



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE  
INFRAESTRUCTURA DEL  
TRANSPORTE

# Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-102-12

## **EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PRELIMINARES**

***PROYECTO: Construcción de la carretera a San Carlos, sección  
Sifón-La Abundancia***

INFORME FINAL

Preparado por:

**Unidad de Auditoría Técnica**

San José, Costa Rica

Diciembre 2012

<b>1. Informe final</b> LM-PI-AT-102-12	<b>2. Copia No.</b> 13	
<b>3. Título y subtítulo:</b> EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PRELIMINARES. PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA SIFÓN-LA ABUNDANCIA.	<b>4. Fecha del Informe</b> Diciembre 2012	
<b>7. Organización y dirección</b> Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
<b>8. Notas complementarias</b>		
<b>9. Resumen</b> El presente informe de Auditoría Técnica se centra en la evaluación de los estudios geotécnicos preliminares del proyecto Sifón-La Abundancia, debido a que en este proyecto la problemática de la inestabilidad de taludes ha sido significativa. A partir de la revisión documental y visitas a campo, se tienen los siguientes resultados: <ol style="list-style-type: none"> <li>Los estudios geotécnicos preliminares existentes así como el proceso de revisión y aprobación por parte de la Administración, antes de iniciada la construcción del proyecto, no fueron suficientes para identificar y mitigar la susceptibilidad a la inestabilidad de taludes del corredor. En abril del 2001 se elaboró un estudio geológico pero es a partir del 2006 con un estudio geotécnico que se retoma el tema de los taludes y se recomiendan otras pendientes para los cortes por considerar que la geometría inicial de los taludes (1H:1V recomendada en los diseños iniciales elaborados por MOH and Associates Inc.) no fue la adecuada y posteriormente, tras la falla de algunos taludes, a partir del 2010 se comienza a realizar estudios geotécnicos específicos en sitios con problemas de estabilidad, particularmente los kilómetros 18, 21, 25, 29 y 34 de la ruta. Por tanto, la revisión específica de los diseños y estudios geotécnicos complementarios por parte de la Administración, entre el 2000 y el 2005 (fase de planificación, previa al inicio de los trabajos) e incluso entre el 2006 y el 2009, no se adecuó a un proceso de seguimiento que permitiera identificar, a través de la solicitud de estudios técnicos (geotécnicos e hidrológicos) complementarios, el conocimiento de las características de los suelos de la zona y por ende, los tramos susceptibles a la inestabilidad de taludes.</li> <li>A partir de la revisión documental de estudios geotécnicos preliminares, no existe una zonificación geotécnica del proyecto que permita definir de manera preventiva, los segmentos críticos donde se da mayor exposición de taludes de corte y relleno a la problemática de deslizamientos. Un estudio de zonificación como el realizado para el presente informe, permite utilizar parámetros estadísticos y valores de ángulos críticos resultantes, como indicadores de las propiedades mecánicas probables de los materiales.                      Los resultados obtenidos del estudio de zonificación, a partir de la aplicación de la metodología de ángulo crítico, muestran que los ángulos críticos obtenidos en este estudio varían en el intervalo entre 12° y 20°, y se pueden asociar con la densidad del material, según la descripción del estudio geológico. Los ángulos son similares a los de materiales de origen volcánico de otros proyectos ubicados en las laderas de la vertiente Caribe de la cordillera volcánica central estudiados previamente en el LanammeUCR con la misma metodología. En virtud de las investigaciones previas realizadas en LanammeUCR, este resultado significa que los materiales encontrados a lo largo del corredor tienen una baja resistencia y son propensos a la inestabilidad. Esto muestra que con información base inicial topográfica y geológica fue posible obtener parámetros estadísticos y los valores de ángulos resultantes. A partir de los cuales se obtiene la zonificación de susceptibilidad a deslizamientos cuya principal utilidad es la identificación de los sitios y segmentos que requerirán de estudios geotécnicos particulares más detallados.</li> <li>La recomendación de la colocación de drenes subhorizontales no ha sido implementada, por encontrarse en proceso el estudio de su necesidad, pese a que fue una recomendación en el informe geotécnico del 2006. La estabilidad de los taludes y la prevención en los que todavía no han presentado deslizamiento, se puede alcanzar precisamente, con la consideración de estos elementos de drenaje, que finalmente, lo que buscan es mitigar los efectos nocivos del agua subsuperficial que pueden causar fallas de taludes incluyendo desprendimiento y deslizamientos de taludes de corte y relleno y a futuro, el funcionamiento insatisfactorio del pavimento</li> </ol>		
<b>10. Palabras clave</b> Diseño geotécnico, taludes, deslizamiento	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 57 (más Anexos 2 y 3)





## TABLA DE CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>FUNDAMENTACIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVO Y METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA</b>	<b>6</b>
2.1	OBJETIVO GENERAL DEL INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA .....	7
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO DEL INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA.....	7
2.3	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO .....	8
<b>3.</b>	<b>ALCANCE DE LA AUDITORÍA.....</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>10</b>
<b>5.</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
5.1	ADMINISTRACIÓN DE ACTIVOS .....	13
5.2	INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA .....	15
5.3	REVISIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO ...	16
5.5	PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA .....	19
<b>6.</b>	<b>RESPONSABLES DEL PROYECTO .....</b>	<b>20</b>
<b>7.</b>	<b>INTEGRANTES DEL EQUIPO AUDITOR DEL LANAMMEUCR</b>	<b>20</b>
<b>8.</b>	<b>ANTECEDENTES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA .....</b>	<b>21</b>
<b>9.</b>	<b>AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-102B-12.....</b>	<b>21</b>
<b>10.</b>	<b>HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.....</b>	<b>23</b>
10.1.1	<i>SOBRE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PRELIMINARES .....</i>	<i>24</i>
10.1.2	<i>SOBRE LA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA .....</i>	<i>28</i>
10.1.3	<i>SOBRE LOS DRENES SUBHORIZONTALES .....</i>	<i>43</i>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>12.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>47</b>
	<b>ANEXO 1.....</b>	<b>53</b>
	<b>ANEXO 2.....</b>	
	<b>ANEXO 3.....</b>	



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 PROYECTO SIFÓN-LA ABUNDANCIA .....	5
FIGURA 2. UBICACIÓN DEL PROYECTO. SIFÓN-LA ABUNDANCIA. ....	12
FIGURA 3. TIPO Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN REQUERIDA DEPENDIENDO DE LA COMPLEJIDAD DEL PROYECTO.....	14

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. FUENTES POSIBLES DE INFORMACIÓN SOBRE EL PROYECTO. ....	16
TABLA 2. DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN. ....	17
TABLA 3. FUENTES DE INFORMACIÓN PÚBLICA GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA EN COSTA RICA .....	18
TABLA 4. CRONOLOGÍA DEL PROYECTO CON ÉNFASIS EN ESTUDIOS GEOTÉCNICOS DEL PROYECTO.....	24
TABLA 5. INTERVALOS DE VALORES DE ÁNGULOS QUE DEFINEN LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTO DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS. ....	31
TABLA 6. RESUMEN DE SEGMENTOS CON MAYOR SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTO. ....	37
TABLA 7. LISTADO DE ESTUDIOS PRELIMINARES Y GEOTÉCNICOS DEL PROYECTO SIFÓN-LA ABUNDANCIA. ....	54

## ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DEL CORREDOR SIFÓN – ABUNDANCIA. FUENTE: VARGAS Y GARRO, UGERV. ....	32
MAPA 2 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN EL CORREDOR SIFÓN – ABUNDANCIA. FUENTE: VARGAS Y GARRO, UGERV. ....	34
MAPA 3 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN EL CORREDOR SIFÓN – ABUNDANCIA. FUENTE: VARGAS Y GARRO, UGERV. ....	35
MAPA 4 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN EL CORREDOR SIFÓN – ABUNDANCIA. FUENTE: VARGAS Y GARRO, UGERV. ....	36
MAPA 5 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN EL SEGMENTO 17+100 A 18+700 DEL CORREDOR SIFÓN-LA ABUNDANCIA.....	39
MAPA 6 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN EL SEGMENTO 28+700 A 30+900 DEL CORREDOR SIFÓN-LA ABUNDANCIA.....	40



## INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA Construcción de la carretera a San Carlos, sección Sifón-La Abundancia

**Departamento encargado del proyecto:** Unidad Ejecutora, Dirección Ejecutiva, CONAVI  
**Empresa contratista:** Sánchez Carvajal

**Monto original del contrato:** US\$61.049.657,12. A marzo 2011: US\$207.834.615,00  
**Plazo original de ejecución:** 1460 días naturales. Addendum N°2: incrementa a 910 días.  
**Longitud del proyecto:** 29,73 km (9+700 a 39+400)

### Audidores:

Ing. Raquel Arriola Guzmán, Auditora Líder

Ing. Ana Hidalgo Arroyo, Auditora adjunta

### Experto técnico:

Ing. William Vargas Monge, PhD

### Coordinadora de Auditoría Técnica:

Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.

### Asesor Legal:

Lic. Miguel Chacón Alvarado

### Coordinador de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA:

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD

### Alcance del informe:

Evaluación de los estudios geotécnicos preliminares del proyecto.

### Ubicación de la ruta auditada:



Figura Proyecto Sifón-La Abundancia



**INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.  
EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PRELIMINARES  
PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA A SAN CARLOS, SECCIÓN  
SIFÓN-LA ABUNDANCIA**

## 1. FUNDAMENTACIÓN

La auditoría técnica externa a proyectos en ejecución para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la ley 8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Asimismo, el proceso de auditoría se fundamenta en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril del 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

*“...la fiscalización que realiza la Universidad a través del Laboratorio es una fiscalización externa, que trasciende los contratos de mérito, y por ende, obras específicas, para abarcar la totalidad de la red nacional pavimentada (por ende, proyectos ya finiquitados) y que incluso podría considerarse “superior”, en el sentido en que debe fiscalizar también los laboratorios que realizan análisis de calidad, auditar proyectos en ejecución, entre otros aspectos, evaluar la capacidad estructural y determinar los problemas de vulnerabilidad y riesgos de esa red. Lo cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.” (El subrayado no es del texto original)*

## 2. OBJETIVO Y METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

El objetivo de esta auditoría técnica al proyecto Sifón-La Abundancia, es dar a conocer a la Administración, desde el punto de vista externo y constructivo, aspectos relacionados con los estudios geotécnicos analizados, así como de situaciones observadas en las visitas realizadas por el equipo auditor en el sitio de las obras y de aspectos que se desvían de los requerimientos normativos dentro del proceso de gestión del proyecto.





Se procura que este informe sea una herramienta que le permita a la Administración evaluar las condiciones en que se desarrolló el proyecto desde el punto de vista geotécnico, de manera que pueda contribuir a la toma de decisiones sobre aspectos que se deben considerar tanto en este proyecto como en futuras obras viales para que se logren ejecutar de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de atrasos en los plazos de conclusión, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles y buscando siempre la calidad requerida y esperada en las obras de acuerdo con las especificaciones establecidas y que justifique la inversión realizada.

## **2.1 Objetivo General del Informe de Auditoría Técnica**

El objetivo general del presente informe de Auditoría Técnica es realizar una evaluación de los estudios geotécnicos con los que cuenta el proyecto Sifón-La Abundancia, tanto previos como durante la construcción, los cuales permiten determinar la vulnerabilidad geotécnica del proyecto así como la idoneidad de la información base disponible, para resolver los puntos de inestabilización de taludes que ha presentado el proyecto Sifón-La Abundancia.

## **2.2 Objetivo Específico del Informe de Auditoría Técnica**

Específicamente el presente informe tiene como objetivo realizar una zonificación de la susceptibilidad a la inestabilidad de las laderas naturales compuestas por suelos residuales en el corredor del proyecto Sifón – Abundancia con base en la metodología de ángulo crítico desarrollada por Vargas y Garro (2005) y realizar visitas al campo con el propósito de definir los segmentos críticos donde se da mayor exposición de taludes de corte y relleno a la problemática de deslizamientos. Adicionalmente, con base en las visitas de fiscalización al proyecto, identificar aspectos que deban ser atendidos en relación con los taludes que han presentado una condición de inestabilidad (deslizamientos). Lo anterior debido a que ha sido frecuente en proyectos de carreteras, la falta de este tipo de estudios de susceptibilidad a la inestabilidad de taludes.



### 2.3 Metodología del estudio

Este informe de Auditoría Técnica se efectuó siguiendo los procedimientos de auditoría técnica, mediante la revisión documental de los estudios geotécnicos proporcionados, así como documentación asociada a estudios preliminares disponibles del proyecto y visitas técnicas al sitio. Adicionalmente, el presente informe tiene como soporte el informe técnico *“Evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos de las laderas de suelos residuales en el corredor del proyecto Sifón-La Abundancia”* elaborado por Ing. William Vargas Monge, Ph.D. y el Ing. José Francisco Garro Mora, M. G., el cual se presenta en el Anexo 2.

En relación con la metodología para evaluar la vulnerabilidad geotécnica de una obra vial se deben analizar los dos factores principales que la determinan, a saber:

1. La exposición o potencial de inestabilidad de las laderas naturales del corredor y
2. La calidad del diseño, construcción y mantenimiento de los taludes de corte y las obras de relleno (terraplenes).

La exposición del proyecto a la inestabilidad se evaluó utilizando como base la zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos, que se obtiene con la metodología de ángulo crítico. La metodología de “ángulo crítico” (Vargas y Garro, 2005) que utiliza información topográfica, geológica y un catálogo de deslizamientos para obtener los parámetros de la zonificación. Esta metodología procura identificar las zonas susceptibles a inestabilidad de una ladera natural de suelo residual mediante un análisis estadístico de la pendiente en las zonas deslizadas, que han sido separadas según el tipo de material de origen. La hipótesis básica de la metodología es que el ángulo de la pendiente del terreno en las áreas deslizadas tiene una distribución normal, cuyo valor promedio o media es el “ángulo crítico”. La media y la desviación estándar de la distribución se usan para hacer la zonificación.

Esta metodología se detalla en el informe técnico (Anexo 2) y ha sido aplicada exitosamente a la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos de varias rutas nacionales tales como 2, 3, 10, 32, 126, 141,702, evaluadas por LanammeUCR entre 2002 y 2009. Adicionalmente permite ubicar con gran precisión las zonas con mayor potencial de inestabilidad. Los

Informe Final LM-PI-AT-102-12	Fecha de emisión: Diciembre 2012	Página 8 de 57
-------------------------------	----------------------------------	----------------



resultados también incluyen los valores promedio del ángulo de fricción que caracteriza la resistencia en condición drenada de los materiales, los cuales controlan la inclinación estable a largo plazo de los taludes de corte en los suelos residuales superficiales.

La estabilidad a corto plazo depende además de la altura de los cortes y rellenos y de las propiedades físicas (peso unitario) y mecánicas (resistencia no drenada o cohesión) de los materiales. La altura máxima de un talud de corte o relleno es el principal indicador de vulnerabilidad según las metodologías de evaluación del LanammeUCR, ya que en general, la amenaza es directamente proporcional a la altura de los taludes y se agudiza cuando la inclinación de los taludes supera los ángulos de fricción de los materiales.

