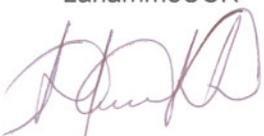
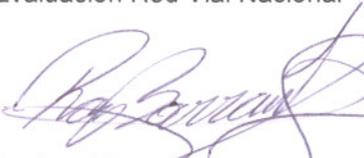


1. Informe INF – PITRA – 010 – 2011		2. Copia No. 1	
3. Título Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27, Año 2011		4. Fecha del Informe Diciembre, 2011	
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440			
6. Notas complementarias			
7. Resumen Como parte de la Ley 8114, que estipula al LanammeUCR como ente fiscalizador de la Red Vial Nacional y de los proyectos en concesión, en el año 2011 se realizó una campaña de evaluación del estado de la ruta en los parámetros funcionales, estructurales, de mantenimiento y seguridad vial, así como varias giras para estudiar la evolución del proyecto en el tiempo. En este contexto, los resultados obtenidos fueron comparados con aquellos del 2010, teniéndose ya 2 puntos en la curva de desempeño del pavimento para cada tramo. Toda la información recopilada pasa a ser parte de la base de datos digital que <u>sobre el proyecto se tiene, y se pondrán a disposición de la administración, cuando sea requerida.</u>			
8. Palabras clave Ruta 27, taludes, pavimentos, terraplenes, deslizamientos		9. Nivel de seguridad Alto	
		10. No. de páginas 105	
11. Preparado por Ing. José Francisco Garro  Fecha: 15 de diciembre, 2011		11. Preparado por Christian Valverde Cordero  Fecha: 15 de diciembre, 2011	
		11. Preparado por César Chaves Vargas  Fecha: 15 de diciembre, 2011	
12. Revisado por Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR  Fecha: 15 de diciembre, 2011		12. Revisado por Ing. Roy Barrantes Jiménez Coordinador, Unidad de Evaluación Red Vial Nacional  Fecha: 15 de diciembre, 2011	
		13. Aprobado por Ing. Guillermo Loría Salazar Coordinador General PITRA  Fecha: 15 de diciembre, 2011	



Laboratorio Nacional de Materiales
y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte PITRA

Informe: LM – PI – UE – 008 – 2011

Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27 Año 2011

Informe Final

Preparado por:
Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional

San José, Costa Rica

Diciembre, 2011

1. Informe INF – PITRA – 010 – 2011		2. Copia No. 1
3. Título Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27, Año 2011		4. Fecha del Informe Diciembre, 2011
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias		
7. Resumen Como parte de la Ley 8114, que estipula al LanammeUCR como ente fiscalizador de la Red Vial Nacional y de los proyectos en concesión, en el año 2011 se realizó una campaña de evaluación del estado de la ruta en los parámetros funcionales, estructurales, de mantenimiento y seguridad vial, así como varias giras para estudiar la evolución del proyecto en el tiempo. En este contexto, los resultados obtenidos fueron comparados con aquellos del 2010, teniéndose ya 2 puntos en la curva de desempeño del pavimento para cada tramo. Toda la información recopilada pasa a ser parte de la base de datos digital que sobre el proyecto se tiene, y se pondrán a disposición de la administración, cuando sea requerida.		
8. Palabras clave Ruta 27, taludes, pavimentos, terraplenes, deslizamientos	9. Nivel de seguridad Alto	10. No. de páginas 105
11. Preparado por Ing. José Francisco Garro Fecha: 15 de diciembre, 2011	Christian Valverde Cordero Fecha: 15 de diciembre, 2011	César Chaves Vargas Fecha: 15 de diciembre, 2011
12. Revisado por Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR Fecha: 15 de diciembre, 2011	12. Revisado por Ing. Roy Barrantes Jiménez Coordinador, Unidad de Evaluación Red Vial Nacional Fecha: 15 de diciembre, 2011	13. Aprobado por Ing. Guillermo Loría Salazar Coordinador General PITRA Fecha: 15 de diciembre, 2011



TABLA DE CONTENIDOS

Resumen	9
1. Introducción y Antecedentes	10
2. Objetivos de la campaña de evaluación de la ruta 27, año 2011	12
2.1 Objetivo General	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3. Descripción de los equipos, criterios y procedimientos	12
3.1 Capacidad funcional mediante el IRI	12
3.1a <i>Descripción del equipo</i>	12
3.1b <i>Criterios de clasificación</i>	14
3.1c <i>Procedimiento de medición</i>	16
3.2 Capacidad estructuras mediante FWD	17
3.2a <i>Descripción del equipo</i>	17
3.2b <i>Criterios de clasificación</i>	19
3.2c <i>Procedimiento de medición</i>	23
3.3 Seguridad vial mediante el Griptester	24
3.3a <i>Descripción del equipo</i>	24
3.3b <i>Criterios de clasificación</i>	25
3.3c <i>Procedimiento de medición</i>	26
3.4 Análisis de deterioros mediante el Geo3d	27
3.4a <i>Descripción del equipo</i>	27
3.4b <i>Criterios de clasificación</i>	28
3.4c <i>Procedimiento de medición</i>	29
4. Resultados obtenidos en la campaña de evaluación 2011	29
4.1 Capacidad estructural mediante FWD	29
4.1a <i>Criterios de clasificación</i>	29
4.1b <i>Resultados obtenidos, sentido San José – Caldera</i>	30
4.1c <i>Resultados obtenidos, sentido Caldera – San José</i>	31
4.1d <i>Análisis de los resultados</i>	32
4.1e <i>Mapas con los resultados</i>	33



4.2 Capacidad funcional mediante IRI	46
4.2a <i>Criterios de clasificación</i>	46
4.2b <i>Resultados obtenidos</i>	46
4.2c <i>Análisis de los resultados</i>	48
4.2d <i>Mapas con los resultados</i>	49
4.3 Seguridad vial mediante Griptester	62
4.3a <i>Criterios de clasificación</i>	62
4.3b <i>Resultados obtenidos</i>	62
4.3c <i>Análisis de los resultados</i>	64
4.3d <i>Mapas con los resultados</i>	64
4.4 Comparación de resultados entre campañas 2010 y 2011	77
4.4a <i>Evaluación con FWD</i>	77
4.4b <i>Evaluación con IRI</i>	78
4.4c <i>Evaluación con GRIP</i>	78
4.5 Análisis de la condición y deterioros presentes en el proyecto	79
4.5a <i>Criterios de clasificación</i>	79
4.5b <i>Resumen de resultados obtenidos</i>	80
4.5c <i>Análisis de resultados obtenidos con la evaluación visual</i>	81
5. Estado de los taludes y terraplenes de la ruta	82
6. Conclusiones	96
6.1 Conclusión General	96
6.2 Conclusiones Específicas	97
6.2a <i>Sobre la condición estructural</i>	97
6.2b <i>Sobre la condición funcional</i>	97
6.2c <i>Sobre la seguridad vial</i>	97
6.2d <i>Sobre los deterioros</i>	98
6.2e <i>Sobre el estado de los taludes y terraplenes</i>	98
6.3 Recomendaciones	99
6.4 Bibliografía	100
Anexo I Archivo fotográfico de deterioros	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura1 Diagrama de evaluación del proyecto San José – Caldera, año 2011	11
Figura 2 Efecto de la regularidad superficial en el confort	13
Figura 3 Perfilómetro láser	13
Figura 4 Deflectómetro de impacto	18
Figura 5 Cuenco de deflexiones	19
Figura 6 Relación entre el factor de condición y la vida permanente	21
Figura 7 Paquetes estructurales construidos en el proyecto	22
Figura 8 Rangos de deflexiones aplicados	23
Figura 9 Diferencias entre micro y macro textura	24
Figura 10 Griptester usado	25
Figura 11 Equipo Geo3d	27
Figura 12 Análisis de imágenes por medio del Geo3d	28
Figura 13 Estado de la capacidad estructural, sentido San José - Caldera	31
Figura 14 Estado de la capacidad estructural, sentido Caldera – San José	32
Figura 15: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	34
Figura 16: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	35
Figura 17: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	36
Figura 18: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	37
Figura 19: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	38
Figura 20: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	39
Figura 21: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	40
Figura 22: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	41
Figura 23: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	42
Figura 24: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	43
Figura 25: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	44
Figura 26: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	45
Figura 27: Resultados obtenidos en IRI, sentido San José – Caldera	47
Figura 28: Resultados obtenidos en IRI, sentido Caldera – San José	47
Figura 29: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	50



Figura 30: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	51
Figura 31: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	52
Figura 32: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	53
Figura 33: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	54
Figura 34: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011	55
Figura 35: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	56
Figura 36: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	57
Figura 37: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	58
Figura 38: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	59
Figura 39: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	60
Figura 40: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011	61
Figura 41 Estado del proyecto según agarre superficial, sentido San José - Caldera	63
Figura 42 Estado del proyecto según agarre superficial, sentido Caldera – San José	63
Figura 43: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera	65
Figura 44: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera	66
Figura 45: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera	67
Figura 46: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera	68
Figura 47: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera	69
Figura 48: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera	70
Figura 49: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José	71
Figura 50: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José	72
Figura 51: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José	73
Figura 52: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José	74
Figura 53: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José	75
Figura 54: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José	76
Figura 55: Comparación de resultados FWD obtenidos, sentido San José – Caldera	77
Figura 56: Comparación de resultados FWD obtenidos, sentido Caldera – San José	77
Figura 57: Comparación de resultados IRI obtenidos, sentido San José – Caldera	78
Figura 58: Comparación de resultados IRI obtenidos, sentido Caldera – San José	78
Figura 59: Comparación de resultados GRIP obtenidos, sentido San José – Caldera	79



Figura 60: Comparación de resultados GRIP obtenidos, sentido Caldera – San José	79
Figura 61: Desprendimiento leve	81
Figura 62: Desprendimiento medio	81
Figura 63: Desprendimiento severo	82
Figura 64: Sitios visitados, gira realizada el 15 de noviembre del 2011	83
Figura 65: Talud izquierdo sentido San José-Caldera	84
Figura 66: Construcción de muro de gaviones contiguo al bastión del paso elevado	84
Figura 67: Deterioros en la superficie de ruedo en la estación 25+750	85
Figura 68: Rodera de 2 cm encontrada en el estacionamiento 27+050	85
Figura 69: Exudación y agrietamiento en la superficie de ruedo, estacionamiento 27+050	86
Figura 70: Talud derecho del estacionamiento 28+350	86
Figura 71: Material obstruyendo la sección de cuneta en el estacionamiento 28+350	87
Figura 72: Talud de material rocoso deslizado en el estacionamiento 33+050	87
Figura 73: Daños en la vía producto del empuje del talud derecho, estacionamiento 36+400	88
Figura 74: Talud de corte en el estacionamiento 36+400	89
Figura 75: Talud izquierdo en el estacionamiento 37+200	89
Figura 76: Cunetas obstruidas en el estacionamiento 37+200	90
Figura 77: Geotextil dañado del talud ubicado en el estacionamiento 37+750	90
Figura 78: Deterioro en la superficie de ruedo y cuneta en el estacionamiento 37+750	91
Figura 79: Talud deslizado en el estacionamiento 38+500	91
Figura 80: Flujo de agua en el cuerpo del talud y barra de anclaje pasivo, estación 38+500	92
Figura 81: Bache ubicado en el estacionamiento 44+400	92
Figura 82: Desechos del bacheo depositados en la cuneta obstruyendo el flujo de agua	93
Figura 83: Deterioros en el concreto lanzado presentes en el talud, estacionamiento 46+250	93
Figura 84: Talud deslizado donde se realizan trabajos de estabilización	94
Figura 85: Talud rocoso con gran cantidad de fracturas y material caído al pie	94
Figura 86: Deterioro en superficie de ruedo, levantamiento y bache, estacionamiento 48+350	95



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rangos y valores característicos del IRI en función del PSI	16
Tabla 2: Valores del GN mínimos recomendados por el fabricante	26
Tabla 3: Clasificación internacional del pavimento según el GN	26
Tabla 4: Resultados obtenidos, coeficiente de rozamiento superficial	30
Tabla 5: Deflexiones FWD obtenidas para el proyecto San José – Caldera	30
Tabla 6: Deflexiones FWD obtenidas para el proyecto Caldera – San José	31
Tabla 7: Ubicación de puntos con deflexiones altas y muy altas, San José – Caldera	33
Tabla 8: Ubicación de puntos con deflexiones altas y muy altas, Caldera – San José	33
Tabla 9: Rangos de clasificación de regularidad superficial (IRI)	46
Tabla 10: Resultados obtenidos en regularidad superficial, ruta 27	47
Tabla 11: Ubicación de estacionamientos con problemas de IRI	48
Tabla 12: Clasificación internacional del pavimento según el GN	62
Tabla 13: Resultados obtenidos, coeficiente rozamiento superficial del proyecto	63
Tabla 14: Ubicación de tramos con problemas de resistencia al deslizamiento	64
Tabla 15: Resumen de deterioros superficiales detectados en la sección I	80
Tabla 16: Resumen de deterioros superficiales detectados en la sección II	80
Tabla 17: Resumen de deterioros superficiales detectados en la sección III	81



Resumen

Bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar una evaluación anual de los proyectos y puentes administrados bajo la modalidad de concesión de obra pública, cumpliendo la función de ser un instrumento eficaz e imparcial de rendición de cuentas, y contribuyendo en garantizar la calidad y el mantenimiento de los niveles de servicio de aquel patrimonio vial en manos de las empresas concesionarias.

Para poder valorar de forma objetiva la calidad de un proyecto en concesión y el mantenimiento de los niveles de servicio a lo largo de toda la vida útil del proyecto, es necesario contar con especificaciones técnicas que definan los estándares mínimos de calidad. En este informe se evalúa la condición actual del proyecto, de cara al cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas en el contrato, y de acuerdo con los estándares internacionalmente aceptados.

En el caso de aquellas especificaciones contractuales que presentaron poca exigencia o ambigüedad en los parámetros, equipos o procedimientos de medición; el LanammeUCR realizó la valoración de acuerdo con los estándares de calidad, equipos y procedimientos establecidos internacionalmente para este tipo de proyectos. El análisis de las especificaciones contractuales ya fue presentado en el informe LM-PI-ERV-40-2010 emitido el 18 de octubre del año 2010

Los parámetros técnicos con los que se realizó la evaluación de este proyecto en el año 2011 están relacionados directamente con la vida útil o de servicio, con el costo de operación de la flota vehicular que circula por el proyecto y con la seguridad vial, evaluando aspectos relevantes como la fricción de la superficie para facilitar el frenado de los vehículos para las velocidades de operación. Para una medición más precisa de los indicadores de calidad, se utilizó el deflectómetro de impacto (FWD) para medir las deflexiones obtenidas al someter al pavimento a una fuerza que simula cargas de tránsito, lo que permite calcular la capacidad estructural del pavimento. 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 (GRIPTESTER) 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 realizaron mediciones por medio de equipo láser que permite detectar la presencia de deformaciones en el pavimento, deterioros conocidos como “roderas”, y se realizó un análisis por medio de equipo de imágenes digitales de alta resolución y georeferenciadas, para detectar la presencia de otros tipos de deterioros sobre la superficie de rueda.



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 anual de los proyectos y puentes en concesión. 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.

La calidad final de un proyecto vial administrado bajo la modalidad de concesión de obra pública depende principalmente de dos aspectos: 1. la rigurosa fundamentación técnica de las especificaciones establecidas en el contrato, tomando en consideración que el proyecto debe brindar a los usuarios un servicio eficiente, confortable y seguro, considerando que además debe darse una recuperación del patrimonio vial representado por el proyecto específico, ya que eventualmente éste volverá a manos de la Administración y 2. Que El Estado o el ente encargado de fiscalizar el cumplimiento contractual, tenga acceso o cuenta con los recursos, capacidad técnica, conocimiento y tecnología suficiente para velar por el mantenimiento de los niveles de servicio a lo largo de la vida útil del proyecto, y exigir al Concesionario el cumplimiento de los estándares establecidos.

A pesar de ser éste el primer proyecto en concesión de obra pública que es evaluado de acuerdo a lo establecido en los artículos 5 y 6 de la ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria, el LanammeUCR ya ha realizado evaluaciones de toda la Red Vial Nacional desde el año 2002, acumulando más de 35.000 km evaluados para el año 2011 y desarrollando un importante cúmulo de experiencia, conocimiento y tecnología en evaluación de proyectos viales.

La principal diferencia entre evaluar un proyecto en concesión o una red vial completa como la Red Vial Nacional no radica en los parámetros que se evalúan, sino en el nivel de detalle de la información que se genera; es decir, mientras una evaluación a nivel de red permite realizar mediciones con frecuencias mayores (ej. mediciones cada 500 metros) para poder calificar la condición de las vías, en evaluaciones a nivel de proyecto es necesario realizar mediciones con intervalos menores (ej. Cada 100 metros).

Tomando en consideración lo explicado anteriormente, la evaluación realizada en este proyecto está representada en el siguiente esquema operativo:

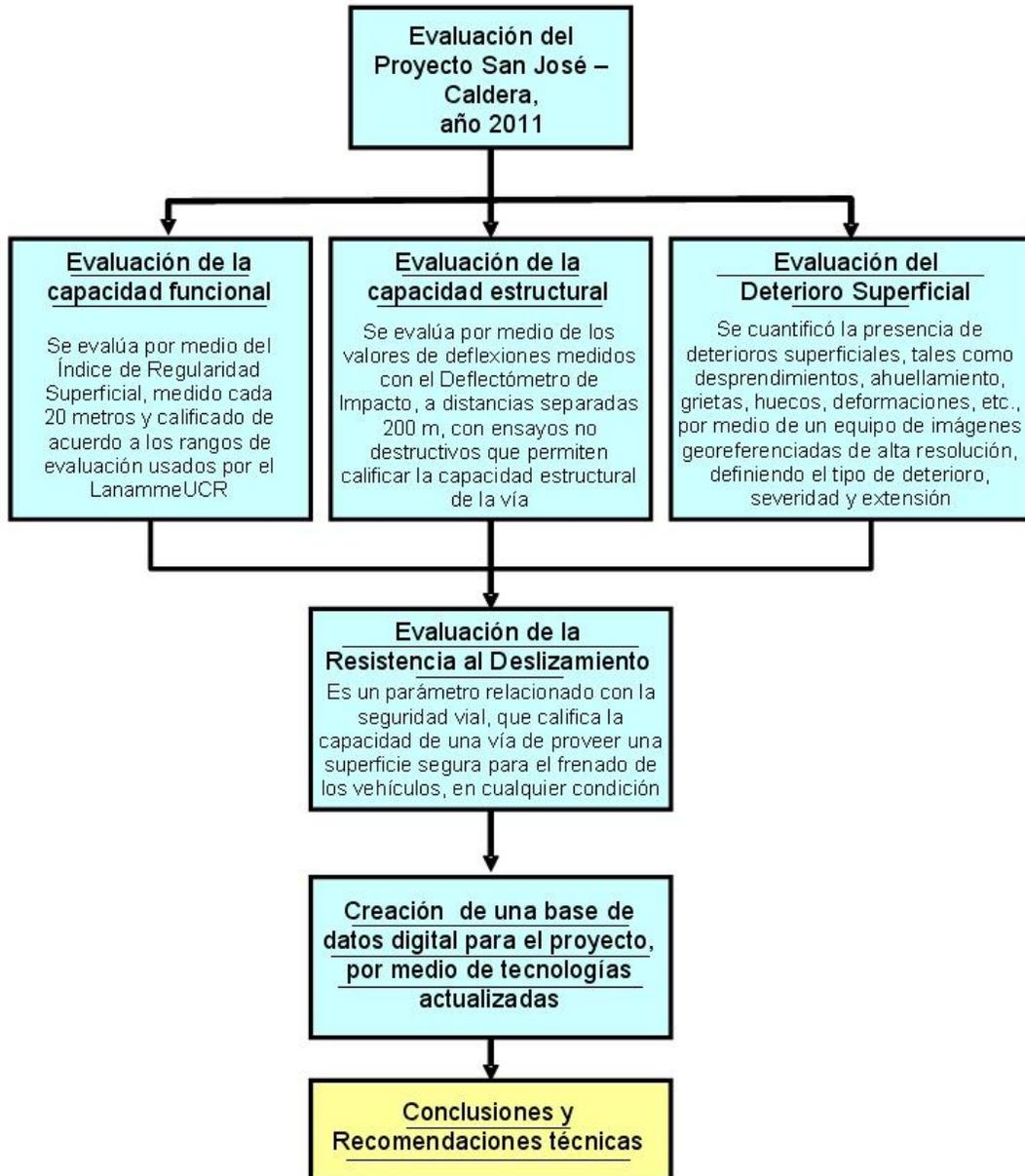


Figura 1: Diagrama de la evaluación del proyecto San José – Caldera Ruta 27, año 2011.

2. OBJETIVOS DE LA CAMPAÑA DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN CONCESIÓN SAN JOSÉ – CALDERA, AÑO 2011

2.1 Objetivo General

Evaluar la condición del pavimento del proyecto en Concesión San José – Caldera, Ruta Nacional 27 en el año 2011, cuantificando de manera sistemática la evolución del mismo y el desempeño a lo largo del tiempo, así como el nivel de mantenimiento de los niveles de servicio. Esta evaluación se realizó con el propósito de brindar a la Administración información oportuna y confiable que permita ejercer los controles de fiscalización que son potestad del Estado.

2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la resistencia estructural de los pavimentos construidos, 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 del deterioro superficial de la calzada, por medio de equipo de cámaras digitales de alta resolución georreferenciadas, alertando de la presencia temprana de deterioros que pueden poner en peligro la seguridad del usuario, así como el confort y durabilidad del proyecto.
- Comparar las condiciones actuales con las obtenidas en el año 2010, para establecer la evolución del estado de la infraestructura como tal.
- Mantener una base de datos actualizada de los parámetros técnicos del proyecto, que sea útil para la planificación de proyectos destinados al mejoramiento de la red vial.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS, CRITERIOS DE CALIFICACIÓN Y PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

3.1 Capacidad funcional mediante el Índice de Regularidad Internacional

3.1a Descripción del Equipo

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 de longitud, lo que es percibido por el usuario como el confort de marcha. Sin embargo, el aspecto más importante de 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 2).

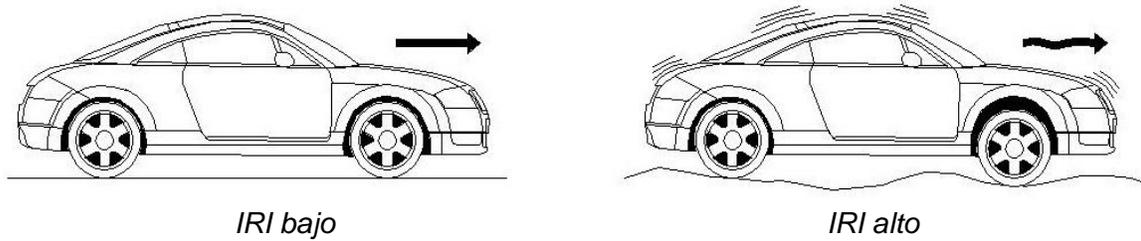


Figura 2: Efecto de la regularidad superficial en el confort sentido por los usuarios de la ruta.

La Figura 3 muestra el equipo empleado por el LanammeUCR en la evaluación de proyectos, 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 texto¹. 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.

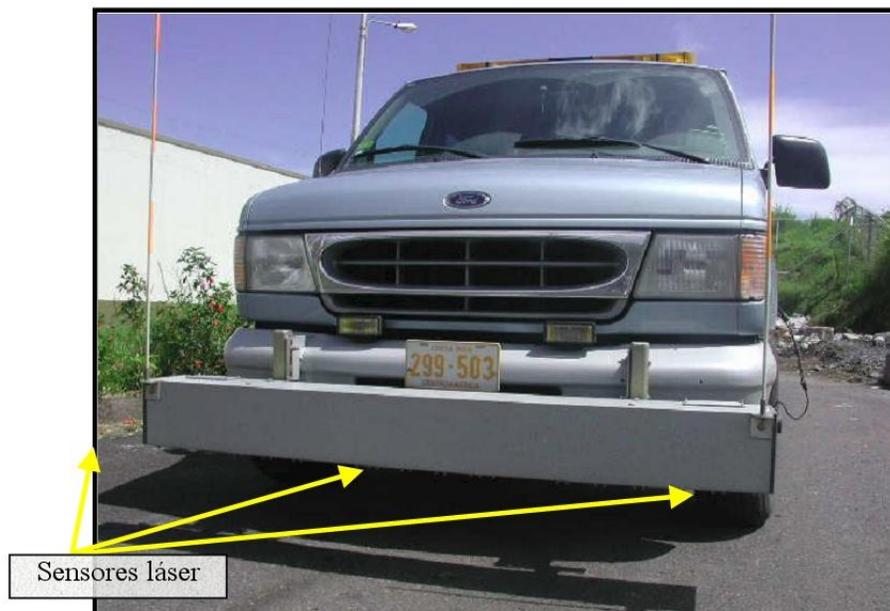


Figura 3: Perfilómetro Láser.

¹ El proceso de cálculo 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.

3.1b Criterios de Clasificación

Para definir rangos que pudieran reflejar la condición funcional de una ruta de forma objetiva, se analizó las bases técnicas que dieron origen al concepto de IRI, y se aplicaron las correlaciones existentes con otros índices aceptados internacionalmente, que describen la condición funcional de las rutas (serviciabilidad), considerando tanto la rugosidad de los pavimentos, como los deterioros existentes.

Uno de los principios fundamentales considerados por la “American Association of State Highway and Transportation Officials” (AASHTO) en el desarrollo de la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos (AASHTO, Washington D.C., 1993) es la relación existente entre los conceptos de serviciabilidad y desempeño. De acuerdo con estos conceptos, el pavimento existe para brindar confort y seguridad a los usuarios; por consiguiente, el desempeño de un pavimento debería ser cuantificado en términos de su serviciabilidad.

La AASHTO desarrolló en 1962, por medio de experimentación en el *tramo de prueba de escala natural*, una definición de serviciabilidad de un pavimento, denominada como “Present Serviciability Rating” (PSR). El cálculo de este índice se realizó por medio de una apreciación subjetiva sobre la calidad de rodado, realizado por un grupo de personas que formaron parte de un panel evaluador. De esta evaluación subjetiva surgió una escala de clasificación que calificó la calidad de ruedo con valores entre 0 (intransitable) y 5 (excelente).

Uno de los objetivos principales de este estudio era desarrollar una relación entre el índice PSR subjetivo y un índice objetivo como lo es el índice PSI.

Producto de desarrollo de modelos de regresión lineal, se logró calcular los valores de PSI a partir de datos provenientes de las distintas secciones de la “Pista de Prueba” construida por la AASHTO. De esta forma fue posible estimar el PSR como una función derivada de variables como el “Slope Variante” SV, y considerando el aporte de deterioros como agrietamientos y bacheo, la cual logró estimar un nuevo índice de serviciabilidad objetivo conocido como PSI y representado por las siguientes ecuaciones:

Para Pavimentos Asfálticos:

$$PSI = 5.03 - 1.91 * \log(1 + SV) - 1.38 * D^2 - 0.01 * (C + P)^{0.5} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Para Pavimentos de Concreto Hidráulico:

$$PSI = 5.41 - 1.78 * \log(1 + SV) - 0.09 * (C + P)^{0.5} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

- SV: Varianza de a pendiente longitudinal (Slope Variance) medida con un perfilómetro CHLOE, rod x 10⁻⁶ (in/ft²).
- RD: Ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, in.
- C (en asfalto): Superficie agrietada, ft²/1000ft².

- C (en hormigón): Longitud total (transversales y longitudinales) de grietas, selladas o abiertos, $\text{ft}^2/1000\text{ft}^2$.
- P: Superficie bacheada, $\text{ft}^2/1000\text{ft}^2$.

Considerando el alto grado de correlación existente entre las calificaciones de serviciabilidad por parte del usuario, y ciertas variables que miden cuantitativamente el deterioro físico de pavimento, el concepto inicial de serviciabilidad (en términos de la opinión de un usuario, PSR) fue reemplazado por el de un índice de serviciabilidad (PSI) calculado según las relaciones anteriores, a partir de ciertos parámetros medidos de manera objetiva.

Una vez establecido el PSI como un indicador objetivo de la serviciabilidad de un pavimento, se desarrollaron investigaciones que permitieron establecer distintos modelos de correlación matemáticos para la estimación del PSI en función del IRI, entre ellos tenemos:

Para Pavimentos Asfálticos:

$$PSI = 5 - 0.2937x^4 + 1.1771x^3 - 1.4045x^2 - 1.5803x \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$R^2 = 95\%$$

Para Pavimentos de Concreto Hidráulico:

$$PSI = 5 + 0.6046x^3 - 2.2217x^2 - 0.0434x \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$R^2 = 96.5\%$$

Donde $x = \log(1+SV)$ para ambos casos

Adicionalmente se establece una ecuación de regresión del análisis de pares ordenados IRI – SV, obteniendo la siguiente ecuación:

$$SV = 2.2704 * IRI^2 \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$R^2 = 98.8\%$$

Combinando las ecuaciones (3) y (5) para pavimentos flexibles y (4) y (5) para pavimentos rígidos, es posible obtener modelos que correlacionen PSI e IRI con un alto grado de confianza.

Otro modelo propuesto tanto para pavimento flexible como para rígido es el dado por Al-Omari y Darter:

- pavimentos flexibles:

$$PSR = 5 * e^{-0.24 * IRI} \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$R^2 = 73\%$$

- pavimentos rígidos:

$$PSR = 5 * e^{-0.272*IRI}$$

Ecuación (7)

R² = 73%

De los modelos antes descritos, para la determinación de los rangos de IRI se eligieron los representados por las ecuaciones (3) y (4) (por sus coeficientes de variación R² más altos), combinados con la ecuación (5).

De esta forma, mediante el uso de los modelos mostrados, se pueden establecer rangos para el IRI, cuyos límites van a estar determinados por los correspondientes valores del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), los cuales ya fueron definidos por la AASHO en 1962.

Los rangos propuestos se muestran en la siguiente tabla y permiten clasificar las rutas por su condición funcional considerando valores de rugosidad (IRI) y de serviciabilidad (PSI).

Tabla 1 Rangos y Valores característicos de IRI en función del PSI

Pavimentos Flexibles (Modelo de AASHO)			Pavimentos Rígidos (Modelo de AASHO)			Calificación	Descripción AASHO
Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI	Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI		
5.0	0.0	0 - 1.0	5.0	0	0 - 1.4	Muy Buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficiente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasificaría como muy buenos.
4.2	0.8		4.5	0.97			
4.0	1.0		4.0	1.4			
3.0	1.9	1.0 - 1.9	3.0	2.3	1.4 - 2.3	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden esta comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desprendimientos y fisuras menores.
2.5	2.6	1.9 - 3.6	2.5	2.9	2.3 - 3.6	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo de finos.
2.0	3.6		2.0	3.6			
1.5	4.9	3.6 - 6.4	1.5	4.6	3.6 - 6.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento, y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconches de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
1.0	6.4		1.0	6.0			
0.0	9.5	> 6.4	0.0	11.2	> 6.0	Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

3.1c Procedimiento de Medición

En el caso de proyecto en concesión San José – Caldera ruta 27, específicamente en **SECCIÓN I:** San José-Ciudad Colón que corresponde al tramo de carretera existente entre el Gimnasio Nacional en San José y el inicio de la construcción del nuevo tramo Ciudad Colón-Orotina, con una longitud de 14,2 km, **SECCIÓN II:** Ciudad Colón-Orotina, contempla



el nuevo tramo de carretera a construir entre esas dos localidades, con una longitud de 38,8 km y la **SECCIÓN III**: Orotina – Caldera, es el tramo de carretera existente entre Intercambio Orotina (paso superior) y el Puerto de Caldera, con una longitud de 23,8 Km, se realizaron mediciones del perfil longitudinal, el cual corresponde a una serie de datos que permiten el posterior cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Con los datos del perfil longitudinal, es posible calcular el valor de IRI en tramos de cualquier longitud, lo que permite analizar la condición funcional del proyecto bajo cualquier nivel de detalle deseado. Se debe considerar la presencia de *singularidades*, debido a que IRI involucra la diferencia entre el perfil longitudinal teórico y el perfil longitudinal existente, con lo cual la presencia de éstos puede afectar la medición del IRI. La metodología de evaluación para determinar la regularidad IRI de los pavimentos LNV 107-2000, empleada por la Dirección de Vialidad en Chile, define a una singularidad como:

“Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino”

De igual manera, esta metodología define un área de influencia asociada a la singularidad, como:

“El largo de una singularidad corresponde a la suma de su longitud más su área de influencia que son 40 m hacia delante en el sentido de la medición”

Se ubicaron las singularidades presentes en este proyecto y se ajustaron las mediciones para evitar análisis erróneos.

Para efectos de este informe se reportaron valores de IRI cada 100m y se calificaron los resultados de acuerdo a los rangos para pavimentos flexibles definidos en la sección 3.1a. *Criterios de clasificación*, pero adicionalmente se solicitaron y analizaron todos los datos del perfil longitudinal.

De forma complementaria, se realizaron mediciones de roderas para evaluar la existencia y severidad del deterioro conocido como “ahuellamiento”, comparándolo con las especificaciones del contrato.

3.2 Capacidad estructural mediante el Deflectómetro de Impacto

3.2a Descripción del Equipo

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 en conjunto 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 deflectómetro de impacto), el cual se muestra en la Figura 4, 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 5)². 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 4: Deflectómetro de Impacto

² El procedimiento de medición se realiza con base en la Norma ASTM D 4695 “Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements”, 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.

