

# Vulnerabilidad de la infraestructura

## Análisis de la vulnerabilidad física y amenazas en la carretera longitudinal del norte en las microregiones de Metapán y Alto Lempa Norte. Región Norte, El Salvador

Ing. Alicia Barrera Morales  
Universidad de Costa Rica  
gladysalis@gmail.com

Fecha de recepción: 31 de octubre del 2007

Fecha de aprobación: 10 de diciembre del 2007

### Resumen

En este trabajo se desarrolla el análisis de un tramo de 42 km de la Carretera Longitudinal del Norte en El Salvador, como parte del proceso de graduación del Programa de Estudios de Posgrado en Geología de la Universidad de Costa Rica, en la Maestría en Gestión de Riesgos en Desastres y Atención de Emergencias de la Universidad de Costa Rica.

El trabajo se fundamenta en la aplicación de dos metodologías desarrolladas y aplicadas por el LanammeUCR en carreteras de montañas, evaluando en una de ellas la susceptibilidad a deslizamientos de los suelos, basada en la obtención del ángulo crítico a través del ángulo promedio de la pendiente y su desviación estándar en las áreas deslizadas o propensas a deslizamientos. La segunda metodología, evalúa la susceptibilidad de la carretera ante flujos de lodos y detritos, basándose en la metodología de Kanji que considera la existencia o combinación de factores tales que influyen de tal manera en la activación de este tipo de evento.

Estas metodologías aplicadas en Costa Rica, serán utilizadas por primera vez en El Salvador para el caso de este tramo de carretera, aportando resultados válidos, los cuales serán de aporte para el diseño final de la carretera que se está desarrollando en estos momentos a través del Gobierno local y la empresa privada.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad Física, Carreteras, Susceptibilidad, Amenazas Naturales.

### Abstract

The analysis of a 42 km section of the North Longitudinal Highway in El Salvador is developed in this work. It corresponds to the investigation thesis to obtain the degree of Master in Risk Management and Emergency Attention of the Postgrade Studies Program in Geology of the University of Costa Rica.

The work is based in the application of two methodologies that were developed and applied by the LanammeUCR in mountain highways in Costa Rica. One of them evaluates the susceptibility of land slipping, based on obtaining the critical angle through the average angle of the slope and its standard deviation in the slipped areas or prone to slips. The second methodology, evaluates

the susceptibility of the highway to mud and detritus flows, based on the Kanji Methodology that considers the existence or combination of factors that influence the activation of this type of events.

These methodologies already used in Costa Rica, will be applied for the first time in El Salvador in the highway tract already described, giving valid results, which will contribute in its final design, that at this time is being developed by the local Government and the private company.

**Keywords:** Physical Vulnerability, Road, Susceptibility, Natural Hazards.

### Introducción

El actual sistema de comunicación vía terrestre, en la zona norte de El Salvador, presenta vulnerabilidad a deslizamientos, flujos de lodo y crecidas de ríos. Esto ocurre especialmente en época de invierno; cuando las condiciones geológicas aumentan la fragilidad de las laderas, quebradas y suelo, afectando las carreteras (asfalto y terracería) y puentes principalmente.