La calidad del diseño geotécnico de un proyecto vial depende de los modelos del posible comportamiento de los materiales que se hayan elaborado previamente. Por el alto costo de la investigación geotécnica, inicialmente no es factible obtener información suficientemente detallada para que el modelo sea útil en el diseño final (definitivo) de obras de estabilización, dado que debe ser lo más exacta posible. Sin embargo, se debe partir de una zonificación básica general que permita identificar los materiales y sus problemáticas potenciales. En el proyecto Sifón – Abundancia, la problemática que se ha manifestado con mayor frecuencia es la inestabilidad de taludes de corte por lo que se justifica estudiarla como punto de partida.

### **3. ALCANCE DE LA AUDITORÍA**

El alcance de esta auditoría técnica se centró en la revisión de los estudios geotécnicos del proyecto Sifón-La Abundancia, suministrados por la Gerencia de Proyecto, así como visitas a campo para observar las condiciones de inestabilidad de algunos taludes del proyecto.

La evaluación de la calidad del diseño de las obras geotécnicas asociadas con los puentes, tales como cimientos (pilas), bastiones y muros de retención, así como los rellenos de aproximación, están fuera del alcance de esta evaluación.



Cabe señalar que en Costa Rica no existe normativa oficial en relación con la investigación geotécnica que debe realizarse para cada tipo de proyecto, por lo que las referencias normativas que se plantearán en este informe se basan en las buenas prácticas, de acuerdo con:

- Capítulo 6 del “Manual de desarrollo y diseño de proyectos” (Project Development and Design Manual) del Programa de Carreteras en Territorios Federales (Federal Lands Highway, FHL) del 2005. El FLH es un programa de la Federal Highway Administration (FHWA).

Este manual cubre todos los aspectos de la planificación y el diseño de carreteras y autopistas sobre los aspectos geotécnicos a considerar.

Los resultados de este informe deben enmarcarse dentro del contexto de los estudios de prefactibilidad que deben realizarse previos a la construcción de un proyecto y que en materia geotécnica, deben ser complementados de acuerdo con las condiciones que se presenten durante la construcción de la carretera.

#### 4. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El contrato “Construcción de la Nueva Carretera a San Carlos, Sección Sifón-Ciudad Quesada (La Abundancia)” inició su ejecución tal y como fue concebido originalmente desde que fuera refrendado por la Contraloría General de la República en junio del 2005 según lo indica el Addendum N°2 al contrato, firmado en abril del 2011. No obstante, desde el punto de vista político-administrativo, este proyecto ha experimentado diversos cambios como la ruptura de relaciones diplomáticas entre Costa Rica y la República de China en Taiwán (en junio del 2007) por lo que se dio la cesión del contrato a la empresa Constructora Sánchez Carvajal, así como cambios del personal responsable de la Unidad Ejecutora por parte del CONAVI.

De acuerdo con el Addendum N°3 firmado en mayo del 2011 se indica:

*“... conforme lo autorizado, el objeto contractual modificado consiste en la construcción de la carretera nueva a San Carlos, sección Sifón-La Abundancia, con una longitud de*

Informe Final LM-PI-AT-102-12	Fecha de emisión: Diciembre 2012	Página 10 de 57
-------------------------------	----------------------------------	-----------------





29.7 km que inicia en la estación 9+700 y termina en la estación 39+400, estacionamientos referidos a los planos constructivos definitivos debidamente aprobados y revisados en fecha 17 de febrero del 2010 por los Ingenieros Carlos Pereira Esteban Gerente de Construcción de Vías y Puentes y Alejandro Molina Solís Director Ejecutivo a.i. ambos del CONAVI. El objeto comprende la construcción de los puentes conforme a los planos diseñados por la firma IMBSEN&Associates-F.Mas de setiembre del 2002 sobre los siguientes puntos:

1. Estación 10+900 Sobre el río Barranca, longitud 314,40 m
2. Estación 16+900 Sobre el río Espino, longitud 235,00 m
3. Estación 19+600 Sobre el río Laguna, longitud 132,40 m
4. Estación 22+200 Sobre el río Tapezco, longitud 273,40 m
5. Estación 25+450 Sobre el río Arenas, longitud 113,40 m
6. Estación 28+000 Sobre el río Seco, longitud 148,40 m
7. Estación 31+450 Sobre el río La Vieja, longitud 139,00 m
8. Estación 34+250 Sobre el río Ron Ron, longitud 114,40 m

Para mejorar las condiciones de funcionalidad y seguridad vial del trazado, se modificó el diseño, por lo que en el proyecto se construirán 22,9 km con una sección típica de cuatro carriles con una barrera divisoria tipo New Jersey separando los dos carriles de ascenso de los de descenso, los radios de curvatura mínima serán de 160 m, las pendientes longitudinales máximas serán de 8%, las superelevaciones máximas de un 10%, los espaldones tendrán un ancho de 1,50 m y la velocidad de diseño será de 70-80 km/h. El ancho de los carriles será de 3,65 m para los carriles internos y de 3,30 m para los carriles externos. Como consecuencia de la variación del objeto original en su alcance, tanto el plazo como el monto original previsto en el contrato se amplían a fin de llevar a cabo la ejecución de la obra hasta su finalización, por lo cual el plazo se incrementa en 30 meses y el monto se incrementó en la suma de US\$77.558.295.”

No obstante, según la cláusula quinta se indica que “En razón de la naturaleza del presente Addendum N°3 se declara de cuantía inestimable”. No obstante, mediante oficio 02623 del

18 de marzo 2011, emitido por la Contraloría General de la República se indica que se dispondrá de un monto de US\$ 207.834.615,00 para respaldar tanto el contrato original como las modificaciones contractuales.

El proyecto Sifón – Abundancia se ubica en los cantones de San Ramón y San Carlos, provincia de Alajuela, en la zona de paso intermontano entre la Gran Área Metropolitana (GAM) y la Zona Norte.

En la Figura 1 se observa que la ruta se ubica entre las rutas nacionales 141 (Naranjo – Zarcero – Ciudad Quesada) y 702 (San Ramón – Bajo Rodríguez), que actualmente son las principales vías de acceso al cantón San Carlos.

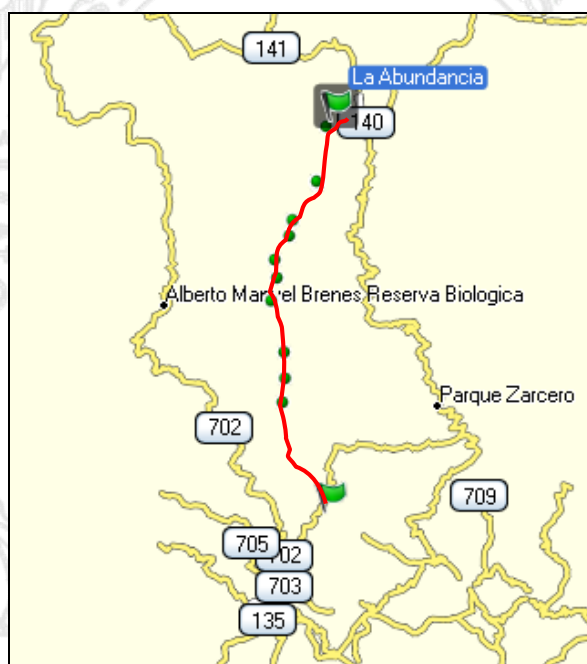


Figura 1. Ubicación del proyecto. Sifón-La Abundancia.

## 5. MARCO TEÓRICO

De previo a referirse a los hallazgos y observaciones relacionadas con el tema de estudios geotécnicos del proyecto Sifón-La Abundancia, esta Auditoría Técnica considera relevante comentar los siguientes temas por considerar que representan un marco de referencia



importante dentro del cual se puede ubicar el presente informe de Auditoría Técnica al proyecto.

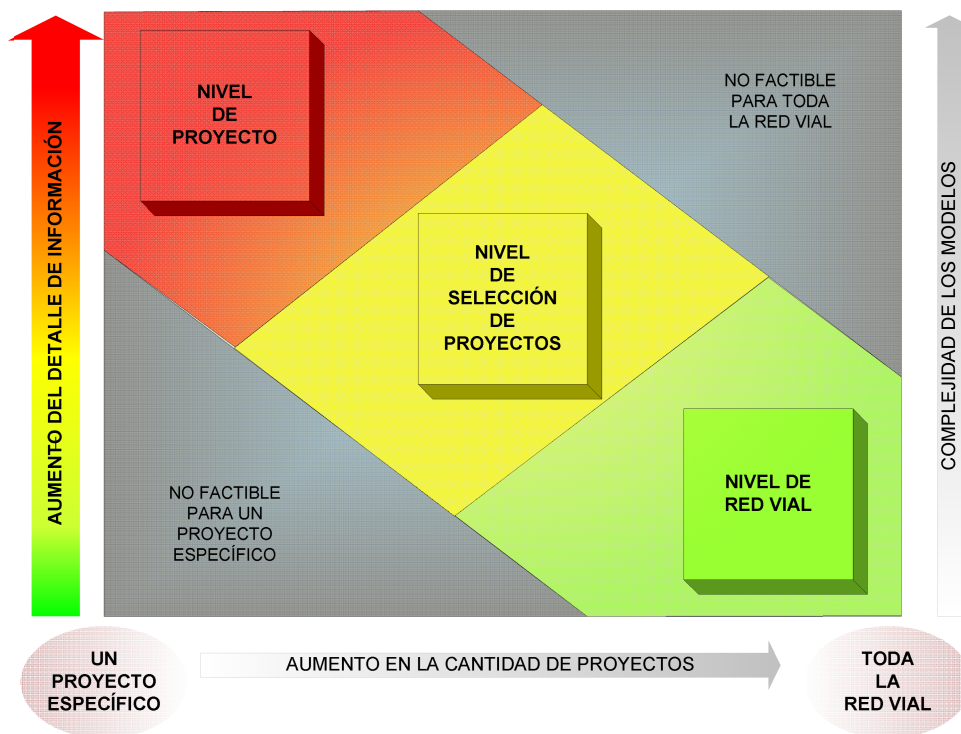
Adicionalmente, tomando como referencia el Capítulo 6 del “Manual de desarrollo y diseño de proyectos” (Project Development and Design Manual) del Programa de Carreteras en Territorios Federales (Federal Lands Highway, FHL) con adaptación del LanammeUCR, se presentan algunos conceptos que constituyen la base para la elaboración y aplicación de estudios de zonificación, entre otros, y en general, para el ordenamiento de actividades para el estudio adecuado de suelos en el desarrollo de proyectos de carreteras, sean estos nuevos diseños o revisiones de corredores existentes en los cuales es necesaria una intervención importante. Para más detalles, en el Anexo 3 se adjunta la traducción del citado capítulo.

### 5.1 Administración de activos

En el ámbito de las carreteras, la administración de activos (bienes) se puede definir como un marco de procesos y decisiones que se da en un período extendido de análisis (usualmente el periodo es el doble que la vida útil del activo), el cual involucra la teoría y práctica de economía e ingeniería, y considera todos los activos de la carretera. Este enfoque realiza análisis económicos entre diferentes alternativas de inversión tanto a nivel de red (el nivel de información e inventarios viales es general, analiza redes de carreteras) como a nivel de proyecto (nivel de información es más detallado, analiza proyectos específicos). Con estos resultados, las agencias de transportes pueden tomar decisiones que sean rentables<sup>1</sup>.

A continuación se presenta la Figura 2 que expone de una forma gráfica los requerimientos en la cantidad y calidad de la información determinados por el tipo de proyecto que se tenga.

<sup>1</sup> Chaverri J, Madrigal D. Modelos de optimización lineal para realizar planes de inversión de largo plazo, 2009



**Figura .** Tipo y calidad de la información requerida dependiendo de la complejidad del proyecto<sup>2</sup>.

Fuente: Traducción de Modern Pavement Management, Malabar Florida, 2004.

De dicha figura se extrae:

**Nivel de proyecto:** Las intervenciones que se encuentran a "nivel de proyecto" deben de hacer frente a problemas técnicos específicos, como lo es la toma de decisiones de diseño detallado para un proyecto individual. Para esto se requiere contar con información detallada sobre los componentes del proyecto, como se muestra en la parte superior izquierda de la figura.

**Nivel de red:** El nivel de red consiste en la toma de decisiones políticas respecto a la construcción, rehabilitación o el mantenimiento de la red en su totalidad. En este nivel, la asignación de los presupuestos es la principal preocupación, y los modelos deben ser

<sup>2</sup> Modern Pavement Management, Malabar Florida, 2004.





diseñados para optimizar el uso de los recursos asignados a la construcción, rehabilitación o mantenimiento de la red.

Obsérvese en la Figura 2 que el nivel de detalle de la información depende en el nivel en que se esté trabajando (nivel de red o nivel de proyecto). A un nivel de red, la información es muy general, dado que se realiza para un número de proyectos y hasta para toda la red vial. El uso de esta información no es factible para un proyecto específico debido a su alcance.

Por otro lado, una vez que se identifica un proyecto específico a intervenir, el detalle de información requerido en cuanto a inventarios y estudios es detallado, todo con el propósito de ejecutar la etapa de diseño (nivel de proyecto).

A partir de lo anterior, un estudio de zonificación que permite identificar segmentos críticos susceptibles a deslizamientos en un corredor vial, se ubica como un estudio en un nivel de red, ya que la información que contiene es general y por tanto, no permite establecer con el detalle necesario, aspectos de diseño, por ejemplo, de pendientes de cortes y rellenos de taludes, los cuales sí son posibles de obtener cuando se trabaja a nivel de proyecto, en donde la información es producto de estudios específicos del proyecto.

## 5.2 Investigación geotécnica

La investigación debe incluir en sus alcances la localización y determinación de las propiedades de los suelos que presenten alguna problemática específica, tales como los terrenos inestables (deslizamientos), las arcillas muy plásticas, las arcillas expansivas, los limos colapsables, las arenas licuables y aquellos materiales que serán utilizados como fuentes en la construcción de obras geotécnicas.

El proceso de la investigación geotécnica adecuada comienza con la revisión general de las características del proyecto y culmina con el análisis de problemas específicos y la definición de los diseños de las obras. El procedimiento general de una investigación geotécnica para diseño de obras viales incluye los siguientes pasos:

1. Revisión de las características generales del proyecto.



2. Revisión de cartografías y documentos existentes sobre las características de los materiales y los problemas geotécnicos potencialmente existentes.
3. Investigación geológica (Reconocimiento geológico)
4. Investigación geotécnica de campo (Reconocimiento geotécnico)
5. Investigación geotécnica de laboratorio (Suelos del trazado y materiales usados como fuentes)
6. Análisis geotécnico para el diseño de obras viales
  - » Taludes de corte
  - » Terraplenes (rellenos).
  - » Cimentaciones de puentes.
  - » Estabilización de deslizamientos de tierra y roca.
  - » Muros de contención.
  - » Drenajes subsuperficiales.
  - » Pavimentos.

Cada una de estas áreas debe ser atendida en forma individual mediante guías y referencias para información más específica y detallada.