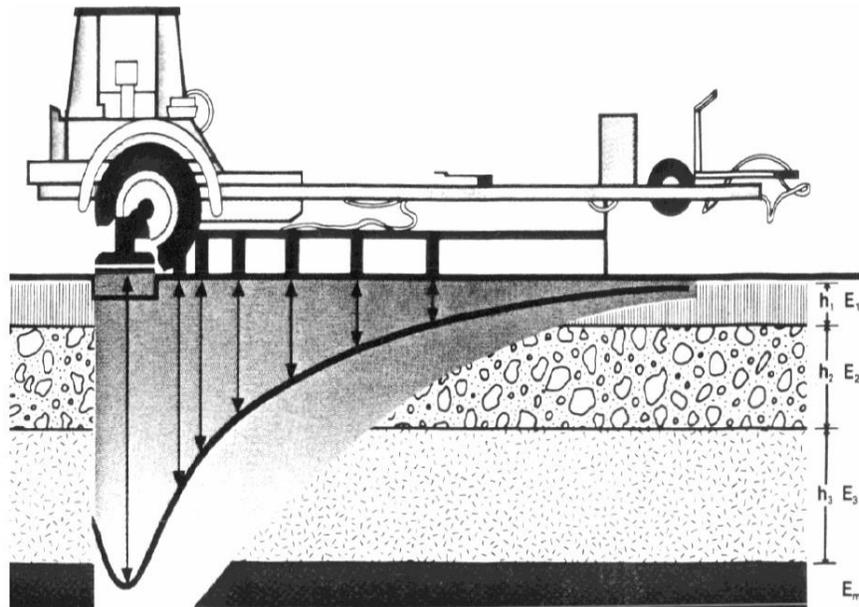


Figura 5: Cuenco de deflexiones producido por el equipo FWD

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; estos elementos fueron considerados al momento de definir los rangos con los que se va a clasificar el pavimento de acuerdo con los valores de deflexiones medidos, de forma que éstas puedan ser usadas directamente para determinar la capacidad estructural del pavimento.

3.2b Criterios de Clasificación

Los resultados obtenidos con el deflectómetro de impacto por lo general están dados en $\text{mm} \times 10^{-2}$. Para concluir si una sección pavimentada presenta una capacidad estructural buena, regular o mala es necesario primero definir los rangos de deflexiones aplicables. Sin embargo, en esta definición es necesario contar con el detalle de los paquetes estructurales construidos en las distintas secciones del pavimento, es decir: espesores, tipos de material, módulos de los mismos, datos de tránsito, longitud del tramo, etc.

Debido principalmente a la fatiga, la capacidad estructural del pavimento disminuye con el tiempo y el paso del tránsito. En el caso de los pavimentos flexibles, la capacidad estructural efectiva puede determinarse mediante tres metodologías distintas:

- Capacidad estructural con base en ensayos a los materiales y evaluación visual.
- Capacidad estructural con base en ensayos no destructivos de deflexión.
- Capacidad estructural con base en daño por fatiga debido al tráfico.

En la definición de los rangos el LanammeUCR utilizó el método de "Vida Remanente", el cual sigue el concepto de daño por fatiga. Con esta metodología, las cargas repetidas dañan

gradualmente el pavimento y reducen el número de cargas adicionales que puede soportar y que lo llevan a la falla. Uno de los supuestos es que la reducción en la capacidad estructural del pavimento no se evidencia con daños observables pero si con una reducción en términos de la cantidad de cargas futuras que pueden soportarse.

Para determinar la “Vida Remanente”, se debe determinar la cantidad de tráfico que el pavimento ha soportado hasta ese momento, así como la cantidad total de tráfico que se espera pueda soportar hasta la “falla”. Para ser consistentes con la ecuación de diseño de la metodología de la AASHTO 1993, se considera la falla cuando el índice de serviciabilidad, PSI, es igual a 1,5. El tránsito debe expresarse en término de Ejes Equivalentes de Diseño de 9000 kg o 18000 libras. La diferencia entre estos valores, expresado como un porcentaje del tráfico total para la “falla”, se define como “Vida Remanente” y se denota por la ecuación 8:

$$RL = 100 \cdot \left[1 - \left(\frac{N_p}{N_{1.5}} \right) \right] \quad \text{Ecuación (8)}$$

donde:

- RL: Vida Remanente, %
- N_p : cantidad de Ejes Equivalentes de Diseño en un momento determinado, ESAL`s 18000 libras
- $N_{1.5}$: cantidad de Ejes Equivalentes de Diseño para la falla del pavimento (PSI = 1.5), ESAL`s 18000 libras

Una vez determinada la “Vida Remanente”, el diseñador puede obtener el Factor de Condición, CF, a partir de la Figura 6. El Factor de Condición, CF, se define como:

$$CF = \frac{SC_n}{SC_0} \quad \text{Ecuación (9)}$$

donde:

- SC_n : capacidad estructural del pavimento después de N_p ESAL`s
- SC_0 : capacidad estructural original del pavimento

Factor de Condición, CF

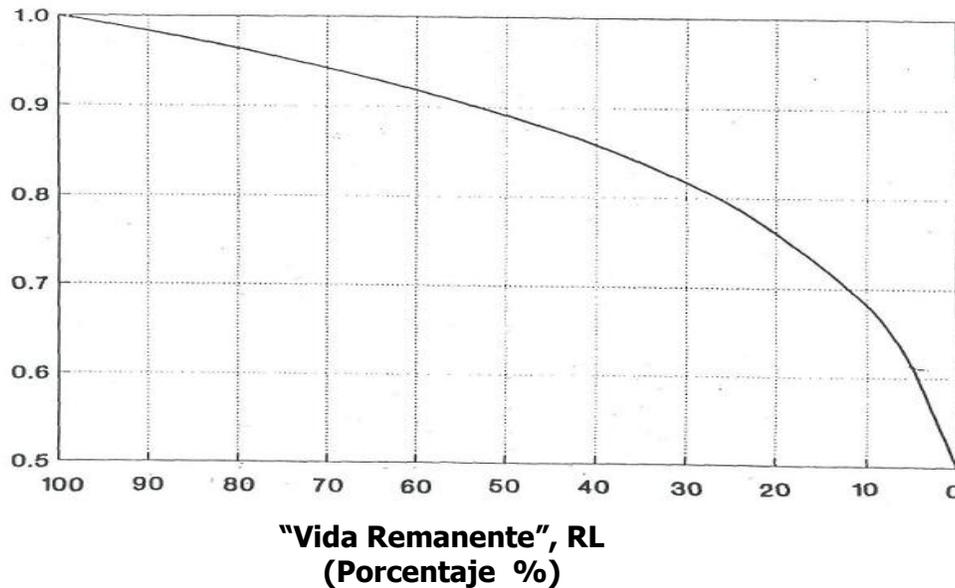


Figura 6: Relación entre Factor de Condición y “Vida Remanente”.

La capacidad estructural existente puede ser estimada multiplicando la capacidad estructural original del pavimento por el Factor de Condición, CF:

$$SN_{eff} = CF * SN_0 \quad \text{Ecuación (10)}$$

La aproximación de la vida remanente para determinar el SN_{eff} tiene algunas limitaciones asociadas con el método, siendo las principales:

- La capacidad de predicción de las ecuaciones de diseño obtenidas de la pista de ensayo de la AASHTO.
- Las grandes variaciones en el desempeño típico observado en pavimentos con diseños aparentemente idénticos.
- Estimación de los Ejes Equivalentes de Diseño de 18000 lbs que han pasado en un determinado momento.

Para la evaluación de este proyecto, el criterio utilizado fue el de evaluar las variaciones en el número estructural al 54% y al 12% de Vida Remanente.

Numerosos estudios demuestran que el comportamiento de la curva del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) para la mayoría de los pavimentos, tiene un comportamiento donde la variación del índice es muy baja en los primeros años y desciende de forma acelerada al final del período de diseño. Por lo tanto, las deflexiones esperadas antes de un 54% de Vida Remanente serán representativas de un pavimento en buen estado estructural y aquellas obtenidas para un pavimento con un 12% de Vida Remanente corresponderían a un pavimento con un mal estado estructural.

Una vez obtenidos los nuevos valores de los SN al 54% y 12% de vida remanente es posible, mediante un proceso de retrocálculo, establecer los valores de deflexión asociados con esta pérdida de capacidad estructural, y se definirán así “familias de rangos”, tantos como paquetes estructurales se hayan construido, aplicables a cada tramo y que permitirán calificar los valores de las deflexiones obtenidas en los ensayos de deflectometría en el proyecto.

En este proyecto se construyeron cuatro paquetes estructurales distintos, tal y como se muestra en la Figura 7.

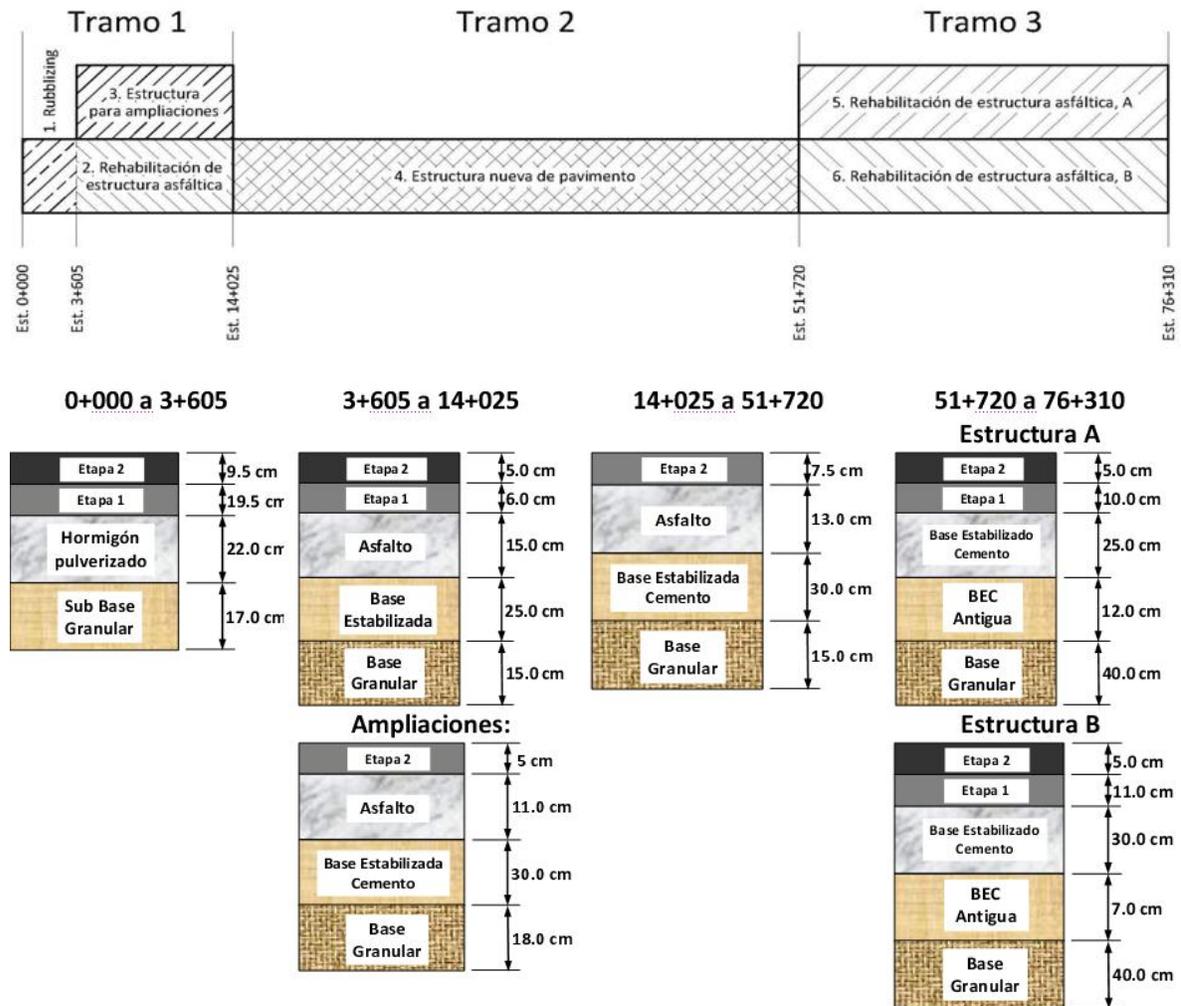


Figura 7: Paquetes estructurales construidos en el proyecto San José – Caldera.

En este caso, las ampliaciones no fueron evaluadas y las estructuras A y B del último tramo son estructuralmente equivalentes bajo el método de diseño AASHTO-93.

Analizando los paquetes estructurales del proyecto se calcularon los rangos de deflexiones para cada tramo, mostrado en la Figura 8.

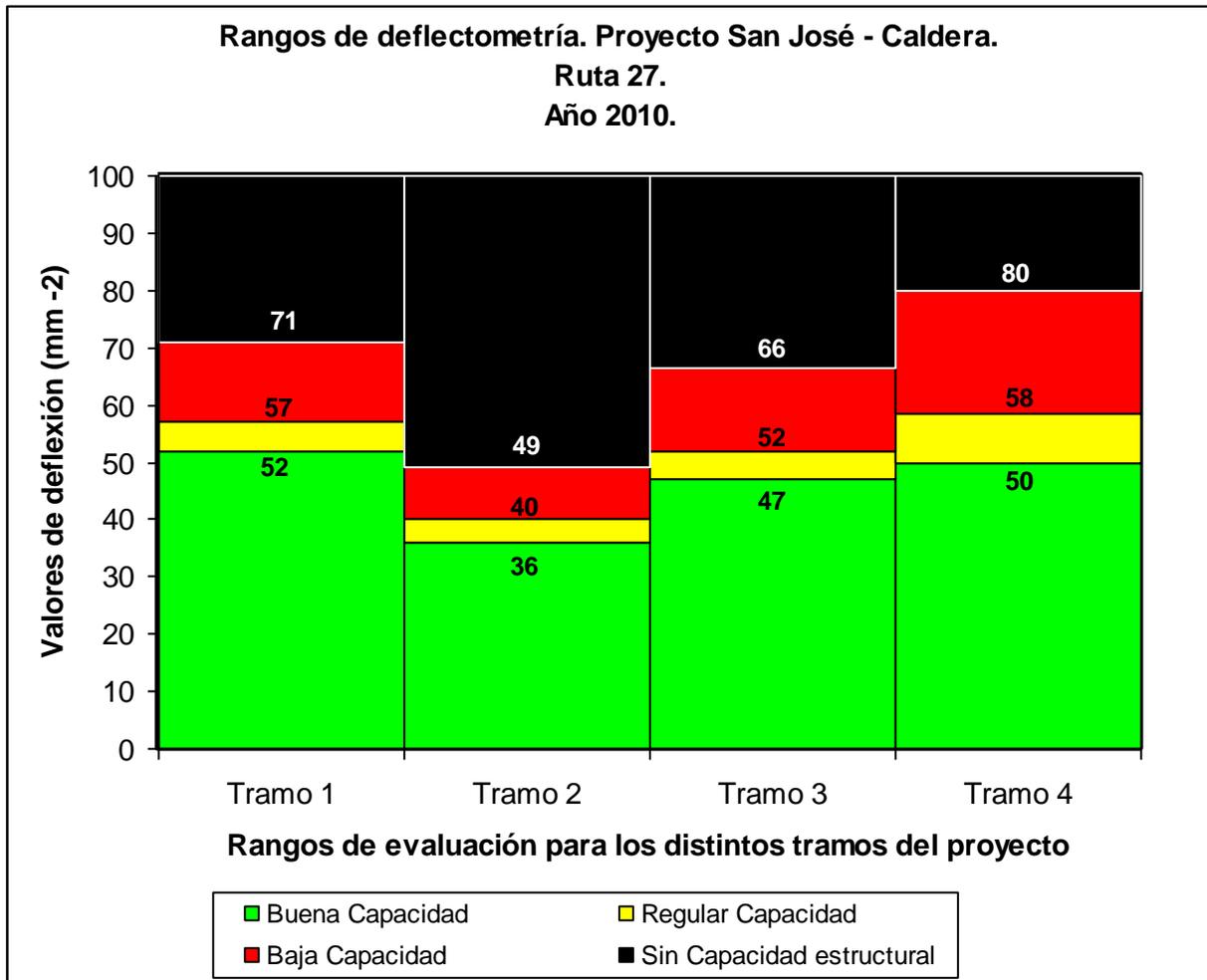


Figura 8: Rangos de deflexiones aplicados en la evaluación para calificar la capacidad estructural del proyecto.

3.2c Procedimiento de Medición

Las distancias entre mediciones fueron las recomendadas por la norma ASTM D 4695-03. En la misma se hace la diferencia entre tres niveles de evaluación: en el primer nivel o “nivel de red” las distancias pueden variar entre 100m a 500m, en el segundo nivel o “nivel de proyecto” las distancias oscilan entre 50m a 200m, y un último nivel denominado “Detallado a nivel de proyecto” con distancias que varían entre 10m a 100m.

Para el caso específico de este proyecto, se realizarán mediciones cada 200 m en el carril de diseño (carril derecho) y en el carril externo cada 500m como valor de referencia, ya que se asume que no existen variaciones transversales significativas del paquete estructural construido. En el caso de existir variaciones en los paquetes estructurales de carriles adyacentes, se procederán a evaluar por separado cada carril, manteniendo la distancia de 200 entre cada punto de deflectometría, y asociando los datos obtenidos con los rangos de calificación correspondientes.

3.3 Seguridad Vial mediante el Medidor de Agarre Superficial

3.3a Descripción del Equipo

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 estos niveles para reducir la cantidad de accidentes y riesgos 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 circulan por dicha ruta. A menor macro textura, menor la capacidad de drenaje de la carretera, que ante ciertas condiciones 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 agregado calizo, es poco apta para utilizarla en mezclas usadas en superficies de ruedo. La Figura 9 ilustra lo expuesto anteriormente.

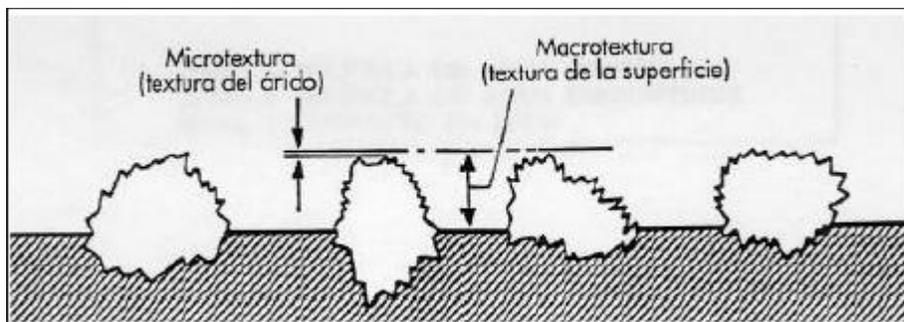


Figura 9: Diferencias entre micro y macro textura del agregado en una superficie de ruedo.

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 agarre, 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 ruedo. 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 10).



Figura 10: Griptester utilizado.

3.3b Criterios de Clasificación

El LanammeUCR definió 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 2. 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 3.

Tabla 2: 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, 50m o menos de distancia a intersecciones con rutas secundarias	0,54
E	Vías de carril sencillo, <50m de distancia a intersecciones con rutas secundarias	0,60
F	Cualquier ruta, <50m 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, <50m 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 que se realizan a 20 km/h

Tabla 3: 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 o pulido
0,50 – 0,60	Regular	Deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y/o 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.

3.3c Procedimiento de Medición

Se debe considerar que este equipo 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. En el procedimiento de medición el equipo genera una película de agua de 5mm y realiza mediciones cada 5m, de esta forma se generará un “perfil” de resistencia al deslizamiento

bajo condiciones críticas, y se calificará la condición de resistencia al deslizamiento de acuerdo a lo especificado en la sección 3.3b *Criterios de clasificación*.

3.4 Análisis de deterioros mediante el equipo de imágenes de alta resolución

3.4a Descripción del Equipo

Para poder evaluar de forma integral cualquier proyecto de carreteras es necesario, además de la valoración de las capacidades funcionales y estructurales, realizar un análisis de los deterioros superficiales, con el fin de definir un diagnóstico de aspectos que no pueden ser medidos por los equipos anteriormente descritos.

Para tales efectos el LanammeUCR cuenta con un equipo de cámaras digitales de alta resolución que toma imágenes referenciadas espacialmente en un sistema de coordenadas nacional, por lo que cada imagen obtenida es localizada espacialmente en la ruta. Este equipo realiza un levantamiento digital de imágenes a 360° que permiten analizar la mayoría de los detalles relevantes de la infraestructura vial, tales como deterioros superficiales, elementos de seguridad vial, elemento geométricos, etc. Las Figuras 11 y 12 muestran tanto el equipo como el tipo de análisis que se puede realizar, respectivamente.

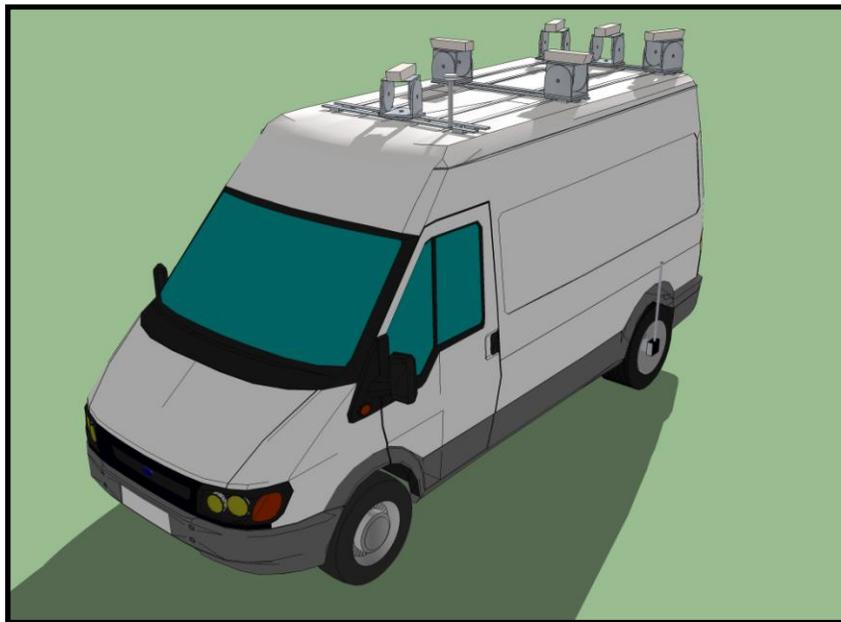


Figura 11: Equipo de registro de imágenes digitales georeferenciadas para la evaluación del proyecto.

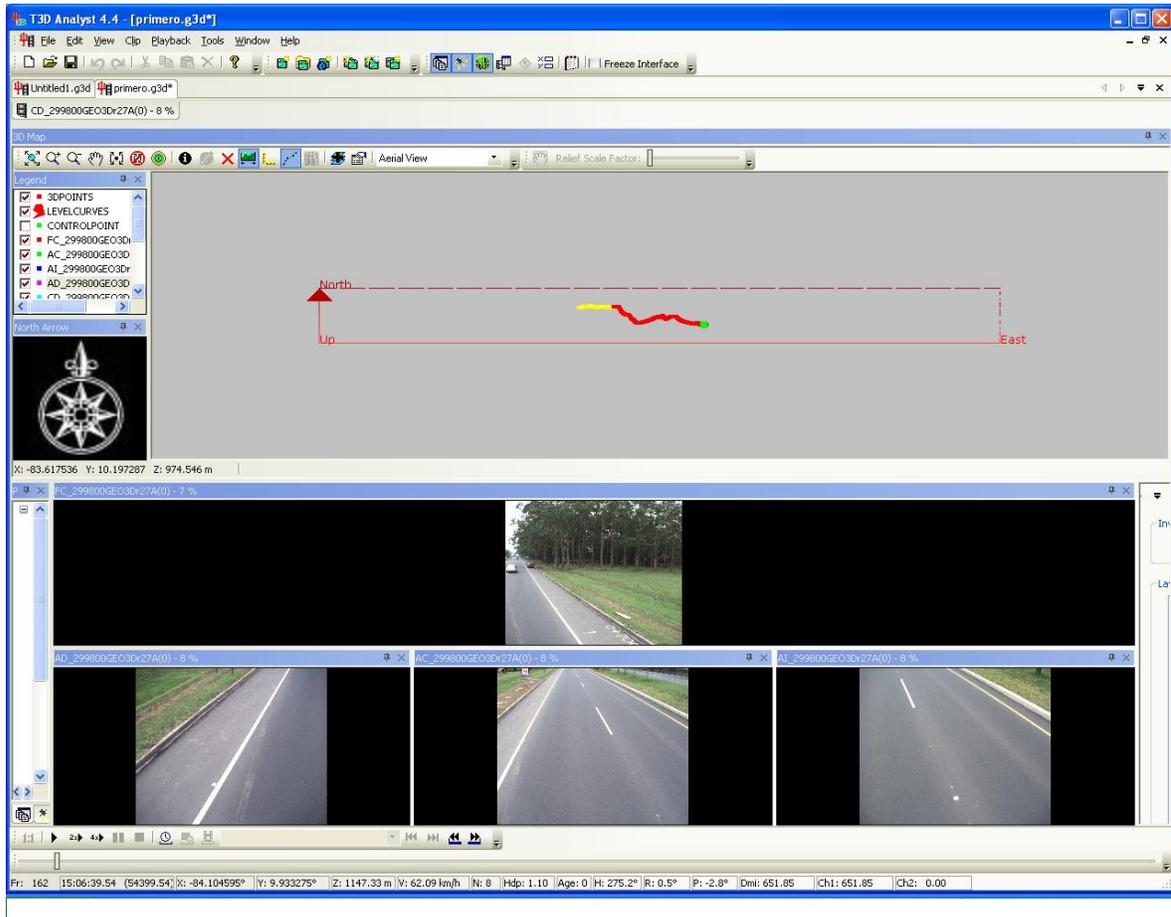


Figura 12: Análisis de imágenes por medio de sistema de fotografías georeferenciadas.

3.4b Criterios de Clasificación

Para este tipo de evaluación, la calificación del estado superficial de la vía responde a un procedimiento de identificación de los deterioros por comparación con un Catálogos de Deterioros. En este caso, el catálogo de referencia utilizado proviene de la Norma ASTM D-6433 “Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”, por medio de la cual se puede calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI).

Adicionalmente, se verificó el cumplimiento de los siguientes criterios, provenientes del *CONTRATO DE CONCESIÓN DE OBRA PÚBLICA CON SERVICIO PÚBLICO, “PROYECTO CARRETERA SAN JOSÉ - CALDERA”*:

1. Presencia de ahuellamiento.
2. Presencia de agrietamiento.
3. Presencia de “piel de cocodrilo”
4. Presencia de grietas transversales y longitudinales.
5. Desprendimiento de agregados.
6. Presencia de baches abiertos o huecos.



7. Presencia de corrugaciones, hinchamientos, hundimientos.
8. Presencia de exudación.
9. Presencia de baches abiertos en el espaldón, o diferencias de nivel entre el espaldón y la calzada.

3.4c Procedimiento de Medición

El equipo utilizado cuenta con un proceso previo de calibración que garantiza precisión y exactitud en la ubicación de los puntos y en las mediciones obtenidas, de manera que para evaluaciones a nivel de red así como de proyecto se revelan condiciones reales al momento de recopilada la información.

Las imágenes de las seis cámaras colocadas en el vehículo son de alta resolución, permitiendo detectar cualquier tipo de deterioro sobre la superficie del pavimento. Estas imágenes abarcan el frente y los lados del vehículo, y tres restantes sobre la superficie del pavimento en la parte posterior (Figura 10), para un total de 6 cámaras que proporcionan una base de datos de información visual detallada. Las imágenes son tomadas a razón de seis en un ángulo de 360° cada cuatro metros, y el software de análisis de imágenes, mediante métodos de paralaje, permite realizar mediciones de longitudes y áreas con una alta precisión, dejando una ubicación exacta del lugar donde se detecten deterioros del pavimento o cualquier otro aspecto de la infraestructura que se desee analizar.

4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN, CAMPAÑA 2011

4.1 Capacidad estructural, deflexiones obtenidas mediante el FWD

4.1a Criterios de Clasificación

La evaluación del proyecto con el deflectómetro de impacto abarcó la totalidad de su longitud, es decir 153 km³ de carretera pavimentada en ambos sentidos, con mediciones cada 200 metros. En aquellos tramos con un carril por sentido fueron evaluados ambos carriles y en aquellos tramos con dos carriles por sentido se evaluó el carril derecho, considerado el carril de diseño por ser el que resiste las mayores concentraciones de carga vehicular y considerando homogeneidad en la condición estructural en el sentido transversal de las secciones evaluadas

Como parte de las investigaciones realizadas en el 2008 en el LanammeUCR, se desarrolló una metodología para calcular los distintos rangos de deflectometría superficial, con base en la estructura de pavimento que presenta cada tramo de carretera⁴. Estos rangos, que aparecen en la Tabla 4, tienen por objeto calificar la condición estructural del proyecto

³ Dentro de este total no se incluyen los tramos fuera del troncal principal del proyecto

⁴ 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 el proyecto. Los rangos de FWD fueron calculados específicamente para este proyecto tomando en consideración las distintas estructuras del pavimento.

tomando en consideración el diseño estructural realizado por el Concesionario, por lo que fueron utilizados en la presente evaluación para clasificar los resultados.

Tabla 4: Rangos de deflexión, utilizados para clasificar resultados de deflectometría

Tramo	San José - Escazú (0+000 – 3+605)	Escazú – Ciudad Colón (3+605 – 14+025)	Ciudad Colón - Orotina (14+025 – 51+720)	Orotina - Caldera (51+720 – 76+310)
Categorías deflexión	Rangos (en mm⁻²)			
Bajas	menor a 52	menor a 36	menor a 47	menor a 50
Moderadas	52 – 57	36 – 40	47 – 52	50 – 58
Altas	57 – 71	40 – 49	52 – 66	58 – 80
Muy Altas	mayor a 71	mayor a 49	mayor a 66	mayor a 80

Los rangos presentados no aplican para rutas en concreto hidráulico, dado el tipo de diseño, construcción y comportamiento que conllevan estas superficies de rueda.

4.1b Resultados obtenidos, sentido San José – Caldera, mes de setiembre del 2011

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos en el parámetro de deflexiones superficiales, para la campaña de evaluación 2011; la Figura 13 muestra en forma gráfica este resultado. En total, se procesaron en total 386 mediciones con dicho equipo en este sentido.

Tabla 5: Deflexiones FWD obtenidas para el proyecto San José - Caldera, campaña 2011

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas	71,8	93,0
Moderadas	2,2	2,9
Altas	1,8	2,3
Muy Altas	1,4	1,8
Total	77,2	kilómetros

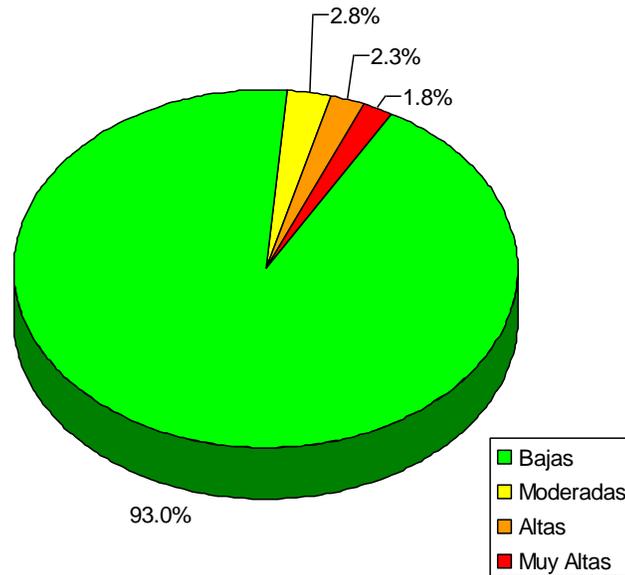


Figura 13: Estado general de la capacidad estructural sentido San José – Caldera según los valores de deflexión FWD obtenidos, campaña 2011

4.1c Resultados obtenidos, sentido Caldera – San José, mes de setiembre del 2011

La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos en el parámetro de deflexiones superficiales en el sentido Caldera – San José; la Figura 14 muestra en forma gráfica este resultado. En total, se procesaron 382 mediciones con dicho equipo en este sentido.

Tabla 6 Deflexiones FWD obtenidas para el proyecto Caldera – San José, campaña 2011

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas	68,4	89,5
Moderadas	3,8	5,0
Altas	2,2	2,9
Muy Altas	2,0	2,6
Total	76,4	kilómetros

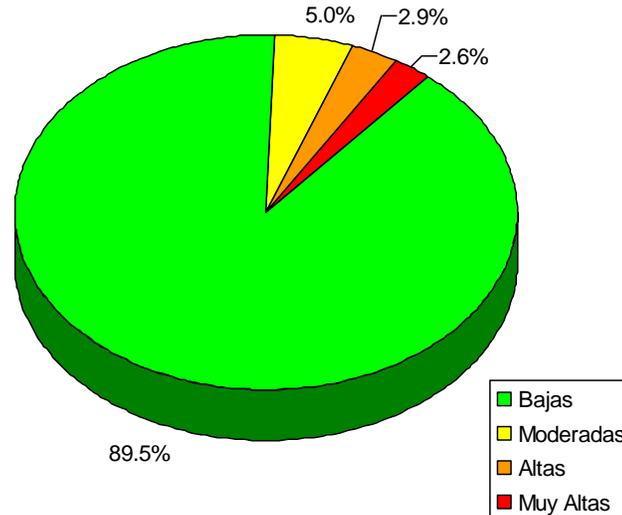


Figura 14: Estado general de la capacidad estructural sentido Caldera – San José, según los valores de deflexión FWD obtenidos, campaña 2011

4.1d *Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría FWD. Mes de setiembre del 2011*

Los resultados de la deflectometría de impacto revelan un pavimento con una muy buena capacidad estructural en la mayor parte del ramal principal del proyecto. Esta valoración estructural representa el estado estructural del pavimento hasta el momento de la medición, es decir hasta el mes de setiembre del 2011. Estas mediciones pueden variar posteriormente en magnitudes significativas con los cambios de temperatura durante épocas muy cálidas, así como con las variaciones en los niveles de humedad de las capas de base, subbase y subrasante. Las mediciones que se realicen durante el año 2012 y años subsiguientes revelarán los efectos de estas variaciones en la pérdida o mantenimiento de la capacidad estructural de este proyecto en el sentido San José – Caldera.

