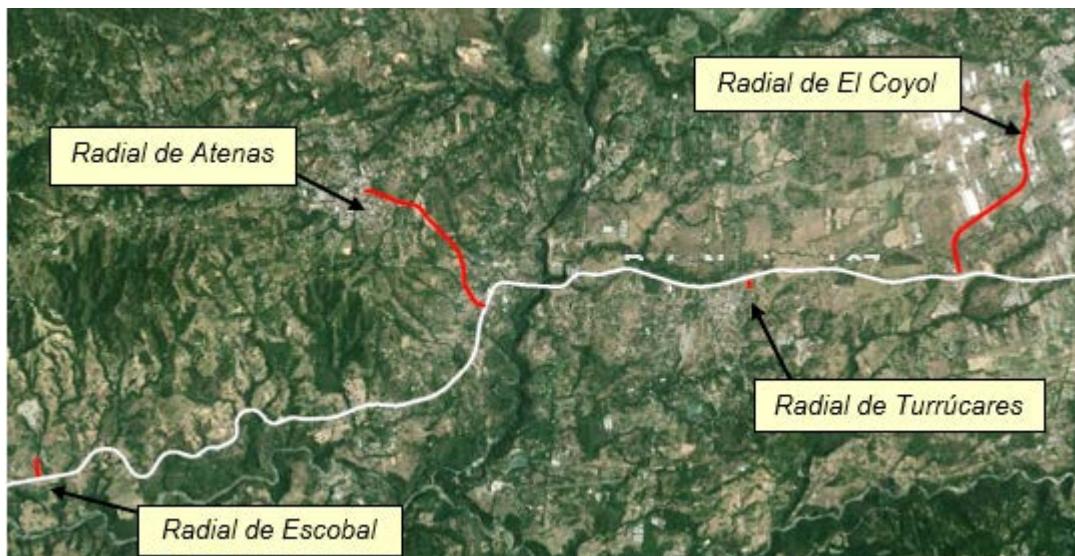




LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Informe EIC-Lanamme-INF-0969-2025

INFORME DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSE – CALDERA RUTA NACIONAL 27 AÑOS 2024 – 2025



Unidad de Evaluación y Gestión de la Red Vial Nacional
Programa de Ingeniería del Transporte

San José, Costa Rica
18 de noviembre de 2025

Página intencionalmente dejada en blanco



Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27 Años 2024 – 2025 Informe de Evaluación		Fecha de la inspección 2024 – 2025
Palabras clave Ruta 27, indicadores, concesión	Ruta Nacional 27 y las radiales: El Coyol, Turrúcares, Atenas, Escobal	
Preparación Ing. Cristian Valverde C. M.Sc. PMP®, SMC™ UGERVN-PITRA	Preparación Ing. José Francisco Garro M., M.Sc, PMP® UGERVN	
Revisión legal Lic. Giovanni Sancho Sanz Unidad de Asesoría Legal LanammeUCR	Revisado y aprobado Ing. Roy Barrantes Jiménez M.Sc, PMP® Coordinador UGERVN	Revisado y aprobado Ing. Ana Luisa Elizondo Salas M.Sc. Coordinadora General PITRA

Notas

- Este informe tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del director del LanammeUCR.
- Este documento se generó con base en el Art. 6, inciso "d" de la ley 8114 según la reforma aprobada en la ley 8603. Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

Página intencionalmente dejada en blanco

Resumen ejecutivo

Bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar una evaluación anual de las carreteras administradas bajo la modalidad de concesión de obra pública, cumpliendo la función de ser un instrumento eficaz, objetivo e imparcial contribuyendo a garantizar la calidad y el mantenimiento de los niveles de servicio del patrimonio vial en manos de empresas concesionarias. En este informe se evalúa la condición actual de la Concesión de Obra Pública Ruta Nacional 27 Carretera San José – Caldera para el periodo 2024 – 2025.

Para valorar de forma objetiva la calidad y desempeño de un proyecto en concesión y el mantenimiento de los niveles de servicio a lo largo de la vida útil del mismo, es necesario contar con especificaciones técnicas que definan estándares mínimos de calidad. En el caso de especificaciones contractuales, en un estudio anterior se identificó poca exigencia o ambigüedad en los parámetros, equipos o procedimientos de medición.

La *Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del Programa de Infraestructura de Transporte del 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 están relacionados directamente con la vida útil o de servicio del proyecto, con el costo de operación de la flota vehicular que por allí circula y con los niveles de seguridad vial que se brindan. Para el análisis de la capacidad estructural, 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 del paquete estructural del pavimento. Para el análisis de la capacidad funcional, se utilizó el *Perfilómetro Láser*, que mide las irregularidades superficiales (*IRI*) de las vías, asociadas tanto al confort percibido por los usuarios, como con los costos de operación de los vehículos que circulan por un tramo de ruta.

En el tema de seguridad vial, se usaron dos equipos para medir la condición de deslizamiento de la superficie del pavimento, conocidos por su nombre en inglés como GripTester y el

MuMeter: ambos equipos miden el coeficiente de fricción del pavimento en mojado (condición crítica), lo cual se relaciona con el nivel de peligrosidad o accidentabilidad de un tramo de ruta.

Con el Equipo de Imágenes Georreferenciadas de Alta Resolución, se realizó un levantamiento completo tanto de la troncal principal, como de las radiales del proyecto, lo cual permite tener un registro histórico del estado de la ruta al momento de dicha evaluación, así como la obtención de la ubicación, tipo y severidad de ciertos deterioros que afectan su superficie.

Por último, es de interés de esta institución conocer su opinión sobre el servicio y producto recibido, por lo que le instamos a realizar la “Encuesta de satisfacción de los servicios brindados por el Organismo de Inspección del LanammeUCR”, la cual puede ser llenada mediante el siguiente enlace: <https://forms.office.com/r/SJ73aKhKDe>.



Página intencionalmente dejada en blanco



Índice de contenido	Resumen ejecutivo	5
1.	Introducción	17
1.1	Definiciones.....	20
1.2	Convenciones y unidades (para uso uniforme en el informe)	22
2.	Objetivos.....	23
3.1	Objetivo general	23
3.2	Objetivos específicos.....	23
3.	Alcance del informe	23
4.	Descripción general	24
5.	Metodología/Criterios de evaluación	25
6.	Resultados de la evaluación	28
7.1	Capacidad estructural, deflexiones obtenidas mediante el FWD, troncal principal	28
7.1.1	Equipo utilizado y criterios de clasificación	28
7.1.2	Resultados obtenidos, mes de septiembre del 2024.....	29
7.2	Capacidad funcional, condición según regularidad superficial (IRI) y roderas en la troncal principal	34
7.2.1	Equipo utilizado y criterios de clasificación	34
7.2.2	Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI)	36
7.2.3	Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad funcional con el Perfilómetro Láser.	41
7.3	Resultados obtenidos del coeficiente de rozamiento de pavimentos, troncal principal	
	41	

7.3.1	Equipo utilizado y criterios de clasificación	41
7.3.2	Grip Tester	42
7.3.3	Mu Meter	44
7.3.4	Resultados de coeficiente de rozamiento con el GripTester y MuMeter.....	44
7.4	Análisis de Notas de Calidad Q, troncal principal, años 2022 – 2024	51
7.5	Comparación de indicadores en la troncal principal, años 2012 al 2024.....	62
7.5.1	Evaluación con el Deflectómetro de Impacto	62
7.5.2	Evaluación con el Perfilómetro Láser.....	64
7.5.3	Evaluación del coeficiente de rozamiento superficial con el Grip Tester	66
7.6	Comparación de las notas Q obtenidas para la Ruta 27, años 2012 al 2024.....	68
7.7	Análisis de la condición superficial. Evaluaciones realizadas en setiembre 2024 .	72
7.7.1	Equipo utilizado y criterios de clasificación	72
7.7.2	Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales.	72
7.7.3	Comparación de resultados entre los años 2014 - 2024 de la evaluación visual de deterioros superficiales.	75
7.	EVALUACIÓN DE LAS RADIALES.....	80
8.1	Aspectos Generales	80
8.2	Resultados obtenidos: Capacidad Estructural	81
8.3	Resultados obtenidos: Condición Funcional	82
8.4	Notas de Calidad Q para las radiales	83
8.5	Resultados obtenidos: Coeficiente de Fricción	85
8.6	Resultados obtenidos: análisis de deterioros superficiales	88



8.7 Comparación de la condición de las radiales, campañas 2013 – 2024.....	90
8.7.1 Evaluación con el deflectómetro de impacto.....	90
8.7.2 Evaluación con el perfilómetro láser superficial	94
8.7.3 Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial	102
8.7.4 Evaluación visual de Deterioro Superficial.....	108
8. Modelos de Deterioro.....	113
9.1 Aplicación del Modelo de Deterioro	113
9.2 Análisis de Resultados	119
9. CONCLUSIONES	121
10.1 Conclusión General	121
10.2 Conclusiones Específicas.....	122
10.2.1 Sobre la condición funcional	122
10.2.2 Sobre la resistencia al deslizamiento	123
10.2.3 Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica	124
10.2.4 Sobre las notas de calidad y las estrategias de intervención	124
10.2.5 Sobre los Modelos de Deterioro.....	125
10. RECOMENDACIONES.....	125
11.1 Sobre la evaluación funcional y de deterioro superficial del proyecto	125
11.2 Sobre la evaluación de las radiales	125
11. Referencias	126
12. Anexos	131
13.1 Anexo I: Resultados obtenidos con el Deflectómetro de Impacto	132



13.2	Anexo II: Resultados obtenidos Perfilómetro Láser	141
13.3	Anexo III: Resultados obtenidos Medidor de Agarre Superficial	150
13.4	Anexo IV: Resultados Obtenidos Notas de Calidad Q	167
13.5	Anexo V Resultados obtenidos para cada uno de los parámetros evaluados en las Radiales	176
13.6	Anexo VI Modelo de Deterioro para la Ruta Nacional 27 San José – Caldera	193
13.	Transitorio.....	202

Índice Figuras

Figura 1:	Diagrama de la evaluación del proyecto San José – Caldera Ruta 27, años 2024 - 2025.	19
Figura 2.	Estado general de la capacidad estructural por medio de deflexiones en sentido San José – Caldera, campaña 2024 – 2025.	31
Figura 3.	Ubicación de algunos tramos con deflexiones moderados, altas y bajas, sentido San José - Caldera.	32
Figura 4.	Estado general de la capacidad estructural sentido Caldera – San José, según los valores de deflexión FWD obtenidos, campaña 2024 – 2025.....	33
Figura 5.	<i>Ubicación de algunos tramos con deflexiones moderadas y bajas, sentido Caldera – San José.....</i>	34
Figura 6.	Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido San José – Caldera.	38
Figura 7.	Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido Caldera – San José.	38
Figura 8.	Ubicación de tramos con un IRI entre moderado y bajo. A) sentido San José - Caldera, B) sentido Caldera - San José.....	40
Figura 9.	Grip Tester.....	42
Figura 10.	Mu Meter.....	44

Figura 11. Resultados de las pruebas de A) Grip Tester y B) Mu Meter. Nota: Los rangos del Mu Meter corresponden a los indicados en el contrato.	46
Figura 12. Resultados de las pruebas de a) Grip Tester y b) Mu Meter.....	47
Figura 13. Ubicación de tramos con valores de fricción de poco deslizante a muy deslizante (Grip Tester). A) sentido San José – Caldera, B) Caldera – San José.	48
Figura 14. Ubicación de tramos con valores de fricción que cumplen o incumplen con el contrato (Mu Meter). A) sentido San José – Caldera, B) sentido Caldera – San José.....	49
Figura 15. Distribución de las Notas de Calidad Q para la troncal principal. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José.	52
Figura 16. Agrupación de las notas de calidad para definición de estrategias generales de intervención.	55
Figura 17: Distribución de las Notas de Calidad Q para la troncal principal. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José.	56
Figura 18. Ubicación de tramos con Notas de Calidad entre Q1 – Q3, y Q5. A) Sentido San José – Caldera, B) sentido Caldera – San José.....	58
Figura 19: Posibilidades de intervención en función de la Nota Q.....	59
Figura 20. Distribución de las labores de rehabilitación en porcentajes, en la troncal principal, A) San José – Caldera, B) Caldera – San José. Según resultados del Grip Tester.....	61
Figura 21. Resultados obtenidos en la evaluación de las deflexiones del pavimento para las campañas 2012 al 2024 de la Ruta Nacional 27.	63
Figura 22. Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento	65
Figura 23. Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento para las campañas 2012 al 2024, sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27	65



Figura 24. Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2012 al 2024, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27	67
Figura 25. Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2012 al 2023 sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27	67
Figura 26. Resultados obtenidos en la comparación de Notas Q para las campañas 2012 al 2024. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José.....	69
Figura 27. Resultados obtenidos en la comparación de estrategias de intervención para las campañas 2012 al 2024. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José.....	71
Figura 28. Resultados de deterioros, A) sentido San José – Caldera, B) sentido Caldera – San José.....	73
Figura 29. Sellos de grietas.....	74
Figura 30. Comparación de deterioro superficial 2014 al 2024 en el Sentido San José - Caldera.....	76
Figura 31. Cantidad de deterioro entre el 2014 al 2023 en el Sentido San José - Caldera..	77
Figura 32. Comparación de deterioro superficial 2014 al 2023 en el Sentido Caldera - San José. a) Deterioros tipo área; b) Deterioros tipo grieta.....	78
Figura 33. Comparación de deterioro superficial 2014 al 2023 en el Sentido Caldera - San José.....	79
Figura 34. Ubicación de las radiales en la Ruta Nacional 27.....	81
Figura 35. Resultados obtenidos con el Deflectómetro de Impacto, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada categoría.	82
Figura 36. Resultados obtenidos con el Perfilómetro Láser, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.	83



Figura 37. Notas Q para las Radiales.....	85
Figura 38. Resultados obtenidos con el GripTester, para las radiales del proyecto concesionado,.....	87
Figura 39. Resultados obtenidos con el MuMeter, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes	87
Figura 40. Distribución de deterioros en las radiales con área deteriorada por radial, Ruta Nacional 27.....	89
Figura 41. Comparativo Deflexiones de Radial El Coyol años 2013-2024.....	91
Figura 42. Comparativo Deflexiones de Radial Turrúcares años 2013-2024.....	92
Figura 43. Comparativo Deflexiones de Radial Atenas años 2013-2024.....	93
Figura 44. Comparativo Deflexiones de Radial Escobal años 2013-2024.	94
Figura 45. Comparativo Regularidad Superficial de Radial El Coyol años 2013-2024.....	98
Figura 46. Comparativo Regularidad Superficial de Radial Turrúcares años 2013-2024....	99
Figura 47. Comparativo Regularidad Superficial de Radial Atenas años 2013-2024.....	100
Figura 48. Comparativo Regularidad Superficial de Radial Escobal años 2013-2024.	101
Figura 49.	105
Figura 50. Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial Turrúcares 2013-2024.	106
Figura 51.	107
Figura 52. Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial Escobal 2013-2024.	108
Figura 53. Condición superficial en Radial El Coyol.	109
Figura 54. Condición superficial en Radial Turrúcares.	110



Figura 55. Condición superficial en Radial Atenas	111
Figura 56. Condición superficial en Radial Escobal.....	112
Figura 57. Ejemplo de curva obtenida a partir de los datos del PSI.....	114
Figura 58. Gráfica ejemplo PSI vs Año, e IRI vs Año.	115
Figura 59. Modelo de deterioro para el tramo 1, sentido San José - Caldera.	117
Figura 60. Modelo de deterioro para el tramo 1, sentido Caldera - San José.	118
Figura 61. Concepto del PSI, y el respectivo cambio del valor con el tiempo para un pavimento (línea negra), contra valores umbral (líneas horizontales).....	119

Índice de Tablas

Tabla 1. Rangos de deflexión, utilizados para clasificar los datos de deflectometría del proyecto.....	29
Tabla 2. Deflexiones FWD obtenidas para el sentido San José - Caldera, campaña 2024 - 2025.	30
Tabla 3. Deflexiones FWD obtenidas para el sentido Caldera – San José, campaña 2024 – 2025.	32
Tabla 4. Rangos de clasificación del Índice de Regularidad Internacional (IRI).	35
Tabla 5. Resultados obtenidos en regularidad superficial, Ruta 27.....	37
Tabla 6. Clasificación internacional del pavimento según el GN.....	43
Tabla 7. Resultados obtenidos con el GripTester.	45
Tabla 8. Resultados obtenidos con el MuMeter.....	45
Tabla 9. Rango de aplicación del Modelo para el cálculo del PSI Costa Rica.....	113
Tabla 10.	114
Tabla 11. Año en el que el PSI alcanza el valor de 3,0 (umbral de rehabilitación mayor). 120	

Página intencionalmente dejada en blanco

1. Introducción

Según se establece en el artículo 5 de la Ley No. 8114 sobre la *Simplificación y Eficiencia Tributarias*, “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 de evaluación que se enmarca en las funciones de fiscalizador que la citada ley le confiere al *LanammeUCR*. El trabajo realizado tiene, como uno de los puntos de partida, el levantamiento y la obtención de datos realizados por parte del Laboratorio de Evaluación de Pavimentos con los distintos equipos de alta tecnología, así como profesional y técnicos altamente capacitados, con los que cuenta el *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 su gestión volverá a manos de la Administración; y
2. Que el Estado o el ente encargado de fiscalizar el cumplimiento contractual, tenga acceso o cuente 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.

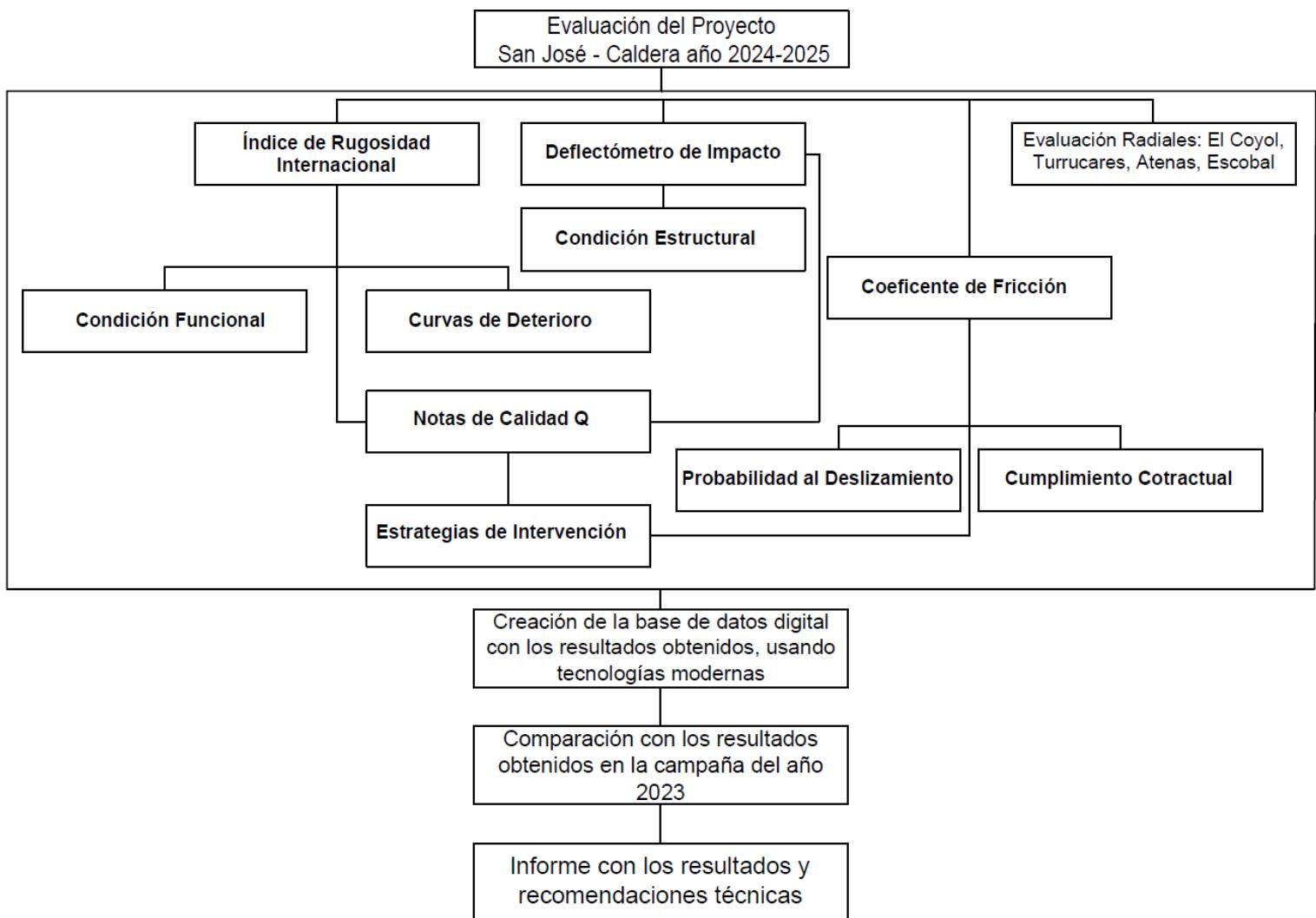
El *LanammeUCR* ha evaluado este proyecto desde el año 2010, lo que representa una experiencia de aproximadamente 1.971 km acumulados evaluados (sumatorio de km evaluados para todos los parámetros considerados) hasta el año 2023 con equipos de alta tecnología, lo cual garantiza un alto nivel de profesionalismo y calidad en la evaluación de proyectos de este tipo. Cabe destacar que la principal diferencia entre evaluar un proyecto en

concesión en comparación con 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. 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 50 metros).

