



Universidad de Costa Rica
Laboratorio Nacional de Materiales y
Modelos Estructurales



Subprograma de Investigación en Riesgos y
Amenazas Naturales en la Infraestructura Vial

Informe Final
Evaluación de la Susceptibilidad a Deslizamientos
de la Ruta Nacional 2 Carretera Interamericana Sur
Tramo San Isidro de Cartago – San Isidro de Pérez Zeledón

Dr. William Vargas Monge, Coordinador
Ing. José Francisco Garro, Investigador

Abril del 2004

Capítulo I

Introducción

1.1 Importancia del problema y sus antecedentes

En países tropicales como Costa Rica, los fenómenos naturales tienen una gran influencia sobre el estado físico y la funcionalidad de la infraestructura vial. En este aspecto, las amenazas naturales son el factor con mayor potencial para dañar las carreteras, lo cual ocasiona pérdidas directas e indirectas a la economía nacional, siendo los sectores más afectados los productivos, empresariales y de transportistas.

La Ruta Nacional 2 Carretera Interamericana Sur es hoy la vía de comunicación más importante con el sector sureste del país. Desde su construcción, ha sufrido en varias ocasiones de deslizamientos de tierra y roca a lo largo de su trazado. Este problema se intensifica con la llegada de la estación lluviosa y de fenómenos atmosféricos importantes, tal y como se ha demostrado con los huracanes Juana (1988), César (1996) y Mitch (1998). También, los deslizamientos son disparados por eventos sísmicos como el terremoto de Pérez Zeledón (1983) y el de Limón (1991).

Las zonas más afectadas son las secciones ubicadas entre San Isidro del Guarco y El Empalme, así como entre La Georgina y San Isidro de Pérez Zeledón. Aparte del problema económico que implica, los deslizamientos en estos tramos se han traducido en pérdidas de vidas humanas.

Las características propias de la zona en que se construyó esta vía, así como las técnicas constructivas utilizadas, propician la inestabilidad de suelos. Ejemplo de esto son los taludes de gran altura y con pendiente desfavorable para el tipo de material, la práctica inexistencia de drenajes para el control de agua, y una evidente falta de mantenimiento preventivo.

La importancia de contar con una ruta cuya vulnerabilidad sea baja, hace necesario investigar los principales problemas de inestabilidad que existen en esta vía. La investigación sobre la vulnerabilidad a deslizamientos de la Ruta 2 es la base requerida para la toma de decisiones de inversión en el mejoramiento, y para definir medidas preventivas que eviten que la ruta salga de operación.

1.2 Objetivo General del Estudio

Determinar el perfil de vulnerabilidad potencial ante deslizamientos de la Ruta Nacional 2, segmento San Isidro del Guarco – San Isidro de Pérez Zeledón, para ayudar a la toma de decisiones sobre inversión en el mejoramiento de la infraestructura y la reducción del riesgo existente.

1.3 Objetivos Específicos

- Recopilar información sobre deslizamientos que ha afectado históricamente esta ruta , así como los tipos de obras de reparación / rehabilitación efectuadas
- Evaluar las características de severidad de los deslizamientos a lo largo de la vía, para determinar el perfil de exposición de la infraestructura
- A partir de la evaluación anterior, determinar el perfil de vulnerabilidad potencial de la ruta
- Proponer un plan de reducción de la vulnerabilidad y perfiles de proyectos específicos para la vía

1.4 Alcances y Limitaciones del estudio

- Este estudio contempla solamente la sección de la ruta nacional 2 que va desde San Isidro del Guarco hasta San Isidro de Pérez Zeledón, debido principalmente a la falta de vías redundantes que unen estas dos localidades
- No se realizan pruebas de campo ni de laboratorio. El análisis de la información se realizó principalmente por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente el ArcView, la cual se complementó con visitas de levantamiento de información y comprobación al campo.
- Este estudio no abarca la etapa de diseño detallado de obras de mitigación a los problemas encontrados; en vez de ello se proponen de una manera preliminar proyectos típicos para reducción de la vulnerabilidad. Es necesario indicar que para cada problema encontrado, será necesario de un diseño específico de obra (sean cortes para los taludes, rellenos, obras de retención, entre otras), lo cual requiere de estudios a un nivel o escala más detallada.
- El detalle de información utilizado presenta una variedad de escala desde 1:25,000 (topografía, red fluvial y vial, áreas urbanas), hasta 1:200,000 (geología, zonas climáticas, zonas de vida), lo cual puede afectar de una manera significativa los resultados de los modelos utilizados.
- Existe poca información sobre las características geotécnicas de la carretera. La información que se utilice en este estudio será la que se pueda obtener con visitas al campo, lo que les da un carácter preliminar

Capítulo II

Metodologías de Estudio

2.1 Metodología General

La metodología utilizada en este estudio para la evaluación de la vulnerabilidad de la carretera se basa en la de Vargas (2001), detallada en el informe de trabajo del año 2002. El esquema de esta metodología se presenta en la figura 1.

METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO

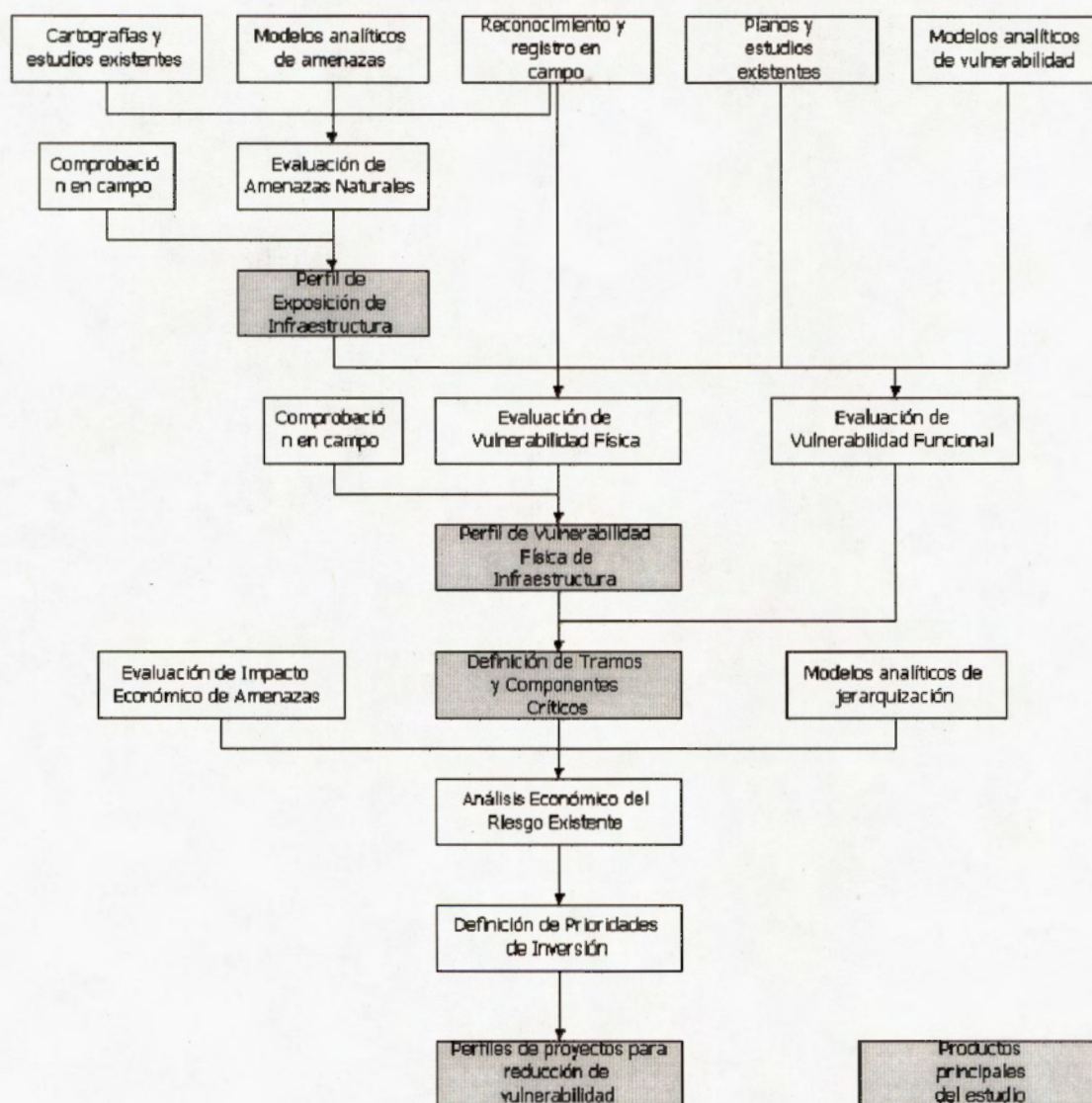


Figura 1: Esquema de la metodología general usada

En la aplicación de la metodología se sigue el procedimiento detallado a continuación:

2.1.1 Delimitación de la zona de influencia de la ruta

Según estudios previos (Chacón, 2000; LANAMME, 2001); para evaluar la inestabilidad potencial de los terrenos que puedan amenazar las carreteras en regiones montañosas con uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) a escala 1:50.000, se recomienda analizar una banda de al menos un kilómetro de ancho, centrada en el eje. En este estudio se sigue la recomendación sobre el ancho dada en el documento básico de trabajo (Informe 2002), que establece una banda de un kilómetro a ambos lados del eje central para considerar el impacto ambiental de la carretera y los efectos de la inestabilidad del terreno que puedan afectar a la infraestructura y la población, tales como los flujos de lodo y la socavación de márgenes de ríos.

2.1.2 Recopilación de la información básica existente sobre la ruta y su zona de influencia

La información básica necesaria para un estudio incluye la cartografía de los factores que influyen sobre la ocurrencia de amenazas y la vulnerabilidad de la infraestructura, según se detalla en el documento básico de trabajo del Informe 2002. Se debe contar al menos con la cartografía de la topografía y la geología (origen y tipos de materiales, fallas), la red fluvial, la precipitación, las zonas climáticas y/o zonas de vida, tipo de suelos, uso del suelo, sismicidad, vibración, potencial de amplificación, licuación de suelos, eventos históricos ocurridos en la vía y alrededores, la ubicación, tipo y estado de la infraestructura, costos de reparación, mantenimiento y reconstrucción de la infraestructura vial, etc.

La información necesaria puede encontrarse en estudios previos y consultorías realizados por o para instituciones públicas (ministerios, institutos, universidades), mapas publicados, libros, periódicos, tesis o proyectos de investigación en universidades, revistas científicas, bases de datos digitales y artículos digitales en Internet. La existencia y/o disponibilidad de esta información para algunas zonas de estudio puede ser muy limitada.

La información existente define los alcances o los costos de un estudio. Si la información básica necesaria es limitada, el costo final del estudio se elevará, puesto que se deberán realizar evaluaciones específicas de elementos que en la metodología son considerados insumos existentes.

2.1.3 Visita de reconocimiento y registro de problemas o eventos en campo

La información recopilada puede resultar insuficiente para aplicar las técnicas de evaluación de amenazas y vulnerabilidad con uso del SIG. Este es típicamente el caso de los catálogos o inventarios de deslizamientos de tierra, que son fundamentales para la evaluación de la susceptibilidad del terreno, y de la ubicación de

terraplenes y alcantarillas para la elaboración de los perfiles. En esos casos, la información debe ser complementada mediante visitas al sitio.

Generalmente, será necesario realizar 2 ó 3 visitas al campo, siendo la primera de reconocimiento de la zona, y las siguientes de comprobación de los resultados obtenidos en cada proceso de evaluación (zonificaciones, perfiles). El objetivo fundamental de una primera visita al campo es complementar la información base obtenida, en los factores en que sea deficiente. La visita puede realizarse con un localizador de posición global, instrumento conocido como GPS, para registrar el trazado de la carretera y la ubicación exacta de los puntos de interés (eventos, componentes de infraestructura, etc.)

2.1.4 Digitalización, corrección, adaptación y almacenamiento de la información

La información recopilada en forma de mapas debe ser digitalizada para su posterior manipulación en el SIG. En ese proceso se generan errores que deben ser corregidos para validar la versión digital de los mapas y mejorarlos. La corrección busca eliminar las distorsiones en la versión digital generadas por la precisión limitada de los instrumentos y los operadores, y se realiza con algunos puntos de referencia con coordenadas conocidas. La ubicación de la información recolectada en las visitas al campo se realiza en la actualidad con un localizador de posición global (GPS), con suficiente precisión.

La información tiene usualmente distintas fuentes y escalas de trabajo, y eso genera la necesidad de compatibilidad entre ellas para garantizar la validez de los resultados. Para elaborar perfiles de vulnerabilidad que permitan establecer algunas prioridades de inversión y anteproyectos, se debe usar como base una escala de la información de al menos 1:25.000 (Vargas, 2002). Los factores más importante en la evaluación de amenazas para carreteras de montaña son la topografía y la geología (tipo de material). La topografía de Costa Rica existe en formato digital a escala 1:50.000 para todo el país (IGN) y a escala 1:25.000 para la mayor parte (Comisión Terra). La escala de la cartografía geológica y de otros factores climáticos y geotécnicos importantes es variable y en algunas zonas del país sólo existen mapas a escala 1:200.000, en los cuales el nivel de detalle es un orden inferior al óptimo. En ese caso, se puede mejorar la precisión de la información si existe una correlación con otro factor que esté cartografiado a la escala deseada. Existen correlaciones entre algunos rasgos o características de la topografía y la geología, entre la topografía y las zonas climáticas o de vida, que permiten mejorar la escala de esos factores al nivel del primero. Cuando se realiza una adaptación de ese tipo, se debe consultar al autor del mapa original y recibir su aprobación.

La corrección y adaptación de la información permite crear una base de datos confiable para la aplicación de las metodologías de evaluación de amenaza y vulnerabilidad en el SIG.

2.1.5 Evaluación y zonificación de los problemas de inestabilidad identificados en el área de estudio

Ante la limitante de información y de modelos probabilísticos precisos, la evaluación y posterior zonificación de la amenaza por deslizamientos se realiza considerando únicamente la localización y severidad de los eventos, sin establecer una frecuencia específica, tal y como se hace para otras amenazas naturales, como inundación y sismicidad.

Esta evaluación sigue metodologías propias, y busca establecer la variación espacial de la severidad de los deslizamientos en función de algún parámetro utilizado en el análisis y/o diseño de las obras de infraestructura. Usualmente, el resultado de la evaluación de amenaza es una zonificación o mapa con la variación espacial del parámetro de interés.

Puesto que el valor numérico del parámetro representa la severidad del fenómeno de inestabilidad en cada sitio, es posible realizar una clasificación del mapa en categorías de severidad relativa o intensidad que permitan identificar zonas de amenaza alta, moderada o baja, y cuya percepción sea cualitativamente más significativa que los valores numéricos. La intensidad se puede definir como la valoración cualitativa de la severidad de un evento y/o de sus efectos sobre la infraestructura, en órdenes o niveles diferenciados. El criterio que se utiliza en este estudio para separar las zonas o niveles de intensidad se puede realizar satisfactoriamente con base en la distribución estadística del valor del parámetro normalizado, en función del área (Garro, 2002; Campos, 2003; Salas, 2003).

2.1.6 Creación de perfiles de exposición de la infraestructura vial ante las amenazas

Con la amenaza de deslizamientos clasificada en niveles de intensidad, se pueden identificar preliminarmente los segmentos y componentes de infraestructura potencialmente más críticos y vulnerables por exposición, como aquellos ubicados en las zonas de amenaza alta o muy alta. Puesto que los efectos sobre la infraestructura dependerán de la vulnerabilidad física (fragilidad) de ésta, la exposición es solamente un indicador del potencial de daño potencial que sufriría. La fragilidad se debe evaluar a partir de las características físicas y mecánicas de cada componente (puentes, taludes, terraplenes, alcantarillas, etc.)

El perfil de exposición ante amenazas se obtienen en un SIG mediante la intersección de la ruta, previamente dividida en segmentos de longitud uniforme, con las zonificaciones clasificadas. La longitud de los segmentos en los cuales se divide la carretera depende de la escala de trabajo, según se detalla en el Documento de Trabajo (Informe 2002). El resultado de la intersección es la adición de la información sobre las amenazas de cada segmento a la base de datos de la carretera, lo cual permite la preparación de los perfiles en forma de cuadros o matrices, y de gráficos con la variación de las amenazas a lo largo de la ruta.

Los niveles de severidad o intensidad de las amenazas en cada segmento deben ser comparados con los eventos ocurridos en una visita al campo que sirva de comprobación de las zonificaciones.

2.1.7 Generación de anteproyectos de reducción de vulnerabilidad

Los perfiles de vulnerabilidad permiten reconocer los segmentos y componentes más críticos de una carretera, según las evaluaciones de los peligros y la vulnerabilidad física existentes, y la importancia relativa del segmento o componente para la funcionalidad de toda la ruta. Los segmentos y componentes críticos son los que el análisis anterior ha determinado con amenaza y vulnerabilidad altas o muy altas, y/o ya han presentado problemas que requieren de medidas correctivas o preventivas para disminuir el riesgo actual.

Las medidas de reducción de vulnerabilidad se pueden tipificar, en función del componente y de la(s) amenaza(s) identificadas, para generar anteproyectos de carácter general. La definición de proyectos y obras específicos para reducción de vulnerabilidad requiere de evaluaciones más detalladas de la amenaza y la vulnerabilidad, que están fuera del alcance de este estudio. La priorización de la inversión en reducción de vulnerabilidad requiere de un análisis adicional de costo – beneficio, que compare el costo de las soluciones y el beneficio de la seguridad incrementada de la ruta con las pérdidas directas e indirectas asociadas con el riesgo existente y que implican reparaciones e interrupciones al tránsito frecuentes e incontroladas

2.2 Metodología específica de evaluación de la amenaza por deslizamientos

Para evaluar la amenaza de deslizamientos en el área de estudio, se usó la metodología basada en el análisis estadístico de los dos factores que más inciden sobre la inestabilidad de los terrenos: el tipo de material, asociado directamente con su origen geológico, y la pendiente en cada sitio. El análisis estadístico de la incidencia de deslizamientos permitió determinar una pendiente crítica (o ángulo crítico de la pendiente) para cada unidad geológica, que define el límite entre la estabilidad y la inestabilidad.

La aplicación de esta metodología fue posible porque la cartografía geológica utilizada en este estudio (y que se presentará más adelante) fue verificada y mejorada con base en la topografía digital a una escala de 1:25,000 tal y como se explicó en el punto 4 de la metodología general, y se contó con un buen inventario básico de deslizamientos, tanto cartografiados previamente como los identificados en visitas al campo.

Esta metodología es una modificación de otras utilizadas en estudios previos en los cuales se realizó zonificación de la amenaza de deslizamientos, tales como las que presentan LANAMME (2000) y Garro (2002). La metodología que ha producido mejores resultados en relación con los inventarios de deslizamientos es la de “pesos relativos”, en la cual se evalúa la incidencia estadística de deslizamientos con base en las cartografías de todos los factores involucrados en el fenómeno, integradas en un SIG. En los estudios mencionados se demuestra que los factores escogidos en este caso (geología y pendiente) son los

predominantes y que además son los que cuentan con cartografías de mejor resolución en el país, a escalas hasta 1:50,000 y 1:25,000.