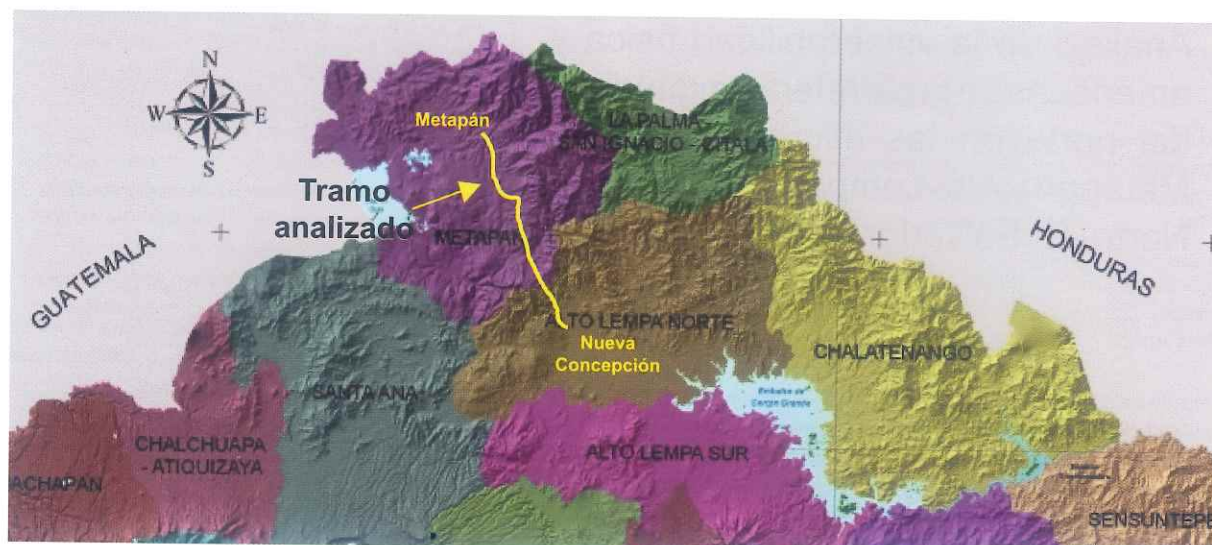
El proyecto de la construcción de la Carretera Longitudinal del Norte tiene una longitud de 310 km, como se muestra en la Figura 1 atraviesa todo el norte del país de oeste a este.

Trazo total de la Carretera Longitudinal del Norte

Figura 1



Fuente: SNET, 2005 (sin escala)



Fuente: SNET, 2005 (sin escala)

En esta investigación se analizó solamente el tramo: Metapán – Nueva Concepción, cuya extensión es de 42 km, que cruza la región Norte, específicamente desde el municipio de Metapán, pasando por el municipio de Santa Rosa Guachipilín y finalizando en el municipio de Nueva Concepción. Todos ubicados al Noroeste del país, y los cuales forman parte de las microregiones Metapán y Alto Lempa Norte, como se muestra en la Figura 2.

El proyecto de mejoramiento de esta carretera no es nuevo, ya que tiene más de 30 años de haber comenzado su planificación, con altibajos y obstáculos que han mantenido a la población beneficiada directa o indirectamente esperando ver la obra realizada.

En el caso del tramo Metapán - Nueva Concepción, pretende mejorar y ampliar la comunicación vial en dicha zona del país, que por ser altamente montañosa afecta el desarrollo de las poblaciones ubicadas en ella, tanto por la escasez de vías de comunicación adecuadas como por la lejanía de los centros poblacionales que podrían ayudar a una mayor actividad comercial y productiva.

#### Objetivos

Realizar el análisis de los riesgos por eventos naturales a los cuales el tramo de la carretera Metapán – Nueva Concepción está expuesta, identificando y ubicando las amenazas que podrían impactar la carretera por diversos eventos naturales, considerando las posibles medidas de mitigación de riesgos que podrían implementarse

en el momento del proceso de construcción de la carretera.

#### Metodología

La metodología utilizada por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), para la elaboración de perfiles de vulnerabilidad de la carretera en estudio, combina el análisis de susceptibilidad a deslizamientos y la susceptibilidad a flujos de lodos y detritos (Kanji, 2001).

#### - Análisis de susceptibilidad a deslizamientos

Esta metodología radica en la obtención del ángulo crítico, que consiste en determinar un ángulo promedio de la pendiente y su desviación estándar en las áreas deslizadas o propensas a deslizamientos, con el fin de asignar niveles de susceptibilidad para cada unidad geológica que afectan directamente la carretera en estudio y después clasificarlas en función de la pendiente. (Ver figura 3)

#### - Análisis de la susceptibilidad de flujos de lodos y detritos

La metodología de Kanji, desarrollada en el 2001, basada en casos estudiados en Brasil y en casos internacionales bien documentados, y que considera la existencia o combinación de los factores que contribuyen a la ocurrencia de los flujos de detritos, como intensidad de lluvia, la inclinación de las laderas, inclinación de los canales de drenaje, área de la cuenca

hidrográfica, altura de la ladera, vegetación y uso del suelo, geología. (Ver Figura 4)

### Desarrollo

La carretera presenta cierta señalización y barreras de seguridad (flex beam) y en algunos tramos aún se conservan capas de pavimento asfáltico que fueron colocadas sobre la subrasante en los inicios de su construcción hace ya 27 años. Estos tramos de pavimento existente en 13,60 km aproximadamente, están ubicados desde el desvío de Nueva Concepción hacia Santa Rosa Guachipilín.

