



**Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Unidad de Gestión de Infraestructura Vial
Proyecto de Evaluación Periódica de la Red Vial**

**Informe de Evaluación de la Red Vial
Nacional Pavimentada de Costa Rica
Año 2008**

Mayo 2009

Índice de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES -----	5
2. OBJETIVOS DE LA CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2008 -----	7
2.1 OBJETIVO GENERAL-----	7
3. METODOLOGÍA Y ALCANCES -----	7
3.1 PERFILÓMETRO LÁSER PARA MEDIR IRI-----	7
3.2 DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD)-----	9
3.3 EQUIPO DE MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE SUPERFICIE (GRIP)-----	11
3.4 EVALUACIÓN DE LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL (PINTURA)-----	12
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA RED VIAL NACIONAL -----	13
4.1 DEFLEXIONES DE LA RED VIAL OBTENIDAS MEDIANTE FWD-----	13
4.1a. <i>Criterios de clasificación</i> -----	13
4.1b. <i>Resultados de la evaluación de la red vial con el ensayo de deflectometría FWD</i> -----	14
4.1c. <i>Resultados de deflectometría desglosados por provincia</i> -----	15
4.1d. <i>Resultados de deflectometría desglosados por tránsito de la ruta TPD</i> -----	16
4.2 CONDICIÓN DE LA RED VIAL SEGÚN REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI)-----	17
4.2a. <i>Criterios de clasificación</i> -----	17
4.2b. <i>Resultados de regularidad superficial (IRI)</i> -----	17
4.2c. <i>Resultados de IRI desglosados por provincia</i> -----	18
4.2d. <i>Resultados de IRI clasificados por rangos de tránsito TPD</i> -----	19
4.3 CONDICIÓN DE LA RED VIAL SEGÚN COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE PAVIMENTOS (GRIP)-----	21
4.3a. <i>Criterios de clasificación</i> -----	21
4.3b. <i>Resultados de coeficiente de rozamiento con el ensayo de GRIP</i> -----	22
4.3c. <i>Resultados de rozamiento desglosados por provincia</i> -----	24
4.4 MAPAS PARCIALES CON LOS RESULTADOS DE MEDICIONES DE LA RED VIAL-----	25
4.5 CONDICIÓN DE LA RED VIAL SEGÚN DEMARCACIÓN CON PINTURA-----	35
4.5a. <i>Criterios de clasificación</i> -----	35
4.5b. <i>Resultados obtenidos</i> -----	36
4.5c. <i>Resultados de la condición de pintura por provincia</i> -----	37
5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS, A PARTIR DE LAS EVALUACIONES EFECTUADAS EN LA RED VIAL NACIONAL PAVIMENTADA, CAMPAÑAS 2006 Y 2008 -----	40
5.1 COMPARACIÓN DEL ESTADO DE LA RED VIAL 2006 Y 2008 SEGÚN LA CONDICIÓN DE DEFLEXIONES (FWD)-----	40
5.2 COMPARACIÓN DEL ESTADO DE LA RED VIAL 2006 Y 2008 SEGÚN LA CONDICIÓN DE REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI)-----	41
6. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN RUTAS NACIONALES -----	42
6.1 INTRODUCCIÓN-----	42
6.2 DEFINICIONES Y METODOLOGÍA GENERAL-----	43
6.3 NIVELES O GRADOS DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD-----	44
6.4 RESULTADOS DE VULNERABILIDAD DE RUTAS NACIONALES AÑO 2008-----	45
6.5 EVALUACIÓN DE AMENAZAS Y VULNERABILIDADES POR RUTA-----	47
6.5a. Ruta 2 (Taras – San Isidro de Pérez Zeledón) -----	47
Características del entorno y amenazas naturales-----	47
Características de la ruta 2 y vulnerabilidades-----	47
Perfil de vulnerabilidad de la ruta 2-----	48
Tramos críticos de la ruta 2-----	51
Recomendaciones para la reducción de la vulnerabilidad de la ruta 2-----	51

6.5b. Ruta 10 (tramo Turrialba – Siquirres)	52
Características del entorno y amenazas naturales	52
Características de la ruta 10 y vulnerabilidades	52
Tramos críticos de la ruta 10	53
Recomendaciones para la reducción de la vulnerabilidad de la ruta 10	53
6.5c. Ruta 32 (tramo Siquirres – Limón)	53
Características del entorno y amenazas naturales	53
Características de la ruta 32 y vulnerabilidades	54
Perfiles de vulnerabilidad de la ruta 32	54
Tramos críticos de la ruta 32	54
Recomendaciones para la reducción de la vulnerabilidad de la ruta 32	57
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
7.1 CONCLUSIONES	58
7.2 CONCLUSIONES SOBRE LA VULNERABILIDAD DE LAS RUTAS	59
7.3 RECOMENDACIONES	60
8. BIBLIOGRAFÍA	62

Índice de Tablas

TABLA 1: LONGITUD EVALUADA EN CADA PRUEBA, CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2008	6
TABLA 2: TRAMOS EVALUADOS CON FWD EN AMBOS SENTIDOS	13
TABLA 3: RANGOS DE DEFLEXIÓN SEGÚN TPD, UTILIZADOS PARA CLASIFICAR RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA	13
TABLA 4: DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA LA RED VIAL, CAMPAÑA 2008.....	14
TABLA 5: DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE DEFLEXIÓN PARA CADA PROVINCIA, EVALUACIÓN FWD 2008	15
TABLA 6: DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE DEFLEXIÓN POR CATEGORÍA DE TPD, EVALUACIÓN FWD 2008	16
TABLA 7: RANGOS DE CLASIFICACIÓN DE REGULARIDAD SUPERFICIAL PARA LA RED VIAL (IRI).....	17
TABLA 8: RESULTADOS OBTENIDOS, REGULARIDAD SUPERFICIAL DE LA RED VIAL	17
TABLA 9: DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE IRI POR PROVINCIA, 2008 (LONGITUDES EN KM)	18
TABLA 10: DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE IRI POR NIVEL TPD, 2008 (LONGITUDES EN KM)	19
TABLA 11: VALORES DEL GN MÍNIMOS RECOMENDADOS POR EL FABRICANTE DEL <i>GRIPTESTER</i> , PARA CARRETERAS	21
TABLA 12: CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO SEGÚN EL GN	22
TABLA 13: RESULTADOS OBTENIDOS, AGARRE SUPERFICIAL DE LA RED VIAL MEDIANTE EL ENSAYO GRIP	22
TABLA 14: RESULTADOS OBTENIDOS, ROZAMIENTO SUPERFICIAL DE LA RED VIAL MEDIANTE EL ENSAYO GRIP	23
TABLA 15: DISTRIBUCIÓN DE RANGOS DE AGARRE POR PROVINCIA, 2008, MEDIANTE EL PARÁMETRO GRIP	24
TABLA 16: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE DEMARCACIÓN CON PINTURA VIAL	36
TABLA 17: RESULTADOS ACERCA DE ELEMENTOS EN EL DERECHO DE VÍA	37
TABLA 18: RESULTADOS DE CONDICIÓN DE PINTURA VIAL	38
TABLA 19: COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN FWD, CAMPAÑAS 2008 Y 2006	40
TABLA 20: COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN IRI, CAMPAÑAS 2008 Y 2006.....	41
TABLA 21: CRITERIOS DE VULNERABILIDAD DE TALUDES DE CORTE Y RELLENO.....	44
TABLA 22: TRAMOS DE RUTAS NACIONALES EVALUADOS EN 2008.	45
TABLA 23: RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DEL 2008.	46
TABLA 24: NIVELES DE VULNERABILIDAD CUALITATIVA Y ACCIONES NECESARIAS.	47

Índice de Figuras

FIGURA 1: EFECTO DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL EN EL CONFORT SENTIDO POR LOS USUARIOS DE LA RUTA	8
FIGURA 2: PERFILOMETRO LÁSER.....	9
FIGURA 3: DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO.....	10
FIGURA 4: CUENCO DE DEFLEXIONES PRODUCIDO POR EL EQUIPO FWD	10
FIGURA 5: DIFERENCIAS ENTRE MICRO Y MACRO TEXTURA DEL AGREGADO EN UNA SUPERFICIE DE RUEDO	11
FIGURA 6: GRIPTESTER UTILIZADO.....	12
FIGURA 7: ESTADO GENERAL DE LA RED VIAL SEGÚN LOS VALORES DE DEFLEXIÓN (FWD,2008), LONGITUDES EN KM.	14
FIGURA 8: ESTADO DE LA RED VIAL POR PROVINCIAS, SEGÚN LOS VALORES DE DEFLEXIÓN OBTENIDOS (PARÁMETRO FWD).	15
FIGURA 9: ESTADO DE LA RED VIAL POR RANGO DE TPD, SEGÚN LOS VALORES	16
FIGURA 10: ESTADO DE LA RED VIAL SEGÚN REGULARIDAD SUPERFICIAL (PARÁMETRO IRI); LONGITUDES EN KM.	18
FIGURA 11: ESTADO DE LA RED VIAL POR PROVINCIAS SEGÚN SU REGULARIDAD SUPERFICIAL (PARÁMETRO IRI).	19
FIGURA 12: ESTADO DE LA RED VIAL POR RANGOS DE TPD SEGÚN SU REGULARIDAD SUPERFICIAL (PARÁMETRO IRI).	20
FIGURA 13: ESTADO DE LA RED VIAL EVALUADA (50,2% DEL TOTAL), SEGÚN ROZAMIENTO SUPERFICIAL (PARÁMETRO GRIP), CLASIFICACIÓN DEL FABRICANTE DEL <i>GRIPTESTER</i> ; LONGITUDES EN KM.	23
FIGURA 14: ESTADO DE LA RED VIAL EVALUADA (50,2% DEL TOTAL), SEGÚN AGARRE SUPERFICIAL (PARÁMETRO GRIP), CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL; LONGITUDES EN KM.	24
FIGURA 15: ESTADO DE LA RED VIAL POR PROVINCIAS, EVALUADA SEGÚN SU NIVEL DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (PARÁMETRO GRIP).....	25
FIGURA 16: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO FWD, RUTAS EN LA GAM, CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2008	26
FIGURA 17: RESULTADOS OBTENIDOS DE REGULARIDAD INTERNACIONAL IRI, RUTAS EN LA GAM, CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2008	27
FIGURA 18: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MEDIDOR DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL GRIP, RUTAS EN LA GAM, CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2008	28
FIGURA 19: RESULTADOS OBTENIDOS EN DEFLECTOMETRÍA FWD, RUTAS EN EL PACÍFICO CENTRAL, CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2008.....	29
FIGURA 20: RESULTADOS OBTENIDOS DE REGULARIDAD INTERNACIONAL IRI, RUTAS EN EL PACÍFICO CENTRAL, CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2008 .30	
FIGURA 21: RESULTADOS DE CONDICIÓN DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL GRIP, RUTAS EN EL PACÍFICO CENTRAL, CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 200831	
FIGURA 22: RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA, RUTAS EN GUANACASTE, CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2008	32
FIGURA 23: RESULTADOS DE REGULARIDAD INTERNACIONAL IRI, RUTAS EN GUANACASTE, CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2008.....	33
FIGURA 24: RESULTADOS DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL, RUTAS EN GUANACASTE	34
FIGURA 25: DISTINTAS CONDICIONES DE DEMARCACIÓN CON PINTURA, LAS IMÁGENES CORRESPONDEN A LA RUTA 1 CARRETERA INTERAMERICANA NORTE. ARRIBA A LA IZQUIERDA, DEMARCACIÓN BUENA (SECCIÓN 20031, ESTACIÓN 6+000); ARRIBA A LA DERECHA, DEMARCACIÓN REGULAR (SECCIÓN 40040, ESTACIÓN 0+400); ABAJO A LA IZQUIERDA, DEMARCACIÓN MALA (SECCIÓN 50000, ESTACIÓN 9+200); ABAJO A LA DERECHA, DEMARCACIÓN INEXISTENTE (SECCIÓN 50000, ESTACIÓN 1+200).	35
FIGURA 26: RESULTADOS OBTENIDOS, EVALUACIÓN DE LA DEMARCACIÓN CON PINTURA; LONGITUDES EN KM.	36
FIGURA 27: EXISTENCIA DE ÁRBOLES ROBUSTOS DENTRO DEL DERECHO DE VÍA; RUTA 2, SECCIÓN 10010, ESTACIÓN 0+800.....	37
FIGURA 28: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LA DEMARCACIÓN POR PROVINCIAS, 2008	38
FIGURA 29: RESULTADOS OBTENIDOS, DEMARCACIÓN CON PINTURA, CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2008	39
FIGURA 30: COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN FWD, CAMPAÑAS 2008 Y 2006; LONGITUDES EN KM	41
FIGURA 31: COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN IRI, CAMPAÑAS 2008 Y 2006	42
FIGURA 32: ESQUEMA METODOLÓGICO DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE AMENAZAS NATURALES DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL (ADAPTADO DE VARGAS Y GARRO, 2003)	44
FIGURA 33: TRAMOS EVALUADOS DE RUTAS NACIONALES ANTE VULNERABILIDAD.....	46
FIGURA 34: VULNERABILIDAD AL DESLIZAMIENTO EN CORTES Y TERRAPLENES DE LA RUTA 2, TRAMOS 1, 2 Y 3	49
FIGURA 35: VULNERABILIDAD AL DESLIZAMIENTO EN CORTES Y TERRAPLENES DE LA RUTA 2, TRAMOS 4, 5 Y 6	50
FIGURA 5: FOTOGRAFÍAS DE DESLIZAMIENTOS Y FALLAS DE TALUDES TÍPICOS PRESENTES EN LA RUTA 10	53
FIGURA 37: VULNERABILIDAD DE LA RUTA 32 SIN CONSIDERAR LA AMENAZA DE LICUACIÓN DE SUELOS.....	55
FIGURA 38: VULNERABILIDAD TOTAL DE LA RUTA 32 CONSIDERANDO LA LICUACIÓN DE SUELOS	56

Campaña de Evaluación de la Red Vial de Costa Rica, año 2008

Informe Final

Resumen

Bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar una evaluación cada dos años del estado de la red vial nacional pavimentada, la cual sirve como instrumento eficaz e imparcial de rendición de cuentas y de planificación técnica para la gestión vial y de la inversión pública realizada.

Los parámetros técnicos con los que se realizó la evaluación de la red de carreteras en el año 2008 están relacionados directamente con la vida útil o de servicio, con el costo de operación de la flota vehicular que circula y con la seguridad vial, tanto evaluando la fricción de la superficie para facilitar el frenado de los vehículos como la condición de la pintura vial. Se utilizó el deflectómetro de impacto (FWD), para medir las deflexiones superficiales obtenidas al someter al pavimento a una fuerza que simula cargas de tránsito, lo que permite inferir la capacidad soportante de dicho pavimento, y con ello, la vida útil remanente en dicha estructura. Por otra parte, se utilizó el perfilómetro láser, el cual mide las irregularidades superficiales (IRI) de las vías, que se asocia tanto con el confort que siente el usuario que circula por dicho tramo, como principalmente con los costos de operación de los vehículos que usan las carreteras. En el tema de seguridad vial, el equipo de fricción o agarre (GRIP) permitió medir el coeficiente de rozamiento existente entre el pavimento y las llantas, lo que determina su adherencia a la calzada y que se relaciona directamente con el índice de peligrosidad de una ruta. Adicionalmente, se realizó la evaluación del estado de la demarcación con pintura, que es de suma importancia para la guía segura de los conductores que usan las vías tanto de día como de noche.

1. Introducción y Antecedentes

Según se establece en el artículo 5 de la Ley No. 8114 sobre la Simplificación y Eficiencia Tributaria, *“para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense...”*, la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (en adelante, LanammeUCR), deberá efectuar una evaluación bienal del estado de la red vial nacional pavimentada. De conformidad con lo señalado, el presente es un informe técnico que se enmarca dentro de las funciones de fiscalizador que la citada ley le confiere al LanammeUCR.

El estado de conservación o de deterioro de los pavimentos está relacionado directamente con la gestión implementada, y por tanto con el programa de inversiones e intervenciones que se ejecuta en la red vial nacional en un periodo dado. Así, la evaluación bienal del estado de la red vial se convierte en una herramienta eficaz para la rendición de cuentas de la gestión de dicha infraestructura, así como brinda a los ingenieros de caminos y planificadores viales una base técnica que facilita el tomar decisiones con relación en dicha gestión.

La primera campaña de evaluación de la red vial con equipos de alta tecnología se realizó en el año 2002. El principal objetivo de esta campaña fue la calibración de los equipos y la revisión y comparación de los resultados con estándares internacionales, por lo que se recorrió un pequeño porcentaje de la red vial nacional pavimentada. Se realizó una campaña de evaluación de la totalidad de la red en el año 2004, donde fueron evaluados aproximadamente 4.000 kilómetros (4.081,3 km con el

perfilómetro láser; 3.776,8 km con el deflectómetro de impacto). Posteriormente, en el año 2006, se realizó la segunda campaña de evaluación, que con los datos adquiridos sobre la extensión de la red vial nacional, así como con la programación de las giras de evaluación y solicitud de permisos, permitió evaluar cerca de 4.400 km de rutas nacionales, también con los parámetros de deflexión ante impacto y regularidad superficial.

Al igual que sucedió con la campaña del año 2006, la presente se instrumentó con el *Sistema de Posicionamiento Global* (GPS), con el objeto de mejorar la información relacionada con la ubicación de las mediciones. Adicionalmente, el GPS facilita el almacenamiento de datos en los *Sistemas de Información Geográfica* (SIG), lo que permite un manejo y análisis de la información más ágil. Gracias a la colaboración de la oficina de Planificación Sectorial del MOPT, los datos obtenidos en esta campaña cuentan con la información básica de las secciones de control de dicha entidad, lo cual simplifica enormemente el facilitar la información al público.

La Tabla 1 ilustra la longitud total evaluada en cada una de las mediciones realizadas en la campaña de evaluación 2008

Tabla 1: Longitud evaluada en cada prueba, campaña de evaluación 2008

Tipo de Medición	Longitud (Km)
Deflectometría FWD	4.707,8*
Regularidad Superficial IRI	4.564,7
Coef. Rozamiento GRIP	2.327,8**
Demarcación con pintura	3.878,9

* 72,8 km corresponden con evaluación en el 2do carril
 ** Longitud menor debido a la naturaleza del equipo, solo se evalúan rutas con valores de IRI de 4,0 o menor

Las giras destinadas a recolectar la información de deflectometría son las primeras que se realizan en la campaña de evaluación. En algunas rutas se evaluó el 2do carril en determinados tramos, como por ejemplo la General Cañas, Florencio del Castillo, Próspero Fernández, Circunvalación, entre otras; que corresponden a 79,8 km del total. La diferencia de kilometraje que existe entre esta evaluación, y la longitud total medida en regularidad superficial se debe principalmente a rutas que no pudieron ser evaluadas debido a su alto nivel de deterioro que impide realizar las mediciones a las velocidades recomendadas. Por su parte, el equipo que utiliza el LanammeUCR para evaluar el coeficiente de rozamiento (GRIP) de los pavimentos es un equipo delicado, y por recomendación de su fabricante, no puede ser utilizado en rutas que tengan un índice de regularidad superficial mayor a 4,0; de ahí que la extensión de red que puede ser evaluada bajo este parámetro se reduce considerablemente.

2. Objetivos de la campaña de evaluación 2008

2.1 Objetivo general

Conocer la condición técnica general del estado de la red vial nacional pavimentada¹ en el año 2008 y determinar su evolución o cambio respecto al año 2006.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la resistencia estructural de los pavimentos de la red vial, con el *Deflectómetro de Impacto* y clasificarla según los nuevos rangos de estado.
- Evaluar el estado de la regularidad superficial de los pavimentos de la red vial, con el *Perfilómetro Láser*, y clasificarla en rangos de estado.
- Evaluar el coeficiente de rozamiento de la superficie de los pavimentos de la red vial, con el *Medidor de coeficiente de rozamiento*.
- Hacer una evaluación visual del estado de la demarcación (pintura), así como de elementos que mejoran o perjudican la seguridad vial de dicha red.
- Comparar el estado de los pavimentos de la red vial contrastando los resultados de las evaluaciones efectuadas en los años 2006 y 2008.
- Mantener una base de datos actualizada de los parámetros técnicos de las carreteras que sea útil para la planificación de proyectos destinados al mejoramiento de la red vial.

3. Metodología y Alcances

En la presente campaña de evaluación de la red vial, la metodología empleada siguió un modelo similar al utilizado en las campañas 2004 y 2006. Con los conocimientos adquiridos en dicha campaña, se procedió a la planificación de las giras de evaluación para cada uno de los equipos. En el caso de las giras de toma de datos de deflectometría, se hizo necesario hacerlas coincidir con el final de la época lluviosa en cada una de las zonas del país, esto con el objeto de que el suelo estuviera en su condición de máxima saturación posible, lo cual arroja las deflexiones más críticas y que reflejan de una manera más real las condiciones de operación de los pavimentos de nuestro país. En esta evaluación los resultados se agrupan también por nivel de tráfico de las vías evaluadas, usando cuatro grupos: Tránsito promedio diario TPD <5.000 vpd, TPD entre 5.000 y 15.000 vpd, TPD entre 15.000 y 40.000 vpd y casos especiales de tránsito intenso (> 40.000 vpd). Definido el cronograma, se procedió al levantamiento de información de las carreteras con los equipos que se detallan a continuación:

3.1 Perfilómetro Láser para medir IRI

El perfilómetro láser es un equipo de última generación que permite evaluar la condición de regularidad superficial de las carreteras, mediante un índice de estado estandarizado internacionalmente, denominado IRI (*Internacional Roughness Index*). La regularidad o rugosidad de una carretera se define como la suma de las irregularidades de la superficie por unidad una longitud, lo que es percibido por el usuario como el confort de marcha. Sin embargo, el aspecto más importante de

¹ En adelante, conocida únicamente como Red Vial

la regularidad superficial es que se relaciona directamente con los costos del vehículo que circula por dicha carretera, dado que afecta su consumo de combustible y sus costos de mantenimiento (Figura 1).

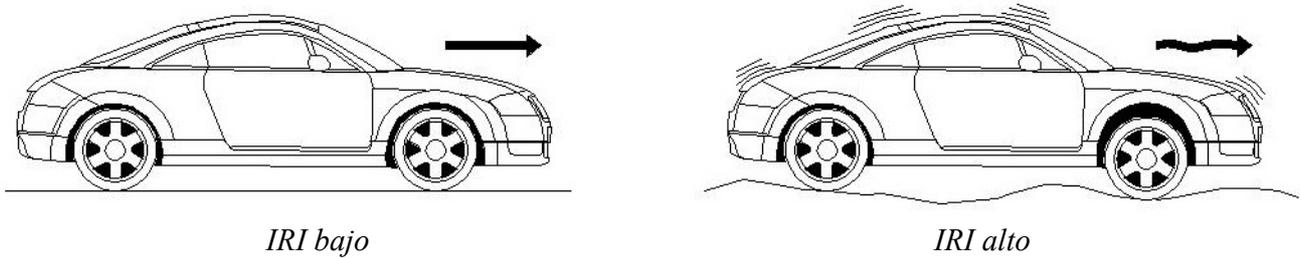


Figura 1: Efecto de la regularidad superficial en el confort sentido por los usuarios de la ruta

Existen varios estudios que demuestran que a mayor irregularidad de una ruta, aumentan sensiblemente los costos de operación de la flota vehicular que por ella circula. Por ejemplo, una ruta con gran cantidad de deformaciones y/o baches (IRI alto), tiene un efecto directo en la velocidad de operación de los vehículos, lo cual afecta a su vez el consumo de combustible; así mismo, el sistema de suspensión de cada automóvil y camión debe trabajar más para compensar estas irregularidades, lo cual acelera su deterioro y el de los neumáticos, y todo esto repercute también en la carrocería del vehículo. Por lo tanto, los costos directos a corto plazo (combustibles, neumáticos) y a medio y largo plazo (hules de suspensión, amortiguadores, daños en la carrocería) en que debe incurrir el usuario se incrementan. A su vez, otros estudios relacionan un nivel de IRI bajo, con mayor duración del pavimento (*FHWA, Departamento de Pavimentos*), y por ello está regulado como un parámetro para aceptar los pavimentos recién construidos y la conservación vial en varios países.

La Figura 2 muestra el equipo empleado por el LanammeUCR en la evaluación de la red vial, y que es conocido como perfilómetro láser. Dicho equipo consta de 3 sensores láser ubicados en la defensa delantera del vehículo, uno sobre cada huella de rodamiento y el tercero central. Estos sensores están conectados a un computador con GPS, el cual calcula en tiempo real el valor de IRI para segmentos de 100 metros de longitud, y los guarda en archivos de texto². Cada uno de estos archivos debe ser procesado individualmente, para convertirlos en tablas de datos que necesita el SIG para crear los mapas y reportes finales de las mediciones para cada tramo de carretera evaluado.