Tomando en consideración lo explicado anteriormente, la evaluación realizada en este proyecto se representa en el siguiente esquema operativo (Figura 1):

Figura 1:

Diagrama de la evaluación del proyecto San José – Caldera Ruta 27, años 2024 - 2025.



La evaluación considera, a parte de la principal (troncal), las siguientes radiales:

- Radial El Coyol de Alajuela (4,1 km)
- Radial Turrúcares (0,1 km)
- Radial Atenas (3,30 km)
- Radial Escobal (0,30 km)

Los mismos equipos y parámetros de evaluación aplicados a la troncal principal, fueron utilizados en la evaluación de estas radiales.

1.1 Definiciones

Alcance: Este glosario aplica al corredor Ruta 27 (San José – Caldera) y a sus radiales, para el período de evaluación 2024–2025. Los términos se presentan en orden alfabético.

Aforo (de tránsito): Conteo de vehículos en un punto o tramo durante un intervalo determinado. Suele emplearse para estimar demanda y programar conservación. (*Unidad: veh/h; veh/día*).

Ahuellamiento (Rutting): Deformación permanente en forma de depresión longitudinal en la huella de rodadura, asociada a la mezcla asfáltica y/o capas granulares. (*Unidad: mm; medición típica: láser transversal o regla/galga*).

Bache / Bacheo: Bache: pérdida localizada de material en la superficie de rodadura. Bacheo: intervención puntual para reponer material y restituir funcionalidad y seguridad.

Base / Subbase / Subrasante: Capas estructurales del pavimento flexible: Base (granular o tratada) sobre Subbase, apoyadas en Subrasante (suelo de fundación). Su rigidez condiciona las deflexiones y el desempeño.

Carril / Sentido: Carril: franja longitudinal destinada a la circulación de una fila de vehículos. Sentido: dirección de operación (p. ej., San José → Caldera o Caldera → San José).

Capa de rodadura (Carpeta asfáltica): Capa superior del pavimento que provee contacto neumático-superficie, textura, impermeabilidad y parte de la capacidad estructural.



Coeficiente de fricción (longitudinal): Indicador adimensional de resistencia al deslizamiento en condición húmeda, medido con equipos como GripTester (GN) o MuMeter (Mu). Se utiliza para clasificar el nivel de seguridad y verificar criterios contractuales. (*Sin unidad; resultado en GN o Mu*).

Contrato / Criterio de aceptación: Parámetros y umbrales definidos en el contrato para verificar cumplimiento de condición y/o desempeño (p. ej., fricción mínima, IRI máximo, límites de deflexión).

Deflectómetro de impacto (FWD): Equipo que aplica una carga para simular el paso de una rueda y registra la curva de deflexiones mediante geófonos. Permite inferir la capacidad estructural y/o retrocalcular módulos. (*Unidad de deflexión: μm o mm*).

Deflexión (basin): Respuesta vertical del pavimento ante la carga del FWD en distintos offsets; se usa para diagnosticar rigidez de capas y priorizar intervenciones.

Drenaje (superficial y subsuperficial): Conjunto de elementos que evacúan el agua de la calzada y de la estructura (cunetas, obras de paso, subdrenes). Condiciona seguridad (hidroplaneo) y vida útil.

Fricción (seguridad vial): Ver Coeficiente de fricción. Indicador crítico de seguridad en mojado. La clasificación se realiza con base en GN (Grip Number) o Mu, conforme al criterio contractual de la campaña.

FWD (Falling Weight Deflectometer): Véase **Deflectómetro de impacto**.

GN (Grip Number): Índice de fricción obtenido con GripTester bajo condición húmeda. Escala adimensional utilizada para clasificar el riesgo de deslizamiento conforme a tablas de referencia y contrato.

GripTester: Equipo remolcado para medición de fricción en pavimento húmedo, que reporta GN (Grip Number). (*Sin unidad*).

IRI (Índice de Regularidad Internacional): Medida de rugosidad longitudinal derivada del perfil de la superficie. Valores bajos implican mayor comodidad y menor costo de operación. (*Unidad: m/km ; calculado a partir de perfilómetro láser u otros dispositivos equivalentes*).

Láser / Perfilómetro láser: Sensor óptico que captura el perfil longitudinal y/o transversal de la superficie con alta resolución para calcular IRI y profundidades (p. ej., ahuellamiento). (*Unidad de muestreo: mm; salida: m/km, mm*).

Mu (Mu Number): Índice de fricción obtenido con MuMeter en mojado.

MuMeter: Equipo de medición de fricción en pavimento húmedo que reporta Mu. (*Sin unidad*).

PSI (Índice de Servicio Presente): Indicador de servicialidad del pavimento (capacidad de brindar confort y funcionalidad) estimado a partir de variables como IRI y deterioro. (*Adimensional; 0–5 típicamente*).

Sección / Tramo / Corredor: Corredor: conjunto continuo de la vía principal y radiales. Tramo: porción con límites definidos (p. ej., por kilometraje o hito operacional). Sección: subdivisión homogénea y/o de longitud fija utilizada para análisis y reporte.

Textura (micro/macro): Condición superficial relacionada con el contacto neumático-pavimento. Microtextura: asperidad fina (agarre a baja velocidad). Macrotextura: relieve grueso (drenaje y agarre a mayor velocidad). (*Parámetros usuales: MPD/MTD; mm*).

Ventana/campaña de auscultación: Periodo en el que se ejecutan las mediciones (perfil, fricción, FWD, inspección visual). Debe especificarse para asegurar consistencia temporal entre texto, tablas y figuras.

1.2 Convenciones y unidades (para uso uniforme en el informe)

- **Sistema métrico (SI):** coma como separador decimal (p. ej., 1,5 m; 2,0 m/km).
- **IRI:** en **m/km** (no “m / km”); indicar método/equipo.
- **Fricción (GN/Mu):** equipo (GripTester/MuMeter), condición (mojado), velocidad de ensayo cerca de 50km/h y criterio contractual aplicado.
- **Deflexiones FWD:** expresar en mm^{-4} .

2. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el desempeño del proyecto en concesión San José – Caldera, Ruta Nacional 27, en el plazo comprendido entre julio del 2024 y junio 2025, cuantificando de manera sistemática su evolución a lo largo del tiempo. Esta evaluación se realiza con el propósito de brindar a la Administración, información oportuna y confiable que permita complementar los controles de fiscalización que son también potestad del Estado.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad de soporte estructural de los pavimentos construidos, con el *Deflectómetro de Impacto* y clasificarla según rangos de estado.
- Evaluar el estado de la regularidad superficial y roderas del pavimento del proyecto concesionado con el *Perfilómetro Láser* y clasificarlo en rangos de estado.
- Evaluar el coeficiente de rozamiento de la superficie de los pavimentos en el proyecto concesionado, con los *Medidores de Coeficiente de Rozamiento*.
- Evaluar para la troncal y sus radiales la condición superficial de aquellos deteriorados que puedan medirse adecuadamente a través de imágenes digitales georreferenciadas.
- Comparar técnicamente las condiciones actuales del estado del proyecto concesionado con aquellas obtenidas en años anteriores.
- Elaborar curvas de deterioro que permitan extrapolar la condición en que se podría encontrar la carretera en años futuros, según las tendencias obtenidas con base en las evaluaciones de la condición funcional realizadas a la fecha.
- Mantener una base de datos actualizada de los parámetros técnicos del proyecto, que sea útil para la planificación de obras destinada al mejoramiento de la vía.

3. Alcance del informe

El presente informe abarca la evaluación técnica y funcional de la Ruta Nacional 27 San José – Caldera, incluyendo la troncal principal y sus cuatro radiales (El Coyol, Turrúcares, Atenas y Escobal), bajo el modelo de Concesión de Obra Pública, correspondiente al periodo julio 2024 – junio 2025. El análisis se enfoca en verificar el cumplimiento de los niveles de servicio

y las condiciones operativas del proyecto, conforme a las obligaciones contractuales y los principios técnicos establecidos internacionalmente.

La evaluación considera los siguientes componentes:

- **Capacidad estructural del pavimento**, mediante el uso del Deflectómetro de Impacto (FWD).
- **Condición funcional**, evaluada con el Perfilómetro Láser para determinar el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y la profundidad de roderas.
- **Condición de seguridad vial**, a través de la medición del coeficiente de fricción en pavimento mojado, utilizando GripTester y MuMeter.
- **Análisis superficial**, mediante el levantamiento con cámaras georreferenciadas de alta resolución para identificar y clasificar deterioros visibles.
- **Evaluación de curvas de deterioro**, que permiten establecer proyecciones de condición futura de los pavimentos.
- **Comparación interanual**, con datos históricos obtenidos desde 2010, lo cual brinda una base sólida para el análisis de tendencias y comportamiento del pavimento.

Asimismo, este informe proporciona insumos técnicos que respaldan la labor fiscalizadora del Estado, facilitando la toma de decisiones en cuanto a mantenimiento, conservación y gestión de activos viales concesionados.

4. Descripción general

Este documento constituye el informe técnico de evaluación del proyecto vial San José – Caldera, Ruta Nacional 27, correspondiente al ciclo 2024 – 2025. Fue elaborado por la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN) del LanammeUCR, conforme al mandato de fiscalización anual que establece el artículo 6 de la Ley No. 8114.

Se presenta un análisis integral que combina parámetros estructurales, funcionales y de seguridad vial, así como un inventario visual detallado de deterioros, utilizando tecnología

avanzada y personal especializado. El informe incluye, además, una caracterización técnica de las condiciones actuales y su comparación con campañas anteriores, lo que permite establecer el comportamiento del pavimento en el tiempo.

Este enfoque integral busca garantizar la trazabilidad y transparencia de los datos, sirviendo como base para evaluar el cumplimiento contractual del concesionario y apoyar a la Administración en su rol de supervisión y control del patrimonio vial nacional.

5. Metodología/Criterios de evaluación

La metodología empleada para la evaluación de la Ruta Nacional 27 durante el periodo 2024 – 2025 se fundamenta en el uso de tecnologías avanzadas y criterios técnicos reconocidos internacionalmente, con el fin de garantizar una valoración objetiva, sistemática y reproducible del estado del proyecto en concesión. A continuación, se describen los principales procedimientos y criterios empleados:

- **5.1 Capacidad estructural – Deflectómetro de Impacto (FWD)**

Se realizaron mediciones de deflexiones del pavimento utilizando el FWD, el cual aplica una carga impulsiva que simula el paso de un eje de carga vehicular.

- **Frecuencia de muestreo:** Cada 50 m.
- **Variables evaluadas:** Deflexión máxima.
- **Criterios de clasificación:** Se aplicaron rangos de referencia que permiten clasificar la capacidad estructural en estados de "Bajas", "Moderadas", "Altas" o "Muy Altas".

- **5.2 Condición funcional – Perfilómetro Láser**

Se evaluó la regularidad superficial del pavimento mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) y la profundidad de roderas.

- **Frecuencia de muestreo:** Cada 100 metros, en ambos sentidos.
- **Variables evaluadas:** IRI (m/km), profundidad de roderas (mm).



- **Rangos de estado para IRI:**

- Muy buena: $\leq 1,0$ m/km
- Buena: $1.0 - 1,9$ m/km
- Regular: $1.9 - 3,6$ m/km
- Deficiente: $3.6 - 6,4$ m/km
- Muy Deficiente: $> 6,4$ m/km

- **5.3 Seguridad vial – Coeficiente de fricción (GripTester y MuMeter)**

Se midió el coeficiente de fricción en condiciones húmedas como indicador del nivel de seguridad para los usuarios.

- **Frecuencia de muestreo:** Cada 10 m en ambos carriles.
- **Equipos utilizados:** GripTester y MuMeter.
- **Criterios de clasificación:** Según valores de fricción GN (GripNumber) se clasifican los tramos como: "No Deslizante", "Poco deslizante", "Deslizante", "Muy Deslizante". Según los valores de fricción Mu (MuMeter), se clasificaron los tramos en dos categorías: "Dentro de Contrato", "Fuera de Contrato".
- **5.4 Condición superficial – Evaluación visual georreferenciada**

Se aplicó el sistema de Imágenes Georreferenciadas de Alta Resolución para identificar deterioros superficiales (grietas, baches, exudaciones, huecos, etc.).

- **Criterios de clasificación:** Se determinaron los tipos de deterioros presentes y se estimó la extensión (%) del daño.
- **Cobertura:** Toda la longitud de la troncal principal y radiales.
- **5.5 Notas de Calidad Q**

Se asignaron calificaciones (Q) integrales a cada tramo evaluado, ponderando los resultados de capacidad estructural, regularidad superficial y fricción.



- **Escala de evaluación:**

INDICADOR FUNCIONAL	INDICADOR ESTRUCTURAL	CATEGORIAS DE FWD			
		BAJAS	MODERADA	ALTAS	MUY ALTAS
< 1,9 (Bueno)	►	Q ₁	Q ₃	Q ₆	R-1
1,9 – 3,6 (Regular)	►	Q ₂	Q ₅	Q ₈	R-2
3,6 – 6,4 (Malo)	►	Q ₄	Q ₇	Q ₉	R-3
> 6,4 (Muy Malo)	►	M-RF	RH-RF	R-3	NP

- **Uso:** Para priorizar intervenciones.
- **5.6 Modelos de deterioro**

Se utilizaron metodologías estadísticas para proyectar el comportamiento futuro de la ruta, con base en los históricos desde 2010.

- **Variables base:** IRI y FWD.
- **Aplicación:** Soporte para planificación de mantenimiento.

6. Resultados de la evaluación

7.1 Capacidad estructural, deflexiones obtenidas mediante el FWD, troncal principal

7.1.1 Equipo utilizado y criterios de clasificación

Los detalles del *Deflectómetro de Impacto* utilizado, y la metodología seguida de evaluación aparecen en la Ficha Técnica *FT-UGERVN-02-13*, disponible en el sitio web del *LanammeUCR* (www.lanamme.ucr.ac.cr).

La evaluación del proyecto abarcó la totalidad de su longitud, es decir aproximadamente 153 km (76,6 km en cada sentido)¹ de carretera pavimentada, con mediciones cada 50 metros. En aquellos tramos con sólo un carril por sentido, fueron evaluados ambos carriles; mientras que en aquellos tramos con dos o más carriles por sentido se evaluó el carril externo, considerándolo como el carril de diseño por ser el que resiste las mayores concentraciones de carga vehicular y, se considera homogeneidad de la condición estructural en el sentido transversal de las secciones evaluadas.

Como parte de las investigaciones realizadas en el año 2008, en el *LanammeUCR* se desarrolló una metodología para calcular los distintos rangos de deflectometría, con base en la estructura de pavimento que presenta cada tramo de carretera². Estos rangos, mostrados en la Tabla 1, tienen por objeto calificar la condición estructural del proyecto considerando el diseño estructural realizado por el Concesionario, por lo que fueron utilizados en la presente evaluación para clasificar los resultados.

¹ Dentro de esta longitud no se incluye las cinco radiales.

² El informe *Determinación de Rangos de Clasificación para la Red Vial Nacional*, UI-PE-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 esta ruta, tomando en consideración las distintas estructuras del pavimento.

Tabla 1.

Rangos de deflexión, utilizados para clasificar los datos de deflectometría del proyecto.

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 ⁻³)			
Bajas	menor a 520	menor a 360	menor a 470	menor a 500
Moderadas	520 – 570	360 – 400	470 – 520	500 – 580
Altas	570 – 710	400 – 490	520 – 660	580 – 800
Muy Altas	mayor a 710	mayor a 490	mayor a 660	mayor a 800

7.1.2 Resultados obtenidos, mes de septiembre del 2024

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos por medio del deflectómetro de impacto en el sentido San José - Caldera, para la campaña de evaluación 2024 – 2025.

Figura 2.

Estado general de la capacidad estructural por medio de deflexiones en sentido San José – Caldera, campaña 2024 – 2025.

Deflexión en Estructural de Pavimento San José - Caldera, 2024-2025

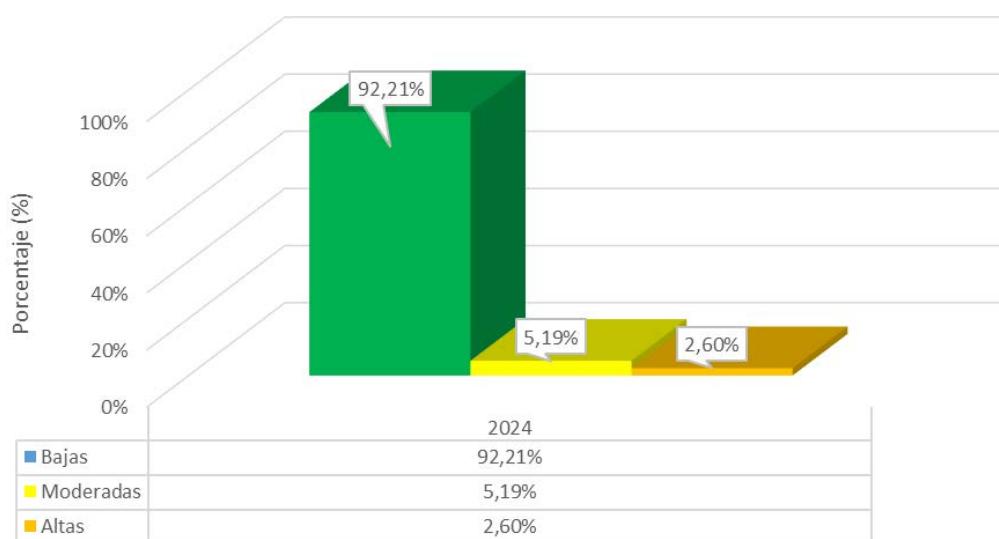


Tabla 2.

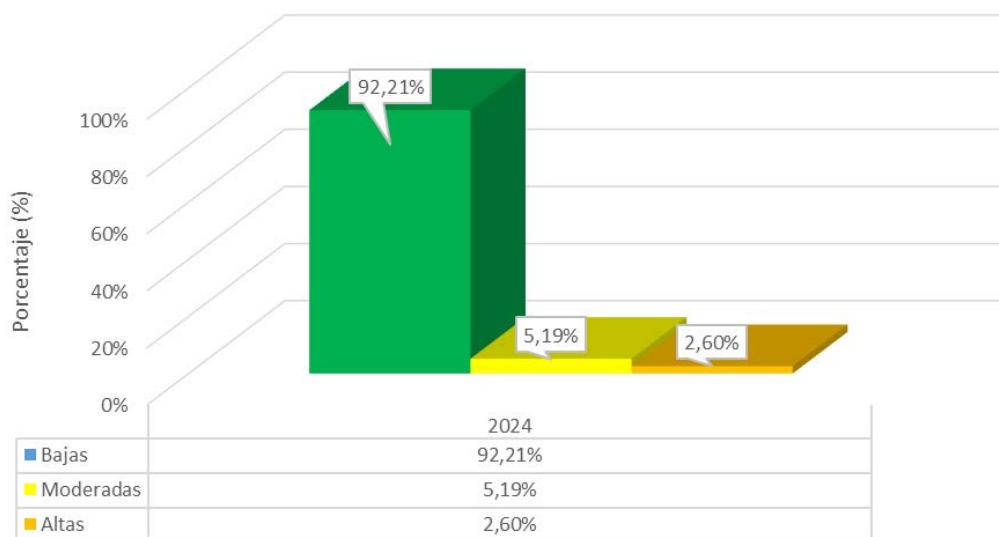
Deflexiones FWD obtenidas para el sentido San José - Caldera, campaña 2024 - 2025.

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas	71	92,21
Moderadas	4	5,19
Altas	2	2,60
Muy Altas	0	0,0
Total	77	100

Figura 2.

Estado general de la capacidad estructural por medio de deflexiones en sentido San José – Caldera, campaña 2024 – 2025.