A lo largo del eje de la vía existen diferentes tipos de taludes que en su mayoría presentan diversos deslizamientos, existen dos más notables, uno, ubicado sobre la quebrada Siete Pozos, que recorre paralelamente el pie del talud de la carretera generando erosión, con la existencia de cárcavas que han hecho que el ancho de la vía se reduzca considerablemente.

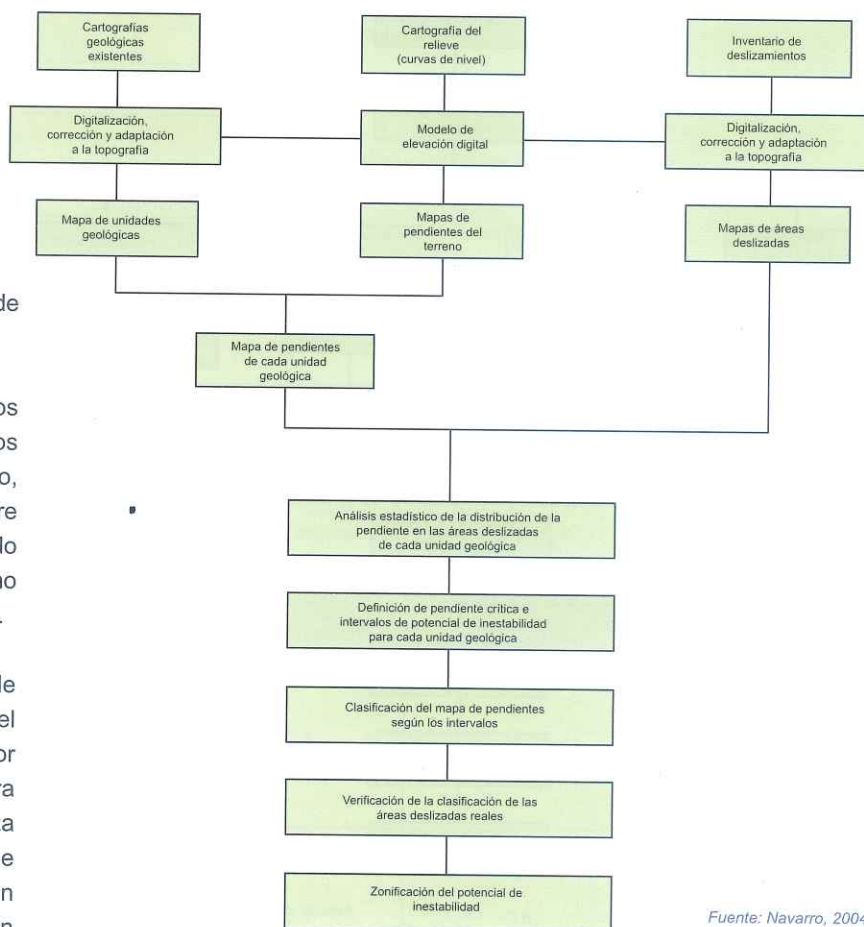
Comprende un área de aproximadamente 100 m de longitud y afecta todo el ancho de la vía, ubicado en el punto exacto donde la vía rodea un pequeño cerro por el costado norte y se observa un talud de una altura aproximada de 25 m (Figura 5), con estratos de ceniza volcánica ubicada sobre roca basáltica compuesta de basaltos y andesitas, además, inicia en su base con un corte vertical de 5 m y lo restante posee una inclinación de 30 grados, propenso a sufrir desprendimientos. También, por el costado sur de la vía se observa un precipicio de 10 m de altura que finaliza en la quebrada Siete Pasos, la cual recorre paralelamente a la carretera y las lluvias le han ayudado a aumentar la socavación en el talud del terraplén, de tal forma que ha disminuido el ancho de la vía, reduciéndolo a un ancho de aproximadamente 3 m. El FOVIAL<sup>(1)</sup> realiza obras de mitigación continuamente en esta área.