La exclusión de factores importantes en la generación de deslizamientos, tales como la precipitación y los sismos, es posible en este caso dada la uniformidad de la sismicidad (alta) y del clima en la zona de estudio de este proyecto (de bosque tropical lluvioso). Además, en los estudios mencionados se demuestra que la inclusión de muchos factores no implica una mejoría significativa de la zonificación resultante.

El procedimiento a seguir se resume a continuación:

- a. Digitalización y corrección de curvas de nivel (topografía digital) de la zona, a escala 1:25.000. Generación del Modelo de Elevación Digital (MED) de la zona con el SIG. Para la escala 1:25.000, el MED debe tener un tamaño de cuadrícula o celda recomendado de 20 m de lado.
- b. Recopilación, digitalización, corrección y mejoramiento de escala de mapas geomorfológicos, campañas geológicas y levantamientos geológicos de campo.
- c. Recopilación y digitalización del inventario de deslizamientos dentro del área de influencia (o área de estudio) del corredor, a partir de mapas geomorfológicos, campañas geológicas y levantamiento en campo. En el caso de que el levantamiento de campo se concentre en la carretera, se deben diferenciar claramente los deslizamientos de taludes y de rellenos.
- d. Corrección de la ubicación de las zonas inestables con base en la cobertura topográfica y fotografías aéreas de la zona.
- e. Clasificación del mapa de deslizamientos según las unidades del mapa geológico, mediante el SIG. Una vez clasificados, se calcula el área total y porcentual deslizada en cada unidad geológica. El porcentaje de área deslizada es un indicador del potencial de inestabilidad del suelo o material meteorizado presente en cada unidad geológica.
- f. Intersección de las áreas obtenidas en el paso anterior con el mapa de pendientes, elaborado a partir del MED. Este nuevo mapa se clasifica en intervalos de pendiente, para una separación final de las áreas deslizadas por geología y por pendiente.
- g. Análisis estadístico de la distribución de las áreas deslizadas en cada unidad geológica en función de la pendiente, mediante un gráfico en el cual se muestre el total o porcentaje de área deslizada por intervalos de pendiente. La pendiente que corresponde al valor máximo de área deslizada es la pendiente crítica.
- h. Como alternativa a los pasos 6 y 7 anteriores, se puede determinar la pendiente crítica a partir de perfiles del terreno que incluyan áreas inestables en cada tipo de geología. El valor máximo de la pendiente en las zonas deslizadas o inestables se promedia, para obtener la pendiente crítica. Se debe tener presente en este caso que los deslizamientos que ocurren en rellenos no deben incluirse en el análisis de perfiles, dado que la mayoría de los rellenos tiene taludes con pendiente mayor que la del terreno, por lo que los perfiles

calculados a partir de la topografía digital del terreno a escala 1:25.000 no podrán detectar la verdadera pendiente crítica. Por lo tanto, los resultados obtenidos se deben revisar para determinar su validez, en caso de terraplenes y rellenos.

- i. Con el análisis de distribución de área deslizada por pendiente y los valores de pendiente crítica para cada unidad geológica, se definen intervalos de pendientes con un potencial de inestabilidad asociado. Las pendientes superiores a la crítica para determinado tipo de geología definen zonas de inestabilidad potencial alta y muy alta; mientras que zonas con pendientes inferiores definen zonas con potencial medio y bajo. Los intervalos de pendientes que no presentan área deslizada definen las zonas de potencial muy bajo.
- j. Reclasificación en el SIG del mapa geológico de acuerdo con los intervalos de pendiente obtenidos en el paso anterior, para definir las zonas de inestabilidad en cada unidad y obtener así el mapa final de potencial de inestabilidad por deslizamientos.

La metodología anterior se resume en la figura 2:

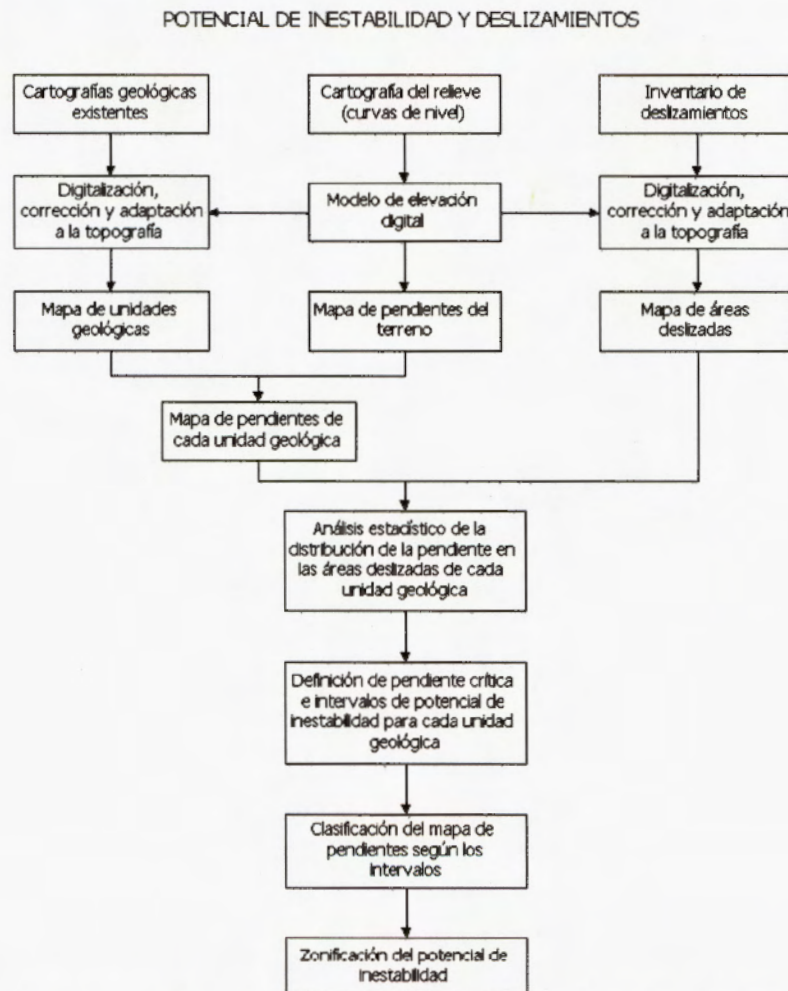


Figura 2: Esquema de la metodología usada para la zonificación de deslizamientos

2.3 Metodología de evaluación de la vulnerabilidad

Para determinar la vulnerabilidad de la carretera ante la amenaza de deslizamientos, y definir preliminarmente los segmentos y obras críticas que requieran inversión para reducirla, se usó el siguiente procedimiento:

- a. División de la carretera en segmentos de igual longitud: esta longitud es definida a partir de la escala de la información cartográfica y el grado de detalle de la evaluación. También se puede usar criterios complementarios tales como características físicas de la vía, el volumen de tránsito y la cercanía de poblaciones
- b. Determinación de la exposición de cada segmento a la amenaza de deslizamientos: la exposición se obtiene a partir de las evaluaciones previas en la zona de estudio. El nivel de amenaza determinado en cada zona se asigna a los segmentos que la atraviesen como indicador de vulnerabilidad potencial
- c. Comprobación de campo de la vulnerabilidad de la infraestructura vial: en la visita al campo se verifica si la carretera presenta condiciones reales de vulnerabilidad ante los deslizamientos, tales como taludes y terraplenes con alturas y pendientes grandes en zonas de inestabilidad potencial alta, y drenajes con capacidad (sección) insuficiente para el paso de caudales altos, o inexistentes del todo. Se determinan a partir de estos indicadores, las condiciones que definen la vulnerabilidad específica de cada segmento
- d. Creación de perfiles de vulnerabilidad: los valores de vulnerabilidad encontrados, se integran a la base de datos del SIG para producir tablas y/o gráficos que representen la variación de la vulnerabilidad segmento por segmento.

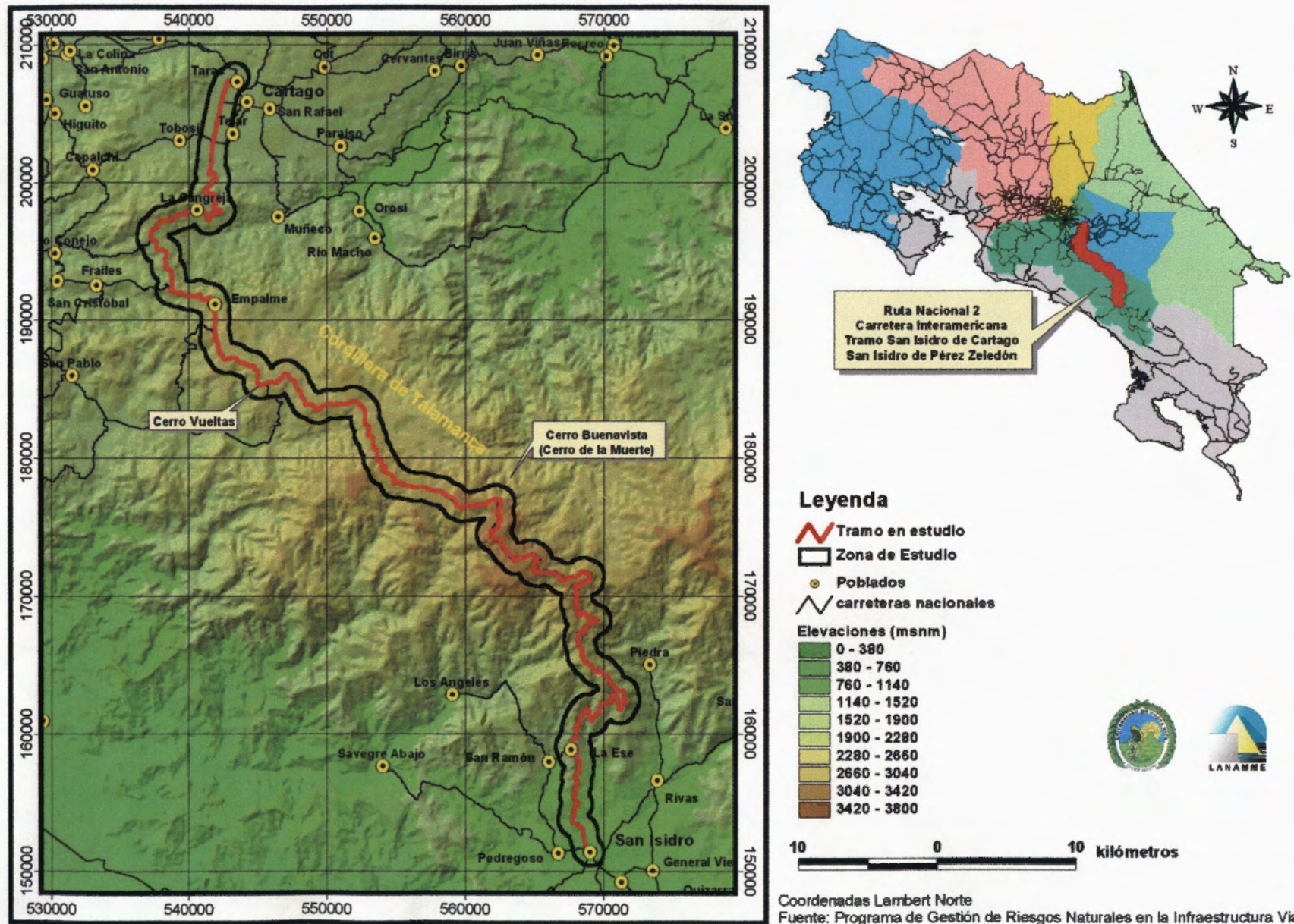
Capítulo III

Características del Corredor Vial y su Área de Influencia

3.1 Zona de Estudio y Características Principales

El tramo de carretera en estudio (en adelante, referido simplemente como *carretera*), es la ruta nacional 2, en una longitud comprendida entre las ciudades de San Isidro del Guarco en Cartago, y San Isidro de Pérez Zeledón (figura 3). Su área de influencia abarca una franja de 1 kilómetro de ancho a cada lado de la carretera, en toda su extensión (aproximadamente 114,4 kilómetros).

Figura 3: Ubicación de la zona de estudio



Geográficamente, la zona de estudio se ubica en la divisoria de aguas entre las vertientes Caribeña y Pacífica, específicamente en la cordillera de Talamanca. La carretera atraviesa elevaciones que van desde los 3330 msnm (Cerro de la Muerte) hasta los 700 msnm (San Isidro de Pérez Zeledón) (figura 4). La topografía es abrupta y de fuertes pendientes, con cañones de ríos con profundidades entre los 100 y los 700 metros, lo cual es indicativo de una joven erosión (G. Leandro y otros, 1983, en Chacón, 2000), y relacionado con la litología de la zona (compuesta por rocas sedimentarias, intrusivas y sedimentos metamorfizados (Chacón, 2000).

La información geológica se obtuvo del mapa escala 1:200,000 de Costa Rica como del proyecto de investigación de Navarro (2004). En la tabla 1 se resumen las unidades geológicas ilustradas en la figura 5:

Tabla 1: Unidades Geológicas de la zona de estudio

Símbolo	Descripción
Qac	Depósitos aluviales y coluviales
Qc	Depósitos laháricos, denominado Coluvio de Cartago
Qfl	Depósitos fluviolacustres
Qir	Miembro superior de coladas de lava
Qm	Depósitos laháricos del período 1963 – 1965
Qq	Depósitos laháricos, denominado Abanico de Quircot
Ta	Formación Aguacate, unidades volcánica, sedimentaria e intrusiva
Tc	Formación Coris (areniscas)
Ti	Intrusivos ácidos de la cordillera de Talamanca
Ti	Unidad Intrusiva
Tm	Unidad Metamórfica
Tmi	Intrusivos del Grupo Comagmático de Talamanca
Tpq	Formación Curre (sedimentaria)
Ts	Formación General (depósitos aluviales y coluviales)
Tt	Formación Terra (lutitas, limolitas y areniscas)
Tv	Unidad Volcánica

Fuente: los autores

El patrón de drenaje de la zona está dominado por estructuras como fallas, diaclasas, planos de estratificación y zonas de alteración hidrotermal, por lo que se observan largos trechos rectilíneos y patrones subangulares (G. Leandro y otros, 1983, en Chacón, 2000).

Figura 4: Elevaciones Ruta Nacional 2 Carretera Interamericana Sur
Tramo San Isidro de Cartago - San Isidro de Pérez Zeledón

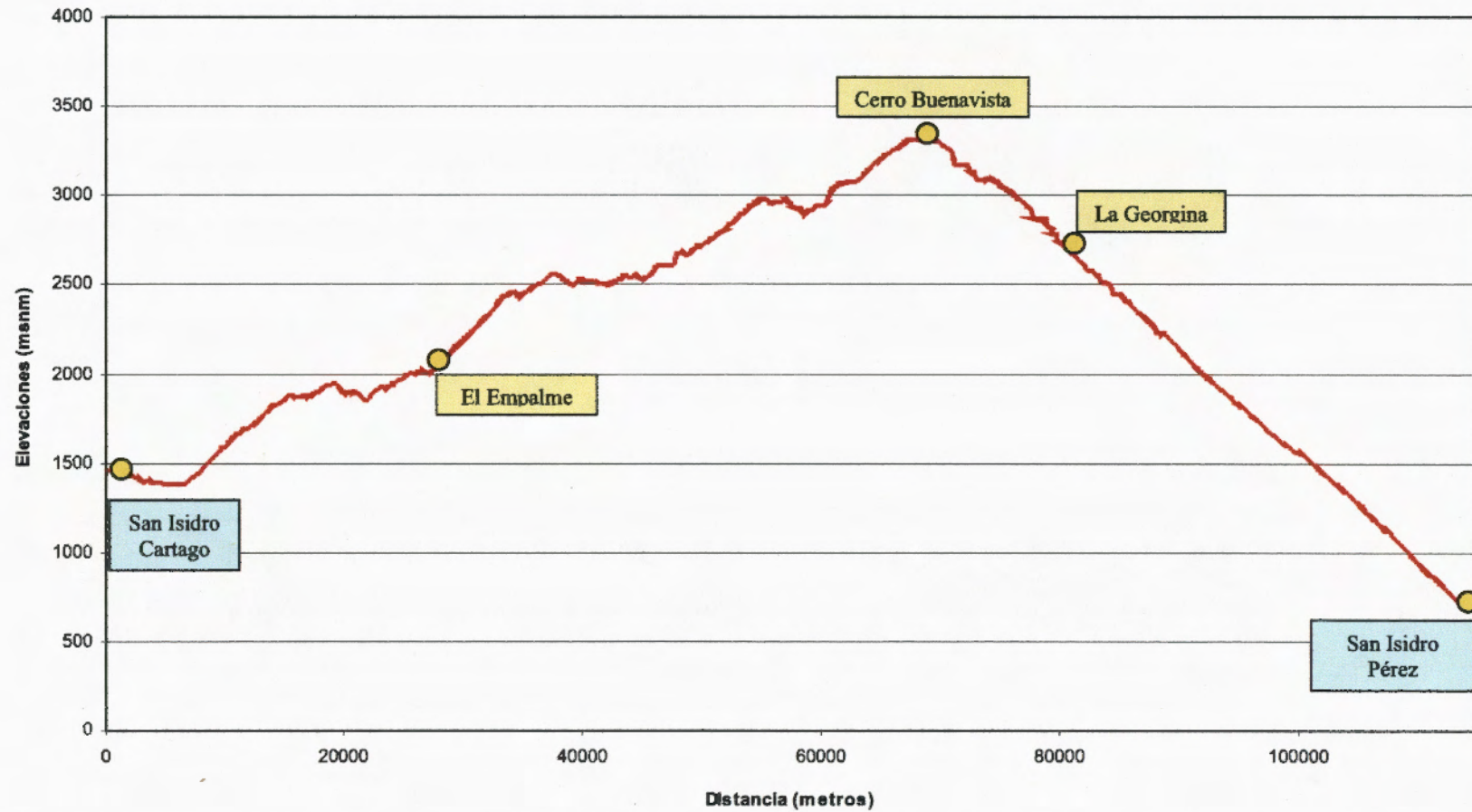
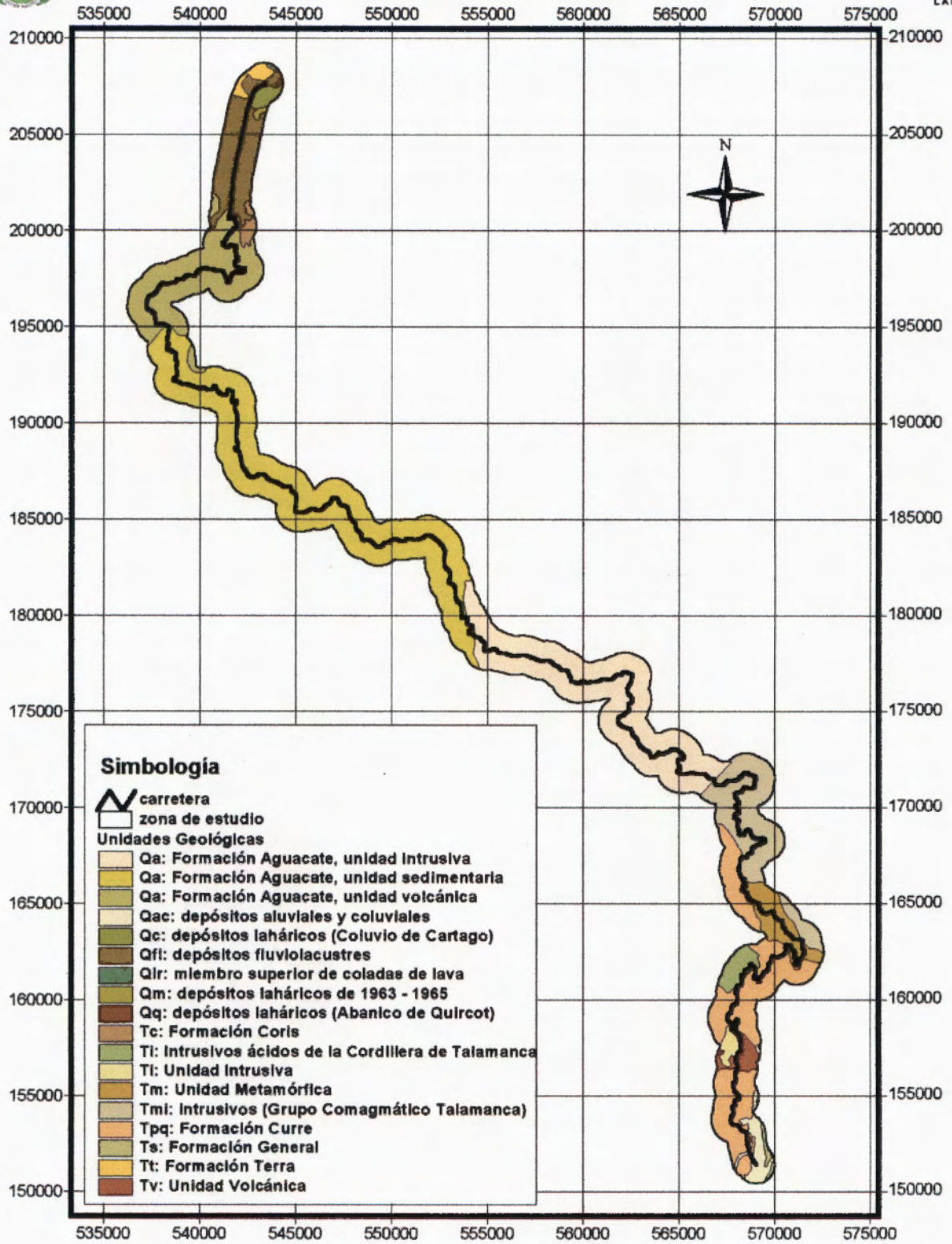