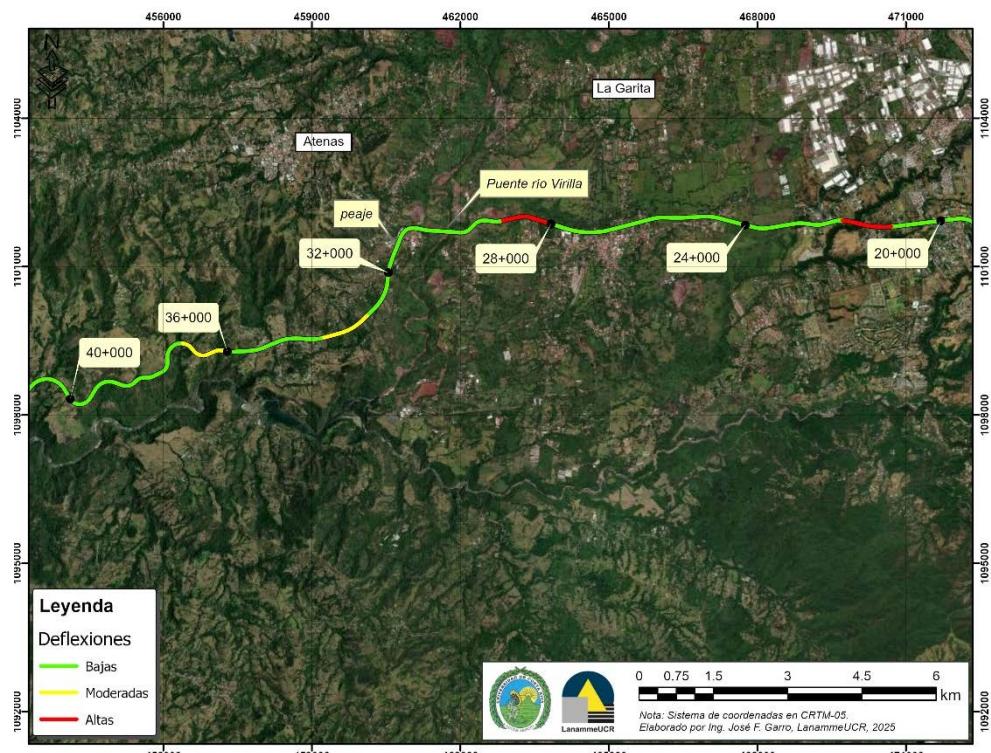
Deflexión en Estructural de Pavimento San José - Caldera, 2024-2025



En la Figura 3 se muestra la ubicación geográfica de algunos tramos que cuentan con valores de deflectometría entre moderados y altos, para el sentido de San José – Caldera.

**Figura 3.**

Ubicación de algunos tramos con deflexiones moderados, altas y bajas, sentido San José - Caldera.



La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos en este parámetro para el sentido de Caldera – San José; la Figura 4 muestra en forma gráfica este resultado.

Tabla 3.

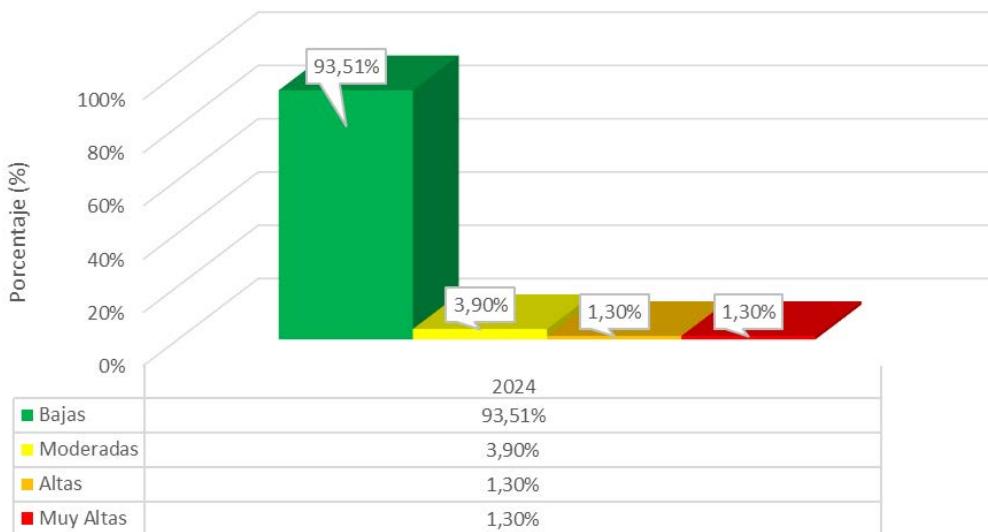
Deflexiones FWD obtenidas para el sentido Caldera – San José, campaña 2024 – 2025.

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas	72	93,51
Moderadas	3	3,90
Altas	1	1,30
Muy Altas	1	1,30
Total	77	100

Figura 4.

Estado general de la capacidad estructural sentido Caldera – San José, según los valores de deflexión FWD obtenidos, campaña 2024 – 2025.

Deflexión en Estructural de Pavimento Caldera - San José, 2024-2025



En la Figura 5 se muestra la ubicación geográfica de tramos con deflexiones en el rango de moderadas, para el sentido Caldera - San José.

**Figura 5.**

Ubicación de algunos tramos con deflexiones moderadas y bajas, sentido Caldera – San José.



7.2 Capacidad funcional, condición según regularidad superficial (IRI) y roderas en la troncal principal

7.2.1 Equipo utilizado y criterios de clasificación

Los detalles del *Perfilómetro Láser* utilizado, y la metodología seguida de evaluación aparecen en la ficha técnica *FT–UGERVN–02–13*, disponible en el sitio de Internet del *LanammeUCR* (www.lanamme.ucr.ac.cr).

La evaluación del proyecto con este equipo 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.



Es importante recordar que el IRI se correlaciona, entre otros factores, con los costos de operación vehicular, la movilidad de los usuarios y su confort. Los rangos de clasificación de la regularidad superficial en pavimentos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.

Rangos de clasificación del Índice de Regularidad Internacional (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 representa el promedio de las medidas de los sensores izquierdo y derecho del *perfilómetro*, que se hacen coincidir con la huella de los vehículos. Se excluye los elementos que se consideran como singularidades por medio de análisis estadísticos, los cuales se definen 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, bardenas, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino”*³

Para poder obtener el ahuellamiento, se utiliza un láser denominado “Laser de Ahuellamiento” (Wing), el cual es un dispositivo que se agrega al Perfilómetro Laser en el costado derecho y

³ El informe Determinación de un procedimiento de ensayo para Cálculo del IRI, UI-03-08, del LanammeUCR explica la metodología para el cálculo de IRI y parámetros a considerar en el análisis de este indicador

por triangulación, permite tener el valor de ahueamiento con mayor precisión según la frecuencia que se ha definido previamente para obtener este dato.

El Manual de Auscultación Visual 2016 (MAV-2016) define el ahueamiento o roderas como: *“Una rodera es una depresión en las huellas del vehículo. Se puede dar unlevantamiento en los bordes de las roderas, pero generalmente las roderas sólo se notan luego de que llueve, pues las huellas se llenan de agua. Las roderas se derivan de una deformación permanente que puede proceder de cualquier capa del pavimento o de la subrasante, usualmente su causa se asocia a consolidación o movimiento lateral de los materiales.”*

El MAV-2016 define tres criterios de severidad a saber:

Bajo: La profundidad promedio es de 6 mm a 13 mm.

Medio: La profundidad promedio es de 13 mm a 25 mm.

Alto: La profundidad promedio es mayor a 25 mm.

Por otra parte, el Contrato de Concesión de la Carretera San José – Caldera, en la sección **2.15.2 Indicadores para Pavimento Asfáltico** (su equivalente en el Pliego de Licitación es **2.5.2 Indicadores para Pavimento Asfáltico**), establece como indicador máximo, un valor de Ahueamiento menor a 15 mm y no más de 50 m/km.

7.2.2 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial del proyecto en el mes de agosto del 2024; la Figura 6 y Figura 7 muestran en forma gráfica la evaluación para este periodo, en cada sentido de circulación.

Tabla 5.

Resultados obtenidos en regularidad superficial, Ruta 27.

Rango IRI (^m /km)	Sentido			
	San José – Caldera	Caldera – San José	San José – Caldera	Caldera – San José
menor a 1,0	0 km	0,0 %	0 km	0,0 %
entre 1,0 y 1,9	13 km	16,88 %	15 km	19,48 %
entre 1,9 y 3,6	64 km	83,12 %	62 km	80,52 %
entre 3,6 y 6,4	0 km	0,0 %	0 km	0,00 %
mayor a 6,4	0 km	0,0 %	0 km	0,00 %
Total	77 km	100 %	77 km	100 %

Figura 6.

Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido San José – Caldera.

Capacidad Funcional San José - Caldera, 2024-2025

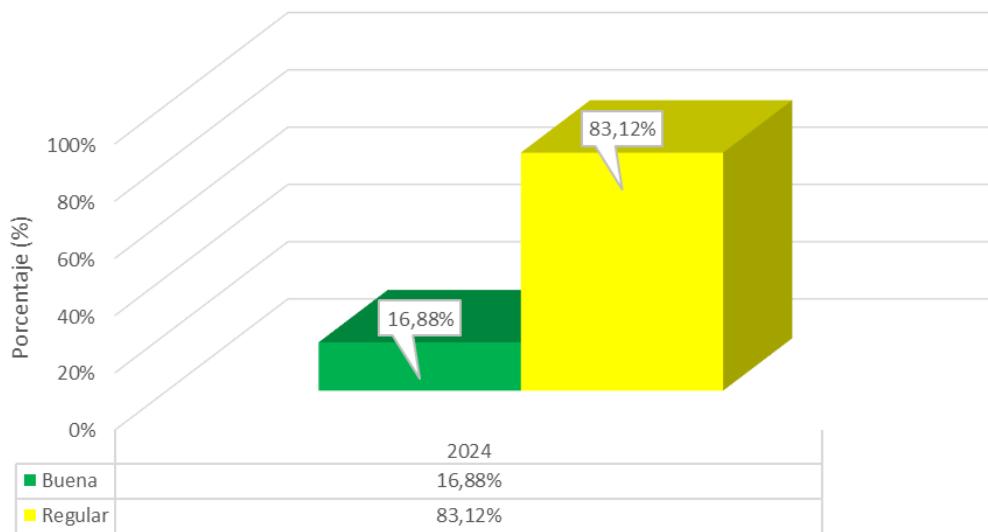
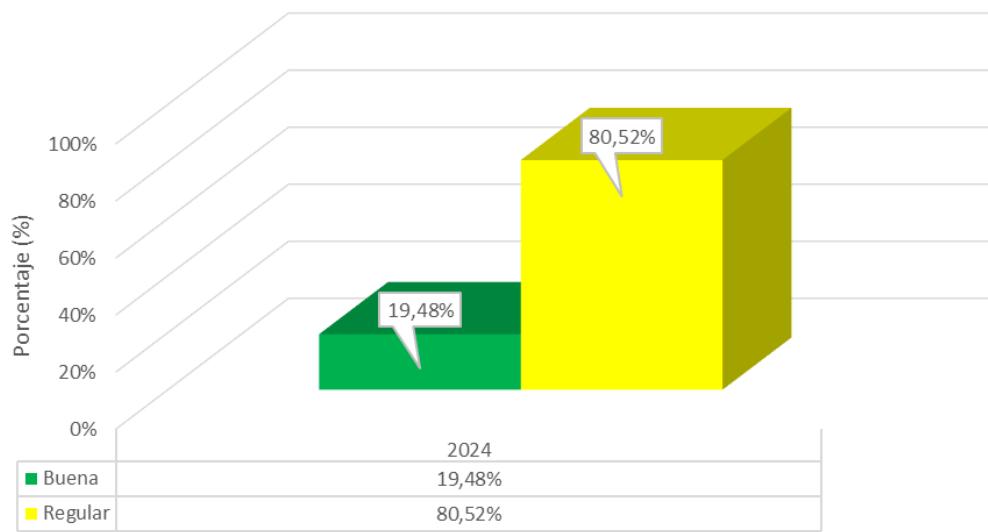


Figura 7.

Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido Caldera – San José.

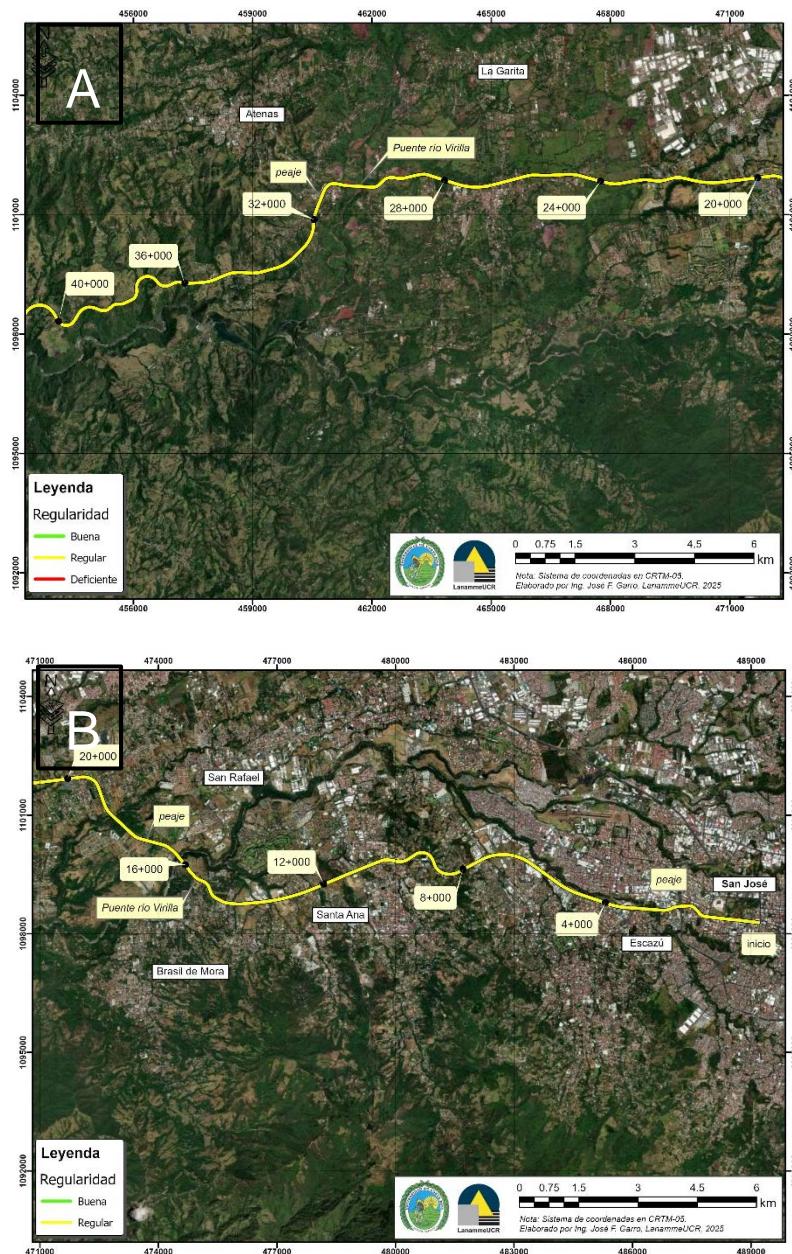
Capacidad Funcional Caldera - San José, 2024-2025



En la Figura 8 se muestran algunos tramos que cuentan con una condición funcional regular, para ambos sentidos de la ruta.

**Figura 8.**

Ubicación de tramos con un IRI entre moderado y bajo. A) sentido San José - Caldera, B) sentido Caldera - San José.



En el Anexo 2 se muestran los mapas con la ubicación geográfica de los valores de IRI según su categoría.

7.2.3 Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad funcional con el Perfilómetro Láser.

Con base en los valores obtenidos para este parámetro, un porcentaje importante (83,12 % y 80,52 % San José – Caldera y Caldera – San José respectivamente) de la longitud del proyecto evaluado, presenta valores de *IRI* en condición regular, lo cual como se ha mencionado en informes anteriores, además de influir de manera negativa en los costos de operación de la flota vehicular, incide de cierta manera en la estructura del pavimento, acelerando su deterioro. Como se mostrará en el apartado 6.6 *Análisis de Notas de Calidad Q, troncal principal, años 2022 – 2024*, con actividades de bajo impacto y costo, es posible mantener y mejorar los valores que se obtienen con este indicador.

7.3 Resultados obtenidos del coeficiente de rozamiento de pavimentos, troncal principal

7.3.1 Equipo utilizado y criterios de clasificación

Para esta campaña de evaluación, se utilizaron 2 equipos para estudiar el agarre superficial que presenta el pavimento de la ruta por medio del coeficiente de fricción, los cuales se muestran a continuación.

7.3.2 Grip Tester

Figura 9.

Grip Tester.



La evaluación de la Ruta Nacional No. 27 con este equipo abarcó la totalidad de la superficie pavimentada de la troncal principal, en ambos sentidos. Todas las mediciones se realizan a una velocidad promedio de 50 km/hora \pm 5 km/hora, en condición húmeda (condición crítica).

El rango de clasificación que se utilizó para evaluar la resistencia al deslizamiento es utilizado a nivel internacional, y relaciona los valores del *Grip Number* (GN) con el nivel de deslizamiento como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6.

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 micro 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.

7.3.3 Mu Meter

Figura 10.

Mu Meter.



El *MuMeter* es usado principalmente para medir el coeficiente de rozamiento en pistas de aeropuertos por medio de la reacción de una celda de carga, en respuesta a la fuerza de desviación que generan 2 ruedas que cuentan con un ángulo de desviación de 7° respecto al eje central del equipo. Es por esta razón que su uso en redes viales no es común; los resultados obtenidos con este equipo no son comparables con aquellos obtenidos con el *GripTester*⁴.

7.3.4 Resultados de coeficiente de rozamiento con el GripTester y MuMeter

En total, se evaluaron y procesaron con el *GripTester* más de 30,000 secciones de 5 metros de longitud, las cuales se agruparon en datos por kilómetro para tener una mejor representación y control de los datos. Los resultados de las mediciones obtenidas para este

⁴ El *GripTester* mide la fricción de la superficie de ruedo con sólo con una rueda que se debe colocar sobre una de las huellas de los vehículos. Con el *MuMeter* se usan dos ruedas medidoras, pero, mientras una se coloca sobre la huella la otra siempre queda afuera, lo que genera variaciones en los resultados obtenidos.



proyecto en ambos sentidos San José – Caldera, Caldera – San José se presentan respectivamente en la Tabla 7, Tabla 8, Figura 11 y Figura 12.

Se debe aclarar que para los resultados del *GripTester* existen rangos de estado (ver Tabla 6), lo cual no es el caso con los resultados obtenidos del *MuMeter*, debido a lo mencionado anteriormente sobre su uso poco común en redes viales. Por ello, se remite a lo indicado en el contrato de la concesión, para definir si se encuentra dentro de los parámetros estipulados en él, o fuera de ellos.

Tabla 7.

Resultados obtenidos con el *GripTester*.

Sentido	Longitud en cada rango (km), %								Total (km)	
	Muy Deslizante		Deslizante		Poco Deslizante		No Deslizante			
	km	%	km	%	km	%	km	%		
San José – Caldera	18	23,38	43	55,84	16	20,78	0	0,0	77	
Caldera – San José	28	36,36	45	58,44	4	5,20	0	0,0	77	

Tabla 8.

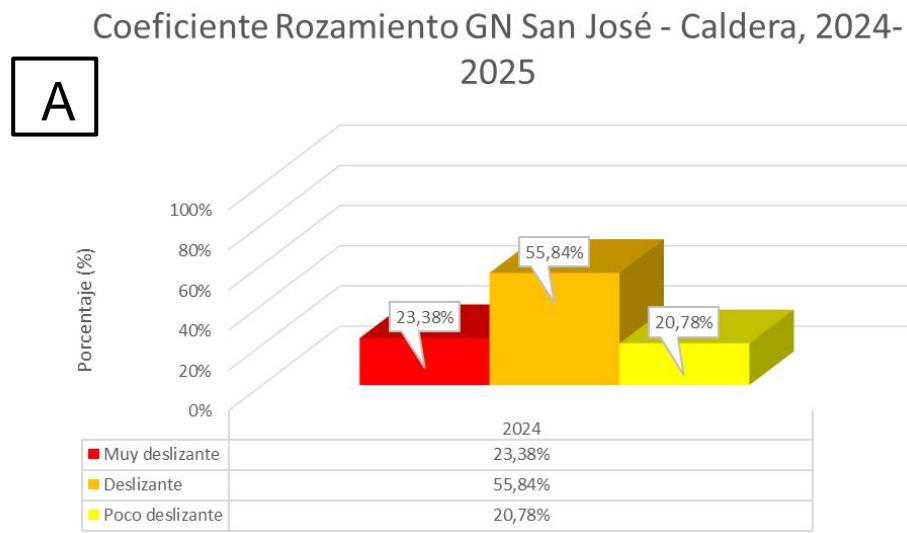
Resultados obtenidos con el *MuMeter*.