En el caso de hundimientos en la vía, producto de debilidades de los rellenos sobre los cuales fueron construidos los pavimentos evaluados, no es posible detectarlos con el FWD. Estas fallas del pavimento se manifiestan por medio de asentamientos de secciones completas, y su valoración queda sujeta a estudios de tipo geotécnico que serán objeto de análisis en diversos informes a remitir en el año 2012.

En las Tablas 7 y 8 se muestran los estacionamientos donde se ubicaron puntos con deflectometrías moderadas, altas y muy altas.

Tabla 7: Ubicación de estacionamientos con deflexiones altas y muy altas, sentido San José – Caldera

Deflexiones		
Moderadas	Altas	Muy Altas
3+215	7+190	4+000
15+360	20+345	15+165
15+760	21+150	18+145
18+345	22+360	20+750
18+540	29+945	21+350
19+750	31+140	28+160
21+960	33+135	34+540
25+760	60+510	
27+760	67+700	
64+100		

Tabla 8: Ubicación de estacionamientos con deflexiones altas y muy altas, sentido Caldera – San José

Deflexiones		
Moderadas	Altas	Muy Altas
4+410	5+210	4+210
8+970	11+210	14+850
10+810	12+210	15+800
11+400	15+200	20+200
15+000	17+590	21+200
15+400	26+190	21+850
21+390	28+560	26+390
21+990	30+560	27+760
26+790	35+360	27+960
36+155	55+740	35+955
52+140	68+520	
55+540		
56+750		
60+550		
62+340		
63+930		
67+330		
67+530		
70+920		

4.1e Mapas con los resultados de mediciones de la deflectometría de impacto

Las Figuras 15 a 20 presentadas a continuación, muestran los resultados de la evaluación con el deflectómetro de impacto, en el sentido San José – Caldera. Las Figuras 21 a 26 muestran los resultados obtenidos, pero en el sentido Caldera – San José.

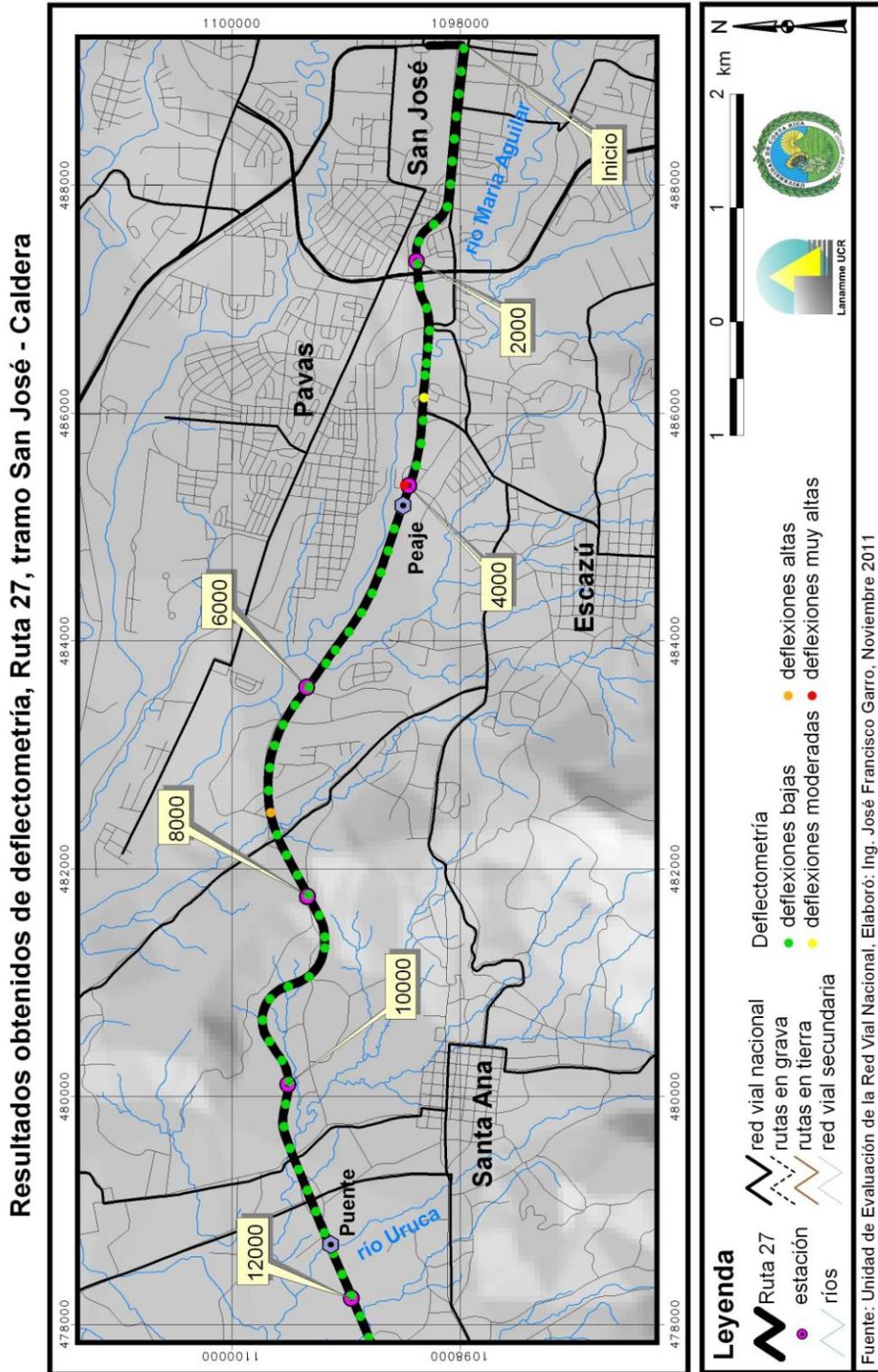


Figura 15: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

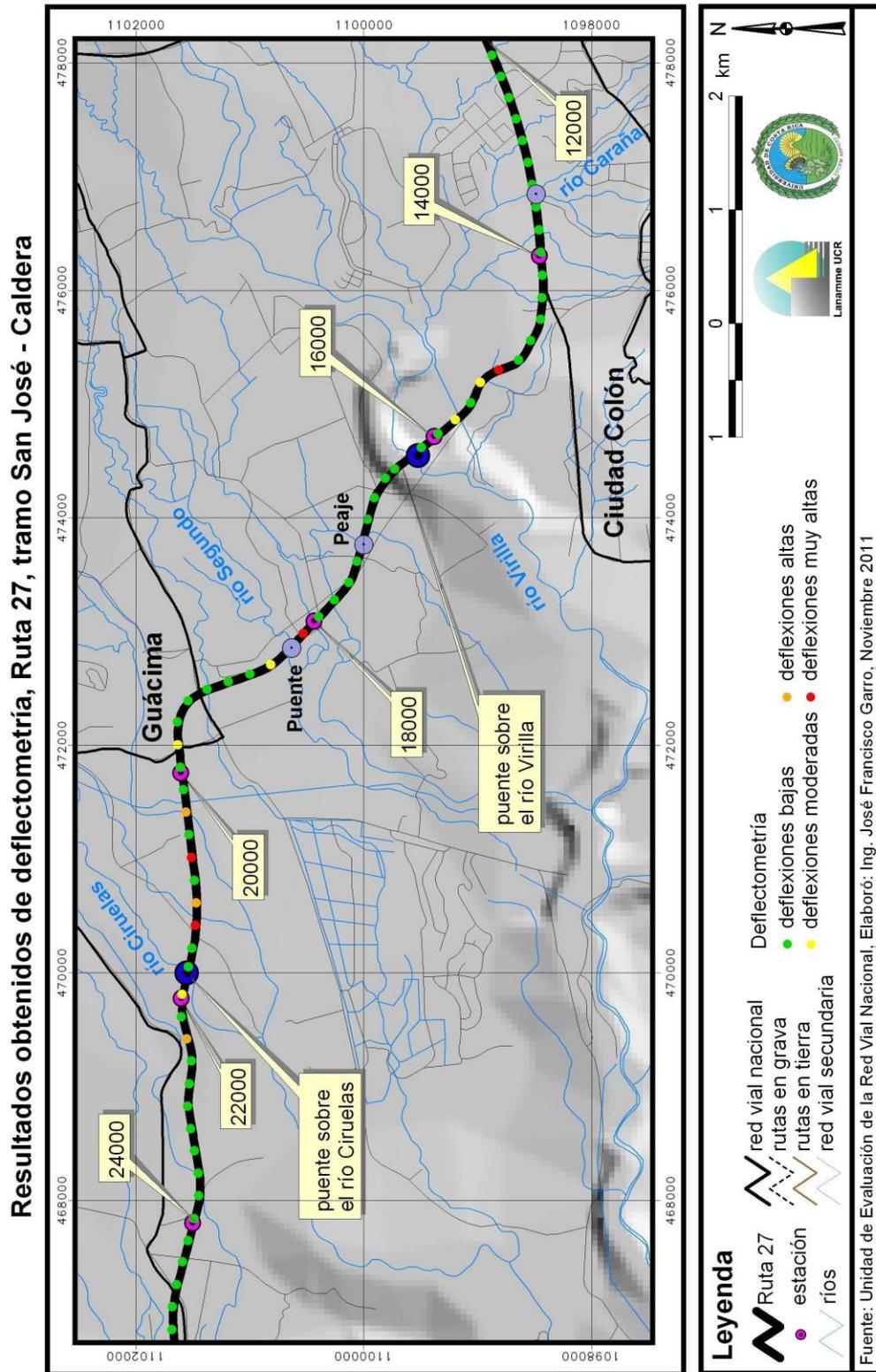


Figura 16: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

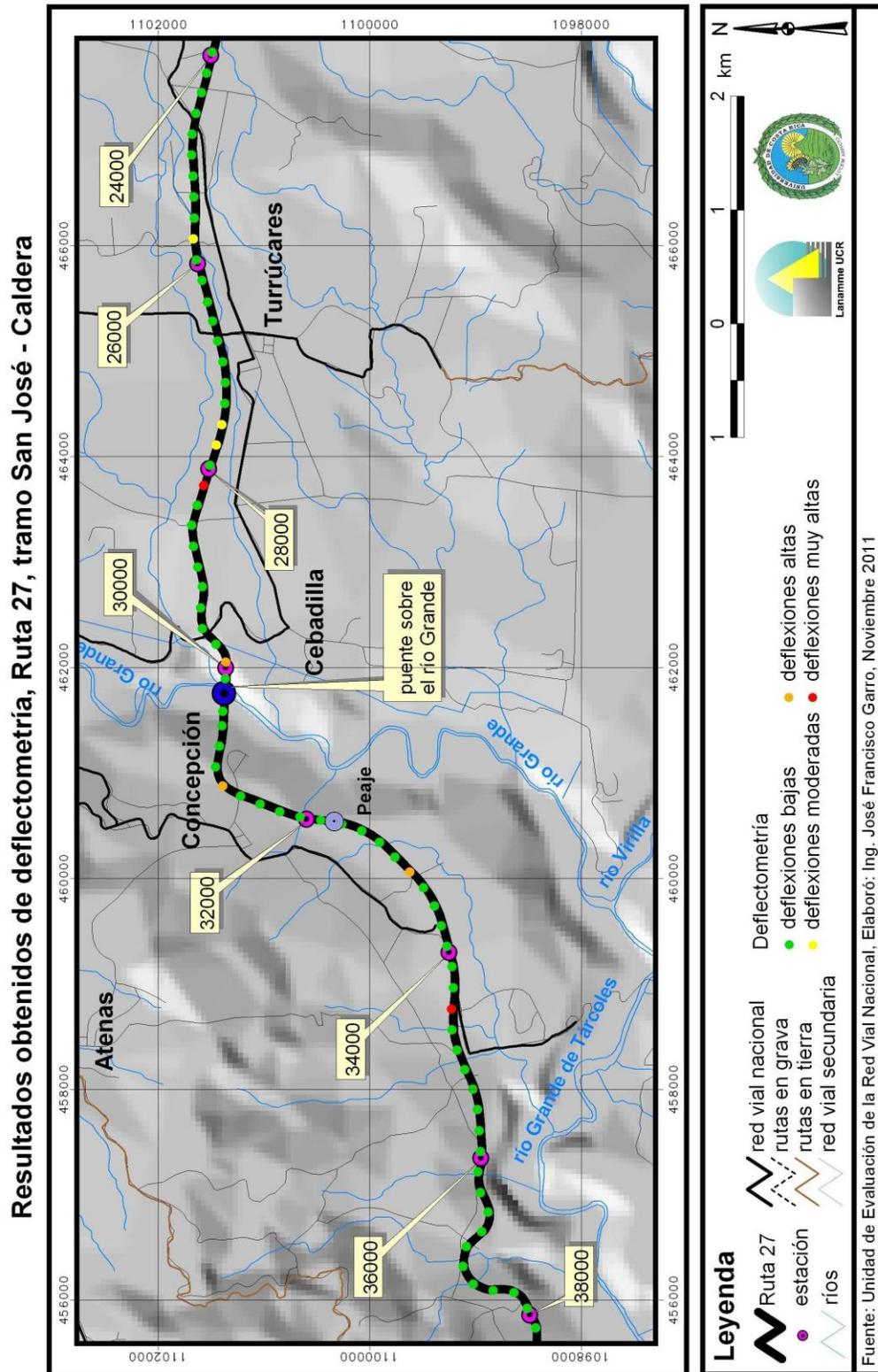


Figura 17: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

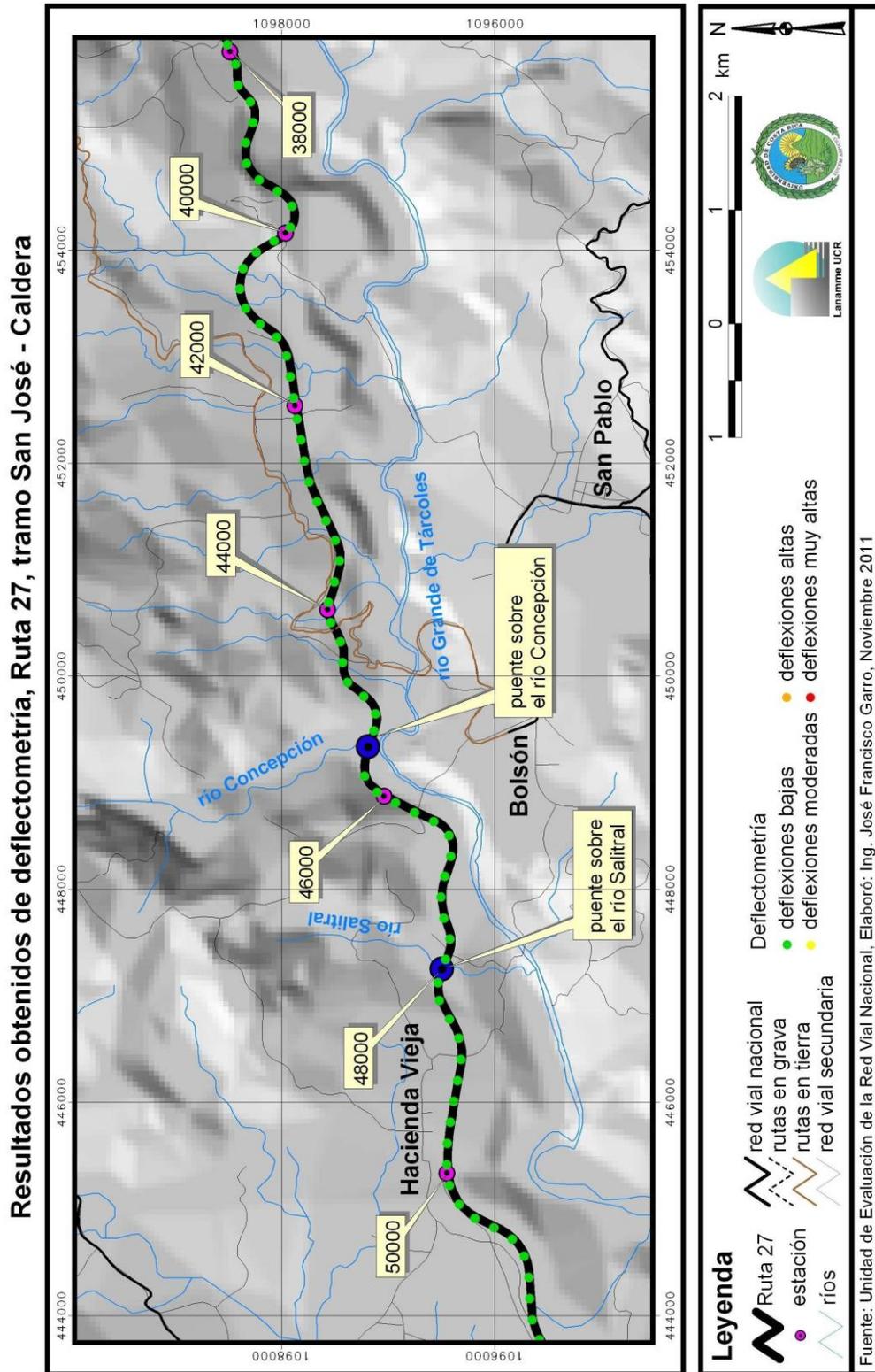


Figura 18: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

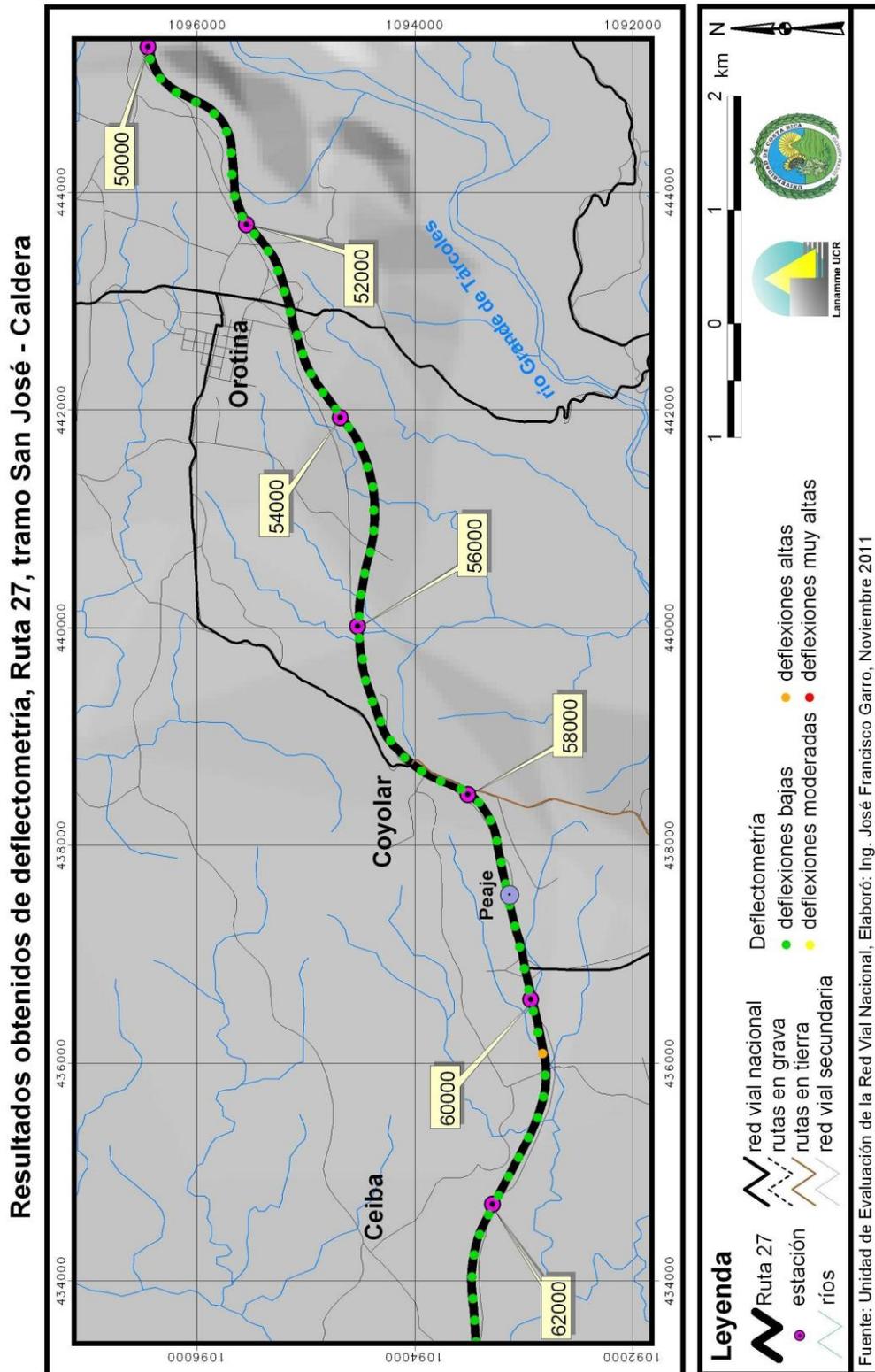


Figura 19: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

Resultados obtenidos de deflectometría, Ruta 27, tramo San José - Caldera

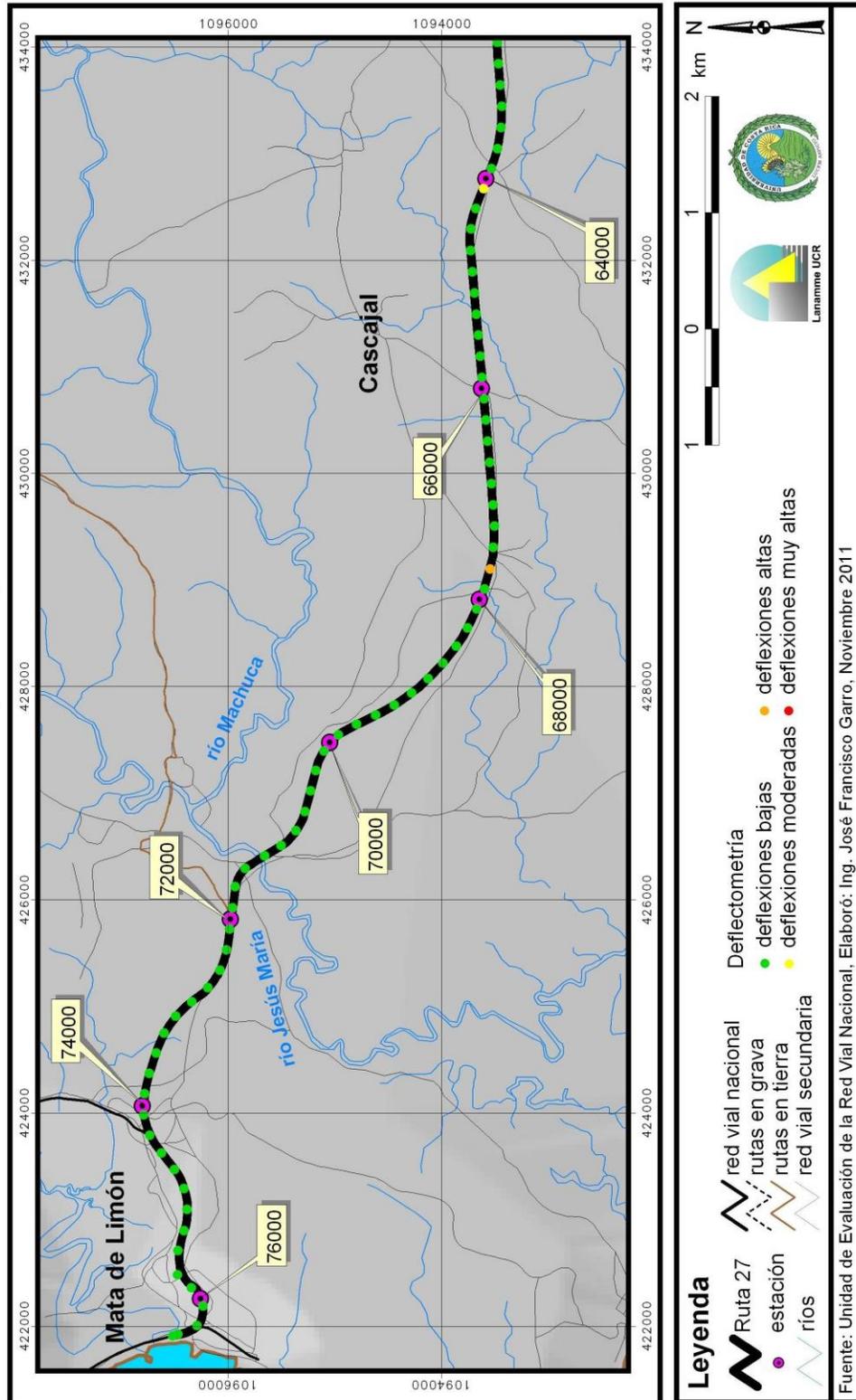


Figura 20: Deflexiones obtenidas, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