Figura 5: Geología de la zona de estudio



Coordenadas Lambert Norte
Fuente: Atlas Geológico de Costa Rica, escala 1:200.000
Programa de Gestión de Riesgos Naturales en la Infraestructura Vial

5 0 5 kilómetros

3.2 Infraestructura y Estado Actual

Pese a que la carretera presenta un diseño geométrico aceptable (sin pendientes excesivas ni curvas cerradas), no se contemplaron aspectos geológicos en la realización de cortes. Por ejemplo, muchos de éstos favorecen los deslizamientos al dejar expuestos planos débiles de roca inclinados hacia la carretera (Chacón, 2000). Además, al permitirse que el agua drene libremente sobre los taludes, se acelera el proceso de erosión y se facilita también el desplazamiento del suelo; lo que es ayudado por la falta de mantenimiento de los drenajes laterales y alcantarillas

En cuanto a la superficie de rodamiento, el estudio de IRI efectuado por el LANAMME en el año 2002 determina que el 18,1% de la longitud de este tramo se encuentra en buen estado, 47,8% en regular estado y el restante 34,1% en malas condiciones, lo que determina falta de mantenimiento, el cual se realiza únicamente cuando el problema es tal que se da una interrupción del tránsito.

3.3 Cortes en taludes y terraplenes

Al estar ubicada la carretera en zona montañosa, son frecuentes los cortes en terrenos con altas pendientes, construidos sin un control geotécnico, y que superan en muchos casos los 10 metros de altura (Figura 6). En época lluviosa, al saturarse el terreno, estos taludes pierden su estabilidad, ocasionando deslizamientos que han afectado la vía en varias lugares.



Figura 6: ejemplo de talud de más de 10 metros de altura (estacionamiento 11+000)

En cuanto a los terraplenes, la carretera incluye varias secciones de relleno en partes bajas de la topografía montañosa (valles) y en los cruces de agua más importantes. Éstos tienen espesores variables, y los materiales que los conforman no necesariamente son los mismos que los existentes en la zona, por lo que se dificulta predecir su comportamiento (Figura 7). Para analizar el comportamiento de éstos, es necesario realizar evaluaciones de campo en sitios específicos.



Figura 7: Trabajos en terraplén, estacionamiento 27+200 (7 noviembre 2003)

Capítulo IV

Zonificación de la Amenaza por Deslizamientos

4.1 Zonificación de la amenaza por deslizamientos

El inventario de deslizamientos utilizado en este proyecto se tomó de 3 fuentes principales, a saber:

- el utilizado por Chacón (2000), el cual es a su vez una recopilación de distintos inventarios disponibles en ese momento (Aguilar, 1997; Leandro, 1983; recopilaciones de periódicos, más la visita al campo). Es importante indicar que este estudio cubre solamente el tramo La Georgina – San Isidro de Pérez Zeledón.
- Campos (2003), la cual realiza fotointerpretación para obtener los deslizamientos en una zona de estudio que incluye el tramo San Isidro de Cartago – Cerro Vueltas.
- visita al tramo en estudio, realizada a principios de noviembre del año 2003.

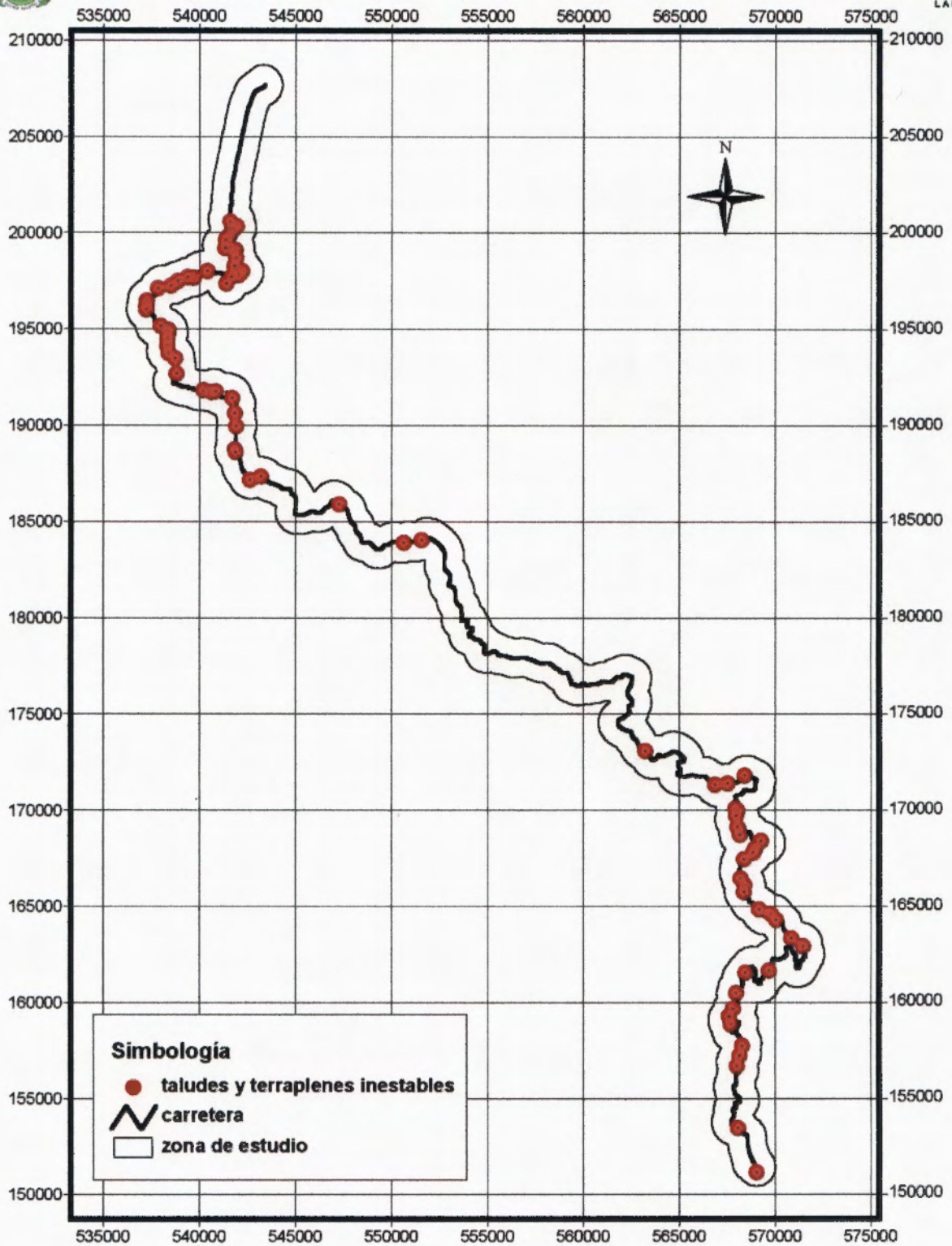
La ubicación de los deslizamientos se muestra en la figura 8.

Una vez localizadas las zonas inestables, se procedió con su digitalización y corrección topográfica en el SIG, utilizando para ello el modelo de elevación digital de la zona de estudio, así como fotografías aéreas. A continuación, se realizó la intersección del mapa de deslizamientos con el mapa geológico, para obtener así las zonas inestables según el tipo de geología. Estas áreas se interceptan a su vez con el mapa de pendientes de la zona de estudio (figura 9). Así, se obtiene una caracterización completa de las áreas inestables tanto por unidad geológica como por rangos de pendiente.

Para cada una de las unidades geológicas, se elabora un gráfico que muestre el área deslizada contra la pendiente (que para este estudio se dividió en intervalos cada 5°, y agrupando las pendientes entre los 45° y 90° en un solo grupo). La pendiente crítica corresponderá entonces con el rango que muestre el mayor área deslizada; pendientes mayores que la pendiente crítica corresponderán con zonas de inestabilidad potencial alta y muy alta, mientras que pendientes menores a dicho valor definirán zonas con potencial medio y bajo (ver Anexo I).



Figura 8: Ubicación de los principales problemas de inestabilidad en la zona de estudio

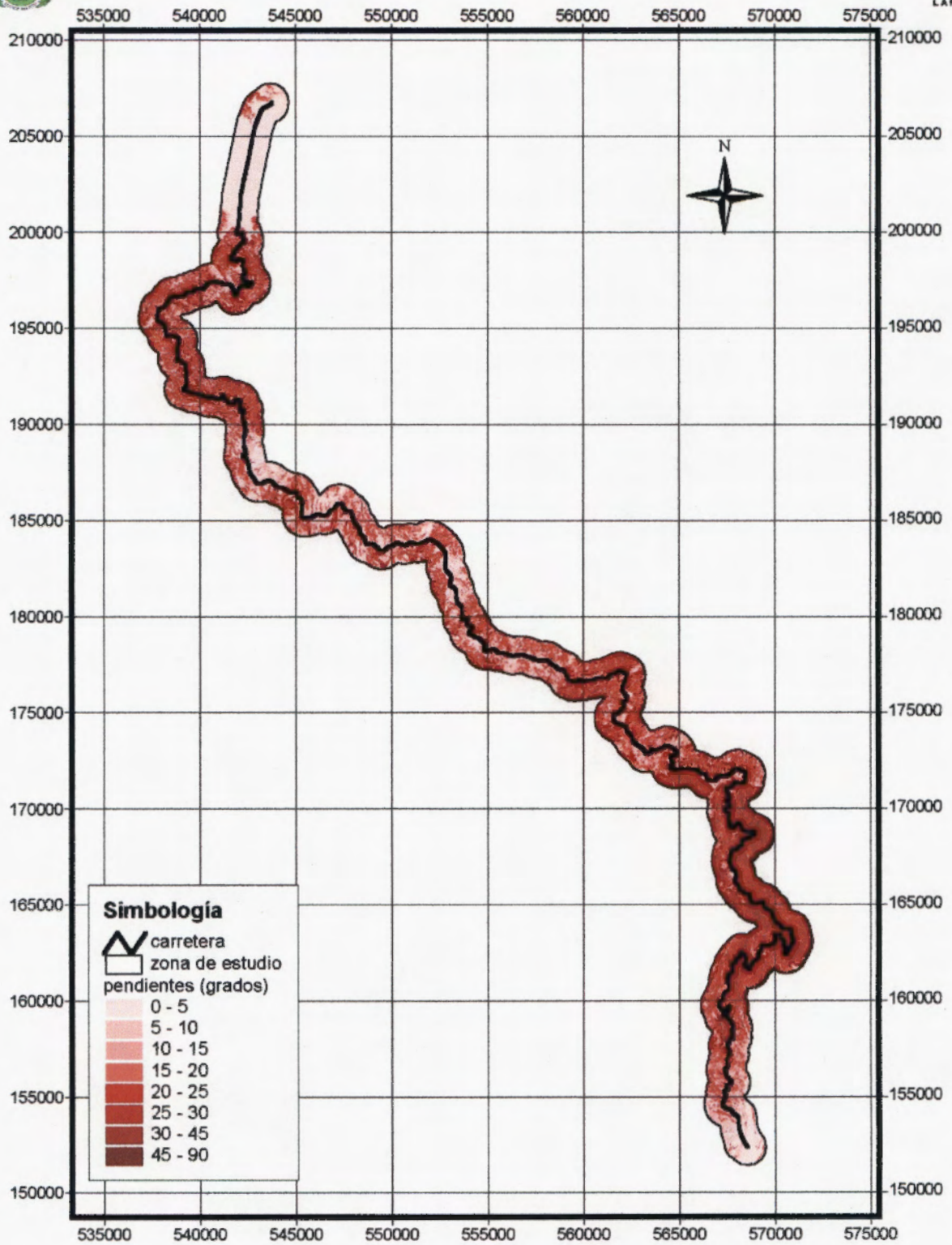


Coordenadas Lambert Norte
Fuente: Programa de Gestión de Riesgos Naturales en la Infraestructura Vial

5 0 5 kilómetros



Figura 9: Mapa de pendientes en la zona de estudio



Coordenadas Lambert Norte
Fuente: Programa de Gestión de Riesgos Naturales en la Infraestructura Vial

5 0 5 kilómetros

La Tabla 2 resume los resultados obtenidos para la zona de estudio; en el Anexo 1 se ilustran los gráficos usados para obtener los valores de pendiente crítica

Tabla 2: Geología, pendientes y susceptibilidad a deslizamientos

Geología	Amenaza	Rango Pendientes
Ta Grupo Aguacate	Baja	0° – 17°
	Moderada	17° – 27°
	Alta	27° – 90°
Tpq Formación Curre	Baja	0° – 24°
	Moderada	24° – 35°
	Alta	35° – 90°
Ti Unidad Intrusiva	Baja	0° – 30°
	Moderada	30° – 40°
	Alta	40° – 90°
Tm Unidad Metamórfica	Baja	0° – 30°
	Moderada	30° – 40°
	Alta	40° – 90°
Otras Unidades	Baja	0° – 30°
	Moderada	30° – 45°
	Alta	45° – 90°

Fuente: los autores

Con estos valores, se reclasificó el mapa de pendientes y geología, obteniéndose el mapa de la Figura 10, el cual se verificó mediante gira al campo.

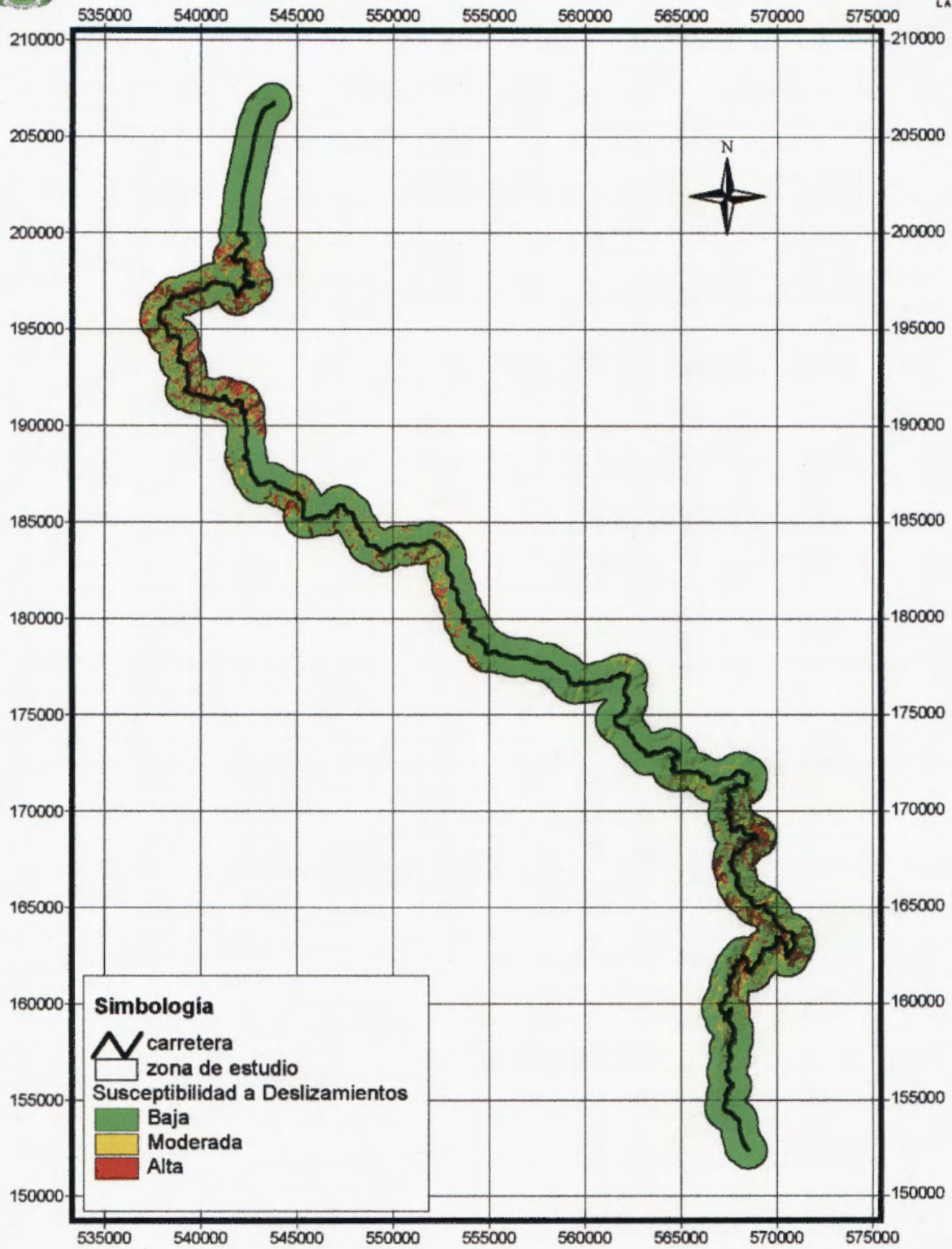
Se identifican por tanto 2 zonas críticas de inestabilidad del terreno:

- La primera corresponde con el tramo San Isidro de Cartago – El Empalme, la cual coincide con lo visto en las giras, con gran cantidad de deslizamientos activos sobre la carretera (figura 11).
- La segunda se encuentra entre La Georgina – San Isidro de Pérez Zeledón, que presenta las pendientes más altas de la carretera en estudio, debido a que desciende 2300 metros en aproximadamente 40 kilómetros, y que presenta los deslizamientos activos más grandes sobre la carretera (figura 12).