Sentido	Longitud en cada rango (km), %				Total (km)
	Dentro contrato		Fuera contrato		
	Km	%	Km	%	
San José – Caldera	77	100,00	0	0,00	77
Caldera – San José	77	100,00	0	0,00	77

Para el caso del MuMeter, se utilizan los valores límites indicados en el contrato⁵, donde se especifica que para pendientes mayores del 6 % y en intersecciones, el valor mínimo es de 0,55 mientras que, para tramos rectos con pendientes menores al 6 % el valor mínimo es de 0,456.

Figura 11.

Resultados de las pruebas de A) Grip Tester y B) Mu Meter. Nota: Los rangos del Mu Meter corresponden a los indicados en el contrato.



B

⁵ Contrato de Concesión de la carretera San José - Caldera, apartado "2.15.2 Indicadores para Pavimento Asfáltico, inciso f. Resistencia al resbalamiento (m)", donde el MuMeter se denomina como Miu-meter.

⁶ Es necesario aclarar que estos rangos deben ser revisados en el contrato ya que este equipo no se ve afectado por los cambios de pendiente de la carretera.

Coeficiente rozamiento Mu San José - Caldera, 2024-2025

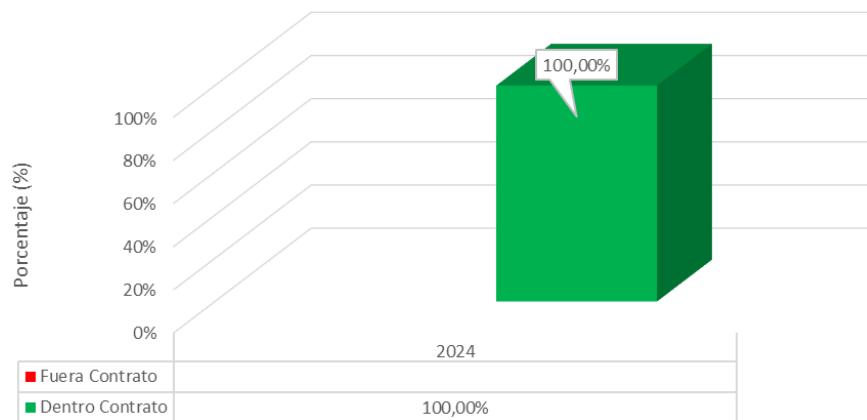
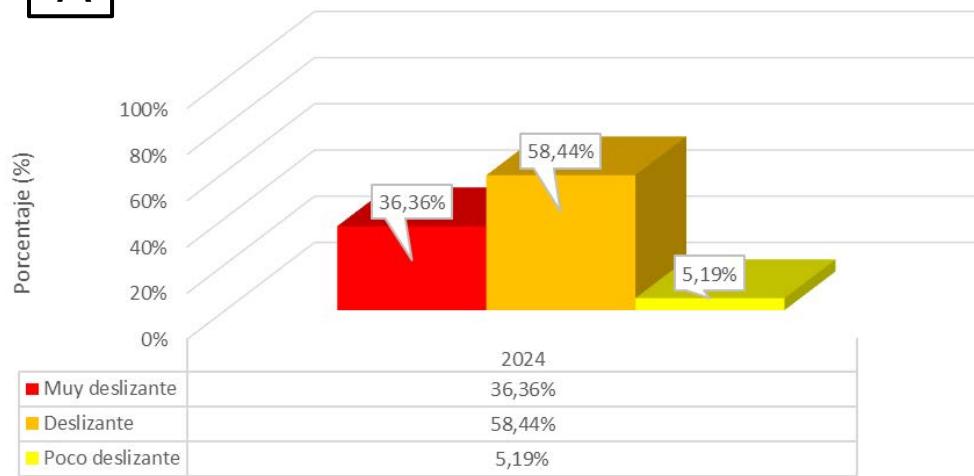


Figura 12.

Resultados de las pruebas de a) Grip Tester y b) Mu Meter.

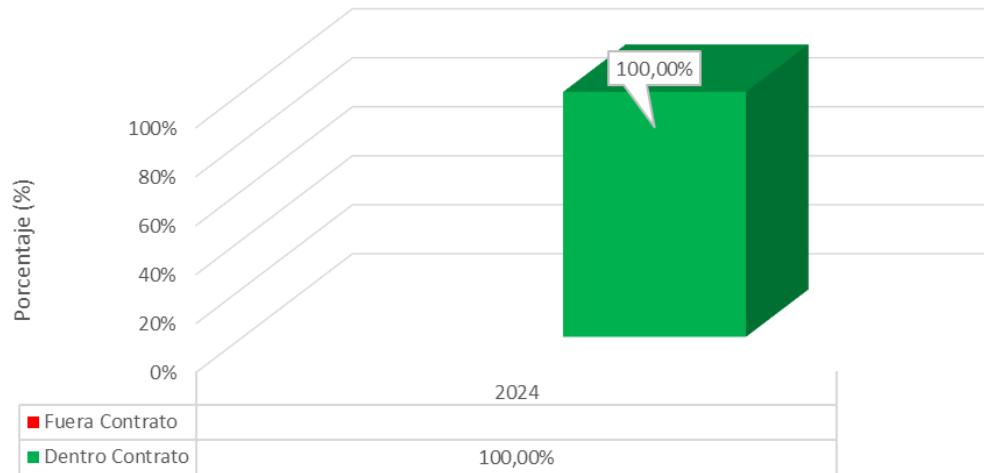
Coeficiente Rozamiento GN Caldera - San José , 2024-2025

A



Coeficiente rozamiento Mu Caldera - San José, 2024-2025

B



Nota: Los rangos del Mu Meter corresponden a los indicados en el contrato.

En la Figura 13 se muestra la ubicación geográfica de algunos tramos con valores bajos de fricción, según el análisis realizado con el *GripTester*.

Figura 13.

Ubicación de tramos con valores de fricción de poco deslizante a muy deslizante (*Grip Tester*). A) sentido San José – Caldera, B) Caldera – San José.

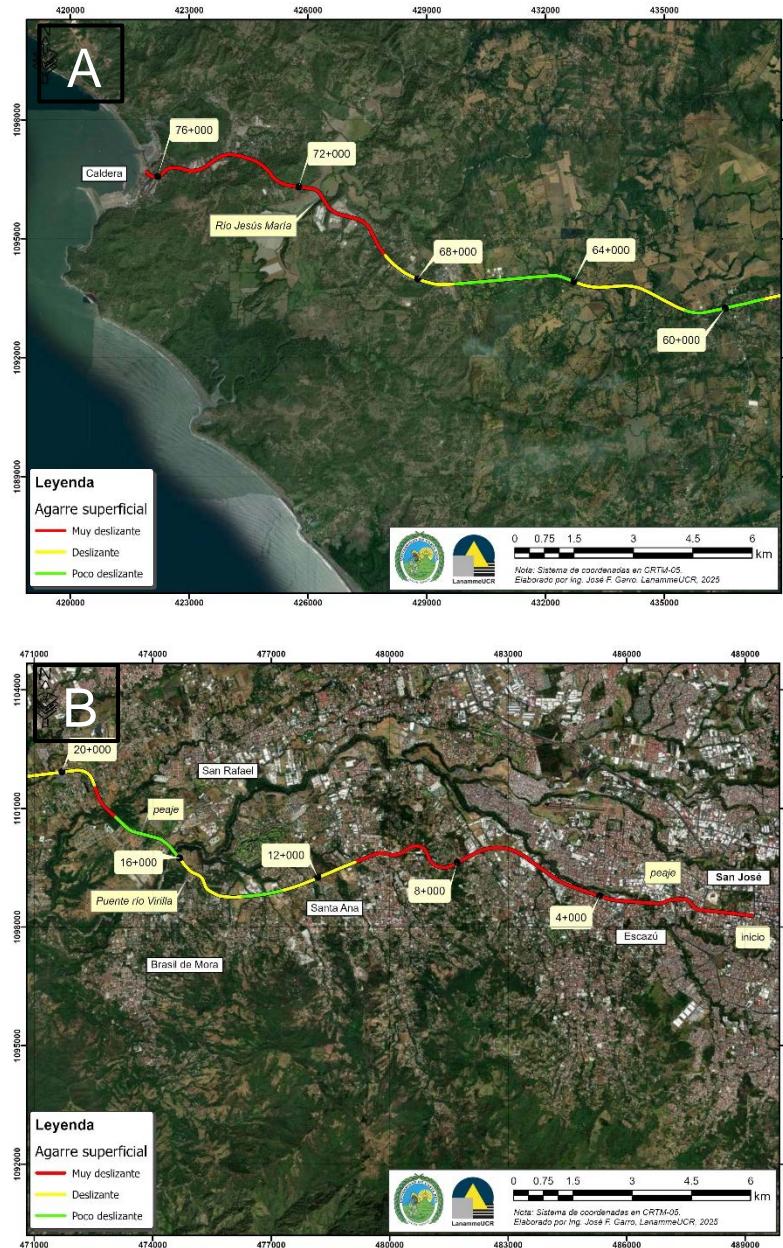
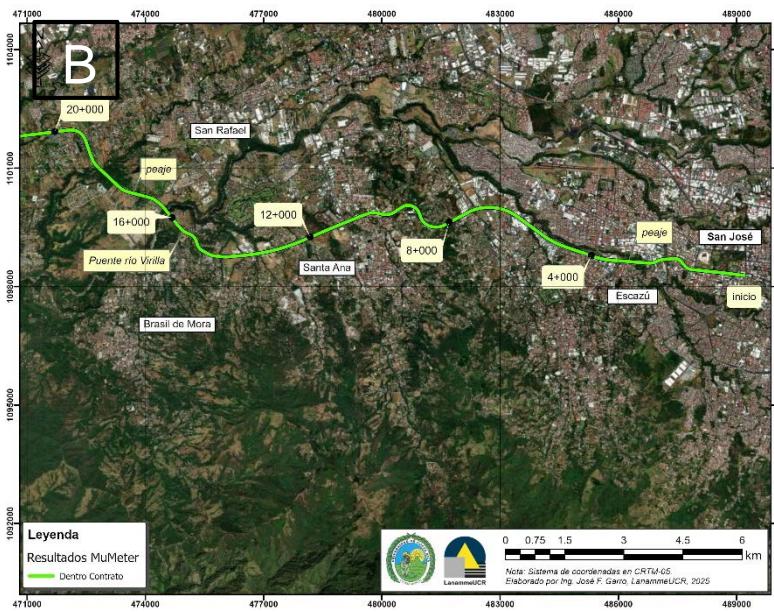
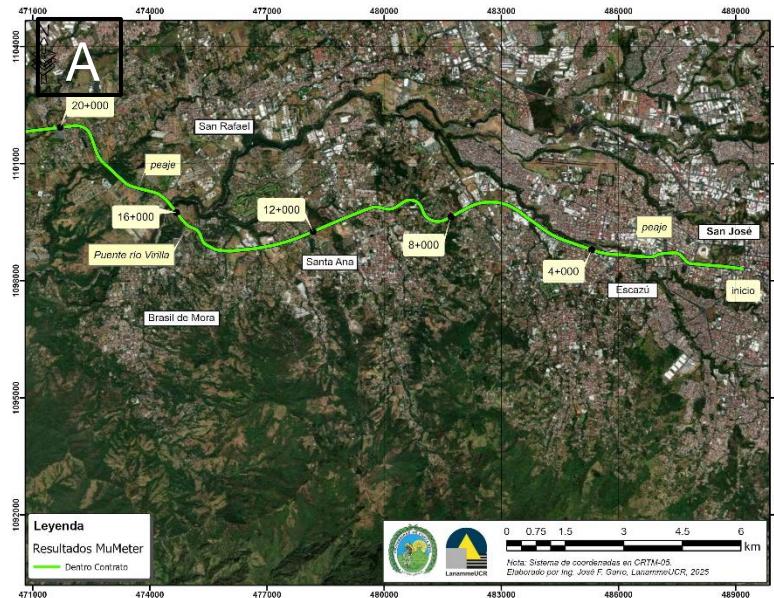


Figura 14.

Ubicación de tramos con valores de fricción que cumplen o incumplen con el contrato (Mu Meter). A) sentido San José – Caldera, B) sentido Caldera – San José.



En el Anexo 3 se muestran los mapas de ubicación por kilómetro de los valores de fricción obtenidos.

Para el caso del *MuMeter*, se utilizan los valores límites indicados en el contrato⁷, donde se especifica que para pendientes mayores del 6 % y en intersecciones, el valor mínimo es de 0,55 mientras que, para tramos rectos con pendientes menores al 6 % el valor mínimo es de 0,45⁸.

Al analizar los resultados de la Tabla 8 obtenidos tanto para el sentido San José – Caldera, así como para el sentido Caldera – San José se observa que el 100% de los tramos están dentro de los parámetros que se indican en el contrato para este indicador.

En la Figura 14 se muestra los tramos que cumplen con los rangos indicados en el contrato.

Por su parte, los resultados de la Tabla 7 obtenidos con el *GripTester* muestran que alrededor del 37,7 % de la longitud de la ruta en el sentido San José – Caldera presenta condiciones *Deslizantes*, un 55,8 % de la ruta muestra condiciones *Poco Deslizantes*, y un 6,5 %, aproximadamente, muestra condiciones *Muy Deslizantes*. Por su parte, en el sentido Caldera – San José, cerca de un 5,2 % de la longitud cuenta con una condición *Muy Deslizante*, un 48 % muestra una condición *Poco Deslizante*, y un 46,8 % una condición *Deslizante*.

Es así como, con el *GripTester* se identifican zonas donde puede aumentar la probabilidad de que ocurran choques viales al presentar coeficientes de fricción bajos, además se evidencian diferencias de criterio entre el porcentaje de vía que presenta condiciones muy deslizantes y deslizantes, contra los tramos que contractualmente cumplen con el *MuMeter*.

7.4 Análisis de Notas de Calidad Q, troncal principal, años 2022 – 2024

Para la definición de las Notas de Calidad Q, se clasifica las unidades de análisis según la condición estructural (FWD) donde para esta evaluación, se utilizó la clasificación obtenida en la campaña anterior como se comentó en la sección 2 *Capacidad estructural, deflexiones obtenidas mediante el FWD*, troncal principal, funcional (IRI) y de resistencia al deslizamiento (GN). Posteriormente, para cada de estas unidades de análisis, se combinan los resultados

⁷ Contrato de Concesión de la carretera San José - Caldera, apartado "2.15.2 Indicadores para Pavimento Asfáltico, inciso f. Resistencia al resbalamiento (m)", donde el *MuMeter* se denomina como *Miu-meter*.

⁸ Es necesario aclarar que estos rangos deben ser revisados en el contrato ya que este equipo no se ve afectado por los cambios de pendiente de la carretera.



obtenidos de los indicadores que se mostraron anteriormente y se define una nueva calificación, conocida como Nota de Calidad (Nota Q), donde se establece el diagnóstico final de la condición de la sección y permite establecer una estrategia general de intervención final, tal como se muestra en la Figura 15.

Figura 15.

Distribución de las Notas de Calidad Q para la troncal principal. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José.

INDICADOR FUNCIONAL	INDICADOR ESTRUCTURAL	CATEGORIAS DE FWD			
		BAJAS	MODERADA	ALTAS	MUY ALTAS
Rangos de IRI (m/Km)	< 1,9 (Bueno)	►	Q ₁	Q ₃	Q ₆
	1,9 – 3,6 (Regular)	►	Q ₂	Q ₅	Q ₈
	3,6 – 6,4 (Malo)	►	Q ₄	Q ₇	Q ₉
	> 6,4 (Muy Malo)	►	M-RF	RH-RF	R-3
					NP

La definición de las notas de calidad es la siguiente:

Q1: Esta es la condición ideal de un pavimento desde el punto de vista estructural y funcional. Son pavimentos que se encuentran en un estado temprano de su vida útil y que brindan un buen servicio al usuario, mantienen altos niveles de servicio y bajos costos de operación vehicular. A pesar de esta condición estos pavimentos deben ser evaluados para identificar la presencia de deterioros que puedan afectar la seguridad vial tales como desprendimientos, desnudamiento o exudaciones, los cuales no constituyen deterioros estructurales o de regularidad que puedan ser percibidos por el perfilógrafo (IRI) o por la deflectometría de campo. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de preservación de bajo costo.

Q2: En estos pavimentos la capacidad estructural sigue siendo muy buena, sin embargo, el nivel de regularidad superficial se ha desplazado a una condición regular donde



la calidad del manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y se pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en los pavimentos flexibles pueden incluir deformaciones en la mezcla asfáltica, baches reparados y agrietamientos de severidad baja. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de preservación de bajo costo, enfocadas en corregir la pérdida de capacidad funcional.

Q3: En estos pavimentos se presenta una pérdida de la capacidad estructural (20 – 60 % de vida estructural remanente), aunque la capacidad funcional (IRI) se mantiene entre buena y muy buena. En estos casos, la presencia de deterioros funcionales tales como desprendimientos, desnudamiento o exudaciones, los cuales no constituyen deterioros estructurales que puedan ser percibidos por el perfilógrafo (IRI) o por la deflectometría de campo, pueden tener un mayor nivel de severidad o extensión. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de preservación de bajo costo, enfocadas a atender la pérdida de capacidad estructural y detener o retardar su avance.

Q4: En estos pavimentos la calidad de la superficie asfáltica se ha deteriorado hasta un punto donde puede afectarse la velocidad de tránsito, aún en condiciones de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de agregados, agrietamientos y ahuecamientos y ocurre en un 50 % o más de la superficie. Aunque la capacidad estructural es buena (se mantiene una buena condición de las capas de subyacentes) la condición de deterioro funcional es de tal severidad que la durabilidad de los pavimentos se disminuye, aumentando la tasa de deterioro estructural de forma elevada. Debido al deterioro de la capa de ruedo estos pavimentos pasarán a las categorías M-RF o Q7 en el mediano plazo. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de mediano costo que deberían estar enfocadas a atender la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo.

Q5: Estos pavimentos deben ser sujetos de análisis más detallado a nivel de proyecto por encontrarse en una condición de capacidad estructural y funcional intermedia.

Q7: Los pavimentos en esta categoría tienen una condición de ruedo similar a los descritos para la categoría Q4, sin embargo, presentan una peor condición estructural

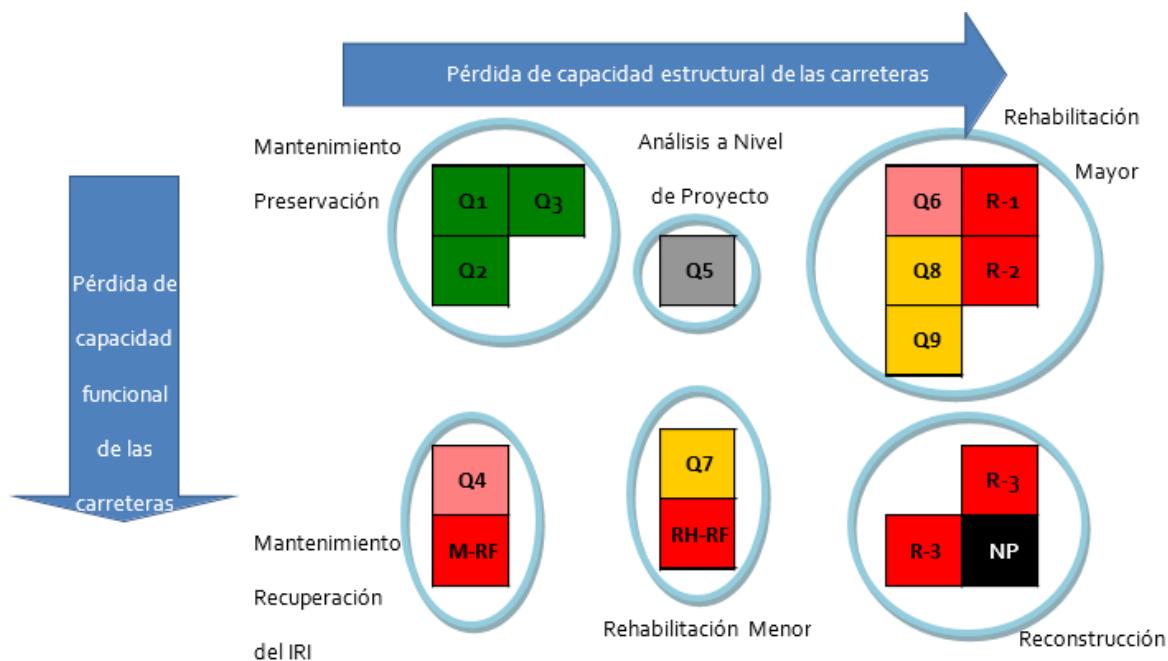
(cercana al 60 % de vida estructural remanente del pavimento), por lo que la presencia de deterioros como ahueamientos, agrietamiento por fatiga o agrietamientos transversales y longitudinales es mayor. En estos pavimentos la velocidad del deterioro estructural y funcional se intensifica, por lo que están propensos a pasar a las categorías RH-RF o Q9 en el mediano plazo. Estos pavimentos presentan tramos candidatos a intervenciones de tipo “rehabilitación menor” que deberían estar enfocadas en recuperar la pérdida de capacidad funcional en el mediano plazo con el fin de evitar o retardar un mayor deterioro de la capacidad estructural.