² El proceso de medición del Índice de Regularidad Internacional se basa en las Normas de ASTM-E 950 “*Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference*”, la cual abarca la medición y almacenamiento de datos de perfil medidos con base en una referencia inercial establecida por acelerómetros; y la Norma ASTM-E 1170 “*Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces*”, la cual abarca el cálculo de la respuesta vehicular a las regularidades superficiales de la carretera, utilizando un programa de simulación vehicular

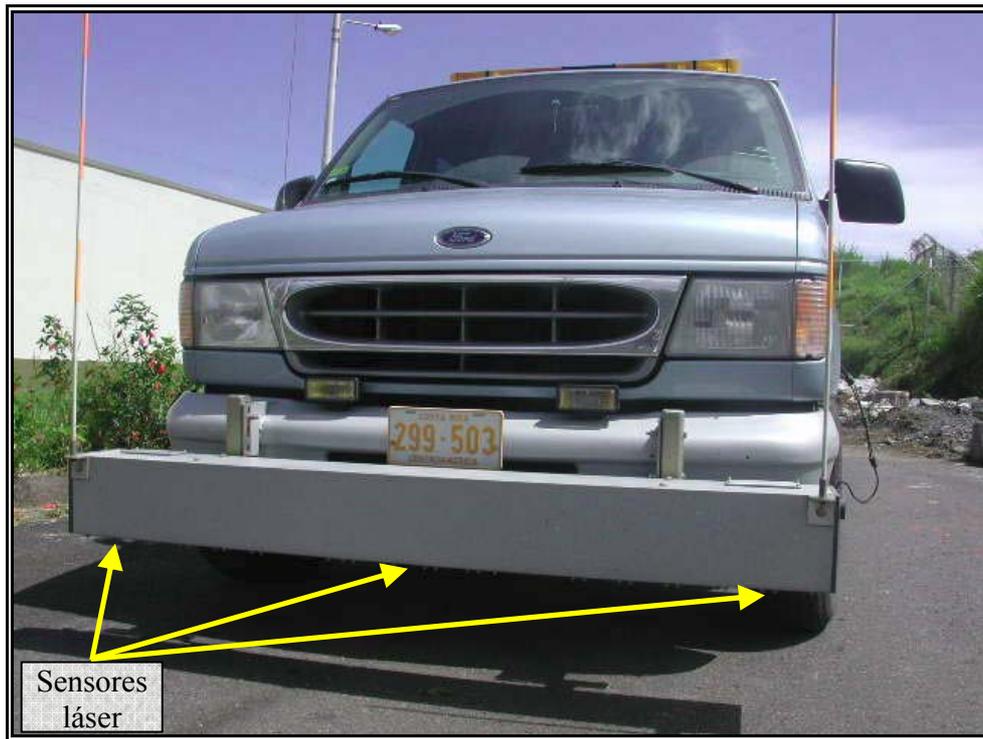


Figura 2: Perfilómetro Láser

3.2 Deflectómetro de Impacto (FWD)

Un indicador muy importante del comportamiento de los pavimentos, son las deformaciones que experimenta al ser sometido al peso de los vehículos. Dichas deformaciones o deflexiones se asocian directamente con la ocurrencia de agrietamientos por fatiga y deformaciones permanentes en la capa de rodamiento, tales como roderas; lo cual reduce la vida útil del pavimento.

Existen actualmente diversas técnicas para obtener dichas deflexiones, las cuales se basan en la teoría del pavimento como una estructura multicapa, cuyo comportamiento sigue la teoría de elasticidad. Los métodos de medición bajo impacto son los que mejor simulan el efecto de las cargas dinámicas como las producidas por los vehículos al transitar (Aquino, Zárate: “Comentarios sobre la aplicación de los parámetros relacionados con la forma de la cuenca de deflexiones, utilizando el deflectómetro de impacto”, 2006). El equipo utilizado en el LanammeUCR para la evaluación de deflexiones en pavimentos, conocido como FWD por sus siglas en inglés (*Falling Weight Deflectometer*) o simplemente deflectómetro de impacto (Figura 3), utiliza esta metodología. El deflectómetro de impacto es un equipo de alta tecnología que mide el hundimiento o deflexión instantánea que experimenta el pavimento en un punto, debido al golpe de un peso lanzado desde un mecanismo diseñado específicamente con este propósito, de tal manera que produzca una fuerza de reacción en el pavimento de 40 KN (566 Mpa). Esta carga cae sobre un plato circular cuya área de contacto es similar a la de una llanta de vehículo; las deflexiones obtenidas son registradas por 9 sensores, el primero directamente en el plato de carga, y los demás dispuestos en un arreglo lineal con una longitud máxima

de 180 centímetros (Figura 4)³. Con esta disposición es posible obtener además la forma y tamaño del cuenco de deflexiones, el cual se relaciona con aspectos como el espesor y rigidez del pavimento, las características de los materiales de las capas subyacentes y la magnitud de la carga aplicada. Es posible, con un procedimiento de cálculo inverso, determinar los módulos de elasticidad de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento, así como su vida útil remanente.



Figura 3: Deflectómetro de Impacto

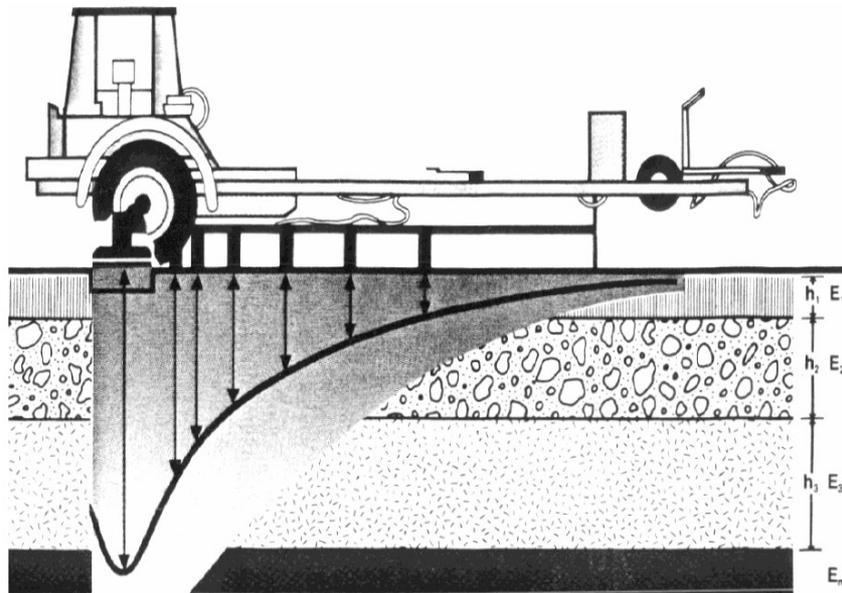


Figura 4: Cuenco de deflexiones producido por el equipo FWD

³ El procedimiento de medición se realiza con base en la Norma ASTM D 4694 “*Standard Test Method for Deflections with a Falling Weight Type Impulse Load Device*”, y consiste en transportar el equipo al lugar del ensayo y colocar el plato de carga sobre el punto deseado, descender el plato de carga y los sensores a la superficie del pavimento y subir el peso a la altura deseada para luego dejarlo caer, grabando los resultados de deflexión y carga.

Las mediciones de esta evaluación con el deflectómetro de impacto se realizan en puntos separados cada 400 metros. Es importante notar que las deflexiones obtenidas, si bien sirven para inferir la capacidad estructural de un pavimento, no son suficientes por sí solas, dado que se necesita además conocer la estructura interna del pavimento (capas componentes, materiales, espesores) y del tránsito (número de vehículos, composición de la flota), para poder estimar correctamente la capacidad estructural y vida útil remanente de la carretera.

3.3 Equipo de medición del coeficiente de rozamiento de superficie (GRIP)

Un aspecto muy importante en la seguridad vial, es el nivel de agarre o rozamiento que experimenta la llanta del vehículo con la carretera. A mayor nivel de rozamiento, mayor es la fuerza que trata de oponerse al deslizamiento del vehículo, lo cual es necesario por ejemplo cuando el conductor debe tomar una curva a una velocidad moderada en carreteras principales o rotondas, o cuando debe realizar una frenada de emergencia. Por otro lado, pavimentos con nivel de rozamiento bajo brindan condiciones inseguras para los usuarios, siendo el derrape o pérdida del control del vehículo la causa común de accidentes en rutas que presentan esta condición. Como se deriva de lo anterior, mantener un valor mínimo de rozamiento de la superficie es vital para conservar las condiciones de servicio y seguridad normales de una vía. Varios países cuentan con estudios que relacionan los bajos niveles de rozamiento de un tramo vial con índices más elevados de ocurrencia de accidentes; lo cual indica que se deben mejorar los niveles de rozamiento para reducir la cantidad de accidentes y los gastos asociados con estos.

El nivel de rozamiento de la superficie depende de varios factores, siendo los principales la macro textura y la micro textura de la mezcla asfáltica o concreto utilizado en la vía. La macro textura se relaciona directamente con el tipo de agregado expuesto en la mezcla obtenida; y afecta directamente la capacidad de drenaje del agua en la superficie de la vía. A mayor macro textura, mejor esta capacidad, pero en detrimento del desgaste de las llantas de los vehículos que por dicha ruta circulan. A menor macro textura, menor la capacidad de drenaje de la carretera, que ante ciertas condiciones de cantidad de agua superficial y velocidad de los vehículos produce el fenómeno llamado *hidroplaneo*: la llanta no se encuentra en contacto directo con la superficie, sino que entre ambos se forma una pequeña película de agua, lo que conlleva a la pérdida del control del vehículo al maniobrar. Por otra parte, la micro textura depende directamente de la superficie del agregado expuesto en la mezcla, y es la que brinda la adhesión entre este agregado y la llanta. La piedra con poca resistencia o que se pule fácilmente con el paso del tránsito (como por ejemplo el agregado calizo) es por tanto poco apta para utilizarla en mezclas usadas en superficies de rueda. La Figura 5 ilustra lo expuesto anteriormente.

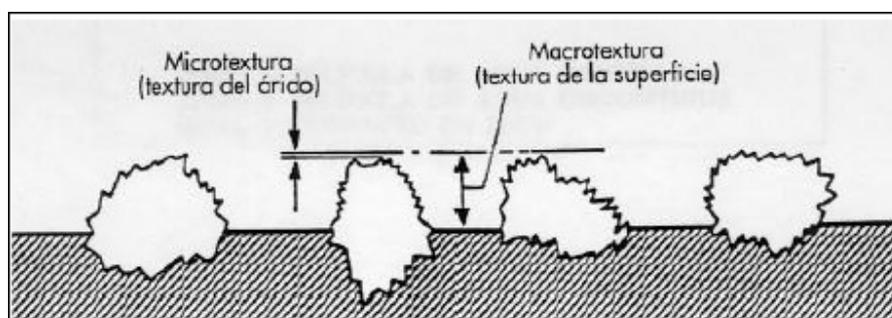


Figura 5: Diferencias entre micro y macro textura del agregado en una superficie de rueda

El equipo utilizado por el LanammeUCR para medir el coeficiente de rozamiento es del tipo que utiliza una rueda parcialmente bloqueada en dirección de la trayectoria seguida, y es conocido a nivel internacional como *Griptester*. Dado que la condición húmeda de una carretera es la condición que ofrece el menor rozamiento, el equipo posee una bomba y una reserva capaz de generar una película de agua constante al frente de la rueda; mediante sensores, el equipo calcula directamente la fuerza de arrastre ejercida sobre ésta y obtiene el *gripnumber* o medición de rozamiento. Este valor puede relacionarse con el coeficiente internacional de fricción IFI, si se conoce la textura de la superficie de rueda. La ventaja de este aparato es su facilidad de operación, su reducido tamaño que no necesita de un vehículo dedicado, y que permite tomar mediciones continuas en las carreteras (ver Figura 6).



Figura 6: Griptester utilizado

3.4 Evaluación de la demarcación horizontal (pintura)

Un aspecto muy importante en la seguridad vial es la demarcación horizontal y vertical de las rutas, así como la existencia de elementos que mejoran dicha seguridad, o que por el contrario, cuando están ausentes, ponen en peligro a los usuarios de estas vías. Así por ejemplo, la existencia de barreras de protección lateral permite a vehículos que por alguna razón han perdido el control, detenerse sin salirse de la vía, sin poner en peligro a otros vehículos o terceros. Cuando no se requieren guardavías, será importante eliminar los obstáculos sólidos dentro del derecho de vía, tales como árboles, postes de tendido eléctrico, cabezales de alcantarillas o zanjas profundas que constituyen una amenaza adicional de que se presente una colisión de graves consecuencias.

Como parte de la campaña de evaluación de la red vial 2008, en cada punto donde se hizo una medición de deflectometría, se tomaron fotos de la ruta cada 400 metros, durante el día, las cuales fueron posteriormente evaluadas visualmente para verificar tanto el estado de la demarcación con pintura, como también la existencia de obstáculos en las cercanías o dentro del derecho de vía. Dichas imágenes se acomodaron en un formato de carpetas y archivos que permite su ubicación correcta en la base de datos digital, creada en el sistema de información geográfica para esta campaña de evaluación.

4. Presentación de Resultados de la Evaluación de la Red Vial Nacional

4.1 Deflexiones de la red vial obtenidas mediante FWD

4.1a. Criterios de clasificación

La evaluación de la red vial con el deflectómetro de impacto abarcó una longitud de 4.707,8 km⁽⁴⁾ de carreteras pavimentadas, con mediciones cada 400 metros en promedio; de esta longitud, 72,8 km corresponden con rutas evaluadas en dos carriles. Esto debido principalmente a que dichas rutas presentan carriles independientes, que pueden tener características de deterioro distintas. La Tabla 2 muestra los tramos evaluados en ambos sentidos.

Tabla 2: Tramos evaluados con FWD en ambos sentidos

Ruta	Nombre	Tramo	Longitud (m)
1	Carretera General Cañas, Carretera Bernardo Soto	La Sabana – Cruce Manolo´s	25.183
2 y 10	Carretera Florencio del Castillo	Curridabat –La Lima – Metrocentro	11.276
27	Carretera Próspero Fernández	La Sabana – Santa Ana	14.750
32	Carretera Braulio Carrillo	Barrio Tournón – Puente sobre el Río Virilla	2.940
39	Circunvalación	Cruce de Calle Blancos – Cruce de La Uruca	14.695
153	acceso a Alajuela (concreto)	Aeropuerto Juan Santamaría – B° El Carmen	1.645
175	acceso alterno a Desamparados	Plaza Víquez – Paso Ancho	2.286
Total			72.775

Como parte de las investigaciones realizadas en el 2008 en el LanammeUCR, se elaboraron nuevos rangos de deflectometría superficial con base en el Tránsito Promedio Diario (TPD) que presenta cada ruta⁽⁵⁾. Estos rangos, que aparecen en la Tabla 3, tienen por objeto representar más fielmente las condiciones reales de uso de las rutas nacionales, por lo que fueron utilizados en la presente campaña de evaluación para clasificar los resultados. Los datos de TPD fueron suministrados por el MOPT y tienen algunas limitaciones porque no se miden anualmente todas las rutas en años recientes.

Tabla 3: Rangos de deflexión según TPD, utilizados para clasificar resultados de deflectometría

TPD (vehículos por día)	menor a 5000 vpd	5000 – 15000 vpd	15000 – 40000 vpd	Casos Especiales*
Categoría	TPD Bajo	TPD Moderado	TPD Alto	Especiales
Categorías deflexión	Rangos (en mm⁻²)			
Bajas	menor a 76,5	menor a 70,8	menor a 59,2	menor a 48,5
Moderadas	76,5 – 88,5	70,8 – 83,3	59,2 – 69,4	48,5 – 57,6
Altas	88,5 – 115,7	83,3 – 112,9	69,4 – 95,2	57,6 – 80,8
Muy Altas	mayor a 115,7	mayor a 112,9	mayor a 95,2	mayor a 80,8

* Corresponden con rutas con alto TPD y porcentaje alto de vehículos pesados, las cuales son la ruta 1 Carretera General Cañas, tramo La Uruca – entrada a Naranjo, y la ruta 32, tramo Puente sobre el Río Virilla - Limón

⁴ Dentro de este total se incluyen las nuevas rutas de travesía, que corresponden a 79,8 km

⁵ Los datos de TPD para cada tramo y ruta fueron facilitados por la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT. El informe Determinación de rangos de clasificación para la red vial nacional, UI-03-08, del LanammeUCR explica la metodología para establecer los rangos de FWD e IRI para clasificar la red vial nacional pavimentada.

Los rangos presentados no aplican para rutas en concreto hidráulico, dado el tipo de diseño, construcción y comportamiento que conllevan estos pavimentos. También se tiene una clasificación especial para rutas que cuentan con base estabilizada con cemento, pero no se aplicó en la clasificación debido a que no se tiene toda la ubicación precisa de base estabilizadas en las vías del país.

4.1b. Resultados de la evaluación de la red vial con el ensayo de deflectometría FWD

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos en el parámetro de deflexiones superficiales, para la campaña 2008; la Figura 7 muestra en forma gráfica este resultado. En total, se procesaron más de 14.000 mediciones con dicho equipo.

Tabla 4: Deflexiones FWD obtenidas para la Red Vial, campaña 2008

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas según rango del TPD	3.290,4	69,89
Moderadas según rango del TPD	400,6	8,51
Altas según rango del TPD	585,7	12,44
Muy altas según rango del TPD	431,1	9,16
Total	4.707,8	kilómetros

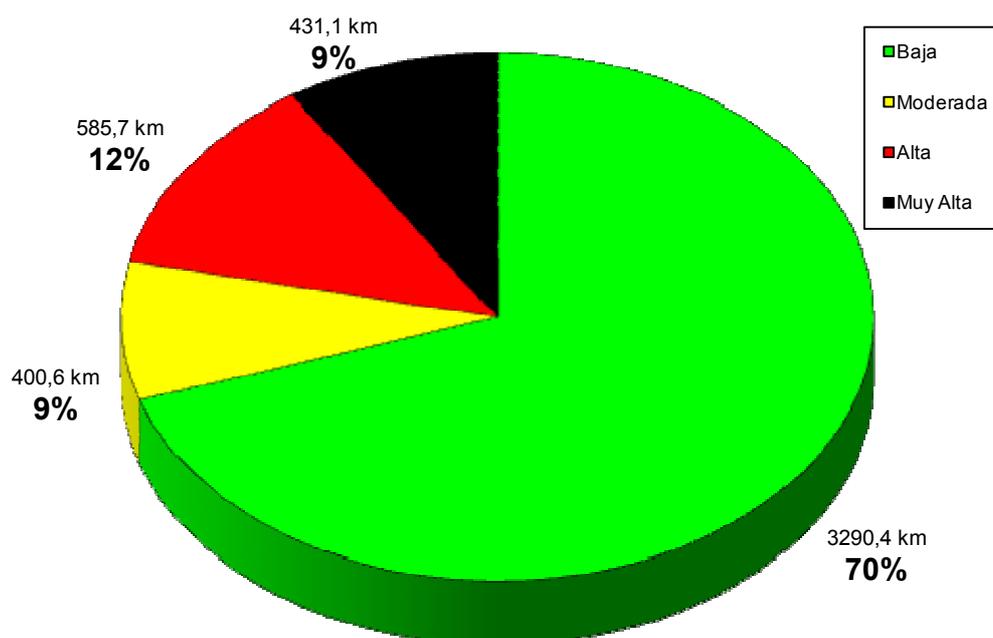


Figura 7: Estado general de la red vial según los valores de deflexión (FWD,2008), longitudes en km.

Se deriva que aproximadamente dos terceras partes de la red se encuentran en buen estado según el parámetro de deflexión FWD, con base en los nuevos rangos presentados. Sin embargo, 1.016,8 km presentan deflexiones entre altas y muy altas, lo cual revela una condición de deterioro avanzado para aproximadamente una quinta parte de la red.

4.1c. Resultados de deflectometría desglosados por provincia

En la Tabla 5 se presentan los datos de deflexión FWD desglosados por provincia, y en la Figura 8 se ilustra lo anterior de forma gráfica.

Tabla 5: Distribución de resultados de deflexión para cada provincia, evaluación FWD 2008

Provincia	Longitudes (km)				Total	Porcentajes por provincia			
	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta		Baja	Moderada	Alta	Muy Alta
San José	712,1	74,4	82,5	53,0	922,0	77,2	8,1	8,9	5,7
Alajuela	700,3	121,0	207,3	154,0	1181,6	59,2	10,2	17,5	13,0
Cartago	319,0	36,7	47,0	27,5	430,2	74,1	8,5	10,9	6,4
Heredia	135,9	29,7	43,3	33,1	242,1	56,1	12,3	17,9	13,7
Guanacaste	373,0	91,6	174,8	161,9	801,3	46,5	11,4	21,8	20,2
Puntarenas	641,5	34,4	48,3	22,6	746,9	85,9	4,6	6,5	3,0
Limón	350,4	21,2	9,4	2,7	383,7	91,3	5,5	2,4	0,7
					4.707,8				

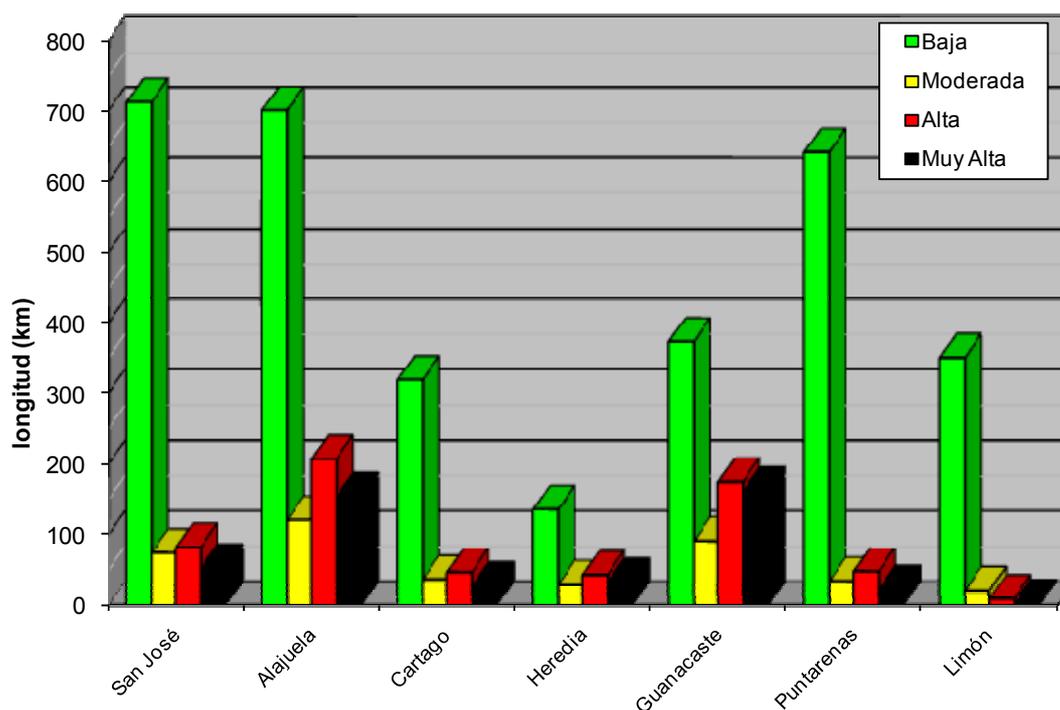


Figura 8: Estado de la red vial por provincias, según los valores de deflexión obtenidos (parámetro FWD).

De la figura anterior se aprecia que Alajuela y Guanacaste son las provincias que presentan la mayor cantidad de rutas con deflexiones altas, relativo a la longitud de rutas que presentan, seguidas por San José y Heredia. Por su parte, Limón y Puntarenas son las provincias que presenta la menor cantidad de rutas con deflexiones altas.

4.1d. Resultados de deflectometría desglosados por tránsito de la ruta TPD

En la Tabla 6 se presentan los datos totales desglosados por rango de TPD suministrados por el MOPT. La Figura 9 ilustra lo anterior de forma gráfica.

Tabla 6: Distribución de resultados de deflexión por categoría de TPD, evaluación FWD 2008

Rango TPD	Totales en cada rango de deflexión (km)				Totales (km)
	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta	
TPD Bajo	2.080,5	262,2	414,8	339,6	3097,0
TPD Moderado	348,9	57,8	91,2	59,8	557,7
TPD Alto	569,6	44,3	52,0	21,8	687,8
Especiales	291,4	36,3	27,6	10,0	365,3
				Total	4.707,8

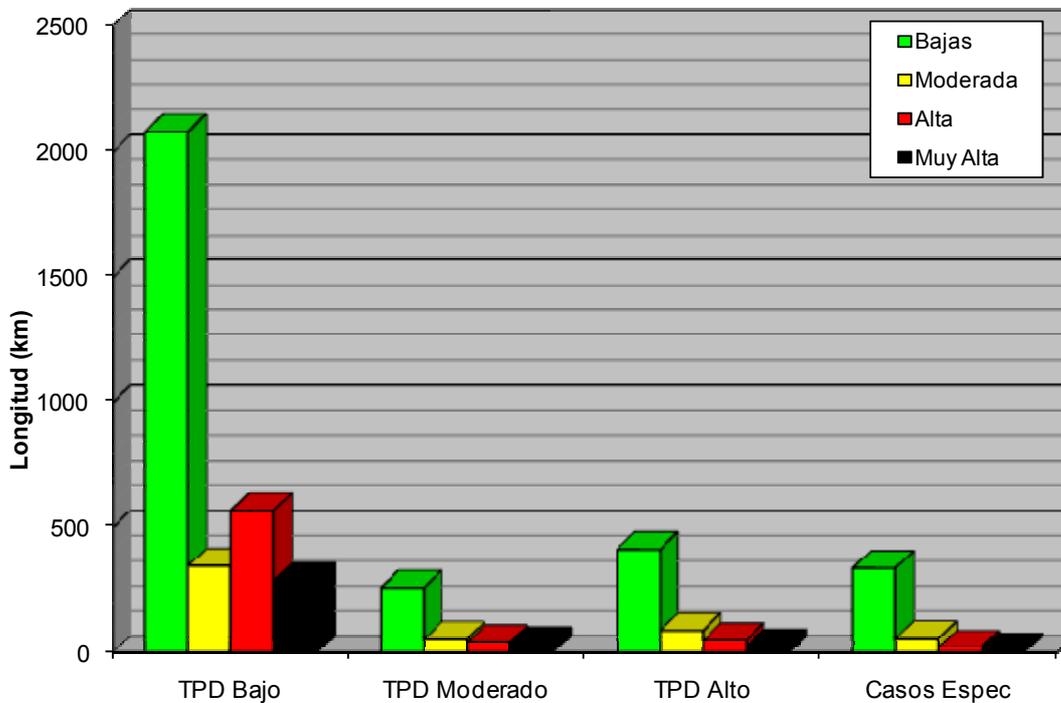


Figura 9: Estado de la red vial por rango de TPD, según los valores de deflexión obtenidos (parámetro FWD 2008).