El segundo, avanzando a lo largo de la vía, como 8 km más adelante (Estación 13+600), existe un talud de 15 m de altura y 200 m de longitud (Figura 6), está siendo explotado para la extracción de material para lastrear esta misma vía y otras aledañas al lugar, por empresas a cargo del FOVIAL, lo cual ha hecho que disminuya su altura y su verticalidad; pero aunque aparenta poca peligrosidad se observa que si se continúa explotando inadecuadamente y luego de finalizada su explotación no se utilizan medidas de estabilización, entonces

1. Para mayor información ingresar al sitio web: [www.fovial.com](http://www.fovial.com)

Esquema de la metodología del ángulo crítico

Figura 3



Fuente: Navarro, 2004

se creará una vulnerabilidad a deslizamientos de considerable magnitud.

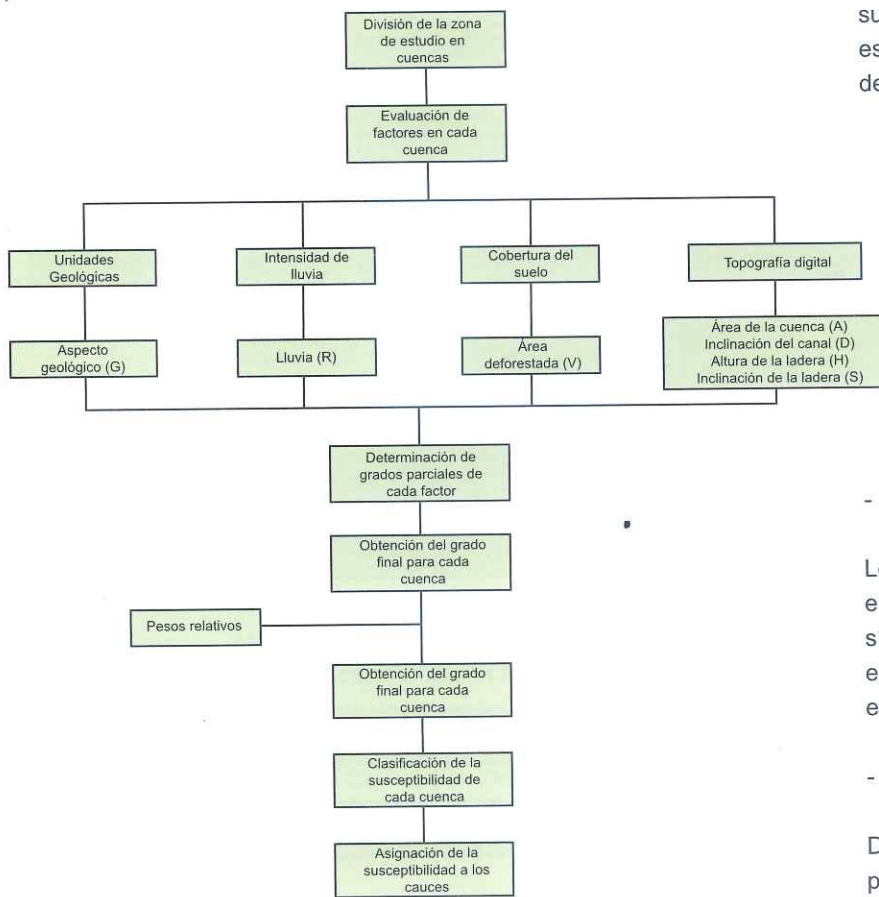
Así mismo, cabe mencionar que en algunos tramos de la vía, específicamente donde cruza cantones y caseríos, algunas viviendas han invadido el derecho de vía de la carretera, lo cual hace que sea más lento el avance por estas áreas, y aunque no se encuentran viviendas vulnerables a ser destruidas por deslizamientos, sí se observa que en algunos tramos de la vía existen casas ubicadas en el área o espacio donde cruza el eje de ésta, el cual ha sido reducido a un ancho de espacio solo para un vehículo, la mayoría de veces por causa de esta invasión de terreno.