### 5.3 Revisión de las características generales del proyecto

Las investigaciones más detalladas se deben realizar una vez que se cuente con la información básica específica del proyecto. La lista siguiente identifica requisitos típicos del proyecto y sugiere donde se puede obtener la información sobre los temas específicos.

**Tabla . Fuentes posibles de información sobre el proyecto.**

<b>Características específicas</b>	<b>Fuentes de información</b>
Tipo de proyecto propuesto. Términos propuestos del proyecto. Financiamiento disponible. Periodo de ejecución previsto. Elementos que requieren de investigación (indefinidos). Autoridades locales a contactar. Localización y tipo de servicios públicos existentes en la ruta.	Dirección de planificación Unidad de desarrollo de proyectos
Mapas de sitio y referencias de campo de la ruta.	Unidad de topografía y cartografía



	Instituto Geográfico Nacional
Localización de estructuras y puentes.	Unidad de diseño estructural
Restricciones específicas para el uso del suelo, el agua, consideraciones o limitaciones ambientales.	Unidad Ambiental Ministerio del Ambiente Municipalidades
Restricciones del derecho de vía y accesos a la ruta (en nuevos proyectos).	Unidad Legal Propietarios de terrenos

Fuente: LanammeUCR. (Adaptado del Programa de Carreteras en Territorios Federales o Federal Lands Highway, FHL)

#### 5.4 Revisión de cartografías y documentos existentes

Mediante la revisión de mapas y documentos existentes se pueden delimitar preliminarmente las zonas con suelos potencialmente problemáticos para la construcción de carreteras, los cuales ya han sido descritos anteriormente. Entre estos, los más comunes son los mapas geológicos, geomorfológicos, edáficos (agronómicos) y geotécnicos. Esos deben ser complementados con mapas la topografía y la red hidrográfica, de gran disponibilidad. La disponibilidad de esa información se presenta en el siguiente cuadro.

**Tabla .** Disponibilidad de la información.

Tipo de información o mapa	Fuente de información
Topografía y red fluvial	Hojas cartográficas del Instituto Geográfico Nacional Mapas digitales de Comisión Terra
Geología	Bases de datos públicos en instituciones <ul style="list-style-type: none"> <li>• Escuela de Geología UCR</li> <li>• Escuela de Ingeniería Civil UCR</li> <li>• Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)</li> <li>• Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)</li> </ul>
Geomorfología	
Geotecnia	
Suelos (agronómico)	

Fuente: LanammeUCR. (Adaptado del Programa de Carreteras en Territorios Federales o Federal Lands Highway, FHL)

En el caso de los mapas geológicos, geomorfológicos y edáficos, la revisión debe realizarse con conocimiento previo de las relaciones existentes entre características y factores determinantes de la ocurrencia del problema, con el objetivo de identificar las zonas donde los problemas se pueden presentar potencialmente.

Como resultado de este paso, el ingeniero geotécnico podrá definir las necesidades de investigación complementaria en forma preliminar desde una etapa inicial. De esta manera,

Informe Final LM-PI-AT-102-12	Fecha de emisión: Diciembre 2012	Página 17 de 57
-------------------------------	----------------------------------	-----------------



se podrán estimar también los costos asociados con la investigación geotécnica y el impacto potencial de los problemas geotécnicos sobre la factibilidad del proyecto.

**Tabla . Fuentes de información pública geológica y geotécnica en Costa Rica**

Tipo de información	Fuente
Mapas geológicos generales	Mapas geológicos publicados por el Instituto Geográfico Nacional. Mapas geológicos publicados por la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica.
Mapas geológicos locales	Mapas geológicos publicados por la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica (ECG-UCR) Boletines, trabajos profesionales, circulares, informes anuales, Monografías. Revista Centroamericana de Geología (ECG-UCR).
Otros mapas geológicos: Geología física general, fuentes de agregados, hidrogeología, vulcanología y sismicidad.	Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Escuela Centroamericana de Geología Universidad de Costa Rica (ECG-UCR), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional Autónoma (OVSI-CORI-UNA)
Mapas geomorfológicos:	Instituto Geográfico Nacional (IGN). Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica. Escuela de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de Costa Rica.
Mapas de amenazas naturales: Incluye zonas inestables y deslizamientos activos, zonas de inundación, fallas activas, intensidades sísmicas, peligros volcánicos, etc.	Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE); Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), Escuelas de Geología, Geografía e Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (UCR).
Boletines mensuales, publicaciones especiales y memorias: Textos que cubren temas geológicos especializados e investigaciones intensivas de la geología local.	Congresos nacionales y regionales de geología e ingeniería geotécnica. Escuela Centroamericana de Geología, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica; Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA).
Fuentes de agua subterránea	Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA). Incluye informes de disponibilidad de





	agua subterránea en lugares específicos y se acompaña generalmente de la descripción y las condiciones de subsuelo que afectan el agua subterránea
Mapas topográficos: Curvas de nivel (contornos topográficos)	Instituto Geográfico Nacional (Escala variadas entre 1:1.000.000 y 1:10.000, impresos y digitales) Ministerio de Ambiente y Energía: Mapas digitales del Proyecto Terra, escala 1:25.000. No cubre el 100% del territorio nacional.
Mapas e informes de suelo: Mapas de los suelos superficiales según la taxonomía de la agronomía.	Ministerio de Agricultura y Ganadería; Investigaciones de proyectos de graduación en Agronomía e Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Fuente: LanammeUCR.

### 5.5 Proceso de la investigación geotécnica

El propósito primario de una investigación geotécnica es proveer a los ingenieros diseñadores de un conocimiento de las condiciones del subsuelo en el sitio del proyecto específico. La investigación debe también proporcionar a los constructores del proyecto y a los contratistas, la información referente a los materiales y las condiciones de trabajo que pueden ser encontrados en el campo.

El alcance y el costo de una investigación geotécnica se deben ajustar al tamaño y a la complejidad del proyecto propuesto. El potencial de una falla catastrófica y/o las probables consecuencias de esa falla se deben de evaluar cuando se establece el alcance de la investigación.

En todas las investigaciones geotécnicas, la seguridad de los trabajadores y del usuario debe tener la más alta prioridad. Las características del equipo utilizado y las condiciones climáticas con frecuencia constituyen amenazas potenciales que se deben evaluar en forma específica para garantizar la seguridad en el proyecto.

Es responsabilidad del ingeniero geotécnico/geólogo, así como miembros del equipo, ajustar el programa de la investigación y proporcionar el equipo, entrenamiento y otros medios para crear y las condiciones seguras de trabajo. Todos los que estén involucrados en el proyecto



deben de estar enterados de y usar los planes de seguridad basados en los requisitos establecidos por ley.

Algunas condiciones del terreno o de los materiales pueden requerir de pruebas especializadas o de la instalación de instrumentación in situ con el propósito de obtener información precisa para diseño, la construcción y la operación de un proyecto vial. Las pruebas de laboratorio y la instrumentación pueden ser altamente especializadas y pueden requerir de ayuda especializada. Las siguientes son razones típicas para el uso de instrumentación especializada:

- Control de la calidad de construcción y apego al diseño durante la ejecución.
- Seguridad.
- Verificación de las suposiciones utilizadas en el diseño.
- Verificación de la eficacia de técnicas nuevas de construcción.
- Verificación del funcionamiento satisfactorio a largo plazo.
- Determinación de la estabilidad de taludes.
- Verificación de la conformidad del contratista con las especificaciones.
- Razones legales.

## 6. RESPONSABLES DEL PROYECTO

a) Responsables por parte de la Administración:

- Gerencia de Construcción de Vías y Puentes, CONAVI.

b) Responsables por parte de la empresa constructora:

- Contratista: Constructora Sánchez Carvajal

## 7. INTEGRANTES DEL EQUIPO AUDITOR DEL LANAMMEUCR

- Ing. Raquel Arriola Guzmán (Auditora Líder)
- Ing. Ana Hidalgo Arroyo (Auditora Técnica)
- Ing. William Vargas Monge, PhD (Experto técnico)
- Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MScEng. (Coordinadora de la Unidad de Auditorías Técnicas)



## 8. ANTECEDENTES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Como antecedentes en el tema de estudios geotécnicos, previo a este informe de Auditoría Técnica se tiene el estudio realizado al proyecto Chirracá-Palmichal, en el que de manera similar se evaluó el diseño geotécnico de las obras, para diagnosticar las condiciones de inestabilidad de la zona de influencia y la vulnerabilidad de las soluciones técnicas implementadas.

Adicionalmente, durante la ejecución de esta Auditoría Técnica se realizaron observaciones de acuerdo con aspectos observados en las visitas al proyecto, planteadas en el oficio:

- LM-IC-D-0556-12 de fecha 21 de mayo 2012, sobre algunas observaciones, en particular sobre el sistema de drenaje en taludes observados con el propósito de que se tomaran medidas correctivas y preventivas, así como hacer de conocimiento al LanammeUCR dichas medidas.

En respuesta al oficio anterior se recibió el oficio DIE-01-12-2896 recibido el 14 de agosto 2012 en donde se adjunta el “Informe sobre taludes de la carretera Sifón-La Abundancia” elaborado por el Ing. Pablo Torres Morales, Gerente de la Unidad Ejecutora y en el que se refiere, entre otros aspectos, al tema de los drenajes. Este tema se ampliará en la observación 3 del presente informe.

## 9. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-102B-12

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-152-12 del 15 de noviembre del 2012 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-102B-12 a la parte auditada para que sea analizado y de requerirse, se proceda a esclarecer aspectos que no hayan sido considerados durante el proceso de ejecución de la auditoría, por lo que se otorga un plazo

Informe Final LM-PI-AT-102-12	Fecha de emisión: Diciembre 2012	Página 21 de 57
-------------------------------	----------------------------------	-----------------



de 10 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe para el envío de comentarios al informe preliminar.

Posterior al envío del informe preliminar se le brinda una audiencia a la parte auditada para que se refiera al informe preliminar, la cual se fija para el día 21 de noviembre del 2012 en las instalaciones del LanammeUCR, la presentación del informe preliminar se lleva a cabo con la participación de la Ing. Dahiana Izaguirre en representación de la Dirección Ejecutiva, y también se contó con la presencia del Ing. Alex Cubillo Campos y la Lic. Blanca Calderón en representación del Lic. Reinaldo Vargas, Auditor Interno, del CONAVI.

El mismo día de la presentación indicada, se recibe el oficio UESC-12-728 dirigido a la Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica, Ing. Jenny Chaverri Jiménez, donde la ingeniería de proyecto solicita una reprogramación de la audiencia y ampliación del plazo de recepción de comentarios de 5 días hábiles. Atendiendo esta solicitud, se realiza la presentación del informe por parte de esta Auditoría Técnica el día 28 de noviembre del 2012 con la presencia de integrantes de la Unidad Ejecutora del proyecto: Ing. Pablo Torres, Ing. Alberth Sánchez, Ing. Gustavo Bolaños y el Ing. Abraham Sánchez, y por parte de la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes, el Ing. Carlos Pereira Esteban.

El día 04 de diciembre del 2012, fecha en la que vencía el plazo de entrega de documentos por parte de la Administración se recibe el oficio UESC-12-746 donde se solicita una segunda prórroga adicional de 5 días hábiles para la entrega del documento respectivo, la cual es concedida parcialmente por parte de la Auditoría Técnica. El plazo final para la entrega de documentos vencía el viernes 7 de diciembre del 2012.

El día 06 de diciembre del 2012 dentro del plazo convenido, se recibe el oficio UESC-12-754 con comentarios por parte de la Administración al informe LM-PI-AT-102B-2012, por lo que en cumplimiento de los procedimientos de Auditoría Técnica se procede a analizar la pertinencia de las observaciones emitidas por la parte auditada y finalmente a emitir el presente informe LM-PI-AT-046-12 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley.





## 10. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Todos los hallazgos y observaciones declarados por el Equipo Auditor en este informe, se fundamentan en: evidencias representativas, veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría; el levantamiento en campo y el análisis propio de las evidencias.

Se entiende como “hallazgo de auditoría técnica”, un hecho que hace referencia a una normativa, informes anteriores de auditoría técnica, principios, disposiciones y buenas prácticas de ingeniería o bien, hace alusión a otros documentos técnicos y/o legales de orden contractual, ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Por otra parte, una “observación de auditoría técnica” se fundamenta en normativas o especificaciones que no sean necesariamente de carácter contractual, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería, principios generales, medidas basadas en experiencia internacional o nacional. Además, tienen la misma relevancia técnica que un hallazgo.

Por lo tanto, las recomendaciones que se derivan del análisis de los hallazgos y observaciones, deben ser atendidas planteando acciones correctivas y preventivas, que adviertan sobre el riesgo potencial del incumplimiento.

Los resultados de este informe deben enmarcarse dentro del contexto de los estudios preliminares, particularmente de los estudios geotécnicos, que deben realizarse en la fase de planificación y principalmente, en la definición del trazado de una carretera. Por tanto, se pretende brindar un aporte para futuros proyectos a partir del estudio y experiencias en la ejecución del proyecto Sifón-La Abundancia.

## 10.1 Resultados de la Auditoría Técnica

### 10.1.1 Sobre los estudios geotécnicos preliminares

**Hallazgo 1: Los estudios geotécnicos preliminares a los que tuvo acceso la Auditoría Técnica, así como el proceso de revisión y aprobación por parte de la Administración, fueron insuficientes para identificar y mitigar la susceptibilidad a la inestabilidad de taludes del corredor.**

En la Tabla se presenta a manera de resumen, la cronología del proyecto, dentro de la cual se hace énfasis en algunas fechas relevantes del proyecto y fechas de los estudios geológicos-geotécnicos a los que esta Auditoría Técnica tuvo acceso, tanto preliminares como los realizados posterior a la Orden de Inicio del proyecto (Octubre 2005):

**Tabla . Cronología del proyecto con énfasis en estudios geotécnicos del proyecto.**

FECHA	EVENTO
<b>Septiembre 1996</b>	Se publica Ley de Aprobación del contrato de préstamo para financiar el proyecto
<b>Diciembre 2000</b>	Estudio geológico elaborado por Macías y Vargas para la empresa MOH y Associates
<b>Diciembre 2001</b>	Acuerdo de donación para completar la ejecución del proyecto, entre gobiernos de China y Costa Rica.
<b>Enero 2002</b>	Decreto 30101-MOPT. El proyecto se declara de interés nacional. Constituye una Unidad Coordinadora del proyecto, la cual, tenía entre sus obligaciones:... “h) Coordinar las acciones necesarias sobre el diseño de puentes y cualquier otro estudio técnico requerido para la ejecución del Proyecto.”
<b>Enero 2004</b>	Oferta presentada por el contratista (Constructora RSEA Engineering Corp.)
<b>Febrero 2004</b>	Modificación al acuerdo de donación para completar la ejecución del proyecto
<b>Abril 2004</b>	Estudio de Impacto Ambiental General, elaborado por la empresa Siel, en donde se presenta información, entre otra, geológica, geotécnica y sobre la pendiente de diseño 1:1 de los taludes, que en algunos casos debían ajustarse, en función de los materiales presentes.
<b>Enero 2005</b>	Firma del contrato original del proyecto
<b>Octubre 2005</b>	Orden de inicio del proyecto



<b>Diciembre 2006</b>	Estudio Geotécnico de taludes en el proyecto de Carretera Naranjo-Ciudad Quesada realizado por Ingeotec S.A, a solicitud de la empresa Sánchez Carvajal, debido a la falla de taludes construidos con pendiente 1:1.
<b>Junio 2007</b>	Ruptura relaciones entre Costa Rica y República de Taiwán
<b>Setiembre 2008</b>	Cierre técnico del proyecto dada la cesión del contrato
<b>Marzo 2009</b>	Addendum N°1 Cesión del contrato
<b>Febrero-Agosto 2010</b>	Estudios geotécnicos específicos de suelos y análisis de estabilidad de taludes en sitios específicos debido a la falla en 18+100, 18+700, 20+700, 22+800, realizados por Vieto Ingenieros Consultores.
<b>Abril 2011</b>	Addendum N°2: Modificación contrato, ampliación a 4 carriles
<b>Octubre 2011</b>	Estudios geotécnicos específicos de suelos, análisis de estabilidad, recomendación de solución en sitios específicos debido a la falla en km 18, 21, 25, 29 y 34, realizados por Ingeotec S.A.