De los 114,4 kilómetros estudiados, el 15% (16,8 km) se encuentran, según esta metodología, en zonas de susceptibilidad alta; 30% (34,2 km) en zonas de susceptibilidad media y el restante 55% (63,4 km) en zonas con susceptibilidad baja a inestabilidad.



Figura 10: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos



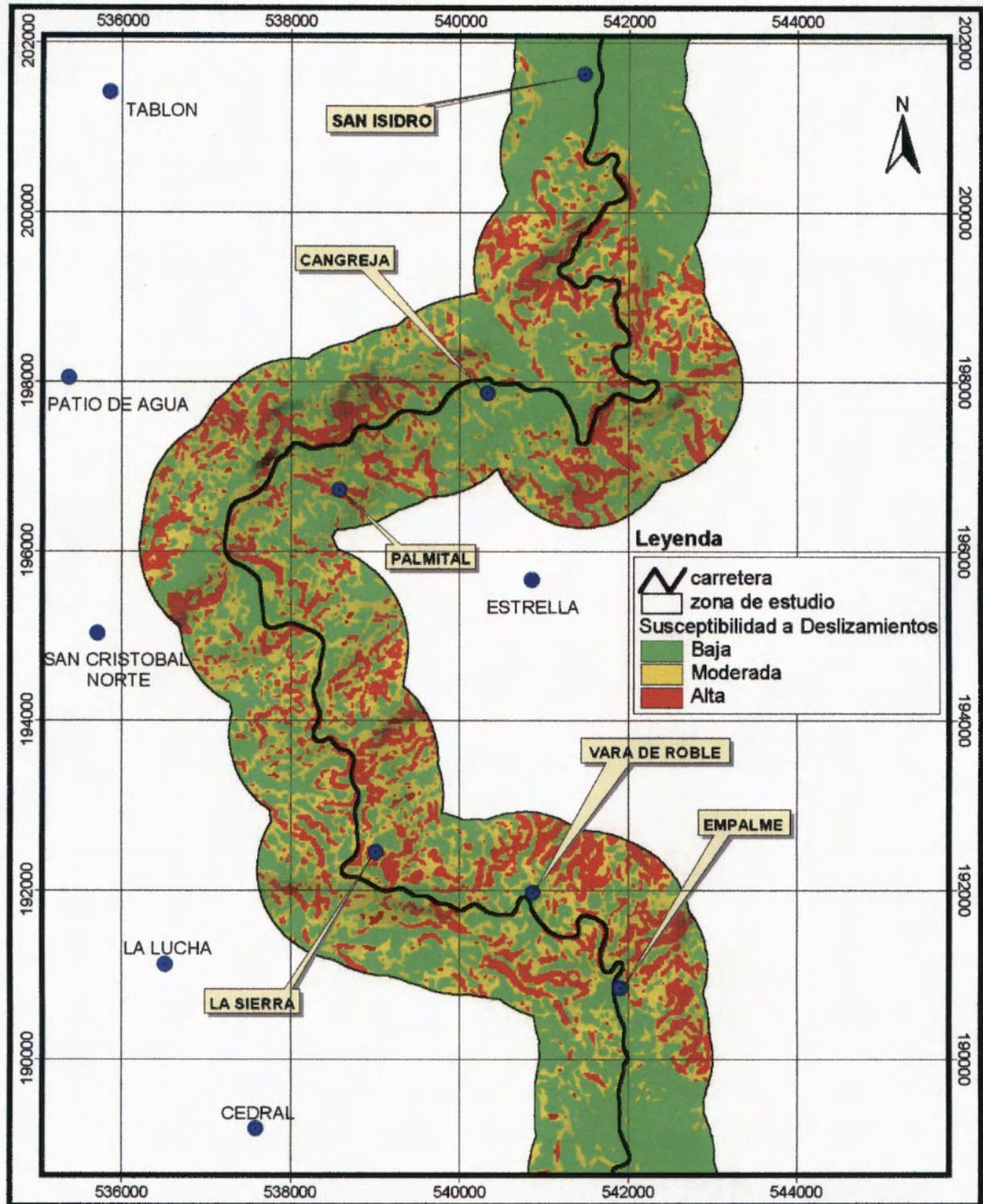
Coordenadas Lambert Norte

Fuente: Programa de Gestión de Riesgos Naturales en la Infraestructura Vial

5 0 5 kilómetros



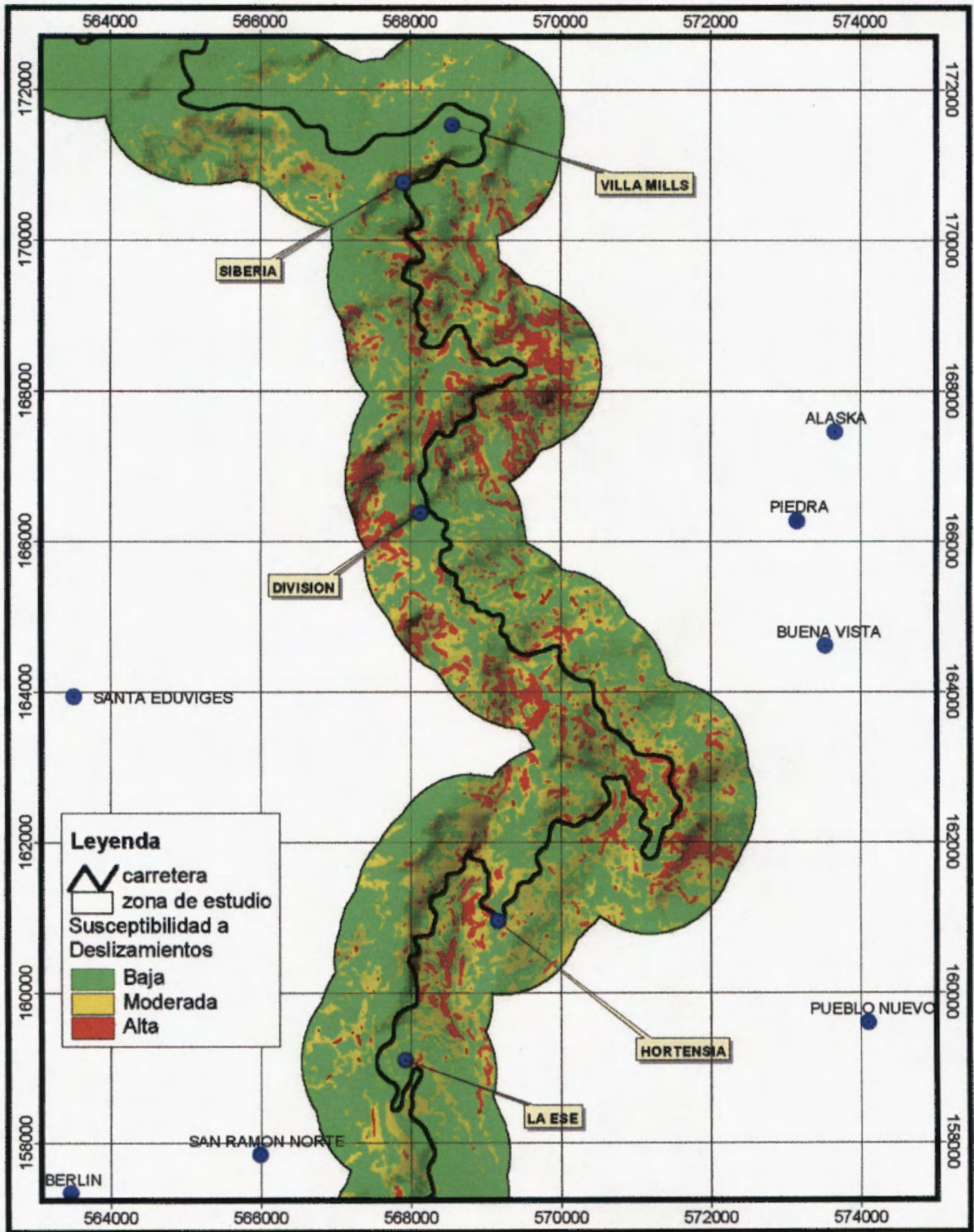
Figura 10 (continuación): Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos, zona entre San Isidro de Cartago y El Empalme



Coordenadas Lambert Norte
Fuente: Programa de Gestión de Riesgos Naturales en la Infraestructura Vial



Figura 10 (continuación): Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos, zona entre La Georgina y San Isidro de Pérez Zeledón



Coordenadas Lambert Norte
Fuente: Programa de Gestión de Riesgos Naturales en la Infraestructura Vial

En el **Anexo 2** se ilustran algunos de los deslizamientos que afectan la carretera, imágenes tomadas a finales del año 2003.



Figura 11: Zona de inestabilidad entre San Isidro de Cartago y El Empalme. En la imagen de la izquierda, talud inestable de más de 10 metros de altura (estacionamiento 12+860); a la derecha, trabajos de reconstrucción del terraplén debido a mal manejo de aguas (estacionamiento 15+400) (noviembre 2003).



Figura 12: Zona de inestabilidad entre La Georgina y San Isidro de Pérez Zeledón. A la izquierda, falla del terraplén (estacionamiento 80+200); a la derecha, talud inestable con aproximadamente 15 metros de altura, el cual presenta deslizamiento reciente de materiales hacia la carretera (estacionamiento 85+720) (noviembre 2003).

Capítulo V

Vulnerabilidad de la infraestructura vial antes las amenazas identificadas

5.1 Vulnerabilidad de los taludes

La vulnerabilidad de una carretera ante deslizamientos depende principalmente de la estabilidad de los taludes de corte, y de los terraplenes (rellenos). La estabilidad de éstos depende de la relación entre el ángulo o pendiente existente, y el valor máximo que puede soportar cada tipo de material en sitio (conocido como ángulo crítico). La metodología de zonificación de deslizamientos usada, permitió identificar el ángulo crítico para cada unidad geológica, y al comparar éstas con el mapa de pendientes digital se definieron zonas con distintos niveles de potencial a inestabilidad. Posteriormente, esta zonificación se comprobó mediante giras a campo, para determinar la vulnerabilidad real de la carretera.

La conclusión que se derivó de estas giras es que taludes dentro de zonas de susceptibilidad alta, y que **presentan alturas mayores de 10 metros**, son los que representan una mayor amenaza para la carretera, debido al potencial que tienen para obstruirla completamente. Taludes potencialmente inestables y con alturas menores, solo pueden obstruir un carril, por lo que la amenaza para la carretera es menor (figura 13).

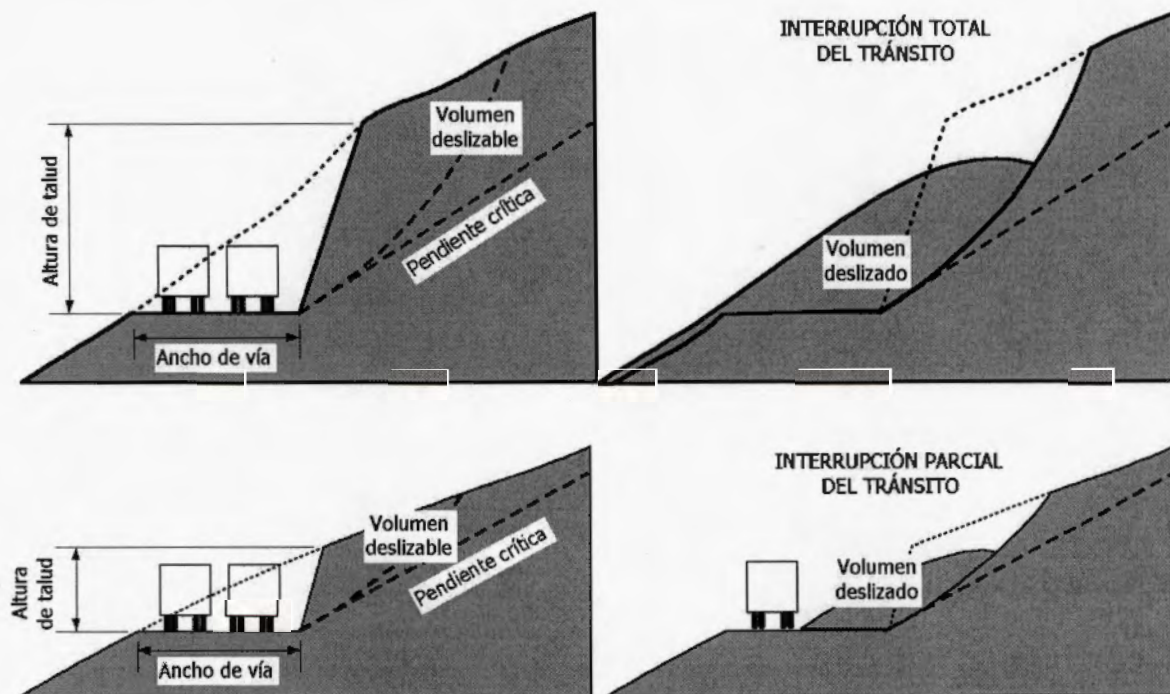


Figura 13: Relación entre inestabilidad de la ladera, altura del talud y vulnerabilidad de la vía

La pendiente original del terreno condiciona la altura del corte realizado, mientras que la vulnerabilidad de la carretera es función directa de la altura de dicho corte, siempre que la pendiente resultante sea mayor que la crítica. Las giras realizadas al sitio permitió comprobar la validez de la zonificación; la evaluación resultante de la vulnerabilidad de la carretera se presentará en los perfiles de vulnerabilidad.

5.2 Vulnerabilidad de los terraplenes

La estabilidad de los terraplenes depende en gran parte de la calidad de su construcción y del tipo de material del cual está hecho, y que no siempre es el mismo existente en la zona. Influyen además factores como la estabilidad del terreno natural, el estado y calidad del talud y los drenajes, y la compactación del material del relleno.

La falla de un terraplén se puede producir cuando se localiza en un paso de aguas, y tomando en cuenta los factores que determinan su vulnerabilidad antes avenidas y flujos de lodo, así como a la socavación misma por el flujo de aguas cerca de su pie.

Debido a la dificultad que representa el ubicar terraplenes con topografía digital, la evaluación de la vulnerabilidad de éstos se limita a ubicar en campo aquellos que representen problemas a la carretera. En todos ellos es evidente la falta de mantenimiento y de utilización de técnicas de protección contra los efectos erosivos, habiendo 2 principales que han necesitado de la reconstitución del mismo, ubicados específicamente en los estacionamientos 15+400 (ver figura 11) y 27+200 (ver figura 7).

5.3 Perfiles de Vulnerabilidad

Debido a la escala básica utilizada de la información digital (1:25,000) y a la longitud de la carretera en estudio, la misma se dividió en segmentos de 200 metros de longitud. Este tamaño conlleva una pérdida de detalle necesario para el diseño de obras específicas; por lo tanto, este proyecto identifica las obras por tipo, dando recomendaciones en forma preliminar.

Una vez dividido el trazado en segmentos, se procede a reunir la información sobre amenaza y vulnerabilidad en cada uno. Al organizar esta información de esta manera, se posible identificar zonas prioritarias para la inversión en obras destinadas a reducir la vulnerabilidad.

Para generar el perfil de vulnerabilidad de la carretera, es necesario clasificar las amenazas en una escala de intensidad o severidad relativa, intrínseca a cada fenómeno, y que ayudan a la percepción de su magnitud (ver Tabla 3)

Tabla 3: Niveles cualitativos de severidad de amenazas naturales, y equivalencias numéricas para la zonificación aplicada a la infraestructura vial

Tipo de escala	Nivel de intensidad o severidad				
Cualitativa	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Cromática	Blanco	Verde	Amarillo	Naranja	Rojo
Numérica (0 a 10)	1 – 2	3 – 4	5 – 6	7 – 8	9 – 10
Porcentual	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100

A continuación se presenta de forma gráfica el resultado de la evaluación de la vulnerabilidad de la carretera¹ a las amenazas naturales estudiadas; en la Tabla 4 se detallan los tramos críticos encontrados en este perfil.