### Características de la zona

#### - Uso de suelo:

La aptitud de los suelos en el sector de Metapán hasta Santa Rosa Guachipilín, es predominantemente suelos

Figura 4 Esquema de la metodología de flujos de lodo basada en Kanji



Fuente: Kanji, 2001

no agrícolas, a excepción de pequeñas áreas, donde existen suelos con limitaciones fuertes de fertilidad, susceptibles a la erosión y de productividad muy escasa; con sembrados de maíz, maicillo, frijol y café de baja altura.

- *Clima:*

La zona también se caracteriza por sus intensidades de precipitación de lluvia, que oscilan la máxima anual en 129,49 mm/h para el período de 5 minutos según la estación La Palma, ubicada en las coordenadas 13° 42,1' de latitud Norte y 89° 12,4' de longitud Oeste y a 700 msnm.

- *Sismicidad:*

Los datos históricos sobre eventos sísmicos dañinos en esta región evidencian que existe poca actividad sísmica local, al menos con respecto a localización de epicentros, puesto que la sismicidad se concentra tanto en la Fosa Central como en el Océano Pacífico.

- *Deslizamientos:*

Debido al tipo de geología del país que se caracteriza por ser prácticamente en su totalidad de origen volcánico combinado con las precipitaciones anuales en la zona norte donde se ubica la carretera, influyen de tal manera que hacen que las laderas sean susceptibles a deslizamientos. Y si a esto se le suma el evento por sismo, como catalizador, genera una mayor probabilidad de ocurrencia de este evento. Cada invierno ocurren sucesos de este tipo, la mayoría de veces son de pequeñas magnitudes (como caída de rocas en la carretera, hundimientos de terraplén en la vía, entre otros), pero siempre crean dificultades. En el caso de eventos como el huracán Mitch, en 1998, las precipitaciones provocaron un gran número de

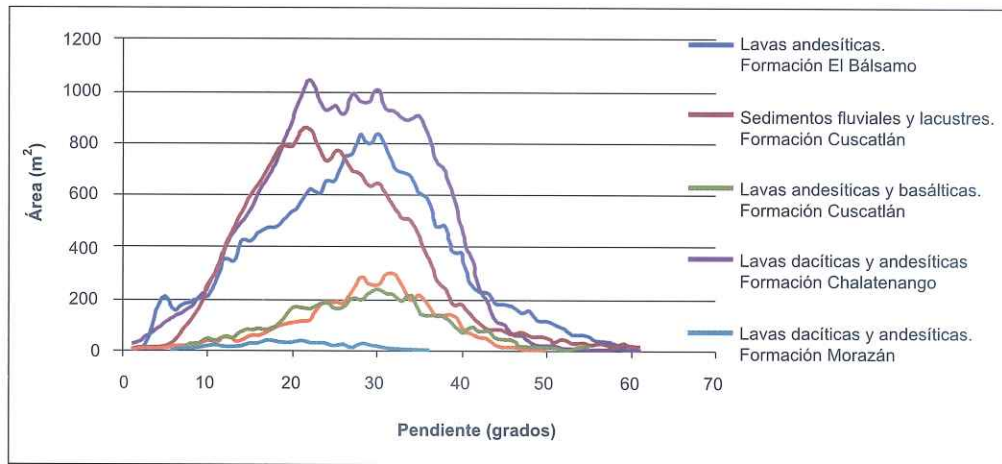
Figura 5 Obras de mitigación en desprendimiento de talud