Cerca de dos terceras partes de la longitud total de la red vial presenta un valor de TPD bajo (< 5.000 vpd), según datos MOPT; esta categoría es a la vez la que presenta la mayor proporción relativa de rutas con deflexiones altas (pavimento débiles). Las rutas con altos volúmenes de tránsito y de carga pesada, llamados casos especiales (365,3 km), son por el contrario las que presentan relativamente la menor cantidad de deflexiones altas, pero sí existen algunas secciones en colores rojo y negro.

4.2 Condición de la red vial según regularidad superficial (IRI)

4.2a. *Criterios de clasificación*

La evaluación de la red vial con el perfilómetro láser abarcó una longitud de 4.564,7 km de carreteras pavimentadas; 70,3 km de rutas no pudieron ser evaluados debido a que sus altos niveles de deterioro impide que el equipo circule a la velocidad de medición normal. En este ensayo no se evaluaron ambos carriles de las rutas que aparecen en la Tabla 2. Los rangos de regularidad superficial de pavimentos utilizados para clasificación de estado en esta campaña, se muestran en la Tabla 7:

Tabla 7: Rangos de clasificación de regularidad superficial para la red vial (IRI)

rango de regularidad m / km	clasificación
menor a 1,0	regularidad superficial muy buena
entre 1,0 y 1,9	regularidad superficial buena
entre 1,9 y 3,6	regularidad superficial regular
entre 3,6 y 6,4	regularidad superficial deficiente
mayor a 6,4	regularidad superficial muy deficiente

Fuente: Determinación de rangos de clasificación para la red vial nacional, UI-03-08, LanammeUCR, 2008

Los datos de IRI están procesados en tramos de 100 metros de longitud, y representan el promedio de los valores de IRI para los sensores izquierdo y derecho del perfilómetro láser; esto debido a que estos sensores son los que toman los datos de la huella de rodamiento de los vehículos en la carretera.

4.2b. *Resultados de regularidad superficial (IRI)*

La Tabla 8 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial con perfilómetro láser de la red vial; la Figura 10 muestra en forma gráfica de dicha condición. En total, se evaluaron y procesaron con este equipo más de 46.000 secciones de 100 metros de longitud en promedio.

Tabla 8: Resultados obtenidos, regularidad superficial de la red vial

Rango de IRI	Longitud (km)	%
0 - 1,0 m/km	7,7	0,17
1,0 - 1,9 m/km	353,8	7,63
1,9 - 3,6 m/km	1.809,7	39,04
3,6 - 6,4 m/km	1.487,9	32,10
Mayor 6,4 m/km*	975,9	21,05
Total	4.635,0	kilómetros

* Esta categoría incluye los 70,3 km de rutas que no lograron ser evaluadas por su condición de deterioro severo.

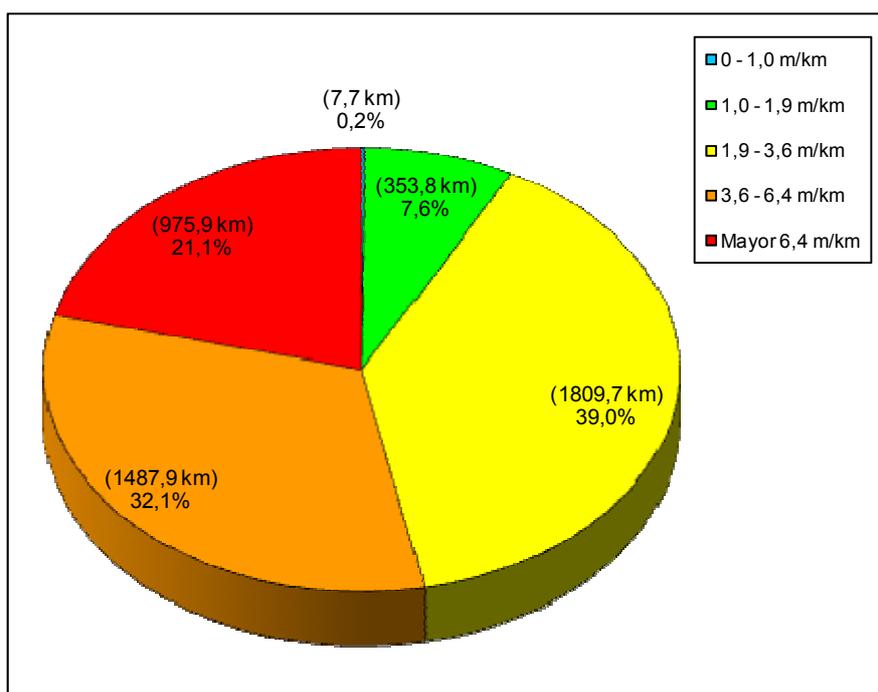


Figura 10: Estado de la red vial según regularidad superficial (parámetro IRI); longitudes en km.

Se observa que menos de la décima parte de la red vial, (353,8+7,7=361) Km, presentan un IRI muy bueno o bueno. Unos 1.809,7 km, una tercera parte de la longitud evaluada, presenta valores de IRI intermedios, mientras que más de la mitad (2.463,8 km) presentan valores de IRI altos, lo cual como se mencionó antes, contribuye en aumentar los costos de operación de la flota vehicular nacional, aumenta la incomodidad de viaje y reduce la durabilidad de los pavimentos.

4.2c. Resultados de IRI desglosados por provincia

En la Tabla 9 se presentan los datos desglosados por provincia, mismos que aparecen en la Figura 11.

Tabla 9: Distribución de resultados de IRI por provincia, 2008 (longitudes en km)

Provincia	Rangos de IRI (^m /km)					Totales
	0 - 1,0	1,0 - 1,9	1,9 - 3,6	3,6 - 6,4	Mayor 6,4*	
San José	0,72	44,11	283,83	320,74	236,45	885,85
Alajuela	1,01	80,99	445,61	367,36	285,27	1180,25
Cartago	0	3,02	112,18	153,68	136,82	405,69
Heredia	0,20	19,93	85,59	67,41	73,14	246,27
Guanacaste	5,50	41,93	380,03	241,30	114,97	783,72
Puntarenas	0	85,57	326,63	238,88	102,82	753,90
Limón	0,30	78,27	175,87	98,52	26,39	379,35
					Total	4.635,04

* Esta categoría incluye los 70,3 km de rutas que no pudieron ser evaluadas por su condición de deterioro severo

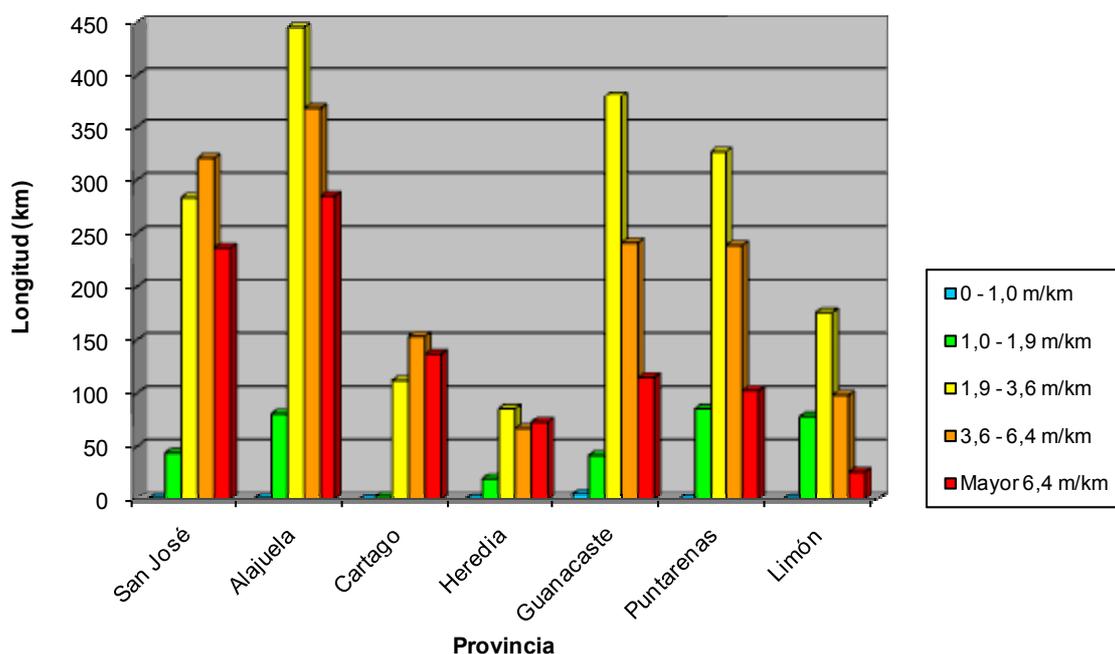


Figura 11: Estado de la red vial por provincias según su regularidad superficial (parámetro IRI).

La provincia con más longitud de red vial es Alajuela, con 1.180,25 km; seguida por San José (885,85 km), Guanacaste (783,72 km) y Puntarenas (753,90 km). Como se aprecia en la figura anterior, la distribución en cada rango de deflexión en estas provincias es dominada por los valores intermedios y altos. Limón y Cartago presentan longitudes similares (379,35 km y 246,27, respectivamente); sin embargo mientras que en Limón la distribución de rangos es dominada por los valores bajos de IRI, en Cartago, así como en Heredia, la distribución está dominada por los valores altos de IRI.

4.2d. Resultados de IRI clasificados por rangos de tránsito TPD

En la Tabla 10 se muestran los resultados de la evaluación por regularidad superficial, desglosados según el rango de TPD suministrado por el MOPT; los resultados gráficos se muestran en la Figura 12.

Tabla 10: Distribución de resultados de IRI por nivel TPD, 2008 (longitudes en km)

Rango de IRI	Rango de TPD (vehículos por día vpd)			Casos Especiales > 40.000 vpd
	Bajo TPD < 5.000 vpd	Moderado De 5.000 a 15.000 vpd	Alto De 15.000 a 40.000 vpd	
0 - 1,0 m/km	0,10	5,50	0,62	1,51
1,0 - 1,9 m/km	243,70	31,33	25,89	52,89
1,9 - 3,6 m/km	1299,45	241,11	162,41	106,77
3,6 - 6,4 m/km	1117,60	193,51	137,59	39,19
Mayor 6,4 m/km	774,81	92,41	33,09	5,25
Totales	3.435,66	563,86	359,59	205,62

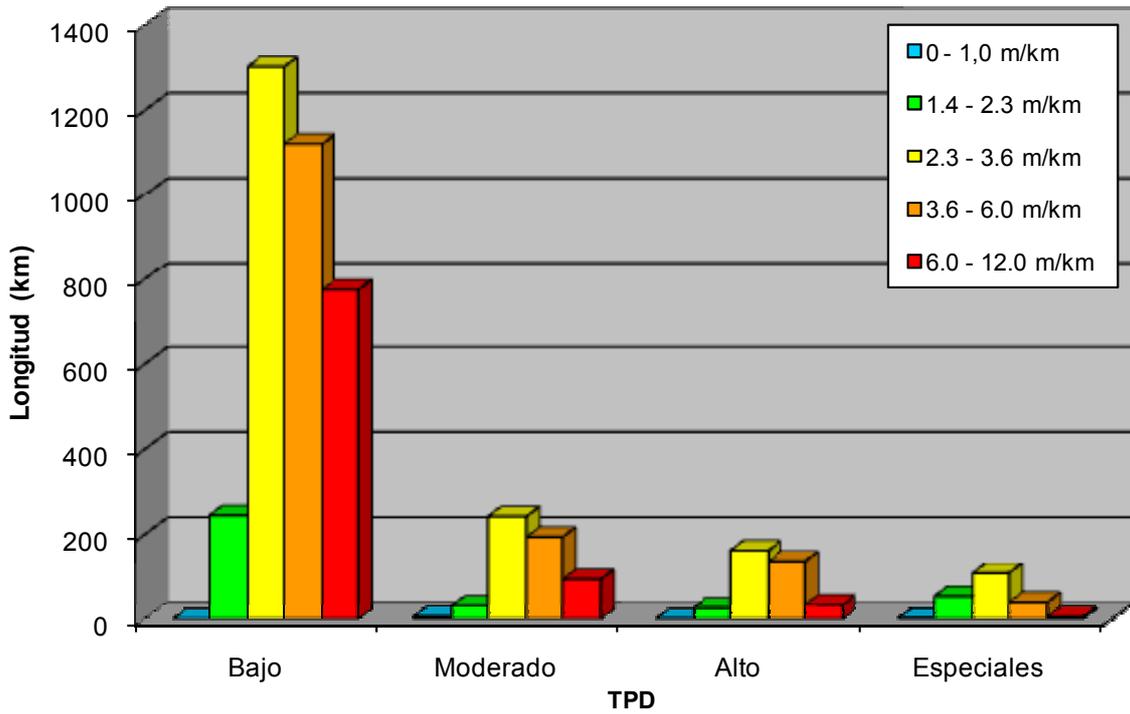


Figura 12: Estado de la red vial por rangos de TPD según su regularidad superficial (parámetro IRI).

De la figura anterior se aprecia que la distribución relativa de valores de IRI es similar para cada rango de TPD.

4.3 Condición de la red vial según coeficiente de rozamiento de pavimentos (GRIP)

4.3a. *Criterios de clasificación*

La evaluación de la red vial con el medidor de rozamiento superficial abarcó una longitud de 2.327,8 km de carreteras pavimentadas (50,2% del total de la red pavimentada); esto debido principalmente a la naturaleza del equipo: para mantener su precisión no puede ser utilizado en tramos que presenten un valor de IRI mayor de 4,0; de no mantener este cuidado, el equipo perdería su calibración rápidamente. Todas las mediciones se realizan a una velocidad promedio de 50 km/hora.

Dado que es la primera vez que se realiza esta evaluación, se utilizaron dos rangos de clasificación para medir la condición de rozamiento en la red vial. El primer rango es el que recomienda el fabricante del equipo, el cual varía un poco según el tipo de vía por el que se circula; los valores recomendables aparecen en la Tabla 11. El segundo rango de clasificación es utilizado a nivel internacional, el cual relaciona los valores del coeficiente de fricción transversal (CFT) con el valor *Gripnumber* (GN) que arroja la prueba; éste es ilustrado en la Tabla 12.

Tabla 11: Valores del GN mínimos recomendados por el fabricante del *Griptester*, para carreteras

Zona	Definición de vía donde aplica	GN*
A	Autopista	0,48
B	Vías de doble carril	0,48
C	Vías de carril sencillo	0,54
D	Vías de doble carril, 50 m o menos de distancia a intersecciones con rutas secundarias	0,54
E	Vías de carril sencillo, 50 m o menos de distancia a intersecciones con rutas secundarias	0,60
F	Cualquier ruta, 50 m o menos de distancia a intersecciones con rutas principales	0,60
G1	Rutas con pendientes entre 5% y 10% (no importa la cercanía a intersecciones)	0,60
G2	Rutas con pendientes mayores del 10% (no importa la cercanía a intersecciones)	0,66
H1	Lazos de unión entre autopistas, radios menores a 250 m	0,60
H2*	Lazos de unión entre autopistas, radios menores a 100 m	0,78
J	Cualquier ruta, 50 m o menos de distancia a rotondas	0,66
K	Cualquier ruta, 50 m o menos de distancia a semáforos y/o pasos de peatones / ferrocarril	0,66
L*	Rotondas	0,72

* Todas las mediciones hechas a 50 km/h, excepto H2 y L, las cuales se realizan a 20 km/h

Tabla 12: Clasificación internacional del pavimento según el GN

GN	Condición	Nivel			Tipo de Pavimento característico
		Deslizamiento	Peligrosidad	Riesgo medio de accidentabilidad*	
< 0,50	Malo	Muy deslizante	Muy peligroso	mayor a 20	Pavimento flexible compuesto de agregado calizo
0,50 – 0,60	Regular	Deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y pérdida de textura
0,60 – 0,78	Bueno	Poco deslizante	Moderado	10 a 16	Pavimento rígido y flexible con buena textura
> 0,78	Muy Bueno	No deslizante	Seguro	menor a 10	Pavimento nuevo o sobrecapas

* Número de accidentes por cada millón de vehículos / kilómetro, en función del coeficiente de fricción, obtenidos en Gran Bretaña, según memorias del 5to Simposio de Características Superficiales de Pavimentos, Toronto, Canadá, 2004.

4.3b. *Resultados de coeficiente de rozamiento con el ensayo de GRIP*

La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos en la evaluación del coeficiente de rozamiento de una parte de la red vial pavimentada; la Figura 13 muestra en forma gráfica dicho estado. En total, se evaluaron y procesaron con este equipo más de 480.000 secciones de 5 metros de longitud en promedio.

Tabla 13: Resultados obtenidos, agarre superficial de la red vial mediante el ensayo GRIP

Condición*	Longitud (km)	Porcentaje %
Número GRIP superior al requerido por tabla No. 11	1.354,84	58,2
Número GRIP inferior al requerido por tabla No. 11	972,97	41,8
Total	2.327,81	kilómetros

* Según rangos del fabricante

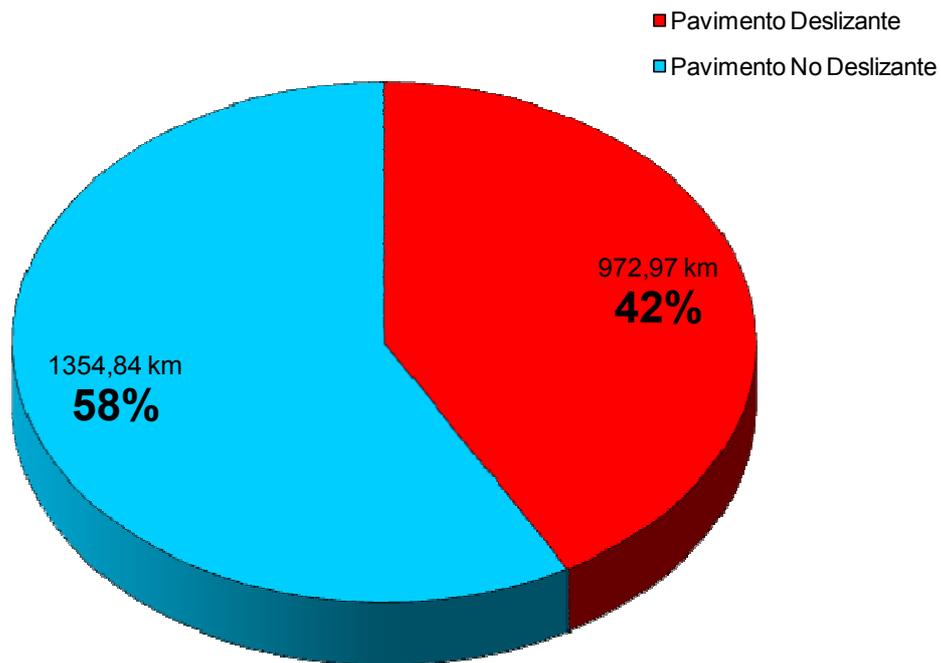


Figura 13: Estado de la red vial evaluada (50,2% del total), según rozamiento superficial (parámetro GRIP), clasificación del fabricante del *Griptester*; longitudes en km.

Los anteriores resultados se dan con base en el criterio emitido por el fabricante, presentado en la Tabla 11. Este criterio permite identificar los tramos que presentan un coeficiente de rozamiento inferior al requerido; sin embargo, para planificación del mantenimiento en la gestión de pavimentos, es poco útil al no señalar con mayor precisión la curva de deterioro que sufre una superficie producto del paso de vehículos. De ahí la importancia de utilizar también la clasificación internacional presentada en la Tabla 12; los resultados de las mediciones obtenidas para la red evaluada mediante este último criterio se presentan respectivamente en la Tabla 14 y Figura 14.

Tabla 14: Resultados obtenidos, coeficiente rozamiento superficial de la red vial mediante el ensayo GRIP

Condición*	Longitud (km)	Porcentaje %
Muy Bueno (no deslizante)	74,15	3,2
Bueno (poco deslizante)	527,26	22,7
Regular (deslizante)	700,16	30,1
Malo (muy deslizante)	1.026,24	44,1
Total	2.327,81	kilómetros

* Según clasificación internacional

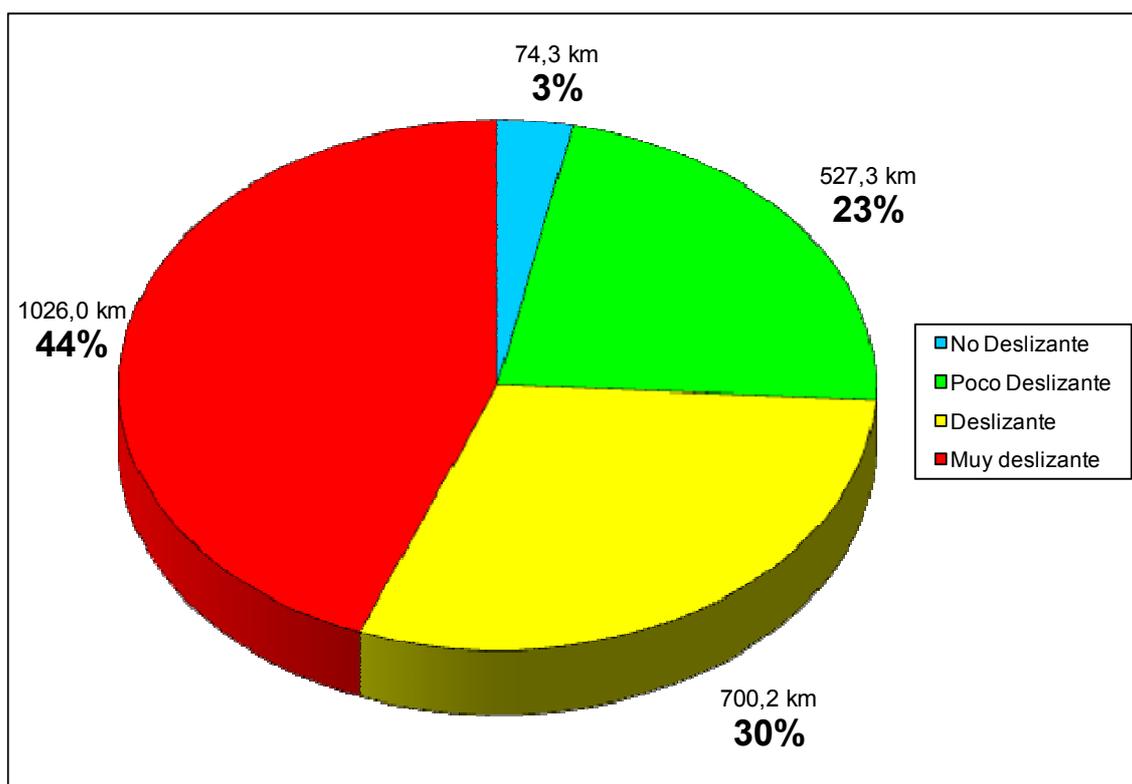


Figura 14: Estado de la red vial evaluada (50,2% del total), según agarre superficial (parámetro GRIP), clasificación internacional; longitudes en km.

Se puede apreciar que sólo una cuarta parte de la longitud evaluada, 601,4 km, presenta un nivel de rozamiento superficial aceptable. Unos 700,2 km presentan una condición moderada; mientras que poco menos de la mitad, 1.026 km, son rutas con niveles de rozamiento muy bajos, y por tanto deslizantes y peligrosos desde el punto de vista de seguridad vial para los conductores de vehículos.

4.3c. Resultados de rozamiento desglosados por provincia

En la Tabla 15 se presentan los datos desglosados por provincia, mismos que aparecen en la Figura 15.