A partir de la Tabla se puede observar que previo a la Orden de Inicio, se elaboró un estudio geológico en el 2000 y el Estudio de Impacto Ambiental en el 2004, en el que se señalan de manera general, aspectos descriptivos sobre la geología, estabilización de taludes, caracterización geotécnica y fallas identificadas en el trazado del proyecto.

Por otra parte, con base en la revisión documental aportada por la Administración, realizada y las visitas a campo, el proyecto Sifón-La Abundancia ha presentado un historial en cuanto a la problemática de la inestabilidad de taludes del corredor.

En relación con los diseños originales del proyecto, fueron realizados por *MOH and Associates Inc*, tal como se indica en el apartado 5, página 5.2 del Estudio de Impacto Ambiental Carretera Naranjo-Florencia de abril del 2004 y elaborado por Asesores Ambientales Siel-Siel:

(...) Los estudios de la vía fueron realizados por la empresa MOH and Associates Inc, a través de una donación del gobierno taiwanés..."

Adicionalmente en este estudio se indica:

(...) Respecto a los taludes que se formarán, cabe indicar que éstos fueron diseñados. Estos taludes fueron diseñados, en términos generales, en la relación 1:1 (vertical: horizontal), es decir, que tendrán una inclinación de 45°. Esta relación deberá ser ajustada, según se describe más adelante, en función de los materiales

Informe Final LM-PI-AT-102-12	Fecha de emisión: Diciembre 2012	Página 25 de 57
-------------------------------	----------------------------------	-----------------



presentes, algunos de los cuales requerirán menores pendientes para alcanzar su ángulo de estabilidad, factor también considerado en los estudios ya realizados por el MOPT. (...) (lo subrayado no es del original)

En relación con estos estudios preliminares y diseños, se detectaron deficiencias según se indica en el Addendum N°2 al contrato en el que se modifica a cuatro carriles la sección del proyecto, entre otros aspectos firmado en abril del 2011, ya que entre las razones principales que se plantean para fundamentar la propuesta de modificación del contrato se encuentran:

- Línea de centro original cruza humedales y fallas geológicas
- Taludes inestables.

Adicionalmente en el Addendum N°2 se indica que:

*“El diseño original ha presentado una serie de defectos y deficiencias, al revisar el presupuesto original aprobado se evidencia una subvaloración del costo total de la carretera en su concepción original, determinándose que si la obra contemplara todos los detalles que le falta y que no pueden ser obviados, lógicamente el costo correcto será mucho más alto de lo contemplado en el contrato.”*

Estas deficiencias específicas en el diseño original de los taludes, se pueden corroborar en el “Estudio Geotécnico de taludes del proyecto Carretera Naranjo-Ciudad Quesada” de diciembre 2006 realizado por la empresa Ingeotec S.A en donde se indica:

*“Este proyecto, que actualmente se encuentra en construcción, ha presentado múltiples problemas de inestabilidad de taludes, que es necesario corregir. Todos los taludes del proyecto, cortados hasta la fecha, se han realizado con una pendiente de 45° (1H: 1V). No obstante, los deslizamientos a lo largo de la vía han sido frecuentes, lo que demuestra que la geometría de los taludes no es adecuada para las condiciones geológicas y geotécnicas de los materiales que conforman los cortes.”*

Tal como se observa de la Tabla , en diciembre del 2000 se elaboró un estudio geológico pero es a partir del 2006, más de un año después de dada la Orden de Inicio, con un estudio geotécnico que se retoma el tema de los taludes y se recomiendan construir los taludes del proyecto utilizando otras pendientes para los cortes y posteriormente, tras la falla de algunos taludes, es a partir del 2010 que se comienzan a realizar estudios geotécnicos específicos en





sitios con problemas de estabilidad, particularmente los kilómetros 18, 21, 25, 29 y 34 de la ruta. En términos generales estos estudios incluyen estudios de suelos para determinar las características físicas y mecánicas de los materiales existentes, análisis de estabilidad, explotación geofísica y recomendaciones para las soluciones de estabilización de los taludes. En el Anexo 1 se presenta la Tabla , en la que se resume el listado de estudios preliminares y geotécnicos del proyecto Sifón-La Abundancia.

Como se mencionó anteriormente y de acuerdo con la revisión documental de estudios geotécnicos, en el proyecto Sifón-La Abundancia, los sitios que han presentado problemas de estabilidad de taludes, son en particular, los kilómetros 18, 21, 25, 29 y 34 de la ruta. Algunos de estos estudios son realizados producto de la falla los taludes, es decir se realizaron una vez que se dio la falla, de forma reactiva, condición que aunque es posible que suceda durante el proceso constructivo, no debe ser la forma generalizada de tratar el diseño geotécnico de taludes en el trazado de una ruta. En el caso del kilómetro 18, sitio en donde se han realizado más estudios geotécnicos a partir del 2010, de acuerdo con la revisión de los estudios realizados y lo indicado en el oficio UESC-12-754, tanto los estudios como la construcción del muro de suelo cosido, responde a una acción preventiva, es decir, en este caso, el talud no había fallado, no obstante, se identificó la necesidad de estabilización del talud.

Desde el punto de vista normativo, de acuerdo con el contrato original, en su Artículo 14° en lo conducente, se establece:

...”se designa una Unidad Coordinadora, de orden técnico, la cual tendrá a cargo las labores de supervisión, coordinación e inspección del desarrollo del proyecto, tanto en lo técnico como en lo financiero..”

Adicionalmente, en el Decreto 30101-MOPT, publicado en La Gaceta 16 del Miércoles 23 de enero de 2002, documento incluido en los antecedentes del contrato original entre la República de Costa Rica y RSEA Engineering Corp., en su artículo 5 establecía la conformación de una Comisión Ejecutiva apoyada por dicha Unidad Coordinadora del proyecto, la cual, esta última tenía entre sus obligaciones:

*h) Coordinar las acciones necesarias sobre el diseño de puentes y cualquier otro estudio técnico requerido para la ejecución del Proyecto.*

Informe Final LM-PI-AT-102-12	Fecha de emisión: Diciembre 2012	Página 27 de 57
-------------------------------	----------------------------------	-----------------



Por tanto, es criterio de la Auditoría Técnica que si bien es cierto, los estudios de la vía fueron realizados por la empresa MOH and Associates Inc, a través de una donación del gobierno taiwanés, la revisión específica de los diseños y estudios geotécnicos complementarios por parte de la Administración, entre el 2000 y el 2005 (fase previa al inicio de los trabajos) e incluso entre el 2006 y el 2009, no se adecuó a un proceso de seguimiento que permitiera identificar, a través de la solicitud de estudios técnicos (geológicos, geotécnicos e hidrológicos) complementarios, el conocimiento de las características de los suelos de la zona y por ende, los tramos susceptibles a la inestabilidad de taludes, que permitieran de manera preventiva tomar las acciones técnicas para resolver dicha problemática.

Considerando en particular el desarrollo de estudios geotécnicos del proyecto, lo anterior conduce a que a junio del 2012 aun se trabajara en cambios en el trazado de la ruta, de la estación 18+200 a la 19+200 y de la 29+500 a la 31+000 (una longitud total aproximada de 2,5 kilómetros), situación que podría comprometer el avance y el cumplimiento del plazo del proyecto, ya que la tendencia es realizar estudios técnicos de forma reactiva, es decir, cuando se ha producido la falla de algún talud. Al respecto, cabe destacar que en el estudio geotécnico del km 21 realizado en octubre del 2011, por ejemplo, debido a que existe una zona de hundimiento en la calzada de hasta 60 centímetros, de acuerdo con los análisis realizados la recomendación es alejar la línea de carretera al menos 3,0 metros de la zona de inestabilidad, con el fin de evitar daños debido a futuros movimientos.

Es importante tomar en cuenta que, de acuerdo con el Addendum N°2 de abril 2011, el plazo se incrementó en 30 meses, aproximadamente 2 años y medio, lo cual significa que el proyecto, bajo este escenario, debería entregarse aproximadamente en Octubre 2013.

#### *10.1.2 Sobre la zonificación geotécnica*

**Observación 1: A partir de la revisión documental de estudios geotécnicos preliminares a los que tuvo acceso la Auditoría Técnica, se evidencia que no existe una zonificación geotécnica del proyecto que en la etapa de anteproyecto permitiera definir los segmentos críticos donde se da mayor exposición de taludes de corte y relleno a la problemática de deslizamientos.**

Informe Final LM-PI-AT-102-12	Fecha de emisión: Diciembre 2012	Página 28 de 57
-------------------------------	----------------------------------	-----------------



Como parte de la revisión documental de estudios preliminares del proyecto en el período 2000 al 2011, particularmente de los estudios geotécnicos, no existe un estudio que permitiera establecer, previo al inicio de los trabajos de diseño y corte de taludes, el nivel de susceptibilidad a deslizamientos de los segmentos del terreno por donde se ubicaría el trazado de la carretera, de manera que permitiera de forma preventiva, realizar la respectiva investigación geotécnica, la cual es un proceso que comienza con la revisión general de las características del proyecto y culmina con el análisis de problemas específicos y la definición de los diseños de las obras.

Un estudio de zonificación cuyo fin es definir los segmentos críticos donde se da mayor exposición de taludes de corte y relleno a la problemática de deslizamientos, como el realizado para el presente informe, permite utilizar parámetros estadísticos y valores de ángulos críticos resultantes, a partir de los cuales se obtiene la zonificación de susceptibilidad a deslizamientos cuya principal utilidad es la identificación de los sitios y segmentos que requerirán de estudios geotécnicos particulares más detallados.

En este caso en específico en la aplicación de la metodología de ángulo crítico a la zona del corredor Sifón – Abundancia se tuvo la limitación de no contar con un inventario de deslizamientos con suficientes datos para cada una de las unidades geológicas involucradas. Como alternativa, se recurrió al análisis del ángulo de la pendiente de las laderas de la unidad geológica, dentro del corredor, según el estudio de Macías & Vargas Soluciones Geotécnicas (en adelante MYV) en el año 2000, elaborado para la empresa MOH & Associates Inc.

Los resultados de aplicar la metodología del ángulo crítico sobre la distribución de pendientes de laderas de cada unidad geológica encontrada en la ruta, se muestran en el Anexo 2 del informe técnico “*Evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos de las laderas de suelos residuales en el corredor del proyecto Sifón-La Abundancia*” elaborado por Ing. William Vargas Monge, Ph.D. y el Ing. José Francisco Garro Mora, M. G.

De acuerdo con los resultados obtenidos del estudio de zonificación, se observa que los valores de ángulo crítico son en general, relativamente bajos, cercanos a  $15^\circ$ , las



desviaciones estándar cercanas a  $10^\circ$  y los coeficientes de correlación son valores cercanos a la unidad. De acuerdo con las investigaciones previas realizadas en LanammeUCR, la tendencia de los ángulos promedio hacia valores inferiores a  $20^\circ$  significa que probablemente los materiales encontrados a lo largo del corredor tienen una baja resistencia y son propensos a la inestabilidad<sup>3</sup>. Resultados similares fueron obtenidos por Gamboa (2005) para las rutas 141 y 702, rutas cercanas a la zona de estudio, por lo que se consideran estadísticamente representativos de zonas volcánicas. Las desviaciones estándar son similares a las obtenidas en todos los casos analizados en zonas de montaña de Costa Rica. En todos los casos, el coeficiente de correlación obtenido fue superior a 0,85, lo que indica que el modelo de distribución normal o gaussiana es apropiado y aplicable en el análisis.

Los valores menores del ángulo se presentan en las unidades geológicas más recientes (del Cuaternario), QRVA (Ceniza), QRCA (Depósito coluvial) y QLPVF (Flujo con pómez). Estos materiales además de ser geológicamente recientes, tienen en común una densidad baja porque su modo de formación involucró transporte y depositación.

Los valores mayores de ángulo se presentan en suelos residuales de rocas y materiales con densidades mayores y de mayor resistencia, de las unidades geológicas del período Terciario, TMPV1 (Toba), TMPV2 (Aglomerado y lava) y TPV3 (Lava).

Con los valores de promedio y desviación para cada unidad en la ruta de estudio, se procedió a determinar los intervalos de valores para cada nivel de susceptibilidad. Los resultados se muestran en la Tabla .

<sup>3</sup> Si se asume que el ángulo crítico es cercano al ángulo de fricción del suelo y que es superior en  $5^\circ$  a la pendiente media obtenida, los materiales que conforman las laderas analizadas tendrían ángulos de fricción entre  $20^\circ$  y  $25^\circ$ .