¹ El kilometraje mostrado corresponde con el kilometraje real de la carretera

Figura 14: Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur
kilómetros 19 - 25

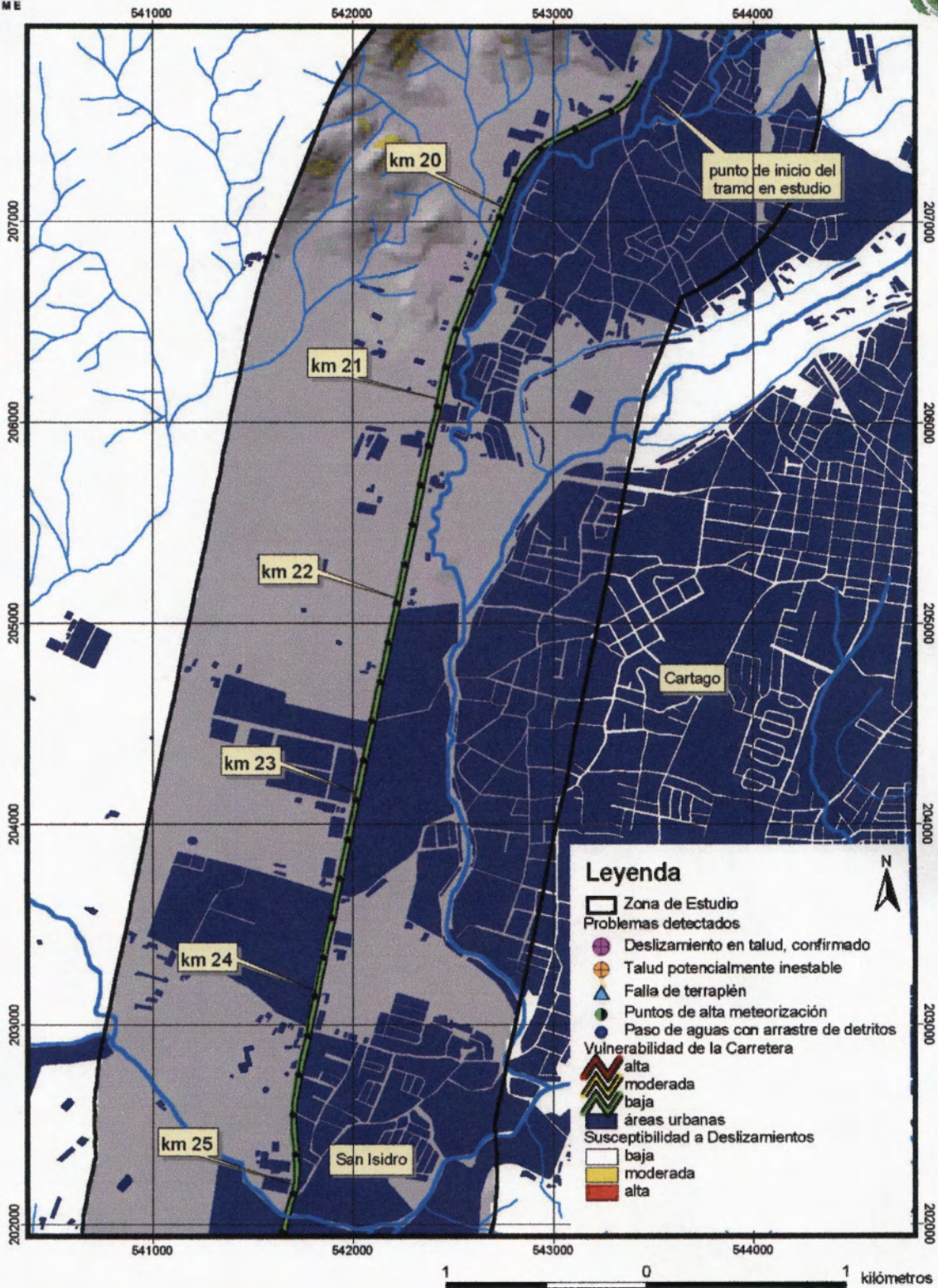




Figura 14 (continuación): Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur, kilómetros 26 - 36

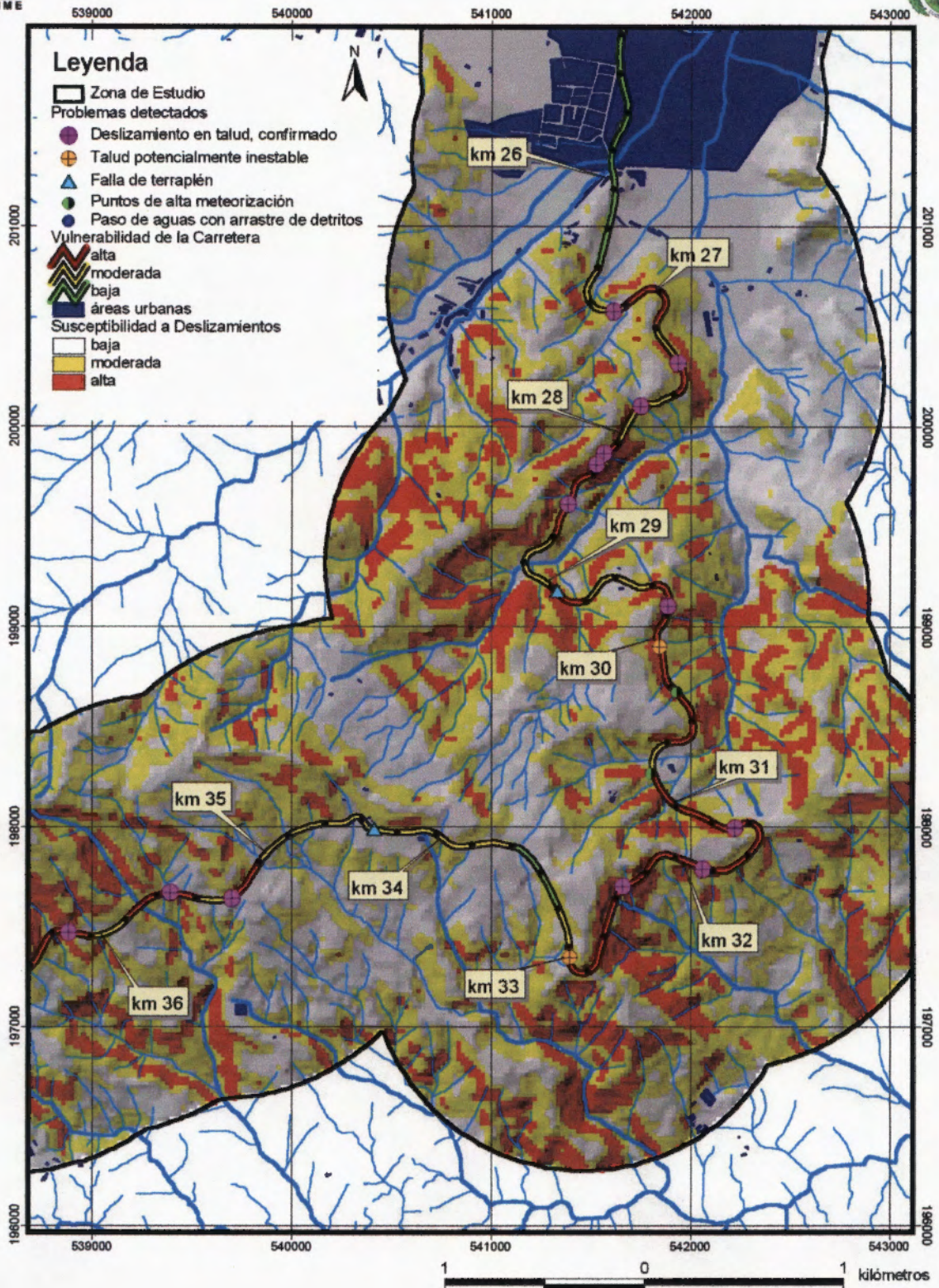




Figura 14 (continuación): Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur, kilómetros 36 - 46

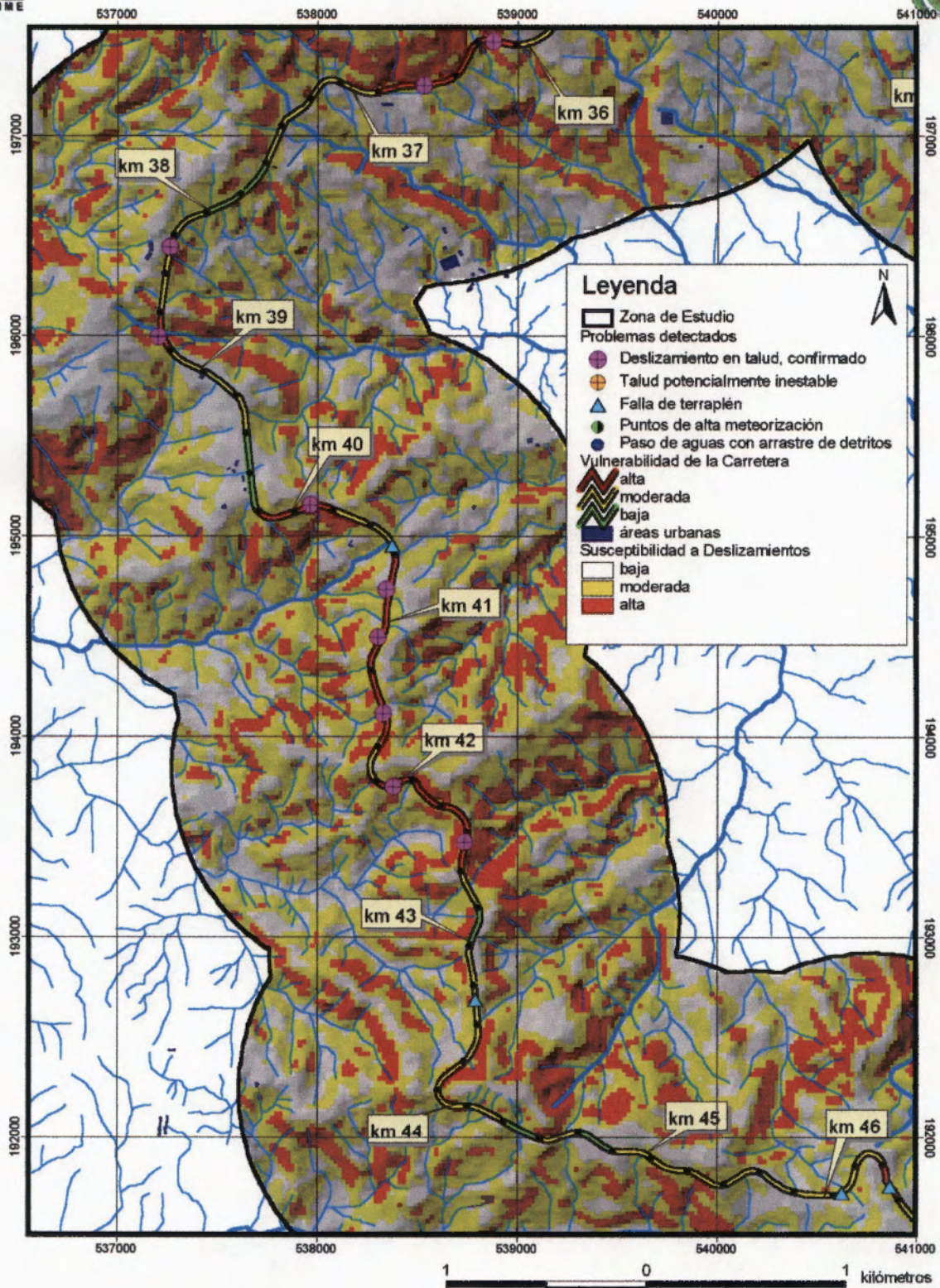




Figura 14 (continuación): Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur, kilómetros 46 - 55

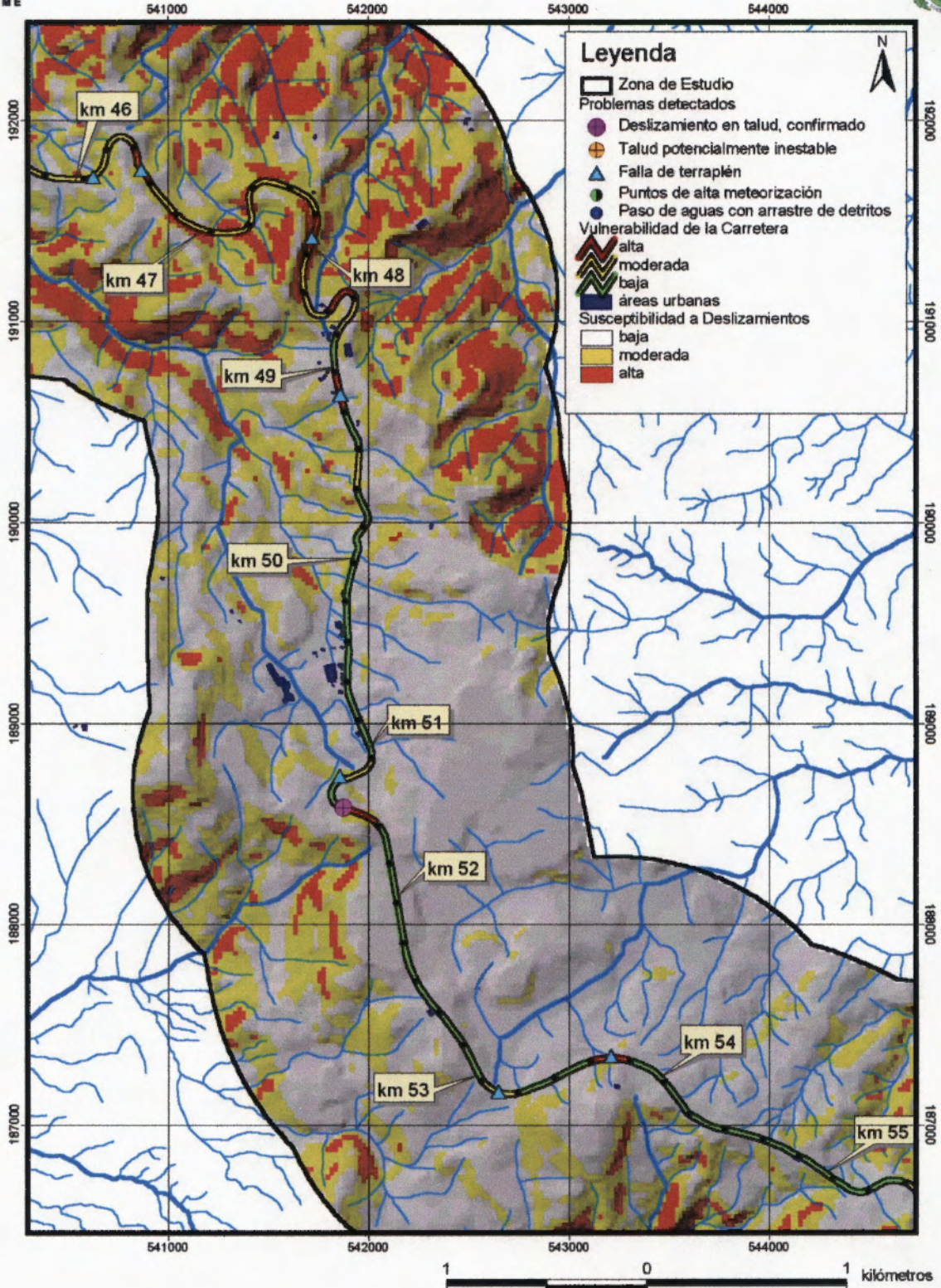




Figura 14 (continuación): Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur, kilómetros 55 - 66

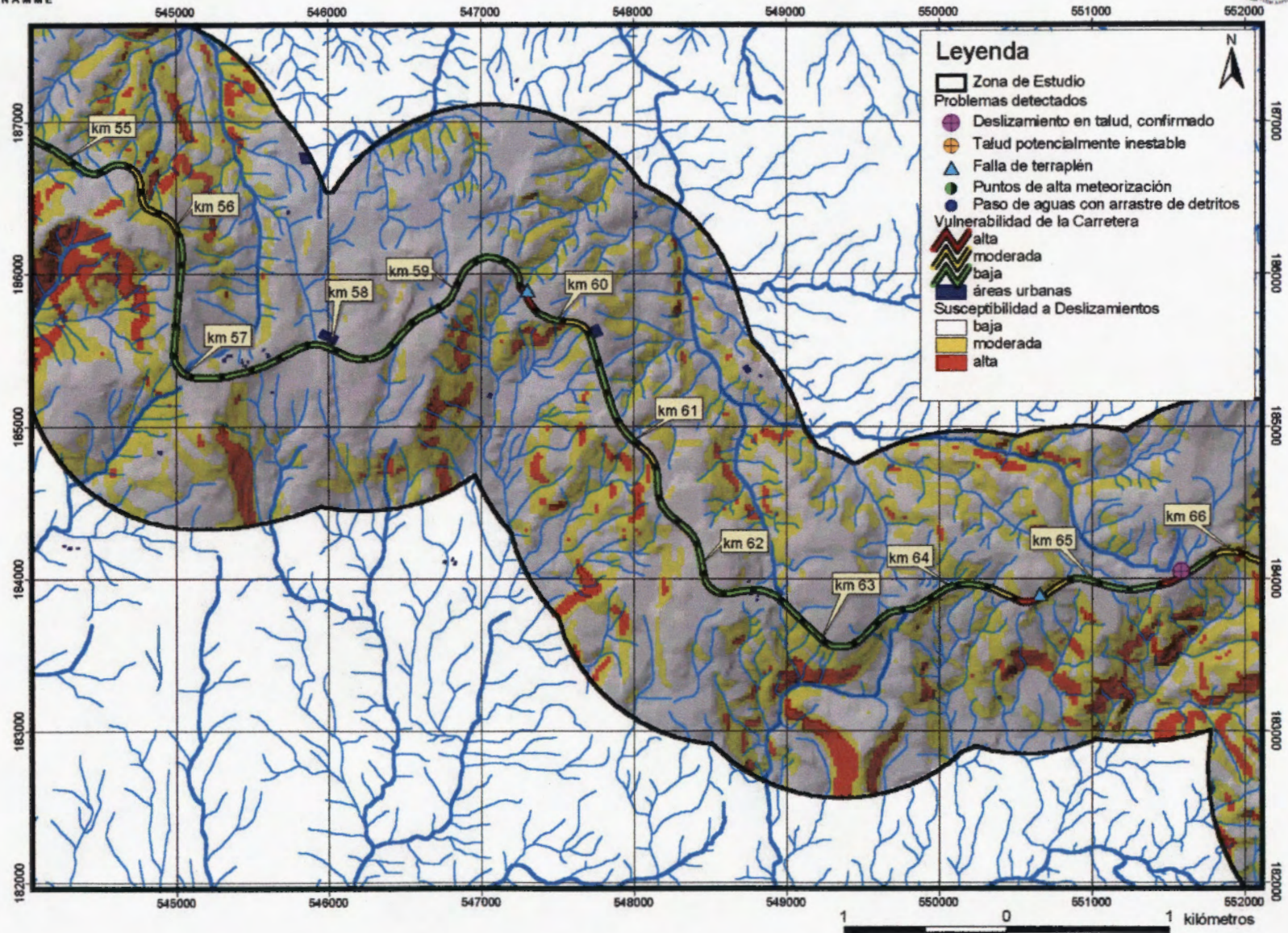




Figura 14 (continuación): Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur, kilómetros 66 - 73

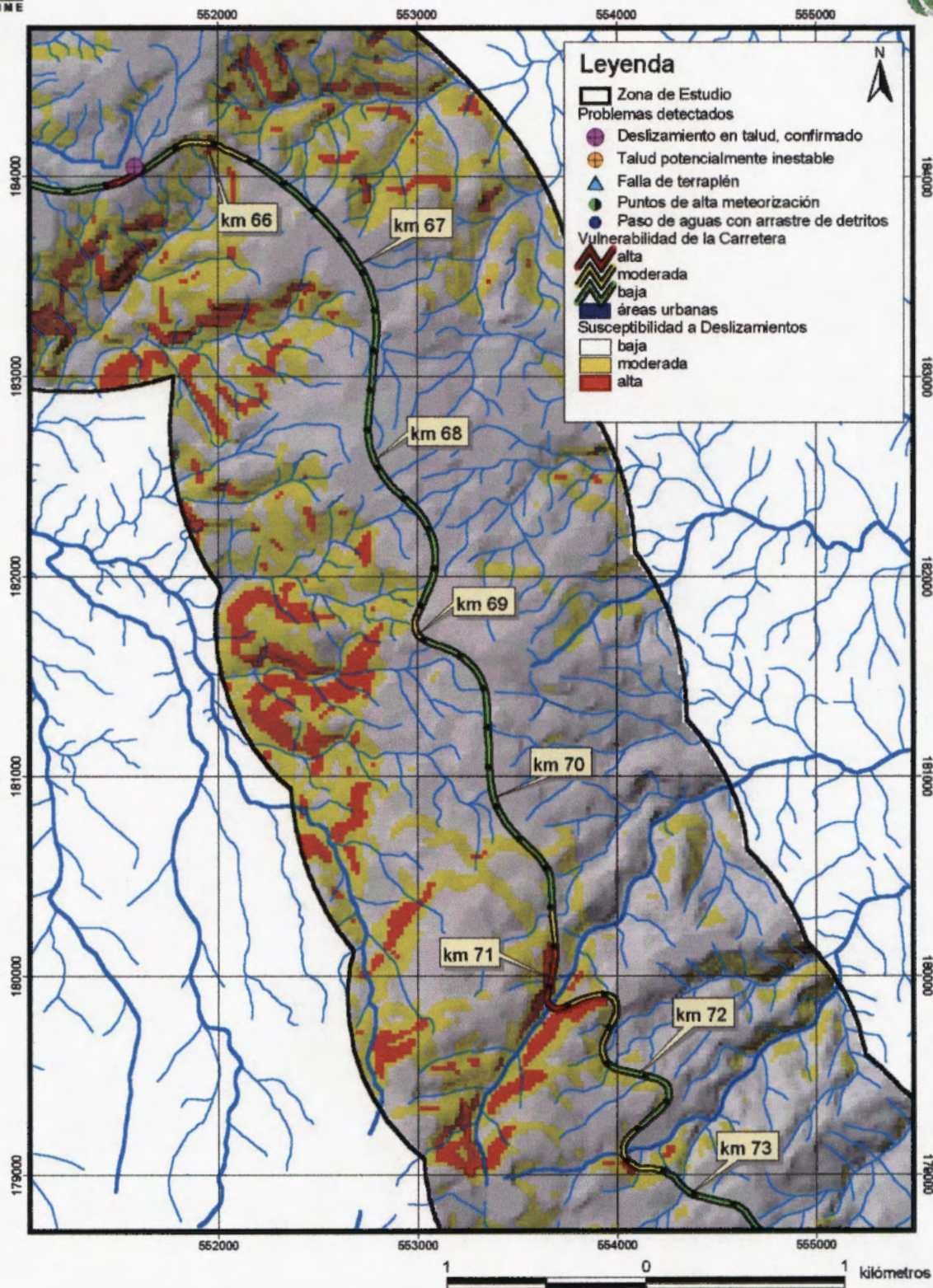




Figura 14 (continuación): Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur, kilómetros 73 - 82