Tabla 15: Distribución de rangos de agarre por provincia, 2008, mediante el parámetro GRIP

Provincia	Longitudes (km) en cada rango de GRIP*				Totales (km)
	Muy Bueno No deslizante	Bueno Poco deslizante	Regular Deslizante	Malo Muy deslizante	
San José	8,18	28,76	58,95	135,89	231,79
Alajuela	26,02	161,50	202,62	225,83	615,98
Cartago	11,73	61,50	42,59	26,44	142,26
Heredia	2,33	28,51	30,48	65,77	127,09
Guanacaste	9,96	81,49	105,63	254,78	451,87
Puntarenas	8,26	86,54	156,70	227,67	479,16
Limón	7,67	78,96	103,18	89,85	279,66
				Total	2.327,81

* Según clasificación internacional

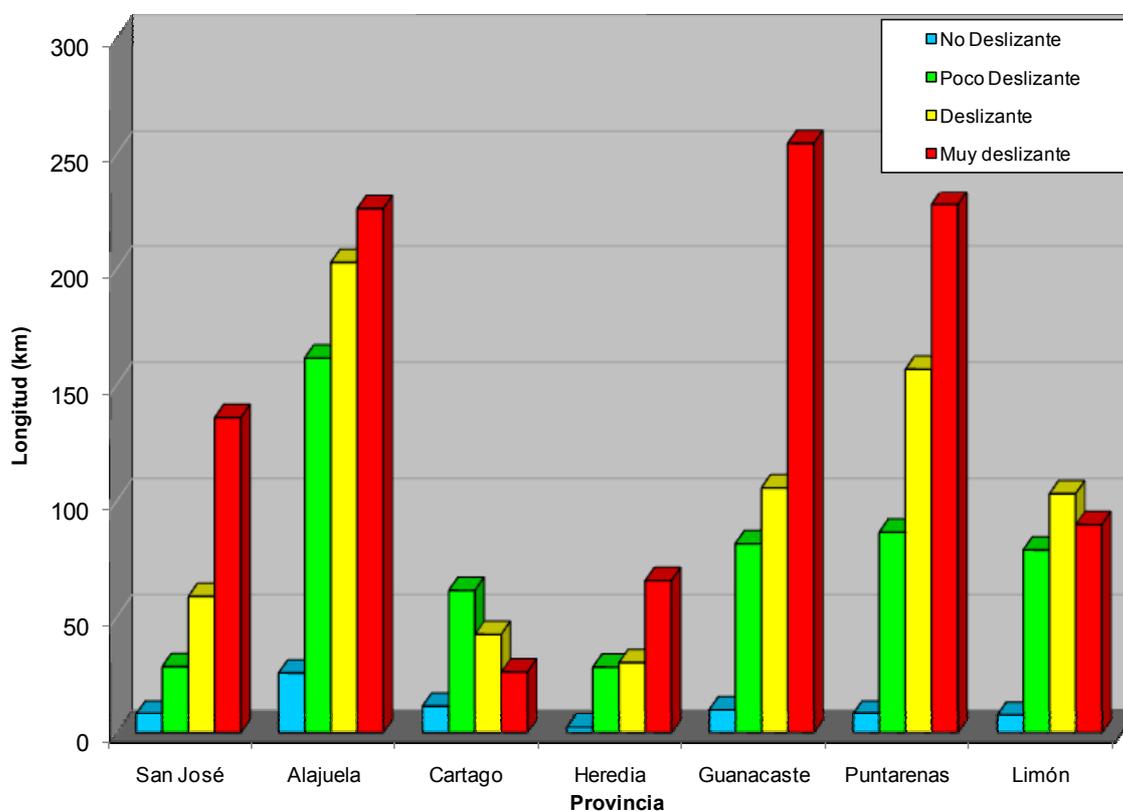


Figura 15: Estado de la red vial por provincias, evaluada según su nivel de rozamiento superficial (parámetro GRIP).

La distribución de rangos para este parámetro es similar para todas las provincias excepto en una (Cartago), donde los valores que dominan indican menos proporción de pavimento deslizante. Guanacaste, San José y Puntarenas son las que presentan la mayor cantidad relativa de rutas más peligrosas para el deslizamiento en el país.

4.4 Mapas parciales con los resultados de mediciones de la red vial

Las Figuras 16 a 24 presentadas a continuación, ejemplifican los resultados de la evaluación con el deflectómetro de impacto, perfilómetro láser, medidor de rozamiento y condición de la demarcación con pintura para 3 zonas específicas, como lo son el área del GAM (Figuras 16 a 18), San Ramón – Esparza – Puntarenas (Figuras 19 a 21) y parte de Guanacaste (Figuras 22 a 24).

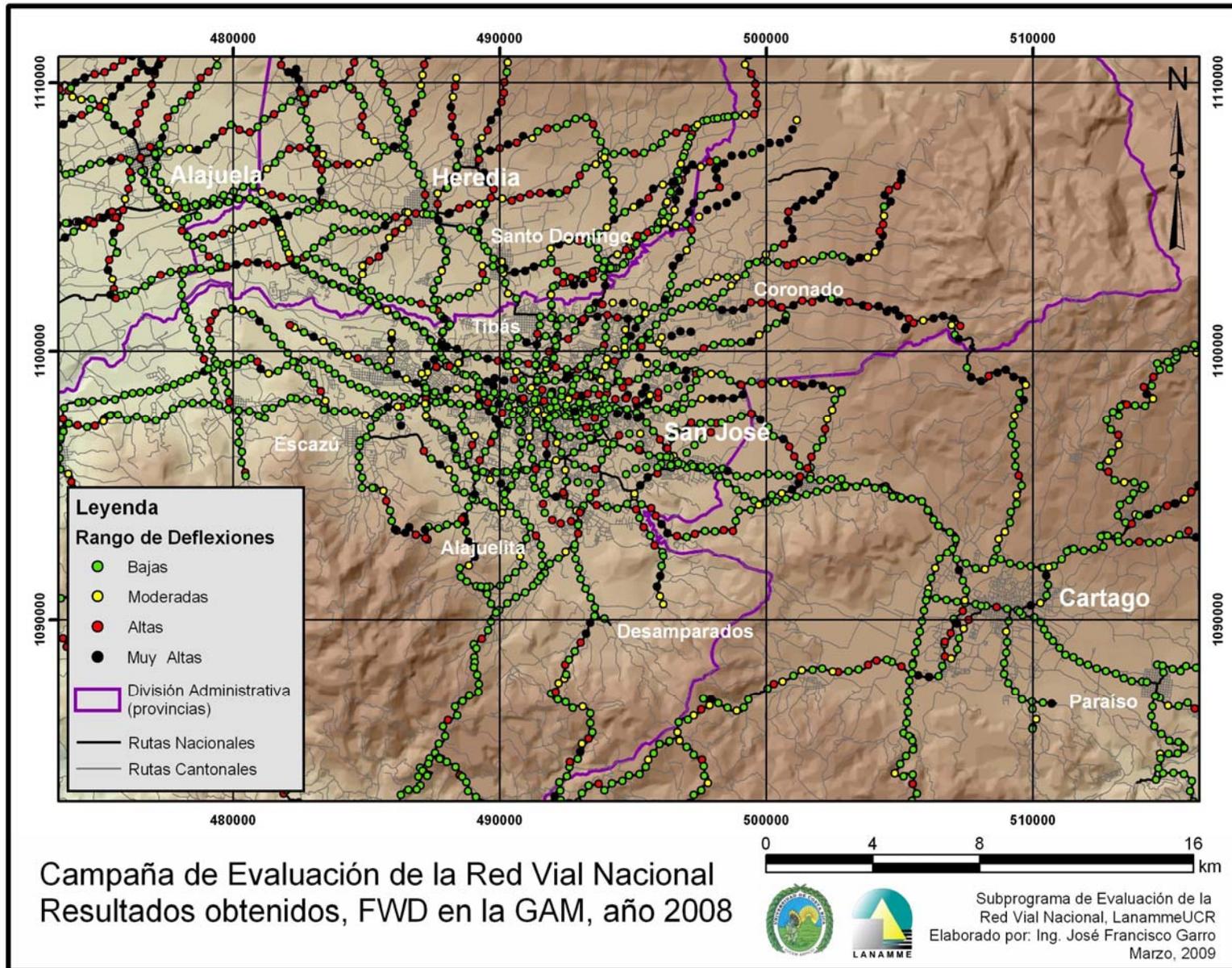


Figura 16: Resultados obtenidos con el deflectómetro de impacto FWD, rutas en la GAM, Campaña de Evaluación 2008

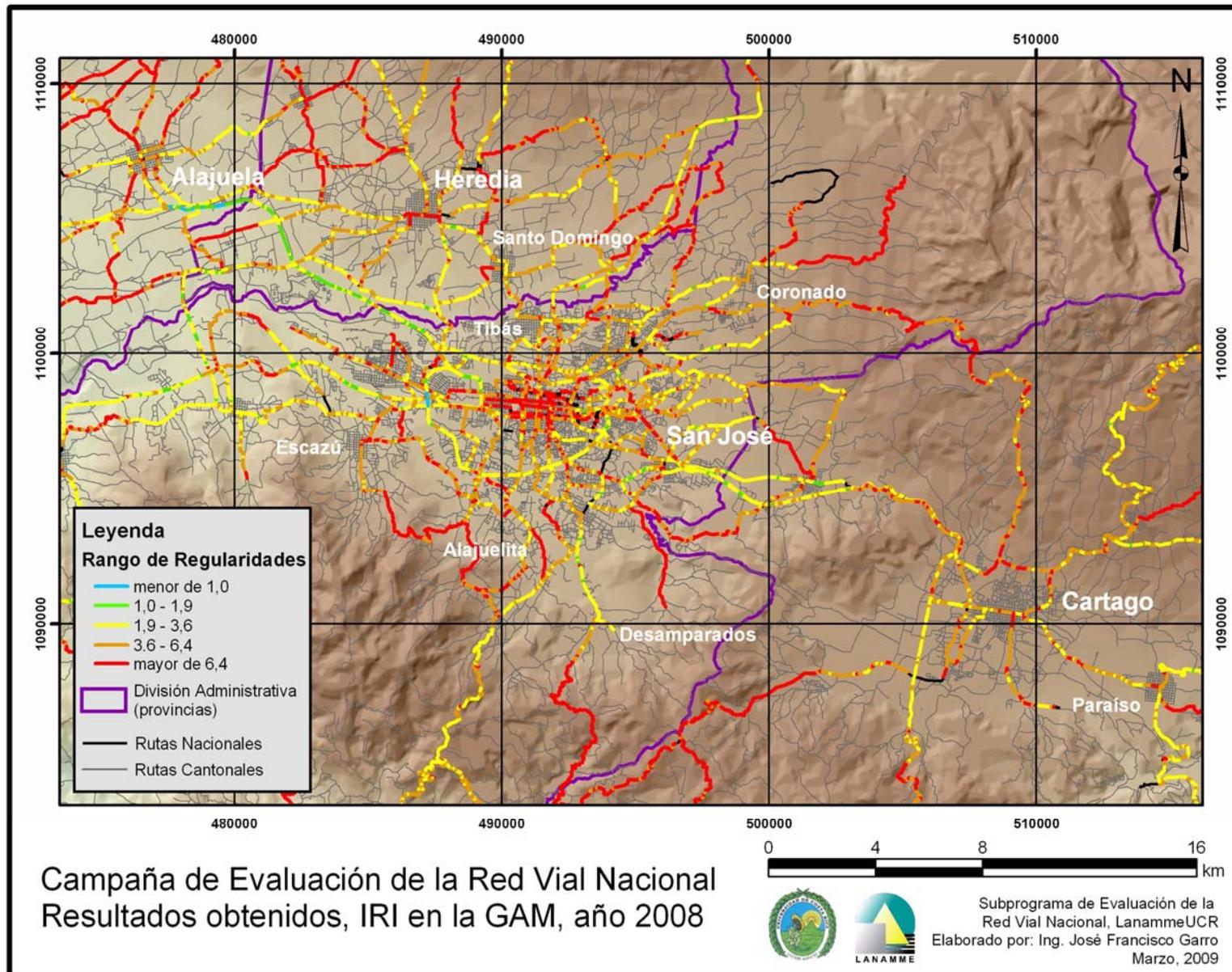


Figura 17: Resultados obtenidos de regularidad internacional IRI, rutas en la GAM, Campaña de Evaluación 2008

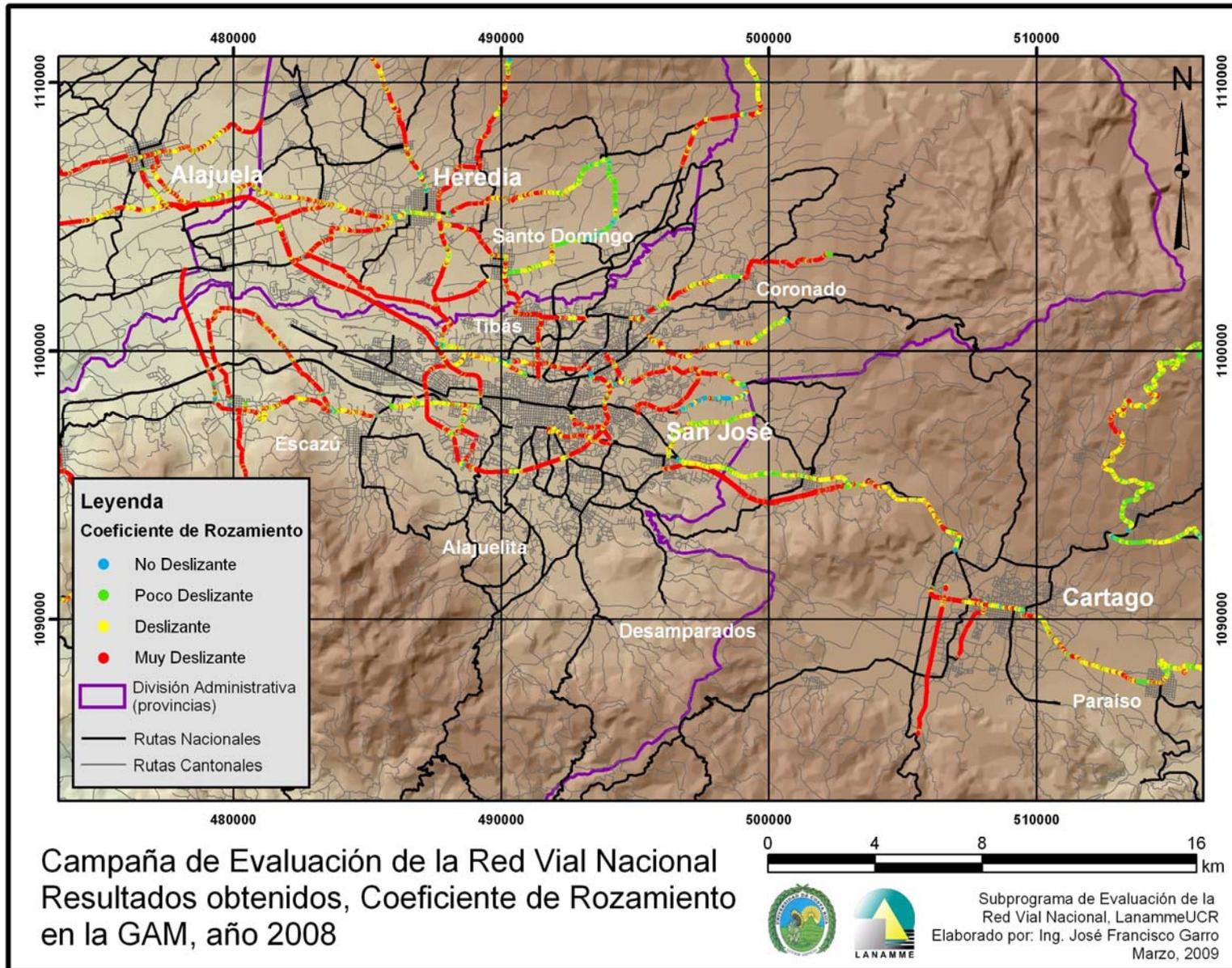


Figura 18: Resultados obtenidos con el medidor de rozamiento superficial GRIP, rutas en la GAM, Campaña de Evaluación 2008

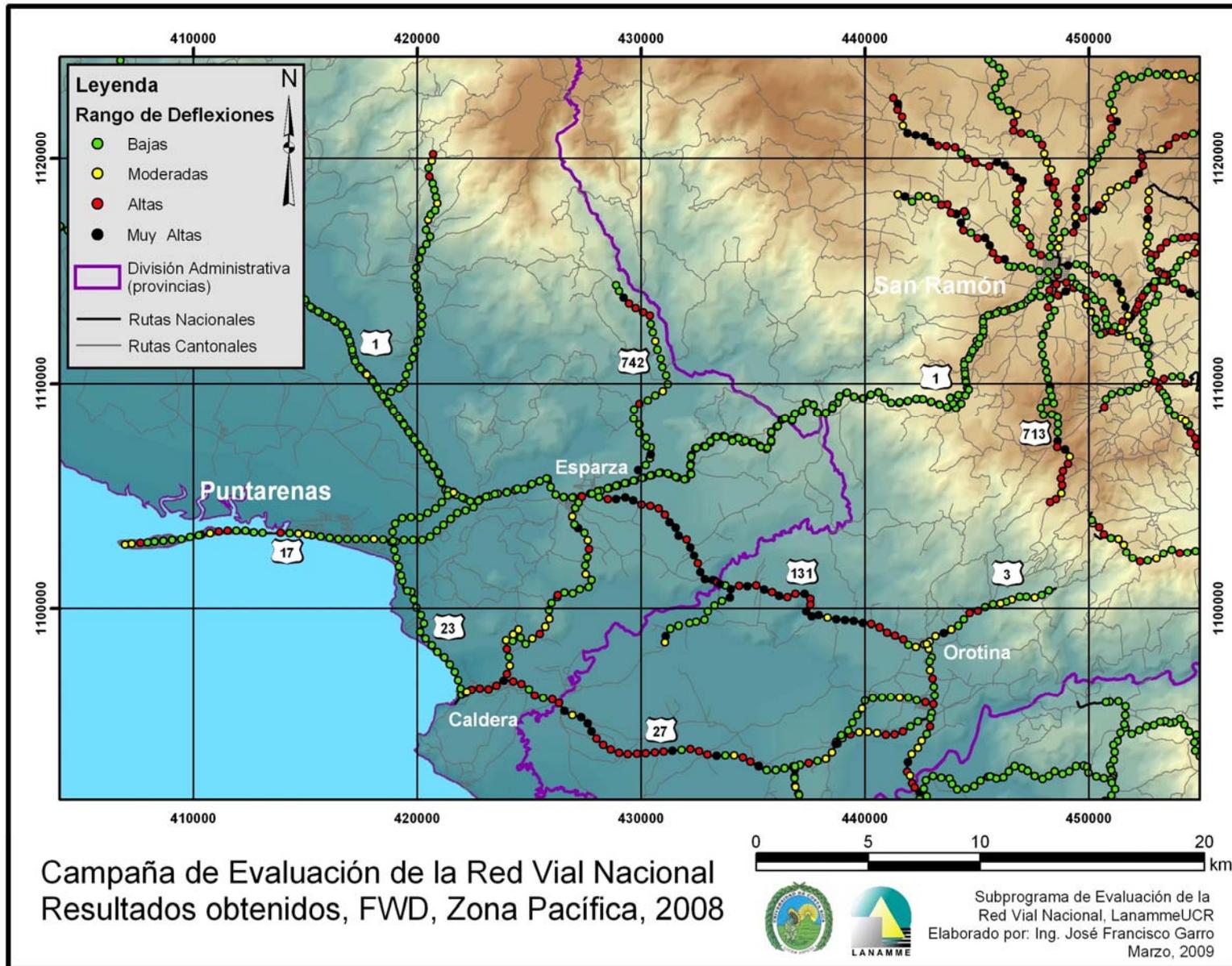


Figura 19: Resultados obtenidos en deflectometría FWD, rutas en el Pacífico Central, Campaña de Evaluación 2008

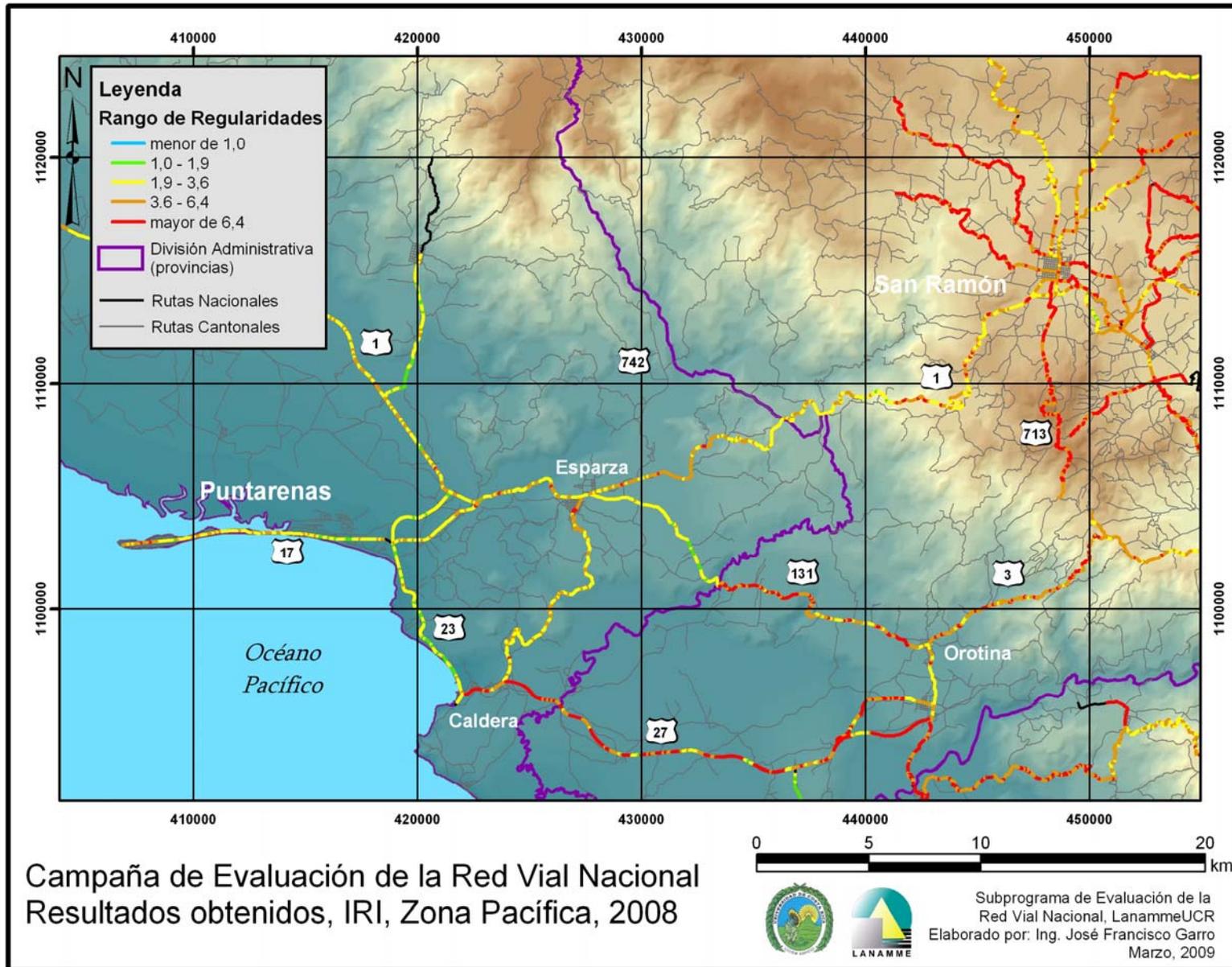


Figura 20: Resultados obtenidos de regularidad internacional IRI, rutas en el Pacífico Central, Campaña de Evaluación 2008

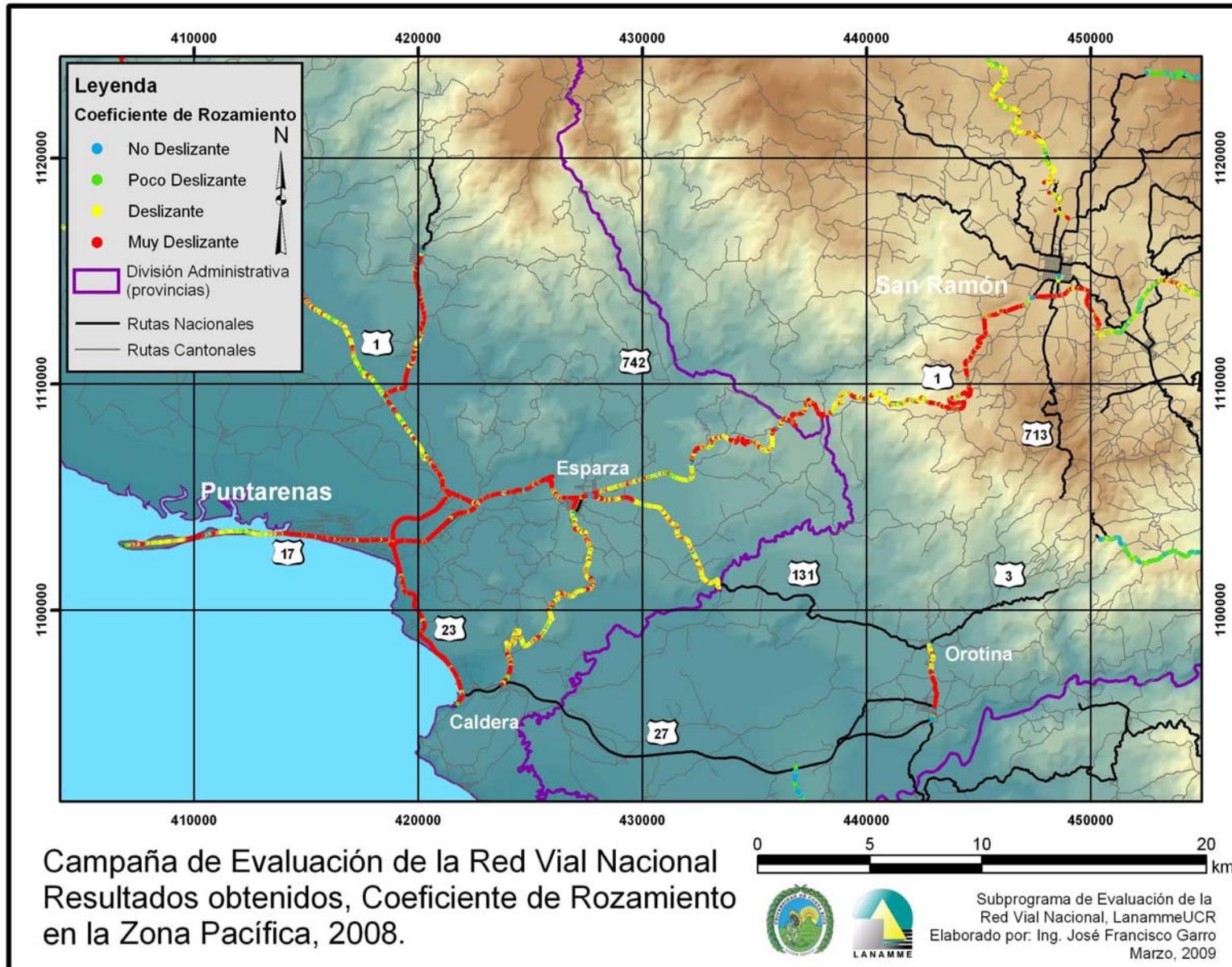


Figura 21: Resultados de condición de rozamiento superficial GRIP, rutas en el Pacífico Central, Campaña de Evaluación 2008