Q6, Q8 y Q9: Estos pavimentos presentan una condición estructural muy deficiente (vida estructural remanente < 20 %). En este grupo de notas de calidad, en el caso de los tramos calificados como Q6 por ejemplo, donde la calidad del ruedo es buena se debe a la presencia de sobrecapados o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido a dar aporte estructural significativo, por lo tanto, son trabajos de poca durabilidad y existe una alta probabilidad de una rápida migración a notas como las Q8 y Q9 donde la capacidad funcional es peor, así como a notas como R-1 donde la capacidad estructural remanente es cercana al 0 % de vida útil. La condición de pérdida acelerada de la capacidad estructural y funcional en estos pavimentos los convierte en candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida en el corto plazo.

Con base en los datos obtenidos en la evaluación de la condición estructural y funcional, se procedió a calcular las Notas de Calidad Q en tramos de un kilómetro de longitud en la troncal principal, para ambos sentidos (Figura 17). Los resultados muestran de manera general un pavimento en buenas condiciones tanto desde el punto de vista estructural como funcional dado que, en ambos sentidos, alrededor de un 95 % de su longitud se encuentra en las notas Q1 y Q2. Sin embargo, resalta que en el sentido San José – Caldera, alrededor de un 4 % de longitud presenta una nota de Q5 y un 5 % en el sentido Caldera – San José, condición que se presenta debido a los valores de deflectometría Moderados y de IRI en el rango de regular. Adicionalmente, se detectan tramos que presentan una nota de Q6 es decir Rehabilitación Mayor (Ver Figura 16) (que representan alrededor del 1 %) se caracteriza por valores de deflectometría altos, que caracteriza una estructura de pavimento que presenta una disminución en su capacidad estructural.

Figura 16.

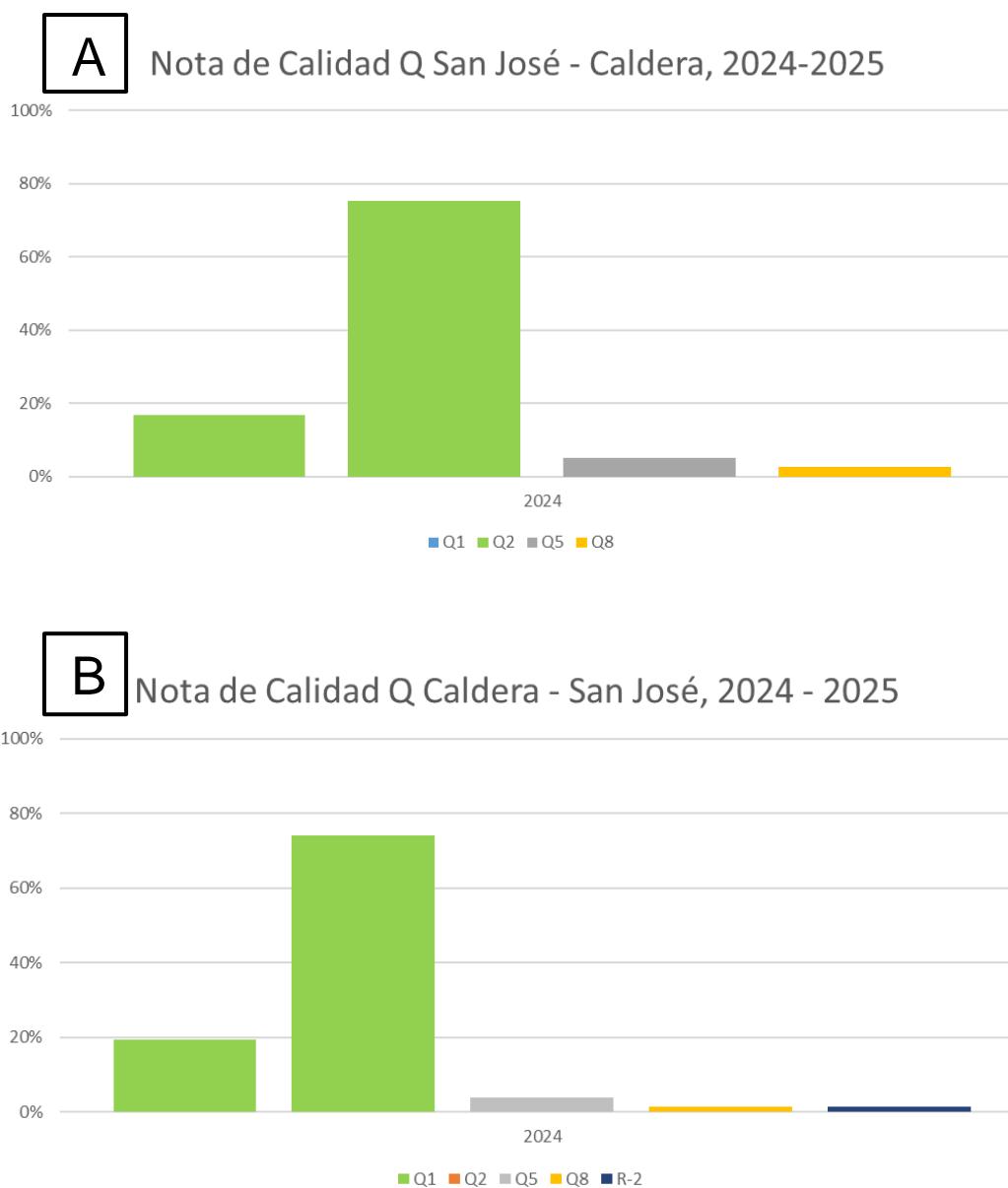
Agrupación de las notas de calidad para definición de estrategias generales de intervención.



Fuente: Sanabria-Sandino, Barrantes-Jiménez, & Loría-Salazar, 2011

Figura 17:

Distribución de las Notas de Calidad Q para la troncal principal. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José.



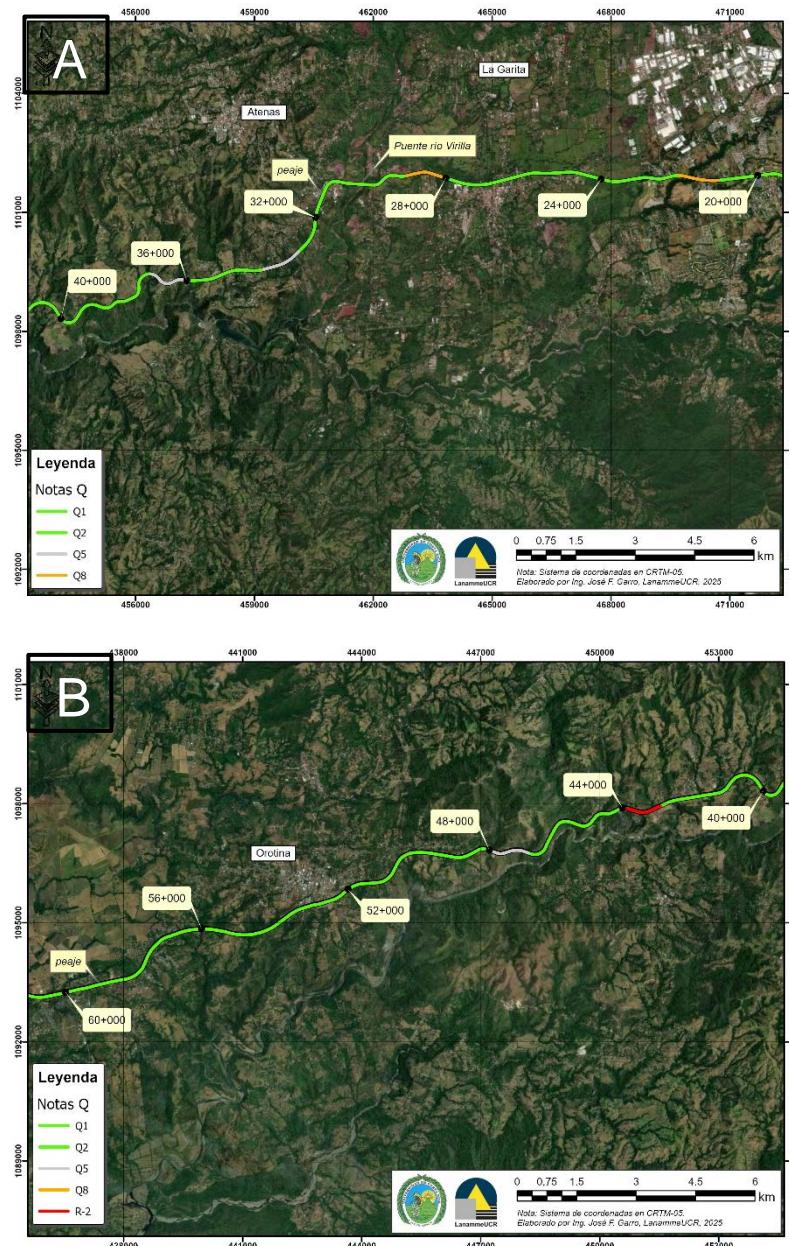
En la Figura 18 se muestran ejemplos de la ubicación de tramos con diversas Notas de Calidad Q.

En el Anexo IV se muestran los resultados obtenidos en este parámetro, según su ubicación geográfica.



Figura 18.

Ubicación de tramos con Notas de Calidad entre Q1 – Q3, y Q5. A) Sentido San José – Caldera, B) sentido Caldera – San José.





Debido al nivel de agarre Muy Deslizante y Deslizante, según el Grip Tester, que presenta un porcentaje importante de la longitud del proyecto, cerca de un 33 % sentido San José-Caldera y alrededor de un 35 % sentido Caldera-San José (ver Sección 4.3 Resultados obtenidos del coeficiente de rozamiento de pavimentos, troncal principal), las *Estrategias de Intervención* (ver Figura 19) que se recomiendan realizar se enmarcan en labores de recuperación de la textura superficial de la ruta, tales como tratamientos superficiales, que buscan obtener mejores niveles de agarre superficial. Los resultados de las estrategias obtenidas se muestran en la Figura 20.

Figura 19:

Posibilidades de intervención en función de la Nota Q.

Grip Number	Posibilidades de Intervención en función de la Nota Q		
	Q1	Q2	Q3
> 0,78	N.I.	N.I.	SS ChS1 (TS1)
0,6 - 0,78	N.I.	SS ChS1 (TS1)	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3)
0,5 - 0,6	SS ChS1 (TS1)	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3)	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3) Slurry
< 0,5	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3) Slurry	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3) Slurry	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3) Slurry <u>Micropavimentos</u>

Dentro de las muchas opciones existentes para tratamientos de preservación, que pueden ser valoradas para atender y minimizar los distintos niveles de peligrosidad ante resistencia al deslizamiento, estas recomendaciones se definen así:

N.I.: No intervención. El nivel de resistencia al deslizamiento es muy bueno y no requiere de intervenciones para atender la resistencia al deslizamiento.

SS: Sand Seal o sello de arena. Aplicación de una emulsión asfáltica o asfalto diluido sobre la superficie del pavimento a una tasa de colocación definida, posteriormente se aplica

una capa de arena graduada para mejorar o retardar condiciones de desprendimientos, desnudamientos o sellado de fisuras menores.

ChS1,2 y 3: Chip seal o sello de agregado. También conocido como “tratamientos superficiales” del tipo 1 (TS-1), tipo 2 (Ts-2) y tipo 3 (TS-3). Aplicación de una emulsión asfáltica o asfalto diluido sobre la superficie del pavimento a una tasa de colocación definida, posteriormente se aplica una capa de agregado graduado en capas desde 1 a 3 variando el tamaño del agregado para mejorar o retardar condiciones de desprendimientos, desnudamientos exudación, mala fricción o sellado de fisuras menores.

Slurry seal: Sello de lechada asfáltica. Aplicación de una mezcla de emulsión asfáltica combinada con un agregado fino, por medio de equipos especializados puede ser utilizada para mejorar o retardar condiciones de desprendimientos, desnudamientos exudación, mala fricción o sellado de fisuras menores.

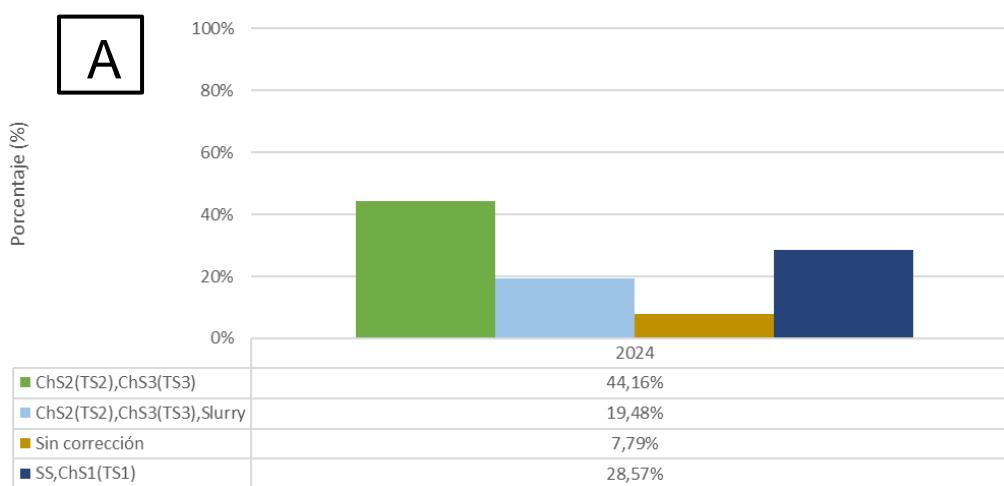
Micro-pavimentos: Es un tipo de slurry seal que utiliza una emulsión modificada con polímeros plásticos, agregados de alta calidad y aditivos especiales.



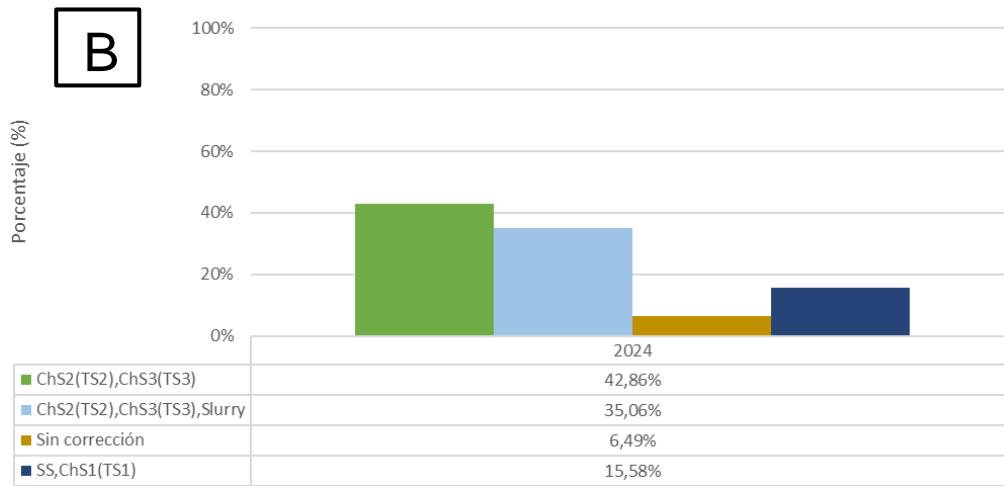
Figura 20.

Distribución de las labores de rehabilitación en porcentajes, en la troncal principal, A) San José – Caldera, B) Caldera – San José. Según resultados del Grip Tester.

Estrat. Intervención San José - Caldera, 2024-2025



Estrat. Intervención Caldera - San José, 2024-2025



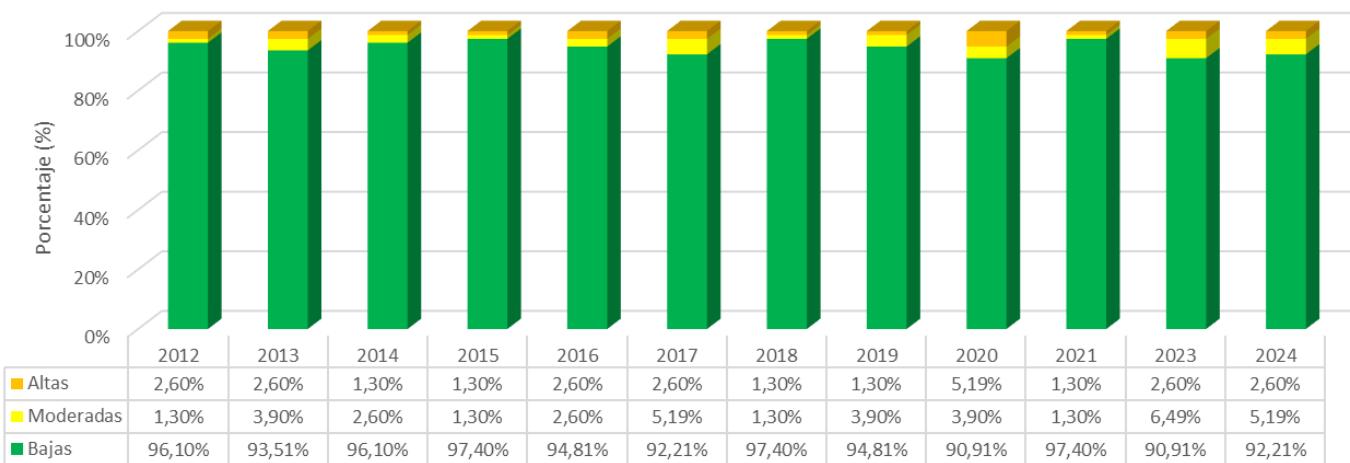
7.5 Comparación de indicadores en la troncal principal, años 2012 al 2024

7.5.1 Evaluación con el Deflectómetro de Impacto

La Figura 21 muestra el comportamiento de la ruta en su condición estructural, para ambos sentidos para las últimas 11 campañas de evaluación. Debido a que las longitudes evaluadas entre campañas varían en menos del 1 %, los resultados son comparables.

**Figura 21.**

Resultados obtenidos en la evaluación de las deflexiones del pavimento para las campañas 2012 al 2024 de la Ruta Nacional 27.

Deflexión en Estructural de Pavimento San José - Caldera, 2012-2024**Deflexión en Estructural de Pavimento Caldera - San José , 2012-2024**

Este indicador refleja que la estructura del pavimento en general presenta una muy buena condición a lo largo de las evaluaciones realizadas, demostrando que su paquete estructural ha mantenido deflexiones bajas a lo largo de las once evaluaciones.

En el sentido San José – Caldera, se ha presentado una mejora en este indicador, dado que, en comparación con las evaluaciones anteriores, los resultados obtenidos para el año 2024 muestran un incremento en la categoría de deflexiones *Bajas* y una disminución en las deflexiones *Moderadas*, con la presencia de la categoría *Alta*, mientras que en el sentido Caldera – San José, representa un 1,50 % en promedio de la superficie de ruedo entre los años 2012 al 2024 en las categorías de *Moderadas a Muy Altas*. Se debe mencionar que el deterioro en la capacidad estructural es normal en cualquier pavimento, debido a que conforme pasan los vehículos (especialmente vehículos pesados, como camiones de 3 o más ejes y cargas livianas), el paquete estructural va perdiendo capacidad soportante, producto del fenómeno conocido como fatiga del material que compone las diferentes capas del pavimento. De ahí la importancia de este parámetro, con el que es posible programar estrategias de intervención para mantener o mejorar su condición estructural.