Resultados obtenidos de deflectometría, Ruta 27, tramo Caldera - San José

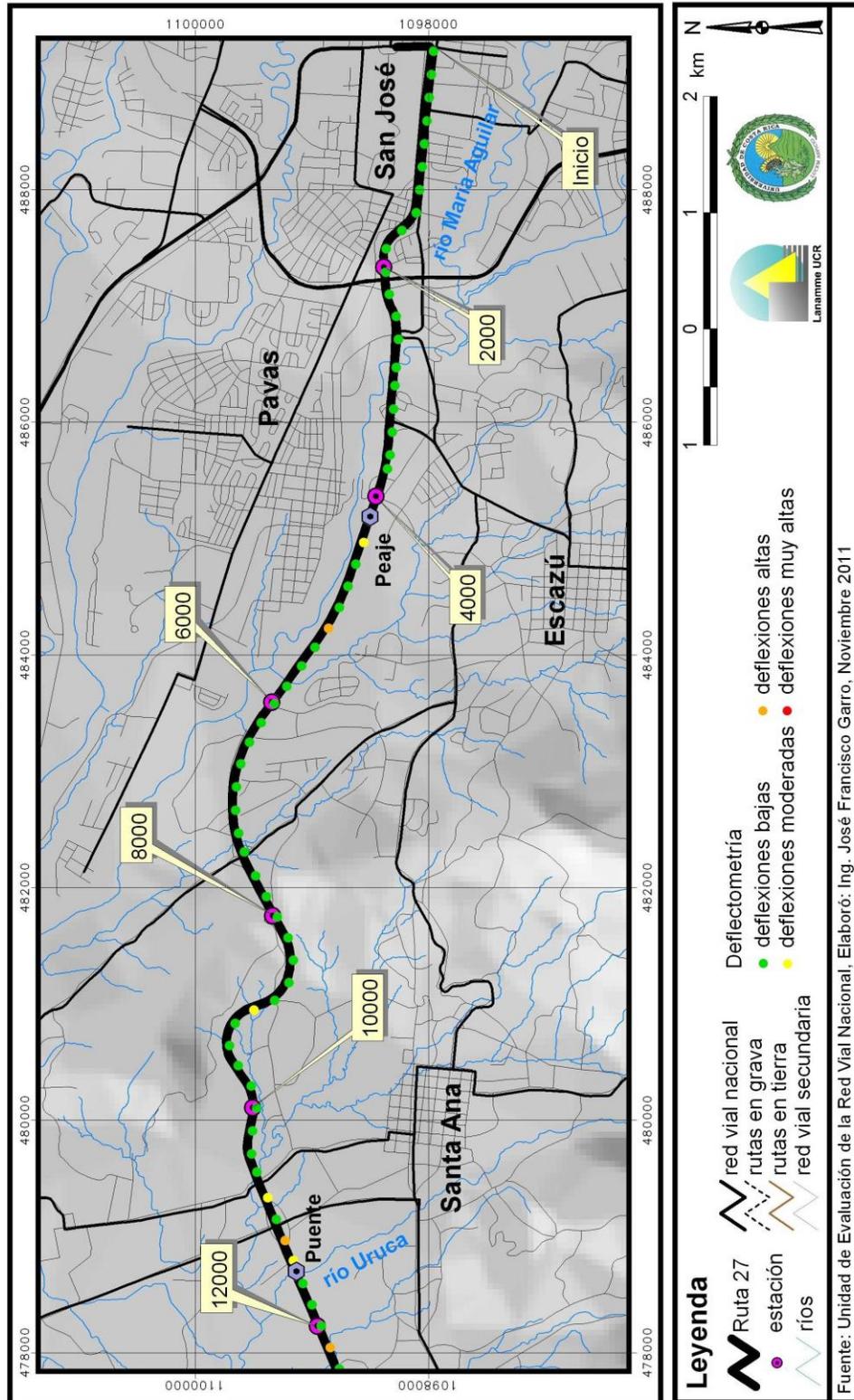


Figura 21: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

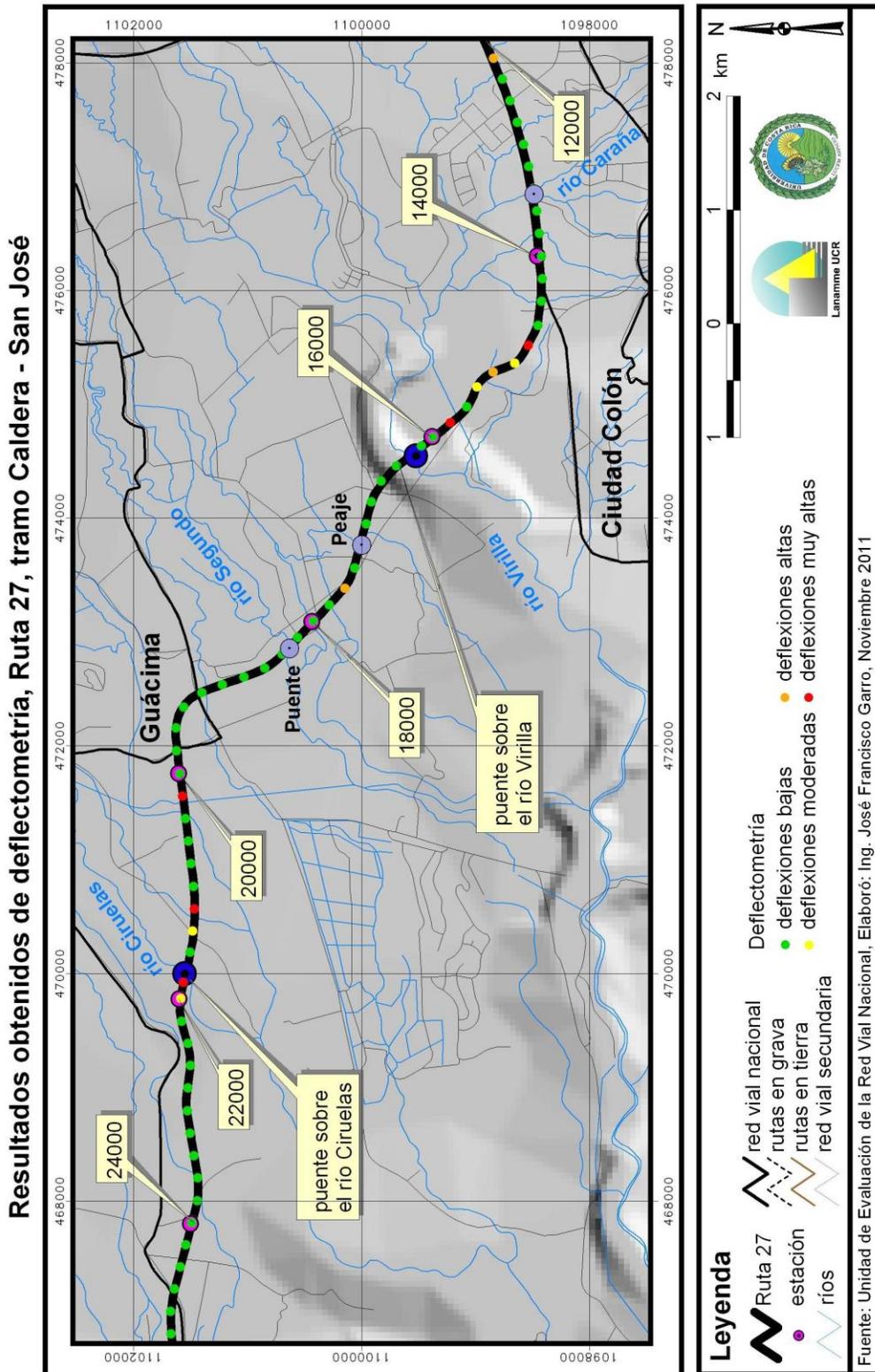


Figura 22: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

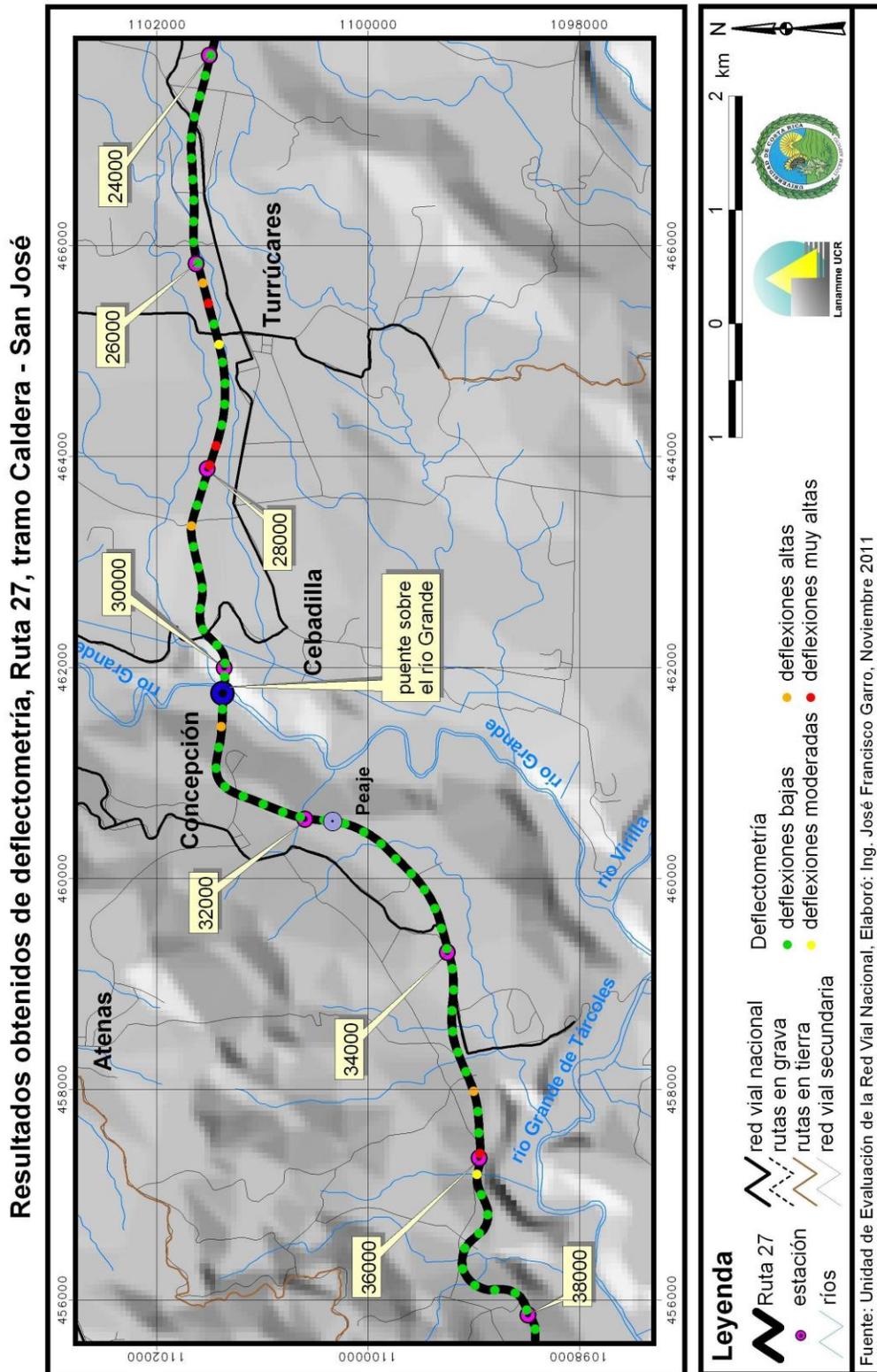


Figura 23: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

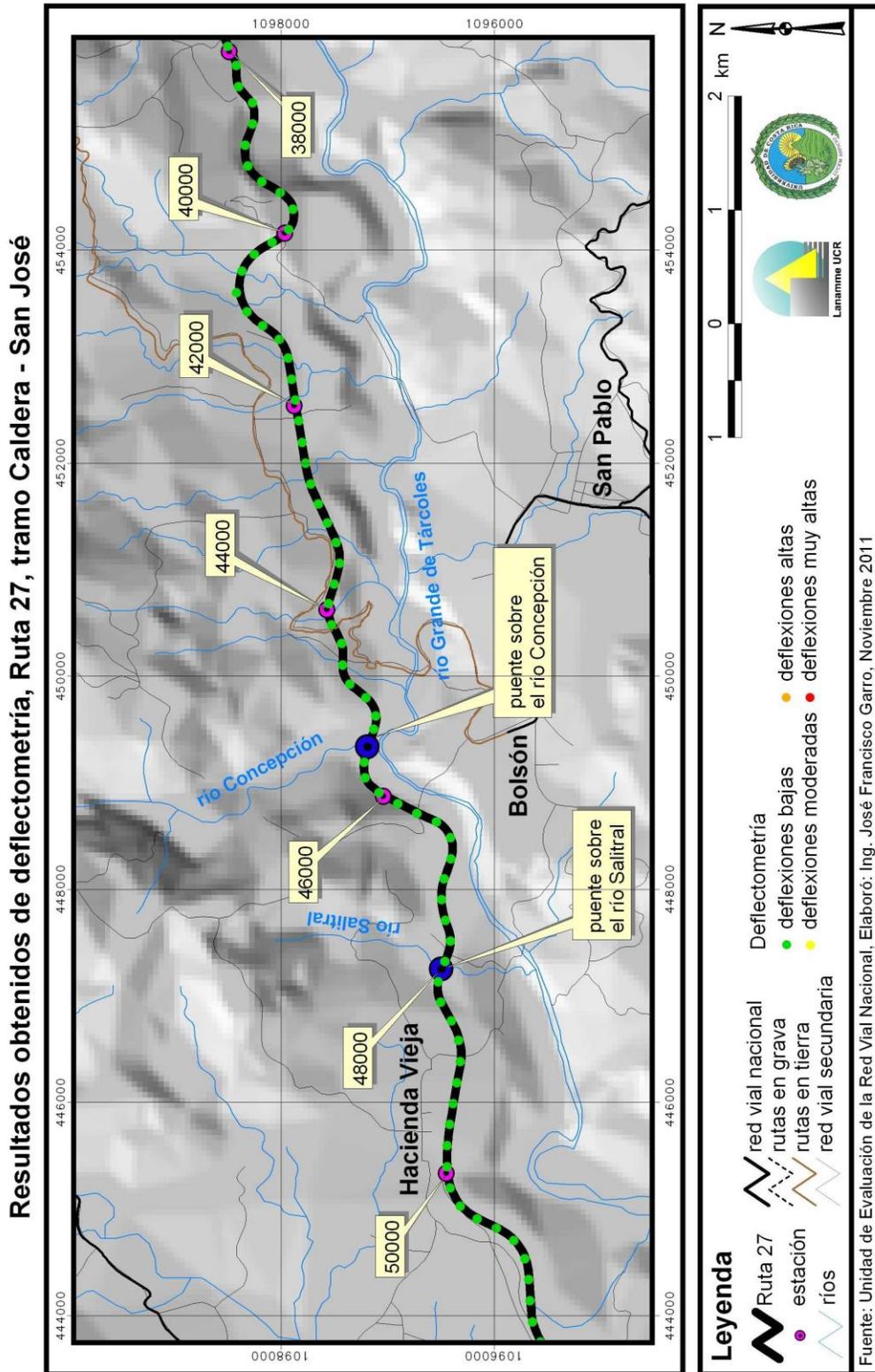


Figura 24: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

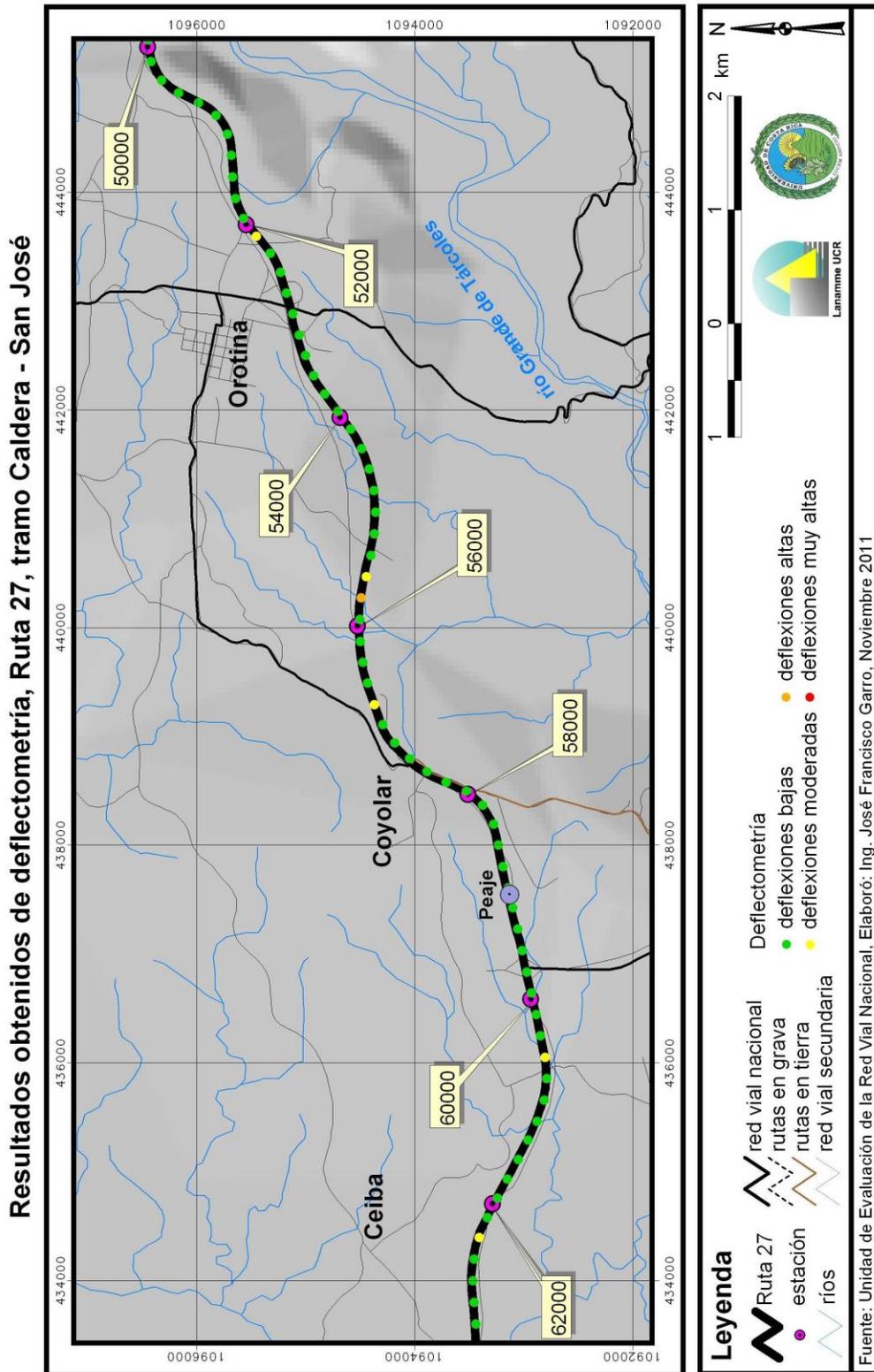


Figura 25: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

Resultados obtenidos de deflectometría, Ruta 27, tramo Caldera - San José

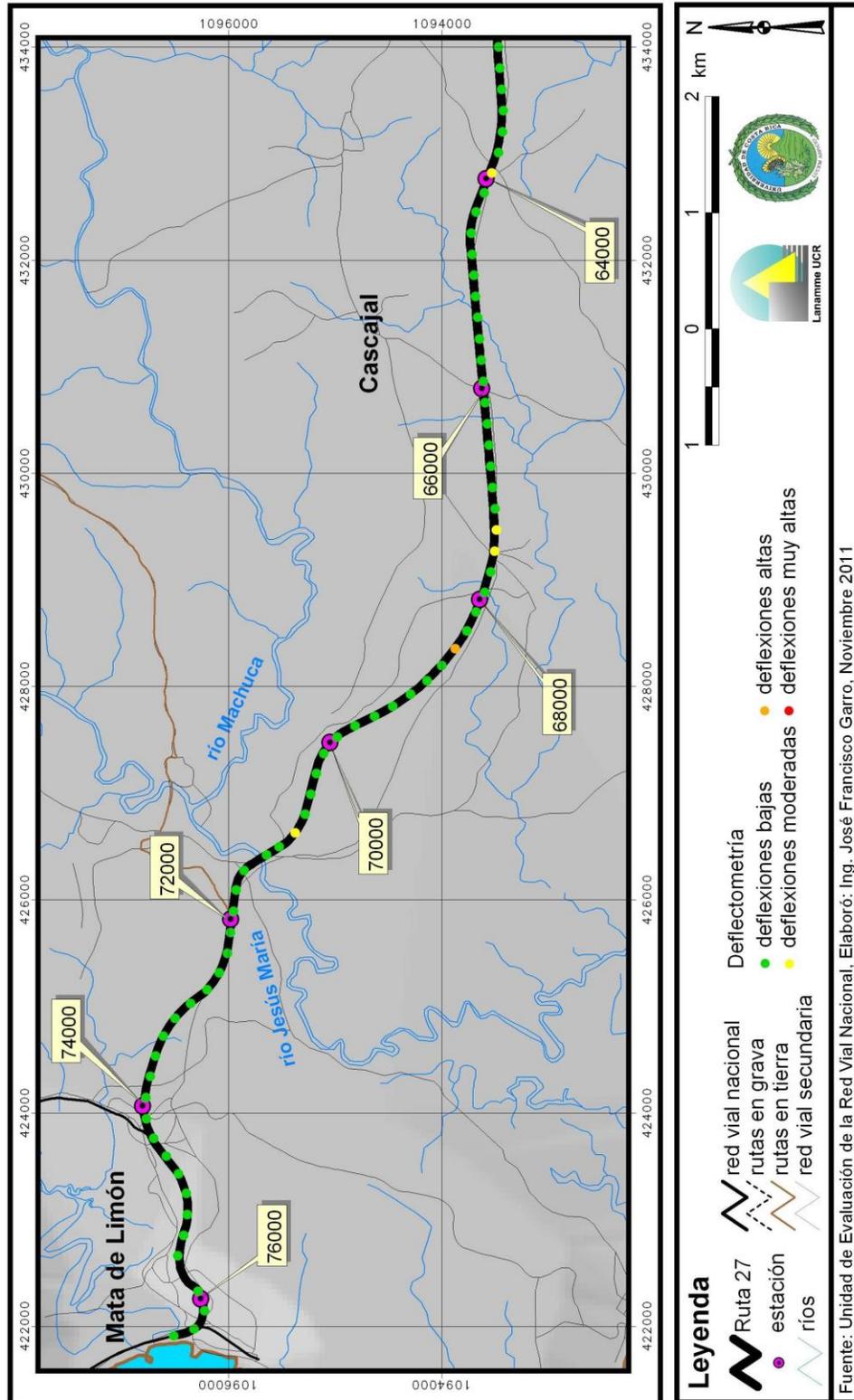


Figura 26: Deflexiones obtenidas, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

4.2 Capacidad funcional, condición del proyecto según regularidad superficial (IRI)

4.2a Criterios de clasificación

La evaluación del proyecto con el Perfilómetro Láser abarcó la totalidad de la longitud de la ruta. Debido a la importancia del IRI para calificar la calidad de un proyecto vial, se midió el perfil longitudinal en los dos sentidos de la ruta. Cuando la misma presenta 2 o más carriles por sentido, se mide el carril derecho o carril de diseño, que es donde debe circular el tránsito pesado y por lo tanto, el que sufre el mayor deterioro.

Es importante recordar que el IRI se correlaciona, entre otros factores, con los costos de operación vehicular, la movilidad de los usuarios y el confort.

Los rangos de regularidad superficial de pavimentos utilizados para clasificación de estado, se muestran en la Tabla 9:

Tabla 9: Rangos de clasificación de regularidad superficial (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 del perfil longitudinal 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 10 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial con perfilómetro láser del proyecto en el mes de setiembre del 2011; las Figuras 27 y 28 muestran en forma gráfica la evaluación de dicha condición, para cada sentido.

Tabla 10: Resultados obtenidos en regularidad superficial, ruta 27

Rango IRI (^m /km)	Sentido			
	San José – Caldera		Caldera – San José	
menor a 1,0	5,1 km	6,9%	3,2 km	4,3%
entre 1,0 y 1,9	60,5 km	81,2%	61,5 km	82,9%
entre 1,9 y 3,6	7,9 km	10,6%	8,6 km	11,6%
entre 3,6 y 6,4	1,0 km	1,3%	0,9 km	1,2%
mayor a 6,4	0,0 km	0,0%	0,0 km	0,0%
Total	74,5	km	74,2	km

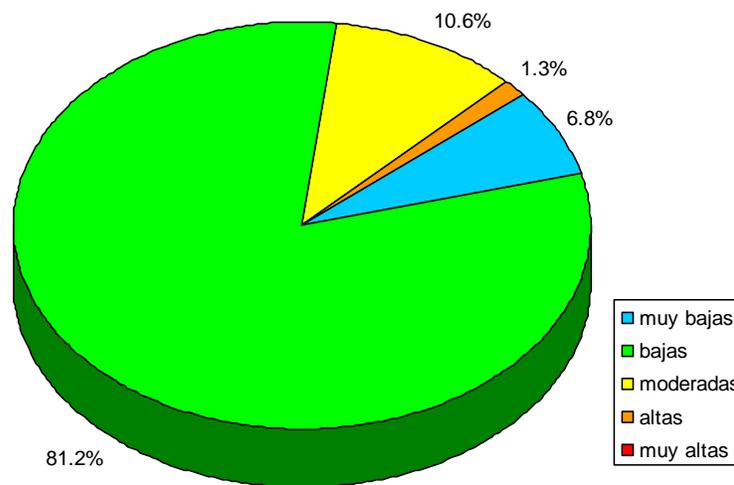


Figura 27: Resultados obtenidos en IRI, sentido San José – Caldera

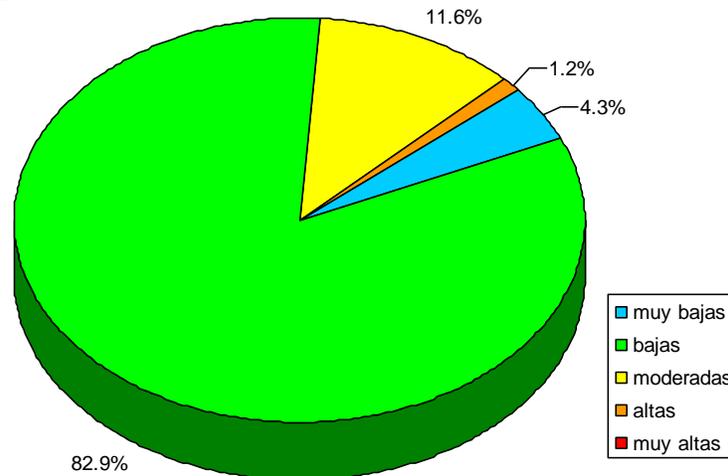


Figura 28: Resultados obtenidos en IRI, sentido Caldera – San José

En la Tabla 11 se identifican los estacionamientos que presentan regularidades moderadas, altas y muy altas.

Tabla 11: Ubicación de estacionamientos con problemas de regularidad superficial (IRI)

Sentido San José – Caldera	
Regularidades superficiales moderadas	4+120 – 4+210, 45+520 – 45+710, 46+620 – 46+710
Regularidades superficiales altas	1+520 – 1+610, 1+820 – 2+010, 2+120 – 2+210, 2+420 – 2+510, 3+020 – 3+210, 3+320 – 3+410, 3+520 – 3+910, 4+210 – 4+310, 8+820 – 8+910, 9+420 – 9+510, 11+120 – 11+210, 13+920 – 14+010, 16+120 – 16+310, 17+020 – 17+110, 19+620 – 19+810, 21+720 – 21+810, 23+020 – 23+310, 24+920 – 25+010, 25+620 – 25+710, 28+220 – 28+310, 30+220 – 30+410, 31+120 – 31+210, 32+020 – 32+110, 32+720 – 32+810, 36+420 – 36+610, 38+820 – 38+910, 41+320 – 41+410, 43+120 – 43+210, 43+520 – 43+610, 44+420 – 44+810, 46+420 – 46+510, 46+920 – 47+110, 48+220 – 48+310, 53+120 – 53+210, 54+120 – 54+210, 59+320 – 59+610, 63+220 – 63+310, 64+120 – 64+210, 64+620 – 65+010, 65+120 – 65+310, 67+220 – 67+510, 67+810 – 67+910, 68+010 – 68+210, 68+310 – 68+410, 68+910 – 69+310, 69+810 – 69+910, 70+210 – 70+310, 71+310 – 71+410, 71+610 – 71+810, 71+910 – 72+010, 72+710 – 72+810, 73+020 – 73+110, 73+920 – 74+010, 75+910 – 76+010, 76+310 – 76+330
Sentido Caldera – San José	
Regularidades superficiales moderadas	16+210 – 16+310, 30+220 – 30+420, 45+510 – 45+820, 48+320 – 48+420, 59+320 – 59+420
Regularidades superficiales altas	1+920 – 2+020, 3+210 – 3+310, 3+810 – 3+910, 4+110 – 4+210, 5+510 – 5+610, 5+910 – 6+010, 11+120 – 11+220, 14+020 – 14+120, 16+010 – 16+110, 16+920 – 17+120, 19+620 – 19+820, 22+220 – 22+320, 23+020 – 23+220, 25+020 – 25+120, 25+720 – 25+920, 32+030 – 32+130, 34+120 – 34+220, 35+820 – 35+920, 36+010 – 36+110, 36+420 – 36+620, 37+120 – 37+320, 38+810 – 38+910, 39+720 – 39+820, 41+420 – 41+520, 44+420 – 44+820, 46+920 – 47+210, 47+420 – 47+520, 52+420 – 52+520, 54+120 – 54+220, 54+320 – 54+420, 55+620 – 55+710, 56+220 – 56+520, 58+320 – 58+420, 59+120 – 59+320, 59+520 – 59+620, 59+920 – 60+020, 61+210 – 61+310, 61+910 – 62+010, 63+320 – 63+520, 64+020 – 64+110, 64+720 – 65+420, 66+420 – 66+520, 67+320 – 67+420, 67+720 – 67+810, 68+110 – 68+410, 68+910 – 69+310, 70+710 – 71+210, 71+510 – 71+610, 71+910 – 72+110, 73+810 – 73+910, 74+420 – 74+520, 75+510 – 75+720

* En este análisis, los puntos considerados como singularidades, tales como puentes y puntos de peaje, no fueron tomados en cuenta.

4.2c Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad funcional con el Perfilómetro Láser (IRI), mes de setiembre del 2011.

Los resultados de la valoración funcional del proyecto muestran que aproximadamente 82% de la longitud total de la ruta presenta un estado de regularidad bueno, y sólo un 5% presenta el estado de muy bueno. Por su parte, 10% de la ruta se califica con regularidades moderadas, donde la calidad de manejo es perceptiblemente inferior a la que se espera para una ruta con pavimentos nuevos, y la cual puede mostrar signos de deterioro, tales como



ahuellamiento y fisuración. Lo anterior puede repercutir a su vez en problemas para el tránsito a altas velocidades, donde dichas imperfecciones son notadas con mayor facilidad; así como aumentar los costos de operación de la flota vehicular y disminuir la durabilidad del proyecto al aumentar las cargas dinámicas que lo afectan.

Como es de esperarse, el carril de venida (sentido Caldera – San José), presenta valores mayores de IRI que el carril de ida; esto por la mayor cantidad de tránsito pesado con carga, que proviene del Pacífico.

4.2d Mapas con los resultados de mediciones del perfil longitudinal (IRI)

Las Figuras 29 a 34 presentan los resultados en forma gráfica, los resultados de IRI para la ruta 27 en el sentido San José – Caldera; mientras que las Figuras 35 a 40 muestran los resultados obtenidos para el sentido Caldera – San José.