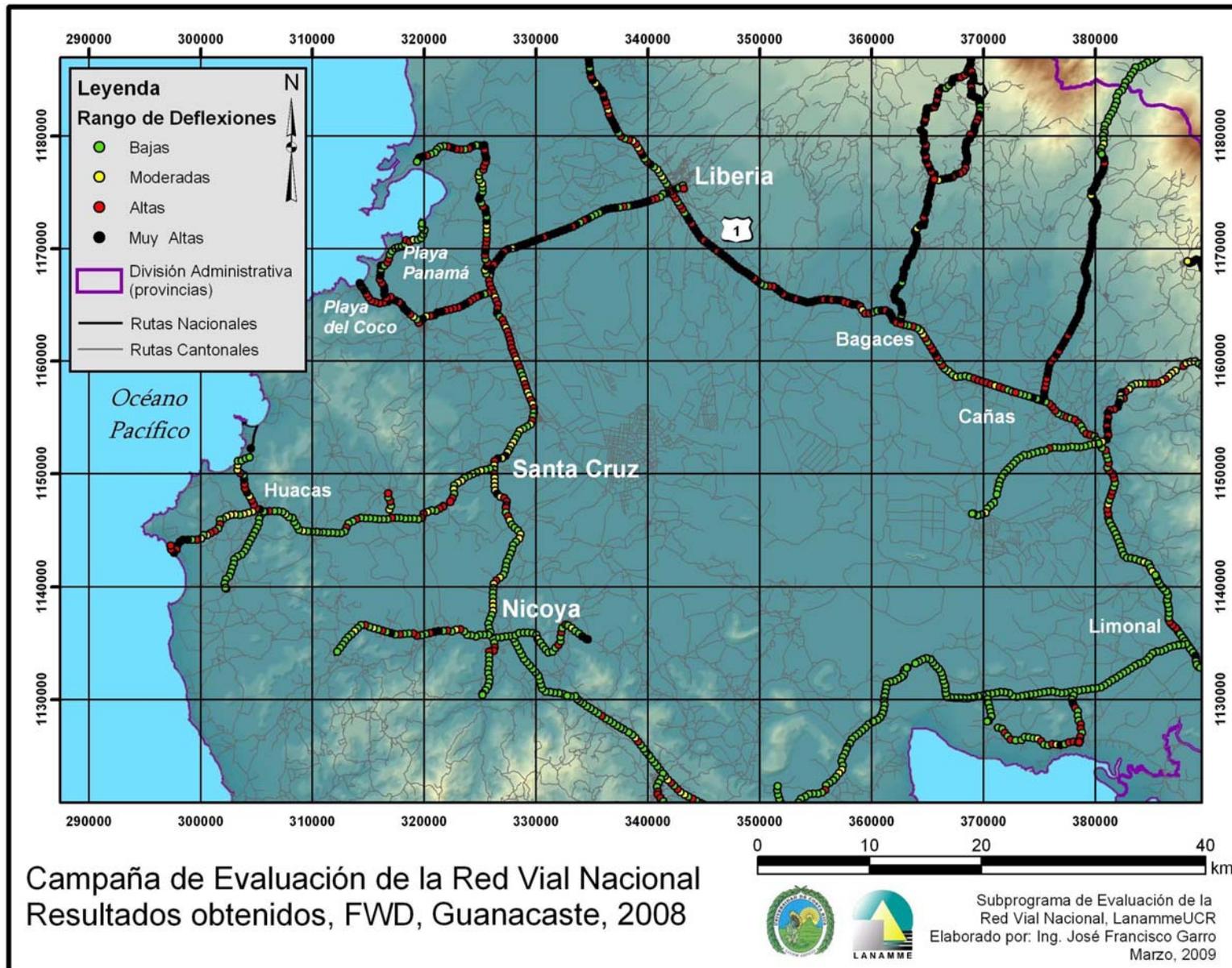


Figura 22: Resultados de deflectometría, rutas en Guanacaste, Campaña de Evaluación 2008

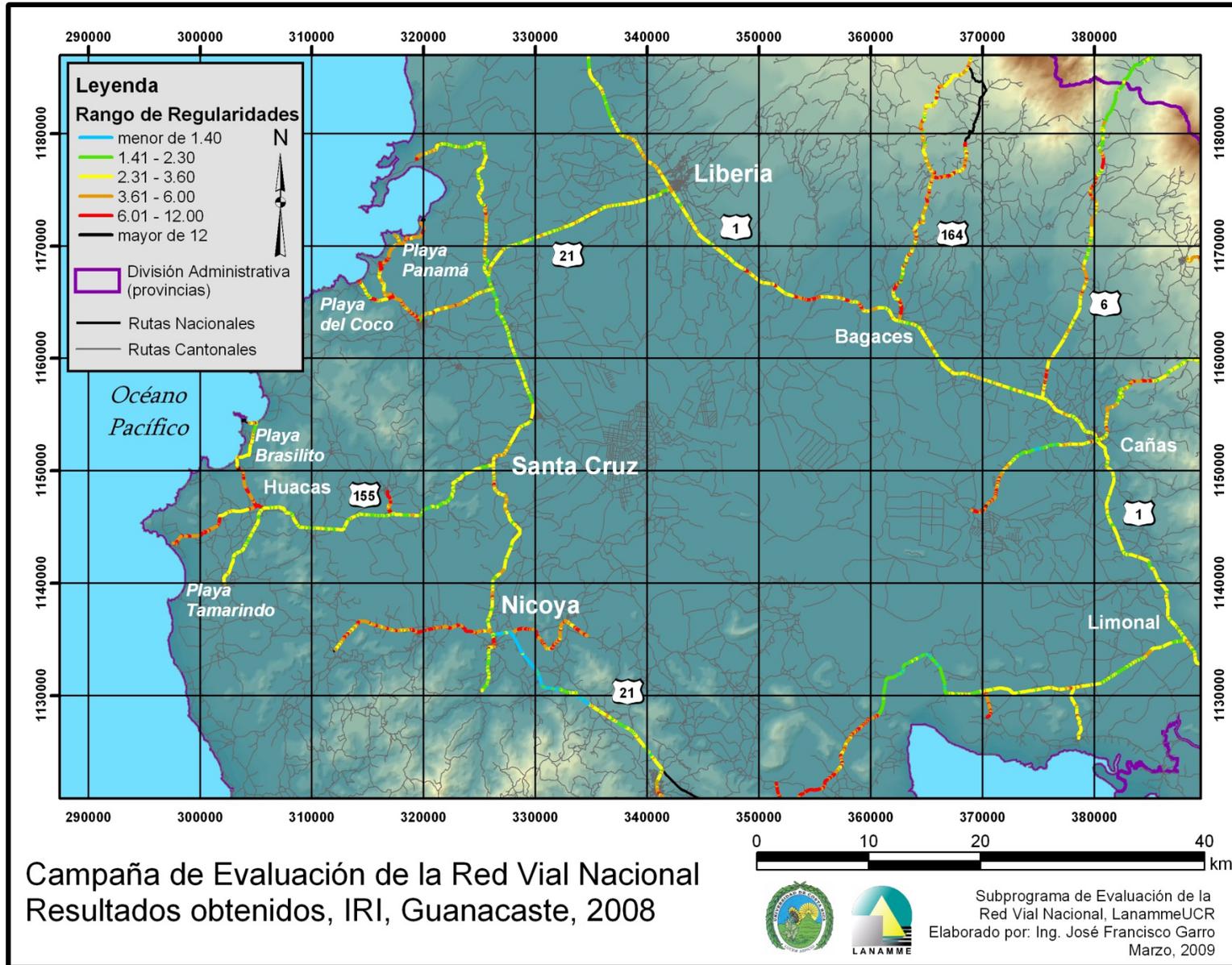


Figura 23: Resultados de regularidad internacional IRI, rutas en Guanacaste, Campaña de Evaluación 2008

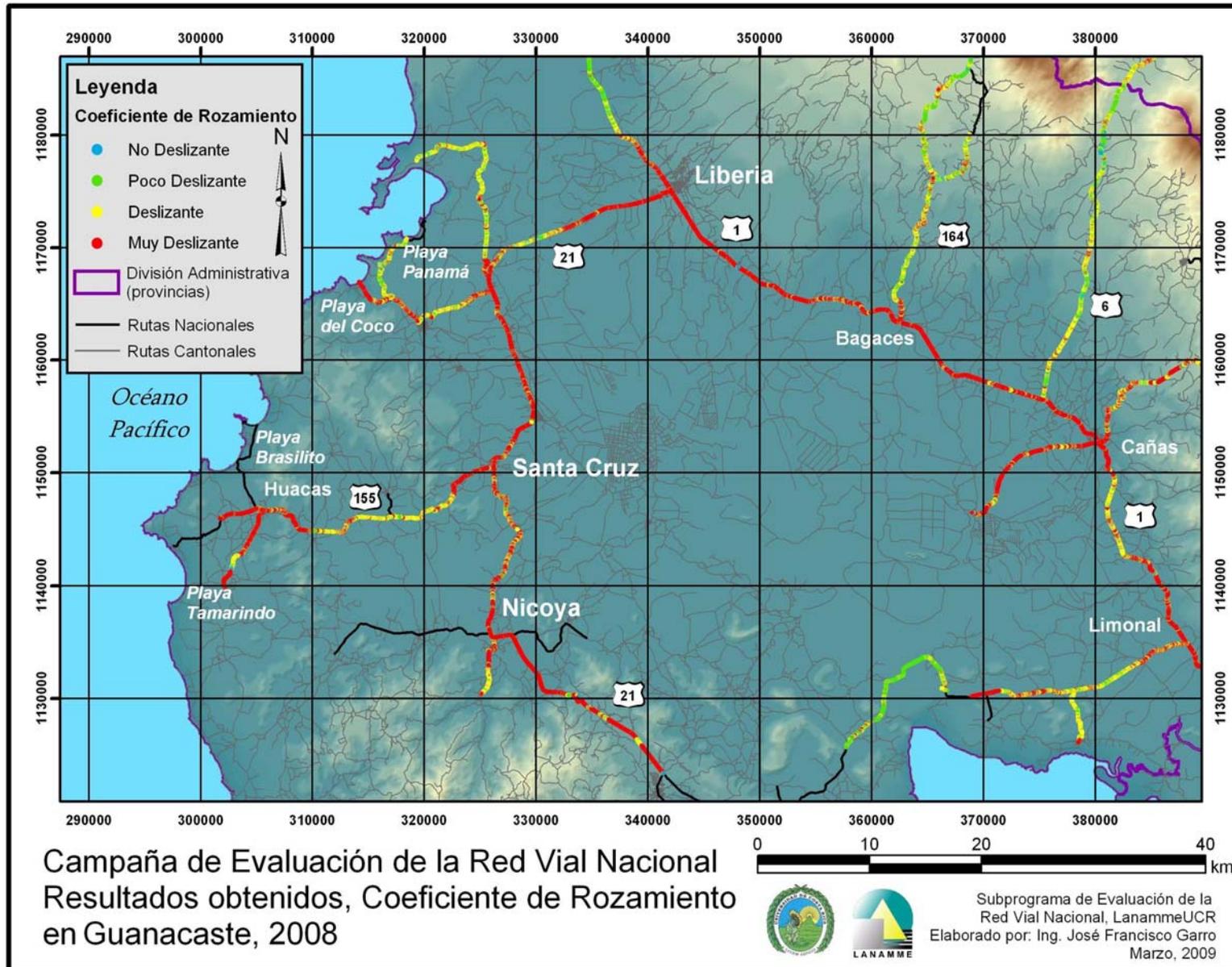


Figura 24: Resultados de rozamiento superficial, rutas en Guanacaste

4.5 Condición de la red vial según demarcación con pintura para el año 2008

4.5a. *Criterios de clasificación*

En cada punto donde se realizó medición de deflectometría (cada 400 m), se tomaron dos fotografías de la ruta evaluada, una hacia adelante del equipo del equipo (sentido de recorrido) y otra hacia atrás. En total, se cuenta con más de 21.000 imágenes, las cuales abarcan 3.878,9 kilómetros, un 83,7% de la red vial pavimentada. Debido a las características de tránsito de las rutas dentro del Gran Área Metropolitana, éstas deben ser evaluadas de noche, y en estos casos, no se tomaron fotografías, de ahí el faltante de rutas sin evaluar mediante este criterio.

Se crearon cuatro condiciones de clasificación visual (sin instrumentos), las cuales son:

- i. Demarcación buena: corresponde con pintura en excelentes condiciones, visible durante el día, y que abarca toda la capa de rodamiento. No se evaluó por la noche. (Figura 25a).
- ii. Demarcación regular: pintura con niveles de desgaste apreciables, pero que en general mantiene sus características de visibilidad de día, posiblemente difícil de ver en la noche (Figura 25b).
- iii. Demarcación mala: pintura casi inexistente por su alto nivel de desgaste, de difícil apreciación durante el día (Figura 25c)
- iv. Demarcación inexistente: el estacionamiento o tramo evaluado no presenta pintura (no se ha realizado labor de pintura) (Figura 25d)



a



b



c



d

Figura 25: Distintas condiciones de demarcación con pintura, las imágenes corresponden a la ruta 1 Carretera Interamericana Norte. Arriba a la izquierda, demarcación buena (sección 20031, estación 6+000); arriba a la derecha, demarcación regular (sección 40040, estación 0+400); abajo a la izquierda, demarcación mala (sección 50000, estación 9+200); abajo a la derecha, demarcación inexistente (sección 50000, estación 1+200).

En la base de datos creada a partir del procesamiento de las fotos, se anotaron también aquellos tramos viales que presentan la existencia de cunetas revestidas, guardavías y captaluces o reflectores tipo “ojos de gato”, los cuales en conjunto mejoran tanto la seguridad de la vía, como su desempeño durante su vida útil. Asimismo, se tomó nota de la existencia de huecos u obstáculos dentro del derecho de vía, los cuales van en detrimento de la seguridad vial.

4.5b. Resultados obtenidos

En la Tabla 16 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de demarcación; la Figura 26 ilustra lo anterior de forma gráfica.

Tabla 16: Resultados obtenidos en la evaluación de demarcación con pintura vial

Demarcación	Longitud (km)	Porcentaje %
Buena	489,6	12,6
Regular	824,5	21,3
Mala	665,9	17,2
Inexistente	1.899,0	49,0
Total	3.878,9	Km

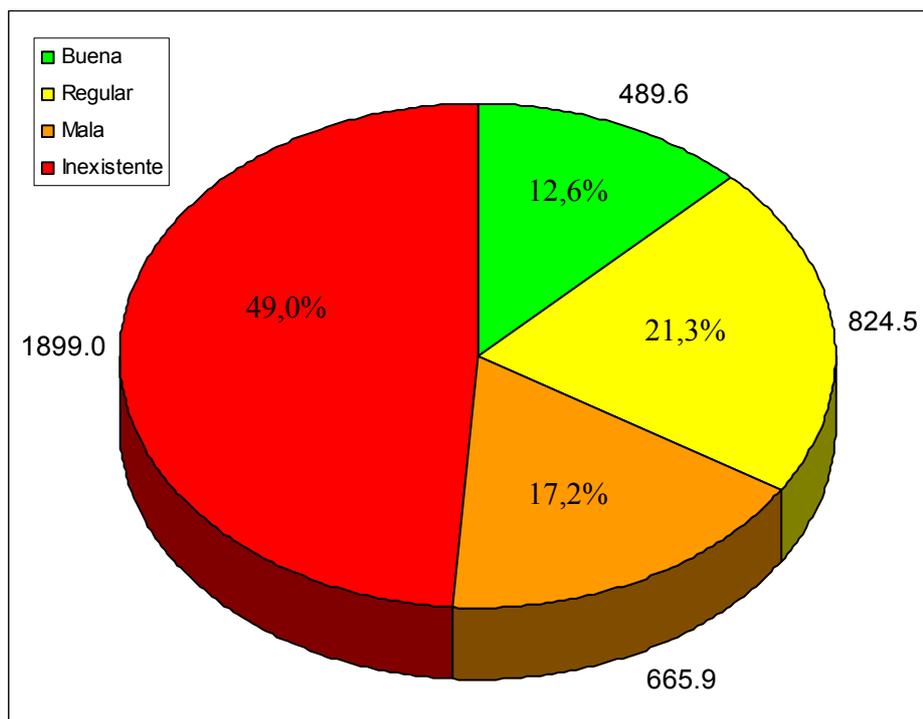


Figura 26: Resultados obtenidos, evaluación de la demarcación con pintura; longitudes en km, año 2008.

Casi la mitad de la red evaluada carece de demarcación total; si a esto se le suma el porcentaje de la categoría mala, se concluye que dos terceras partes de la red vial evaluada no presenta demarcación adecuada, lo cual va en contra de la seguridad vial de los usuarios que por ella transitan, afectando también su nivel de operación o servicio, aumentando el riesgo por las noches.

Como se mencionó anteriormente, la evaluación visual permitió detectar otros factores que inciden positiva o negativamente en el tema de la seguridad vial, como son la presencia de guardavías, captaluces, obstáculos dentro del derecho de vía, etc. En la Tabla 17, se muestra el resultado de esta evaluación.

Tabla 17: Resultados acerca de elementos en el derecho de vía

Elemento analizado	No. estaciones	Porcentaje %
Existencia de cunetas revestidas	1.129	10,7
Existencia de guardavías	389	3,7
Existencia de captaluces (ojo de gato)	2.031	19,2
Presencia de huecos peligrosos en la vía	266	2,5
Existencia de obstáculos en el derecho de vía	360	3,4
Total de estaciones evaluadas	10.558	100
Total de fotos procesadas (2x estación)	21.116	

En general, los obstáculos corresponden con árboles o postes del tendido eléctrico, los cuales al encontrarse dentro del derecho de vía, pueden resultar desastrosos en caso de que un vehículo pierda el control y colisione contra estos elementos (Figura 27). Esto es especialmente importante en aquellas vías donde se permite velocidades de 60kph y superiores.



Figura 27: Existencia de árboles robustos dentro del derecho de vía; ruta 2, sección 10010, estación 0+800

4.5c. Resultados de la condición de pintura por provincia

En la Tabla 18, se muestra los resultados obtenidos en el parámetro de demarcación con pintura, para la red vial evaluada; la Figura 28 es la representación gráfica de lo anterior.

Tabla 18: Resultados de condición de pintura vial

Provincia	Longitud según tipo de demarcación (km)				Longitud evaluada (km)	% evaluado *
	Buena	Regular	Mala	Inexistente		
San José	82,73	164,30	78,53	291,42	616,98	70,2
Alajuela	95,25	226,91	226,59	469,00	1.017,75	87,2
Cartago	55,71	119,17	79,71	143,24	397,83	94,3
Heredia	12,01	57,95	16,21	83,55	169,73	72,0
Guanacaste	29,85	70,58	78,89	389,01	568,33	70,9
Puntarenas	140,13	123,19	127,10	346,58	737,00	98,7
Limón	73,89	62,39	58,85	176,17	371,29	96,8
Total					3.878,91	km

* Representa el porcentaje de red evaluada por provincia, del total de red pavimentada evaluable para cada una

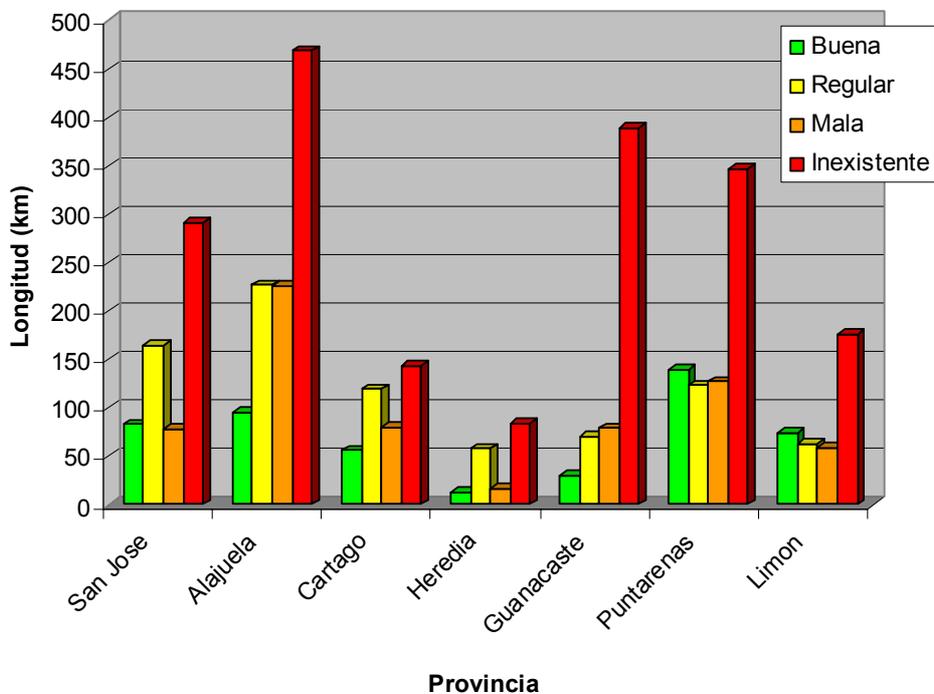


Figura 28: Resultados de la evaluación del estado de la demarcación por provincias, 2008

Las provincias de Alajuela y Guanacaste son las que presentan la mayor cantidad relativa de rutas con demarcación deficiente, seguidas por Puntarenas y San José. Las restantes 3 provincias se sitúan en una segunda categoría, siempre dominada por demarcaciones deficientes pero no tan altas (relativamente) como las del primer grupo.

En la Figura 29, aparecen un ejemplo de los resultados obtenidos para la evaluación de la demarcación con pintura, para la zona de Cartago y alrededores. Las fotos necesarias para obtener estos resultados, fueron tomadas entre los meses de setiembre a noviembre del año 2008, por tanto no registrar trabajos posteriores a esa fecha.

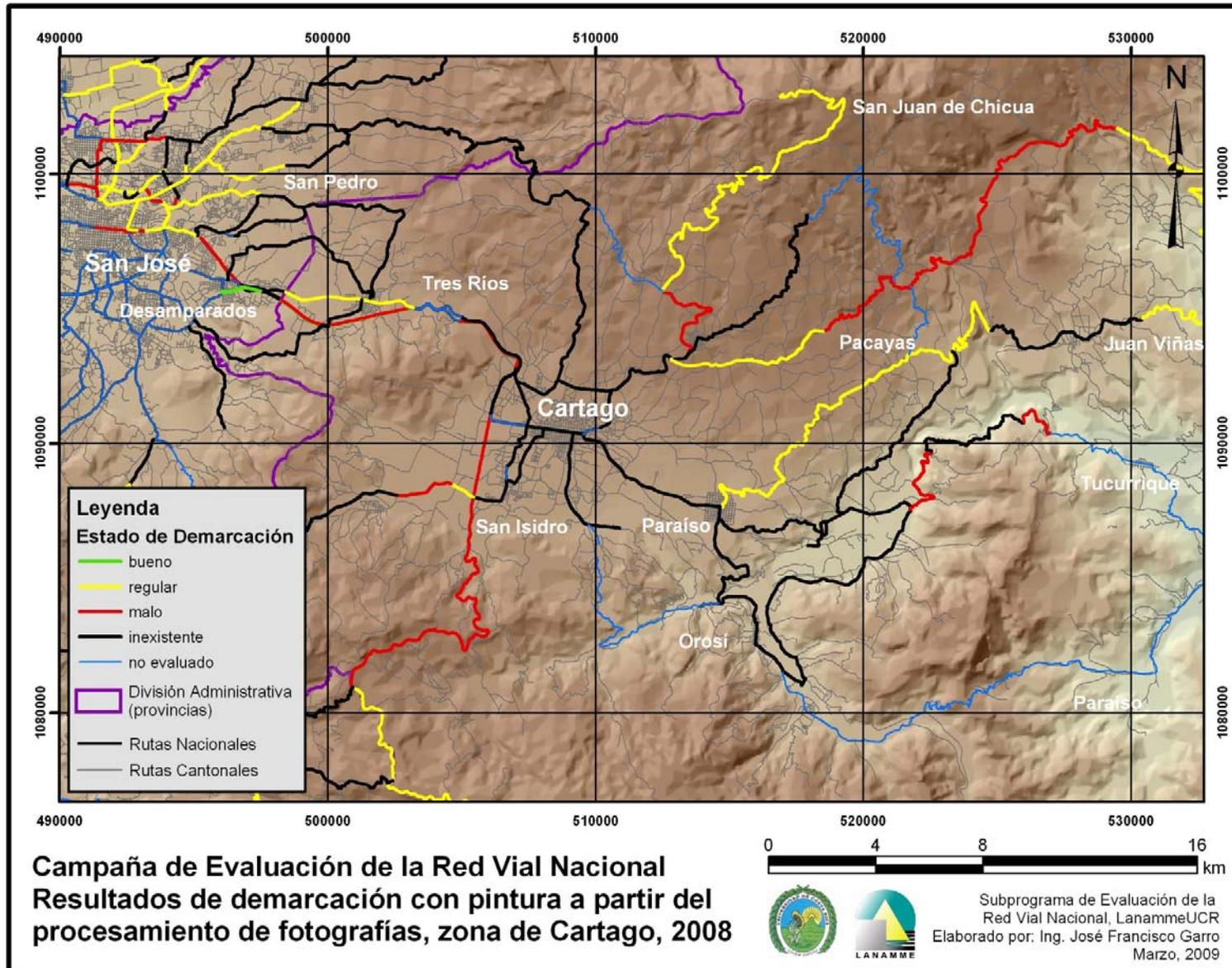


Figura 29: Resultados obtenidos, demarcación con pintura, Campaña de Evaluación 2008

5. Comparación de los resultados, a partir de las evaluaciones efectuadas en la red vial nacional pavimentada, campañas 2006 y 2008

A partir de las evaluaciones realizadas (2006 y 2008) es posible iniciar un seguimiento sistemático del estado de la red vial, usando parámetros técnicos objetivos y medidos periódicamente. De esta forma, puede ser evaluado el grado de eficiencia de la gestión realizada tanto desde el punto de vista del proceso de recuperación o deterioro que va experimentando cada carretera de la red vial, así como la eficacia del programa de inversión que cada año se ejecuta. Adicionalmente, es posible establecer tendencias típicas de deterioro de las vías, todo esto con el fin de mejorar el nivel de servicio que dicha infraestructura debe brindar a los usuarios, además de monitorizar la calidad de la infraestructura en su función como insumo básico para el desarrollo económico y social del país.