7.5.2 Evaluación con el Perfilómetro Láser

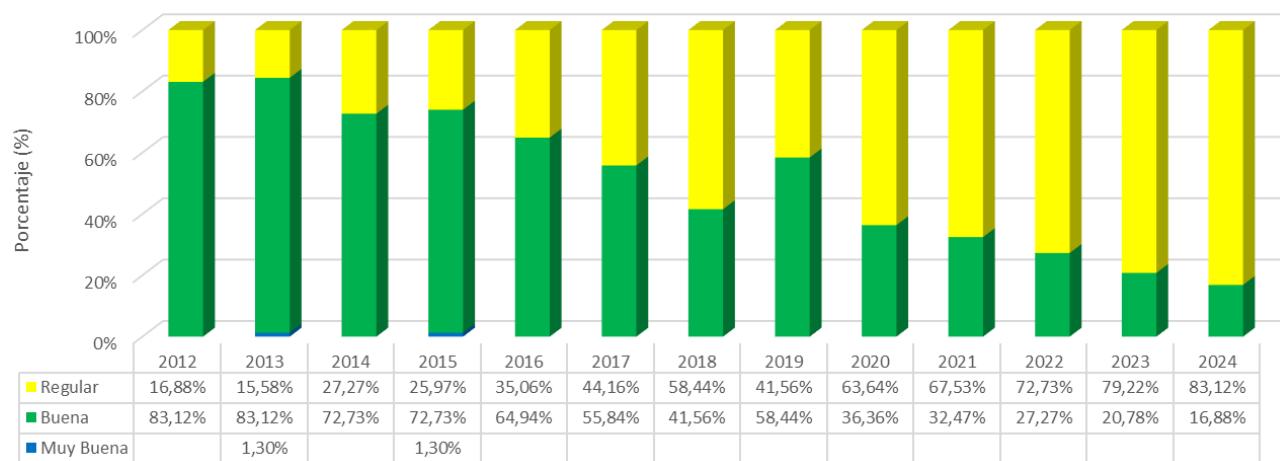
Del análisis de la Figura 22, se observa que para el sentido San José – Caldera para años del 2013 a 2024, se da un aumento constante en la categoría *Regular*, para el 2019 se da una mejora considerable, pero en las evaluaciones de los años del 2020 al 2024, se observa que continúa la tendencia que estaba presente en las evaluaciones anteriores al año 2019, pero en esta ocasión, se percibe de una manera más marcada la tendencia al aumento de la condición regular.

A partir del año 2014 y hasta el 2018, se aprecia un incremento cercano al 30 % en la condición regular para el sentido Caldera – San José, presentando una leve mejora cercana al 8 % en el año 2019, para los años 2020 y 2023, al igual que en el caso del sentido San José – Caldera, se continúa la tendencia en desmejora de este indicador.

**Figura 22.**

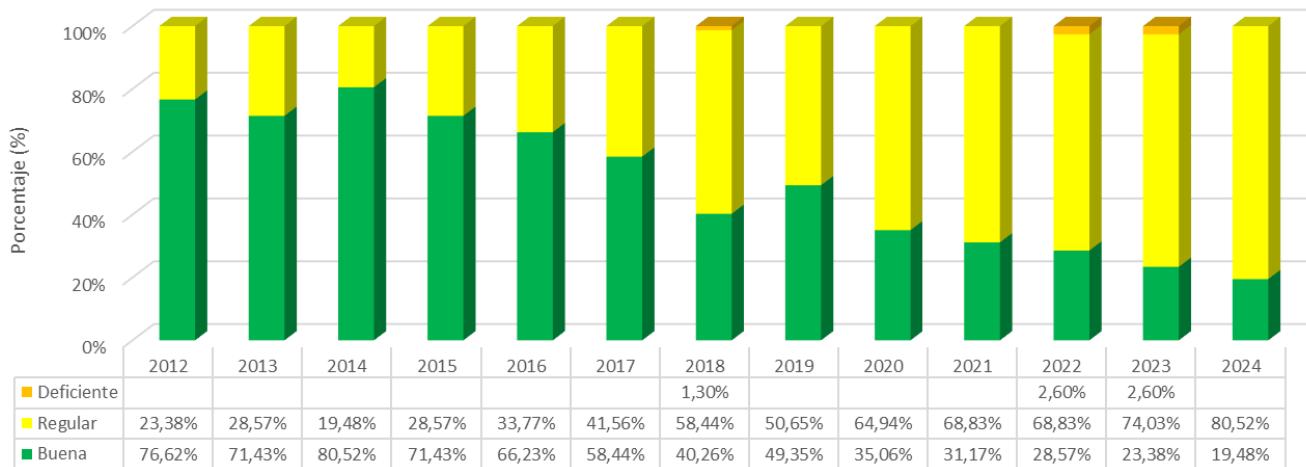
Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento para las campañas 2012 al 2024, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27.

Capacidad Funcional San José - Caldera, 2012-2024

**Figura 23.**

Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento para las campañas 2012 al 2024, sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27

Capacidad Funcional Caldera - San José, 2012-2024



7.5.3 Evaluación del coeficiente de rozamiento superficial con el Grip Tester

En la Figura 24 se muestra que en el sentido San José – Caldera, del año 2022 al 2024, el parámetro ha presentado una desmejora, ya que la condición Muy deslizante ~~de~~ pasó de 6,5 % en el año 2023 a 23,38 % para el año 2024. En el caso de la categoría Deslizante, el parámetro aumentó con respecto al año 2023, ya que para este año se presentó un 37,7 % en esta categoría y para el año 2024 aumentó a 55,84 %. Cabe destacar que, la categoría Poco Deslizante disminuyó con respecto al año 2023, de 55,84 % a 20,78 %.

En la Figura 25 se observa lo obtenido en el sentido Caldera – San José, los resultados del 2023 al 2024 también evidencian una tendencia similar al caso anterior, debido a que se presenta una desmejora en la condición de resistencia al deslizamiento en la vía. En la clasificación Muy Deslizante para el año 2023, se registró un valor de 5,19 % de la vía con esta condición crítica, valor que para el año 2024 incrementó a 36,36 %. Para la categoría Deslizante, pasó de 46,75 % en el año 2023 a 58,44 % en el año 2024. Al igual que para el sentido San José – Caldera, para el año 2024 la condición Poco Deslizante disminuyó en comparación con el año 2023, pasó de 48,05 % a 5,19 %.

Es importante destacar que la meta a nivel del parámetro de deslizamiento superficial del pavimento corresponde a la condición No deslizante para el año 2023, que presenta un valor de 0 % en el sentido San José – Caldera, el cual se mantuvo igual frente al año 2022 en ambos sentidos. Cabe resaltar que la condición No deslizante del 2012 al 2023 no ha excedido un valor de 11,8 % para el sentido San José – Caldera.

Figura 24.

Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2012 al 2024, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27.

Coeficiente Rozamiento GN San José - Caldera, 2012-2024

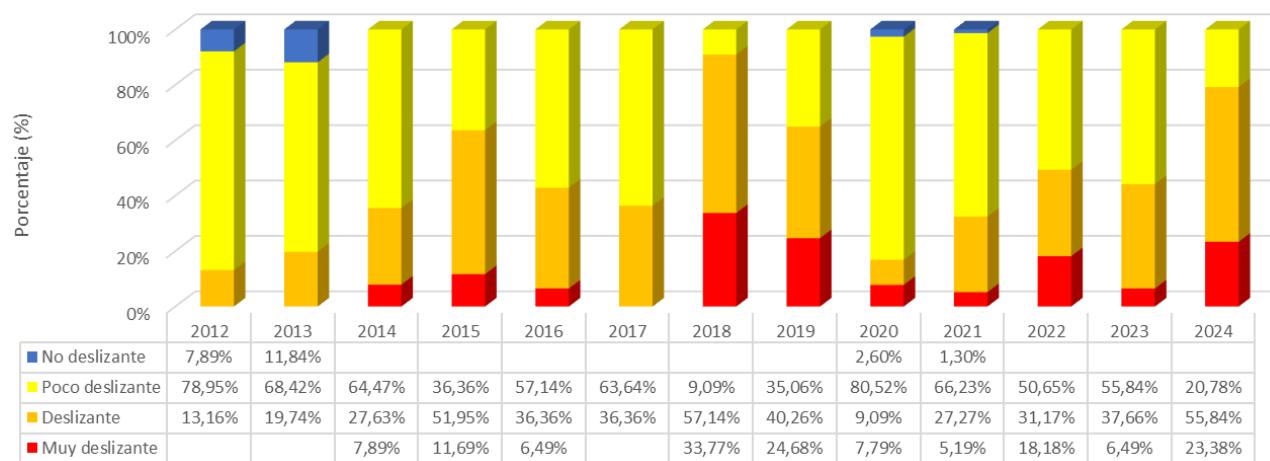
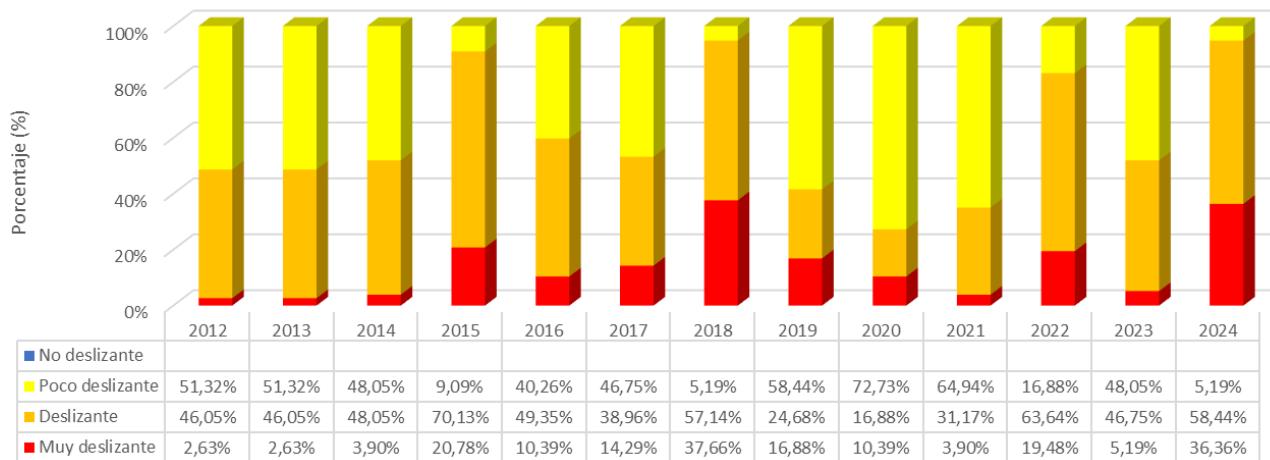


Figura 25.

Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2012 al 2023 sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27.

Coeficiente Rozamiento GN Caldera - San José, 2012-2024



7.6 Comparación de las notas Q obtenidas para la Ruta 27, años 2012 al 2024

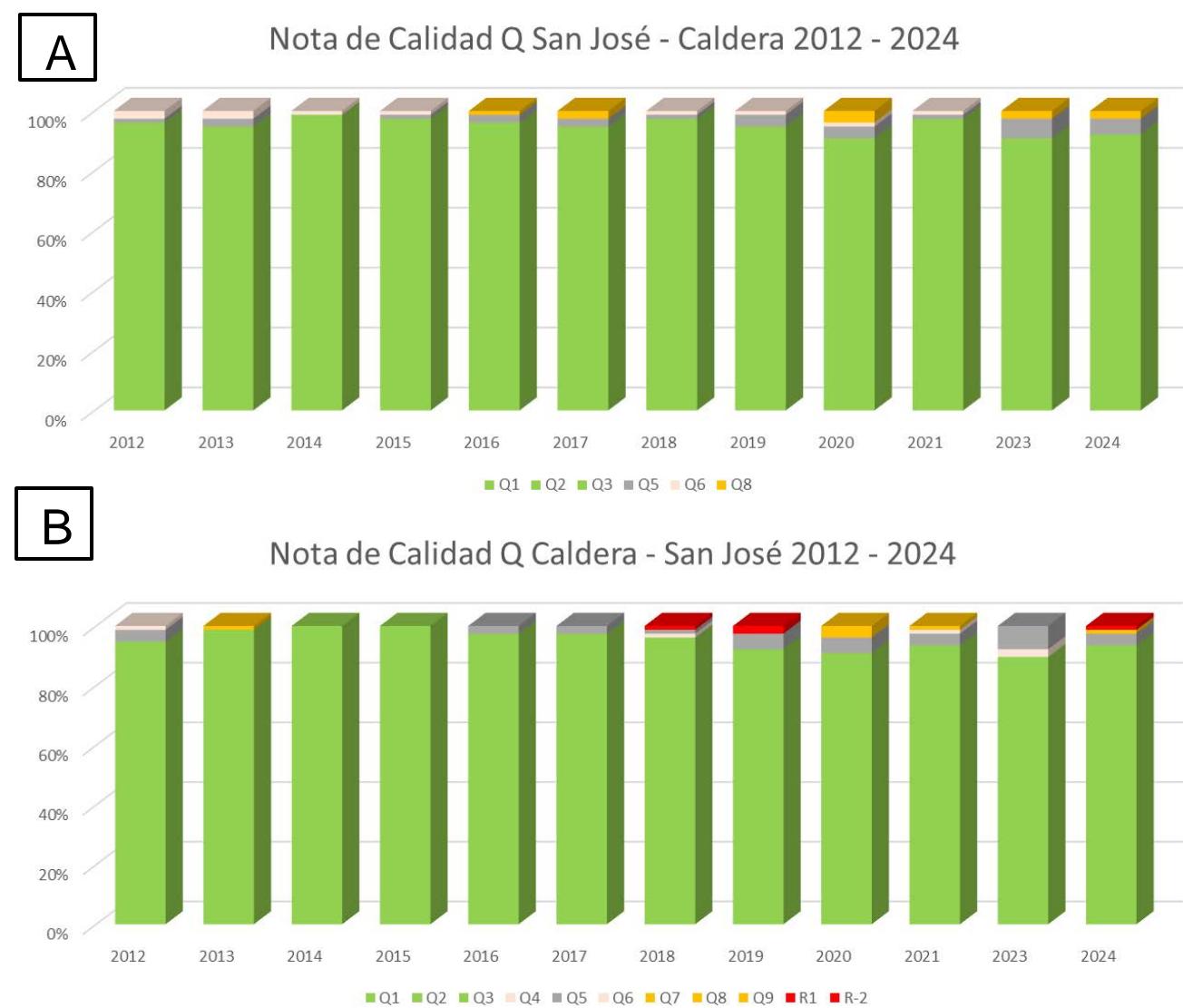
Por medio de la utilización de la metodología para el cálculo de las Notas de Calidad Q, el LanammeUCR introduce un indicador de condición del proyecto, que permite evaluar la evolución del deterioro del corredor en forma integral. Las Notas de Calidad Q ponderan la condición estructural y la condición funcional en un único indicador, y correlaciona esta nota con los valores de agarre superficial, para establecer niveles de intervención; es decir, actividades que van desde el mantenimiento hasta la reconstrucción total de una vía.

Calculando las notas de calidad Q para el corredor de la troncal principal y comparándola con sus equivalentes en evaluaciones anteriores, se puede conocer el nivel de calidad del proyecto y su desempeño en el tiempo (Figura 26).



Figura 26.

Resultados obtenidos en la comparación de Notas Q para las campañas 2012 al 2024. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José.

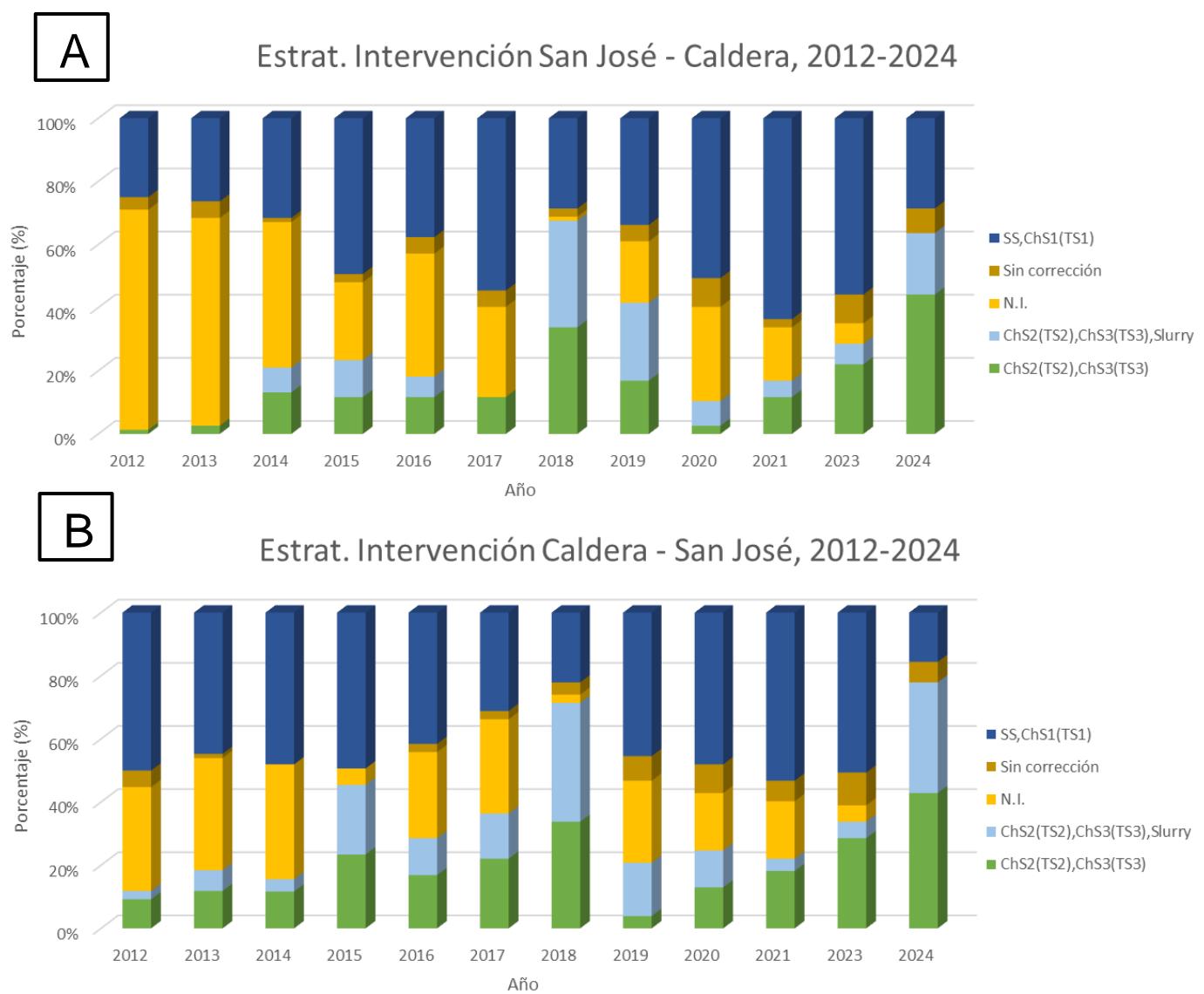


Para ambos sentidos de circulación se puede apreciar en la figura anterior que conforme va disminuyendo la condición funcional y, en menor medida, la condición estructural, se va presentando una disminución constante de la longitud del proyecto con nota de calidad Q1, evolucionando hacia Q2 principalmente.

Con respecto a las estrategias de intervención, la comparación de resultados entre evaluaciones desde el año 2012 al 2024 se muestra en la Figura 27.

**Figura 27.**

Resultados obtenidos en la comparación de estrategias de intervención para las campañas 2012 al 2024. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José.



Estas estrategias están definidas con el objeto de mejorar las condiciones generales de la ruta relacionadas principalmente a la condición funcional y resistencia al deslizamiento. En la figura anterior se muestra que a lo largo de los años evaluados en el sentido San José – Caldera, la longitud de la ruta que no requería de alguna intervención (N.I.) ha disminuido en las últimas

evaluaciones, incrementando la categoría *ChS2(TS2), ChS3(TS3), Slurry* y *ChS2(TS2), ChS3(TS3)*, puesto que, como se observa en las secciones 3.5 a, 3.5 b y 3.5 c, se ha dado un incremento del deterioro en la condición del pavimento, principalmente en la condición funcional y agarre superficial.

7.7 Análisis de la condición superficial. Evaluaciones realizadas en setiembre 2024

7.7.1 Equipo utilizado y criterios de clasificación

El *Equipo de Imágenes digitales Georreferenciadas* usado, cuenta con dos cámaras fotogramétricas ubicadas en dos distintas posiciones sobre el vehículo, permitiendo tener una visión más general del proyecto, para de esta forma, hacer una evaluación superficial de pavimento con la ubicación de las cámaras en la parte trasera del vehículo y analizar aspectos de seguridad, ubicando las cámaras en la parte frontal del vehículo.