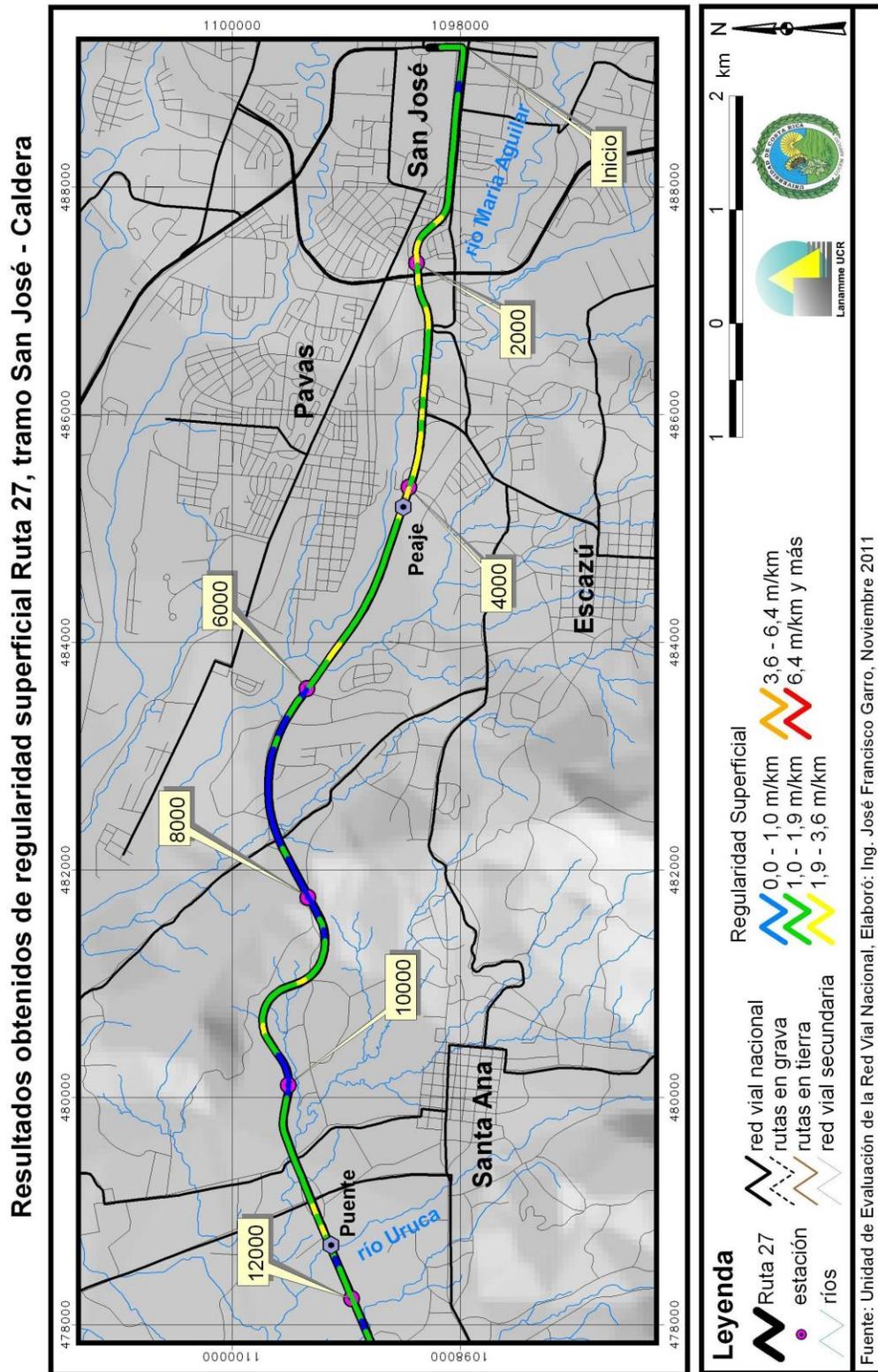


Figura 29: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

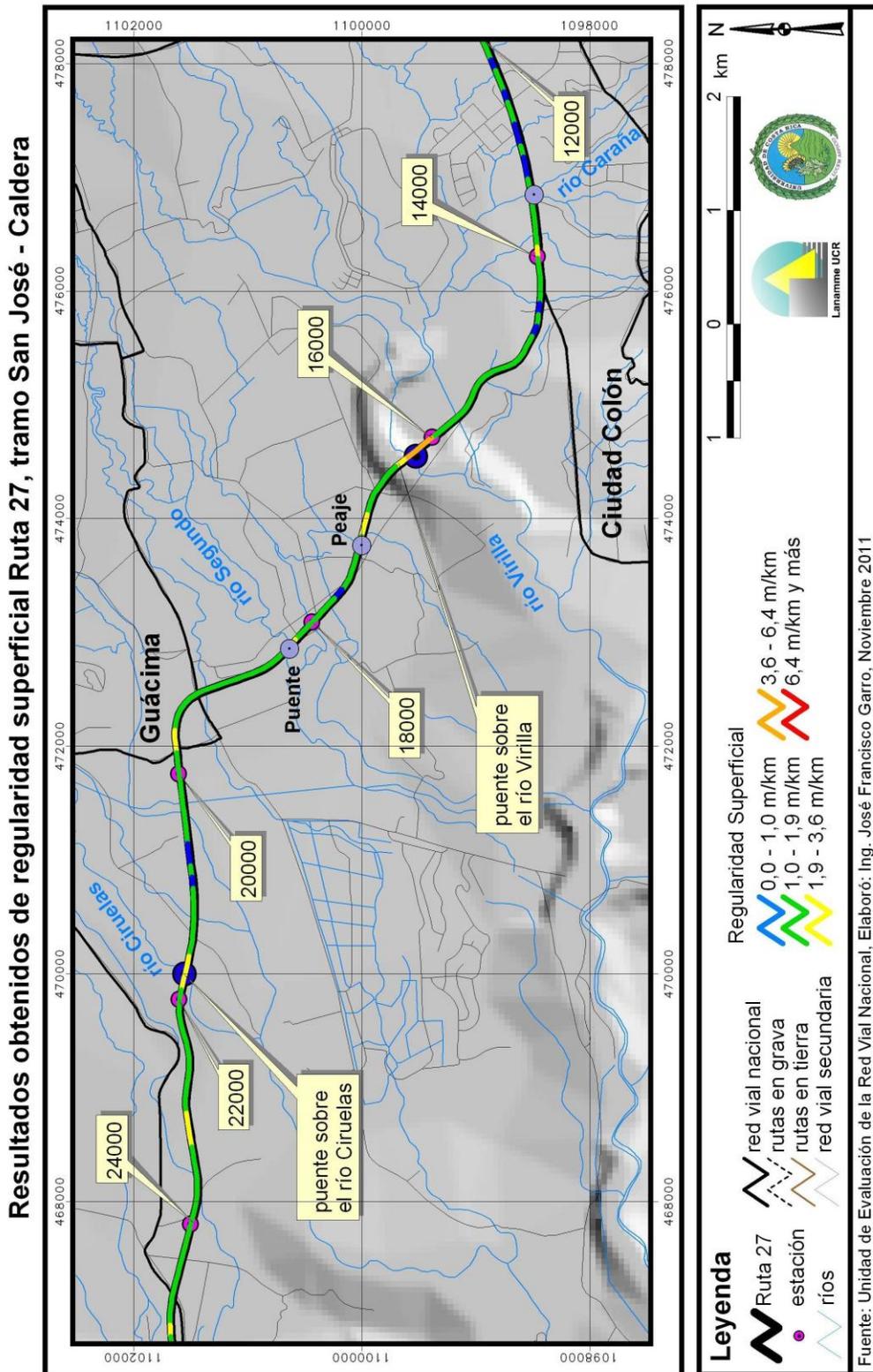


Figura 30: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

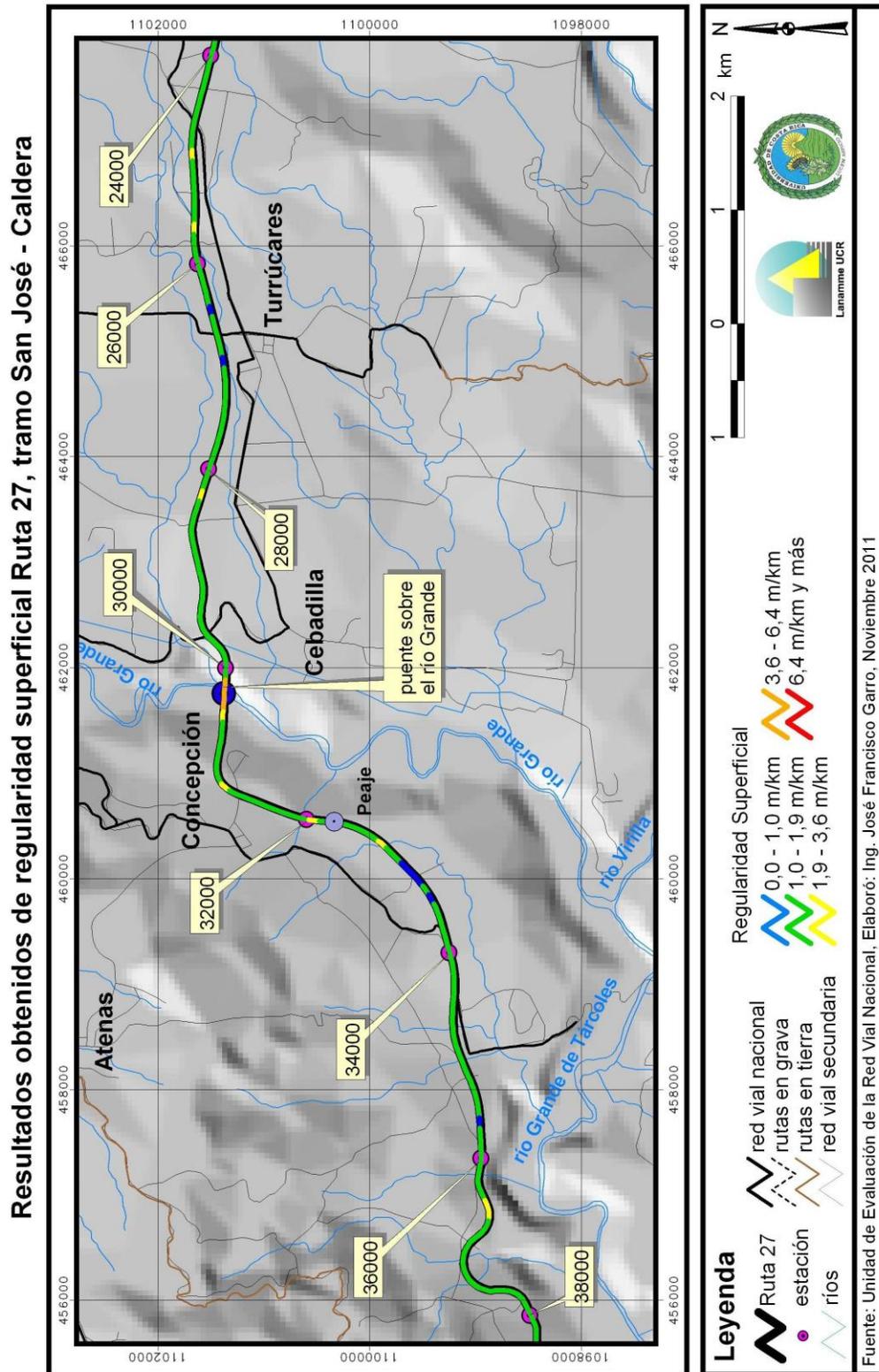


Figura 31: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

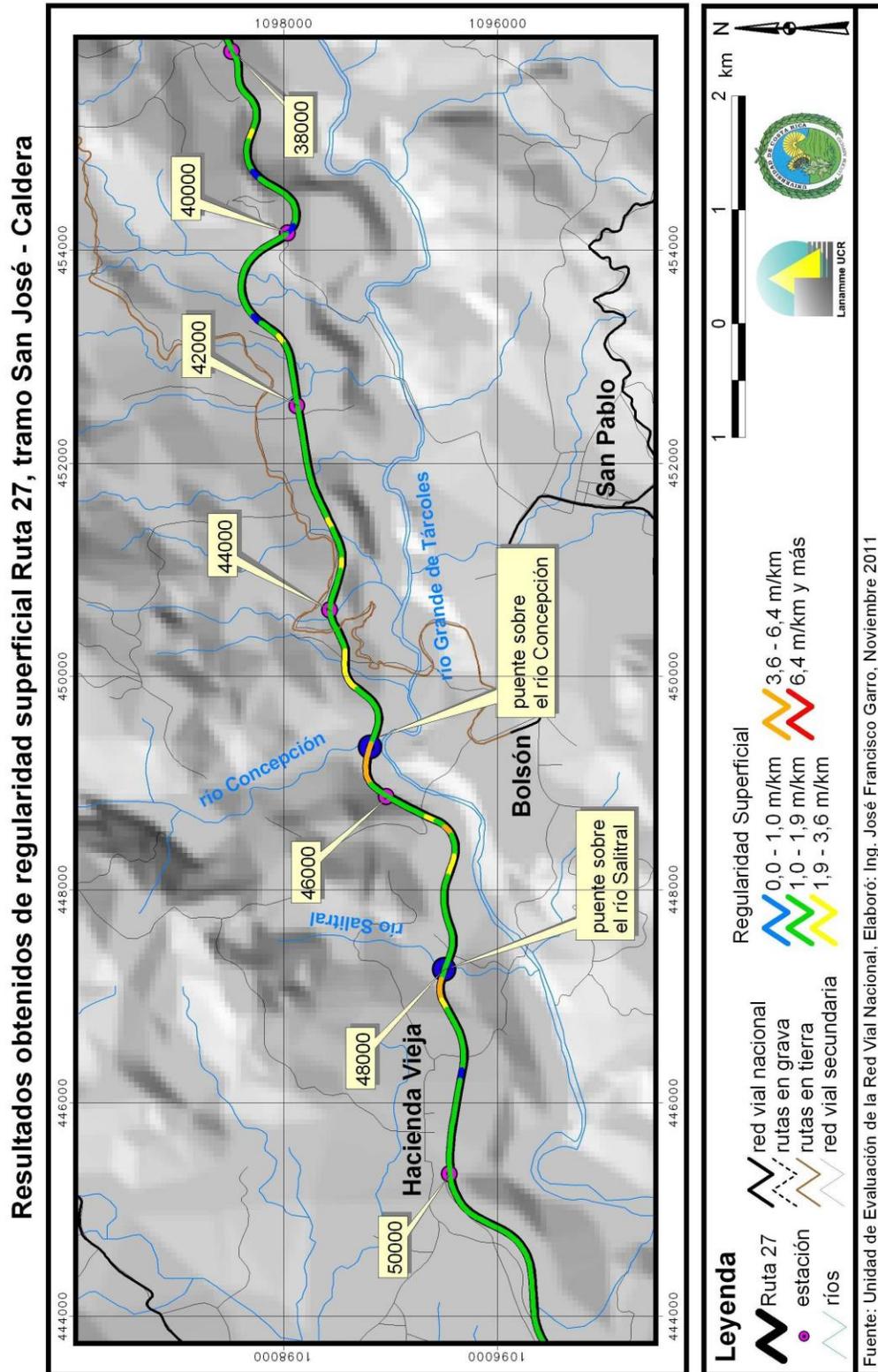


Figura 32: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

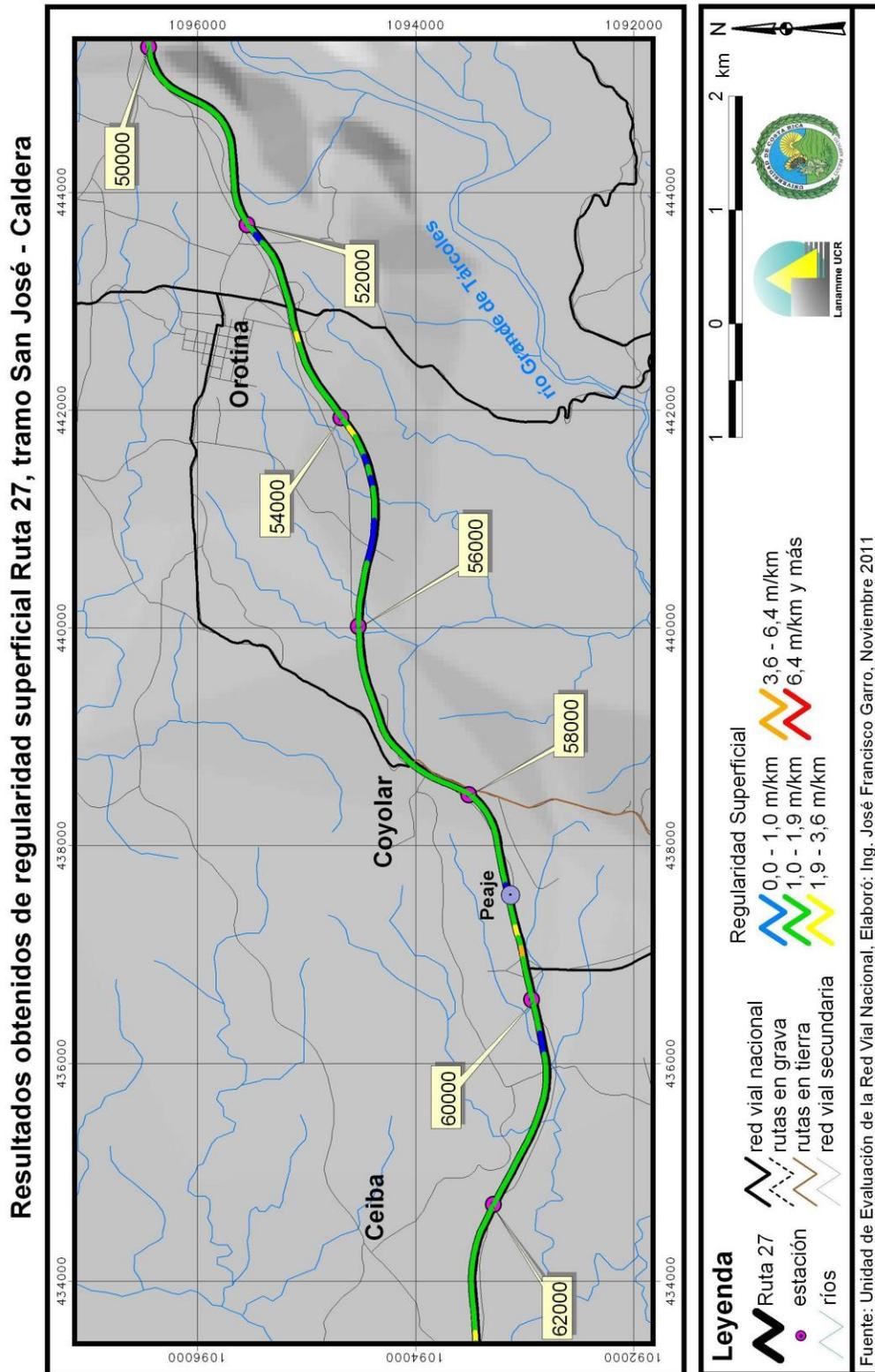


Figura 33: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

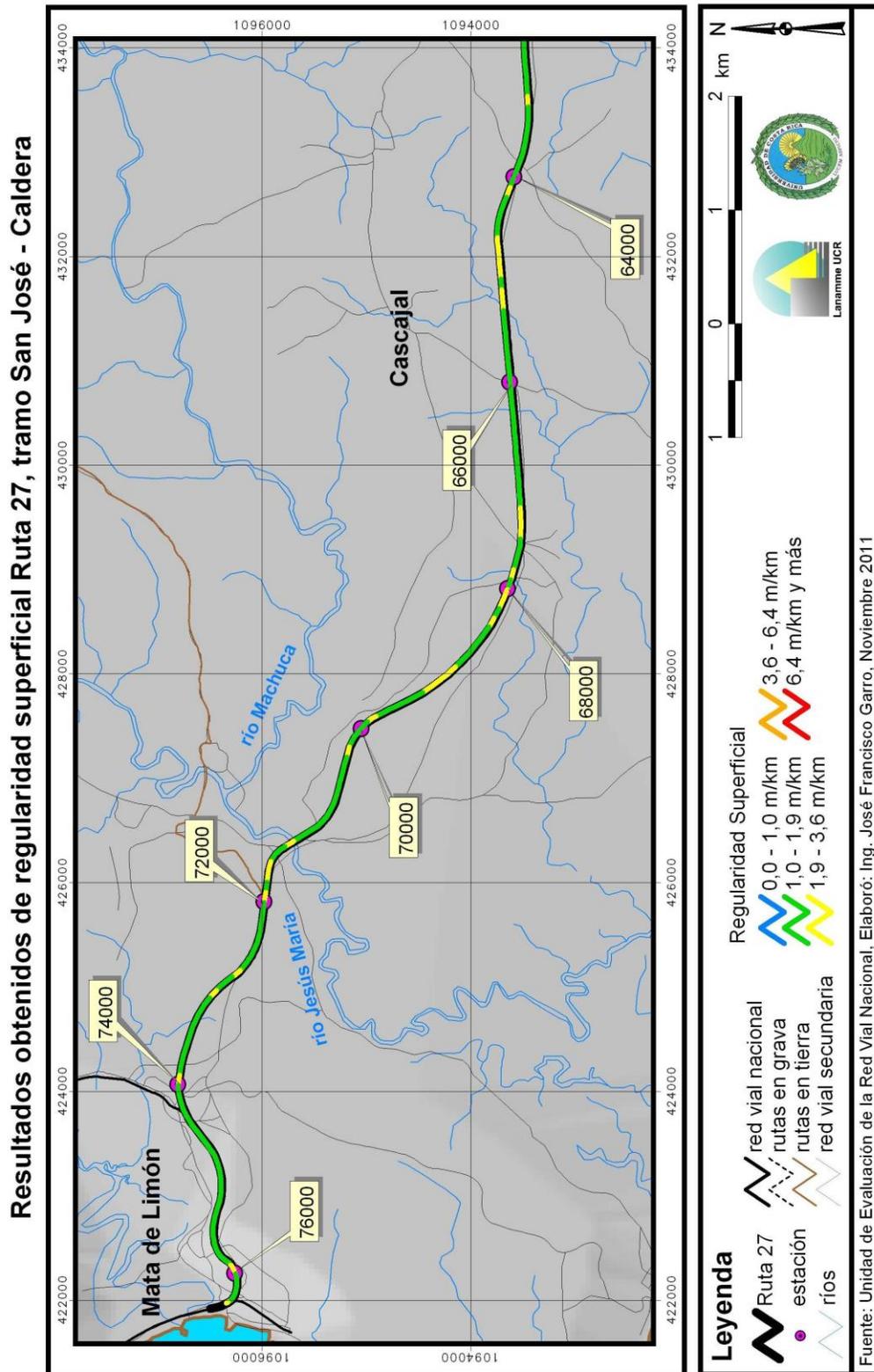


Figura 34: Regularidad superficial obtenida, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

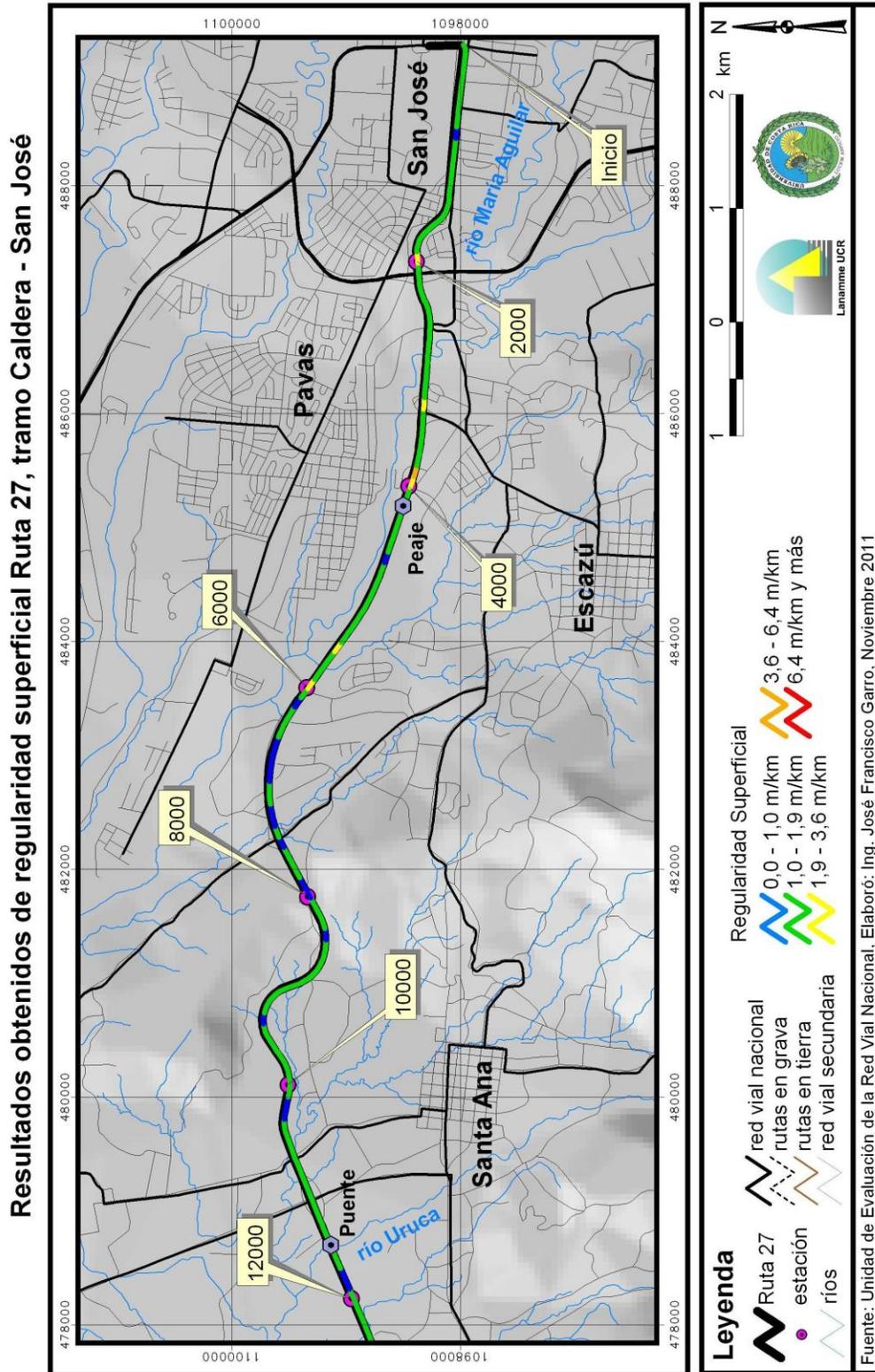


Figura 35: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

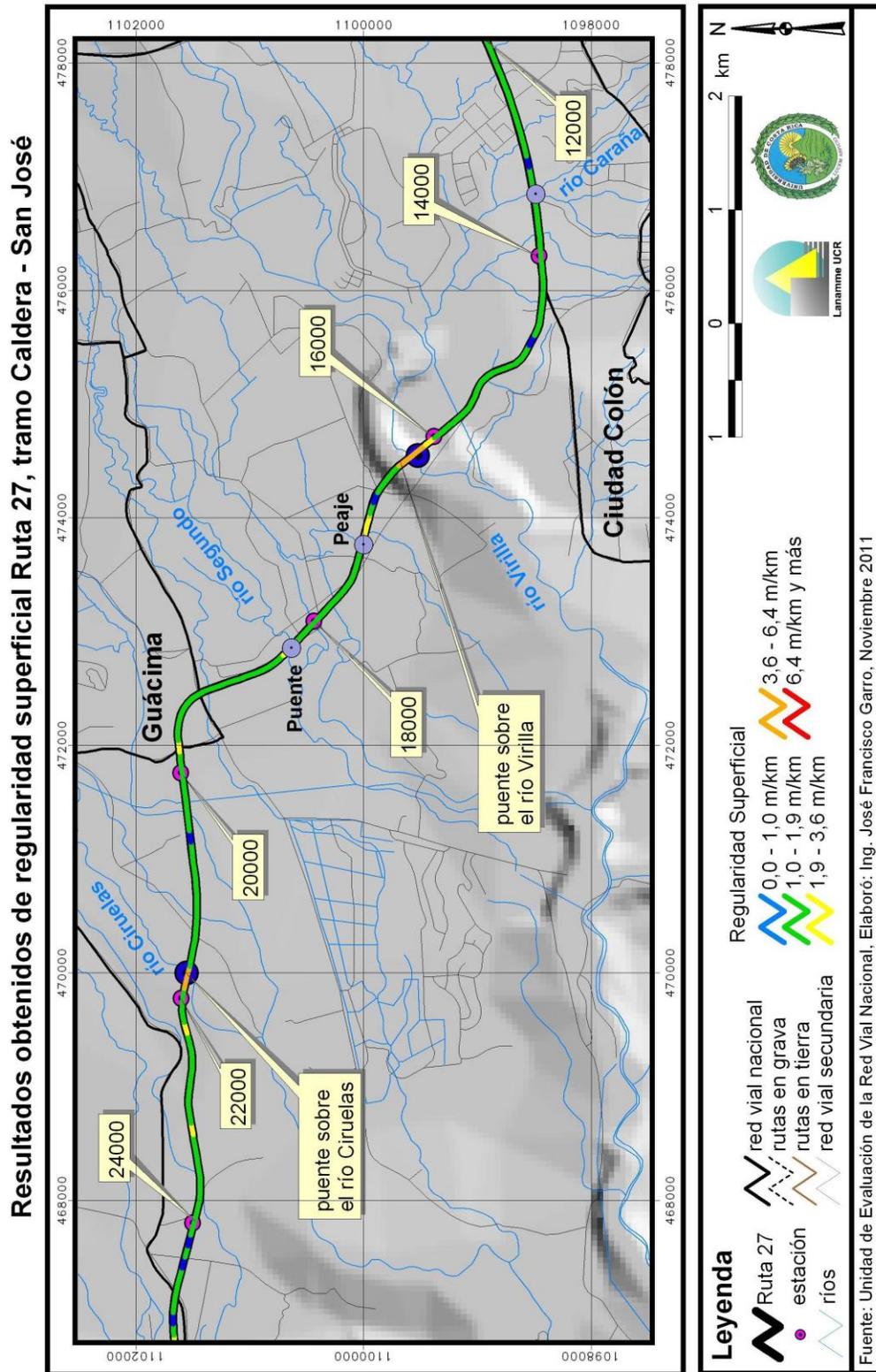


Figura 36: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

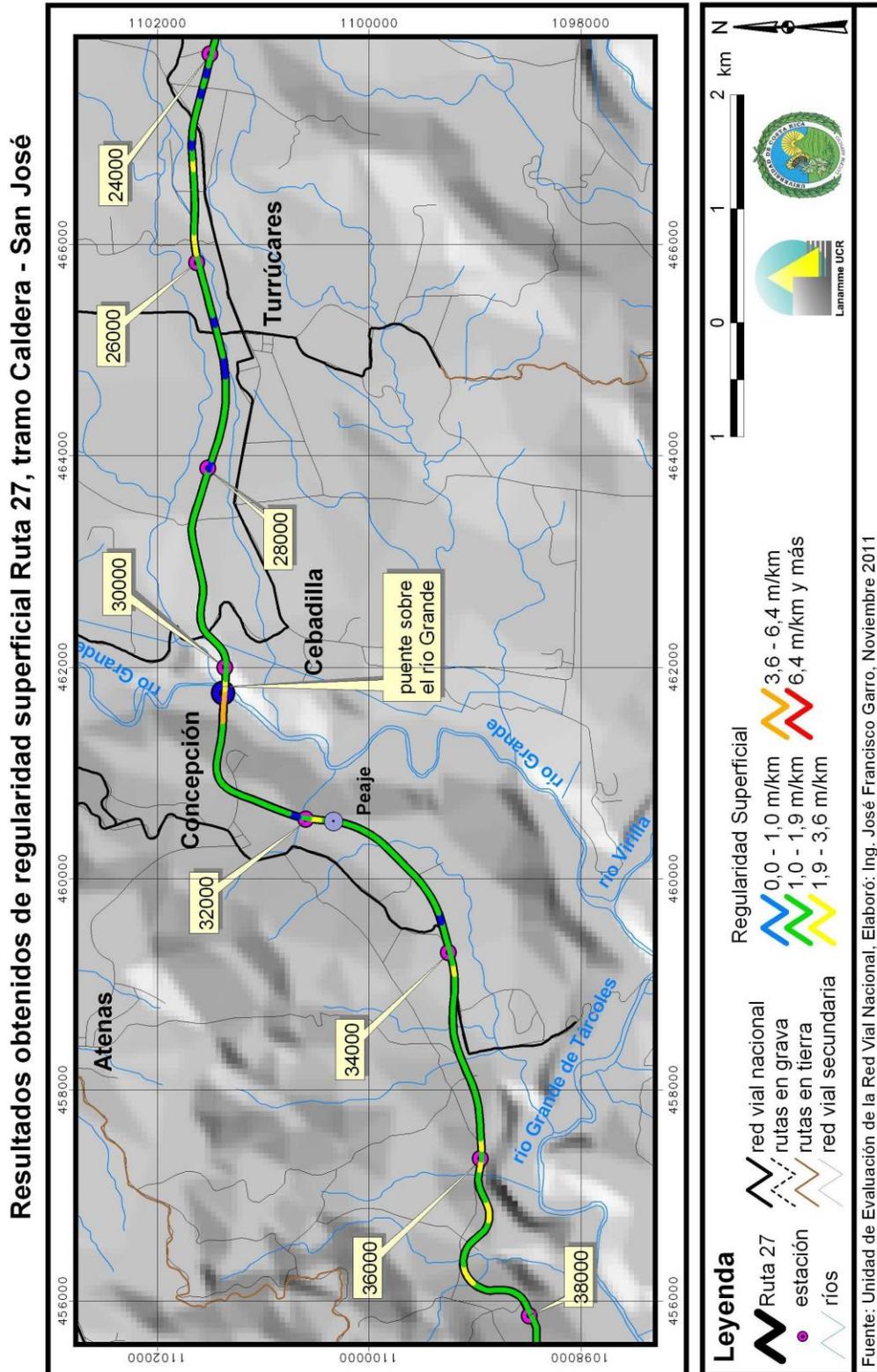


Figura 37: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

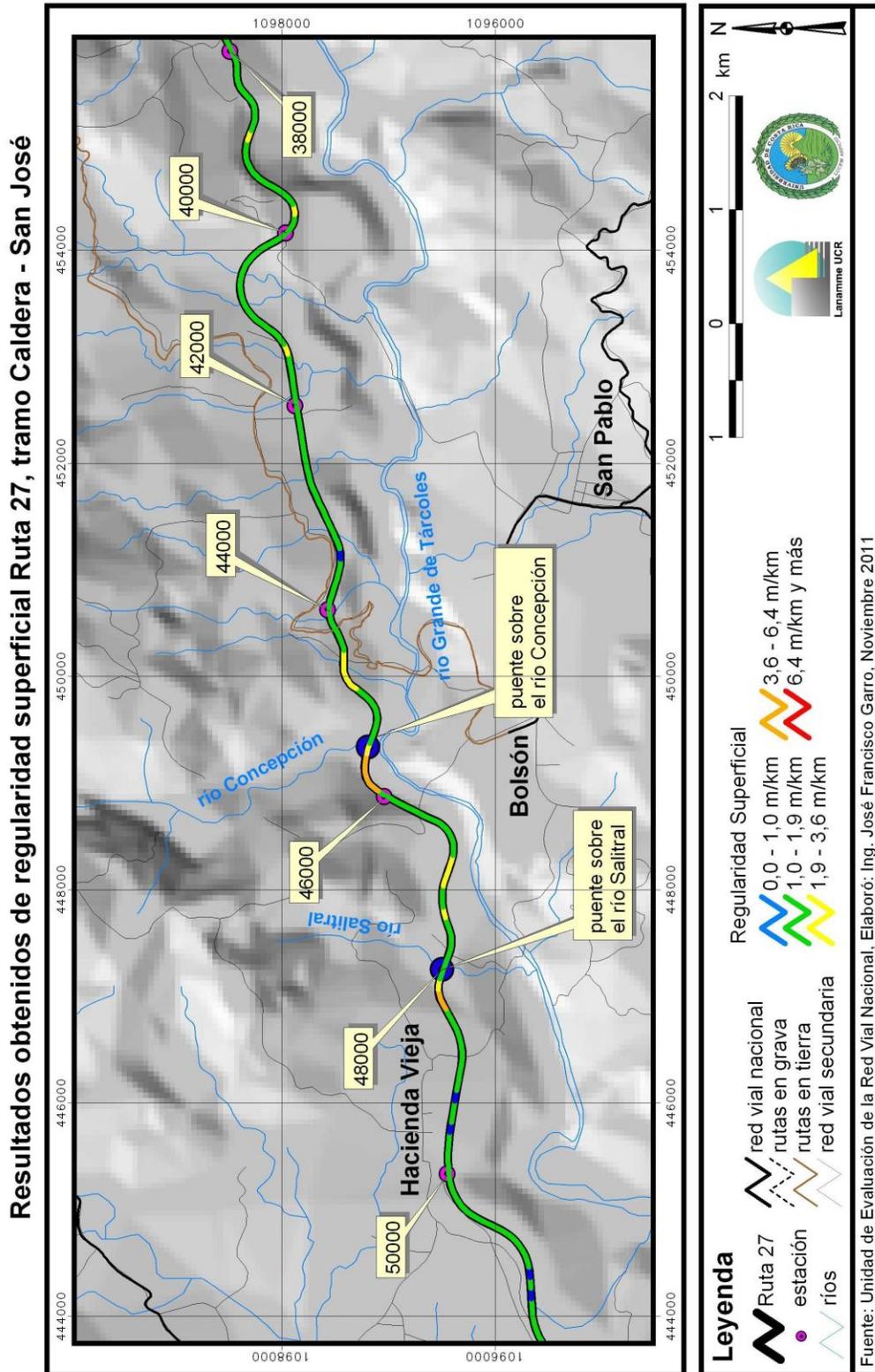


Figura 38: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

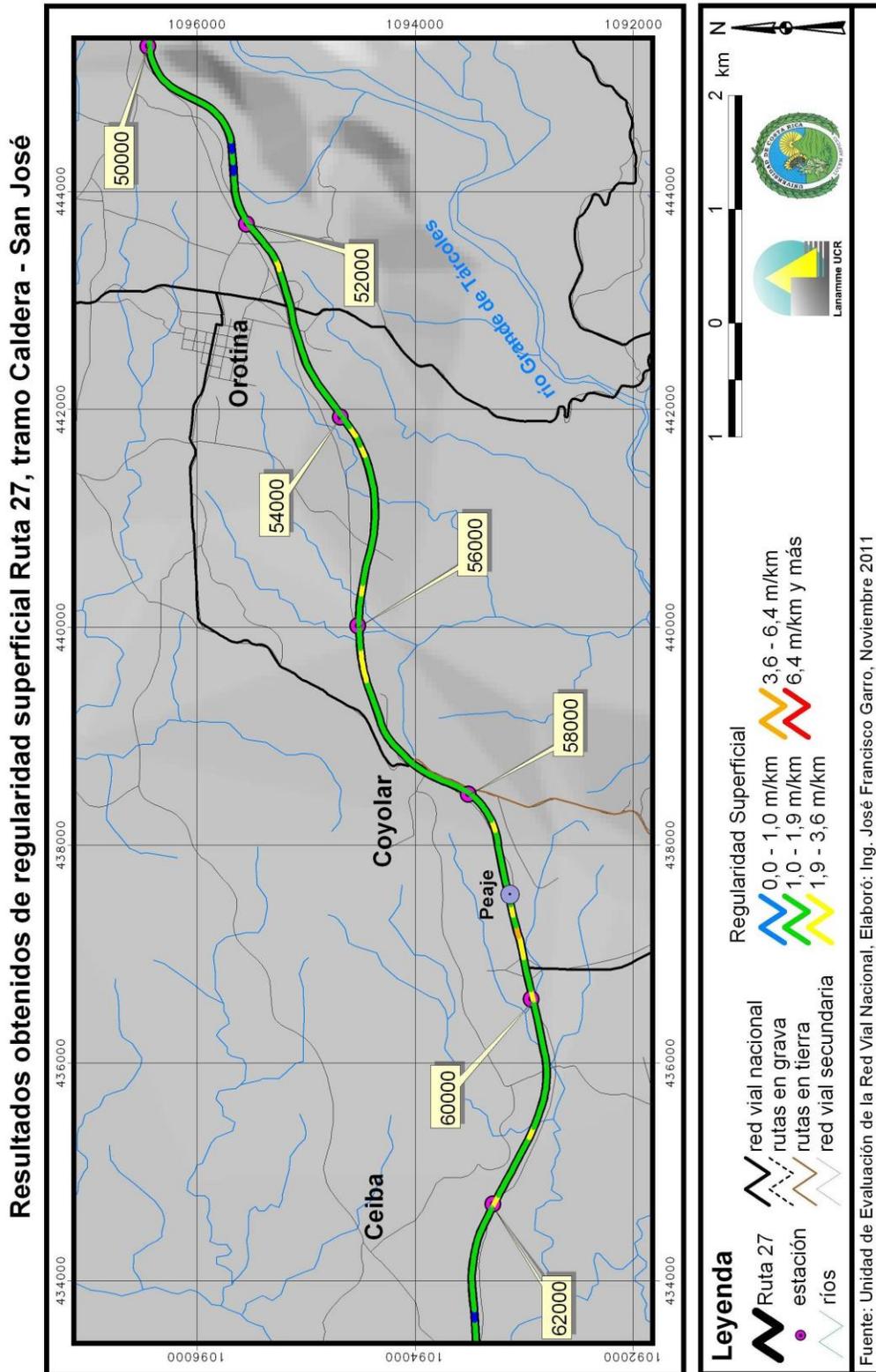


Figura 39: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

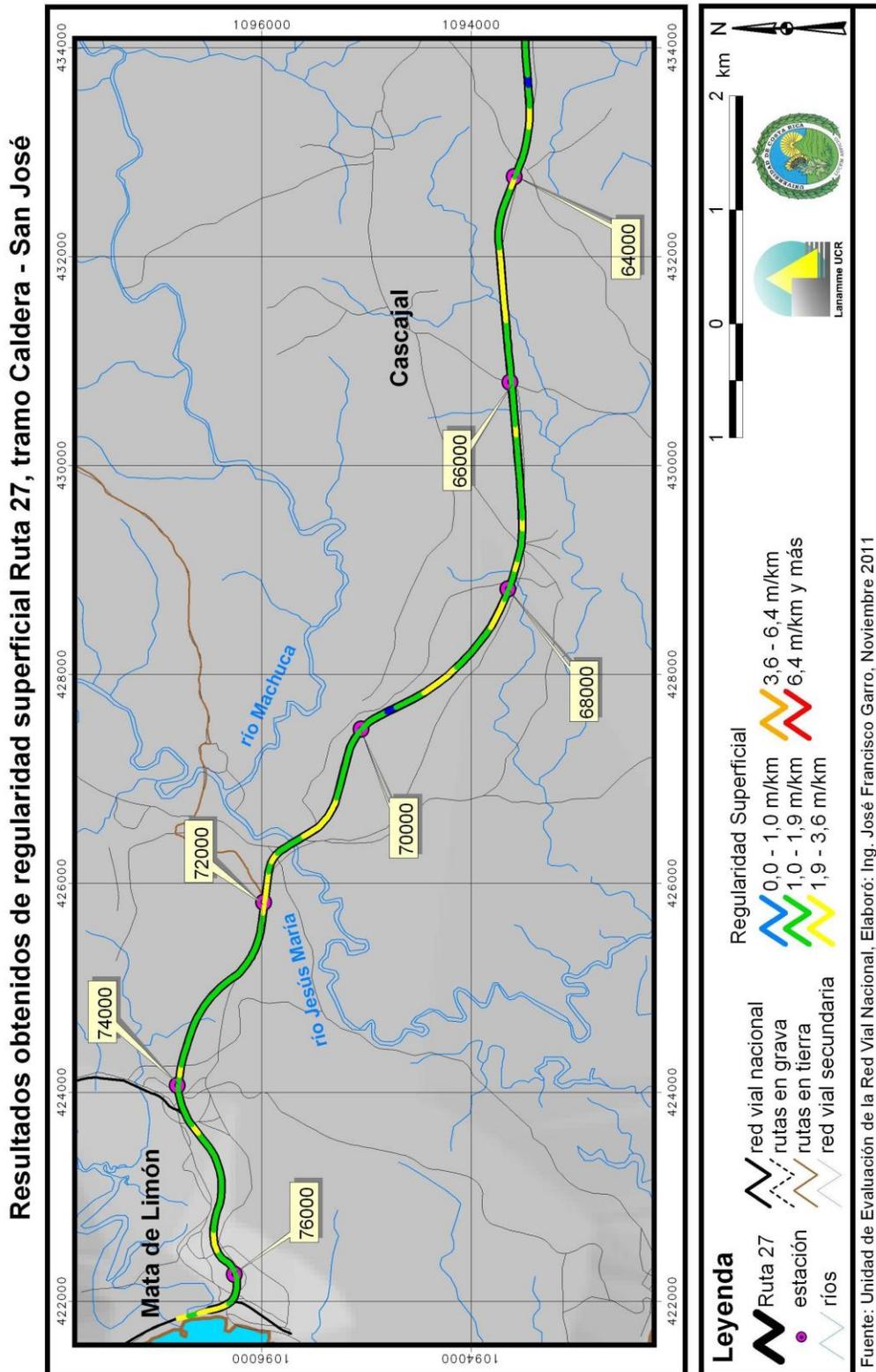


Figura 40: Regularidad superficial obtenida, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

4.3 Resultados obtenidos del coeficiente de rozamiento de pavimentos, octubre 2011

4.3a Criterios de clasificación

La evaluación del proyecto San José – Caldera con el medidor de rozamiento superficial abarcó la totalidad de la superficie pavimentada de la troncal principal; para lo cual fue preciso realizar primero la medición de regularidad superficial (IRI), 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.

