ignimbritas, tampoco aparentan una problemática grave pero pueden ser susceptibles a volcamiento, especialmente en caso de sismo o lluvia prolongada, debido a la pérdida de confinamiento que produjo la excavación de los taludes.
5. Las brechas aparentan ser los peores materiales desde el punto de vista mecánico, ya que son los más susceptibles a desmoronarse, erosionarse y socavarse. Debido a su granulometría es probable que también que tengan una permeabilidad mayor que la de las lavas e ignimbritas y puede favorecer la falla y pérdida del recubrimiento de concreto lanzado.
6. Los suelos residuales de espesor importante se ubican en los sitios más cercanos al segmento Río Grande-Guácima y es frecuente la aparición de bloques aislados, lo que apunta que son residuos de colada de lava. Los horizontes superiores de los suelos residuales también son muy susceptibles a la erosión, evidente por la aparición de surcos dejados por la escorrentía.
7. Se observaron fuertes alteraciones hidrotermales en algunos materiales, aparentemente arcillosos.



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

11. Recomendaciones

Para mitigar el riesgo a deslizamientos y desprendimientos de material se plantean las siguientes recomendaciones, para las cuales la Administración debe evaluar su viabilidad y factibilidad de aplicación. Las soluciones finales que se decidan utilizar deben ir respaldadas por análisis geológico-geotécnicos que sustenten de forma técnica la solución final (i.e., diseño de la solución) que se escoja.

1. Evaluar las pendientes de los taludes en suelo, los cuales como máximo deben tener la inclinación correspondiente al ángulo de fricción interno del material que lo compone. La determinación del ángulo de inclinación de los taludes y su diseño final, así como el de las medidas de estabilización que sean necesarias utilizarse, deben corresponder a un análisis de los taludes bajo condiciones estáticas y dinámicas, considerando la condición crítica que puedan presentarse en los materiales durante la vida útil o de servicio de la carretera.
2. Habilitar, en los lugares que así lo ameriten, sistemas de captación y control de aguas subterráneas y superficiales, para evitar la saturación de los suelos de taludes y terraplenes y que se disminuya la resistencia al corte de los mismos, aumentando la posibilidad que se den deslizamientos.

Estos sistemas deben ser complementados con sistemas de evacuación de las aguas adecuados y que no pongan en riesgo la estabilidad de otras estructuras que componen una carretera, como pueden ser los taludes en relleno.

3. Cuando se consideren bermas, para la construcción de las mismas deberá considerarse una contrapendiente con la finalidad de drenar el agua por medio de cunetas que deberán ser impermeables, para evitar filtración que puede poner en peligro la parte inferior de los cortes al establecerse una potencial superficie de falla ocasionada por la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del material por efecto de la filtración.
4. Establecer por parte del ente legalmente responsable un sistema de vigilancia y control preventivo de tránsito para el corredor vial, el cual permita identificar cualquier desplazamiento de material o riesgo de desprendimiento de materiales de taludes que pueda ocurrir o que ocurra con el fin de alertar de forma temprana a los usuarios de la vía y tomar las acciones de cierre temporal, parcial o total del tramo, según corresponda.

Las evaluaciones de desplazamientos de materiales de taludes se pueden realizar por medio de inspecciones visuales periódicas, tarea que debería ser realizada por



personal capacitado. Como alternativa se podría instrumentar los taludes por medio de clinómetros, monumentos superficiales u otro tipo de instrumentación que sirva para este propósito. De igual manera es recomendable implementar sistemas de evaluación de saturación del terreno para conocer las condiciones de saturación del terreno en todo momento y evaluar la susceptibilidad de deslizamiento en relación a su nivel de saturación. Esto debe complementarse con sistemas de monitoreo de las condiciones del tiempo (estado de la atmósfera en un lugar y momento determinado) y análisis de las condiciones climáticas (sucesión promedio de los estados del tiempo).

De realizarse cierres temporales o totales del corredor vial es importante considerar los usuarios de la carretera que puedan encontrarse dentro del tramo cerrado para que sean reubicados en zonas seguras, y no en otras que puedan representar un riesgo a su seguridad (trasladar el riesgo de un lugar a otro).

5. Determinar los lugares donde se deban construir contracunetas, las cuales deben estar revestidas en su totalidad para evitar la saturación de los taludes o terraplenes a los cuales corresponden. Las contracunetas deben contar con una pendiente adecuada de modo que permitan el drenaje eficiente y eficaz del agua recolectada y evite la acumulación excesiva de la misma en zonas inestables. Esta solución debe ir asociada con un sistema de mantenimiento de las contracunetas que incluya limpieza de las mismas y consideren los movimientos del terreno que puedan producir grietas en estas estructuras. Asimismo, evaluar la viabilidad de utilizar sistemas de drenaje para el manejo de aguas subterráneas, los cuales deberán contar con un sistema de mantenimiento preventivo de limpieza que les permita cumplir con su función de manera óptima.
6. Estudiar como alternativa para el manejo de material suelto (rocas), el provocar desprendimientos controlados de material, para lo cual debería coordinarse el cierre temporal de la vía y contar con la participación de profesionales con experiencia demostrada en la materia.
7. Analizar para zonas rocosas inestables puntuales la necesidad de utilizar métodos para la estabilización del macizo según si tipo de fracturación y modelo de rotura (e.g., rotura plana, rotura en cuña, rotura por pandeo, rotura curva).
8. Para zonas donde predominen los taludes con susceptibilidad al desprendimiento de rocas de tamaño considerable y con alturas de rebote altas se podría evaluar la necesidad de utilizar mallas especiales para retener los bloques y evitar su caída a la carretera, o bien la construcción de muros de contención al pie de los taludes con el mismo fin cuando las condiciones lo permitan. Otras alternativas son la utilización de barreras contra caídas de rocas o la construcción de bermas para



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

reducir la energía cinética de las rocas que se desprendan y/o prevenir que los bloques lleguen a la base del talud.