Los criterios de severidad que se utilizaron para la realización de la evaluación de la superficie de ruedo se establecen de acuerdo con lo definido en la norma *ASTM D6433* para deterioros superficiales en pavimentos flexibles y el *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos para Profesionales* (MAV-2016). Al contar con la información obtenida en el periodo 2011 - 2024 referente a los deterioros presentes en esta ruta, se pudo hacer un análisis comparativo por sentido de circulación, que permitió identificar los cambios superficiales ocurridos, lo cual a su vez se puede reflejar en las Notas de Calidad Q.

7.7.2 Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales.

En la Figura 28, se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de deterioros realizada en la troncal principal en ambos sentidos de circulación. En el sentido San José – Caldera, se registraron 81 717 m² afectados por deterioros tipo área (piel de lagarto, bacheo, exudación), en donde el área afectada por Piel de Lagarto representa un 73,60 % del total del área registrada con deterioro. En el sentido Caldera – San José, se registraron 68 104 m² afectados por deterioros tipo área (piel de lagarto, bacheo, exudación), en donde el área afectada por Piel de Lagarto representa un 73,60 % del total del área registrada con deterioro.

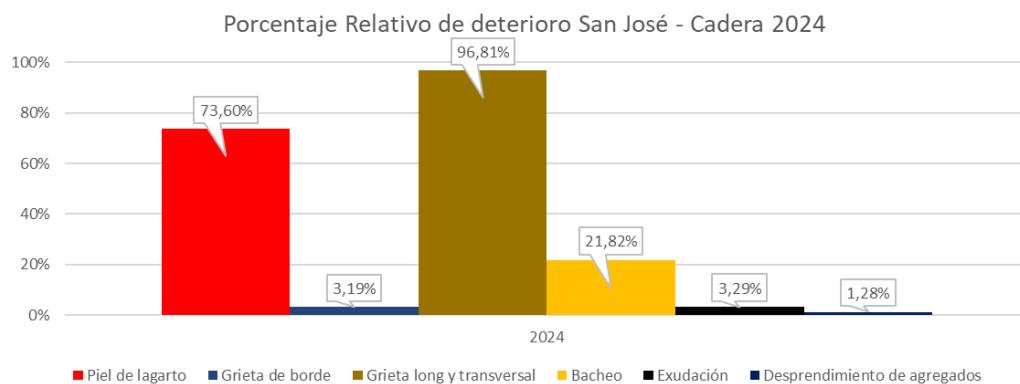


Por otra parte, en relación con la longitud detectada con algún tipo de deterioro, en este caso Grietas longitudinales / transversales y Grietas de borde, para el sentido San José – Caldera, se registraron 10 455 m, en donde un 98,81 % corresponde a Grietas longitudinales / transversales, En el sentido Caldera – San José, se registraron 11 735 m, en donde un 97,08 % corresponde a Grieta longitudinales / transversales.

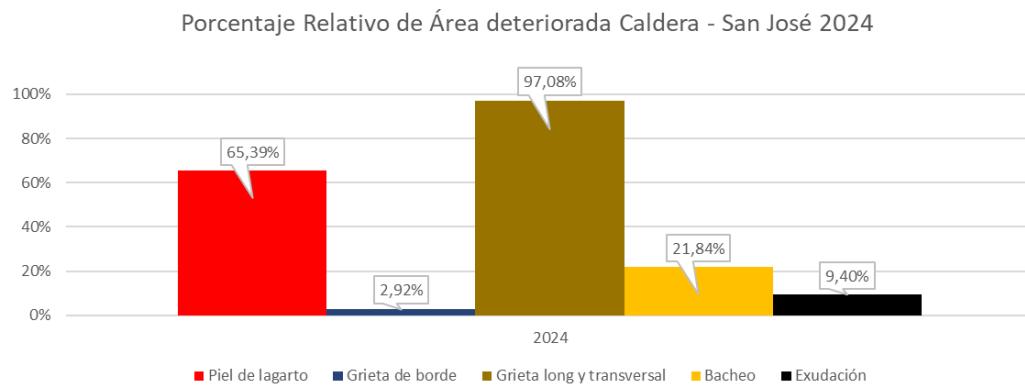
Figura 28.

Resultados de deterioros, A) sentido San José – Caldera, B) sentido Caldera – San José.

A



B



Como se observa, el deterioro tipo *Piel de Lagarto* representa en promedio el 55,67 % del área deteriorada de cada segmento evaluado seguido por *Bacheo*, con presencia de exudación.

Como un caso particular de análisis, se detectó que hay una concentración de sello de grietas tanto para grietas longitudinales y transversales (en menor medida) y un uso generalizado en

zonas afectadas con piel de lagarto en los primeros 14 km del proyecto, como se exemplifica en la Figura 29.

Esta práctica puede representar posibles afectaciones a este tramo de la ruta:

La primera afectación, está relacionada con el no cumplimiento del objetivo de prevenir o reparar el deterioro que se ha detectado en la superficie de ruedo, el cual, en su mayoría, es Piel de Lagarto. Este tipo de deterioro representa un problema más allá de grietas en la capa superficial de la estructura del pavimento, puesto que, puede llegar a representar un problema en todo el paquete estructural, ya que estas grietas tienen su origen en la fibra inferior de la capa de mezcla asfáltica, que son provocadas por fatiga del material, dada la acción repetida de las cargas de tránsito, por lo que, al ya ser visibles las grietas en la superficie de ruedo, se ha dado paso el ingreso de agua a la estructura del pavimento, favoreciendo que éste empiece a debilitarse según se dan las cargas vehiculares que circulan sobre éste, por lo que al usar sello de grietas no previene ni repara el problema, en el mejor de los casos, lo retarda, puesto que no es un problema funcional, sino más bien, es un problema estructural.

Figura 29.

Sellos de grietas



7.7.3 Comparación de resultados entre los años 2014 - 2024 de la evaluación visual de deterioros superficiales.

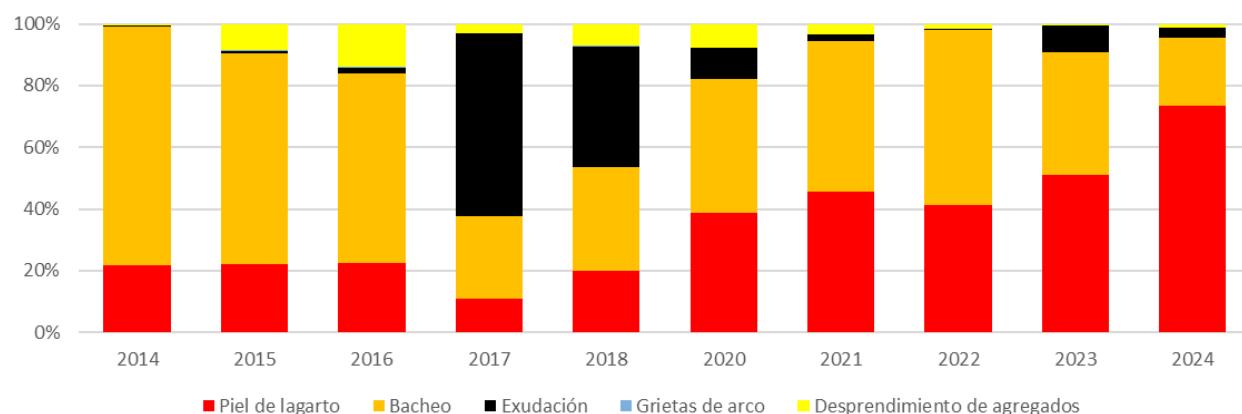
En la Figura 30 se muestra la comparación para las últimas 10 evaluaciones, para el sentido San José – Caldera. En los deterioros-detrimentos que se registran según el área deteriorada, se ha dado un incremento constante en la superficie afectada por Piel de Lagarto y Bacheos, mientras que en la longitud deteriorada se han arrojado resultados aproximadamente similares en las últimas 2 campañas de evaluación, de donde se puede observar un crecimiento acelerado, por lo que de seguirse la tendencia, es posible que en el corto plazo se llegue alcanzar los porcentajes máximos fijados en el cartel-pliego de licitación, Cláusula 2.5.2 *Indicadores para Pavimento Asfáltico en el inciso c) Agrietamiento (%)*.

**Figura 30.**

Comparación de deterioro superficial 2014 al 2024 en el Sentido San José - Caldera.

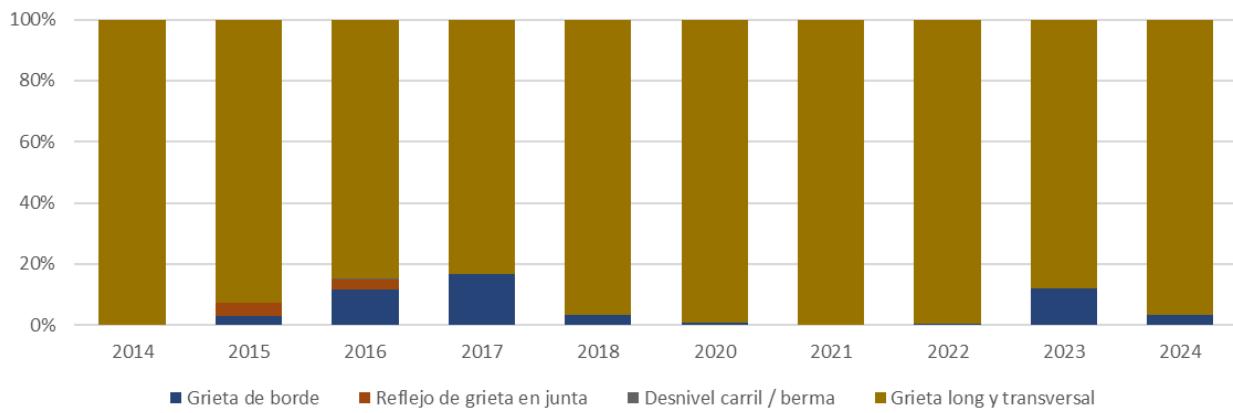
a) Área deteriorada; b) Longitud deteriorada.

Porcentaje Relativo de Área deteriorada San José - Cadera 2014 - 2024



a)

Porcentaje Relativo de Longitud deteriorada San José - Cadera 2014 - 2024



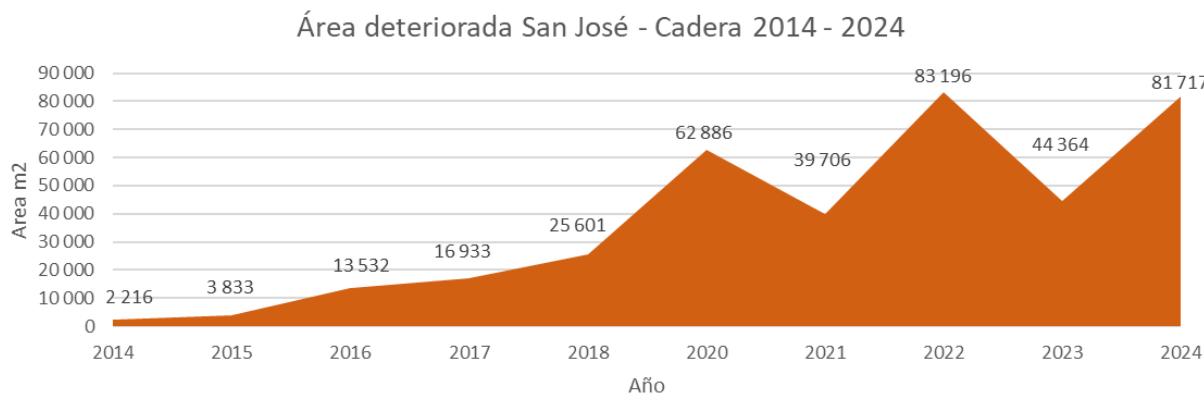
b)

Al desglosar los deterioros según sea el área o longitud deteriorada (Figura 30), algunos de estos han disminuido su área relativa con cada evaluación (Figura 30a). En la longitud que presenta deterioro (Figura 30b), se detectó una diminución de grieta de borde, la cual estaba presente en la evaluación anterior. En la Figura 31 se muestra el aumento del área y longitud que presenta los diferentes tipos de deterioros, siendo evidente la tendencia acelerada en el aumento del deterioro superficial presente en la troncal principal.

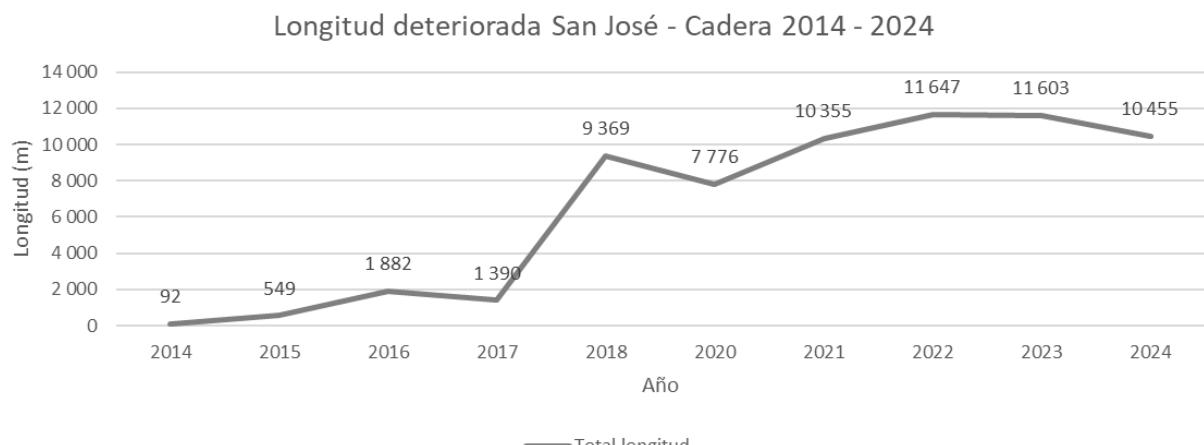
**Figura 31.**

Cantidad de deterioro entre el 2014 al 2023 en el Sentido San José - Caldera.

a) Área total deteriorada por año; b) Longitud total deteriorada por año.



a)



b)

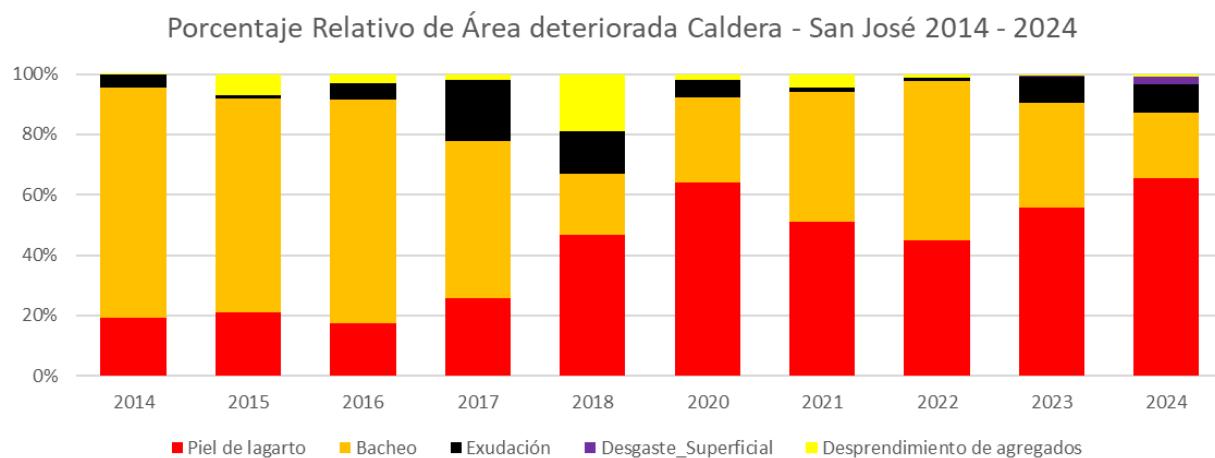
Lo presentado anteriormente, fue el análisis para el sentido San José - Caldera. En el sentido Caldera – San José, se realiza un análisis similar.

La Figura 32 a) muestra los resultados obtenidos en la afectación de la superficie de ruedo por deterioros, para las últimas 10 campañas de evaluación. En los deterioros que se registran según el área deteriorada, se ha dado un incremento constante en la superficie afectada por Piel de Lagarto, Bacheos y Exudación, mientras que en la longitud deteriorada han arrojado

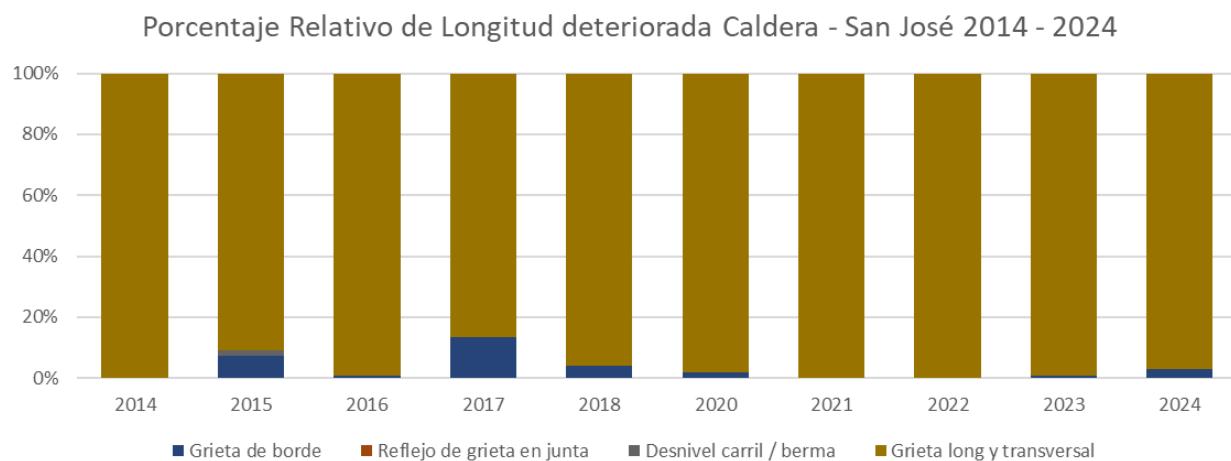
resultados aproximadamente similares en las últimas 3 campañas de evaluación, de donde se puede observar un crecimiento acelerado, por lo que de seguirse la tendencia, es posible que en el corto plazo se llegue alcanzar los porcentajes máximos fijados en el [cartel pliego](#) de licitación, Cláusula 2.5.2 *Indicadores para Pavimento Asfáltico* en el inciso c) *Agrietamiento (%)*.

Figura 32.

Comparación de deterioro superficial 2014 al 2023 en el Sentido Caldera - San José. a) Deterioros tipo área; b) Deterioros tipo grieta.



a)

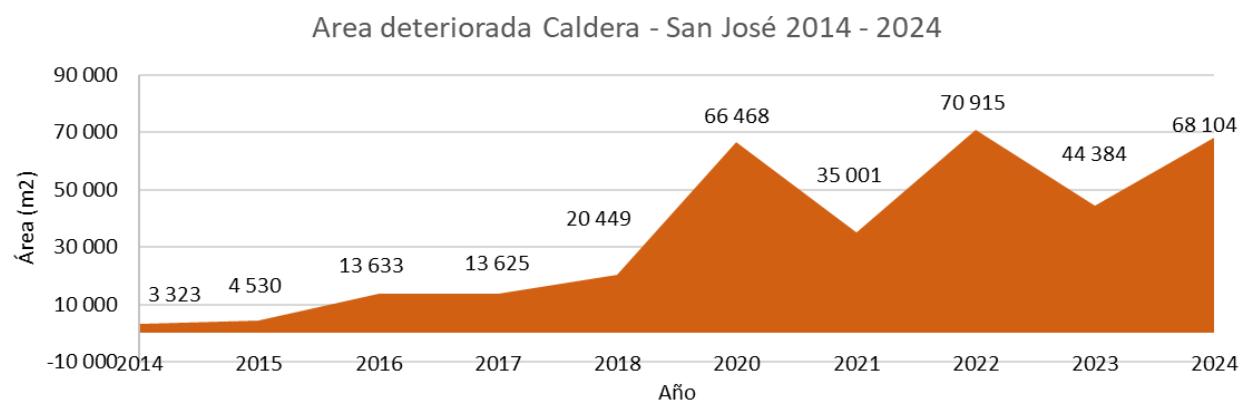


b)

**Figura 33.**

Comparación de deterioro superficial 2014 al 2023 en el Sentido Caldera - San José.

a) Deterioros tipo área; b) Deterioros tipo grieta.



a)



b)

En la figura anterior se muestra el aumento del área que presenta los diferentes tipos de deterioros, siendo evidente la tendencia acelerada en el aumento del deterioro superficial presente en la troncal principal, en relación con los deterioros tipo longitud, se ve una tendencia a la baja de la cantidad de metros deteriorados.