El rango de clasificación que se utilizó para evaluar la resistencia al deslizamiento es utilizado a nivel internacional, y 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 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 o pulido
0,50 – 0,60	Regular	Deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y/o 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 con buen agarre

* 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

En esta sección se muestran los resultados obtenidos en la evaluación del coeficiente de rozamiento del proyecto San José – Caldera. De igual forma, este proyecto fue evaluado en ambos sentidos de circulación.

En total, se evaluaron y procesaron con este equipo más de 30,000 secciones de 5 metros de longitud en promedio, los resultados de las mediciones obtenidas para este proyecto en ambos sentidos San José – Caldera, Caldera – San José se presentan respectivamente en la Tablas 13 y Figuras 41 y 42.

Tabla 13: Resultados obtenidos, coeficiente rozamiento superficial del proyecto

Sentido	Longitud en cada rango, km y %								Total km
	Muy Deslizante		Deslizante		Poco Deslizante		No Deslizante		
San José – Caldera	4,0	5,1%	7,2	9,2%	54,2	68,8%	13,3	16,9%	78,8
Caldera – San José	5,9	7,5%	20,9	26,5%	44,9	57,1%	7,0	8,9%	78,7

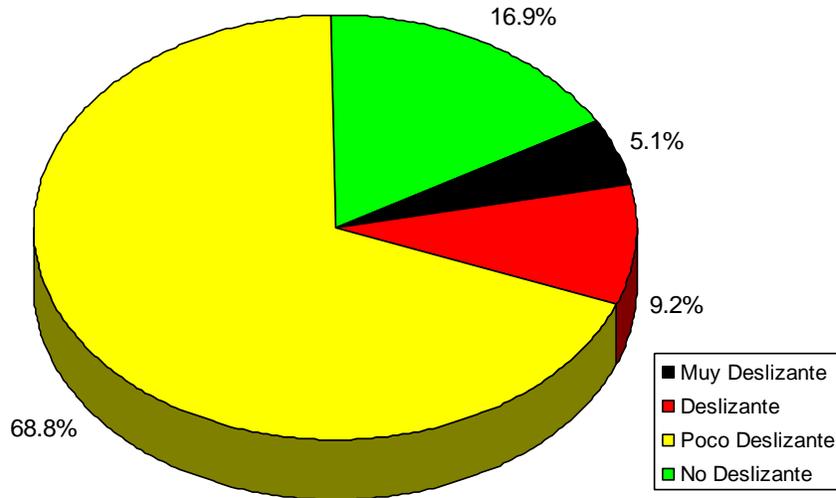


Figura 41 Estado del proyecto según agarre superficial (parámetro GRIP), sentido San José - Caldera

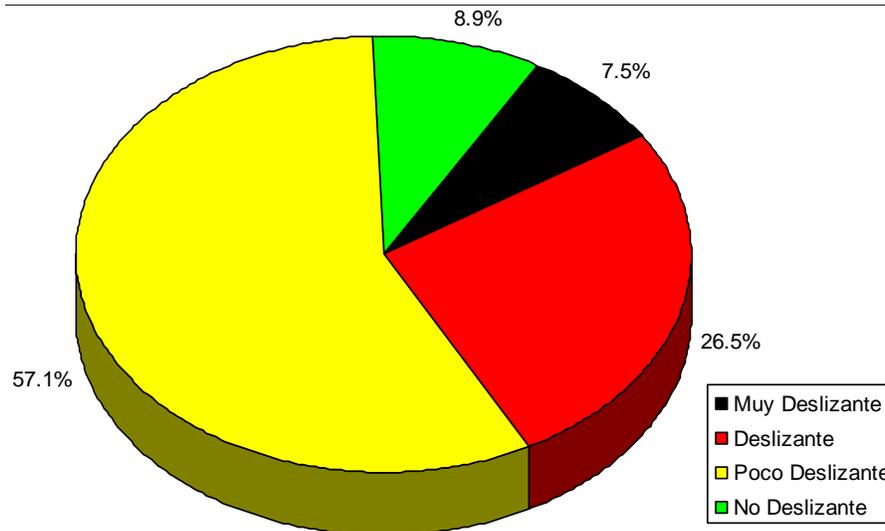


Figura 42 Estado del proyecto según agarre superficial (parámetro GRIP), sentido Caldera – San José

En la Tabla 14 se resumen los estacionamientos donde se localizaron los principales puntos con valores de resistencia al deslizamiento calificado como “deslizante” a “muy deslizante”.

Tabla 14 Ubicación de tramos con problemas de resistencia al deslizamiento

Sentido San José – Caldera	
Tramos deslizantes	0 – 4+090, 4+560 – 4+650, 5+870 – 5+970, 6+190 – 6+320, 6+700 – 6+860, 6+990 – 7+210, 7+740 – 8+340, 11+540 – 11+650, 28+230 – 28+430, 28+970 – 29+030, 69+460 – 69+530
Tramos deslizantes a muy deslizantes	69+970 – 70+300, 71+730 – 71+800, 74+340 – 74+790, 74+920 – 76+330
Tramos muy deslizantes	72+670 – 74+340, 74+800 – 74+920
Sentido Caldera – San José	
Tramos deslizantes	0 – 19+290, 25+050 – 27+050, 27+520 – 27+680, 28+950 – 29+320, 30+220 – 30+570, 45+080 – 45+220, 52+240 – 52+990, 58+570 – 59+000, 66+550 – 67+190, 67+410 – 67+610
Tramos deslizantes a muy deslizantes	43+160 – 43+710, 68+640 – 69+630, 70+560 – 71+000, 71+450 – 72+070, 75+170 – 75+810
Tramos muy deslizantes	67+190 – 67+400, 69+630 – 70+560, 71+000 – 71+450, 72+070 – 75+170, 75+820 – 76+330

4.3c *Análisis general de resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento. Mes de octubre del 2011.*

Los resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento revelan zonas de alta peligrosidad por los bajos coeficientes de rozamiento. 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 tráfico. Debido a esto, y en perspectiva dentro de un proyecto con velocidades de circulación superiores a los 90 km/h (según mediciones realizadas por LanammeUCR, octubre 2010) y en condiciones de humedad superficial, es donde las secciones denominadas como “deslizantes” o “muy deslizantes” toman una ponderación mayor en la calificación del nivel de seguridad asociado con la resistencia al deslizamiento de los vehículos, por lo tanto, la Administración debería valorar la posibilidad de exigir al Concesionario intervenciones prioritarias en las secciones donde los riesgos de derrape de los vehículos son altas o muy altas, especialmente en el carril de venida (sentido Caldera – San José).

4.3d *Mapas con los resultados de mediciones resistencia al deslizamiento (GRIP-NUMBER)*

Las Figuras 43 a 48 presentadas a continuación, muestran los resultados de la evaluación con el grip-tester para la ruta 27, en el sentido San José – Caldera, mientras que las Figuras 49 a 54 muestran los resultados obtenidos, pero en el sentido Caldera – San José.

Resultados obtenidos de resistencia superficial a deslizamiento Ruta 27, tramo San José - Caldera

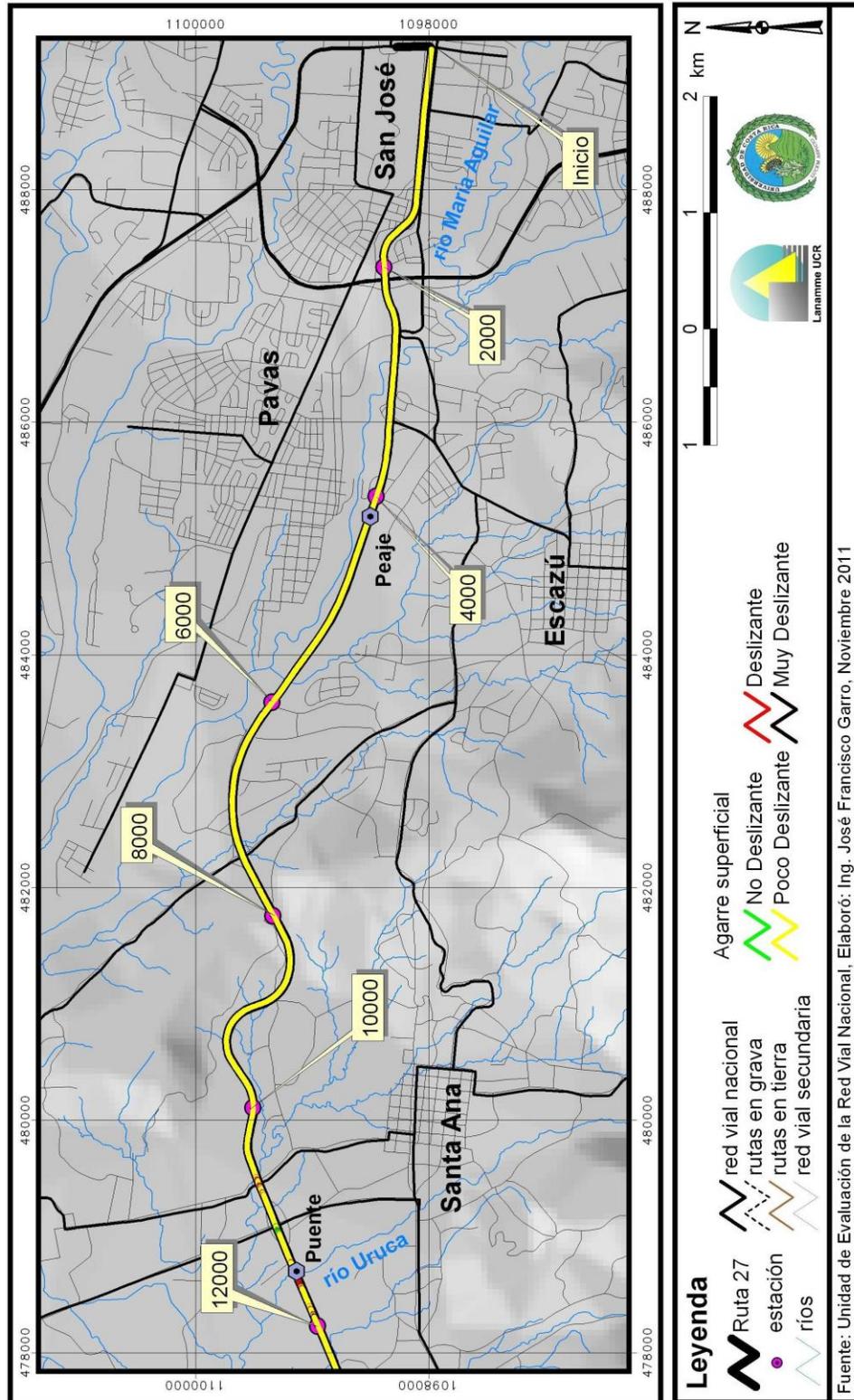


Figura 43: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

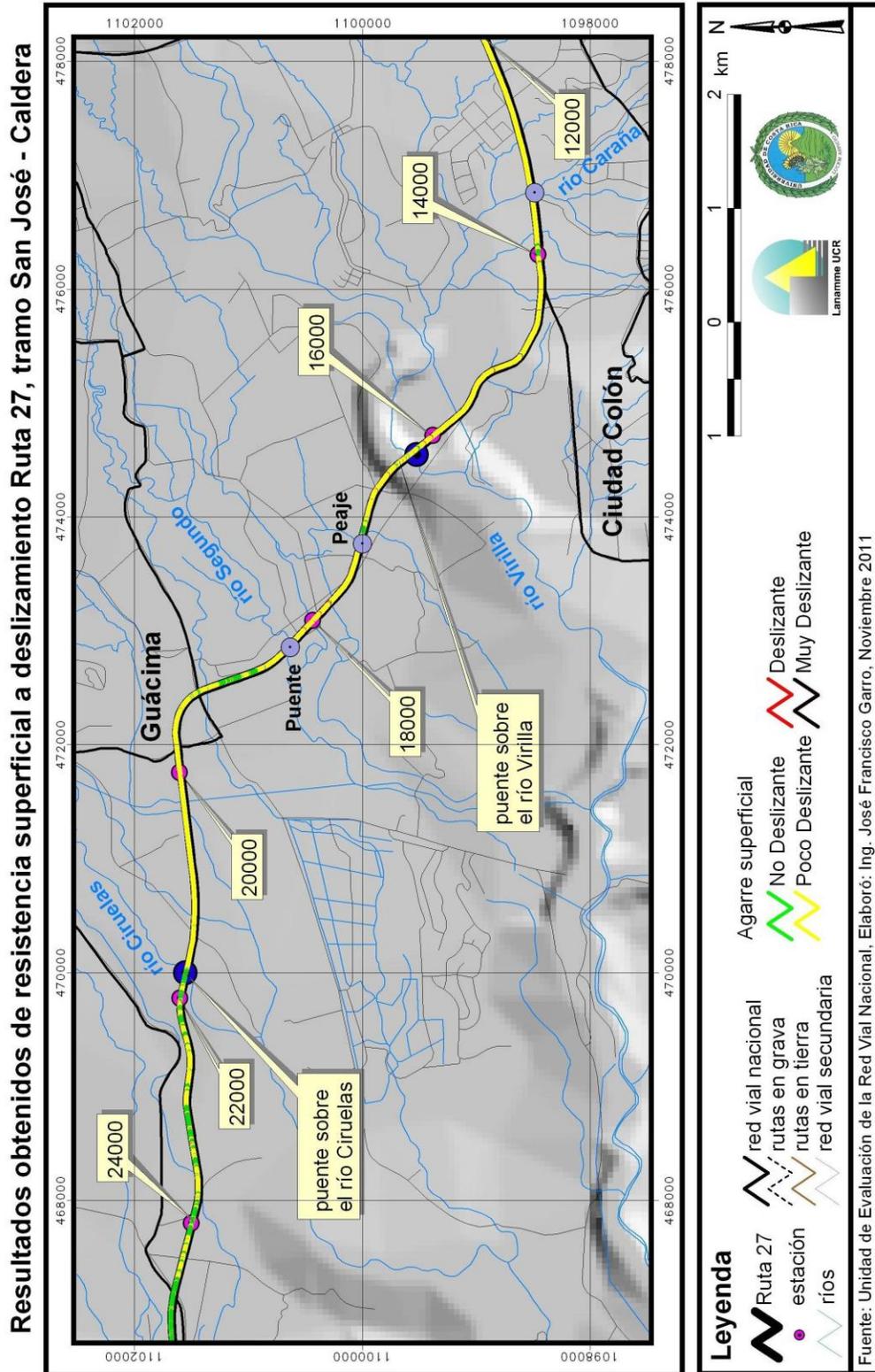
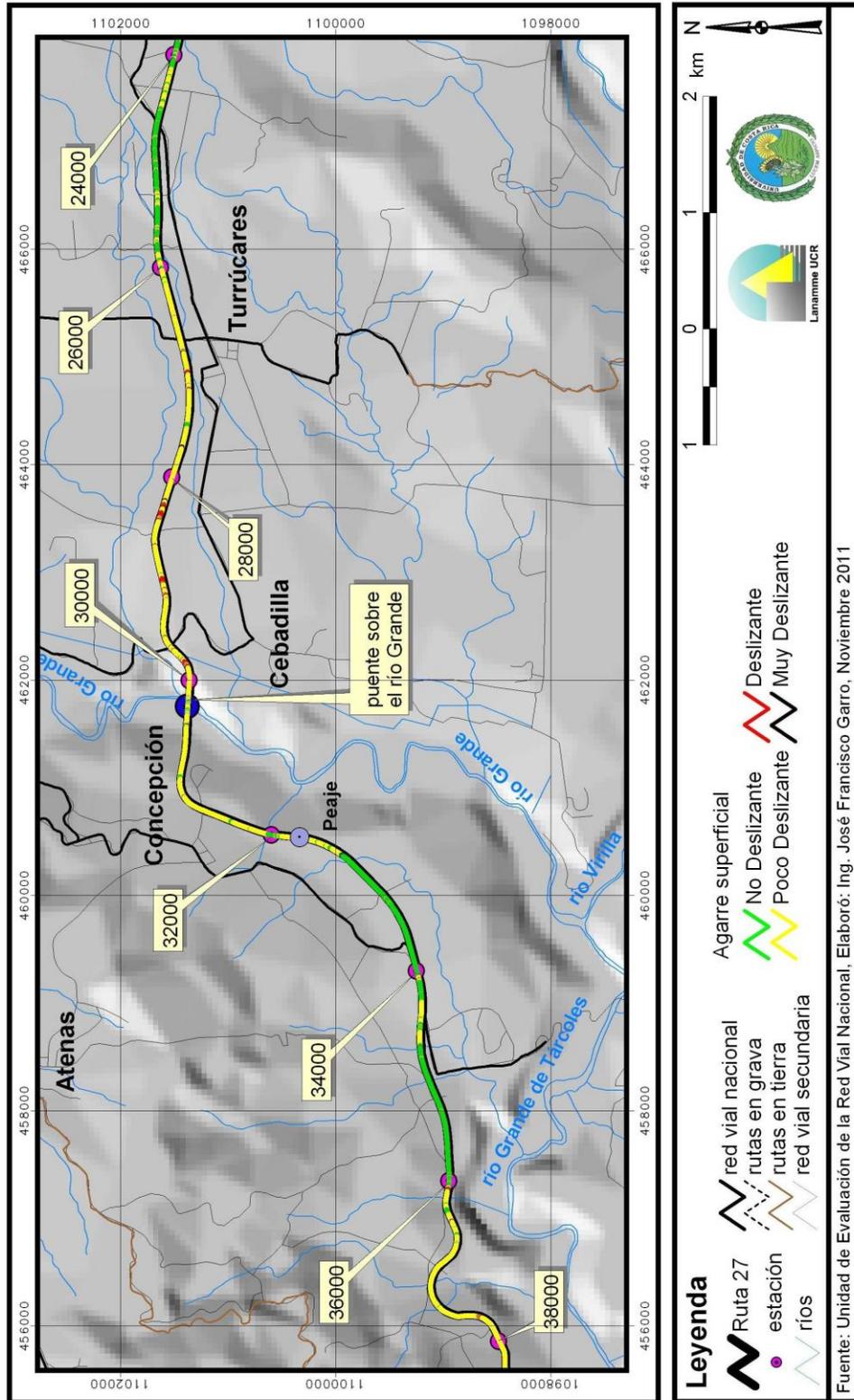


Figura 44: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

Resultados obtenidos de resistencia superficial a deslizamiento Ruta 27, tramo San José - Caldera



Fuente: Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional, Elaboró: Ing. José Francisco Garro, Noviembre 2011

Figura 45: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

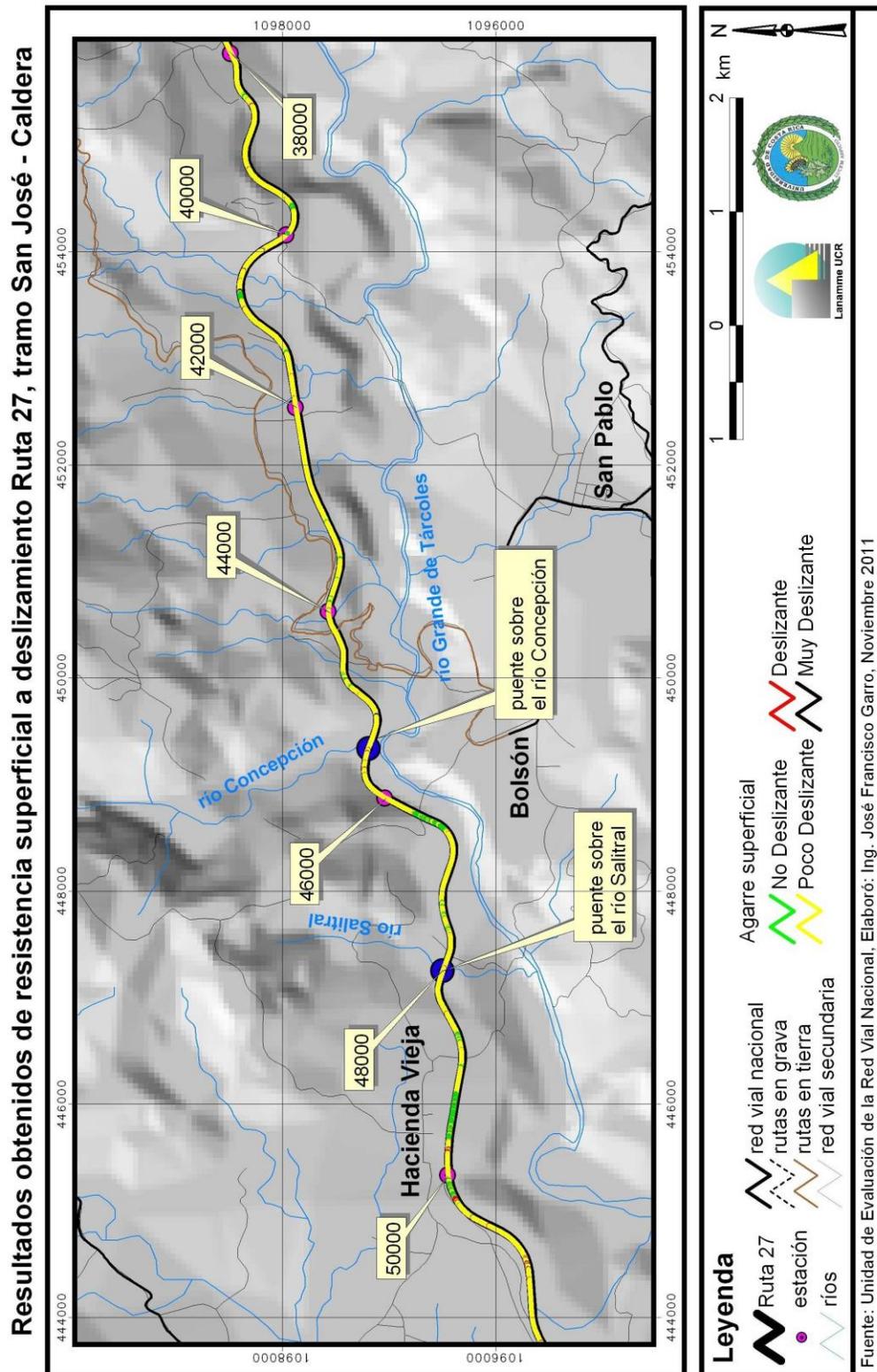


Figura 46: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

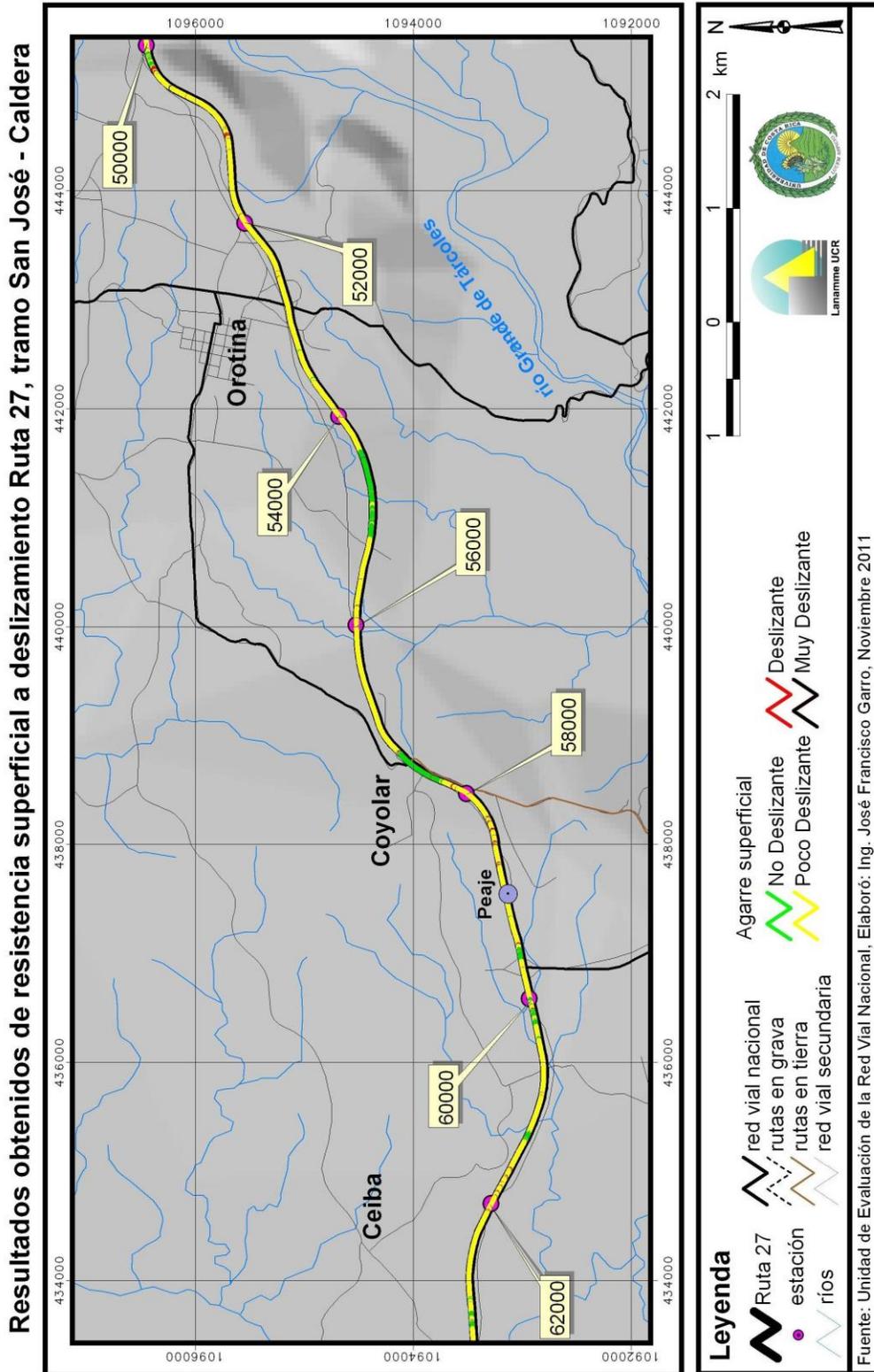


Figura 47: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

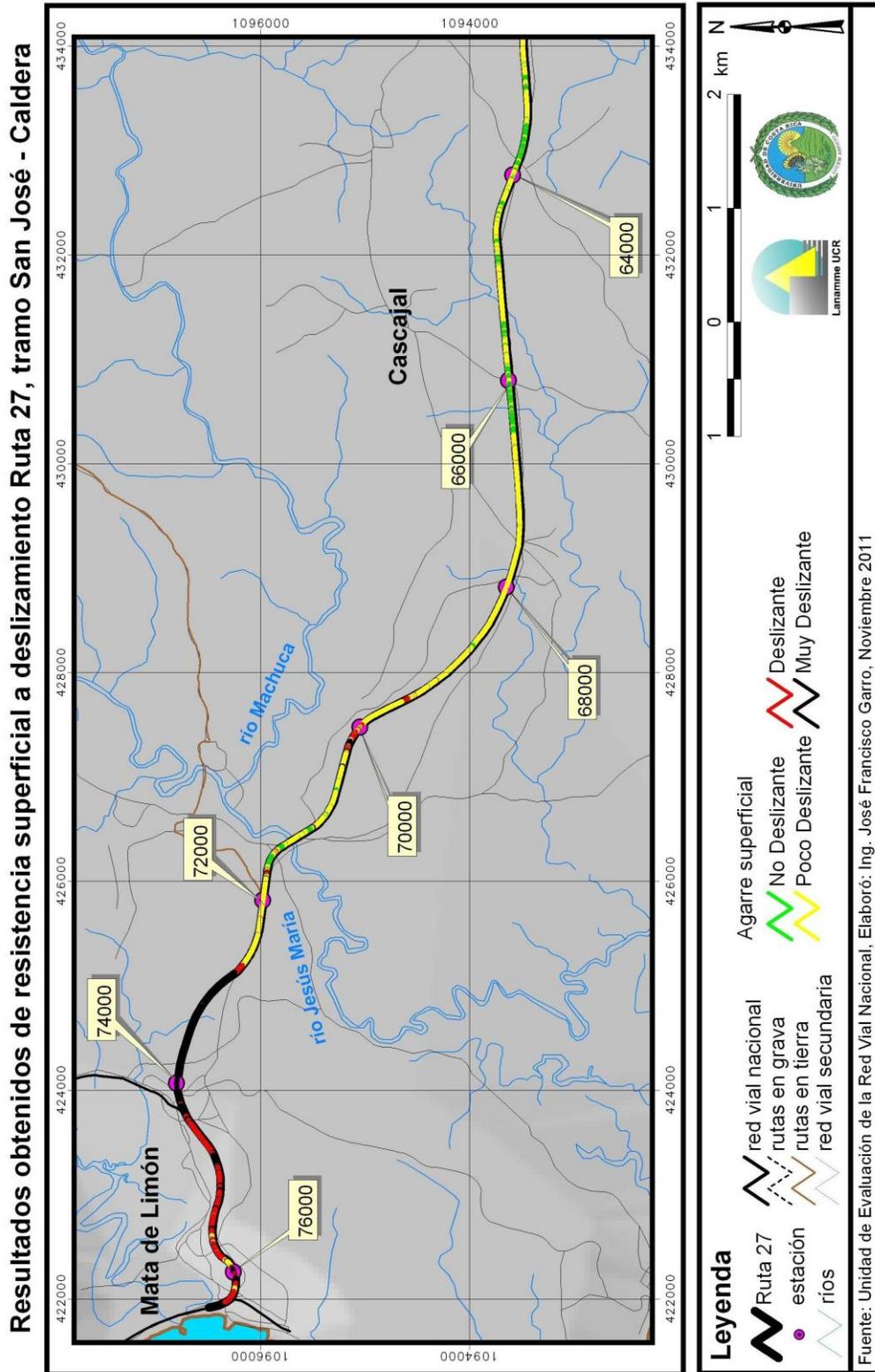


Figura 48: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido San José – Caldera, evaluación 2011

Resultados obtenidos de resistencia superficial a deslizamiento Ruta 27, tramo Caldera - San José