Se recomienda que la solución final que se utilice sea diseñada por especialistas con experiencia demostrada en la materia para determinar el tamaño y características físico-mecánicas de los elementos que compongan la solución, los cuales deben ser capaces de resistir la fuerza de impacto de las rocas y retenerlas, según el grado de fracturación que presente el macizo en cada tramo en particular.

De ser implementada esta medida, se recomienda la conformación de cuadrillas para que den limpieza y mantenimiento continuo al sistema (e.g., mallas, trincheras, barreras contra caída de rocas) para asegurar su buen funcionamiento.

Ing. Diego A. Cordero Carballo
Ingeniero Evaluador

Ing. Roy Barrantes Jiménez
Coordinador Unidad de Evaluación
de la Red Vial Nacional

Lic. Miguel Chacón Alvarado
Asesor legal externo



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

12. Referencias bibliográficas

1. Bravo, A. & Calvo, M. (1997). *Evaluación del impacto sobre la red vial de un terremoto en la Península de Nicoya*. Informe de Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.
2. Bogantes, R., Laporte, G., Quesada, C & Vásquez, A. (2002). *Zonificación geotécnica general de Costa Rica considerando elementos edáficos y climáticos*. San José, Costa Rica.
3. Campos, G. (2003). *Zonificación de la amenaza de deslizamiento en algunas cuencas de los cantones de Dota y El Guarco*. Informe final de Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.
4. Castro, K. (2005). *Vulnerabilidad física de la infraestructura vial en las rutas 130, 712, 146, 120 y 126 tramo Alajuela-Fraijanes-Vara Blanca-San Miguel de Sarapiquí*. Informe final de Proyecto de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.
5. Chacón, G. (2000). *Zonificación de la amenaza en la Carretera Interamericana Sur por deslizamiento de suelo y roca asociados con lluvia intensa y sismo*. Informe final de Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.
6. Denyer, P., Arias, O., Soto, G., Obando, L., & Salazar, G. (1993). *Mapa Geológico de la Gran Área Metropolitana*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Geología.
7. Denyer, P. & Kussmaul, S. (2000). *Geología de Costa Rica*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
8. Garro, J. (2002). *Zonificación combinada de amenazas naturales para infraestructura, en las cuencas de las ciudades de Cartago y Paraíso, Valle Central Oriental de Costa Rica*. Informe final de Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.
9. González de Vallejo, L. (2004). *Ingeniería Geológica*. España: Pearson Prentice Hall.



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

10. Hernández, A. (2006). *La investigación geotécnica de los suelos problemáticos para el diseño vial*. Informe final de Proyecto de Graduación para optar por el Grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.
11. ITGD. (2002). *Taller de capacitación El fenómeno de El Niño y la gestión de riesgo de desastres*. Proyecto Moquegua.
12. LanammeUCR. (Sin fecha). *Evaluación de la vulnerabilidad en rutas nacionales*. San José, Costa Rica: el autor.
13. Keller, G., Bauer, G. & Aldana, M. (1995). *Caminos rurales con impactos mínimos: Un manual de capacitación con énfasis sobre planificación ambiental, drenajes, estabilización de taludes y control de erosión*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: USAID, US, Programa de Caminos Rurales D.G.C.
14. Navarro, E. (2004). *Susceptibilidad ante amenazas naturales de la subcuenca del Río General, Pérez Zeledón, Costa Rica*. Informe final de proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
15. Orozco, E. (2007). *Zonificación climática de Costa Rica para la Gestión de Infraestructura Vial*. Informe de Proyecto de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.
16. Ortigao, J.A.R. & Sayao, A.S.F.J. (2004). *Handbook of Slope Stabilisation*. Alemania: Springer.
17. Rico, A. & del Castillo, H. (1996). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*. Volumen 1. D.F., México: Limusa Noriega Editores.
18. Rodríguez, E. (1989). *Revisión de métodos de diseño hidrológico e hidráulico de alcantarillas para carreteras*. Informe de Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.
19. Torres, C. & Madrigal, R. (1977). *Estudio de Factibilidad: Anteproyecto de Carretera Ciudad Colón-Puerto Caldera, Geología y Geotecnia*. San José, Costa Rica: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección General de Vialidad, Departamento Diseños Específicos.



Evaluación de las condiciones de ladera
Est. 39+000 a Est. 53+000, Tramo II
Carretera San José-Caldera, Ruta Nacional 27



LM-PI-PV-ERV-27-10
Abril 2010

20. Vahrson, W. (1991). *Aspectos climáticos de la erosión hídrica en Costa Rica*. Proyecto Morfoclimatología Aplicada y Dinámica Exógena (MADE). Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Geográficas.
21. Vargas, W. & Garro, J. (2003). *Gestión de riesgos naturales en infraestructura vial*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
22. Vargas, W. & Garro, J. (2008). *Relación entre las características geométricas y la vulnerabilidad de algunas rutas de montaña de Costa Rica*. Costa Rica: I Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (I CISEV).
23. Vargas, W. & Garro, J. (sin fecha). *El ángulo crítico de la pendiente y la susceptibilidad a deslizamientos de laderas naturales*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR, Universidad de Costa Rica.