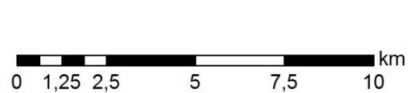
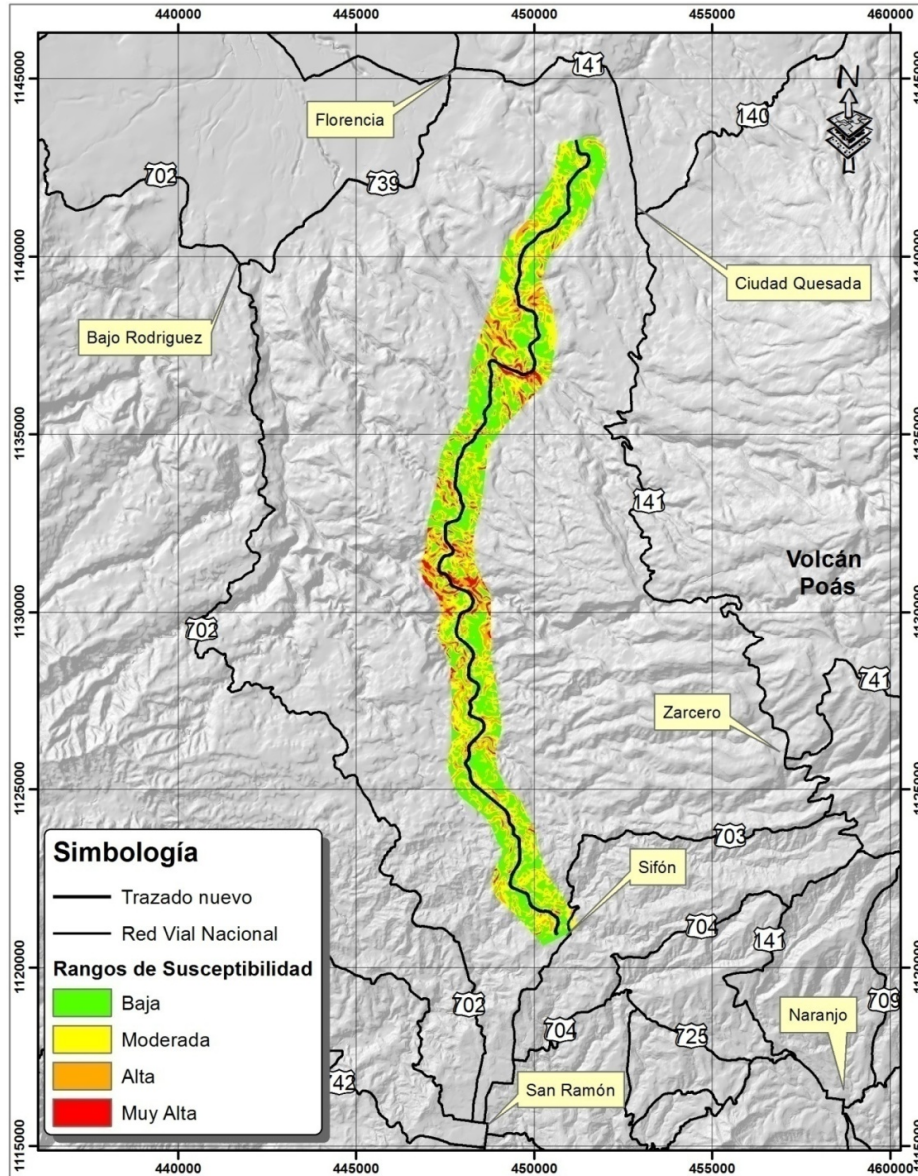
**Tabla .** Intervalos de valores de ángulos que definen la susceptibilidad a deslizamiento de las unidades geológicas.

Susceptibilidad	Unidad Geológica					
	<i>TMPV1 Toba</i>	<i>QRVA Ceniza</i>	<i>TMPV2 Aglomerado</i>	<i>QRCA Depósito Coluvial</i>	<i>QLPVF2 (Flujo con pómez)</i>	<i>TPV3 Lava</i>
Muy Baja	–	–	–	–	–	–
Baja	0 – 12,4	0 – 10,6	0 – 13,7	0 – 8,7	0 – 9,1	0 – 10,2
Moderada	12,4 – 23,1	10,6 – 19,1	13,7 – 26,6	8,7 – 17,9	9,1 – 17,0	10,2 – 20,6
Alta	23,1 – 33,8	19,1 – 27,6	26,6 – 39,4	17,9 – 27,1	17,0 – 25,0	20,6 – 31,1
Muy Alta	33,8 – 90	27,6 – 90	39,4 – 90	27,1 – 90	25,0 – 90	31,1 – 90

En la Tabla se observa que al aplicar los criterios de la metodología de ángulo crítico, el nivel de susceptibilidad muy baja se indefiniría o está ausente en la zona de estudio. El nivel de susceptibilidad muy alta corresponde muy probablemente a la condición en que el ángulo de la pendiente excede el ángulo de fricción de los materiales (suelos residuales). Esta condición es la más crítica para los taludes de corte en esos suelos, dado que no es estable a largo plazo.

Los intervalos de valores de ángulos asociados con cada nivel de susceptibilidad se usan para obtener la versión gráfica de la zonificación de cada unidad geológica, en la cual se usan los colores incluidos en Tabla . Al resultado directo de esa zonificación se le aplica un filtro para compatibilizar los niveles en los bordes de las unidades. Los resultados se muestran en el .

En el se muestran los resultados de los segmentos críticos del trazado del proyecto Sifón-La Abundancia, en donde se da mayor exposición de taludes de corte y relleno a la problemática de deslizamientos. Los segmentos que presentan menor susceptibilidad a deslizamientos se muestran en color verde y los de alta susceptibilidad, es decir los puntos críticos se presentan en color rojo.



Elaborado por: Ing. José Francisco Garro  
Sistema de Coordenadas: CRTM - 2005

**Mapa** Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos del corredor Sifón – Abundancia.

Fuente: Vargas y Garro, UGERV<sup>4</sup>.

**Nota importante:** La metodología de ángulo crítico solamente describe la susceptibilidad en zonas con suelos residuales.

<sup>4</sup> Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional, LanammeUCR



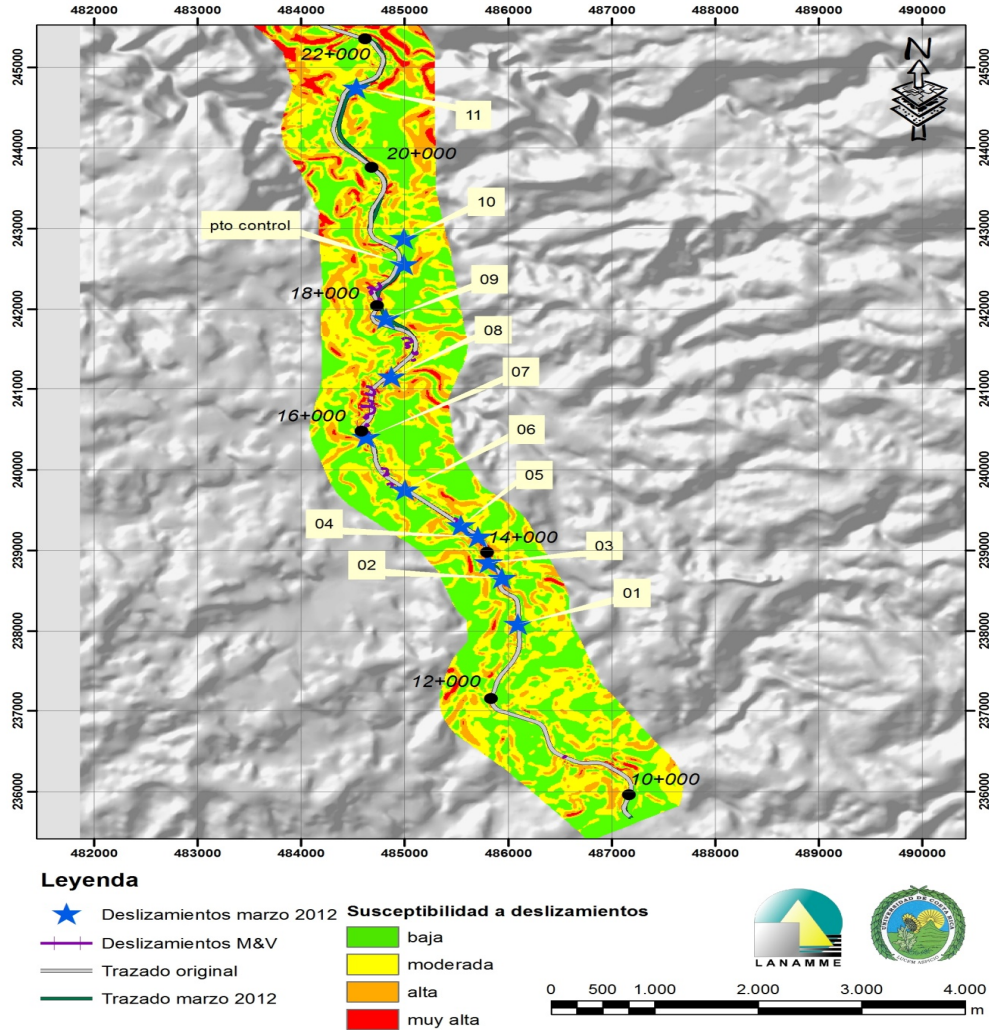
Para observar mejor el detalle de la zonificación, el Mapa Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el corredor Sifón – Abundancia. Fuente: Vargas y Garro, UGERV.

Nota **importante:** La metodología de ángulo crítico solamente describe la susceptibilidad en zonas con suelos residuales.

presenta acercamientos del mismo resultado, con los deslizamientos identificados en visita al proyecto en marzo 2012. El Anexo 2 del informe técnico presenta los mismos resultados con mayor nivel de detalle.



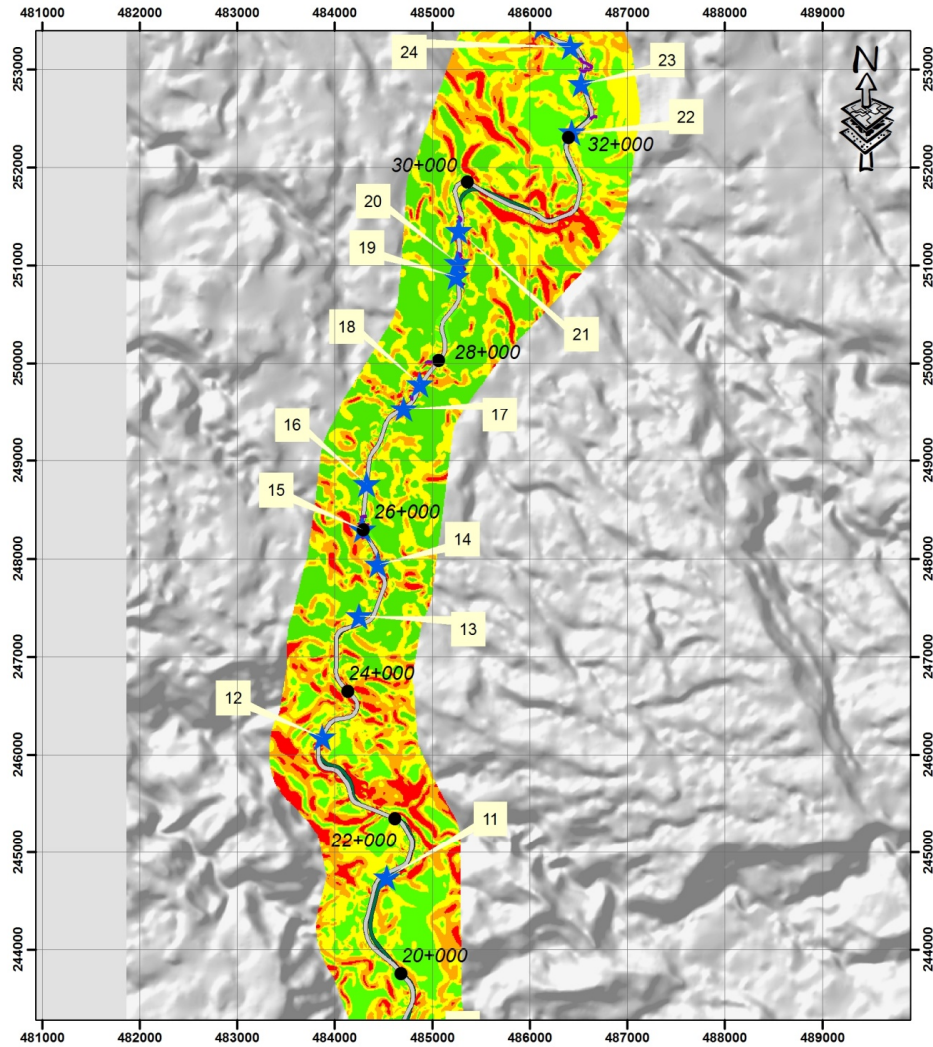




**Mapa** Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el corredor Sifón – Abundancia. **Fuente:** Vargas y Garro, UGERV.

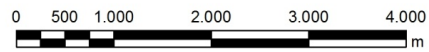
**Nota importante:** La metodología de ángulo crítico solamente describe la susceptibilidad en zonas con suelos residuales.





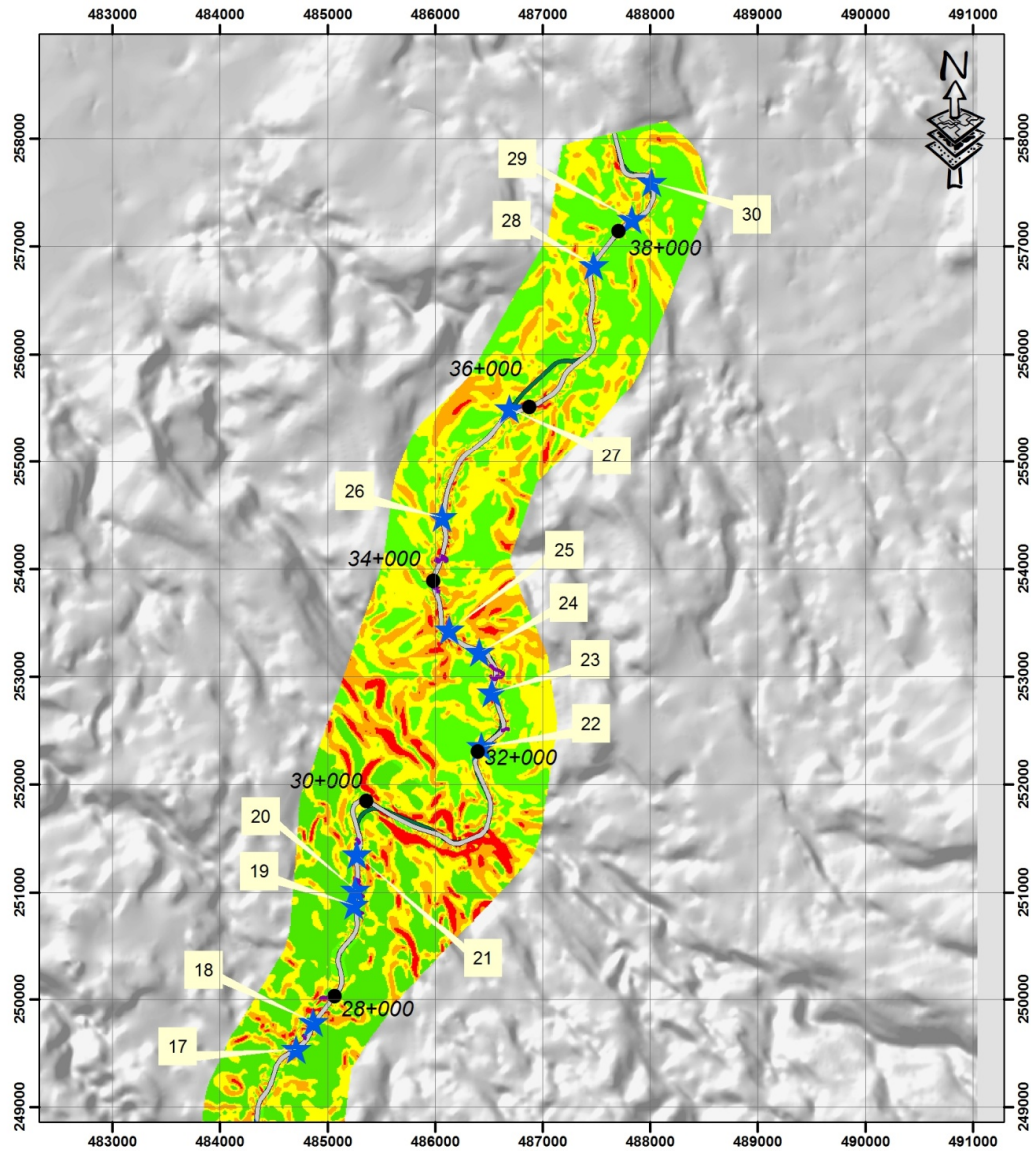
**Leyenda**

- ★ Deslizamientos marzo 2012
  - ✚ Deslizamientos M&V
  - Trazado original
  - Trazado marzo 2012
- Susceptibilidad a deslizamientos**
- baja
  - moderada
  - alta
  - muy alta



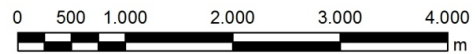
**Mapa** Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el corredor Sifón – Abundancia. Fuente: Vargas y Garro, UGERV.