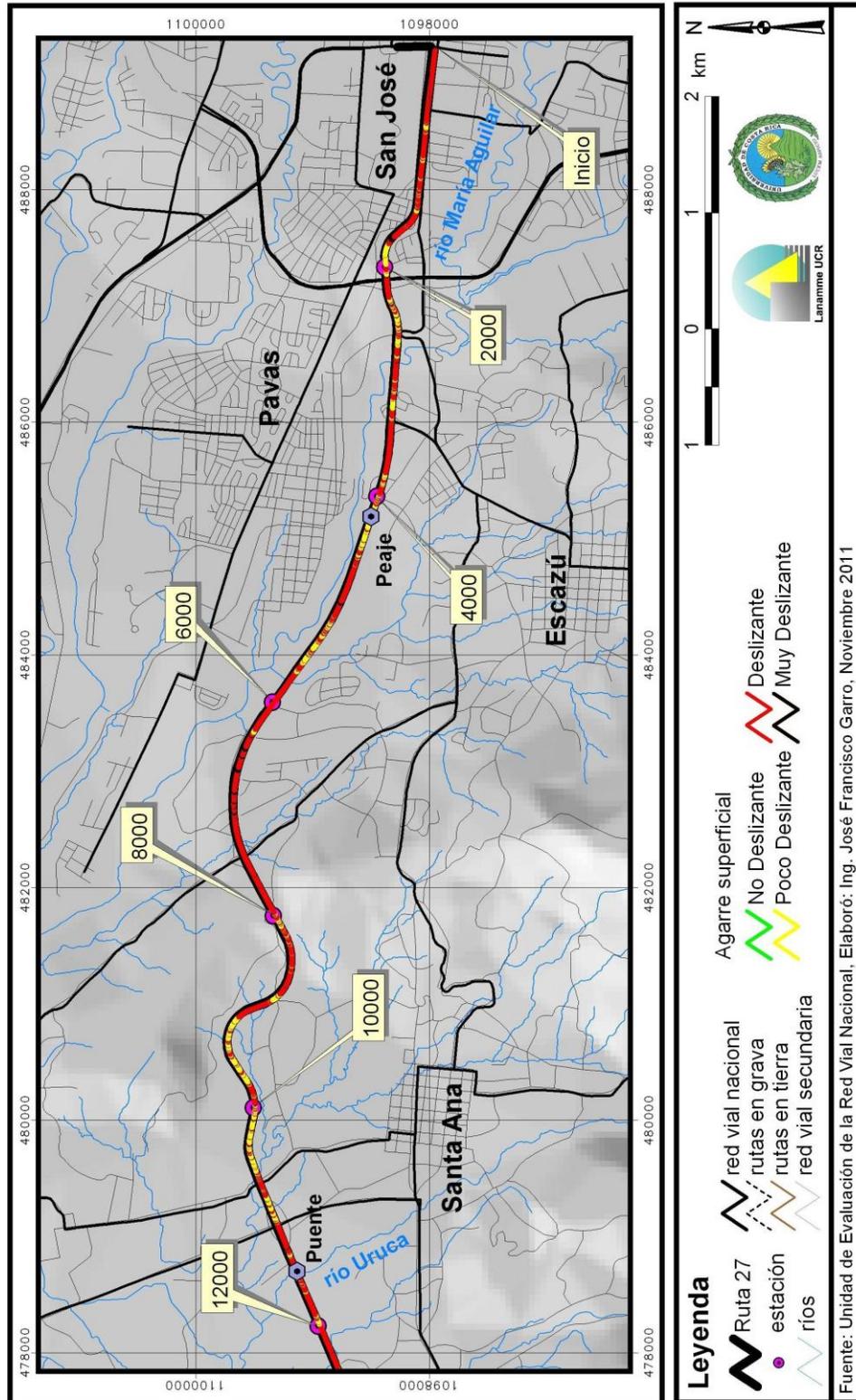


Figura 49: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

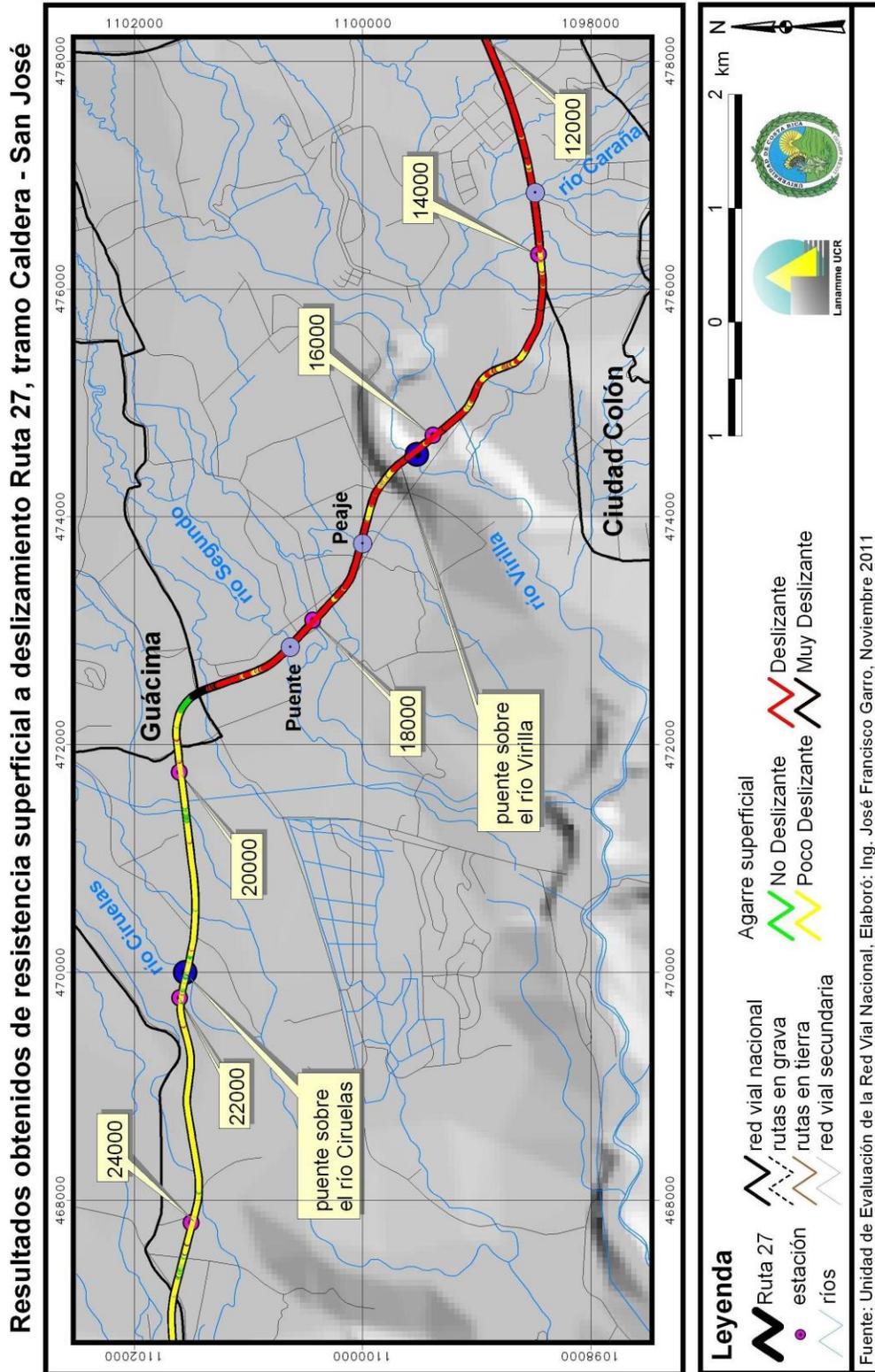


Figura 50: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

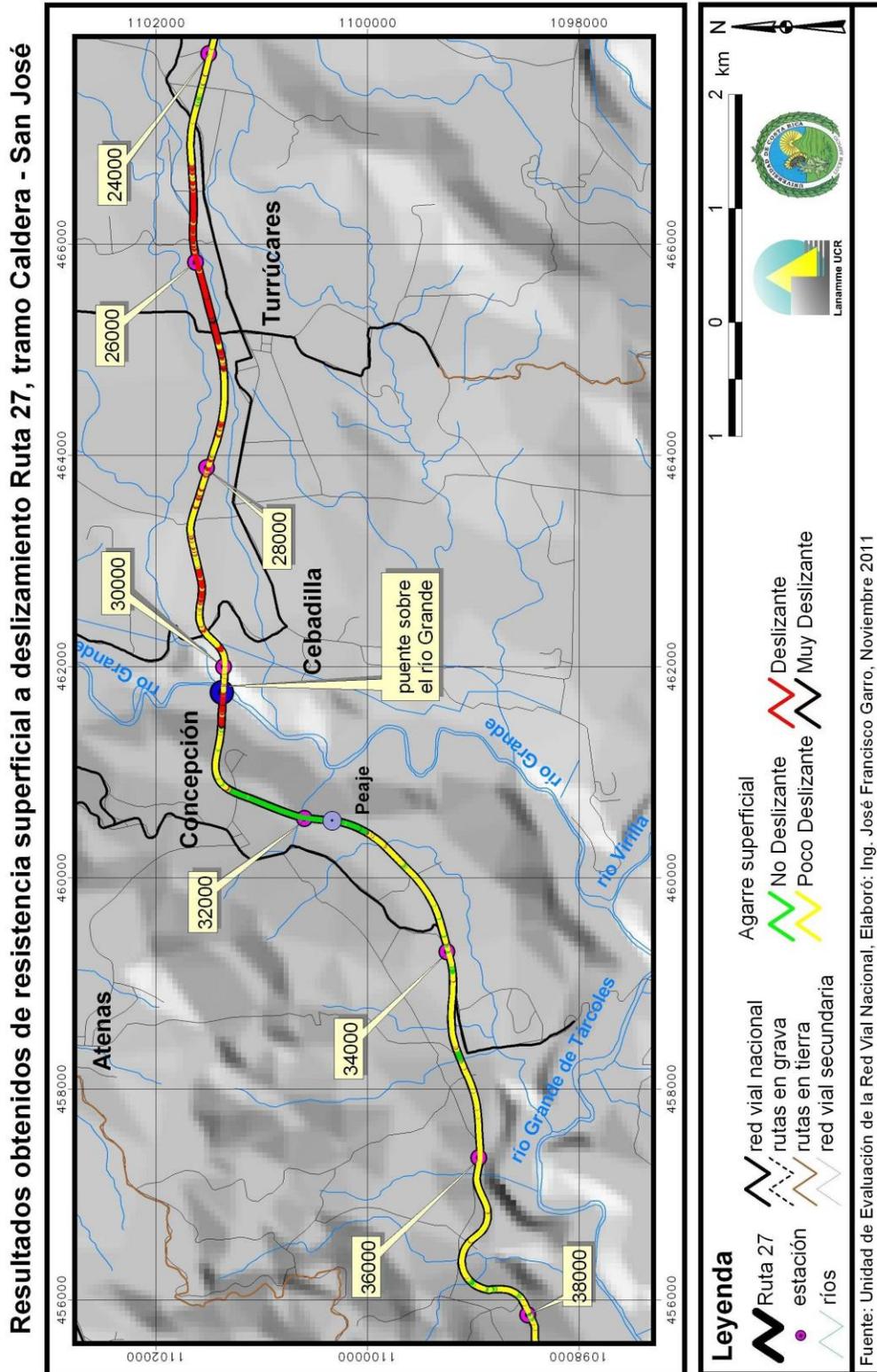


Figura 51: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

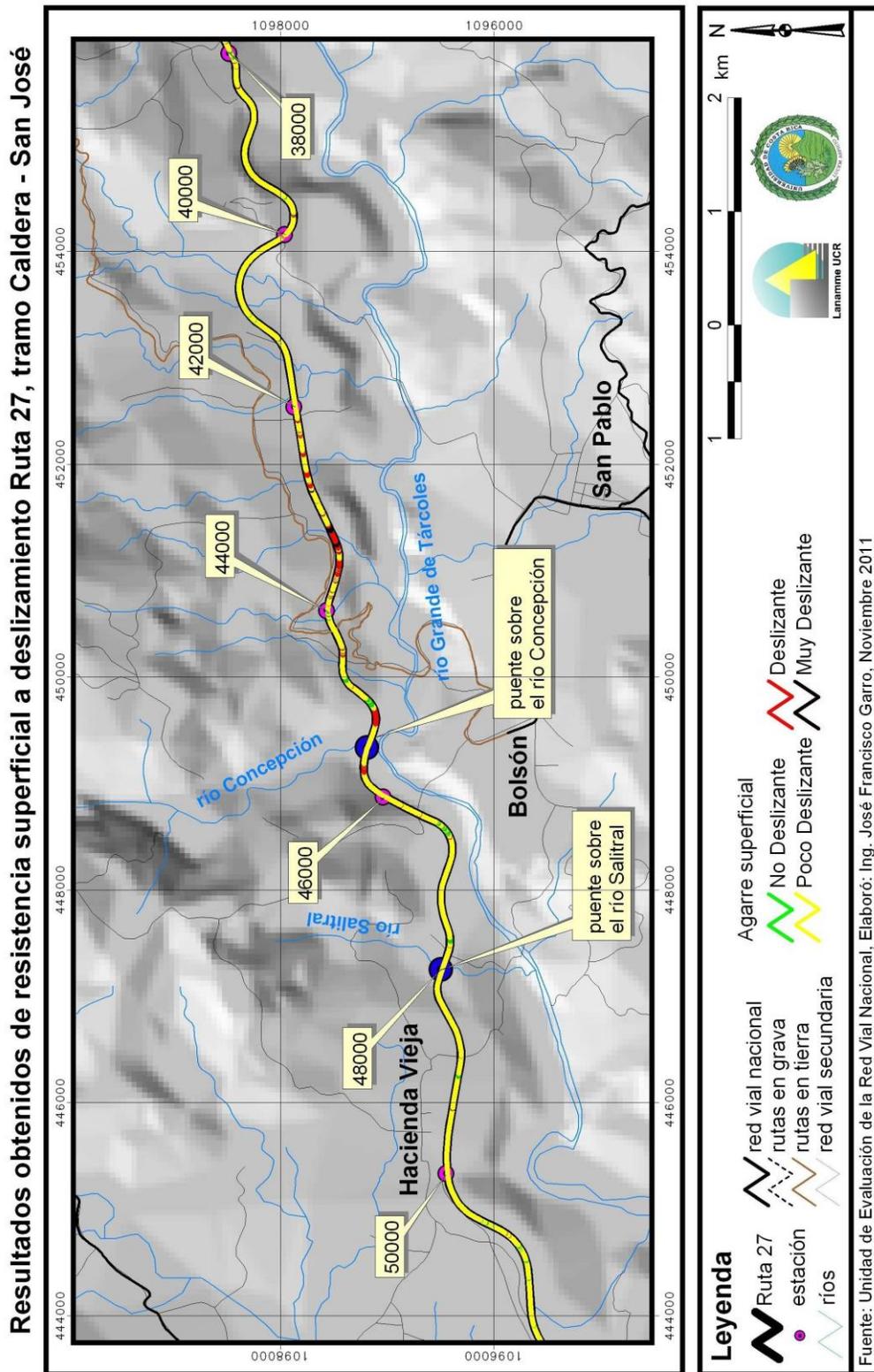


Figura 52: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

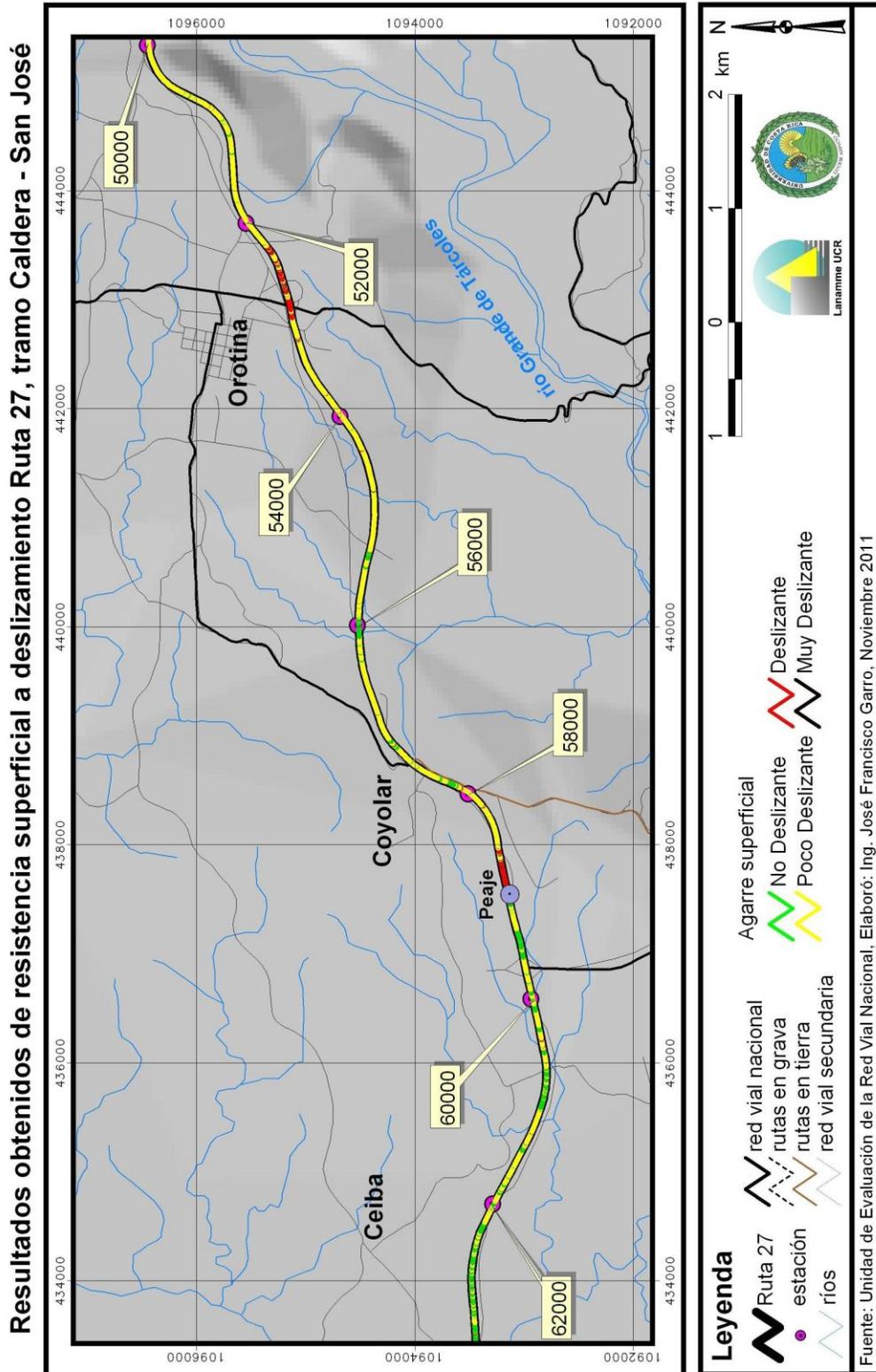


Figura 53: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

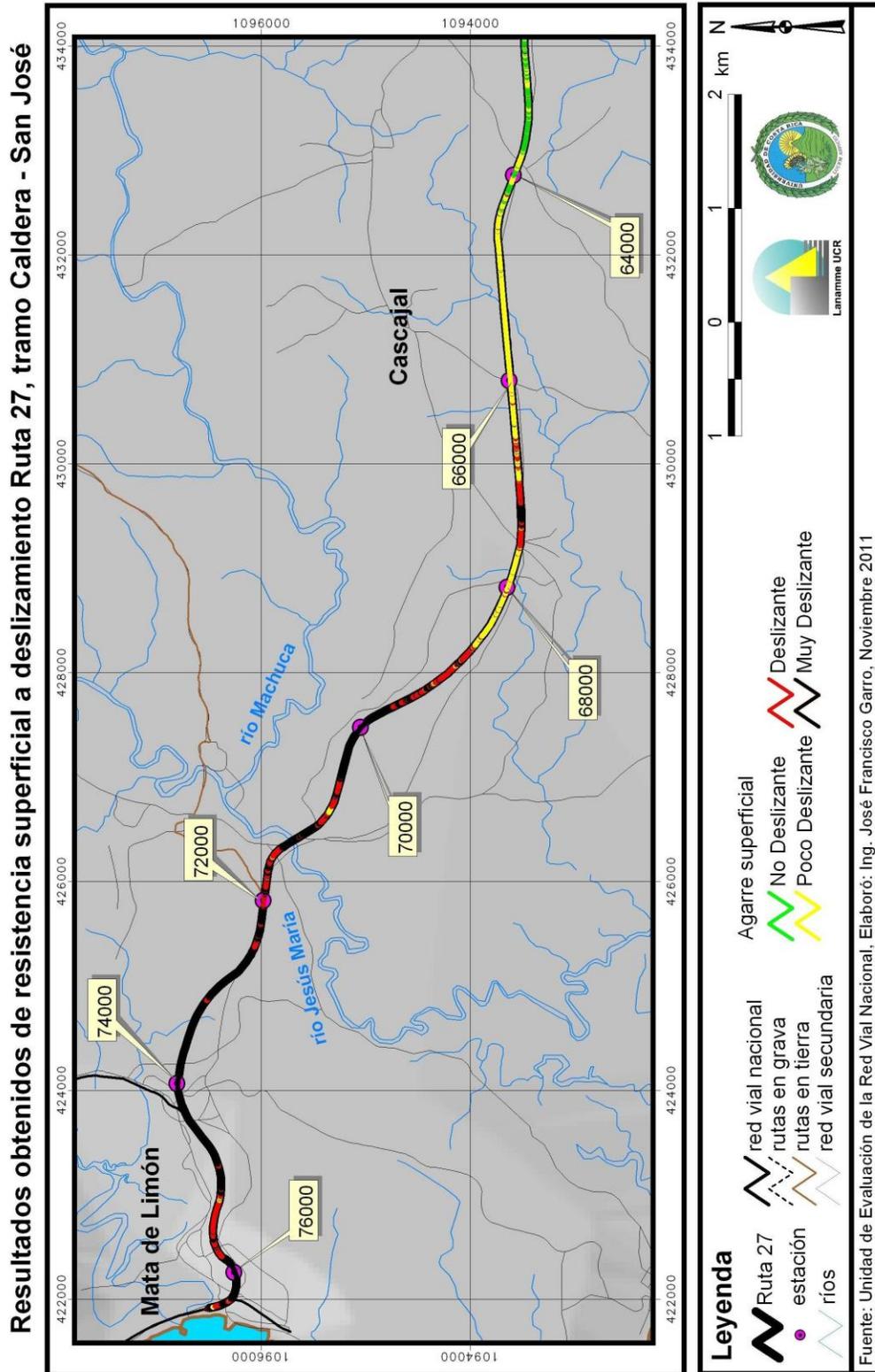


Figura 54: Resistencia al deslizamiento superficial, sentido Caldera – San José, evaluación 2011

4.4 Comparación de la condición de la ruta 27, campañas de evaluación 2010 y 2011

4.4a Evaluación con el deflectómetro de impacto

Las Figuras 55 y 56 comparan los resultados obtenidos en las campañas de evaluación con el deflectómetro de impacto, realizadas en los años 2010 y 2011, para cada uno de los sentidos de la ruta.

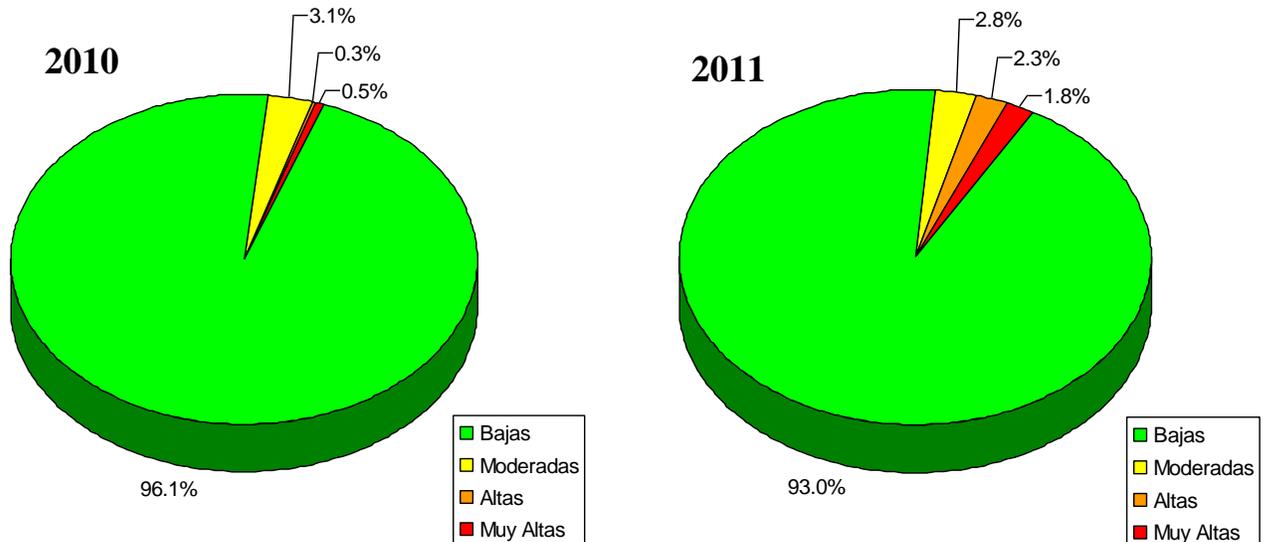


Figura 55: Comparación de resultados FWD obtenidos para la ruta 27, sentido San José – Caldera

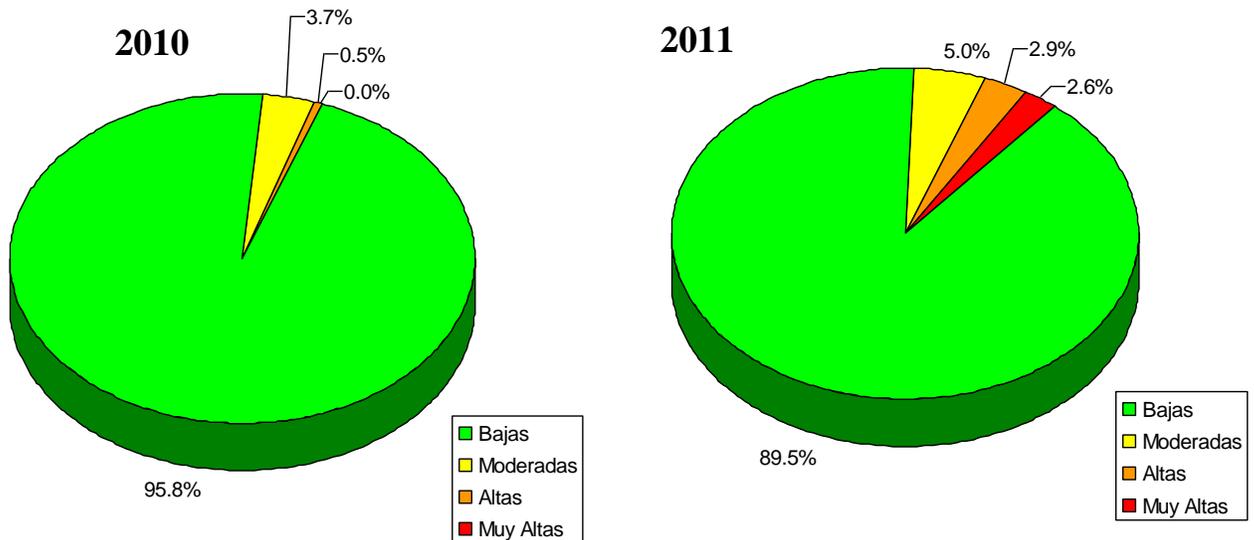


Figura 56: Comparación de resultados FWD obtenidos para la ruta 27, sentido Caldera – San José

Para ambos sentidos, han aumentado la cantidad de sitios con deflexiones altas y muy altas, lo cual es síntoma de un deterioro a nivel estructural del proyecto. Este efecto ha sido más notable en el sentido Caldera – San José.

4.4b Evaluación con el perfilómetro láser superficial

Las Figuras 57 y 58 comparan los resultados obtenidos en la campañas de evaluación con el perfilómetro láser, realizadas en los años 2010 (datos de octubre, los más recientes) y 2011, para cada uno de los sentidos de la ruta.

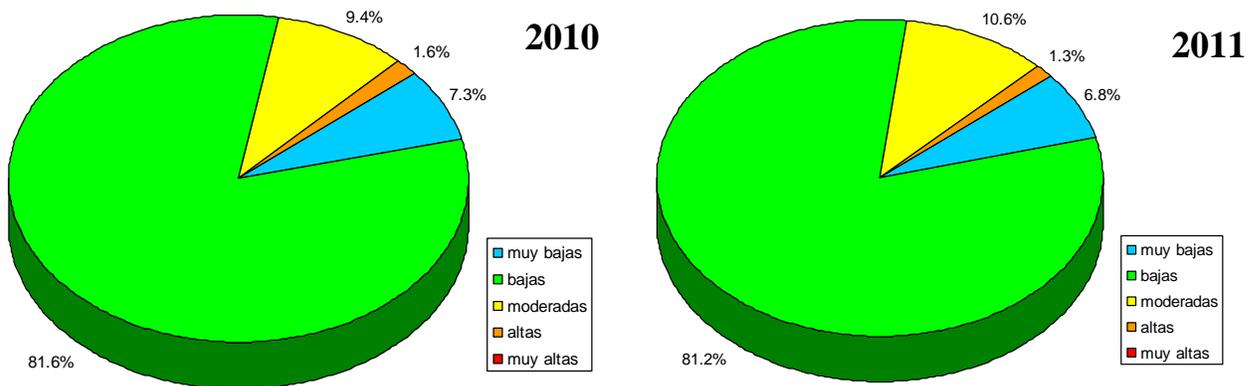


Figura 57: Comparación de resultados IRI obtenidos para la ruta 27, sentido San José – Caldera

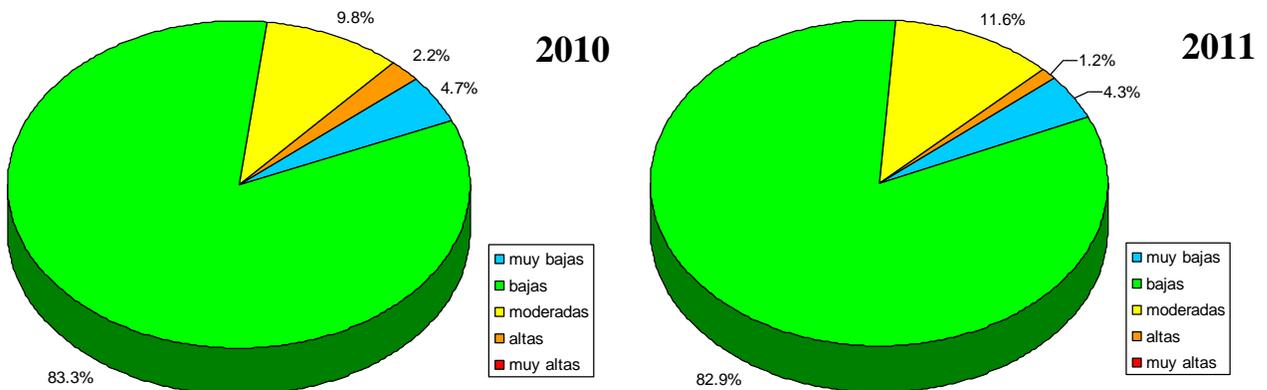


Figura 58: Comparación de resultados IRI obtenidos para la ruta 27, sentido Caldera – San José

De los resultados obtenidos, se deduce que en el parámetro de regularidad superficial, la ruta ha permanecido aproximadamente igual en el período entre evaluaciones, a pesar de que en varios tramos la ruta ha recibido una sobre capa asfáltica.

4.4c Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial

Las Figuras 59 y 60 comparan los resultados obtenidos en la campañas de evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial, realizadas en los años 2010 y 2011, para cada uno de los sentidos de la ruta.

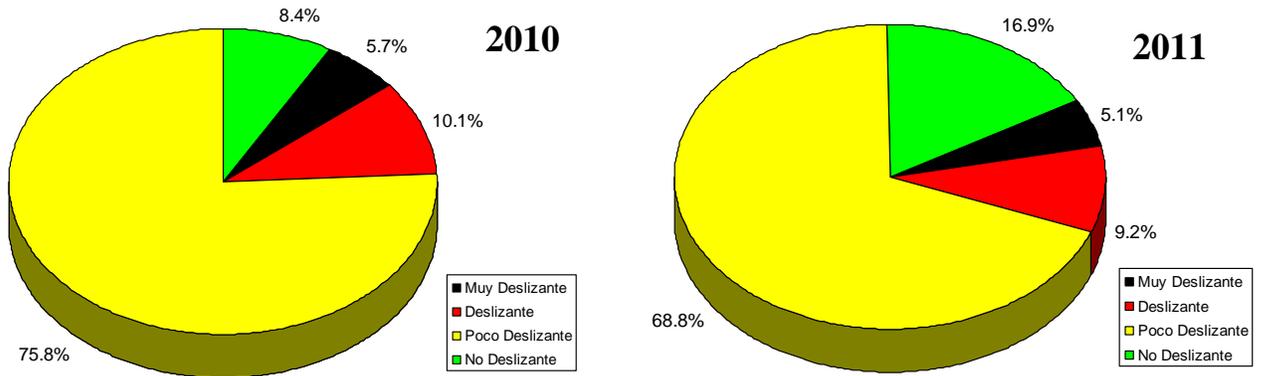


Figura 59: Comparación de resultados GRIP obtenidos para la ruta 27, sentido San José – Caldera

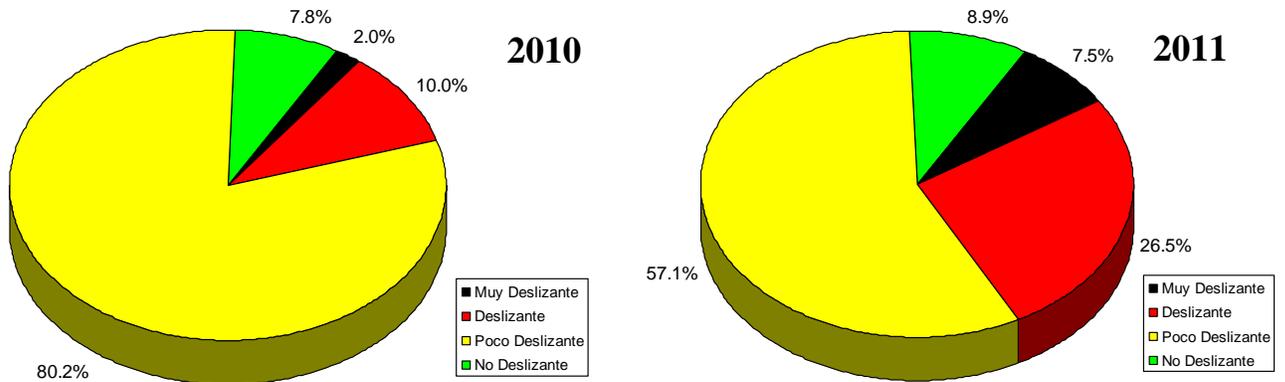


Figura 60: Comparación de resultados GRIP obtenidos para la ruta 27, sentido Caldera – San José

Llama la atención el sentido Caldera – San José, donde se dio un gran aumento de los tramos que presentan condiciones deslizantes a muy deslizantes, aproximadamente 3 veces lo que se encontró para el mismo sentido, en la evaluación del año 2010. Lo anterior significa que los usuarios están expuestos a una ruta que no brinda condiciones de seguridad idóneas cuando se presentan condiciones adversas (lluvias, principalmente), por lo que el riesgo de accidentabilidad es mayor.

4.5 Análisis de la condición superficial del proyecto. Presencia, severidad y extensión de deterioros según análisis visual por medio de equipos de imágenes georreferenciadas. Evaluaciones realizadas en agosto – setiembre 2011.

4.5a Criterios de clasificación

La evaluación del deterioro superficial del proyecto San José – Caldera se realizó por medio de un equipo de cámaras digitales de alta resolución que toman imágenes georreferenciadas, es decir, es un levantamiento digital de imágenes a 360° que permiten analizar la mayoría de los detalles relevantes de la infraestructura vial, tales como deterioros superficiales, elementos de seguridad vial y elementos geométricos por medio de un

software y permite ubicar cada imagen con un alto nivel de precisión por medio de mapas que permiten encontrar la ubicación exacta de cada punto analizado.

Los criterios de severidad se establecieron de acuerdo a lo definido en la norma ASTM D6433, para deterioros superficiales en pavimentos flexibles y las extensiones se midieron de acuerdo al área neta del pavimento por cada sección del proyecto, específicamente: **SECCIÓN I:** San José – Ciudad Colón que corresponde al tramo de carretera existente entre el Gimnasio Nacional en San José y el inicio de la construcción del nuevo tramo Ciudad Colón-Orotina, con una longitud de 14,20 Km, **SECCIÓN II:** Ciudad Colón – Orotina, contempla el nuevo tramo de carretera que se construyó entre esas dos localidades, con una longitud de 38,80 Km y la **SECCIÓN III:** Orotina – Caldera, es el tramo de carretera existente entre Intercambio Orotina (paso superior) y el Puerto de Caldera, con una longitud de 23,80 Km.