Esta comparación se hace sobre la base de las carreteras que fueron evaluadas en ambas campañas, 2006 y 2008, solamente con los parámetros de deflectometría FWD y regularidad superficial IRI.

5.1 Comparación del estado de la red vial 2006 y 2008 según la condición de deflexiones (FWD)

El primer paso en el proceso de comparación, es definir la red vial evaluada en ambas campañas. Esto porque en la evaluación 2006 fueron evaluados en total 4.388,4 km, mientras que en la 2008 el total ascendió a 4.635,0; 246,6 km más de rutas. Se eligieron por tanto de los datos obtenidos en el 2008, las secciones comparables, las cuales sumaron al final 4.421,5 km, 33,1 km de más en comparación con la longitud evaluada en el 2006, la diferencia aún existente se debe principalmente a que los puntos de inicio y final de la ruta se trataron de respetar en la medida de lo posible en esta campaña, cosa que no se logró previamente por dificultades con coordenadas GPS. La Tabla 19 muestra los resultados obtenidos en ambas evaluaciones, mismos que se muestran en la Figura 32.

Tabla 19: Comparación de resultados obtenidos en FWD, campañas 2008 y 2006

Rango deflexiones FWD	Campaña 2008		Campaña 2006		Diferencia km
	km	%	km	%	
Bajas	3159,7	71,5	2928,5	66,7	231,2
Moderadas	433,6	9,8	429,4	9,8	4,2
Altas	484,1	10,9	563,9	12,9	-79,8
Muy Altas	344,1	7,8	466,6	10,6	-122,5
Longitud Total	4.421,5	km	4.388,4	km	33,1

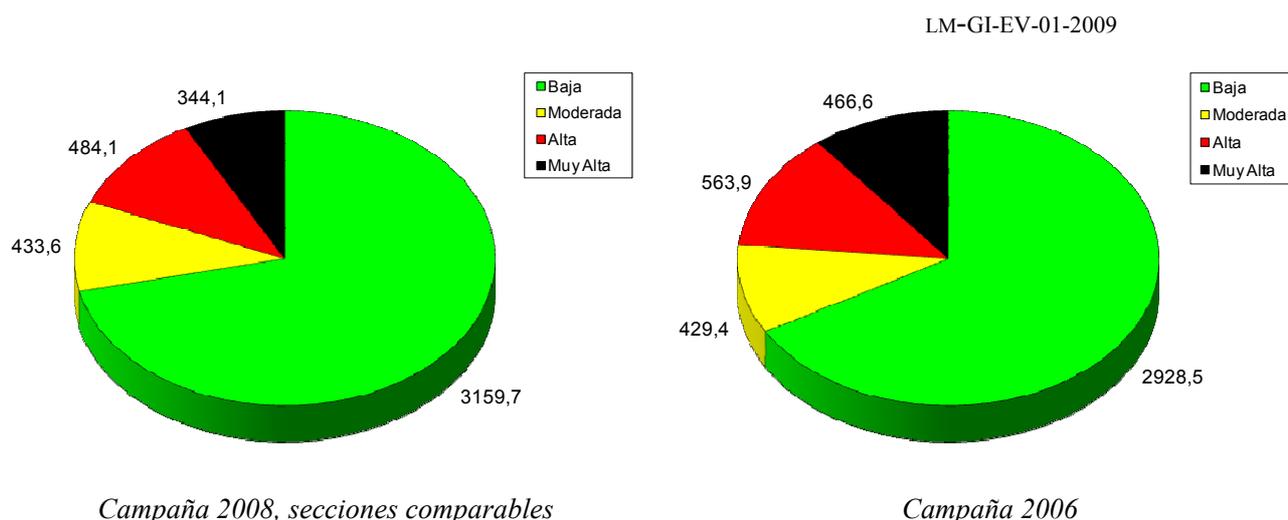


Figura 30: Comparación de resultados obtenidos en FWD, campañas 2008 y 2006; longitudes en km

Se deriva tanto de la Tabla 19 como de la Figura 30, que la categoría de deflexiones bajas se ha aumentado en los últimos 2 años, mientras que los rangos altos han disminuido. Por lo tanto, se concluye que en el aspecto de deflectometría medida a través del FWD, la red vial ha experimentado una mejora en su capacidad estructural en varias rutas que componen unos 231 Km de longitud.

5.2 Comparación del estado de la red vial 2006 y 2008 según la condición de regularidad superficial (IRI)

Al igual que ocurrió con la comparación de los resultados de deflexiones, el primer paso aquí fue definir la red vial común entre ambas campañas. Para la regularidad superficial IRI, se evaluaron 181,6 km más en el 2008 que en el 2006 (4.635,0 km frente a 4.453,4 km); obtenidas las secciones comparables, el total disminuyó a 4.447,2 km, apenas 6,2 km menos que en el 2006. Esta diferencia se explica nuevamente con los puntos de inicio, y principalmente final de muchas secciones: sobre todo en zonas rurales, los finales de sección se encontraron más deteriorados, lo que hace imposible la evaluación de regularidad superficial.

La Tabla 20 muestra los resultados obtenidos en ambas evaluaciones, mismos que se muestran en la Figura 31.

Tabla 20: Comparación de resultados obtenidos en IRI, campañas 2008 y 2006

Rango IRI	Campaña 2008		Campaña 2006		Diferencia km
	km	%	km	%	
0 - 1,0 m/km	7,7	0,17	5,7	0,12	+2,0
1,0 - 1,9 m/km	349,0	7,65	350,5	7,68	-1,5
1,9 - 3,6 m/km	1737,4	38,06	1693,3	37,10	+44,1
3,6 - 6,4 m/km	1405,3	30,79	1465,6	32,11	-60,3
Mayor 6,4 m/km	848,9	18,60	938,4	20,56	-89,5
Longitud Total	4.348,3	km	4.453,4	km	-105.1

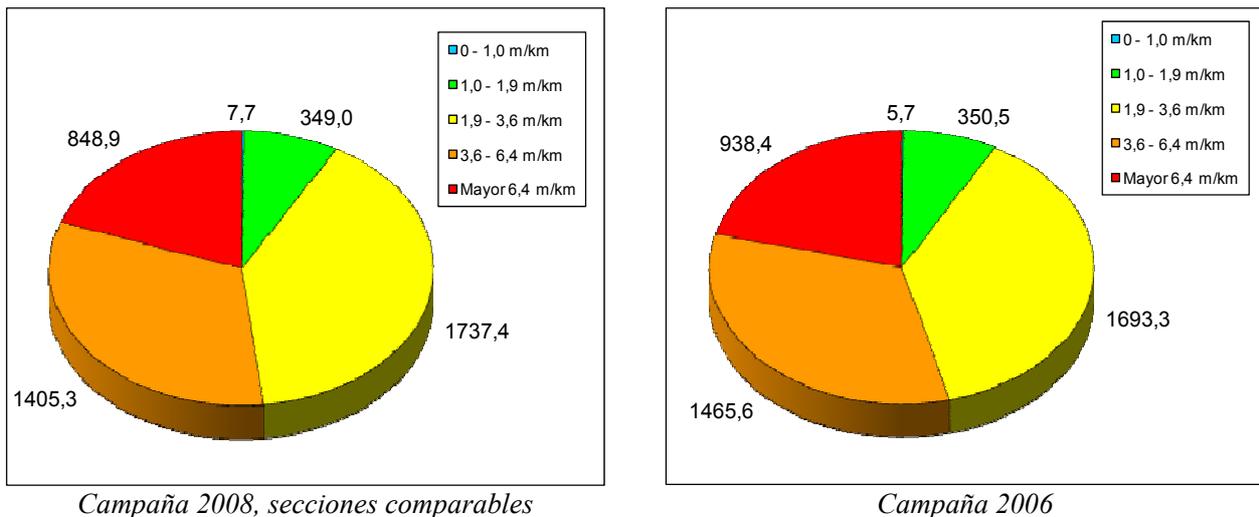


Figura 31: Comparación de resultados obtenidos en IRI, campañas 2008 y 2006

Se deriva de la Tabla 19 y de la Figura 30, que la longitud de rutas en los rangos de baja y moderada (0 a 1,0 m/km y 1,0 a 1,9 m/km respectivamente) se ha mantenido casi sin cambio, así como se registró un incremento en la categoría de IRI moderado (1,9 a 3,6 m/km). Por otro lado, las categorías de IRI deficiente (3,6 a 6,40 m/km) y muy deficiente (mayor de 6,40 m/km) han disminuido ligeramente. Por lo tanto, en los 2 años que separan ambas evaluaciones, se ha logrado una leve mejora de la regularidad superficial en la red de carreteras nacionales.

6. Evaluación de la Vulnerabilidad en Rutas Nacionales

6.1 Introducción

El análisis de la vulnerabilidad de carreteras nacionales ante las amenazas naturales se incluye por primera vez en esta campaña de evaluación del año 2008. Este análisis determinó las amenazas y vulnerabilidades de tramos representativos de las rutas No. 2, 10 y 32, usando metodologías y técnicas desarrolladas o adaptadas en LanammeUCR en años anteriores (2003 – 2007), aplicando sistemas de información geográfica (SIG), a partir de información digital de los factores técnicos y complementadas con visitas a las carreteras.

Los resultados del análisis se resumieron gráficamente en “perfiles” que se presentan como mapas y tablas de datos con el grado cuantitativo y cualitativo de vulnerabilidad de los segmentos y componentes estructurales de las carreteras, tales como taludes de corte o relleno, alcantarillas y puentes, destacando como prioritarios de atención aquellos que han fallado o tienen vulnerabilidades muy altas. Se espera que la evaluación permita a las autoridades planificar y realizar obras o modificaciones para la reducción de las vulnerabilidades y los riesgos que éstos representan para los usuarios. De esta manera, la evaluación pretende contribuir al mejoramiento de la calidad de la infraestructura vial y de los servicios de transporte terrestre en Costa Rica, conforme con los mandatos de la ley No. 8114.

Los tramos de ruta sometidos al análisis de vulnerabilidad (rutas No. 2, 10 y 32), fueron seleccionados con base en su importancia como medio de comunicación y de transporte para el comercio, educación y turismo y con el objetivo de ilustrar los distintos escenarios de amenazas que están presentes en las carreteras nacionales.

6.2 Definiciones y metodología general

El riesgo de las carreteras es el producto de dos factores principales: la amenaza y la vulnerabilidad. La amenaza es el factor existente en la Naturaleza y la vulnerabilidad es el factor causado o fabricado por el ser humano. La contribución al riesgo de cada factor es multiplicativa y no sumativa, por lo que es vital reducir la vulnerabilidad para atenuar los riesgos de las carreteras.

En el contexto de este informe, la *amenaza* se define como “la probabilidad de ocurrencia de eventos naturales capaces de afectar negativamente a la infraestructura de una zona, durante un lapso específico”. El *grado o nivel de amenaza* se caracteriza en función tres factores principales: la *susceptibilidad* del sitio, la *severidad* (magnitud, intensidad, duración) y la *frecuencia* con que se presenten los eventos. La mayoría de las amenazas naturales son impredecibles y poco controlables con el conocimiento científico y tecnologías actuales, y por tanto, es casi imposible cambiar este factor.

La *vulnerabilidad* se define como “la probabilidad de afectación negativa (daños o pérdidas) en la infraestructura construida como resultado de eventos naturales”. El *grado o nivel de vulnerabilidad* de un corredor vial se caracteriza en función de dos factores principales: la exposición a amenazas naturales, resultado de la ubicación de éste en zonas con susceptibilidad; y las características del diseño, construcción y mantenimiento de las obras o componentes (taludes de corte, terraplenes, puentes, alcantarillas y otras obras de evacuación de aguas o estabilización de suelos). Por lo tanto, la vulnerabilidad sí se puede reducir mediante proyectos viales especiales.

Para evaluar la vulnerabilidad de una carretera se deben analizar, sector por sector, en primer lugar las amenazas y así determinar la exposición resultante. Posteriormente, se debe valorar la calidad y características de las obras o componentes. La integración de niveles de vulnerabilidad de los segmentos y componentes individuales genera el perfil longitudinal de vulnerabilidad final o total.

Los resultados resumidos en “perfiles gráficos” permiten diagnosticar la vulnerabilidad existente en segmentos de 200 m de longitud, determinar los segmentos y componentes críticos y definir preliminarmente acciones o medidas típicas aplicables para la reducción del riesgo. El esquema metodológico general se presenta en la Figura 32.

Un objetivo deseable y alcanzable a mediano plazo es la eliminación de daños y pérdidas en caso de eventos de alta frecuencia. Se espera que la información detallada de los perfiles de vulnerabilidad de las rutas contribuya a la definición de prioridades en la gestión del riesgo mediante su inclusión en los planes institucionales de mantenimiento, reparación, rehabilitación y reemplazo de los componentes en condición crítica.

Una vez identificados en los perfiles los factores de vulnerabilidad más frecuentes, se proponen soluciones típicas aplicables para su reducción y el mejoramiento de la calidad de la infraestructura vial nacional. La implementación de acciones específicas de rehabilitación, corrección o de mitigación requiere de estudios de factibilidad de anteproyectos que pueden considerar las soluciones típicas propuestas y otras posibles.

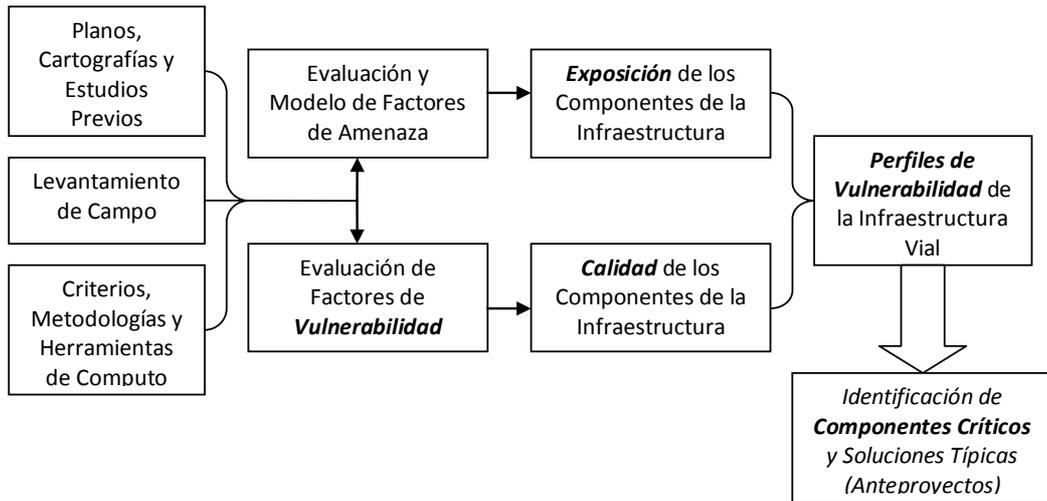


Figura 32: Esquema metodológico de evaluación de vulnerabilidad ante amenazas naturales de la infraestructura vial (Adaptado de Vargas y Garro, 2003)

6.3 Niveles o grados de amenaza y vulnerabilidad

Para facilitar la comprensión de los productos presentados en este informe, los valores numéricos con los cuales se asocian los factores de amenaza y vulnerabilidad fueron convertidos a una escala cualitativa de cinco niveles o grados de “intensidad relativa”: *muy bajo, bajo, moderado o medio, alto y muy alto*. La nomenclatura permite unificar las evaluaciones individuales de cada amenaza y vulnerabilidad para identificar los segmentos o componentes críticos y definir prioridades.

Cada nivel cualitativo se asocia con un color empleado en los mapas: *azul, verde, amarillo, naranja y rojo*, respectivamente. Los 5 niveles de vulnerabilidad se utilizan en las bases de datos digitales y en algunos mapas.

La Tabla 210 ejemplifica el empleo de los cinco niveles y colores para el caso la vulnerabilidad de taludes de corte, asociada con inestabilidad del suelo (deslizamientos). La exposición se asocia directamente con el nivel de amenaza (susceptibilidad) y la vulnerabilidad final es determinada por la inclinación y altura del talud como factores representativos de la estabilidad geotécnica, así como por la existencia de obras de estabilización.

Tabla 21: Criterios de vulnerabilidad de taludes de corte y relleno

		Altura del Talud (m)		
		0 - 5	5 - 10	10 o más
Susceptibilidad	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja
	Baja	Muy Baja	Baja	Moderada
	Moderada	Baja	Moderada	Alta
	Alta	Moderada	Alta	Muy Alta
	Muy Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: Vargas y Garro, 2007

En las tablas de resumen y mapas de esta sección se emplea una simplificación a tres niveles o grados de vulnerabilidad; a saber: bajo, moderado o medio y alto. En esta simplificación se utilizan solamente los tres colores empleados en los “sistemas de semáforos”, a saber, verde, amarillo y rojo, respectivamente. Los cuales permiten un nivel de representación y comprensión visual para su empleo en resúmenes e informes generales como este.

6.4 Resultados de Vulnerabilidad de Rutas Nacionales Año 2008

En la Tabla 22 y en la Figura 33 se muestran los tramos de las carreteras analizados en la campaña de evaluación 2008. Se evaluó un total de 215,8 km y en cada ruta se analizaron las amenazas más destacadas, así como las vulnerabilidades de componentes asociados. La evaluación completa se presenta en el documento GI-EV-R-01-2009 titulado “*Informe de Evaluación de Vulnerabilidad de Rutas Nacionales 2008*”, del LanammeUCR, que sirvió de referencia para este capítulo 6.

Tabla 22: Tramos de rutas nacionales evaluados en 2008.

Ruta	Tramo	Longitud (km)	Tipo	Amenazas y eventos ocurridos	Componentes vulnerables típicos
2	Taras – San Isidro P.Z.	114,6	Montaña	Sismos, deslizamientos de tierra y flujos de lodo	Taludes de corte, rellenos y alcantarillas
10	Turrialba – Siquirres	45,0	Montaña	Deslizamientos de tierra e inundaciones (“cabezas de agua”)	Taludes de corte, rellenos y alcantarillas
32	Siquirres – Limón	56,2	Planicie	Sismos (licuación) e inundaciones (“llenas”)	Rellenos, puentes y alcantarillas

Fuente: Informe GI-EV-R-01-2009 Evaluación de Vulnerabilidad de Rutas Nacionales 2008, LanammeUCR

Las rutas No. 2 y 10 están ubicadas en zonas de montaña, donde los materiales geotécnicos (rocas y suelos residuales), las pendientes fuertes de las laderas, la alta precipitación así como la ocurrencia de tormentas, huracanes y sismos, son los principales determinantes de las amenazas, entre las que se destacan los deslizamientos de tierras, los flujos de lodos y las inundaciones producidas por tormentas. Estas amenazas han afectado fundamentalmente las obras viales geotécnicas (taludes de corte y rellenos) e hidráulicas menores (alcantarillas), aunque también tienen el potencial de afectar a los puentes.

El tramo de la ruta 32 evaluado está ubicado en una zona de planicie aluvial, donde los materiales geotécnicos (suelos depositados o sedimentos) son compresibles, susceptibles a la licuación en caso de sismo y a la erosión y socavación en caso de inundaciones. Estas amenazas afectan negativamente a los terraplenes, puentes y alcantarillas. En las carreteras de zonas de planicie existen muy pocos taludes de corte, por lo que estos componentes no fueron identificados como vulnerables.

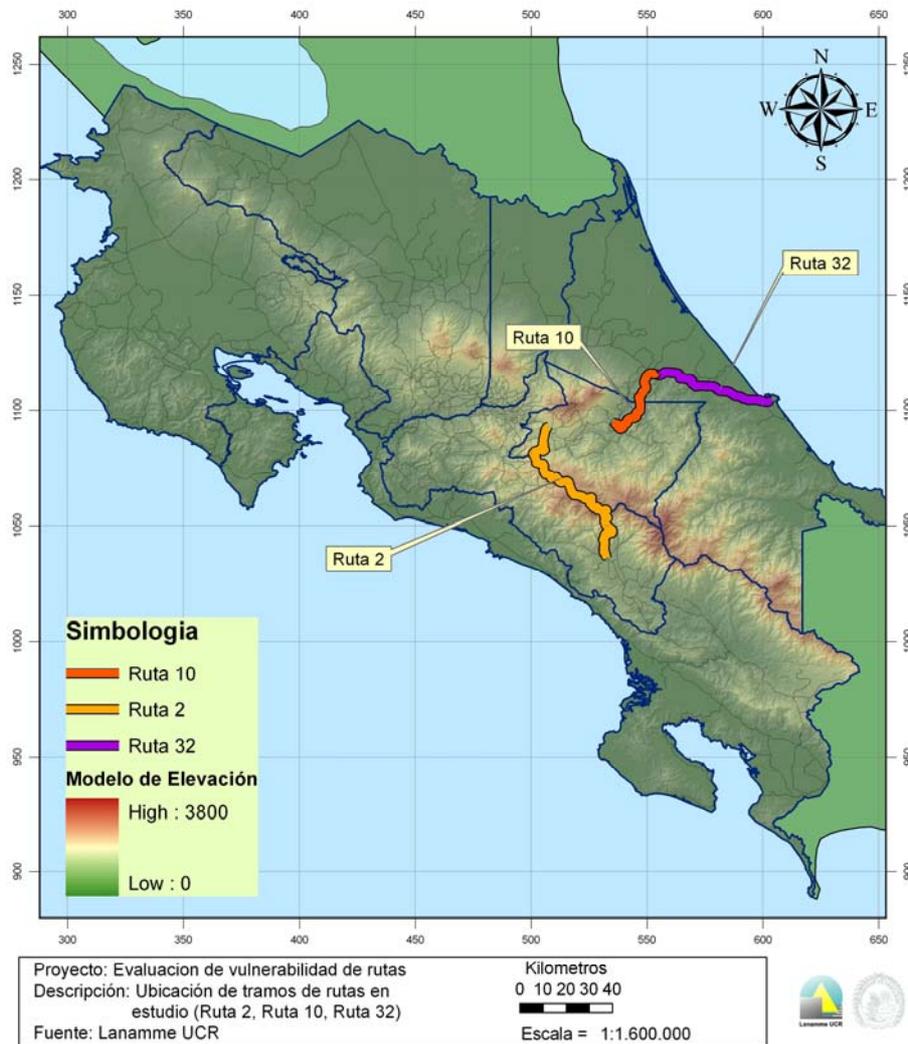


Figura 33: Tramos evaluados de rutas nacionales ante vulnerabilidad.

En la Tabla 23 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en la evaluación de la vulnerabilidad del 2008.

Tabla 23: Resumen de la evaluación de vulnerabilidad del 2008.

Vulnerabilidad	Muy Baja/Baja		Moderada		Alta/Muy Alta		Total
	km	%	km	%	km	%	
Longitud							
Ruta 02	53,2	46,4	34,6	30,2	26,8	23,4	114,6
Ruta 10	21,0	46,6	19,2	42,6	4,8	10,7	45,0
Ruta 32 (con licuación)	4,4	7,8	20,2	35,9	31,6	56,2	56,2
Ruta 32 (sin licuación)	31,8	56,6	10,2	18,1	14,2	25,3	56,2
Totales (con licuación)	78,6	36,4	74,0	34,3	63,2	29,2	215,8
Totales (sin licuación)	106,0	49,1	64,0	29,7	45,8	21,2	

Fuente: Los autores

La simplificación a tres niveles de vulnerabilidad de la Tabla 23 permite asociarlos con los efectos probables para los usuarios y las acciones o medidas de reducción de vulnerabilidad requeridas, tal como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 24: Niveles de vulnerabilidad cualitativa y acciones necesarias.