Figura 6

Talud explotado por obreros del FOVIAL para lastrear la vía





Fuente: elaboración propia

Rangos de susceptibilidad a deslizamiento para cada geología

Tabla 1

UNIDAD GEOLÓGICA	RANGOS	SUSCEPTIBILIDAD	ÁNGULO OBSERVADO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Lavas andesíticas. Formación El Bálamo (B2)	0 - 11	Muy baja	27,5	11,0
	11 - 22	Baja		
	22 - 33	Moderada		
	33 - 44	Alta		
	> 44	Muy alta		
Sedimentos fluviales y lacustres. Formación Cuscatán (C1)	0 - 9	Muy baja	25,0	9,5
	9 - 19	Baja		
	19 - 29	Moderada		
	29 - 39	Alta		
	> 39	Muy alta		
Lavas andesíticas y basálticas. Formación Cuscatán (C3)	0 - 14,25	Muy baja	28,0	9,5
	14,25 - 23,75	Baja		
	23,75 - 33,25	Moderada		
	33,25 - 41,75	Alta		
	> 41,75	Muy alta		
Lavas dacíticas y andesíticas. Formación Chalatenango (C1)	0 - 11,75	Muy baja	26,0	9,5
	11,75 - 21,25	Baja		
	21,25 - 30,75	Moderada		
	30,75 - 40,25	Alta		
	> 40,25	Muy alta		
Lavas dacíticas y andesíticas. Formación Morazán (m2)	0 - 17	Muy baja	27,5	7,0
	17 - 24	Baja		
	24 - 31	Moderada		
	31 - 38	Alta		
	> 38	Muy alta		
Sedimentos metamorizados. Formación Metapán (me1)	0 - 16,5	Muy baja	28,5	8,0
	16,5 - 24,5	Baja		
	24,5 - 32,5	Moderada		
	32,5 - 40,5	Alta		
	> 40,5	Muy alta		