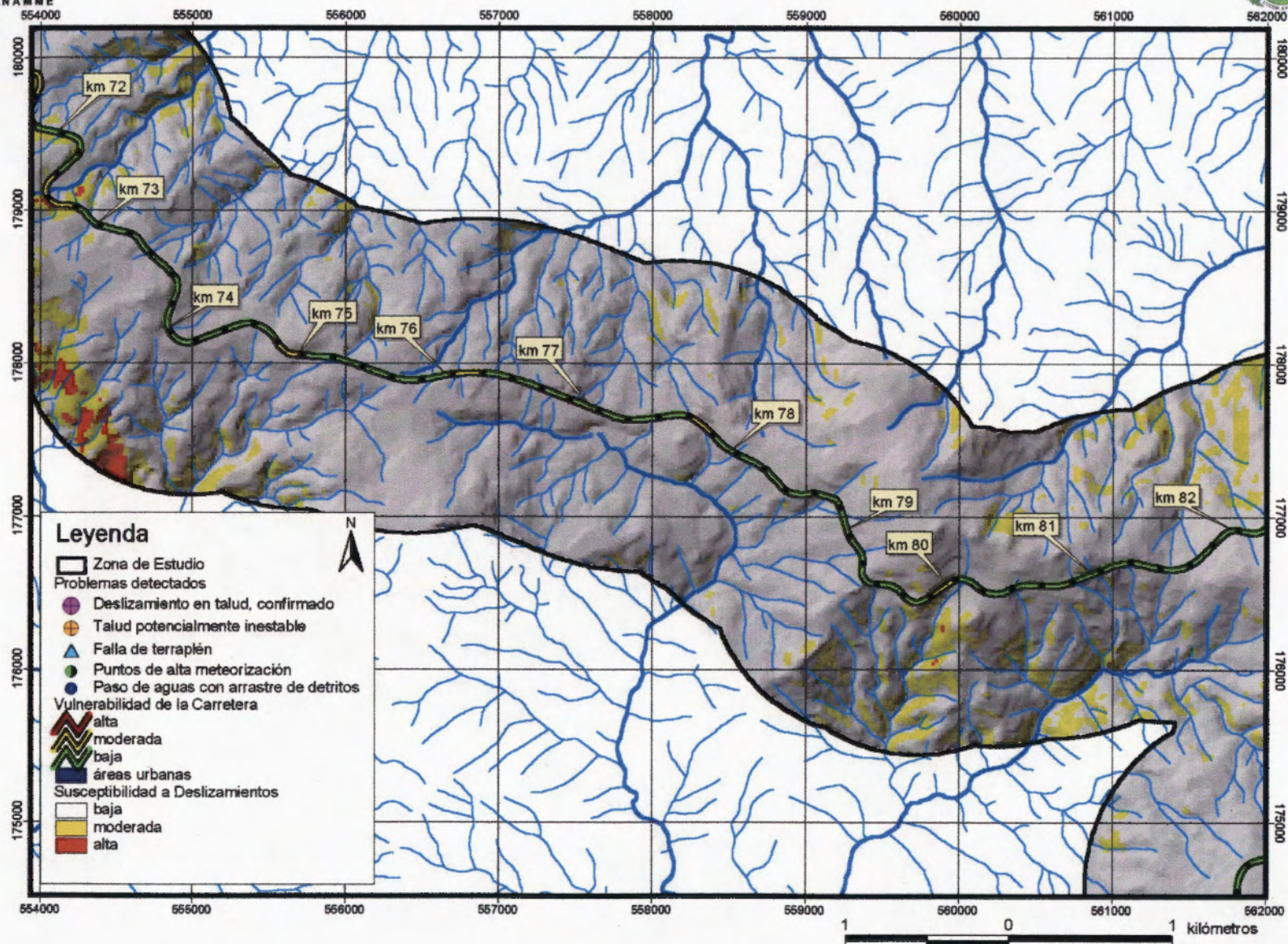




Figura 14 (continuación): Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur, kilómetros 82 - 91

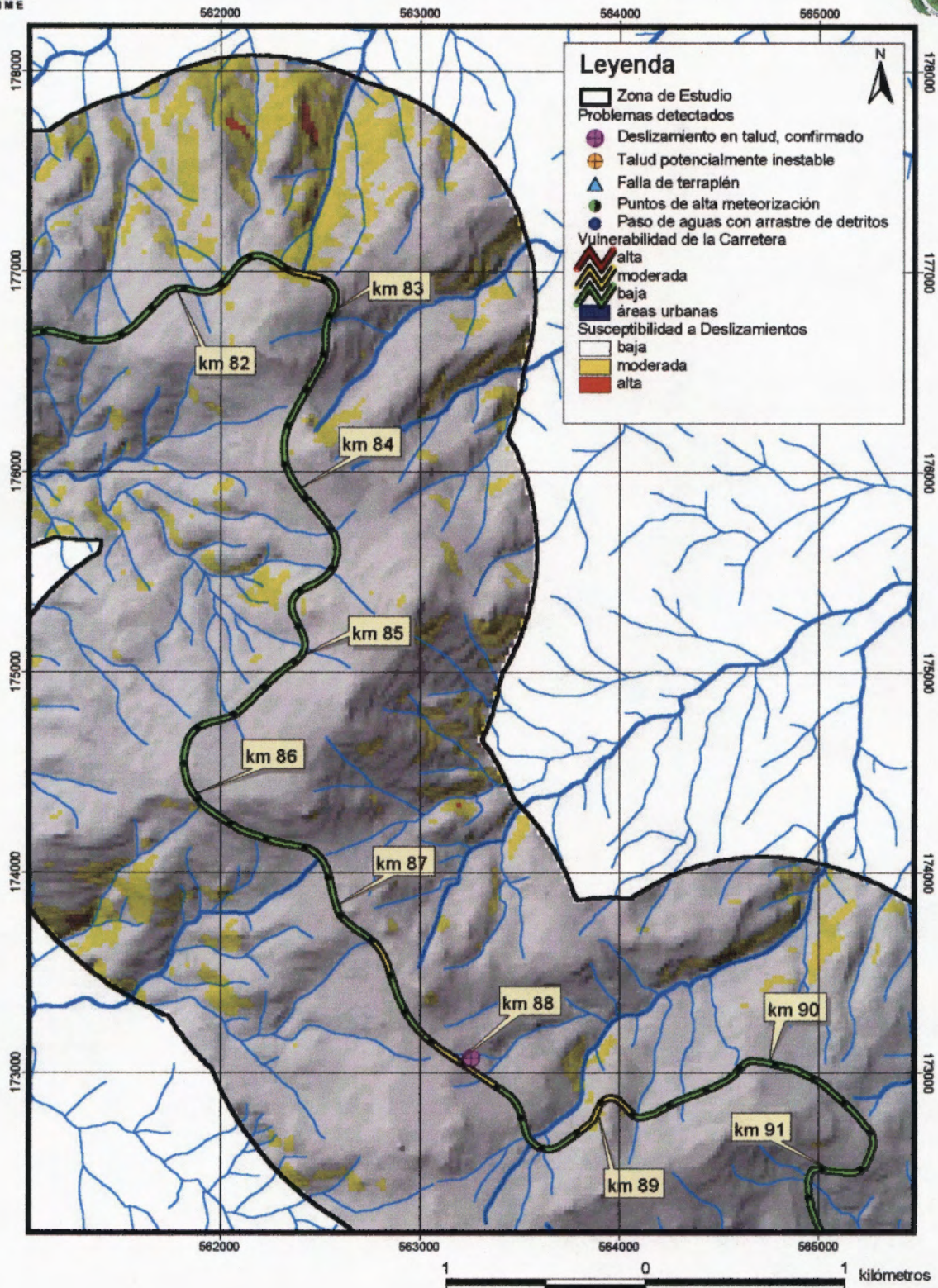




Figura 14 (continuación): Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur, kilómetros 91 - 104

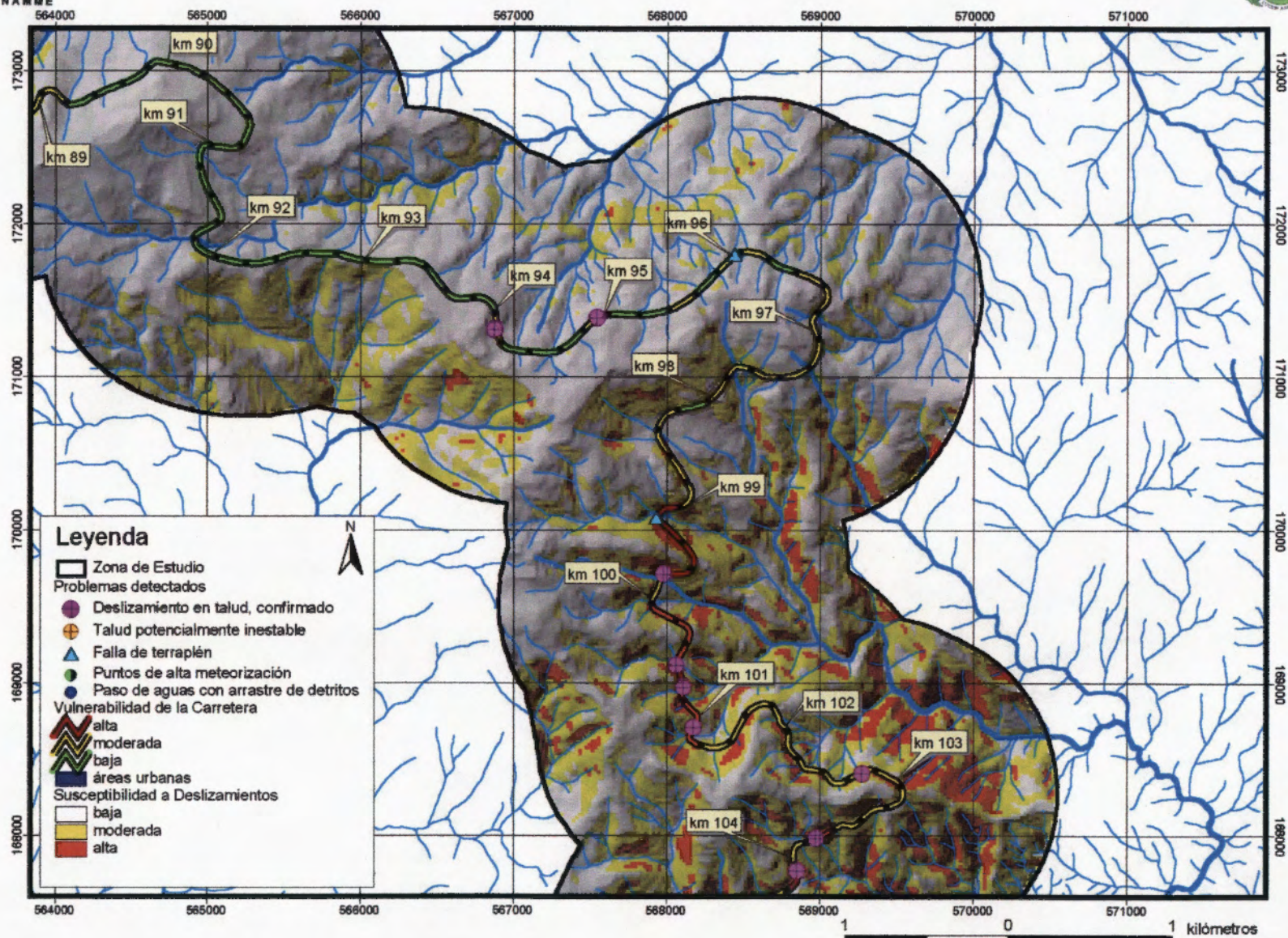




Figura 14 (continuación): Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur, kilómetros 104 - 112

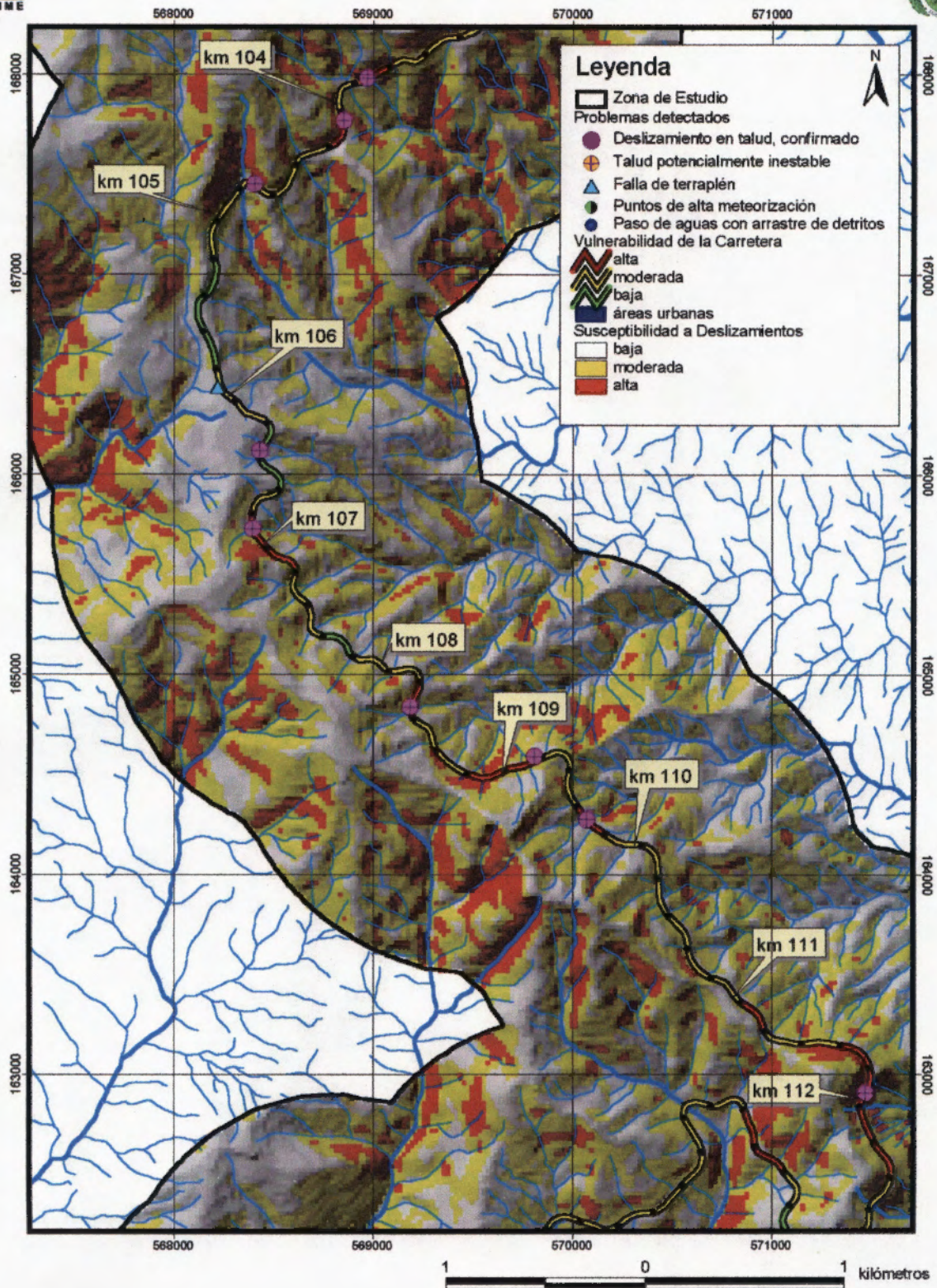




Figura 14 (continuación): Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur, kilómetros 112 - 126