**Nota importante:** La metodología de ángulo crítico solamente describe la susceptibilidad en zonas con suelos residuales.



**Legenda**

- estaciones\_taiwan\_2mil
  - ★ Deslizamientos marzo 2012
  - Deslizamientos M&V
  - Trazado original
  - Trazado marzo 2012
- Susceptibilidad a deslizamientos**
- baja
  - moderada
  - alta
  - muy alta



**Mapa** Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el corredor Sifón – Abundancia. **Fuente:** Vargas y Garro, UGERV.

**Nota importante:** La metodología de ángulo crítico solamente describe la susceptibilidad en zonas con suelos residuales.

De acuerdo con el modelo, un total de aproximadamente 20 km o 67% de la longitud del proyecto tiene una exposición entre *alta* y *muy alta* a la inestabilidad de laderas, en caso de que estén compuestas por suelos residuales. Este resultado es relativamente *conservador* y se considera que refleja las peores condiciones potenciales, porque se hicieron simplificaciones que permitieran estar del lado seguro, tanto en la determinación de los parámetros de la zonificación como en la síntesis del análisis de la exposición por segmentos.

La Tabla presenta el resumen de los sub-tramos con niveles mayores de susceptibilidad a deslizamiento, determinados con base en los mapas de la zonificación detallada del Anexo 2.

**Tabla .** Resumen de segmentos con mayor susceptibilidad a deslizamiento.

Segmento	Estacionamiento		Río o puente	Longitud (m)	Nivel de susceptibilidad a deslizamiento
	inicio	fin			
1	13+500	14+300		800	Moderado a Alto
2	15+900	17+000	Río Espino	1100	Alto a Muy Alto
3	18+000	18+400		400	Alto a Muy Alto
4	19+600	19+700	Río Laguna	100	Alto a Muy Alto
5	21+000	21+500		500	Moderado a Alto
6	22+200	23+300	Río Tapezco	1000	Alto a Muy Alto
7	23+600	24+300		700	Moderado a Alto
8	25+200	26+200	Río Arenas	1000	Alto a Muy Alto
9	27+200	27+900	Río Seco	700	Alto a Muy Alto
10	29+000	31+200	Río La Vieja	2200	Alto a Muy Alto
11	32+200	35+200	Río Ron Ron	3000	Moderado a Alto
12	37+000	37+500		500	Moderado a Alto
13	38+100	39+100		1000	Moderado a Alto

En el

**Mapa** , el Mapa y la Tabla se destacan tres segmentos principales de mayor nivel de susceptibilidad. Estos segmentos principales se ubican en las laderas de los cañones de los



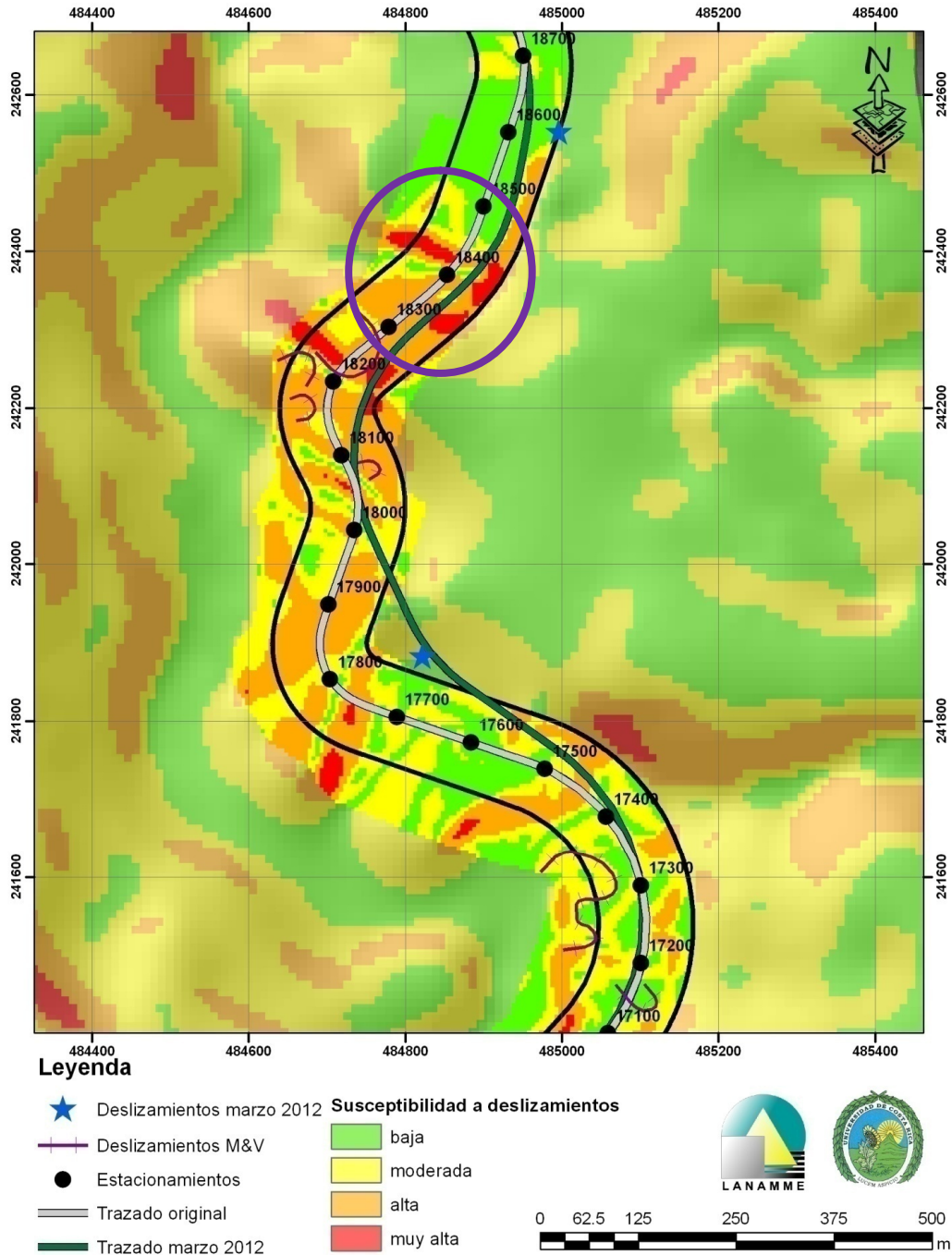


cauces mayores, entre los estacionamientos 22+200 a 23+300 (río Tapezco), 25+200 a 26+200 (río Arenas) y 29+000 a 31+200 (río La Vieja) y tienen longitudes de 1,1, 1,0 y 2,2 kilómetros, respectivamente, donde la conformación geológica podría presentar un macizo rocoso, y en ese caso la metodología de ángulo crítico presenta una limitación, por lo que es importante estudiar a fondo las zonas indicadas y conlleva a un análisis especial de las zonas. Existen otras agrupaciones de segmentos con niveles de susceptibilidad alto y muy alto de menor longitud, tales como el sub-tramo que se ubica entre los estacionamientos 18+000 y 18+400 (0,4 km) y los estacionamientos 27+200 a 27+900 (río Seco, 0,7 km), de manera que los sub-tramos de mayor importancia suman 6,5 kilómetros en conjunto. Este análisis confirma el resultado anterior en el que aproximadamente 20 km de la longitud del proyecto se considera de alta exposición a la inestabilidad de taludes y permite especificar que los sub-tramos de mayor importancia se ubican en las cercanías de los ríos.

En el Anexo 2 del informe técnico *“Evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos de las laderas de suelos residuales en el corredor del proyecto Sifón-La Abundancia”* se muestran los mapas detallados de la zonificación de susceptibilidad a deslizamiento. En estos mapas muestra el trazado original y el trazado modificado a marzo 2012 con los respectivos estacionamientos y principalmente, se presentan los deslizamientos identificados en el estudio de la empresa MYV, los deslizamientos identificados a marzo 2012, de ahí que se pueda observar a lo largo del proyecto, las zonas susceptibles a deslizamientos.

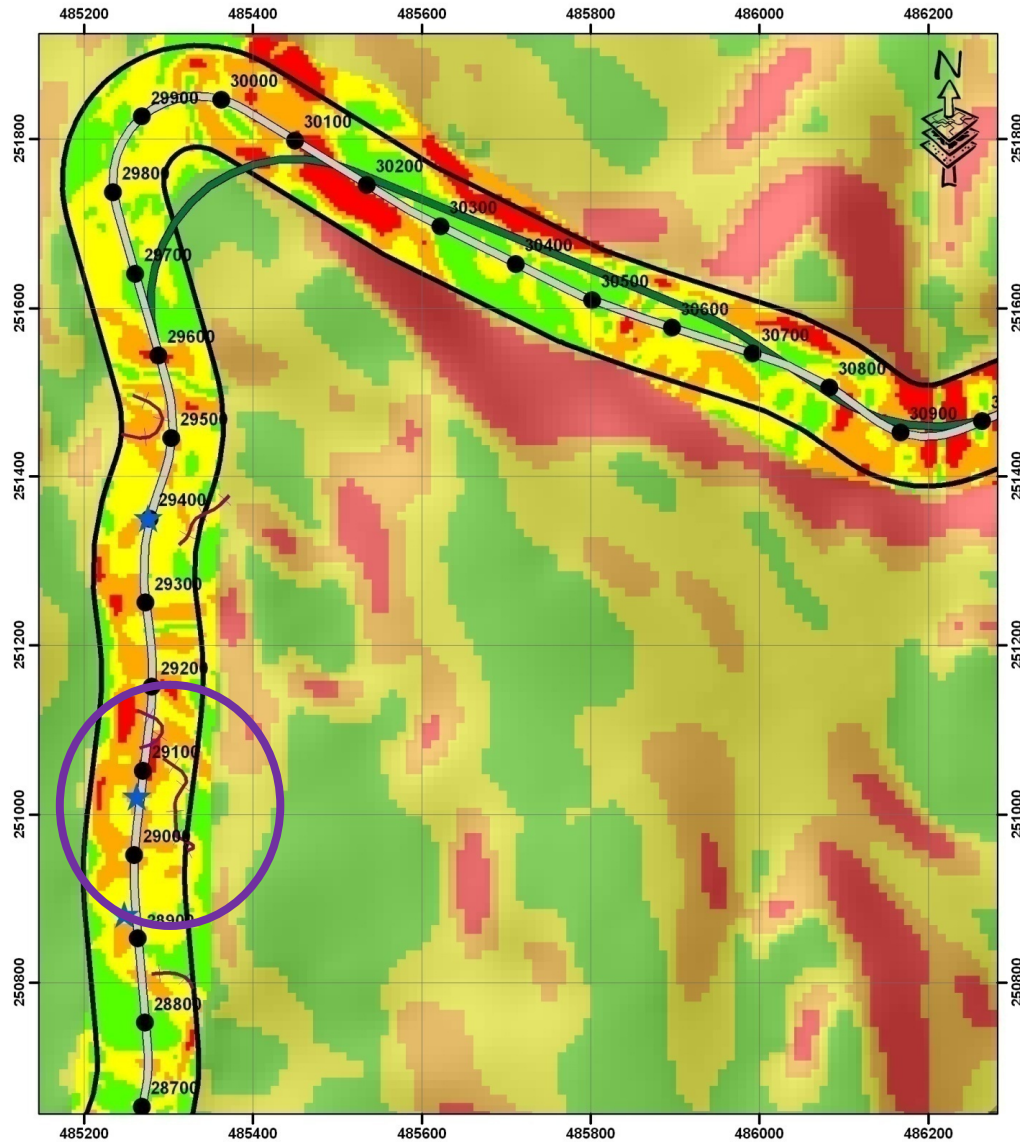
A manera de ejemplo se muestra el y que corresponden a los segmentos 17+100 a 18+700 y 28+700 a 30+900, respectivamente y sobre los cuales, específicamente en el km 18 y km 29, en octubre 2011 se realizaron estudios específicos para identificar con más detalle las características de los suelos de estos sitios. Esto muestra que con un estudio de zonificación previo a las labores de ejecución de las obras, se obtiene una buena aproximación de los segmentos críticos de deslizamientos del proyecto que, en la etapa de diseño, requerirán de una investigación geotécnica más detallada así como estudios de suelos, análisis de estabilidad, diseño de pendientes de taludes, etc.





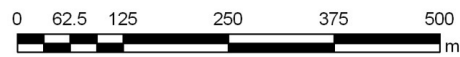
**Mapa** Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos en el segmento 17+100 a 18+700 del corredor Sifón-La Abundancia. Fuente: Vargas y Garro, UGERV.

**Nota importante:** La metodología de ángulo crítico solamente describe la susceptibilidad en zonas con suelos residuales.



**Leyenda**

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| ★ Deslizamientos marzo 2012 | <b>Susceptibilidad a deslizamientos</b> |
| — Deslizamientos M&V        | ■ baja                                  |
| ● Estacionamientos          | ■ moderada                              |
| — Trazado original          | ■ alta                                  |
| — Trazado marzo 2012        | ■ muy alta                              |



**Mapa** Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos en el segmento 28+700 a 30+900 del corredor Sifón-La Abundancia. **Fuente:** Vargas y Garro, UGERV.

**Nota importante:** La metodología de ángulo crítico solamente describe la susceptibilidad en zonas con suelos residuales.