4.5b Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales

Sección I: San José-Ciudad Colón

Longitud (m): 14200

Área en m²: 211.870,92

Tabla 15: Resumen de deterioros superficiales detectados en la sección I.

Tipo de deterioro ¹	Nivel de severidad	% Área de la sección	Ubicación	Archivo fotográfico ²
Baches	baja	< 1%	A lo largo del tramo	A1 a A4
Desprendimientos	baja	5% - 10%	A lo largo de toda la superficie del tramo	A5, A6
Exudación	baja	< 1%	3+400 y 12+200	A7 a A9
Huecos	baja	< 1%	10+200	A10

Notas: 1. Los deterioros cuantificados en la tabla corresponden a los detectados en el momento de la evaluación con el Geo-3D y están sujetos a variaciones productos de intervenciones o falta de mantenimiento.

2. Fotografías en Anexo I.

Sección II: Ciudad Colón - Orotina

Longitud (m): 37700

Área en m²: 354.070,80

Tabla 16: Resumen de deterioros superficiales detectados en la sección II.

Tipo de deterioro ¹	Nivel de severidad	% Área de la sección	Ubicación	Archivo fotográfico ²
Baches	baja	< 1%	A lo largo del tramo	A11 a A13
Exudación	baja	< 1%	Puntual. A lo largo de toda la sección	A14 y A15

Notas: 1. Los deterioros cuantificados en la tabla corresponden a los detectados en el momento de la evaluación con el geo-3D y están sujetos a variaciones productos de intervenciones o falta de mantenimiento.

2. Fotografías en Anexo I.

Sección III: Orotina - Caldera

Longitud (m): 244000

Área en m²: 226.152,00

Tabla 17 Resumen de deterioros superficiales detectados en la sección III.

Tipo de deterioro ¹	Nivel de severidad	% Área de la sección	Ubicación	Archivo fotográfico ²
Bache	Baja	< 1%	A lo largo del tramo	A16 y A17

Notas: 1. Los deterioros cuantificados en la tabla corresponden a los detectados en el momento de la evaluación con el geo-3D y están sujetos a variaciones producto de intervenciones o falta de mantenimiento.

2. Fotografías en Anexo I.

4.5c Análisis general de resultados de la evaluación visual. Meses de agosto – setiembre 2011.

El proceso de auscultación visual por medio del geo-3D permite realizar un análisis de los deterioros superficiales encontrados en el proyecto. La presencia de deterioros estructurales es mínima en la mayoría del proyecto, encontrando valores inferiores al 1%, sin embargo, los deterioros de tipo funcional, empiezan a presentarse de forma prematura y acelerada en el proyecto, siendo el deterioro conocido como “desprendimientos” el más generalizado.

Los deterioros de tipo funcional, como el “desprendimiento” detectado, tienen impacto inmediato en aspectos relacionados con el confort, costos de operación vehicular para el usuario y la seguridad vial y en el mediano y largo plazo van evolucionando en deterioros de tipo estructural que pueden disminuir la durabilidad del proyecto (ver Figuras 61, 62 y 63).

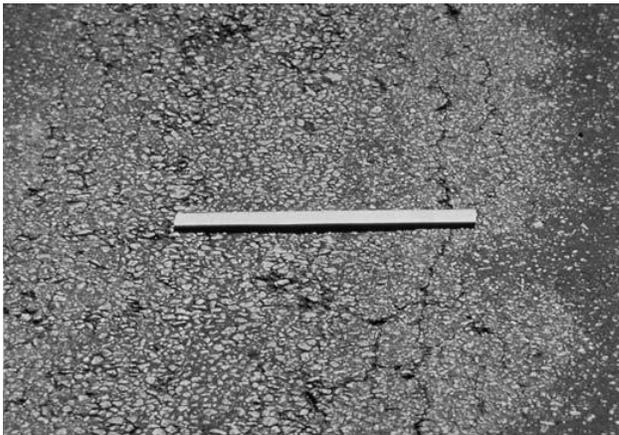


Figura 61 Desprendimiento leve



Figura 62 Desprendimiento medio



Figura 63 Desprendimiento severo

Dentro de las causas más comunes asociadas con “desprendimientos” tenemos:

- Esparcido irregular del ligante (asfalto)
- Ligante inadecuado.
- Agregado pétreo (árido) inadecuado por falta de adherencia (afinidad) en el ligante (asfalto).
- Agregado sucio, con polvo adherido.
- Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del ligante (asfalto).
- Dosificación árido (pétreo) – ligante (asfalto) inadecuada
- Colocación con lluvia o exceso de agua en la capa de apoyo, que produce delaminación.
- Compactación deficiente (si procede).
- Envejecimiento del ligante (asfalto).

El conocimiento de las posibles causas de los deterioros del proyecto es importante para que la Administración valore los trabajos de reparación que proponga el Concesionario a lo largo del periodo de explotación del proyecto, ya que todo trabajo de reparación, para que sea efectivo debe eliminar la causa del deterioro y corregir de forma integral el mismo.

5. ESTADO DE LOS TALUDES Y TERRAPLENES ADYACENTES A LA RUTA

Como parte del proyecto de evaluación, funcionarios de la Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional han efectuado un seguimiento sistemático y constante a lo largo del año 2011, evaluando el estado de los taludes, terraplenes y obras afines, para analizar la efectividad de las obras de mantenimiento que la empresa concesionaria realiza sobre esta ruta. Los sitios visitados se indican en la Figura 64.

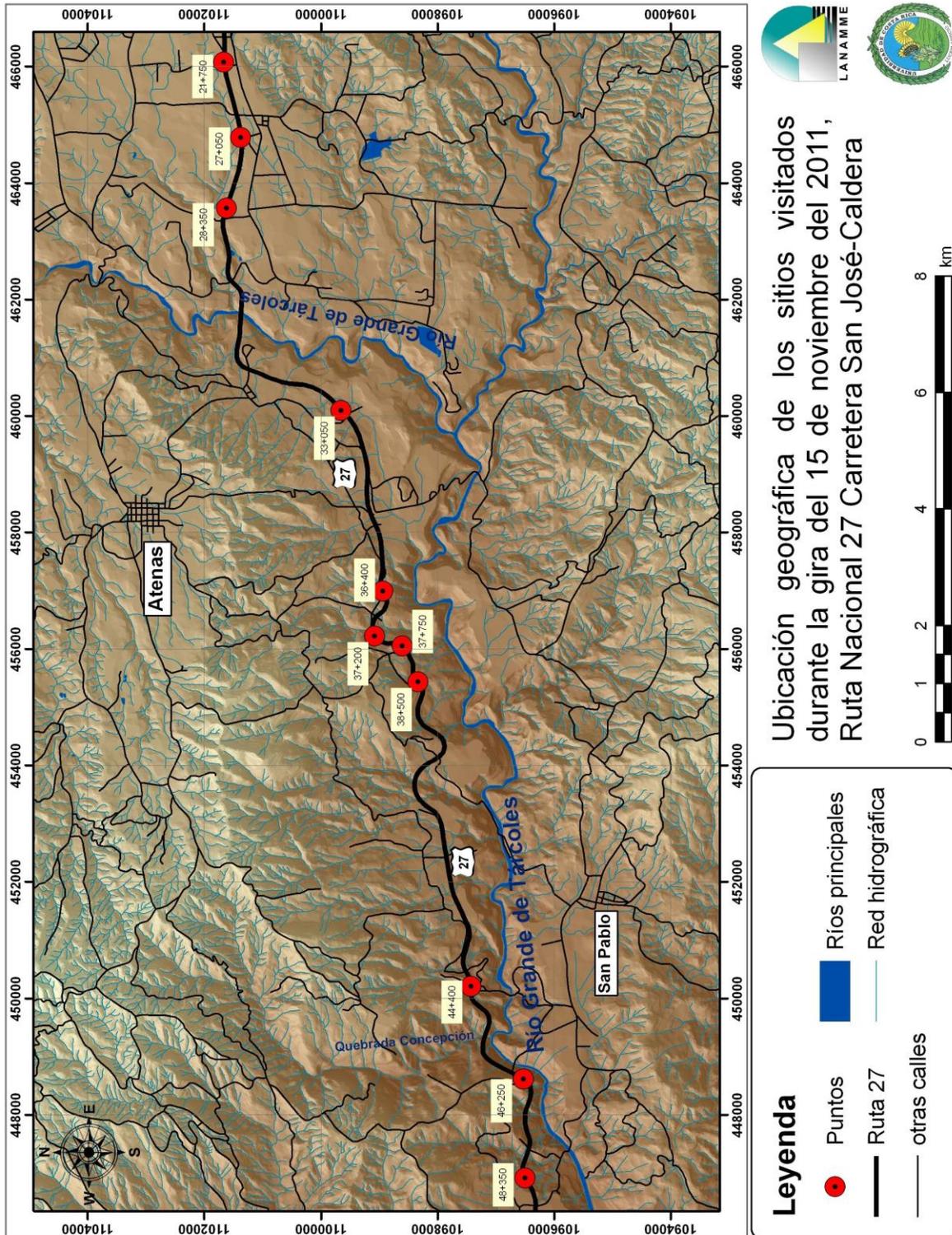


Figura 64: Sitios visitados, gira realizada el 15 de noviembre del 2011.

A continuación se detallan cada uno de los sitios visitados:

- Punto 1, estacionamiento 21+400: Representa una sección corte-corte, donde se presentó un deslizamiento y actualmente se realizan trabajos de estabilización mediante la construcción de un muro de gaviones. El talud deslizado se encuentra contiguo al paso elevado de Rincón Chiquito. En las Figuras 65 y 66 se observa el talud deslizado, que aún presenta una parte recubierta con concreto lanzado. Su falla puede atribuirse a un mal manejo de aguas en la parte superior, ya que no se encontró evidencias de cunetas.



Figura 65: Talud izquierdo sentido San José-Caldera



Figura 66: Construcción de muro de gaviones contiguo al bastión del paso elevado.

- Punto 2, Estacionamiento 25+750: Se encuentran deterioros en la superficie de rodamiento, un bache en el sentido Caldera-San José y desprendimientos en el carril de sentido San José – Caldera. El desprendimiento tiene dimensiones aproximadas de 12,70 metros de largo por 3,7 metros de ancho.



Figura 67: Deterioros en la superficie de ruedo en la estación 25+750

- Punto 3, Estacionamiento 27+050: La carpeta asfáltica presenta exudación en una longitud aproximada de 400 metros en ambos carriles; la geometría de la vía presenta pendiente en el sentido San José – Caldera. Adicionalmente, en el carril de diseño (sentido Caldera – San José) se encontró agrietamiento y una rodera de 2 centímetros de profundidad.



Figura 68: Rodera de 2 cm encontrada en el estacionamiento 27+050



Figura 69: Exudación y agrietamiento en la superficie de ruedo en el estacionamiento 27+050

- Punto 4, estacionamiento 28+350: Representa una sección transversal corte – corte con material deslizado en el talud derecho (sentido San José – Caldera), de aproximadamente 8 a 10 metros de altura. Se diferencian dos estratos de suelo, el estrato inferior es más erosionable que el estrato superior como se puede observar en la Figura 70. Existe material deslizado que obstruye las cunetas y no permite su correcto funcionamiento. Además, se observa exudación en el carril de diseño en el sentido Caldera – San José.



Figura 70: Talud derecho del estacionamiento 28+350.



Figura 71:Material obstruyendo la sección de cuneta en el estacionamiento 28+350

- Punto 5, estacionamiento 33+050: Sección que presenta corte al lado derecho de la vía en el sentido San José – Caldera. El talud está formado por material rocoso fragmentado, en el mismo se observa un deslizamiento de material, y en la base una barrera de concreto.



Figura 72:Talud de material rocoso deslizado en el estacionamiento 33+050

- Punto 6, estacionamiento 36+400: Se tiene una sección corte – corte, con un talud de aproximadamente 40 metros de altura que se está deslizando, y que ejerce un empuje sobre la estructura de la carretera, causando daños visibles, como levantamientos en la superficie de ruedo del espaldón, y agrietamientos y fracturas en las estructuras de cuneta. El talud posee contra cunetas y una tubería de desagüe en el frente; sin embargo, las contra cunetas se encuentran obstruidas por vegetación, y la tubería que baja del talud se encuentra también obstruida, pero por material del talud. Adicionalmente se observaron flujos de agua al pie del talud provenientes del cuerpo, sin ningún tipo de tubería o cuneta que los conduzca.



Figura 73: Levantamiento de la cuneta producto del empuje del talud en el lado derecho en el sentido San José – Caldera, estacionamiento 36+400



Figura 74: Talud de corte en el estacionamiento 36+400

- Punto 7, estacionamiento 37+200: Sección corte – corte con taludes de aproximadamente 12 metros de altura, se observa material deslizado del lado izquierdo (sentido San José – Caldera) y obstrucción de las cunetas con material del talud.



Figura 75: Talud izquierdo en el estacionamiento 37+200



Figura 76: Cunetas obstruidas en el estacionamiento 37+200

- Punto 8, estacionamiento 37+750: Se tiene una sección corte – corte con un talud de aproximadamente 30 metros cubierto con geotextil, al lado derecho de la vía en sentido San José – Caldera. Al igual que en el estacionamiento 36+400, una parte del talud se está deslizando hacia la carretera, provocando levantamientos en la superficie de rueda y fracturas en la cuneta. En varias zonas del talud, el geotextil se encuentra roto y permite la salida de material deslizado.



Figura 77: Geotextil dañado que permite el paso de material caído proveniente del talud del estacionamiento 37+750



Figura 78: Deterioro en la superficie de ruedo y cuneta en el estacionamiento 37+750

- Punto 9, estacionamiento 38+500: Existe una sección corte - corte donde se observa un deslizamiento del talud derecho, sentido San José – Caldera. El talud posee aproximadamente 10 a 12 metros de altura, anteriormente se encontraba recubierto de concreto lanzado y contaba con anclajes pasivos. Se puede observar gran cantidad de agua bajando por el cuerpo del talud, y las cunetas se encuentran obstruidas.



Figura 79: Talud deslizado en el estacionamiento 38+500

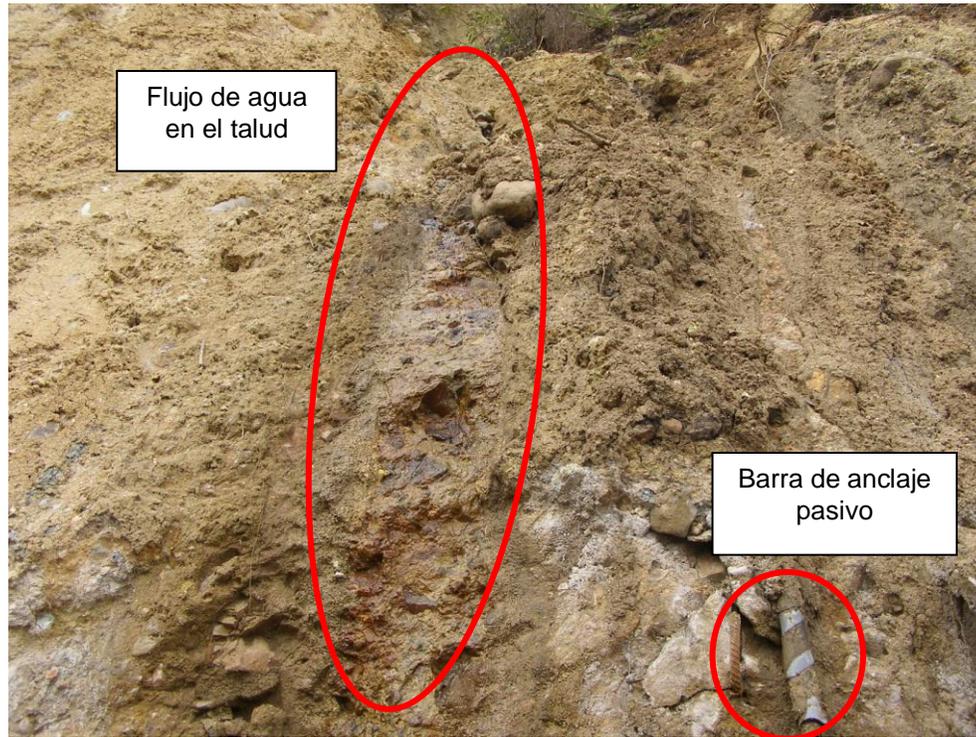


Figura 80: Flujo de agua en el cuerpo del talud y barra de anclaje pasivo presente en la zona de deslizamiento del talud ubicado en la estación 38+500.

- Punto 10, estacionamiento 44+400: Sección corte – relleno, que había sido visitada con anterioridad debido a un posible hundimiento. En esta ocasión se observan baches en varios puntos de la ruta, así como sitios con carpeta asfáltica nueva. Los desechos del recarpeteo fueron depositados en cunetas y áreas verdes contiguas a la vía. Apparently, the movement of the embankment was reactivated by the rainy season.



Figura 81: Bache ubicado en el estacionamiento 44+400



Figura 82: Desechos del bacheo depositados en la cuneta obstruyendo el flujo de agua.

- Punto 11, estacionamiento 46+250: Se tiene una sección corte - relleno con problemas en el concreto lanzado que recubre el talud, observándose fracturas del concreto así como coloraciones marrones y naranja que indican la presencia del fenómeno de hidrotermalismo, descrito en detalle en el informe LM – PI – UE – 007 – 2011 del 22 de julio del 2011. Más adelante en la vía, se observa un talud que estuvo recubierto de concreto lanzado y cuyo deslizamiento ocurrió recientemente, actualmente en este talud se realizan obras de estabilización con anclajes.

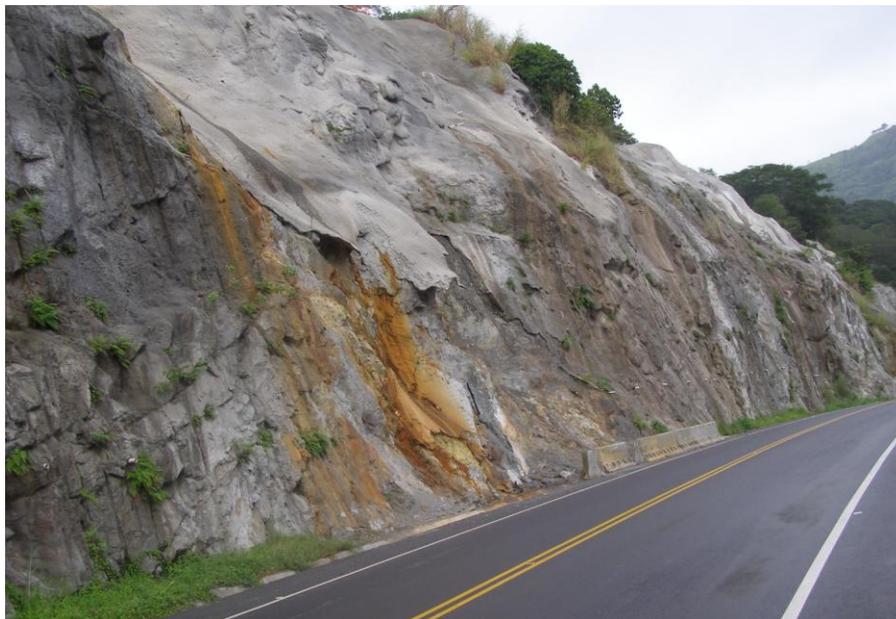


Figura 83: Deterioros en el concreto lanzado, talud del estacionamiento 46+250



Figura 84: Talud deslizado donde se realizan trabajos de estabilización, se observa parte de la cobertura de concreto lanzado que existía antes del deslizamiento

- Punto 12, estacionamiento 48+350: Se tiene una sección corte-corte con barrera de concreto al pie del talud, donde se observa la caída de material rocoso proveniente del talud derecho, que posee una altura aproximada de 15 m y gran cantidad de fracturas con sus planos de falla en dirección hacia la vía; también se observan grandes bloques caídos al pie del talud. Adicionalmente existe un levantamiento y bacheo en la superficie de ruedo.



Figura 85: Talud rocoso con gran cantidad de fracturas y material caído al pie



Figura 86: Deterioro en la superficie de ruedo, se observa levantamiento y bache en el estacionamiento 48+350 en el sentido Caldera- San José



6. CONCLUSIONES

6.1 Conclusión General

El análisis integral del pavimento en la sección de la troncal principal debe realizarse tomando en consideración la influencia de una serie de aspectos que afectan, en mayor o menor medida, la calidad general del proyecto. Se debe tomar en consideración la calidad de los materiales utilizados, es decir, el diseño de la mezcla asfáltica, el diseño estructural o de los espesores de las distintas capas del pavimento, el nivel de servicio que el pavimento brinda a los usuarios en términos de confort, costos de operación vehicular, seguridad vial y por último, el nivel de deterioro superficial. Ninguno de estos aspectos son independientes entre sí, existe una estrecha correlación entre cada uno de ellos y deben ser ponderados dentro del ámbito de un proyecto en concesión de obra pública.

De esta forma, los análisis realizados revelan un proyecto con una adecuada capacidad estructural y funcional, pero con una tendencia clara y acelerada al deterioro, esta condición se manifiesta en una pérdida significativa de la capacidad estructural (figuras 55 y 56), donde se pasa de un 0.8% del proyecto con inadecuada capacidad estructural en el 2010 a un 4.1% en esta condición para el año 2011.

Así mismo, la capacidad funcional (IRI) mostró, en esta segunda evaluación anual del proyecto, una condición aceptable y estable, prácticamente invariable a la condición mostrada en el año 2010, esta condición, analizada en concordancia con la pérdida de capacidad estructural comentada en el párrafo anterior, evidencia el efecto de la colocación de sobrecapas de mezcla asfáltica delgadas, sin o con muy poco aporte estructural. Este tipo de sobrecapas mantiene el IRI en condición estable pero no recuperan la pérdida de capacidad estructural del proyecto, convirtiéndose en labores cosméticas de poca durabilidad.

En cuanto a la resistencia al deslizamiento los resultados muestran una leve mejora de esta condición en el sentido San José – Caldera, lo cual tiene nuevamente concordancia con la colocación de sobrecapas que tienden a mejorar la capacidad de frenado de los vehículos en condición húmeda. En el sentido Caldera – San José, por el contrario, la condición empeoró significativamente mostrando mayor cantidad de tramos con condición de riesgo para el usuario de sufrir accidentes por superficies deslizantes.

El proyecto en su troncal principal requiere de intervenciones inmediatas para corregir los problemas de superficies deslizantes que se han detectado, estas intervenciones no son esperadas en estados tan tempranos de un proyecto vial. La pérdida acelerada de capacidad estructural afecta, en primera instancia, al usuario y eventualmente se transforma en una pérdida del patrimonio vial que eventualmente representará el proyecto para el país cuando termine el periodo de concesión.



6.2 Conclusiones Específicas

6.2a Sobre la condición estructural

Los resultados de la deflectometría de impacto revelan un pavimento que mantiene una buena capacidad estructural en la mayor parte del ramal principal del proyecto. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta evaluación muestran una pérdida significativa de la capacidad estructural con tan solo dos años de servicio formal, mostrando una tendencia, que de mantenerse, implicaría la necesidad de realizar intervenciones mayores para que el proyecto tenga las condiciones mínimas con las que debería ser entregado al Estado al finalizar el contrato de concesión.

6.2b Sobre la condición funcional

Los resultados de la valoración funcional del proyecto muestran un estado calificado en más de un 80% como “bueno”, estos pavimentos no son tan suaves como los “Muy Buenos”, entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria.

Un 12% de la troncal principal es calificado con valores donde la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito, aumentos en los costos de operación vehicular y disminución de la durabilidad del proyecto al aumentar el número de cargas dinámicas sobre el pavimento. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento.

Es notable como el nivel capacidad funcional es inferior en el sentido Caldera – San José, condición que es consistente con la presencia de mayores vehículos pesados que transitan en este sentido de circulación.

Sobre el desempeño del proyecto, los análisis muestran como en julio de 2011 la troncal principal del proyecto mostraba un estado casi invariable con el mostrado en la evaluación del año 2010.

6.1c Sobre la resistencia al deslizamiento como parámetros de seguridad vial

Los resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento revelan zonas de alta peligrosidad por los bajos coeficientes de rozamiento. 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 tráfico. Debido a esto, y en perspectiva dentro de un proyecto con velocidades de circulación superiores a los 90 km/h (según mediciones realizadas por LanammeUCR, octubre 2010) y en condiciones de humedad superficial, es donde las secciones denominadas como “deslizantes” o “muy deslizantes” toman una ponderación mayor en la calificación del nivel de seguridad asociado con la resistencia al



deslizamiento de los vehículos, por lo tanto, aunque la mayoría del proyecto (>80%) se encuentre en condiciones de circulación seguras, el aumento de zonas con superficies deslizantes es significativo, situación que debería ser valorada por la Administración para exigir al Concesionario intervenciones prioritarias en las secciones donde los riegos de derrape de los vehículos son altas o muy altas.

6.1d *Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica*

El proceso de auscultación visual por medio del geo-3D permite realizar un análisis de los deterioros superficiales encontrados en el proyecto. La presencia de deterioros estructurales es mínima en la mayoría del proyecto, encontrando valores inferiores al 1%, sin embargo, los deterioros de tipo funcional, empiezan a presentarse de forma prematura y acelerada en el proyecto, siendo el deterioro conocido como “desprendimientos” el más generalizado.

Los deterioros de tipo funcional, como el “desprendimiento de agregados” detectado, tienen impacto inmediato en aspectos relacionados con el confort, costos de operación vehicular para el usuario y la seguridad vial y en el mediano y largo plazo van evolucionando en deterioros de tipo estructural que pueden disminuir la durabilidad del proyecto.

6.1e *Sobre el estado de los taludes y terraplenes adyacentes a la ruta*

La evaluación de los taludes y terraplenes ha sido sujeto de una evaluación constante durante todo el año 2011. En este informe se presentan algunos aspectos muy generales que deben ser complementados con los análisis mostrados en los informes LM-PI-UE-002-2011 del 2 de marzo de 2011, LM-PI-UE-007-2011 del 22 de julio de 2011 y el informe LM-PI-008-2011 del 07 de octubre de 2011.

En relación con la estabilidad de los taludes y terraplenes, el proyecto presenta condiciones que han sido más notorias durante el año 2011, entre ellas podemos mencionar la presencia del fenómeno de hidrotermalismo ácido, el cual debilita las estructuras de los taludes, daña los materiales del concreto lanzado, tales como el acero y el concreto, convirtiéndose en un peligro latente principalmente en la sección dos del proyecto, así mismo, es muy notoria la falta de un mantenimiento adecuado de las estructuras de manejo de aguas, tales como cunetas, contracunetas y subdrenajes, lo cual ha contribuido al debilitamiento de los taludes.



6.3 Recomendaciones

Como recomendaciones se plantea al Consejo Nacional de Concesiones (CNC) la necesidad que se evalúe y analice de forma oportuna la factibilidad y viabilidad técnica y legal de ejecutar las siguientes acciones:

6.3a *Sobre la evaluación funcional, estructural, resistencia al deslizamiento y de deterioro superficial del proyecto*

- Ordenar al Concesionario realizar intervenciones tempranas del tipo sellos de lechadas asfálticas o similares (slurry seals, fog seals, chip seals o microsurfacing) en aquellas zonas con deterioros de tipo funcional y problemas relacionados con la baja resistencia al deslizamiento, con el fin de detener la propagación de los deterioros detectados y las condiciones de inseguridad vial, así como la eventual pérdida de capacidad funcional o estructural del proyecto, sin dejar de lado la necesidad de realizar el consecuente trabajo de señalización horizontal (pintura) que surge luego de este tipo de intervenciones correctivas.
- Prever cualquier disminución de los estándares de calidad del proyecto, mediante un análisis de modelos de deterioro obtenidos con los datos de las evaluaciones anuales del proyecto, con el fin de detectar a tiempo pérdidas en la calidad del proyecto y exigir al concesionario las acciones preventivas correspondientes que garanticen al Estado Costarricense obtener un proyecto de altos estándares al final del periodo de concesión.

6.3a *Sobre el estado de los taludes y terraplenes adyacentes a la ruta*

- Se recomienda a la Administración y al Consejo Nacional de Concesiones, aplicar los mecanismos contractuales que procedan, con el fin de recomendar al concesionario a mejorar el mantenimiento de las obras de contención de taludes a lo largo de todo el proyecto, especialmente en los puntos mencionados en el desarrollo de este informe.



6.4 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.
- 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. 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.
- Castro, K. (2005). *Vulnerabilidad física de la infraestructura vial en las Rutas 130, 712, 146, 120 y 126 Tramo Alajuela-Fraijanes-Vara Blanca-San Miguel de Sarapiquí*. Informe de Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- Hazuz. (1997). *Hazards U.S.* Estados Unidos: Federal Emergency Management Agency & National Institute of Building Science.
- LanammeUCR. (2000). *Metodologías para la evaluación del riesgo asociado con eventos sísmicos*. Memorias de taller: Metodologías de análisis de vulnerabilidad de corredores viales ante sismo y lluvias intensas. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica.



ANEXO I

Archivo fotográfico de deterioros

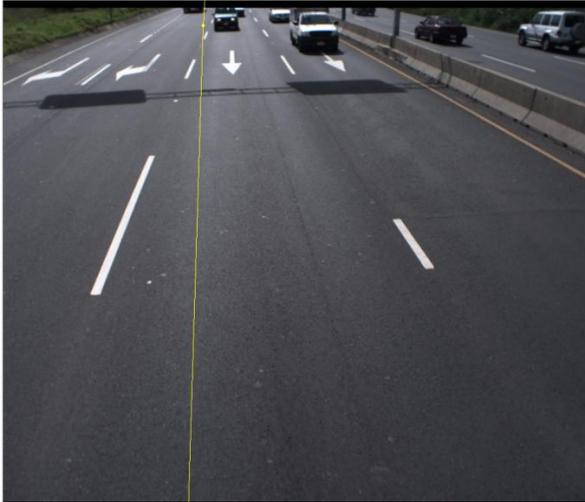


Figura A1 Bache Est. 3+050



Figura A2 Bache Est. 3+850



Figura A3 Bache Est. 4+975



Figura A4 Bache Est 7+550



Figura A5 Desprendimiento Est. 10+050



Figura A6 Desprendimiento Est. 12+800



Figura A7 Exudación Est. 3+400



Figura A8 Exudación Est. 8+000



Figura A9 Exudación Est. 12+200

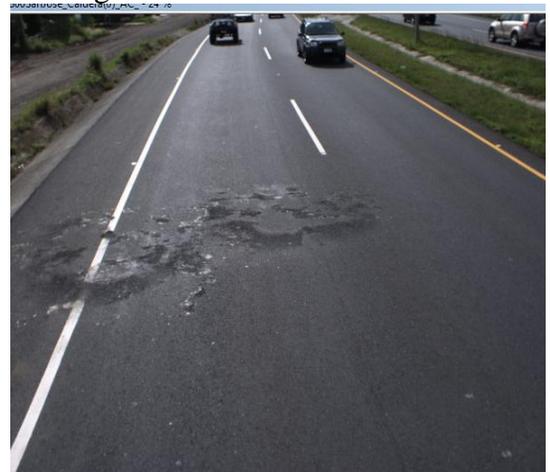


Figura A10 Huevo Est. 10+200

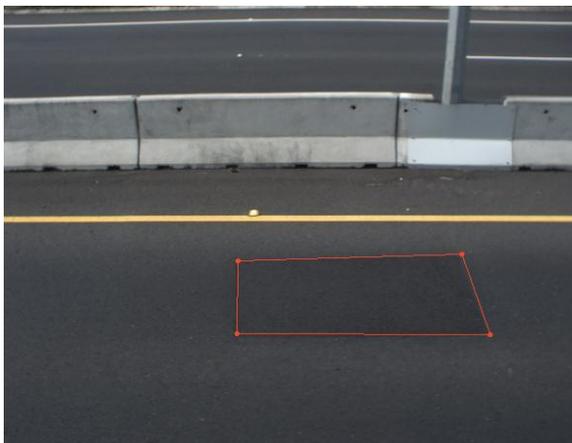


Figura A11 Bache Est. 14+200

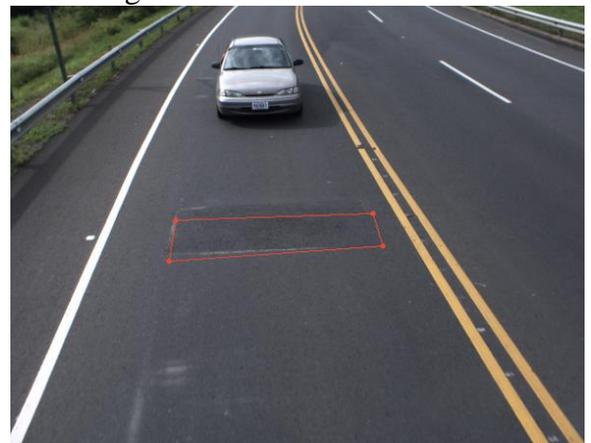


Figura A12 Bache Est. 15+250



Figura A13 Bache Est 41+050



Figura A14 Exudación Est. 30+700

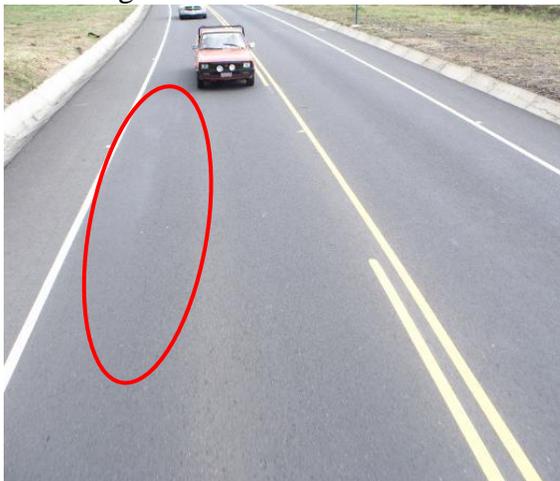


Figura A15 Exudación Est. 32+750



Figura A16 Bache Est. 52+000



Figura A17 Bache Est. 76+000