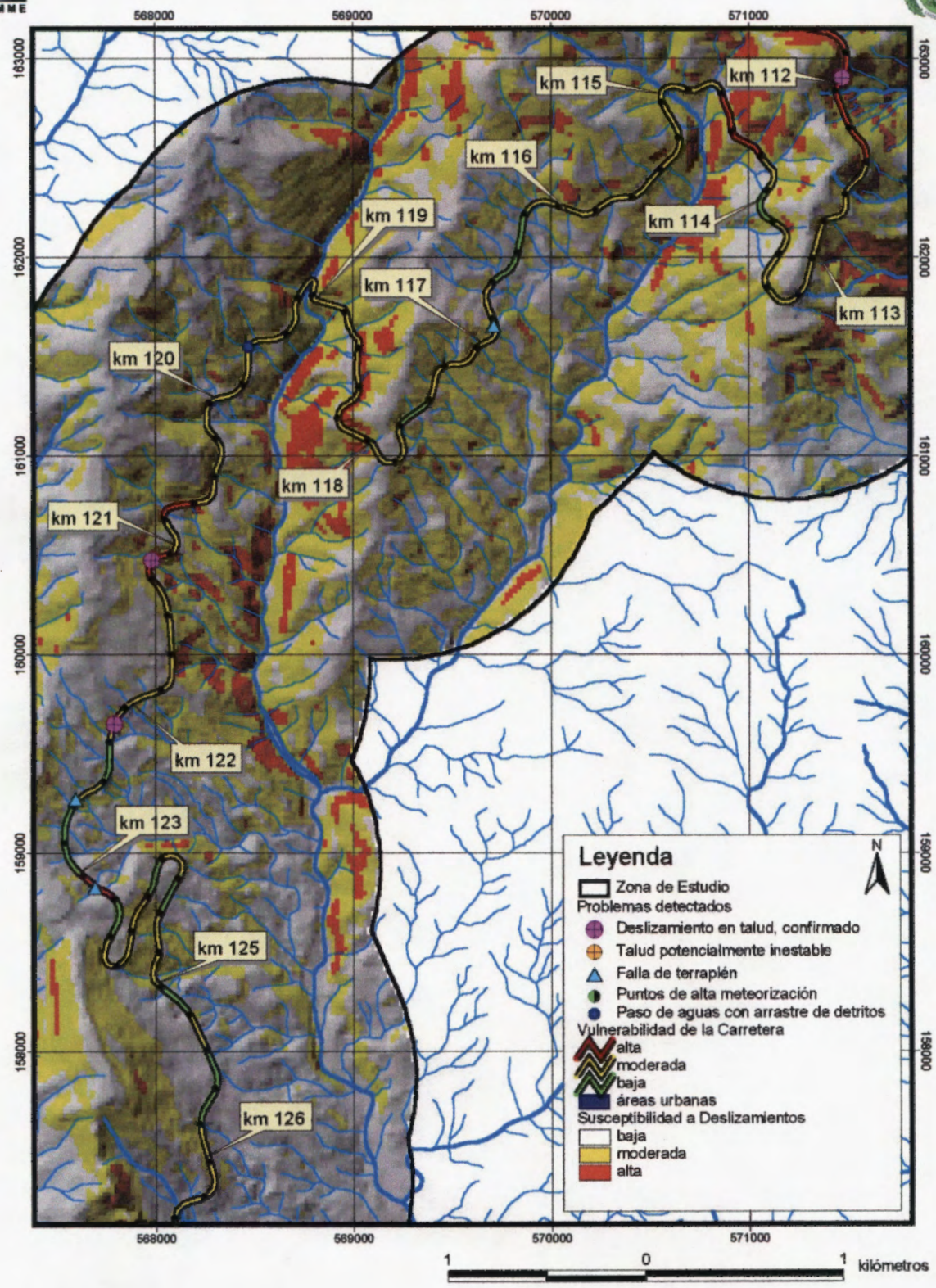




Figura 14 (continuación): Perfil de Vulnerabilidad Final, Carretera Interamericana Sur, kilómetros 126 - 133

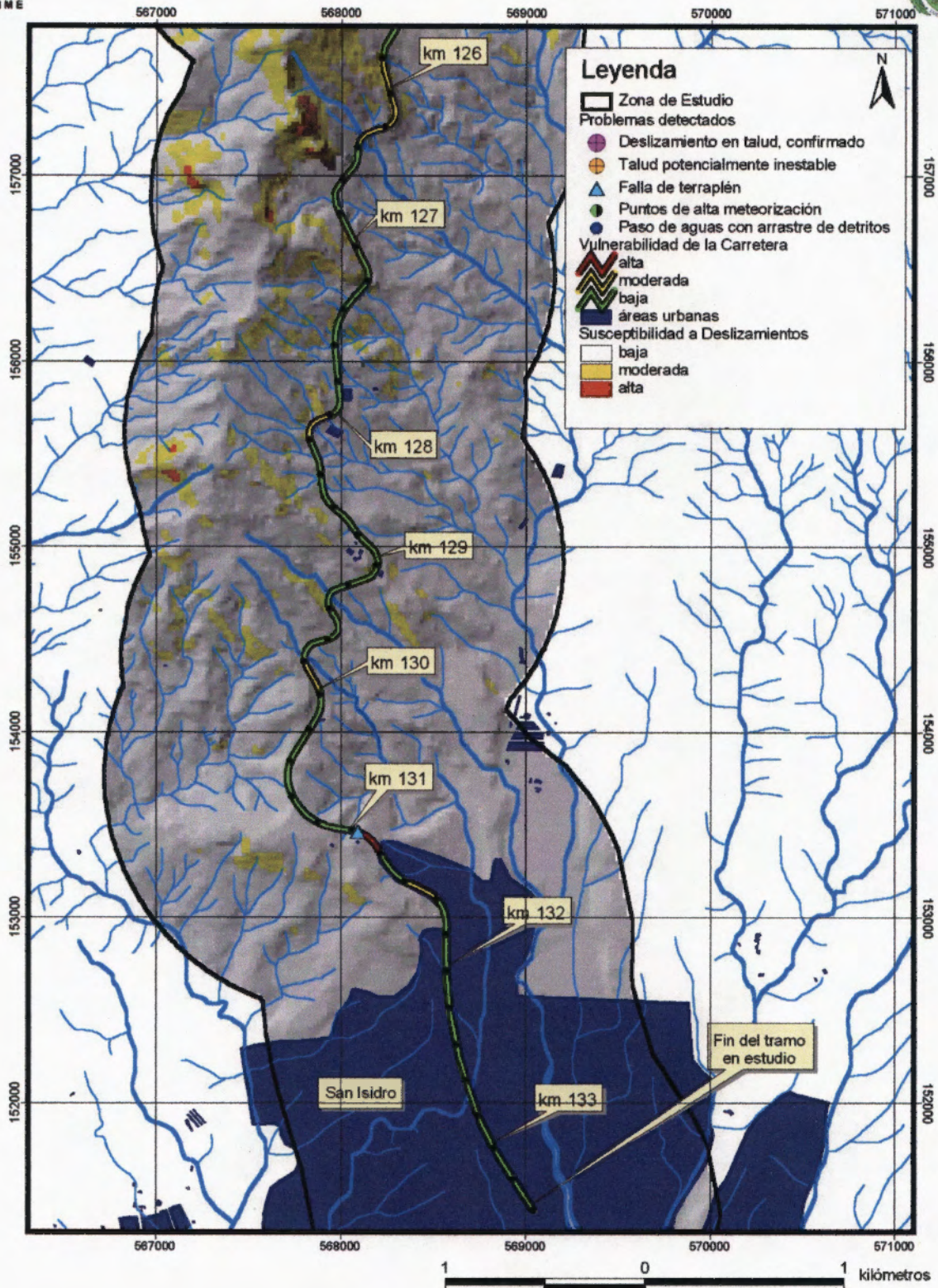


Tabla 4: Resumen de los tramos críticos de la carretera

Kilometraje	Vulnerabilidad	Anotaciones
26+800	moderada	Kilómetro 26+730: deslizamiento en talud lado derecho 150m antes, en punto de máxima curvatura
27+600	alta	Kilómetro 27+410: deslizamiento en talud lado derecho, materiales sedimentarios (en toda la curva)
27+800	moderada	Kilómetro 27+780: desde punto anterior, problemas de inestabilidad en talud lado derecho, material sedimentario, arcillas color café a rojizo
28+200	alta	Kilómetro 28+090: deslizamiento activo en talud lado derecho, corona 30m, a 20m de borde carretera. Kilómetro 28+160: deslizamiento activo en talud lado derecho, corona 20m, distancia borde a centro 10m, intrusivos sobre sedimentos
28+400	alta	Kilómetro 28+280: Contacto entre intrusillo y sedimentario, cruce con línea de alta tensión; deslizamiento nuevo en talud lado derecho
28+600	alta	Kilómetro 28+420: deslizamiento (flujo) contiguo a carretera; deslizamiento a 50m de carretera, corona de 25m distancia
29+200	alta	Kilómetro 29+030: problema activo de terraplén, en proceso de crecimiento; deslizamiento nuevo en talud lado derecho, mayor de 10m
29+800	alta	Kilómetro 29+760: deslizamiento en talud lado derecho, contiguo a carretera, corona de 100m de distancia
30+400	alta	Kilómetro 30+230: presencia de material muy meteorizada y roca blanda; intrusivo se extiende desde aquí 150m al siguiente punto
30+800	moderada	Kilómetro 30+790: presencia de material muy meteorizado y roca blanda; intrusivo se extiende desde punto anterior 150m, deslizamiento nuevo menor de 5m
31+400	alta	Kilómetro 31+310: deslizamiento en talud lado derecho, 25m antes de este punto
31+600	alta	Deslizamiento nuevo en talud lado derecho
31+800	alta	Deslizamiento nuevo en talud lado derecho
32+000	alta	Kilómetro 31+850: deslizamiento en talud lado derecho, corona de 50m
32+400	alta	Kilómetro 32+330: 2 deslizamientos en talud lado derecho
33+000	alta	Kilómetro 32+950: desde punto anterior, talud de gran altura compuesto por roca sedimentaria, con alto potencial de deslizamiento
34+400	moderada	Kilómetro 34+320: Problemas de terraplén lado izquierdo en los siguientes 50m, trabajos en la vía (terminado a finales de mayo 2004), paso de aguas
34+600	moderada	Problemas de terraplén lado izquierdo en los siguientes 50m, trabajos en la vía (terminado a finales de mayo 2004), paso de aguas
35+400	moderada	Kilómetro 35+230: deslizamiento de talud lado derecho, de 10m altura, con corona 15m
35+600	alta	Kilómetro 35+530: 2 deslizamientos margen izquierda, uno en talud y otro en terraplén
36+200	alta	Kilómetro 36+120: deslizamiento en talud lado derecho, previamente identificado, flujo
36+600	alta	Kilómetro 36+570: desde el punto anterior, deslizamiento en talud lado derecho
37+200	moderada	Deslizamiento en talud lado derecho menor de 5m
38+400	moderada	Kilómetro 38+270: deslizamiento en talud lado derecho, material blocoso en matriz arcillosa
38+800	alta	Kilómetro 38+710: deslizamiento en terraplén lado izquierdo, deslizamiento en talud lado derecho
39+400	moderada	Talud lado derecho mayor de 10m
40+000	alta	Talud lado izquierdo mayor de 10m
40+200	alta	Kilómetro 40+080: deslizamiento en talud lado izquierdo, material sedimentario desde 100m antes de este punto
40+600	moderada	Kilómetro 40+550: falla de terraplén lado izquierdo
40+800	alta	Kilómetro 40+780: deslizamiento en talud lado izquierdo, paso de aguas, material arcilloso rojo
41+200	alta	Kilómetro 41+030: deslizamiento activo en talud lado izquierdo, falla en relleno lado derecho, alteración hidrotermal
41+600	alta	Kilómetro 41+420: desde el punto anterior, problemas de talud (lado izquierdo) y terraplén (lado derecho)
42+000	alta	Kilómetro 41+890: deslizamiento en talud lado izquierdo, alteración hidrotermal a lo largo de 100m sobre este punto
42+600	alta	Kilómetro 42+450: deslizamiento en talud lado derecho, terraplén lado izquierdo sin problemas aparentes
43+400	moderada	Kilómetro 43+280: deslizamiento en talud lado izquierdo recuperándose, terraplén en lado

		derecho sin problemas aparentes
43+600	moderada	Reparación de terraplén lado derecho
46+200	moderada	Kilómetro 46+040: carretera sobre terraplén, problemas a ambos lados, trabajos en la vía a medio terminar
46+600	alta	Kilómetro 46+520: terraplén lado izquierdo con problemas
48+000	alta	Kilómetro 47+920: problemas de terraplén lado izquierdo, hundimientos en la vía
48+600	alta	Problemas de terraplén lado izquierdo
49+200	alta	Kilómetro 49+110: problemas de terraplén lado derecho, con daños sobre la carretera
51+200	moderada	Kilómetro 51+200: problemas de relleno lado derecho, paso de aguas
53+200	moderada	Kilómetro 53+100: terraplén lado derecho, en el pasado tuvo fallas
53+800	alta	Kilómetro 53+700: falla de terraplén en lado izquierdo, carril afectado
59+800	alta	Kilómetro 59+660: falla de terraplén lado izquierdo, daños en la carpeta, Chespiritos 1
64+400	moderada	Deslizamientos pequeños en talud lado izquierdo
64+600	alta	Kilómetro 64+580: deslizamiento de terraplén lado derecho
65+600	alta	Kilómetro 65+570: deslizamiento viejo en talud lado izquierdo, 150m antes de este punto
69+000	moderada	Talud lado izquierdo y terraplén lado derecho, hundimientos en la vía
75+000	moderada	Talud lado izquierdo mayor de 10m
76+200	moderada	Talud lado izquierdo potencialmente inestable
82+800	moderada	Talud lado derecho mayor de 10m
87+400	moderada	Talud en roca casi vertical, mayor de 5m
88+200	moderada	Kilómetro 88+010: deslizamiento de talud lado derecho con altura 5m, material arcilloso con bloques sueltos
89+000	moderada	Talud en roca potencialmente inestables (en caso de sismo)
89+200	moderada	Talud en roca potencialmente inestables (en caso de sismo)
94+200	moderada	Kilómetro 94+100: deslizamiento en talud lado derecho, material muy diaclasado, talud menor de 5m
95+000	moderada	Kilómetro 94+920: deslizamiento antiguo en talud lado derecho, 10m altura, doble corte a ambos lados de la carretera
95+600	moderada	Talud alto potencialmente inestable
96+000	moderada	Kilómetro 95+960: problemas de terraplén, lados izquierdo y derecho, paso de agua, cerca de Villa Mills, corte doble (ambos lados de la carretera)
99+200	alta	Kilómetro 99+170: problemas de terraplén lado izquierdo, en reparación, carril izquierdo cerrado, alcantarilla
99+800	alta	Kilómetro 99+790: bloque rocoso lado derecho potencialmente inestable, flujo de detritos
100+200	alta	Árboles caídos en talud lado derecho
100+400	alta	Flujo en talud lado derecho
100+600	alta	Kilómetro 100+560: deslizamientos en talud lado derecho, superficiales y con flujo de detritos
100+800	alta	Kilómetro 100+710: deslizamiento talud lado derecho, obstrucción de desagüe, diaclasamiento, flujo de detritos; deslizamiento talud lado derecho, superficial, flujos de lodo
101+200	alta	Kilómetro 101+020: deslizamiento talud lado derecho, 25m altura, 10m corona; deslizamiento superficial de regolitos; terraplén lado izquierdo
102+000	moderada	Flujo en talud lado derecho
102+800	moderada	Kilómetro 102+700: deslizamiento talud lado derecho, 80m antes de este punto, bloques de roca blanda en matriz arcillosa
103+800	alta	Kilómetro 103+730: deslizamiento talud lado derecho, 20m altura, corona de 10m largo, roca ígnea blanda con presencia de cuarzo, muy meteorizada
104+200	alta	Kilómetro 104+040: deslizamiento viejo de talud lado derecho, superficial sobre roca
104+800	moderada	Kilómetro 104+710: deslizamiento viejo de talud lado derecho, altura de 15m, corona de 5m, flujo de material de origen ígneo, meteorizado
105+000	moderada	Taludes altos
105+200	moderada	Taludes altos
106+000	moderada	Kilómetro 105+890: terraplén con problemas de erosión
106+200	moderada	Deslizamientos en talud lado derecho, menores de 5m altura
107+000	alta	Kilómetro 106+880: deslizamiento en talud lado derecho, 25m altura, 20m corona, con pequeña caída de agua
107+400	moderada	Flujo en talud lado derecho
107+600	moderada	Reptación en taludes lado derecho

108+400	alta	Kilómetro 108+330: deslizamiento en talud lado derecho, altura 25m, corona 10, sobre material sedimentario
109+200	alta	Kilómetro 109+160: deslizamiento en talud lado derecho, 25m altura, 8m corona, material sedimentario
109+800	alta	Kilómetro 109+680: Gran deslizamiento en talud lado derecho, material sedimentario
110+600	moderada	Evidencia de fallas en terraplén lado izquierdo (reparación en forma de media luna en carpeta asfáltica)
110+800	moderada	Evidencia de fallas en terraplén lado izquierdo (reparación en forma de media luna en carpeta asfáltica)
111+000	moderada	Evidencia de fallas en terraplén lado izquierdo (reparación en forma de media luna en carpeta asfáltica)
111+400	moderada	Pequeño flujo en talud lado derecho
112+000	alta	Kilómetro 111+930: Gran deslizamiento talud lado derecho, 40m altura, 100-150m corona, material sedimentario (Matilda)
112+200	alta	Gran deslizamiento talud lado derecho, 40m altura, 100-150m corona, material sedimentario (Matilda)
112+400	alta	Problemas de terraplén lado izquierdo y de deslizamientos y flujos en talud lado derecho
113+400	moderada	Deslizamiento viejo en talud lado derecho
114+400	alta	Flujo en talud lado derecho, taludes mayores de 10m
114+800	moderada	Deslizamiento en talud lado derecho, producto de camino de acceso a finca
117+000	moderada	Kilómetro 116+840: evidencia de deslizamiento reciente grande, hundimiento y falla en la carretera
117+400	moderada	Deslizamiento en talud lado izquierdo
118+200	moderada	Problema de terraplén lado izquierdo
119+200	moderada	Paso del río Payner, alcantarilla doble
119+800	moderada	Kilómetro 119+610: paso de agua con arrastre de detritos, lado derecho
120+800	alta	Deslizamiento viejo en talud lado derecho, problema de terraplén lado izquierdo
121+200	alta	Kilómetro 121+100: deslizamiento en talud lado derecho, material sedimentario, presencia de flujo subterráneo; deslizamiento estabilizado en talud lado derecho
121+800	moderada	Deslizamiento talud lado derecho, menor de 10m
122+000	moderada	Paso de aguas, falla de terraplén lado izquierdo
122+200	moderada	Kilómetro 122+110: deslizamiento en talud lado derecho, 7m altura, corona de 15m, material sedimentario con presencia de arcillas rojizas, suelos lateríticos
122+600	moderada	Kilómetro 122+570: terraplén lado izquierdo (entrada a finca) con grietas (falla), potencial de afectar la carretera
123+200	alta	Kilómetro 123+080: falla de terraplén lado izquierdo, carril izquierdo cerrado, falla rotacional, suelo sedimentario, laterítico, paso de aguas con alcantarilla
123+600	moderada	Flujo de detritos en talud lado derecho
125+400	moderada	Deslizamiento en talud lado derecho
126+000	moderada	Taludes altos, árboles caídos y/o torcidos
128+200	moderada	Talud lado derecho potencialmente inestable
130+000	moderada	Deslizamientos pequeños en talud lado derecho
131+200	alta	Kilómetro 131+020: problemas de terraplén lado izquierdo, carril izquierdo afectado
131+600	moderada	Deslizamiento estabilizado en talud lado derecho, a distancia de la carretera,

En el Anexo 3 se presenta en forma de tabla, el total de los tramos con su vulnerabilidad asociada, y los comentarios respectivos.

Capítulo VI

Proyectos Preliminares de Reducción de Vulnerabilidad

6.1 Descripción

Se refieren a las obras destinadas a reducir la vulnerabilidad de la carretera ante las amenazas naturales, en aquellos tramos considerados críticos. La escasez de recursos y la necesidad de optimizarlos, conlleva priorizar los tramos donde estos recursos deberán ser destinados a estudios y construcción de obras

Es necesario indicar que para el diseño detallado de obras de mitigación, la escala a la que se debe trabajar debe ser 1:5,000 o mejor; por lo que los proyectos propuestos en este apartado son solo obras preliminares. Además, se deben tomar como recomendación; esto porque para un sitio en específico, puede resultar económica o técnicamente factible otro tipo de obra: por ejemplo, en sitios inestables, un diseño de estructuras de contención de pilotes anclados puede resultar superior a la remoción del material.