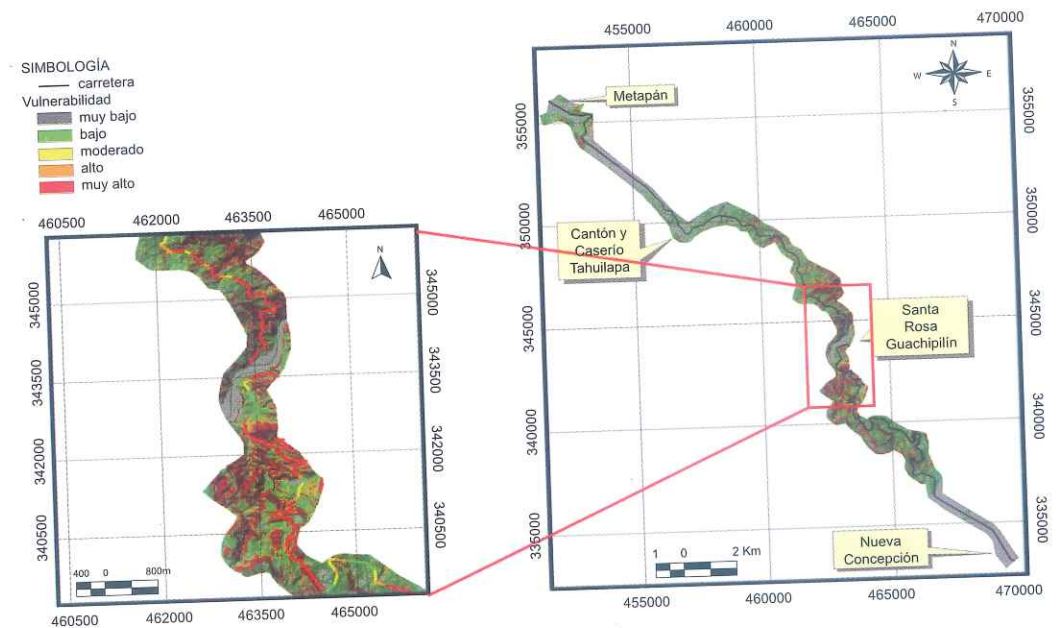
Tabla 2

Resultados de los factores utilizados en la metodología de Kanji

CUENCA	FACTORES	DATOS	GP	P	TOTAL	CLASIFICACIÓN
CUENCA 1	inclinación de ladera (S)	7,09	0	3,6	23,24	BAJA
	inclinación del canal de drenaje (D)	23,85	6,6	0,7		
	área de cuenca (A)	0,367	10	1,4		
	altura de ladera (H)	73	0	1,4		
	vegetación (V)	62,73	6,6	0,7		
	aspectos geológicos (G)	G4	0	2,2		
CUENCA 2	inclinación de ladera (S)	4,25	0	3,6	28,19	BAJA
	inclinación del canal de drenaje (D)	15,95	6,6	0,7		
	área de cuenca (A)	0,468	10	1,4		
	altura de ladera (H)	91	0	1,4		
	vegetación (V)	39,86	3,3	0,7		
	aspectos geológicos (G)	G3	3,3	2,2		
CUENCA 3	inclinación de ladera (S)	3,59	0	3,6	28,00	BAJA
	inclinación del canal de drenaje (D)	31,21	10	0,7		
	área de cuenca (A)	0,247	10	1,4		
	altura de ladera (H)	82	0	1,4		
	vegetación (V)	87,03	10	0,7		
	aspectos geológicos (G)	G4	0	2,2		
CUENCA 4	inclinación de ladera (S)	7,16	0	3,6	25,62	BAJA
	inclinación del canal de drenaje (D)	81,13	10	0,7		
	área de cuenca (A)	0,356	10	1,4		
	altura de ladera (H)	99	0	1,4		
	vegetación (V)	51,72	6,6	0,7		
	aspectos geológicos (G)	G4	0	2,2		

Figura 8

Rango de vulnerabilidad física de la carretera



deslizamientos y desprendimientos rocosos en las zonas montañosas; así mismo para el 2003 se dio el caso del hundimiento de la carretera de Chalatenango que conduce al Municipio Ojo de Agua donde se originaron derrumbes debido a las lluvias que destruyeron por completo las alcantarillas y socavaron la capa asfáltica haciéndola intransitable y peligrosa.

#### Análisis de resultados

El inventario de deslizamientos, fue obtenido por la realización de visitas de campo a la zona y de la interpretación de curvas de nivel a cada metro y el modelo de elevación digital (MED), y el mapa de pendientes para cada geología fue obtenido también a través del MED. El análisis de comportamiento del área deslizada se realizó con respecto a la pendiente para cada geología como se muestra en la Figura 7 y sus respectivos resultados en la Tabla 1.

Con respecto a la metodología de Kanji, se tomaron sólo aquellas cuencas menores de 10 km<sup>2</sup> que podrían afectar la vía en estudio. La vulnerabilidad determinada por esta metodología será asignada a la infraestructura vial existente en el punto de unión entre la cuenca y el corredor vial. Los datos de cada cuenca se presentan en la Tabla 2, y los resultados gráficos se muestran en la Figura 8, donde se muestra la susceptibilidad de todo el tramo de carretera y el tramo más crítico de vulnerabilidad.

#### Conclusiones

La carretera en estudio está expuesta a amenazas naturales, producidas por la actividad hidrometeorológica y sísmica, esto causa la inestabilidad en taludes de corte y terraplenes, así como la posibilidad de ocurrencia de flujos de lodos y detritos. La evaluación de la susceptibilidad del terreno a la inestabilidad de taludes fue realizada con la metodología de ángulo crítico obteniendo resultados aceptables para el área en estudio; ya que la zonificación obtenida identifica áreas que ya han presentado problemas de inestabilidad anteriormente, aunque cabe mencionar que esta evaluación es del tipo preliminar ya que aunque permite identificar áreas con susceptibilidad alta y muy alta, deben realizarse estudios más detallados.

La carretera no cuenta con alcantarillas construidas, puentes, ni posee la capa de pavimento asfáltico, por lo que no fue posible la aplicación de las diferentes metodologías para verificar la vulnerabilidad de

estos componentes, así como tampoco se aplicó la metodología de vibración sísmica, por encontrarse la carretera en una zona de baja amenaza sísmica.

#### Referencias bibliográficas

1. Vargas, W. Y Garro, J. (2003): "Gestión de riesgos naturales en infraestructura vial". Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). (Informe Interno). Universidad de Costa Rica.
2. Castro Hernández, Kattia, (2005): "Vulnerabilidad Física de la Infraestructura vial en las rutas 130, 712, 146, 120 y 126 Tramo Alajuela – Fraijanes – Vara Blanca – San Miguel de Sarapiquí". Tesis Licenciatura Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica.
3. Matamoros, A. J., (2005): "Perfil de Vulnerabilidad ante amenazas naturales de la ruta 3, tramo Garita – Orotina". Tesis Licenciatura Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica.
4. Kanji, Milton (2001): "Metodología para estimativa de la vulnerabilidad del terreno con relación a flujos de detritos." I Simposio Internacional de Movimientos de Masa. Cuenca, Ecuador.