De acuerdo con el Capítulo 6 del “Manual de desarrollo y diseño de proyectos” (Project Development and Design Manual) del Programa de Carreteras en Territorios Federales (Federal Lands Highway, FHL) del 2005, sección 6.4.1 sobre “Suelos del trazado” , desde el punto de vista de buenas prácticas, recomienda:

*“En proyectos de mayor longitud, la frecuencia de muestreo típica mencionada puede ser insuficiente para el diseño detallado. Por lo tanto, es necesario realizar una inspección y revisión de la información de campo y de las pruebas de laboratorio más cuidadosamente, para determinar secciones de carretera con características similares (Zonificación). Las características de mayor importancia para una zonificación son las condiciones existentes y las propiedades de los materiales "in-situ". La selección de los factores que se utilicen para identificar semejanzas y definir grupos o zonas, es determinada generalmente por los problemas más frecuentes encontrados en un proyecto específico. Obviamente, este tipo de análisis requiere de la experiencia práctica para que la puesta en práctica sea eficaz.”*

*Después de determinar las zonas con condiciones y suelos similares, a los materiales se les asignan las características ingenieriles para la evaluación y el diseño. Estas características se determinan directamente a partir de pruebas de laboratorio o mediante correlaciones con otras propiedades, asumidas de los manuales o de los libros de textos.*

*El análisis de la investigación de suelos del trazado debe concentrarse en definir los límites de las zonas y la severidad de los siguientes problemas y condiciones:*

- *Determinación de las inclinaciones de taludes de corte y relleno para el diseño.*
- *Localización de los materiales apropiados para los terraplenes (rellenos).*
- *Identificación de factores de contracción/expansión para excavación.*
- *Identificación de las áreas que requieren subexcavación (sustitución).*
- *Localización de las áreas húmedas (por filtración o agua excesiva).*
- *Identificación de las áreas de inestabilidad potencial, suelos expansivos, colapsable, licuables o muy blandos.*
- *Determinación de los valores de la resistencia del subsuelo para el diseño de la estructura del pavimento.”*





De acuerdo con el oficio DIE-01-12-2896 recibido el 14 de agosto 2012 en donde se adjunta el "Informe sobre taludes de la carretera Sifón-La Abundancia" elaborado por el Ing. Pablo Torres Morales, Gerente de la Unidad Ejecutora, indica:

*"La zonificación para determinar los diferentes tipos de taludes debe haberse considerado por los especialistas en cada estudio realizado. En el informe de INGEOTEC S.A. del 2006 se realiza una zonificación y propuesta de taludes que en parte fue considerada en el diseño realizado a cuatro carriles...Esta zonificación no tiene una metodología como realizarse y por tanto puede diferenciarse de acuerdo a los especialistas que la plantee, pero sí es evidente que los datos existen producto de todos los estudios que se han realizado."*

Tal como se indicó en el hallazgo 1, es criterio de la Auditoría Técnica que los estudios geotécnicos preliminares (antes de otorgar la Orden de Inicio) del proyecto fueron insuficientes, ya que a partir de dichos estudios no se derivaron resultados que permitieran la identificación de segmentos críticos del proyecto y que se evaluara para cada zona, la recomendación de pendiente 1:1 de los taludes del proyecto. Si bien es cierto, en el proyecto se han realizado una serie de estudios geotécnicos en sitios particulares, uno en el 2006 y quince a partir del 2010, éstos se elaboraron después de otorgada la Orden de Inicio y principalmente, después de que en algunos de los sitios se había presentado la falla de los taludes en varios puntos del proyecto, ya que inicialmente todos los taludes se habían diseñado con una pendiente de 45° (1H:1V), condición que técnicamente no debe aplicarse de forma generalizada a cualquier talud, ya que se debe tomar en cuenta las características de cada sitio según las características del suelo y del entorno.

Las consecuencias de la no realización de este tipo de estudios geotécnicos preliminares (antes de iniciar el proceso de diseño y construcción del proyecto), conlleva a que la atención y los estudios geotécnicos se realicen en la mayoría de los casos cuando se ha producido algún tipo de falla. Esta condición durante la ejecución del proyecto podría generar retrasos en el avance de las obras, además podría incurrir en la necesidad de realizar una búsqueda de presupuesto adicional para la realización de estudios no contemplados y un eventual riesgo para los trabajadores del proyecto.





### 10.1.3 Sobre los drenes subhorizontales

**Observación 2: La recomendación de la colocación de drenes subhorizontales no ha sido implementada, por encontrarse en proceso el estudio de su necesidad, pese a que fue una recomendación en el informe geotécnico del 2006.**

En el oficio LM-IC-D-0556-12 de fecha 21 de mayo 2012, se planteó la observación sobre el tema de drenajes, en cuanto a que en ninguno de los taludes se había identificado, particularmente, la existencia de drenes subhorizontales en taludes observados. Lo anterior con el propósito de conocer las medidas correctivas y preventivas consideradas. Adicionalmente, esta recomendación había sido planteada en el estudio geotécnico del 2006 elaborado por la empresa Ingeotec S.A, en donde se indica:

- “... los taludes con mayor área de drenaje tienden a ser más inestables. Asimismo en los taludes con mayor área de drenaje deberán extremarse las medidas de control de aguas superficiales y subterráneas, tales como cunetas, contracunetas, drenes subhorizontales, canales de desvío de aguas, etc.” (lo subrayado no es del original)
- “ Las soluciones anteriormente presentadas resuelven la condición de estabilidad estática de los taludes, siempre y cuando se realicen las obras de drenaje propuestas (cunetas, contracunetas y drenes subhorizontales). Es importante destacar que de no realizarse estas obras de drenaje es de esperar también la falla de los taludes, aunque se hayan realizado las variaciones de la geometría. También es importante que estas obras de drenaje se realicen oportunamente; es decir inmediatamente después de realizado el corte; pues los taludes resultan muy vulnerables, durante el tiempo en que no se hayan realizado estas obras de drenaje.” (lo subrayado no es del original)

Mediante el oficio DIE-01-12-2896 recibido el 14 de agosto 2012 en donde se adjunta el “Informe sobre taludes de la carretera Sifón-La Abundancia” elaborado por el Ing. Pablo Torres Morales, Gerente de la Unidad Ejecutora, se da respuesta al oficio LM-IC-D-0556-12 y se indica que:



*“Los drenes subhorizontales no han sido considerados en las diferentes etapas del proyecto y por tanto no existe hasta el momento el renglón de pago para la ejecución del mismo. No obstante consideramos que las recomendaciones dadas en el informe a dos carriles deben valorarse para los trabajos y taludes que se realizan actualmente, por tanto la Unidad Ejecutora agilizará el proceso para iniciar este tipo de trabajo que según lo revisado hasta el momento, es adecuado para lograr una mejor estabilidad estática de los taludes y evacuar las aguas subterráneas presente en algunos taludes. Este análisis se realizará de acuerdo a los estudios que se vienen realizando para determinar la necesidad de los mismos.”*

Al respecto es criterio de la auditoría técnica que, el drenaje subhorizontal, tal como se recomendó en el 2006 y en el estudio del kilómetro 18 del 2011 (Ver Tabla , estudio N°15 del Anexo 1), es parte del sistema de drenaje a considerar y es un aspecto intrínseco para garantizar la estabilidad de los taludes, por lo que aunque dicho estudio fue realizado en el 2006 cuando el proyecto estaba a dos carriles, aun con el cambio a cuatro carriles, la estabilidad de los taludes y la prevención en los que todavía no han presentado deslizamiento, se puede alcanzar precisamente, con la consideración de estos elementos de drenaje, que finalmente, lo que buscan es mitigar los efectos nocivos del agua subsuperficial que pueden causar fallas de taludes incluyendo desprendimiento y deslizamientos de taludes de corte y relleno, funcionamiento insatisfactorio del pavimento que se manifiesta en la formación de roderas, agrietamientos, fallas, aumento de la rugosidad y una disminución relativamente rápida del nivel de servicio.



## 11. CONCLUSIONES

Con base en los hallazgos y observaciones identificadas en el presente informe de Auditoría Técnica, se concluye que:

11.1 A partir de la revisión documental realizada se tiene que los estudios geotécnicos preliminares existentes (antes del inicio de la etapa de diseño y construcción del proyecto) así como el proceso de revisión y aprobación de los diseños por parte de la Administración, fueron insuficientes para identificar y mitigar la susceptibilidad a la inestabilidad de taludes del corredor. Tal como se constata en el Estudio Geotécnico del 2006, elaborado por Ingeotec, todos los taludes a esa fecha fueron diseñados y construidos con una pendiente 1H:1V (inclinación de 45°), lo que generó deslizamientos frecuentes a lo largo de la vía, lo que a su vez demostró que la geometría no fue la adecuada para las condiciones geológicas y geotécnicas de los materiales que conforman los cortes, ni se implementaron las obras de estabilización necesarias

Adicionalmente es claro que aun siendo los diseños del proyecto, una donación, esto no exime a la Administración de haber realizado las respectivas revisiones y solicitud de estudios complementarios, máxime que se conocía de la calidad de los suelos de la zona por la atravesada el trazado del proyecto.

11.2 De acuerdo con la revisión documental de estudios geotécnicos preliminares no existe una zonificación geotécnica del proyecto que permita definir de manera previa a los trabajos de construcción, los segmentos críticos donde se da mayor exposición de taludes de corte y relleno a la problemática de deslizamientos y atenderlos de manera preventiva.

11.3 Los resultados obtenidos del estudio de zonificación, a partir de la aplicación de la metodología de ángulo crítico, muestran que los ángulos críticos obtenidos en este estudio varían en el intervalo entre 12° y 20°, y se pueden asociar con la densidad



del material, según la descripción del estudio geológico. Los ángulos son similares a los de materiales de origen volcánico de otros proyectos ubicados en las laderas de la vertiente Caribe de la cordillera volcánica central estudiados previamente en el LanammeUCR con la misma metodología. Las desviaciones estándar también son similares, aproximadamente  $10^\circ$ . La metodología predice que los valores del ángulo de la pendiente superiores al intervalo de  $27^\circ$  a  $35^\circ$ , según el material, entran en la categoría de susceptibilidad muy alta a deslizamiento. Estos valores son similares a los ángulos de fricción típicos de los materiales, por lo que se concluye que las laderas de suelos residuales del proyecto con pendientes superiores a 50% – 70%, según el material, son potencialmente inestables a largo plazo. En virtud de las investigaciones previas realizadas en LanammeUCR, este resultado significa que los materiales encontrados a lo largo del corredor tienen una baja resistencia y son propensos a la inestabilidad. Adicionalmente, de acuerdo con el modelo un total de aproximadamente 20 km o 67% de la longitud del proyecto tiene una exposición entre alta y muy alta a la inestabilidad de laderas, en caso de que estén compuestas por suelos residuales. Los aspectos anteriores muestran que con información base inicial topográfica y geológica fue posible obtener parámetros estadísticos y los valores de ángulos resultantes. A partir de los cuales se obtiene la zonificación de susceptibilidad a deslizamientos cuya principal utilidad es la identificación de los sitios y segmentos que requerirán de estudios geotécnicos particulares más detallados.

- 11.4 La recomendación de la colocación de drenes subhorizontales no ha sido implementada, por encontrarse en proceso el estudio de su necesidad, pese a que fue una recomendación en el informe geotécnico del 2006. La estabilidad de los taludes y la prevención en los que todavía no han presentado deslizamiento, se puede alcanzar precisamente, con la consideración de estos elementos de drenaje, que finalmente, lo que buscan es mitigar los efectos nocivos del agua subsuperficial que pueden causar fallas de taludes incluyendo desprendimiento y deslizamientos de taludes de corte y relleno y a futuro, el funcionamiento insatisfactorio del pavimento.





11.5 En relación con normativa en materia de investigación geotécnica para el desarrollo de estudios preliminares y diseños de obras geotécnicas en proyectos, si bien es cierto no existe normativa nacional oficial en nuestro país, esto no exime a la Administración de la posibilidad de acoger las buenas prácticas internacionales en este campo, para la realización, revisión y aprobación de este tipo de estudios ya sea en la fase preliminar o en la ejecución del proyecto. Un ejemplo de buenas prácticas en el campo geotécnico se puede encontrar en el Capítulo 6 del “Manual de desarrollo y diseño de proyectos” (Project Development and Design Manual) del Programa de Carreteras en Territorios Federales (Federal Lands Highway, FHL) del 2005, el cual es un programa de la Federal Highway Administration (FHWA), entidad reconocida en el campo de Infraestructura Vial.

## 12.RECOMENDACIONES

A continuación se indican algunas recomendaciones sobre los hallazgos y observaciones realizadas por el equipo auditor para ser consideradas por la Administración (MOPT-CONAVI) como parte de las acciones de mejora en el área geotécnica de los proyectos viales:

- **Al Ministro de Obra Públicas y Transportes:**

12.1 El MOPT-CONAVI debe garantizar que durante el desarrollo de la etapa de planificación y diseño de un proyecto de obra vial, se cuente con los estudios preliminares de buena calidad y suficientes, debidamente revisados y aprobados por la Administración, previo a emitir la instrucción de Orden de Inicio de un proyecto, en particular, de estudios de vulnerabilidad, entre ellos, estudios geotécnicos que permitan identificar la susceptibilidad a deslizamientos al que está expuesto un trazado de carretera.



12.2 En proyectos como Sifón-La Abundancia o futuros proyectos, en los que medie un Decreto como el 30101-MOPT en el que se declara un proyecto vial de interés nacional y público, velar por el cumplimiento de lo establecido en relación con la conformación de comisiones y sus respectivas funciones, tal como la que inicialmente se estableció en este proyecto vía decreto, la cual estaría apoyada por una Unidad Coordinadora del proyecto, la cual entre sus funciones debía coordinar las acciones necesarias sobre el diseño de puentes y cualquier otro estudio técnico requerido para la ejecución del proyecto.

12.3 Promover la coordinación entre la Dirección Ejecutiva del CONAVI y las respectivas Gerencias de Contratación y Construcción de Vías y Puentes desde del proceso licitatorio, durante la etapa de construcción del proyecto y hasta la recepción de los proyectos, con el fin de que exista retroalimentación con base en las lecciones aprendidas de cada proyecto construido, de manera que se evite la recurrencia de debilidades en la ejecución de los proyectos en sus diferentes fases.

12.4 Promover la aplicación de normativa apegada a las buenas prácticas de ingeniería dada la carencia de normativa en el área geotécnica para el desarrollo de la investigación geotécnica que debe aplicarse en proyectos viales para generar estudios generales y específicos en este campo, tal como se ha aplicado en otros campos de la ingeniería, entre ellos: pavimentos y puentes.

- **A la Dirección Ejecutiva del CONAVI:**

12.5 Promover la capacitación de profesionales de las Gerencias de Contratación y Construcción de Vías y Puentes en el área de Geotecnia, de manera que cuenten con el conocimiento necesario para el desempeño de sus respectivas funciones en las diferentes fases de un proyecto.



- **A la Gerencia de Contratación de Vías y Puentes:**

12.6 Garantizar que previo al inicio de un proceso licitatorio para la construcción, rehabilitación o mejoramiento de un proyecto vial, se cuente con los planos, estudios y diseños, ya sean donados, como en el caso de este proyecto en particular, o bien, contratados a una consultora, estén debidamente revisados, aprobados y sean suficientes para garantizar el buen desarrollo de la ejecución del proyecto.

- **A la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes:**

12.7 A partir del Informe Técnico de “Evaluación de la susceptibilidad a deslizamiento de las laderas de suelos residuales en el corredor del proyecto Sifón-La Abundancia”, elaborado por el Ing. William Vargas Monge, PhD y el Ing. Francisco Garro Mora, M.G., realizado como parte de esta auditoría técnica, se recomienda que:

- Con base en los resultados del modelo y la zonificación realizada, así como la ocurrencia de deslizamientos después de la construcción se evidencia que el proyecto requiere de un manejo cuidadoso de los taludes de corte y de los rellenos, con el fin de que no se agrave o se genere un problema de inestabilidad durante la construcción y operación. Por esa razón, se recomienda que la administración establezca un sistema de información geográfico para el diseño y control de los taludes del proyecto, existentes y faltantes.
- En el sistema de información geográfico se reúna como mínimo toda la información topográfica, geológica y geotécnica, existente sobre el corredor, de manera que se haga accesible para el analista que lo requiera y para el futuro mantenimiento de la carretera.
- La administración haga una recopilación de todos los estudios geotécnicos realizados por empresas nacionales para las empresas taiwanesas y nacionales diseñadoras y constructoras de obras en el proyecto y, que actualmente es desconocida para los ejecutores.