Estos anteproyectos se dividen en 3 tipos principales, que son:

- Proyecto Tipo A: Evaluación de la factibilidad de medidas de mitigación para los principales problemas de inestabilidad de taludes en la carretera
- Proyecto Tipo B: Evaluación de la factibilidad de medidas de mitigación para los principales problemas de inestabilidad de terraplenes en la carretera
- Proyecto Tipo C: Evaluación de medidas de mantenimiento preventivo para la carretera

Se presenta a continuación, el detalle de cada tipo de anteproyecto, el cual incluye objetivos, metodologías recomendadas y resumen de los tramos críticos, junto con la prioridad asignada. Es de aclarar que para el Proyecto Tipo C, se debe realizar primero un levantamiento detallado de componentes en la carretera, el cual deberá incluir estado actual e importancia relativa, con el fin de poder identificar puntos (o tramos) críticos y asignar prioridades.

6.2 Proyecto Tipo A

Evaluación de la factibilidad de medidas de mitigación para los principales problemas de inestabilidad de taludes en la carretera

6.2.1 Objetivo General del proyecto

Evaluar la factibilidad técnico – económica de medidas de estabilización para los principales deslizamientos en talud para la Ruta Nacional 2 Carretera Interamericana Sur, tramo San Isidro de Cartago – San Isidro de Pérez Zeledón

6.2.2 Objetivos Específicos

- i. Evaluar la factibilidad técnica de distintas medidas de estabilización para los principales deslizamientos en el tramo de estudio
- ii. Estimar el costo de dichas medidas, comparando a su vez los tiempos de duración en la construcción de dichas obras de mitigación
- iii. Recomendar los tipos de obras y métodos constructivos que minimicen el costo global de la inversión

6.2.3 Metodologías de Análisis sugeridas

- Realizar estudios de estatigrafías de los materiales de las zonas inestables, aprovechando el que los materiales se encuentran expuestos en los principales deslizamientos
- Análisis de estabilidad de taludes, utilizando para ello el software adecuado; y tomando en cuenta el factor sísmico de la zona
- Pruebas de laboratorio para determinar los parámetros de resistencia de los distintos materiales, en caso de que el muestreo sea factible
- Levantamiento fotogramétrico de la zona afectada, lo que ayuda a comprender su proceso de infiltración y flujo interno del agua
- Modelos geotécnicos del talud, obtenidos a través de sondeos de exploración y métodos geofísicos

6.2.4 Medidas

Debido a la disponibilidad de recursos y mano de obra para obras de mitigación / reconstrucción, se le dará preferencia a los métodos de terraceo y construcción de drenajes superficiales como medidas correctivas. Se puede considerar el uso de muros de gaviones en el pie de los taludes, en caso de que el costo del material excavado sea alto. Dependiendo del tipo de deslizamiento (tipo de falla, profundidad, volumen afectado), se pueden analizar otro tipo de técnicas, como anclajes con pilotes o la utilización de pantallas de concreto.

Para deslizamientos pequeños, se pueden utilizar técnicas preventivas, tales como construcción de drenajes, construcción de vallas de protección a orillas del trazado, limpieza del material inestable y utilización de especies vegetales para el control de erosión.

En caso de deslizamientos que incluyen caída de rocas, las obras de mitigación incluyen la instalación de mallas y barreras protectoras.

Como nota importante, en aquellos sitios donde tanto el talud como el terraplén sean inestables, se deberá realizar un análisis conjunto para recomendar el mejor tipo de solución.

6.2.5 Tramos críticos y prioridades

Tabla 5 Tramos críticos y prioridades, Proyecto Tipo A

Prioridad	Estacionamiento	Tipo de Amenaza	Vulnerabilidad
	26+800	Estacionamiento 26+730: deslizamiento en talud lado derecho 150m antes, en punto de máxima curvatura	moderada
	27+600	Estacionamiento 27+410: deslizamiento en talud lado derecho, materiales sedimentarios (en toda la curva)	alta
	27+800	Estacionamiento 27+780: desde punto anterior, problemas de inestabilidad en talud lado derecho, material sedimentario, arcillas color café a rojizo	moderada
	28+200	Estacionamiento 28+090: deslizamiento activo en talud lado derecho, corona 30m, a 20m de borde carretera. Estacionamiento 28+160: deslizamiento activo en talud lado derecho, corona 20m, distancia borde a centro 10m, intrusivos sobre sedimentos	alta
	28+400	Estacionamiento 28+280: Contacto entre intrusivo y sedimentario, cruce con línea de alta tensión; deslizamiento nuevo en talud lado derecho	alta
	28+600	Estacionamiento 28+420: deslizamiento (flujo) contiguo a carretera; deslizamiento a 50m de carretera, corona de 25m distancia	alta
	29+200	Estacionamiento 29+030: problema activo de terraplén, en proceso de crecimiento; deslizamiento nuevo en talud lado derecho, mayor de 10m	alta
	29+800	Estacionamiento 29+760: deslizamiento en talud lado derecho, contiguo a carretera, corona de 100m de distancia	alta
	30+800	Estacionamiento 30+790: presencia de material muy meteorizado y roca blanda; intrusivo se extiende desde punto anterior 150m, deslizamiento nuevo menor de 5m	moderada
	31+400	Estacionamiento 31+310: deslizamiento en talud lado derecho, 25m antes de este punto	alta
	31+600	Deslizamiento nuevo en talud lado derecho	alta
	31+800	Deslizamiento nuevo en talud lado derecho	alta
	32+000	Estacionamiento 31+850: deslizamiento en talud lado derecho, corona de 50m	alta
	32+400	Estacionamiento 32+330: 2 deslizamientos en talud lado derecho	alta
	33+000	Estacionamiento 32+950: desde punto anterior, talud de gran altura compuesto por roca sedimentaria, con alto potencial de deslizamiento	alta
	35+400	Estacionamiento 35+230: deslizamiento de talud lado derecho, de 10m altura, con corona 15m	moderada
	35+600	Estacionamiento 35+530: 2 deslizamientos margen izquierda, uno en talud y otro en terraplén	alta
	36+200	Estacionamiento 36+120: deslizamiento en talud lado derecho, previamente identificado, flujo	alta
	36+600	Estacionamiento 36+570: desde el punto anterior, deslizamiento en talud lado derecho	alta
	38+400	Estacionamiento 38+270: deslizamiento en talud lado derecho, material blocoso en matriz arcillosa	moderada
	38+800	Estacionamiento 38+710: deslizamiento en terraplén lado izquierdo, deslizamiento en talud lado derecho	alta
	40+200	Estacionamiento 40+080: deslizamiento en talud lado izquierdo, material sedimentario desde 100m antes de este punto	alta
	40+800	Estacionamiento 40+780: deslizamiento en talud lado izquierdo, paso de aguas, material arcilloso rojo	alta
	41+200	Estacionamiento 41+030: deslizamiento activo en talud lado izquierdo, falla en terraplén lado derecho, alteración hidrotermal	alta
	41+600	Estacionamiento 41+420: desde el punto anterior, problemas de talud (lado izquierdo) y terraplén (lado derecho)	alta
	42+000	Estacionamiento 41+890: deslizamiento en talud lado izquierdo, alteración hidrotermal a lo largo de 100m sobre este punto	alta
	42+600	Estacionamiento 42+450: deslizamiento en talud lado derecho, terraplén lado izquierdo sin problemas aparentes	alta
Alta	51+400	Estacionamiento 51+400: deslizamiento en talud lado derecho, corona	baja

Prioridad	Estacionamiento	Tipo de Amenaza	Vulnerabilidad
Moderada	30+000	Estacionamiento 29+980: talud 30m altura sobre carretera, material sedimentario	alta
	37+200	Deslizamiento en talud lado derecho menor de 5m	moderada
	39+400	Talud lado derecho mayor de 10m	moderada
	40+000	Talud lado izquierdo mayor de 10m	alta
	43+400	Estacionamiento 43+280: deslizamiento en talud lado izquierdo recuperándose, terraplén en lado derecho sin problemas aparentes	moderada
	64+400	Deslizamientos pequeños en talud lado izquierdo	moderada
	65+600	Estacionamiento 65+570: deslizamiento viejo en talud lado izquierdo, 150m antes de este punto	alta
	69+000	Talud lado izquierdo y terraplén lado derecho, hundimientos en la vía	moderada
	75+000	Talud lado izquierdo mayor de 10m	moderada
	76+200	Talud lado izquierdo potencialmente inestable	moderada
	82+800	Talud lado derecho mayor de 10m	moderada
	87+400	Talud en roca casi vertical, mayor de 5m	moderada
	88+200	Estacionamiento 88+010: deslizamiento de talud lado derecho con altura 5m, material arcilloso con bloques sueltos	moderada
	89+000	Talud en roca potencialmente inestables (en caso de sismo)	moderada
	89+200	Talud en roca potencialmente inestables (en caso de sismo)	moderada
	94+200	Estacionamiento 94+100: deslizamiento en talud lado derecho, material muy diaclasado, talud menor de 5m	moderada
	95+000	Estacionamiento 94+920: deslizamiento antiguo en talud lado derecho, 10m altura, doble corte a ambos lados de la carretera	moderada
	102+000	Flujo en talud lado derecho	moderada
	104+200	Estacionamiento 104+040: deslizamiento viejo de talud lado derecho, superficial sobre roca	alta
	104+800	Estacionamiento 104+710: deslizamiento viejo de talud lado derecho, altura de 15m, corona de 5m, flujo de material de origen ígneo, meteorizado	moderada
	105+000	Taludes altos	moderada
	105+200	Taludes altos	moderada
	106+200	Deslizamientos en talud lado derecho, menores de 5m altura	moderada
	106+400	Estacionamiento 106+360: desde punto anterior, pequeños deslizamientos en talud lado derecho	baja
	107+400	Flujo en talud lado derecho	moderada
	107+600	Reptación en taludes lado derecho	moderada
	111+400	Pequeño flujo en talud lado derecho	moderada
	113+400	Deslizamiento viejo en talud lado derecho	moderada
	123+600	Flujo de detritos en talud lado derecho	moderada
	128+200	Talud lado derecho potencialmente inestable	moderada
130+000	Deslizamientos pequeños en talud lado derecho	moderada	
131+600	Deslizamiento estabilizado en talud lado derecho, a distancia de la carretera	moderada	

6.3 Proyecto Tipo B

Evaluación de la factibilidad de medidas de mitigación para los principales problemas de inestabilidad de terraplenes en la carretera

6.3.1 Objetivo General del proyecto

Evaluar la factibilidad técnico – económica de medidas de estabilización / reconstrucción para los principales terraplenes con problemas en la Ruta Nacional 2 Carretera Interamericana Sur, tramo San Isidro de Cartago – San Isidro de Pérez Zeledón

6.3.2 Objetivos Específicos

- i. Evaluar la factibilidad técnica de distintas medidas de estabilización para los terraplenes inestables en el tramo de estudio
- ii. Evaluar la factibilidad técnica de distintas medidas de reconstrucción de los terraplenes que han fallado en el tramo de estudio
- iii. Estimar el costo de dichas medidas, comparando a su vez los tiempos de duración en la construcción de dichas obras de mitigación / reconstrucción
- iv. Recomendar los tipos de obras y métodos constructivos que minimicen el costo global de inversión

6.3.3 Metodologías de Análisis sugeridas

- Estudios de características físicas y mecánicas de los materiales de las zonas inestables a través de sondeos de exploración y métodos geofísicos para generar modelos geotécnicos del sitio
- Pruebas de laboratorio para determinar los parámetros de resistencia de los distintos materiales usados en el relleno, así como el grado de compactación real, en caso de que el muestreo sea factible
- Análisis de estabilidad de terraplenes, utilizando para ello el modelo adecuado que considere el factor sísmico de la zona
- Análisis de los patrones de flujo superficial, infiltración y flujo interno del agua en el terreno de la zona afectada, con base en un levantamiento fotogramétrico

6.3.4 Medidas

Las medidas a ejecutar dependen tanto del costo económico, como de la ubicación, tamaño y tipo de inestabilidad, así como de la importancia que tiene el componente para la funcionalidad de la ruta. Al igual que con los Proyectos Tipo A, la disponibilidad de recursos y mano de obra para ejecutar los estudios necesarios y proyectos, condiciona los métodos a utilizar en la implementación de las medidas, que abarcan desde el desvío o canalización de flujos superficiales hasta la reconstrucción total del terraplén.

Cuando la disponibilidad de recursos y mano de obra para obras de mitigación / reconstrucción es limitada, se le debe dar preferencia a los métodos de terraceo y construcción de drenajes superficiales. La reconstrucción del terraplén se realizaría de acuerdo con el diseño que proponga el análisis y puede incluir la conformación o terraceo del terreno bajo el relleno, la colocación de muros de gaviones al pie, la construcción de drenajes dentro y fuera, la compactación adecuada por capas del material usado y el refuerzo con geosintéticos. Como medidas preventivas se debe considerar el proteger el terraplén contra la erosión, los flujos superficiales de agua y la socavación.

Como nota importante, en aquellos sitios donde tanto el talud como el terraplén sean inestables, se deberá realizar un análisis conjunto para recomendar el mejor tipo de solución.

6.3.5 Tramos críticos y prioridades

Tabla 6 Tramos críticos y prioridades, Proyecto Tipo B

Prioridad	Estacionamiento	Tipo de Amenaza	Vulnerabilidad
Alta	29+200	Estacionamiento 29+030: problema activo de terraplén, en proceso de crecimiento; deslizamiento nuevo en talud lado derecho, mayor de 10m	alta
	34+400	Estacionamiento 34+320: Problemas de terraplén lado izquierdo en los siguientes 50m, trabajos en la vía (terminado a finales de mayo 2004), paso de aguas	moderada
	34+600	Problemas de terraplén lado izquierdo en los siguientes 50m, trabajos en la vía (terminado a finales de mayo 2004), paso de aguas	moderada
	35+600	Estacionamiento 35+530: 2 deslizamientos margen izquierda, uno en talud y otro en terraplén	alta
	38+800	Estacionamiento 38+710: deslizamiento en terraplén lado izquierdo, deslizamiento en talud lado derecho	alta
	40+600	Estacionamiento 40+550: falla de terraplén lado izquierdo	moderada
	41+200	Estacionamiento 41+030: deslizamiento activo en talud lado izquierdo, falla en terraplén lado derecho, alteración hidrotermal	alta
	41+600	Estacionamiento 41+420: desde el punto anterior, problemas de talud (lado izquierdo) y terraplén (lado derecho)	alta
	43+600	Reparación de terraplén lado derecho	moderada
	46+200	Estacionamiento 46+040: carretera sobre terraplén, problemas a ambos lados, trabajos en la vía a medio terminar	moderada
	46+600	Estacionamiento 46+520: terraplén lado izquierdo con problemas	alta
	48+000	Estacionamiento 47+920: problemas de terraplén lado izquierdo, hundimientos en la vía	alta
	48+600	Problemas de terraplén lado izquierdo	alta
	49+200	Estacionamiento 49+110: problemas de terraplén lado derecho, con daños sobre la carretera	alta
	51+200	Estacionamiento 51+200: problemas de relleno lado derecho, paso de aguas	moderada
	53+200	Estacionamiento 53+100: terraplén lado derecho, en el pasado tuvo fallas	moderada
	53+800	Estacionamiento 53+700: falla de terraplén en lado izquierdo, carril afectado	alta
	59+800	Estacionamiento 59+660: falla de terraplén lado izquierdo, daños en la carpeta, Chespiritos 1	alta
	64+600	Estacionamiento 64+580: deslizamiento de terraplén lado derecho	alta
	96+000	Estacionamiento 95+960: problemas de terraplén, lados izquierdo y derecho, paso de agua, cerca de Villa Mills, corte doble (ambos lados de la carretera)	moderada
	99+200	Estacionamiento 99+170: problemas de terraplén lado izquierdo, en reparación, carril izquierdo cerrado, alcantarilla	alta
	112+400	Problemas de terraplén lado izquierdo y de deslizamientos y flujos en talud lado derecho	alta
	118+200	Problema de terraplén lado izquierdo	moderada
	120+800	Deslizamiento viejo en talud lado derecho, problema de terraplén lado izquierdo	alta
122+000	Paso de aguas, falla de terraplén lado izquierdo	moderada	
123+200	Estacionamiento 123+080: falla de terraplén lado izquierdo, carril izquierdo cerrado, falla rotacional, suelo sedimentario, laterítico, paso de aguas con alcantarilla	alta	
131+200	Estacionamiento 131+020: problemas de terraplén lado izquierdo, carril izquierdo afectado	alta	

Prioridad	Estacionamiento	Tipo de Amenaza	Vulnerabilidad
Moderada	69+000	Talud lado izquierdo y terraplén lado derecho, hundimientos en la vía	moderada
	106+000	Estacionamiento 105+890: terraplén con problemas de erosión	moderada
	110+600	Evidencia de fallas en terraplén lado izquierdo (reparación en forma de media luna en carpeta asfáltica)	moderada
	110+800	Evidencia de fallas en terraplén lado izquierdo (reparación en forma de media luna en carpeta asfáltica)	moderada
	111+000	Evidencia de fallas en terraplén lado izquierdo (reparación en forma de media luna en carpeta asfáltica)	moderada
	122+600	Estacionamiento 122+570: terraplén lado izquierdo (entrada a finca) con grietas (falla), potencial de afectar la carretera	moderada

6.4 Proyecto Tipo C

Evaluación de medidas de mantenimiento preventivo para la carretera

6.4.1 Objetivo General del proyecto

Evaluar la factibilidad técnica y económica de medidas de mantenimiento preventivo para la Ruta Nacional 2 Carretera Interamericana Sur, tramo San Isidro de Cartago – San Isidro de Pérez Zeledón

6.4.2 Objetivos Específicos

- i. Evaluar la factibilidad técnica de medidas sencillas de mantenimiento para la infraestructura de la carretera en estudio
- ii. Estimar el costo y el tiempo de duración de estas obras
- iii. Recomendar los métodos y los materiales que minimicen el costo global de la inversión

6.4.3 Metodologías de Análisis sugeridas

- Se debe realizar un levantamiento detallado de los componentes de la carretera, tales como pasos de agua secundarios, drenajes laterales, vallas de protección, señalización horizontal y vertical, etc. Este levantamiento debe incluir posición con respecto a la carretera, kilometraje, estado actual, tipo de obra y materiales usados, entre otros aspectos.
- Los estándares de diseño de estas obras deberán ser el punto de partida para la readecuación de aquellos componentes que necesiten de reparación o reconstrucción total.
- Se debe llevar además un control detallado (bitácora) del tipo y fecha de las reparaciones / reconstrucciones hechas, de tal manera que se pueda elaborar en un futuro un historial de los tramos que

necesitan constantemente de este tipo de obras, para poder diseñar medidas acordes con el tipo de problema.

- Entre las actividades a realizar se encuentran limpieza, reconfiguración y/o reconstrucción de drenajes laterales, limpieza de vegetación a orillas de la carretera con capacidad de dificultar la visibilidad, revisión del estado de la carpeta asfáltica, ubicación de señales de tránsito (verticales y horizontales), e instalación de iluminación.