Color de nivel (3)	Nivel o grado (5)	Efectos	Acciones necesarias y medidas correctivas (de prevención y mitigación)
Verde	Muy Bajo/Bajo	No representa riesgo para los usuarios	Mantenimiento rutinario básico o reparaciones leves
Amarillo	Moderado	Riesgo moderado para los usuarios. Probable daño e interrupción parcial del tránsito en eventos severos y muy severos	Mantenimiento especial y reparaciones de daños moderados; reconstrucción de componentes dañados por eventos
Rojo	Alto/Muy Alto	Riesgo alto para los usuarios, fallas estructurales ocurridas o inminentes; interrupción total del tránsito muy probable en eventos moderados y severos	Reubicación, readecuación, rehabilitación, reemplazo o construcción de obras nuevas

Fuente: Los autores

6.5 Evaluación de amenazas y vulnerabilidades por ruta

6.5a. Ruta 2 (Taras – San Isidro de Pérez Zeledón)

Características del entorno y amenazas naturales

El tramo en estudio de la ruta nacional 2 está comprendido entre las ciudades de Cartago (distrito Taras) y San Isidro de Pérez Zeledón. Geográficamente, la mayor parte de la zona de estudio se ubica en la divisoria de aguas entre las vertientes Caribeña y Pacífica, en la cordillera de Talamanca. La carretera atraviesa elevaciones que van desde los 700 msnm (San Isidro de Pérez Zeledón) hasta los 3.330 msnm (Cerro Buenavista o “de la Muerte”). La topografía es abrupta con fuertes pendientes y cañones de ríos de profundidades entre los 100 y 700 m. La precipitación anual promedio varía entre 1.500 mm en Cartago y 4.000 mm en San Isidro. La neblina en las elevaciones mayores afecta y limita la visibilidad con bastante frecuencia.

Geológicamente, la zona está compuesta por rocas sedimentarias, ígneas intrusivas y metamórficas. Las rocas han sido metamorizadas por acción hidrotermal y ésta también ha producido suelos residuales muy inestables en algunos sectores de la carretera (Chacón, 2000). La topografía de la zona está relacionada con la litología, dado que naturalmente las pendientes más altas estables se encuentran en los materiales más resistentes, tales como los intrusivos. Se han identificado varias fallas geológicas activas en la zona, entre las que destacan la de Aguas Calientes, al sur de Cartago y la de Buenavista, al norte de San Isidro, que han producido sismos importantes en 1910 y 1983, respectivamente.

La amenaza natural más importante es la inestabilidad de suelos y rocas, que resulta de la combinación de las características geológicas, topográficas y climáticas.

Características de la ruta 2 y vulnerabilidades

La ruta 2 es parte de la Carretera Panamericana, (conocida en Costa Rica como “Interamericana”). El análisis del trazado y la génesis de la ruta indica que la ubicación en la zona montañosa del centro del país y específicamente en el parteaguas de las cuencas hidrográficas se escogió en función de dos objetivos principales: enlazar las poblaciones principales de los países en la trayectoria más corta

posible y minimizar el número y longitud de puentes (cruces y pasos de cauces importantes). Este último fue probablemente el factor de más peso y además de reducir el costo se podría considerar una forma sencilla de reducir la vulnerabilidad *funcional* de la ruta.

La ubicación geográfica condicionó la geometría de la ruta, que corresponde a una velocidad de diseño de 50 kilómetros por hora. Los radios de curvas y las pendientes originales han variado en algunos puntos donde se han presentado fallas y han sido implementadas reparaciones.

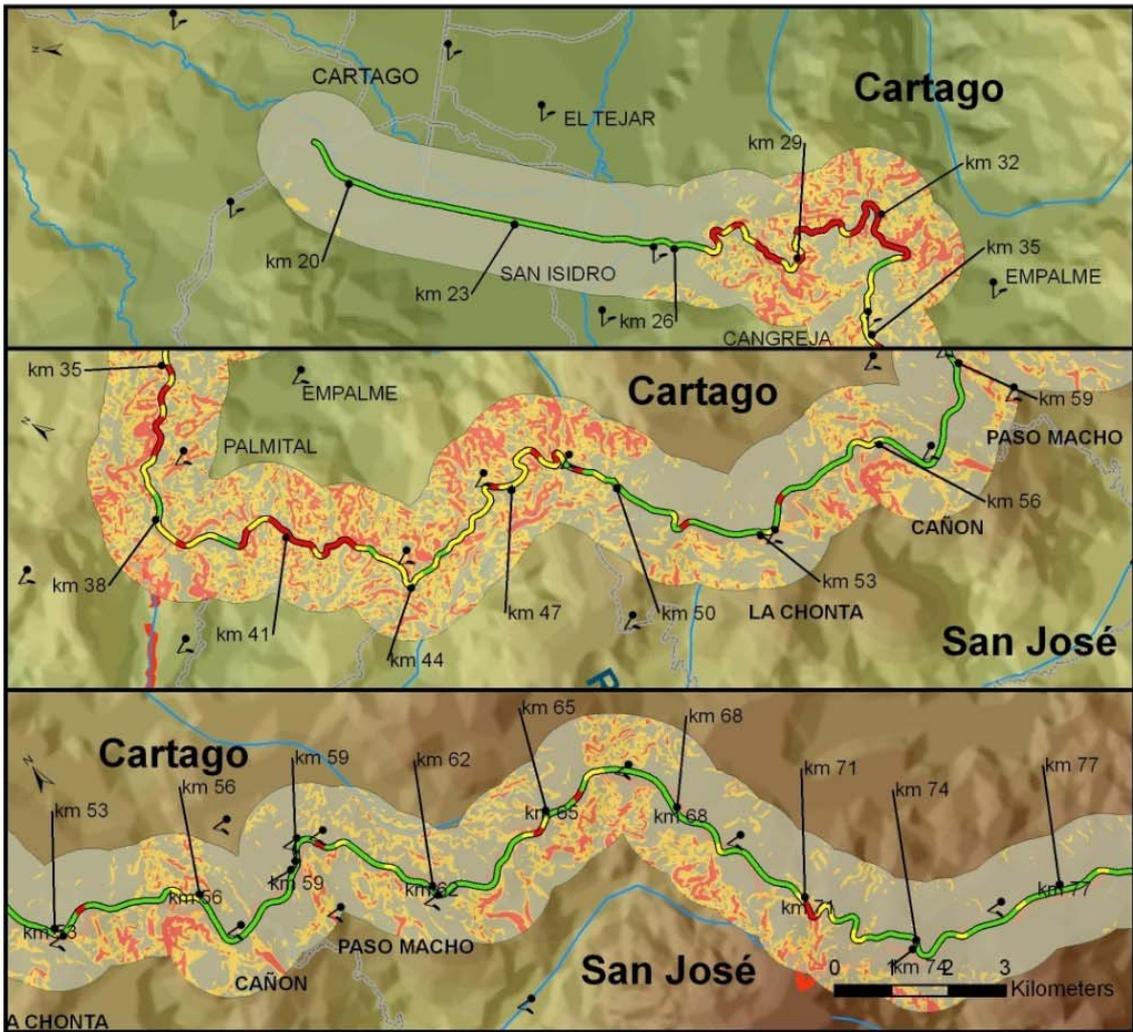
Debido a su ubicación en zona montañosa, son frecuentes los cortes en terrenos con altas pendientes que superan en muchos casos los 10 metros de altura. Muchos de los cortes favorecen los deslizamientos al dejar expuestos planos débiles de roca inclinados hacia la carretera. La inexistencia de contracunetas u otras obras de control de la escorrentía y la infiltración del agua causan que con mucha frecuencia en la época lluviosa el terreno se llegue a saturar, estos taludes pierdan su estabilidad y se produzcan gran cantidad de deslizamientos (particularmente de la capa regolítica o suelo residual sobre la roca) y en algunos casos flujos de lodos y detritos.

Los terraplenes se utilizaron principalmente en las partes bajas de la topografía montañosa (valles) para cumplir con los requisitos del diseño geométrico y en los cruces de agua más importantes, en combinación con alcantarillas de sección circular en la mayoría de los casos. Los rellenos tienen espesores variables y los materiales que los conforman en la actualidad no necesariamente son los mismos con los que se construyeron originalmente (los existentes en la zona) debido a las reparaciones de daños en el pasado, por lo que se dificulta caracterizar su comportamiento sin realizar evaluaciones de los sitios y materiales específicos.

La pérdida de los drenajes laterales (cunetas) y la obstrucción de las alcantarillas con sedimentos y vegetación por falta de mantenimiento permiten que el agua escurra libremente sobre el pavimento, lo que acelera el proceso de erosión de los taludes y facilita también el deslizamiento por saturación del material de relleno. Esto produce la pérdida de una parte o de todo el terraplén y tiene, con mucha frecuencia, un costo de reparación mayor y consecuencias más prolongadas sobre la transitabilidad de la ruta que la falla de un corte. El caso más severo se presentó en la ruta 2 durante el huracán “Cesar” en 1996 con la pérdida de un terraplén de 40 m de espesor sobre la quebrada Payner, como resultado de la obstrucción de la alcantarilla. La reparación del tramo dañado se realizó con un relleno de espesor mucho menor, lo cual requirió un cambio en el trazado que produjo una curva peligrosa, de radio muy reducido y unas pendientes altas.

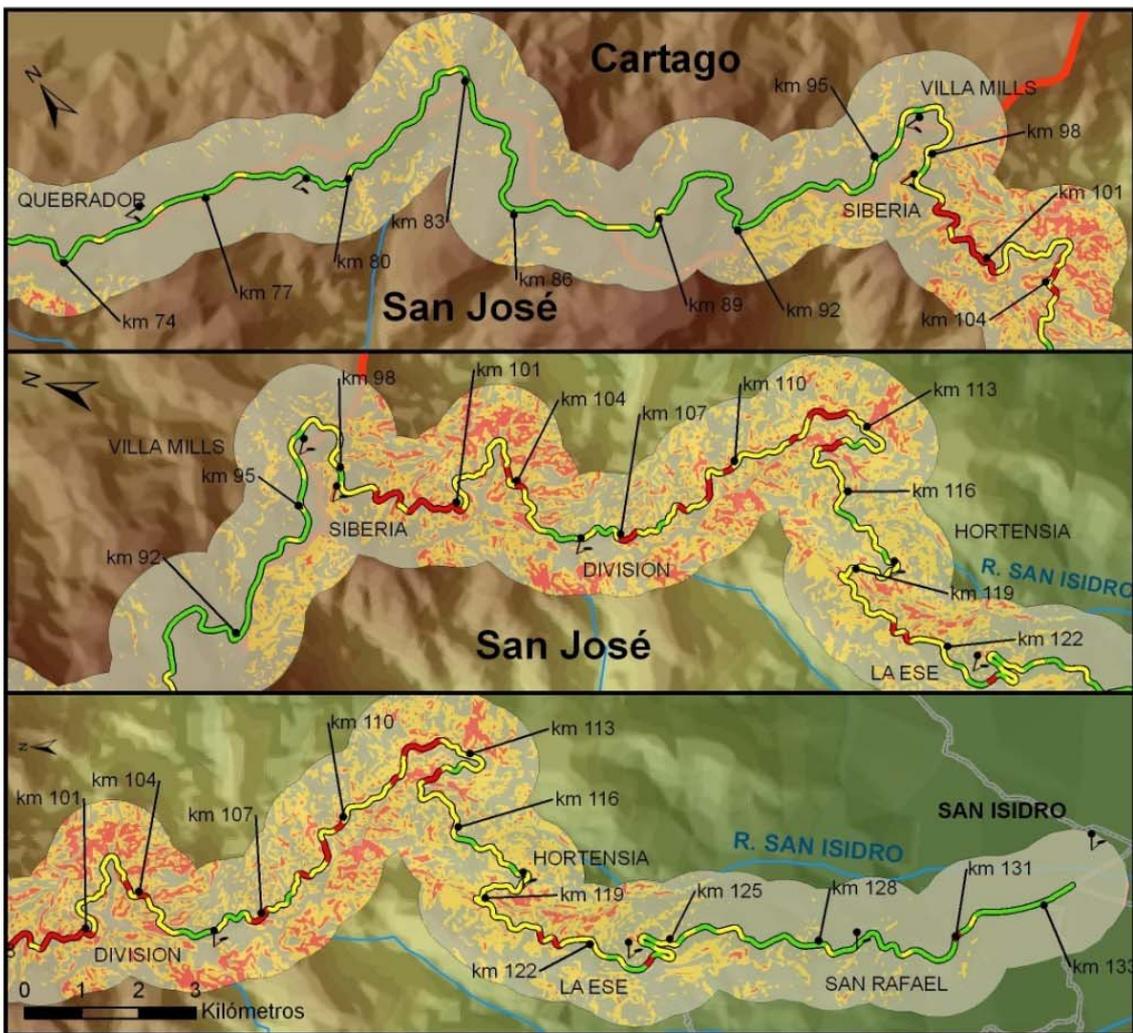
Perfil de vulnerabilidad de la ruta 2

Los perfiles gráficos de vulnerabilidad de los taludes de corte y rellenos de la ruta 2 se presentan en la Figura 34 y Figura 35, con la escala de 3 colores para indicar tanto el nivel de susceptibilidad a la amenaza (zonificación en banda) como el nivel de vulnerabilidad de la carretera (línea gruesa).



Simbología		Programas de Gestión de Riesgos y Vulnerabilidad en la Infraestructura Vial	
Zona de análisis ante deslizamientos	División Provincial	Descripción	
Red Vial Nacional	Ríos	Mapa de Vulnerabilidad de la Ruta 02, basado en las amenazas de pasos de agua y susceptibilidad ante deslizamientos. Tramos 1,2 y 3.	
Ruta 02		Fecha: Septiembre, 2008	
Modelo de Elevación	Intensidad de Vulnerabilidad	Fuente: LANAME, 2005	
3800 m.s.n.m.	Alta	Dibujo: Jairo Sanabria S	
0 m.s.n.m.	Media	Reviso: Ing. Jorge Muñoz B	
	Baja	Escala: No Aplica	

Figura 34: Vulnerabilidad al deslizamiento en cortes y terraplenes de la ruta 2, tramos 1, 2 y 3.



Simbología		Programas de Gestión de Riesgos y Vulnerabilidad en la Infraestructura Vial	
Zona de análisis ante deslizamientos	División Provincial	Descripción	
Red Vial Nacional	Ríos	Mapa de Vulnerabilidad de la Ruta 02, basado en las amenazas de pasos de agua y susceptibilidad ante deslizamientos. Tramos 4, 5 y 6.	
Ruta 02		Fecha: Septiembre, 2008	
Modelo de Elevación	Intensidad de Vulnerabilidad	Fuente: LANAME, 2005	
3800 m.s.n.m. 0 m.s.n.m.	Alta Media Baja	Dibujo: Jairo Sanabria S	
		Reviso: Ing. Jorge Muñoz B	
		Escala: No Aplica	

Figura 35: Vulnerabilidad al deslizamiento en cortes y terraplenes de la ruta 2, tramos 4, 5 y 6.

Tramos críticos de la ruta 2

Los segmentos críticos que se presentan son 2; el primero abarca desde San Isidro del Guarco hasta El Empalme para un total de 23,6 km, en los cuales 9,2 están en la categoría de vulnerabilidad Alta/Muy Alta y 11,6 km están en la categoría de moderada. El segundo tramo abarca desde Villa Mills hasta La Ese de de Pérez Zeledón para un total de 27,4 km en los cuales 5,4 están en la categoría de Alta/Muy Alta y 18,8 km están en la categoría de moderada.

La ruta 2 presentó gran cantidad de deslizamientos de tierra y flujos de lodos y detritos en el año 2008, como resultado de la tormenta “Alma” en el Océano Pacífico (en mayo) y la temporada de huracanes del Mar Caribe (de julio a noviembre). Esto obligó a CONAVI a realizar cierres parciales o totales, limpiezas masivas de escombros, implementar medidas de estabilización tales como la construcción de terrazas en taludes de corte fallados y reconstrucción de rellenos mayormente “reforzados” con muros de gaviones. Sin embargo, antes de que hubiese transcurrido un año se observa que las obras no contribuyeron a la eliminación de vulnerabilidad porque en el caso de las terrazas no se construyeron obras adicionales para el manejo de aguas ni se protegieron los taludes; en tanto que los terraplenes recientemente construidos ya evidencian estrías (grietas) sobre los pavimentos y varios deslizamientos en su superficie por movimiento del relleno y/o de los muros de gaviones.

Recomendaciones para la reducción de la vulnerabilidad de la ruta 2

Para reducir la vulnerabilidad de la ruta, la primera acción recomendada es realizar un recorrido por las zonas críticas (identificadas en el apartado anterior), en el cual se levante un inventario de los taludes con la información de sus características geométricas, geológicas y geotécnicas, así como la condición de las obras de drenaje o manejo de aguas en sus alrededores. Con esa información se puede realizar un análisis simplificado de estabilidad y determinar el factor de seguridad, considerando la carga sísmica y la variación del nivel freático de la zona.

En los taludes de corte se deben aplicar técnicas y sistemas de estabilización de complejidad y costo creciente según su aplicabilidad al caso y con la debida justificación y respaldo técnico. Estos abarcan el banqueo o terraceo del talud, los muros de retención de concreto reforzado, las inclusiones o micropilotes, el enclavado o claveteado de suelos o “*soil nailing*” y los muros o pantallas anclados (anclajes pasivos y activos). También puede ser necesario abatir el nivel freático mediante drenajes y galerías. En zonas de laderas no se recomienda el uso de muros de gravedad (gaviones, piedra, concreto masivo), a menos que la base o cimiento del muro sea un terreno firme con suficiente extensión horizontal y resistencia, o en caso de una pendiente no nula, que el muro sea cimentado en un material muy competente (roca).

Para los terraplenes (rellenos) son más recomendables las obras de estabilización que aumentan la resistencia de los materiales pero no la carga sobre el terreno, tales como el reforzamiento del suelo con bandas metálicas, *geomallas* o *geogrillas* (“*tierra armada*” y técnicas similares) y los rellenos con bloques de plástico liviano. Tampoco se recomienda el uso de muros de gravedad para los rellenos. En algunos casos será necesario proteger contra la erosión a los taludes expuestos, con *geotextiles* y concreto lanzado, así como para evitar el efecto del agua superficial, tanto a nivel de la rasante de la vía, como en el pie del terraplén.

Debido a que las zonas susceptibles son muchas y los deslizamientos frecuentes, es recomendable tener áreas específicas en donde se pueda hacer depósito del material deslizado, ya que éste suele ser lanzado montaña abajo de forma descontrolada, dañando en ocasiones los terraplenes, afectando el ambiente, generando nuevos deslizamientos de este material depositado y aumentando la cantidad de escombros que llegan a los ríos y que afectan a las comunidades cercanas río abajo. El material deslizado en zonas rocosas dispuesto correctamente podría ser inclusive aprovechado por las municipalidades en la construcción o mantenimiento de las vías cantonales de grava y tierra.

Se deben definir e instaurar procedimientos adecuados en el mantenimiento de las obras hidráulicas de drenaje, con el fin evitar la saturación en taludes de corte y de relleno, la obstrucción de alcantarillas, etc.; posteriormente se puede evaluar la posibilidad de construcción de nuevas obras de manejo de aguas (por ejemplo contracunetas revestidas) que corten las aguas y las distribuyan a puntos específicos donde disponerles de una manera apropiada.

6.5b. Ruta 10 (tramo Turrialba – Siquirres)

Características del entorno y amenazas naturales

La ruta nacional N° 10 parte de la ciudad de Cartago, atraviesa las poblaciones de Paraíso, Cervantes y Juan Viñas antes de alcanzar Turrialba; éste es el punto de inicio del tramo de estudio que finaliza en Siquirres. Por tratarse de una carretera de montaña, son frecuentes los taludes (cortes) en zonas de pendientes altas del terreno.

La zona de estudio se ubica en la vertiente Caribe de la Cordillera Central, entre las faldas del volcán Turrialba y la fila Molejones, que se extiende entre los ríos Reventazón y Pacuare. Las elevaciones del terreno se encuentran entre 70 y 900 m.s.n.m. La precipitación promedio anual en la zona varía entre 3,000 mm en Turrialba y 4,000 mm en Siquirres. La mayoría del área de estudio está compuesta por depósitos de origen volcánico (lahares, lavas, brechas y piroclastos) y en menor medida por depósitos aluviales y coluviales.

Características de la ruta 10 y vulnerabilidades

Originalmente el trazado se realizó en caminos existentes, muchos de los taludes fueron construidos sin control geotécnico, de alturas superiores a 10 m en algunos segmentos. La carretera incluye varias secciones de relleno en partes bajas de la topografía montañosa (valles), y en los cruces de agua más importantes. Los terraplenes tienen espesores variables y los materiales que los conforman no necesariamente son los mismos que los existentes en la zona. En total hay 8 cruces de agua importantes, de los cuales 7 utilizan alcantarillas, mientras que para el cruce río Chitaría se emplea un puente. La mayor parte del trazado de la vía es sobre la divisoria de aguas de las cuencas de los ríos Reventazón y Pacuare, por lo que hay pocas alcantarillas. Las mismas están construidas en tubería de concreto, los niveles de vulnerabilidad actual de la ruta oscilan entre muy baja a moderada y los problemas de nivel alto/muy alto generalmente son muy focalizados. Los mapas con los perfiles se pueden encontrar en el informe citado anteriormente.



Figura 36: Fotografías de deslizamientos y fallas de taludes típicos presentes en la ruta 10

Tramos críticos de la ruta 10

Como se observa en la Tabla 22, la principal amenaza para la vía es la del deslizamiento, principalmente de los taludes de corte. Los segmentos críticos (3 tramos); el primero se encuentra entre el estacionamiento 4.000 al 5.000 que se encuentra cercano al puente sobre el río Reventazón, el segundo denominado Chitaría entre la 13.600 y la 15.600, y finalmente la zona en el Alto Guayacán entre la 30.800 y la 33.800.

Recomendaciones para la reducción de la vulnerabilidad de la ruta 10

Como primera medida es recomendable realizar un inventario de los taludes en las zonas críticas y observar si la condición de las obras de manejo de aguas en sus alrededores resulta eficaz para drenarlas sin que causen daños.

Se debe dar un mantenimiento adecuado a las obras hidráulicas con el fin de evitar la saturación en taludes de corte y de relleno, luego evaluar la posibilidad de construcción de nuevas obras de manejo de aguas (por ejemplo contracunetas revestidas) que corten las aguas antes de llegar al talud, y finalmente si las anteriores no fuesen suficientes, los taludes de corte se pueden estabilizar mediante sistemas de anclajes, muros de retención, banqueo del talud con obras hidráulicas (cunetas, disipadores de energía, etc); según sea aplicable al caso.

6.5c. Ruta 32 (tramo Siquirres – Limón)

Características del entorno y amenazas naturales

El tramo en estudio de la ruta 32 se encuentra localizado en el noreste del país; en la provincia de Limón, entre los poblados de Siquirres y Limón. La ruta se ubica en su mayoría en una zona llana con pendientes de carretera entre 0–10 %, sin superar los 120 m.s.n.m. de elevación. En la región predomina el clima tropical húmedo. La cantidad de precipitación promedio anual en la zona de estudio está en el rango de los 3.000 – 4.000 mm de lluvia.

El entorno geológico (Bustos, 1997) está compuesto mayormente por depósitos de materiales fluviales, aluviales y coluviales (Qal), mientras que en menor medida se encuentran depósitos de conglomerados, areniscas y brechas (Tska) con intercalaciones de lutitas y areniscas (Trb). Dos tipos de suelos son predominantes (Bogantes et al., 2002): los suelos aluviales con finos (Limos y arenas) y suelos blandos con altos contenidos de humedad típicos de zonas con humedad alta.

Características de la ruta 32 y vulnerabilidades

La carretera se encuentra cimentada en terraplenes con alturas desde 1 a 5 m por estar ubicada en zonas llanas con niveles freáticos altos o de inundación, evitando así, que la misma quede afectada por las aguas. También se presentan terraplenes aun más altos en las aproximaciones de los puentes, cruces de agua y en pasos a desnivel más importantes.

Se evaluaron 58 alcantarillas principales identificadas de un total de aproximadamente 140 (Getinsa, 1999). En la sección Siquirres – Limón se ubicaron 17 puentes, 3 de los cuales evacuan áreas de cuencas considerables (superiores a los 300 km²) correspondientes a los ríos Chirripó Atlántico, Pacuare y Barbilla, 8 puentes con cuencas entre 10 y 60 km², el resto cuencas menores a los 10 km². Todos son puentes de concreto y discontinuos, con excepción del puente sobre el Río Chirripó Atlántico con vigas continuas de acero con losa de hormigón.