- El estudio realizado por MYV en el 2000 se utilice como base para otras zonificaciones como las de este estudio, dado que ya fue incorporado en los planos originales (diseño taiwanés).
- Este estudio se utilice como elemento de criterio para guiar la planificación y realización de estudios geotécnicos de detalle en las zonas de mayor nivel de susceptibilidad donde aún no han sido realizados los movimientos de tierra y que permitan determinar si se reúnen las condiciones que resulten en la inestabilidad predicha por el modelo.

Se aclara enfáticamente que por el contrario:

- No se recomienda que este estudio de zonificación y los valores de ángulos reportados se utilicen directamente como insumos en el diseño de los taludes de corte sin la verificación requerida, mediante estudios específicos de campo y/o laboratorio.
- No se recomienda utilizar la zonificación obtenida en el presente informe técnico, en caso de que el material encontrado superficialmente sea una roca.

12.8 Velar por que en los proyectos de obra vial se identifique oportunamente la necesidad de realización de estudios geotécnicos específicos adicionales previo a la etapa de construcción, de manera que se evite la aplicación de medidas inadecuadas para la definición de pendientes de taludes de corte y relleno, tal como sucedió inicialmente en el proyecto Sifón-La Abundancia.

12.9 Velar por la aplicación de las recomendaciones realizadas en los estudios geotécnicos de los proyectos, en particular sobre aspectos de drenaje (construcción de los drenes subhorizontales) en los taludes de corte del trazado de la carretera.

12.10 Gestionar oportunamente la inclusión de renglones de pago no contemplados originalmente en el contrato, que cuenten la justificación técnica que respalde la necesidad de su incorporación.





**Equipo Auditor**

**Ing. Raquel Arriola Guzmán.**  
Auditora Técnica, LanammeUCR

**Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo.**  
Auditora Técnica, LanammeUCR

**Aprobado por:**

**Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc.Eng.**  
Coordinadora Auditora Técnica, LanammeUCR

**Aprobado por:**

**Ing. Luis Guillermo Loria Salazar, PhD.**  
Coordinador General Programa de Infraestructura de  
Transporte, LanammeUCR

**Visto bueno de legalidad**

**Lic. Miguel Chacón Alvarado.**  
Asesor Legal LanammeUCR



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales



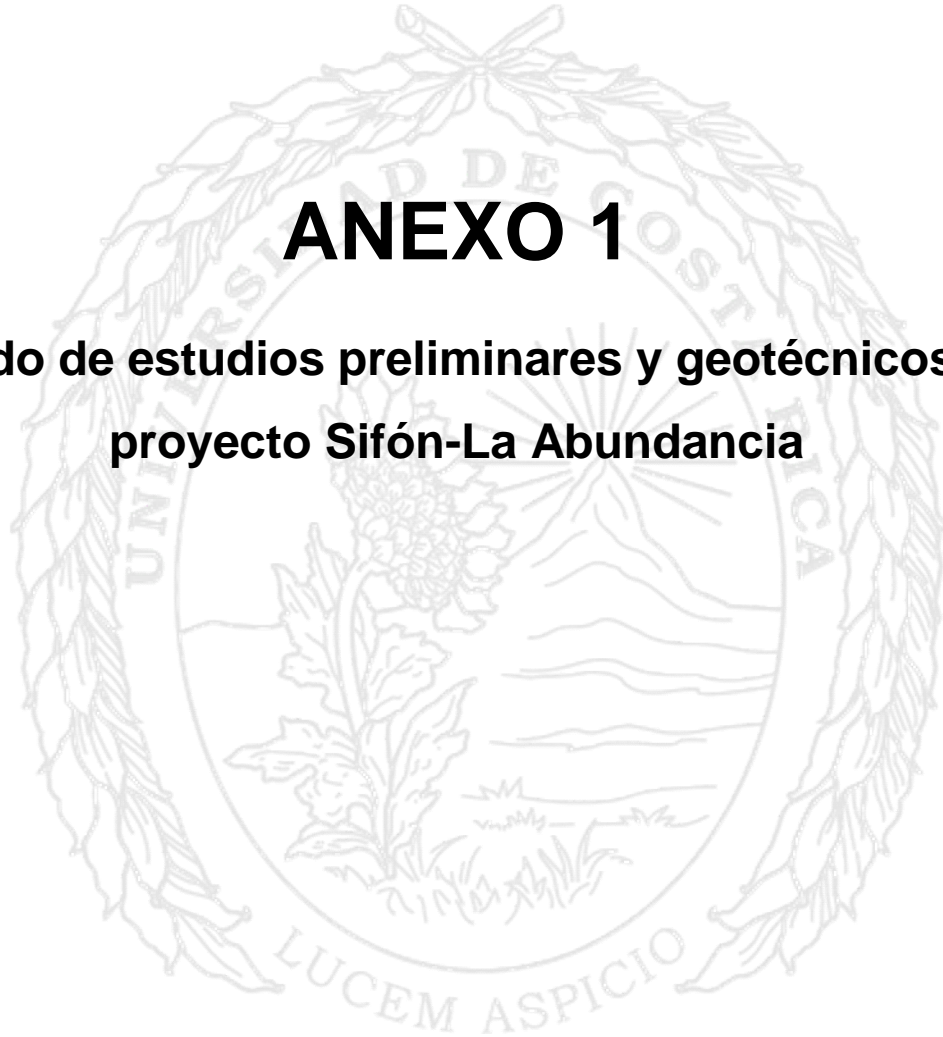
PROGRAMA DE  
INFRAESTRUCTURA DEL  
TRANSPORTE





# ANEXO 1

## Listado de estudios preliminares y geotécnicos del proyecto Sifón-La Abundancia





**Tabla .** Listado de estudios preliminares y geotécnicos del proyecto Sifón-La Abundancia.

Nombre del informe	Tipo de estudio	Fecha	Ubicación	Observaciones
<b>Estudios preliminares</b>				
1. Perfil geológico de todo el trazado de la carretera y los puentes entregado en los planos originales,	Geológico	Abril 2001	Todo el trazado	Según oficio DIE-01-12-2896 recibido el 14 de agosto 2012. Realizado por la empresa Moh and Associates, Inc de acuerdo con estudios geológicos hechos por perforaciones cada diferentes distancias descritas en los planos.
2. Estudio de Impacto Ambiental realizado en el 2002 para fase I (EsIA Fase I)	Impacto ambiental	2002	9+700 al 17+000 35+400 al 39+400	Según oficio DIE-01-12-2896 recibido el 14 de agosto 2012. Se valora y documenta la importancia de la estabilidad de los taludes y una descripción de las zonas geológicas por donde pasaba el trazado de la carretera en ese momento.
3. Estudio de Impacto Ambiental realizado en el 2002 para fase II (EsIA Fase II)	Impacto ambiental	2003	17+000 al 35+400	
4. Estudio de Impacto Ambiental realizado en el 2004 para fase II (EsIA Fase II)	Impacto ambiental	2004	Todo el trazado	Se describen aspectos generales relacionados con el tema geológico y geotécnico (deslizamientos, fallas)
<b>ORDEN DE INICIO: OCTUBRE 2005</b>				
<b>Estudios geotécnicos y otros</b>				
5. Estudio geotécnico de taludes en el proyecto de carretera Naranjo-Ciudad Quesada	Geotécnico	Diciembre 2006	11+470 11+950 12+630 13+005 17+280 18+020 19+900 20+820 29+970 34+740	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigación de campo</li> <li>- Diagnóstico de las causas de los problemas de estabilidad de taludes</li> <li>- Soluciones para su estabilización: recomendaciones de pendientes de taludes según su altura</li> </ul>
6. Diseño del pavimento:	Diseño de estructura del pavimento	Mayo 2009	-	Dimensionamiento de la estructura de pavimento
7. Estudio hidrológico e hidráulico de alcantarilla en Quebrada Arenas	Hidráulico - Hidrológico	Set 2009	Est. 17+441.	Estima el tamaño de la alcantarilla (criterios de diseño y diseño hidráulico)
8. Estudio de suelos. (09-OTS-0161c-1644)	Estudio de suelos.	Noviembre 2009	Est.18+100	Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales existentes Zona norte adyacente con quebrada Yeguas, no se encontró NF en la perforación realizada.
9. Estudio de suelos (09-OTS-0161b-1644)	Análisis del Estudio de suelos	Febrero 2010.	Est.18+100	Solución de estabilización 18+090 y 18+150 conformado por gaviones tipo Terramesh o similar reforzado con geogrillas. Se debe realizar una estricta canalización de las aguas superficiales de las zonas adyacentes. En las bermas no se





				realizaron perforaciones por lo que se recomienda realizar exploraciones en estas zonas.
10. Estudio de suelos (10-OTS-0034-1644)	Estudio de suelos.	Abril 2010	Est.18+700	Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales existentes. En el sector Oeste se encuentra un deslizamiento rotacional de carácter progresivo.
11. Estudio de suelos (10-OTS-0034b-1644)	Estudio de suelos.	Abril 2010	Est.18+700	Solución propuesta: construir un muro de gaviones con refuerzo de geotextil y geogrillas que trabaje con un relleno de material de subbase compactado.
12. Estudio de suelos. (10-OTS-0034c-1644)	Estudio de suelos final	Abril 2010	Est.18+700	Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales existentes. Se encontró nivel freático en las perforaciones realizadas.
13. Estudio de suelos. (10-OTS-0034d-1644)	Análisis de estabilidad	Mayo 2010	Est.18+700	Solución de estabilización: Construir un sistema de retención de material de subbase compactado con refuerzo geotextil y/o geogrillas. Debe colocarse un sistema de drenaje eficiente que evite la saturación del terreno. La solución debe complementarse con una disminución de pendientes de los sectores adyacentes
14. Estudio de suelos (10-OST-0034e-1644)	Análisis de estabilidad	Agosto del 2010	18+700	Topografía suministrada para condición durante la construcción. Solución de estabilización: Construir un sistema de retención de material de subbase compactado con refuerzo geotextil y/o geogrillas. Debe colocarse un sistema de drenaje eficiente que evite la saturación del terreno. Banqueo en la zona de la ruta del proyecto en la cual se construyan bermas y taludes a partir del nivel de cimientos del sistema de retención. Debe construirse un sistema de bermas y taludes con pendientes de una relación 2:1 (horizontal-vertical) y bermas de un ancho de 3m. Las cuales se deben construir en un área adyacente al derecho de vía actual que tenga un ancho adicional de 120 m. Se requiere una expropiación adicional de 120m a lo largo de la zona de interés.
15. Proyecto Deslizamiento en km 18 Nueva Carretera a San Carlos	Estudio geotécnico	Octubre 2011	Deslizamiento km 18 (18+320 a 18+440)	Información geotécnica y exploración geofísica. Solución de estabilización propuesta: un muro anclado tipo suelo cosido (soil



P I T R A

				<p>nailing), así como un tratamiento antierosión de concreto entre el muro anterior y la primera berma. Construir contracunetas revestidas en las bermas y en la parte superior del talud. <u>En la base del corte deberán colocar drenes subhorizontales.</u></p>
16. Estudio de suelos (10-OTS-0001-1644)	Estudio de suelos	Febrero 2010	<u>Est.20+700</u>	<p>Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales existentes Zona con pendiente, flujo de agua en la parte central del sector estudiado, NF a 4.20m</p>
17. Estudio de suelos (10-OTS-0001b-1644)	Análisis de estabilidad	Febrero 2010	<u>Est.20+700</u>	<p>Condición sin sismo: Estabilidad crítica con potencia de fallas en el estrato superficial. Condición sísmica: Características mecánicas deficientes</p>
18. Proyecto Deslizamiento en km 21 Nueva Carretera a San Carlos	Estudio geotécnico	Octubre 2011	Deslizamiento km 21 (21+900)	<p>Información geotécnica y exploración geofísica. <u>Alejar la línea de la carretera la mayor distancia posible de la zona de inestabilidad.</u> Se recomienda una distancia mínima de 3.0 m medida a partir del borde externo de la carretera Colocar en una distancia de 100 m dentro de la zona en la que se han manifestado, una geomembrana biaxial de alta resistencia (tipo MacTex W2 60 de Maccaferri de 60 kN/m o similar de otra marca) en la subrasante del pavimento. Lo anterior con el fin de crear una estructura reforzada que presentará un mejor comportamiento ante las futuras cargas impuestas. Esta geomembrana tiene como objetivo proteger la vía frente a eventuales problemas de hundimientos. Colocar una nivelación continua de este tramo, a fin de monitorear su comportamiento en al menos unos 3 meses.</p>
19. Estudio de suelos. (10-OTS-0100-1644)	Estudio de suelos.	Agosto 2010	<u>Est.22+880</u>	<p>Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales existentes.</p>
20. Proyecto Deslizamiento en km 25 Nueva Carretera a San Carlos	Estudio geotécnico	Octubre 2011	Deslizamiento km 25 (25+600)	<p>Información geotécnica y exploración geofísica. La superficie de deslizamiento pasa por debajo de la carretera, por lo que puede decirse que toda la vía está en riesgo. Construir un pedraplén o tapete drenante debajo de la calzada de la carretera (ver detalles en el informe) Construir un muro de gaviones apoyado sobre la trinchera de 7.0 m</p>



P I T R A

				<p>de alto por 5.0 m de base, cuya función sea contener la masa inestable. Realizar un alivio de peso en la masa deslizada Colocar sobre toda la masa inestable una geomembrana de control de erosión Construir una cuneta revestida en la parte superior del talud</p>
21. Proyecto Deslizamiento en km 29 Nueva Carretera a San Carlos	Estudio geotécnico	Octubre 2011	Deslizamiento km 29 (29+000)	<p>Información geotécnica y exploración geofísica. La solución más apropiada para resolver el problema presente es la construcción de un muro de <u>gaviones</u>. Es importante dejar desfuegos en la base del relleno de sustitución, a fin de eliminar las presiones hidrostáticas. Considerando que se tratará de una estructura pesada y que los materiales a nivel de carretera no son apropiados para su soporte, <u>se recomienda realizar una excavación mínima de 5 m y utilizar aluvión compactado como material de relleno. Tal excavación deberá extenderse 5.0 m a ambos lados del muro</u></p>
22. Proyecto Deslizamiento en km 34 Nueva Carretera a San Carlos	Estudio geotécnico	Octubre 2011	Deslizamiento km 34 (34+700)	<p>Información geotécnica y exploración geofísica. La solución más apropiada para resolver el problema presente es la construcción de un muro de gaviones. Deberá realizarse una cuidadosa supervisión de la excavación de la fundación para garantizar que al nivel de cimentación propuesto aparezcan suelos firmes. Se recomienda para ello realizar ensayos de confirmación de nivel de cimentación mediante ensayos de resistencia al corte con veleta.</p>

Fuente: LanammeUCR.