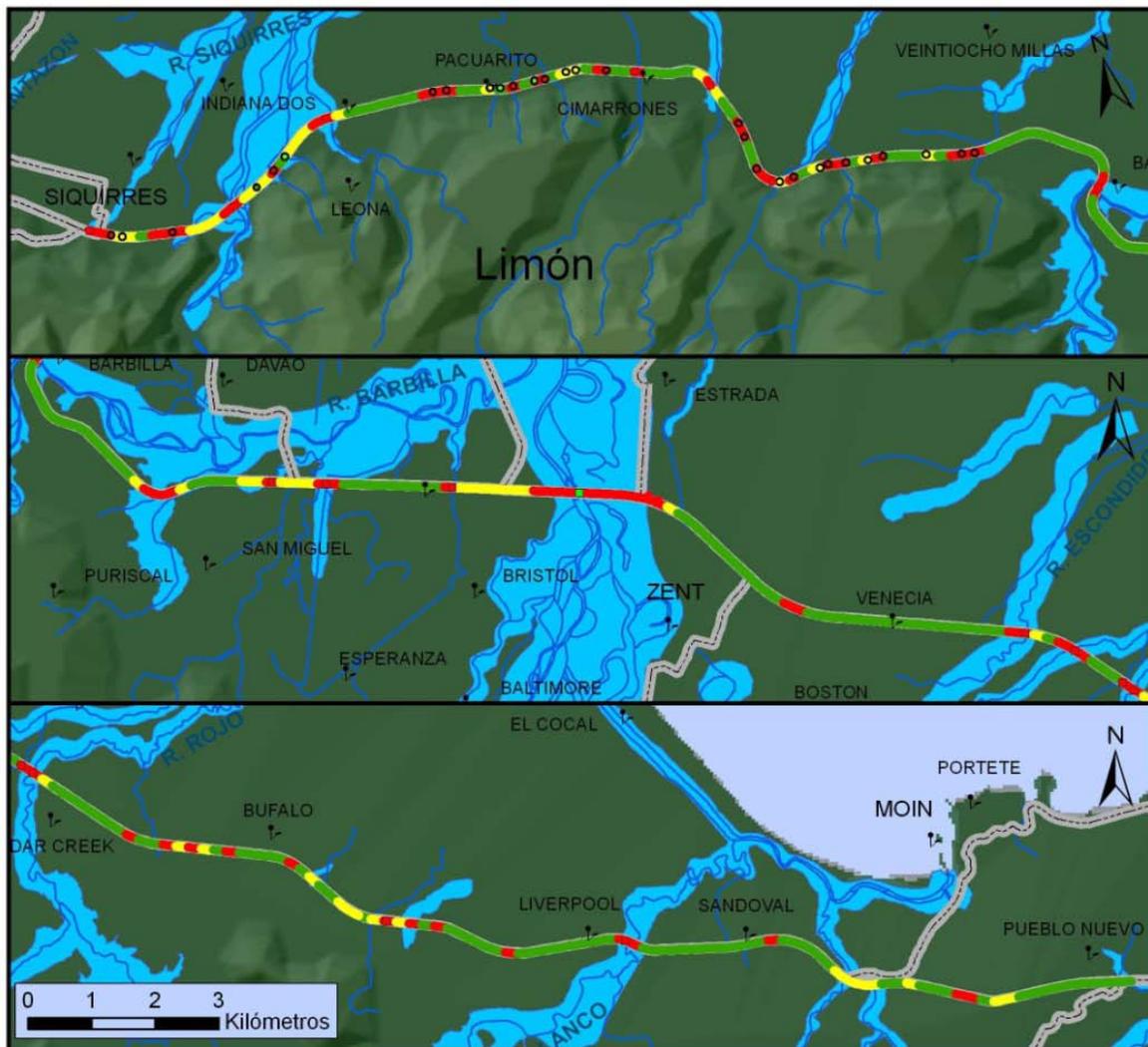
Perfiles de vulnerabilidad de la ruta 32

Los mapas de perfil de vulnerabilidad del tramo en estudio se presentan en dos escenarios. El primer escenario emplea dentro de su análisis los factores de inundación, capacidad de alcantarillas y puentes en general, mientras que el segundo plantea los problemas mencionados en el primer escenario en conjunto con los efectos estimados de los suelos con potencial de licuación. La separación de los mismos genera la Figura 37, donde la licuación no se toma en cuenta; y la Figura 38 donde se adicionan los suelos potencialmente licuables en el análisis. El impacto de los análisis se observa en la Tabla 23, con incrementos significativos en los niveles de vulnerabilidad de la ruta 23 al tomar en cuenta la licuación.

Tramos críticos de la ruta 32

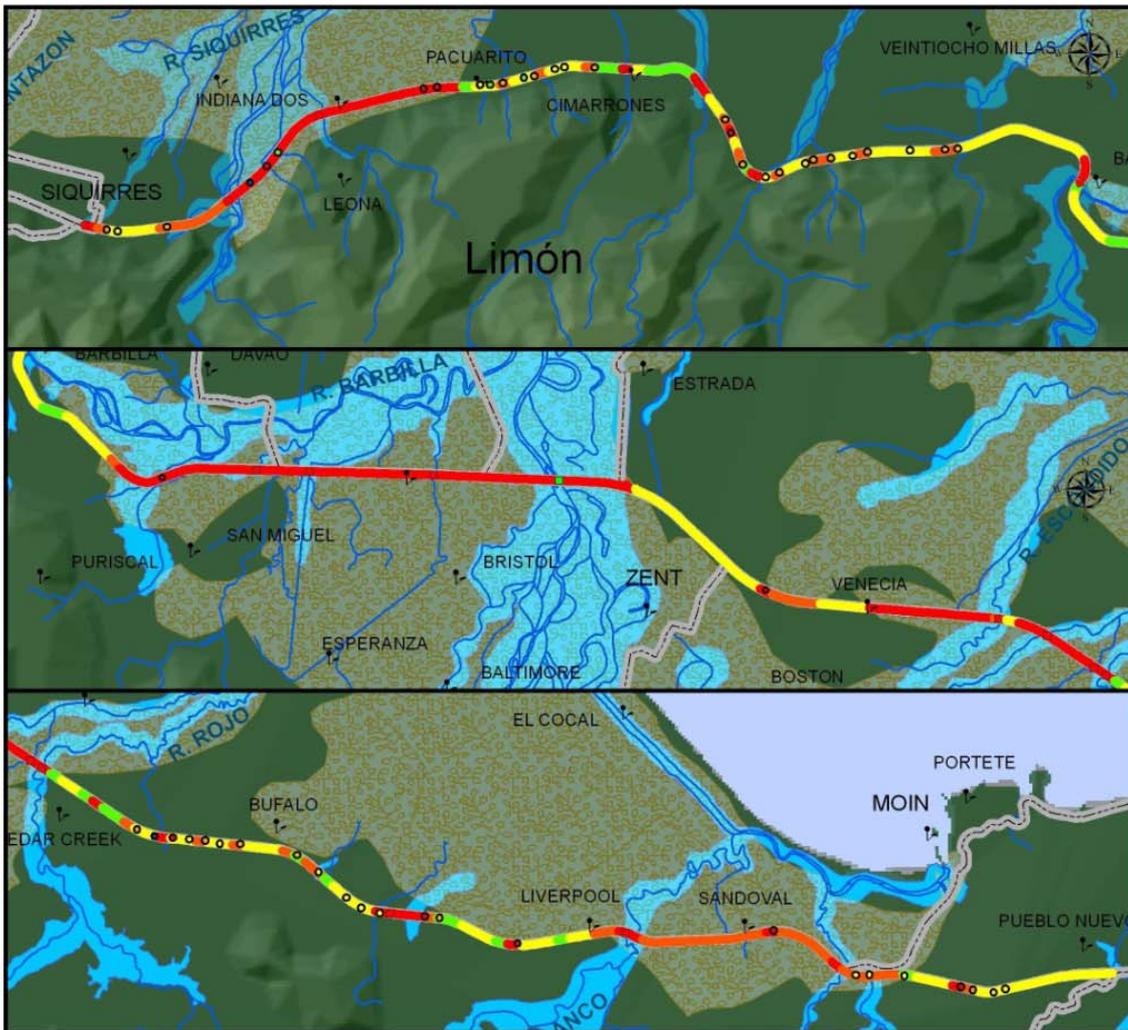
En general se considera que la vulnerabilidad de la Ruta Nacional No.32 Sección Siquirres-Limón es muy alta ante las amenazas naturales tomando en cuenta la licuación, ya que un 56.2% de la ruta se encuentran en la categoría Alta/Muy alta.

Se distinguen varios tramos críticos, tales como el sector que inicia desde el Río Pacuare con estacionamiento 2+400 hasta 7+000. Éste presenta suelos muy vulnerables a la licuación con terraplenes y puentes entre los ríos Pacuare y Pacuarito. El segundo tramo es el comprendido entre las estaciones 21+200 a 29+800, ya que presenta suelos muy licuables, con terraplenes que van de 1-5m, muchos de 5 m en las cercanías del Río Chirripó, dentro de este tramo se encuentran 4 puentes, 3 de ellos (Quebrada Calderón, Quebrada Aguas Claras, San Miguel) muy vulnerables a sismos, y el puente sobre el Río Chirripó aunque no es muy vulnerable por sismo, presenta problemas de socavación y inestabilidad del cauce del río. El tercer tramo 34+200 – 38+400 presenta 4 puentes con vulnerabilidad sísmica muy alta (Escondido, Cuba, Toro y Rojo), con la presencia de terraplenes en la aproximación de estos puentes, donde toda la zona es potencialmente licuable.



Simbología		Programas de Gestion de Riesgos y Vulnerabilidad en la Infraestructura Vial	
● Alcantarillas	■ Puentes	■ Zona de Inundación	■ Modelo de Elevación
● Division Provincial	■ Rios	■ Red Vial Nacional	■ Ruta 32
■ Intensidad de Vulnerabilidad	■ Alta	■ Media	■ Baja
■ 3800 m.s.n.m.	■ 0 m.s.n.m.	■ Fecha: Septiembre, 2008	■ Fuente: López, W. 2005
		■ Dibujo: Jairo Sanabria S	■ Reviso: Ing. Jorge Muñoz B
		■ Escala: No Aplica	■ Lanamme UCR

Figura 37: Vulnerabilidad de la ruta 32 sin considerar la amenaza de licuación de suelos



Simbología		Programas de Gestión de Riesgos y Vulnerabilidad en la Infraestructura Vial	
● Alcantarillas	■ Puentes	■ División Provincial	■ Rios
■ Suelos Potencialmente Licuables	■ Zona de Inundación	■ Red Vial Nacional	■ Ruta 32
Modelo de Elevación		Intensidad de Vulnerabilidad	
■ 3800 m.s.n.m.	■ 0 m.s.n.m.	■ Alta	■ Media
		■ Baja	
Descripción		Mapa de vulnerabilidad de la ruta 32, basado en las amenazas de inundación, alcantarillas, puentes y suelos potencialmente licuables	
Fecha:	Septiembre, 2008		
Fuente:	López, W. 2005		
Dibujo:	Jairo Sanabria S		
Reviso:	Ing. Jorge Muñoz B		
Escala:	No Aplica		

Figura 38: Vulnerabilidad total de la ruta 32 considerando la licuación de suelos

Recomendaciones para la reducción de la vulnerabilidad de la ruta 32

Se ha encontrado que para la ruta 32 las obras más vulnerables son los puentes, los terraplenes de relleno y en menor grado las alcantarillas; en general la ruta presenta vulnerabilidades altas y muy altas en gran parte de su recorrido principalmente por la existencia de materiales licuables en zonas típicamente inundables que engloban también la existencia de puentes o alcantarillas.

En lo que concierne a las alcantarillas siempre es importante brindar el mantenimiento adecuado como la limpieza de escombros y materiales depositados que pudieran obstruirlas, y la canalización apropiada de los afluentes hacia la misma (evitar erosión de terraplén). En segundo nivel se encuentra la ampliación de la geometría de la alcantarilla aumentando su capacidad cuando ésta es insuficiente, y/o la construcción de dispositivos de control de arrastres (rejas, pilas de sedimentación, deflectores, etc.)

Tomando en cuenta las enseñanzas que dejaron los daños observados luego del sismo de Limón-Terire del 1991; se estima que son muy riesgosas las áreas de la vía que transitan sobre materiales muy susceptibles a la licuación; sin embargo, es necesario realizar estudios más rigurosos sobre este potencial; así como también se recomiendan estudios específicos de licuación en áreas cercanas a puentes y alcantarillas donde es esperable encontrar un nivel freático alto, y que, además son zonas estratégicas para las vías (prioritarias).

Se recomienda también realizar trabajos de mejoramiento (densificación) de los terrenos licuables, primordialmente en las áreas cercanas a puentes. Es importante señalar que conjuntamente con el mejoramiento de los terrenos en la base de los terraplenes, es recomendable construir obras de protección de los mismos para reducir su vulnerabilidad ante la socavación y la tubificación, ya que estas obras también podrían verse afectadas por el fenómeno de la licuación (especialmente obras pesadas).

En lo concerniente a puentes, también es necesario profundizar los estudios tanto estructurales como geotécnicos para valorar la integridad de la subestructura, superestructura y la condición de los terrenos adyacentes. Es prioritario la reparación de daños encontrados en puentes que no colapsaron en el sismo de Limón de 1991 donde se encuentran cimientos girados y agrietados (López, 2005). Es necesario evaluar la opción de rehabilitación o reconstrucción de estas estructuras con el fin de reducir su vulnerabilidad especialmente para sismo, cuya ocurrencia podría comprometer varias de estas estructuras simultáneamente.

7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Referente a la evaluación realizada con el deflectómetro de impacto (FWD), se denota que dos terceras partes de la red vial presentan deflexiones dentro del rango bajo o adecuado, el cual se estableció según el nivel de tránsito promedio diario TPD, lo que permite dar una idea más realista sobre el estado de las rutas según la intensidad de su utilización (TPD). Esta evaluación revela que 231 Km mejoraron en este parámetro entre el año 2006 y 2008. Sin embargo, cerca de una quinta parte de la red vial (828 Km) presentan deflexiones altas y muy altas, lo cual revela un posible pavimento débil, deficiente construcción de la ruta, o bien un estado avanzado de deterioro.
- La evaluación de la regularidad superficial IRI demuestra que sólo una quinta parte de la red vial presenta un valor de IRI aceptable; una tercera parte un valor moderado; y un poco más de la mitad valores altos en este parámetro. Al relacionarse directamente con el confort y los costos operativos de los vehículos que circulan por la red vial, es de vital importancia mejorar la regularidad de los pavimentos con un plan de reconstrucción / mantenimiento, donde el IRI sea un parámetro objetivo de mejoramiento de primera importancia en los proyectos viales.
- Al comparar los resultados obtenidos de regularidad superficial IRI para las campañas 2006 y 2008, se muestra una leve mejora de este parámetro, sin embargo, como la mejora en dos años es tan leve, de mantenerse este ritmo de mejoramiento, tomaría unos 25 años llegar a un nivel adecuado de IRI para la red de carreteras nacionales (80% de la red vial con IRI de 0 a 3 m/Km). Es necesario acelerar los proyectos viales para mejorar el IRI de modo que se alcance economía y confort en el transporte por carretera. La mejora general del IRI también incidiría en lograr más durabilidad de los pavimentos en servicio.
- La meta planteada en el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 del gobierno actual, donde se proponía aumentar el porcentaje de longitud de carreteras cuyo valor IRI esté entre 0 y 3 m/Km en un 10%, no se ha logrado todavía en esta evaluación del año 2008. Según estos datos, el porcentaje de red vial con IRI entre 0 y 3 m/Km en el año 2006 era de 33,3% y para el año 2008 fue de 35,2% del kilometraje total de las carreteras evaluadas. Se logró aumentar solamente en un 1.9% o sea 96 Km entraron en la categoría entre 0 y 3 de valor IRI.
- Las mediciones de coeficiente de rozamiento de la superficie del pavimento, realizadas sólo a la mitad de la red vial, (no puede ejecutarse cuando el IRI es alto), muestran que una cuarta parte de las vías presenta un buen nivel de rozamiento; mientras que cerca de la mitad de las rutas evaluadas (más de 1.000 Km) presentan pavimentos deslizantes o muy deslizantes, lo cual los hace peligrosos cuando las condiciones de visibilidad y clima no son favorables. En varios estudios de accidentes a nivel internacional se ha llegado a demostrar que las rutas con pavimento deslizante facilitan la mayor incidencia de accidentes de vehículos.
- Los resultados obtenidos de la evaluación visual de la pintura de carriles en las vías, la cual se realizó solamente de día, abarcó un 83,7 % de las carreteras nacionales. Se denota una grave deficiencia de seguridad vial dado que sólo una tercera parte de los 3.878 Km evaluados presenta demarcación de regular a buena; mientras que cerca de la mitad de las rutas evaluadas no presentan demarcación con pintura. Esta categoría junto con la de pintura mala (en alto estado de desgaste),

significa que dos terceras partes de la red vial (2.564 Km) presentaban una demarcación deficiente en el año 2008, lo cual reduce las condiciones de seguridad para los usuarios de estas carreteras. Además estos resultados solo corresponden a evaluación visual de día, por lo cual, si la evaluación incluyera retroreflexión de la luz, la condición de la pintura podría ser aún más deficiente para la conducción por la noche.

- Si se analiza la combinación de los resultados de evaluación de rozamiento superficial (muchos tramos deslizantes con lluvia) y la falta de pintura vial en muchas carreteras, el panorama de la seguridad vial de nuestras vías muestra deficiencias y demanda una estrategia urgente de mejoramiento que permita superar estos inconvenientes en corto plazo. Esta estrategia permitiría reducir la frecuencia de accidentes en la red de carreteras, los cuales cuestan mucho dinero y daños a los usuarios implicados en ellos.
- Los resultados agregados en conjunto de esta evaluación de la red de carreteras nacionales (deflectometría; regularidad; rozamiento y pintura vial) para el año 2008 demuestran que el sistema que se ha venido utilizando para la gestión de la red de carreteras tiene múltiples carencias y no resulta eficaz, dado que los resultados son por demás preocupantes y no se observa todavía un buen ritmo de mejoramiento a mediano plazo para la red de carreteras. Por ejemplo, la mejora que se presentó en el IRI en el periodo 2006-2008 es tan lenta que tomaría más de 25 años llegar a un nivel adecuado de IRI en la red vial, con ese ritmo de mejoramiento. El poco avance del servicio que brinda la red vial hace perdurar altos costos de operación para los vehículos, incomodidad de viaje y poca seguridad para los usuarios.

7.2 Conclusiones sobre la vulnerabilidad de las rutas ante amenazas

- Se han presentado y analizado tres tramos de rutas nacionales para las cuales se encuentra que para las rutas 2 y 32 su vulnerabilidad ante eventos naturales es alta, en tanto para la ruta 10 su vulnerabilidad es más bien moderada, con un riesgo menor además debido a la existencia de una ruta alterna (la No. 32) y una menor exposición por tener menor tráfico diario.
- Para el caso de los tramos de las rutas 2 y 10, las mayores amenazas son el deslizamiento de los taludes de corte, de los terraplenes de relleno y de pendientes altas del terreno natural que dan hacia la ruta (especialmente en la ruta 2). Estas amenazas se ven aumentadas por la falta de mantenimiento preventivo y mejoras preventivas en cunetas, contracunetas y obras de estabilización de taludes.
- Los cambios climatológicos experimentados en los últimos años en el planeta se ven reflejados en menores períodos de retorno de lluvias severas, lo cual hace que las alcantarillas no tengan capacidad hidráulica suficiente en ciertos pasos de quebrada, lo que produce que cada vez sea más frecuente la condición de saturación total de los terrenos, que a su vez es la causa común de los deslizamientos.
- La ruta 2 presentó frecuentes daños en la temporada de lluvias de los años 2007 y 2008. Se encuentra que las medidas de reparación llevadas a cabo solo cumplen parcialmente las necesidades que presenta la vía, siendo en algunos casos insuficientes, por ende se deben realizar trabajos periódicos de limpieza en las obras hidráulicas existentes (cunetas, contracunetas y alcantarillas),

otros trabajos de protección y drenaje y la definición de áreas específicas para depositar el material de los deslizamientos sobre la vía.

- Por otra parte, en la ruta 32, el aspecto de más peso relativo sobre la vía es la vulnerabilidad ante las inundaciones y la licuación de los materiales sobre los cuales se colocaron terraplenes de relleno y puentes, en tanto que también muchos puentes son vulnerables al sismo desde su punto de vista estructural. Es importante recordar que un sismo fuerte similar al del 1991 generaría una situación en la que la ruta tendría serios problemas como ocurrió anteriormente, ya que, no se han tomado las medidas necesarias e inclusive aún persisten estructuras dañadas en operación desde el evento del año 1991, hace ya 17 años.
- También es posible esperar que esta ruta presente daños cuando se den grandes aguaceros o tormentas, por las alcantarillas con insuficientes capacidad hidráulica y terraplenes mal concebidos (sin protección).

7.3 Recomendaciones

- El MOPT, CONAVI, COSEVI deben integrarse en su trabajo para implementar un sistema de gestión vial efectivo con el debido soporte técnico y programa de inversión a largo plazo, que garantice la recuperación, desarrollo, sostenibilidad del patrimonio vial y mayor seguridad vial en un periodo de 10 años, objetivo que requiere el país para dar soporte a su desarrollo económico y social. No se podrán lograr resultados mejores en la red de carreteras con el mismo sistema de gestión que se ha venido utilizando hasta ahora, ya que se demuestra un avance muy lento entre 2006 y 2008 para recuperar la red vial pavimentada hasta el nivel que requiere el país para impulsar el desarrollo socio-económico.
- Se deben definir las políticas de gestión con una visión a largo plazo, que trascienda los gobiernos de 4 años, y que plantee objetivos para la infraestructura vial de manera integrada; no enfocándose únicamente en los pavimentos y obras específicas, sino buscando que el sistema de transporte terrestre sea ágil, económico, eficiente, seguro y suficiente para impulsar el desarrollo nacional.
- Es importante que las instituciones MOPT-CONAVI-COSEVI empiecen a analizar los tramos de pavimento deslizante que se han detectado en esta evaluación para aplicar tecnología moderna tales como lechadas asfálticas, nuevas mezclas asfálticas y mejoramiento de superficie (entre otras tecnologías), que permitan a los vehículos contar con mejor rozamiento para el frenado y la estabilidad al viajar por tramos de curva. El mejoramiento de las secciones deslizantes contribuiría sensiblemente a reducir los accidentes de tránsito en nuestro país.
- El MOPT debe mejorar su capacidad técnica de planificación, control y contratación de los proyectos de pintura vial, dado que más de la mitad de los pavimentos no tienen pintura o está en pésimo estado durante esta evaluación año 2008. No parece razonable que esta situación se esté dando ya que la pintura es una actividad relativamente simple dentro de las labores de construcción vial y además es muy importante para la seguridad de conductores y peatones.

- El MOPT debe medir y actualizar los datos de tránsito promedio diario TPD de las vías nacionales, dado que esta información tiene limitaciones importantes, pero resulta básica y fundamental para el sistema de gestión vial nacional, para el diseño, mantenimiento y rehabilitación de carreteras y puentes.
- Es prioritario reacondicionar la vía 32, comenzando por el mejoramiento de los componentes estructurales de los puentes y sus terraplenes de aproximación (densificación de suelos, protección de terraplenes y bastiones ante la socavación); ya que su importancia es esencial desde los puntos de vista económico, social, de emergencia; y cuyo costo por reemplazo o reconstrucción (usualmente realizada de forma descontrolada por la “emergencia”) es mucho más alto que una rehabilitación (mayor control sobre los trabajos).
- Resulta necesario un cambio de organización y de gestión de nuestra infraestructura vial hacia una cultura de prevención (en nuevas obras) y rehabilitación geotécnica e hidráulica (obras existentes), evitando las prácticas de hacer arreglos improvisados sin diseño formal, solamente para reestablecer el paso de vehículos, pero sin solventar los riesgos presentes en las vías. Dentro de las medidas a tomar debe integrarse un grupo de profesionales en geotecnia para atender este tipo de mejoras en todo el país que trabajen continuamente en este tema con el MOPT y CONAVI.

8. Bibliografía

- Aguilar, I. "Análisis de vulnerabilidad hidrológica de la carretera Interamericana, tramo La Georgina-San Isidro". Tesis. UCR. 1997.
- Chacón, G. "Zonificación de la amenaza en la Carretera Interamericana Sur por deslizamiento de suelo y roca, asociados con lluvias intensas y sismos" Informe Final del Proyecto de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 2000.
- Kanji, M. "Metodología para estimar la vulnerabilidad del terreno con relación a flujos de detritos". I Simposio Internacional de Movimientos en masa, Cuenca- Ecuador. Mayo, 2001.
- LanammeUCR, Informe de Evaluación del la Red Vial Nacional año 2006, PITRA, año 2006
- LanammeUCR, Informe Proyecto N° UI-PE-03-08, Variaciones a los rangos de clasificación de la red vial nacional de Costa Rica, Unidad de Investigación, Año 2008.
- López, W. "Vulnerabilidad ante amenazas naturales de la Ruta Nacional No.32, Sección Siquirres-Limón". Informe final de proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. Agosto 2005.
- Piedra Rodríguez, Jhonatan. Coeficiente de fricción de las carreteras nacionales en Costa Rica, Proyecto final de graduación, año 2007, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica
- Risk Management Solutions, Inc., 1997, Earthquake Loss Estimation Methodology - HAZUS97 Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., USA.
- Rodríguez, E. "Revisión de métodos de Diseño hidrológico e hidráulico de alcantarillas para carreteras". Informe final de proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. Agosto, 1989
- Ulloa, A., Vargas, W.; Garro, J. "Vulnerabilidad Geotécnica de Rellenos en Carreteras de Montaña de Costa Rica" XIV CILA Habana, Cuba, 2007.
- Umaña, C. "Vulnerabilidad ante amenazas naturales de la Ruta Nacional No.10, tramo Turrialba-Siquirres". Informe final de proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Setiembre 2003.
- Vargas, W. "Guía para elaborar perfiles de vulnerabilidad de infraestructura vial ante amenazas naturales" LANAMME. UCR. 2002.
- Vargas, W.; Garro, J. "Gestión de riesgos naturales en infraestructura vial" LANAMME. UCR. 2003.
- Vargas, W.; Garro, J. "Relación entre las características geométricas y la vulnerabilidad de algunas rutas de montaña en Costa Rica" I Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (I CISEV). Costa Rica. 2008.
- Vargas, W.; Garro, J. "Vulnerabilidad a deslizamientos, carretera interamericana sur, tramo San Isidro de Cartago – San Isidro de Perez Zeledón" Informe Final, LANAMME. UCR. 2004.