7. EVALUACIÓN DE LAS RADIALES

8.1 Aspectos Generales

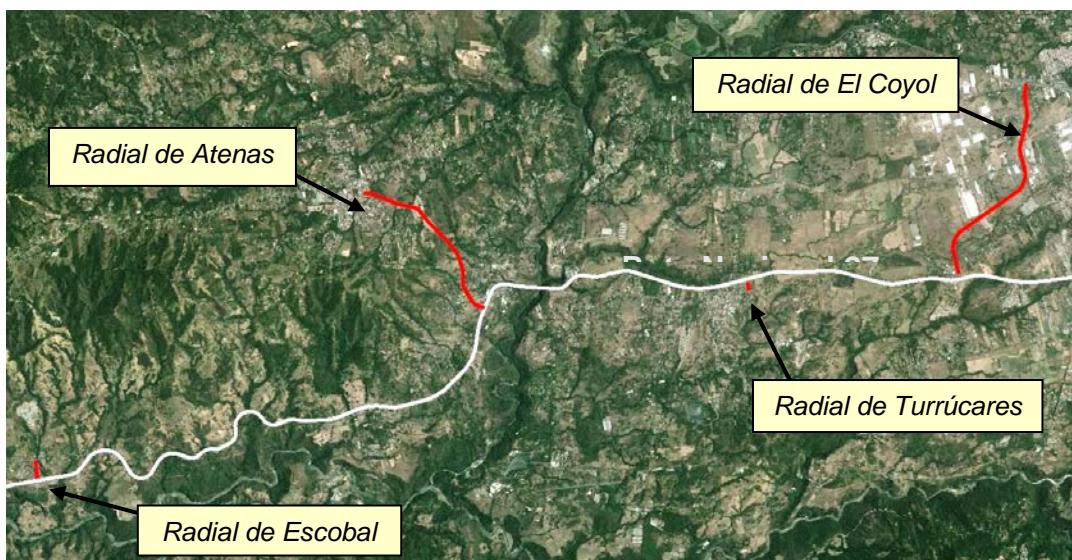
El proyecto de la Ruta Nacional 27 Carretera San José – Caldera, tal y como fue concesionado, comprende tanto la troncal principal como 4 radiales de acceso, a saber:

- Radial de El Coyol: conecta el proyecto en concesión en el estacionamiento 22+450 con la Ruta Nacional 1 Carretera Interamericana Norte, en las cercanías de El Coyol de Alajuela. Es la radial más reciente construida y, además la más larga, con 3.800 metros de longitud.
- Radial de Turrúcares: conecta la Ruta 27 en el estacionamiento 26+350 con el poblado de Turrúcares de Alajuela. Es la radial más corta, con 200 metros de longitud.
- Radial de Atenas: cerca del peaje de Atenas (estacionamiento 31+560), conecta proyecto concesionado con el poblado de Atenas. Tiene una longitud de 3.300 metros.
- Radial de Escobal: permite la comunicación desde la Ruta 27 en el estacionamiento 42+150 al poblado de Escobal. Tiene una longitud de 400 metros.

La longitud indicada anteriormente es el recorrido principal de cada radial, sin incluir las rampas o rotondas de conexión. Todas las radiales presentan accesos desde la troncal principal, mediante carriles de aceleración / desaceleración, intersecciones e intercambios con rotondas; asimismo todas presentan un carril por sentido de circulación. La Figura 34 muestra la ubicación de estas radiales.

Figura 34.

Ubicación de las radiales en la Ruta Nacional 27.



Como parte de la Campaña de Evaluación 2024 – 2025 de la Ruta Nacional 27, se evaluaron las radiales en los parámetros de capacidad estructural con el *Deflectómetro de Impacto*, capacidad funcional con el *Perfilómetro Láser*, seguridad vial con el *Medidor de Agarre Superficial* y nivel de deterioros en la superficie del pavimento con el *Equipo de Imágenes Digitales Georreferenciadas*. En el Anexo VII se muestra de manera gráfica los principales deterioros detectados, y los indicadores del estado del pavimento.

8.2 Resultados obtenidos: Capacidad Estructural

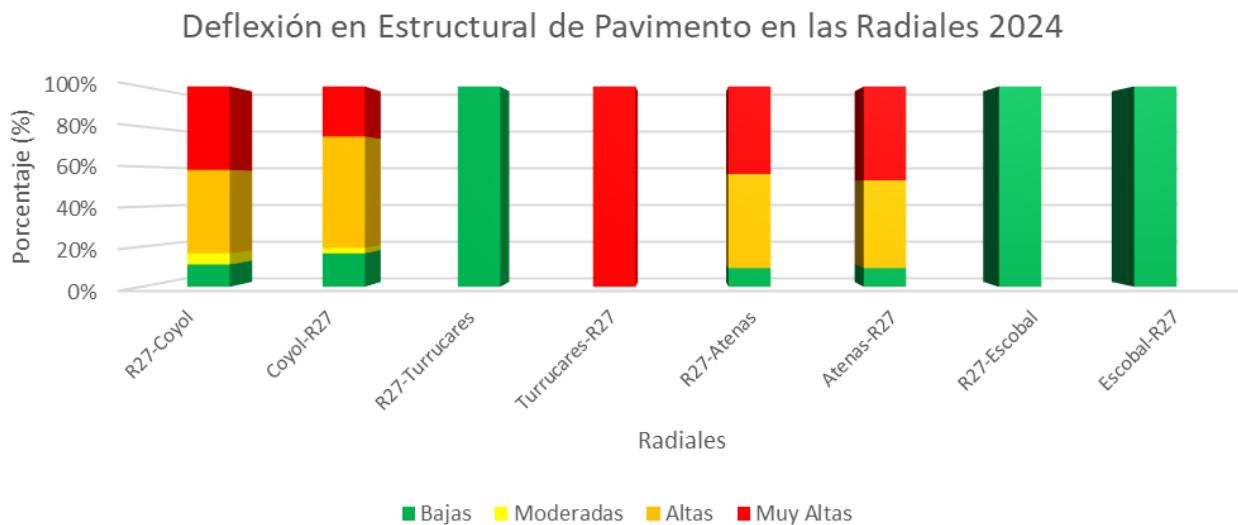
La Figura 35 muestra para cada radial, los resultados obtenidos con el *Deflectómetro de Impacto*, en porcentajes relativos para la longitud de cada una. Según el contrato de la concesión en la Sección 2.3.2.1.5 *Diseño Geométrico*, el concesionario debe considerar como mínimo las velocidades de diseño y las secciones transversales típicas contenidos en los diseños, planos y anteproyectos proporcionados por el Concejo Nacional de Concesiones (CNC) y dar mantenimiento y rehabilitación a las radiales especificadas en el contrato.



Al momento de realizar este análisis no se contó con la información referente a la estructura de cada radial, ya que desde el 2010 se solicitó la configuración del paquete estructural y no se obtuvo respuesta, por lo que se considera un espesor de capa asfáltica igual a la estructura de la sección a la cual pertenecen: dado que todas las radiales se encuentran en la Sección 2 de la ruta, se asumirá su estructura para el cálculo de las deflexiones.

Figura 35.

Resultados obtenidos con el Deflectómetro de Impacto, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada categoría.



De la figura anterior se puede notar que las dos radiales con mayor longitud del proyecto (Atenas y El Coyol), son las que presentan los valores más altos de deflexiones, lo que representa que estas radiales cuentan con una capacidad deficiente para soportar las cargas vehiculares. No obstante, en el sentido Turrúcares – Ruta 27 se presentan deflexiones muy altas. Por su parte, la de Escobal cuenta con deflexiones que representan una muy buena condición estructural.

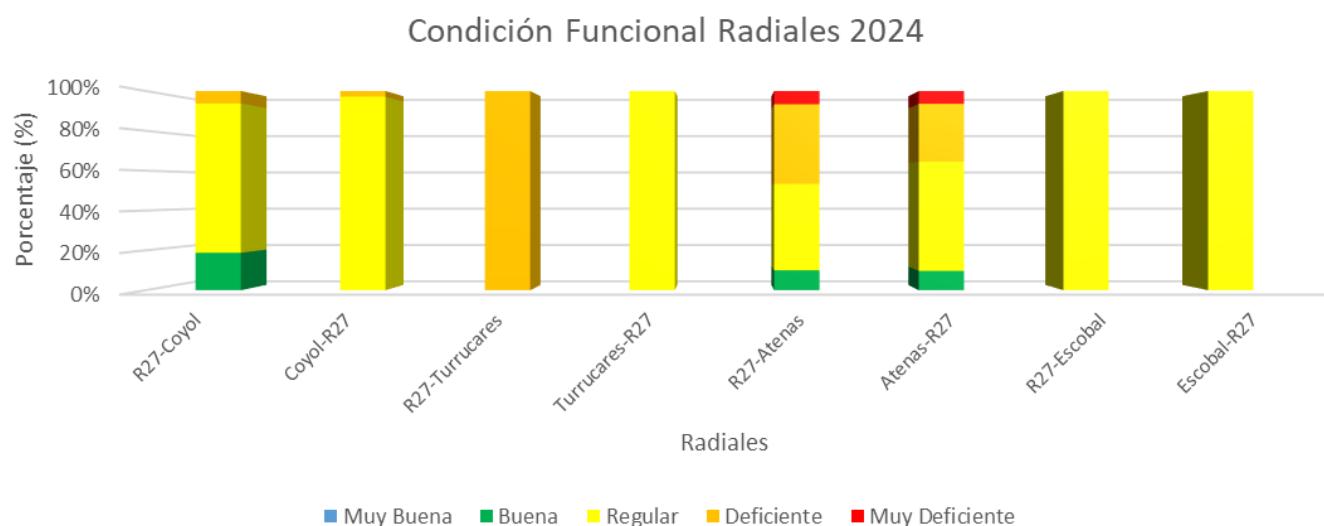
8.3 Resultados obtenidos: Condición Funcional



En la Figura 36 se muestran los resultados obtenidos con el equipo *Perfilómetro Láser*. Similar a los datos presentados de deflectometría, en esta figura se muestran los porcentajes relativos obtenidos para cada categoría, según la longitud total de cada radial.

Figura 36.

Resultados obtenidos con el Perfilómetro Láser, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.



Como se observa en la figura anterior, la mayor parte de la longitud de cada radial se encuentra en la categoría de *Regular*, excepto la Radial de Turrúcares en el sentido Ruta 27 – Turrúcares, que presenta a todo lo largo de tramo una *Deficiente* condición. La radial de Atenas, presenta además una longitud importante dentro del rango *Regular*.

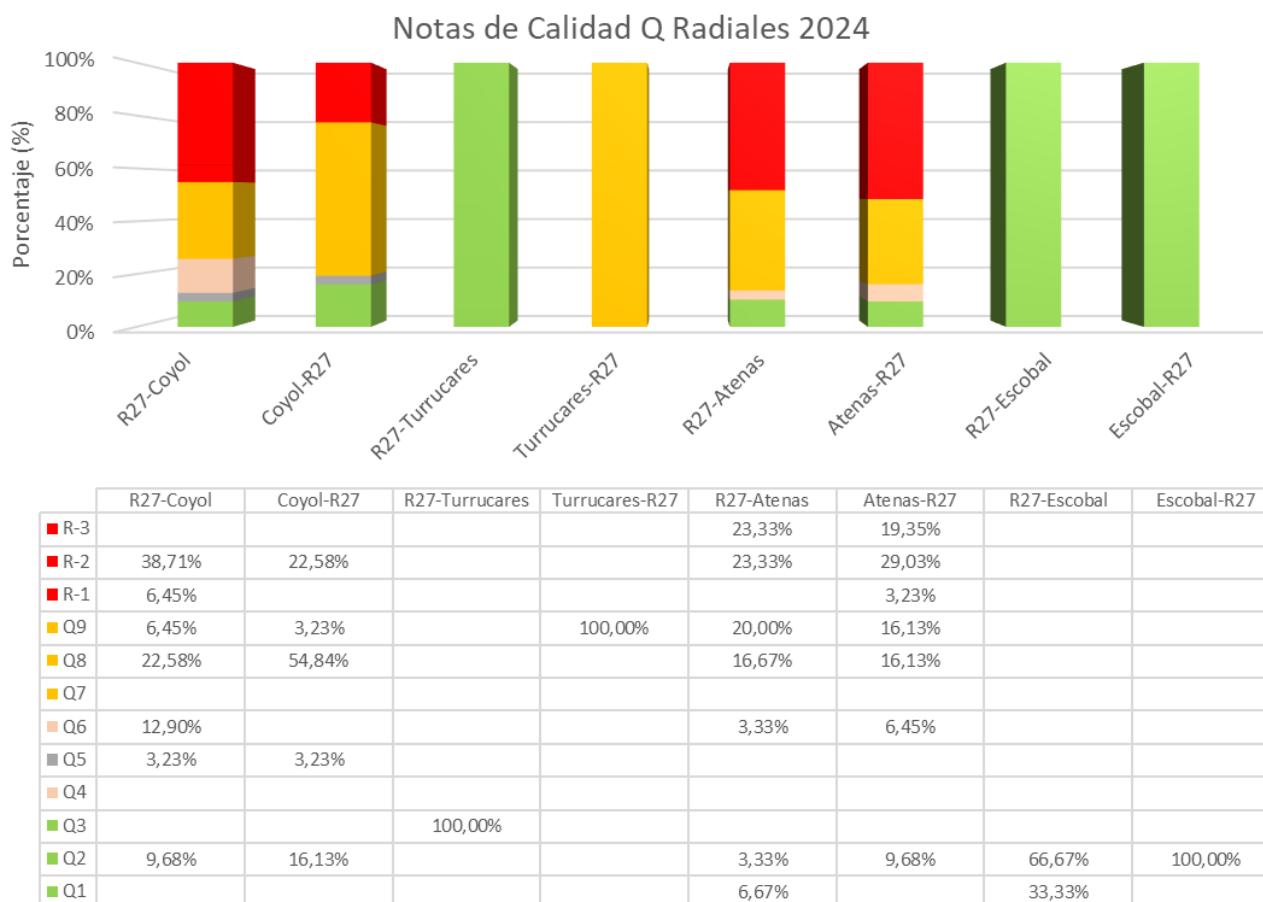
8.4 Notas de Calidad Q para las radiales

Con base en los resultados obtenidos en deflectometría y regularidad superficial, se procede a estimar las notas Q para cada radial (dividida en tramos de 100 metros de longitud para poder contar con unidades de análisis comparables en el tiempo). Los resultados (Figura 37) muestran que, excepto por la radial a Escobal, las demás radiales presentan porcentajes importantes de su longitud con Notas Q R1, R2 y R3 que presentan altos niveles de deterioro,

desde el punto de vista estructural y funcional, lo que se traduce en que la alternativa de intervención recomendada es la reconstrucción del pavimento.

**Figura 37.**

Notas Q para las Radiales.



8.5 Resultados obtenidos: Coeficiente de Fricción

La Figura 38 y Figura 39 muestran los resultados obtenidos en la evaluación de agarre superficial, con los 2 equipos usados también en la troncal principal (*GripTester*, *MuMeter*).

Para la Radial El Coyol en el sentido El Coyol – Ruta Nacional 27, presenta un 45 % en condición *Deslizante* y un 55 % *Poco deslizante*, mientras que para el sentido Ruta Nacional 27 – El Coyol la proporción pasa a 43,6 % en condición *Muy deslizante*, 51,3 % en condición *Deslizante*, 5,1 % en condición *Poco deslizante*.

Asociado a los resultados obtenidos con el *GripTester*, se presenta en la Radial Turrúcares, un 100 % en condición *Deslizante* en ambos sentidos.

En la Radial Atenas para el sentido Ruta Nacional 27 – Atenas, se presenta un 29,03 % en condición *Muy deslizante*, 60,6 % en condición *Deslizante* y 18,2 % en condición *Poco deslizante*, mientras que en el sentido Atenas – Ruta Nacional 27, se distribuye la condición en 11,8 % *Muy deslizante*, un 61,8 % en condición *Deslizante* y un 26,5 % en condición *Poco deslizante*.

Finalmente, en la Radial a Escobal en el sentido Escobal – Ruta Nacional 27 cuenta con un 25 % en condición *Muy deslizante*, 75 % en condición *Deslizante*, por su parte, en el sentido Ruta Nacional 27 – Escobal, el 50 % de su longitud se encuentra en condición *Deslizante* y el otro 50 % presenta una condición *Poco deslizante*.

Para el caso de las mediciones del coeficiente de fricción con el equipo *MuMeter*, se puede observar que se cumple al 100 % lo indicado en el contrato en todas las radiales analizadas, según lo indicado en la Figura 39.

Figura 38.

Resultados obtenidos con el GripTester, para las radiales del proyecto concesionado, en porcentajes para cada rango.

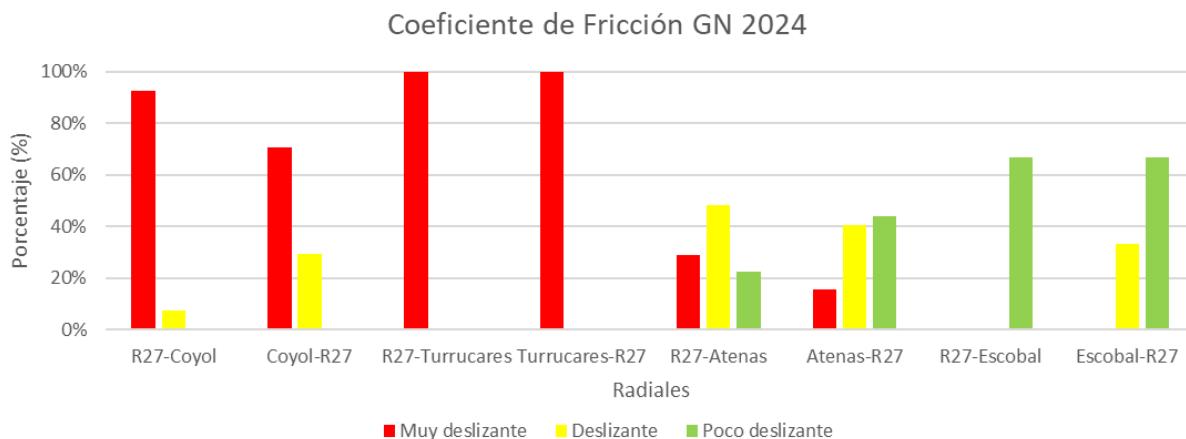
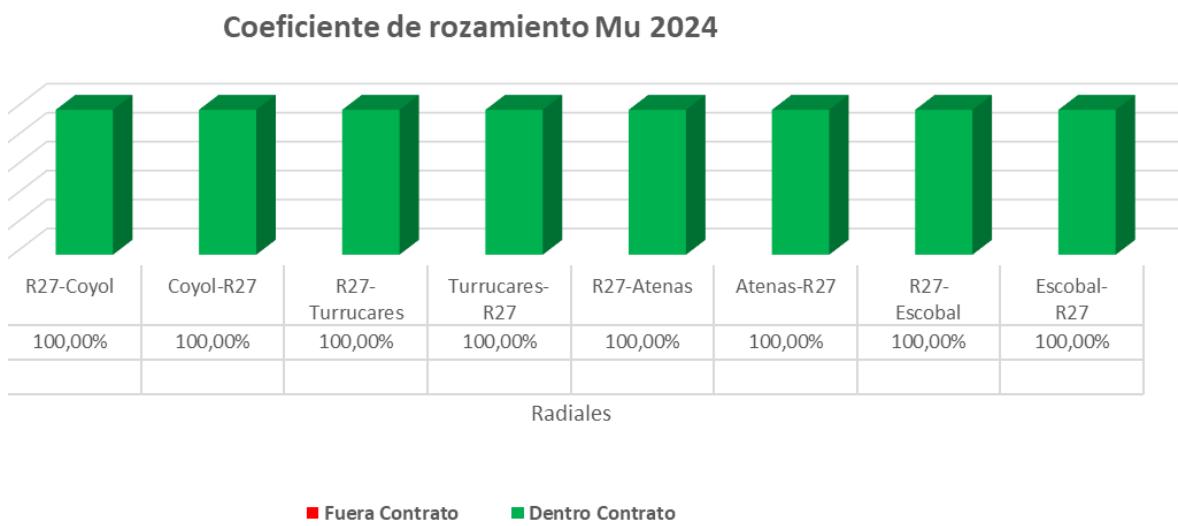


Figura 39.

Resultados obtenidos con el MuMeter, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.



8.6 Resultados obtenidos: análisis de deterioros superficiales

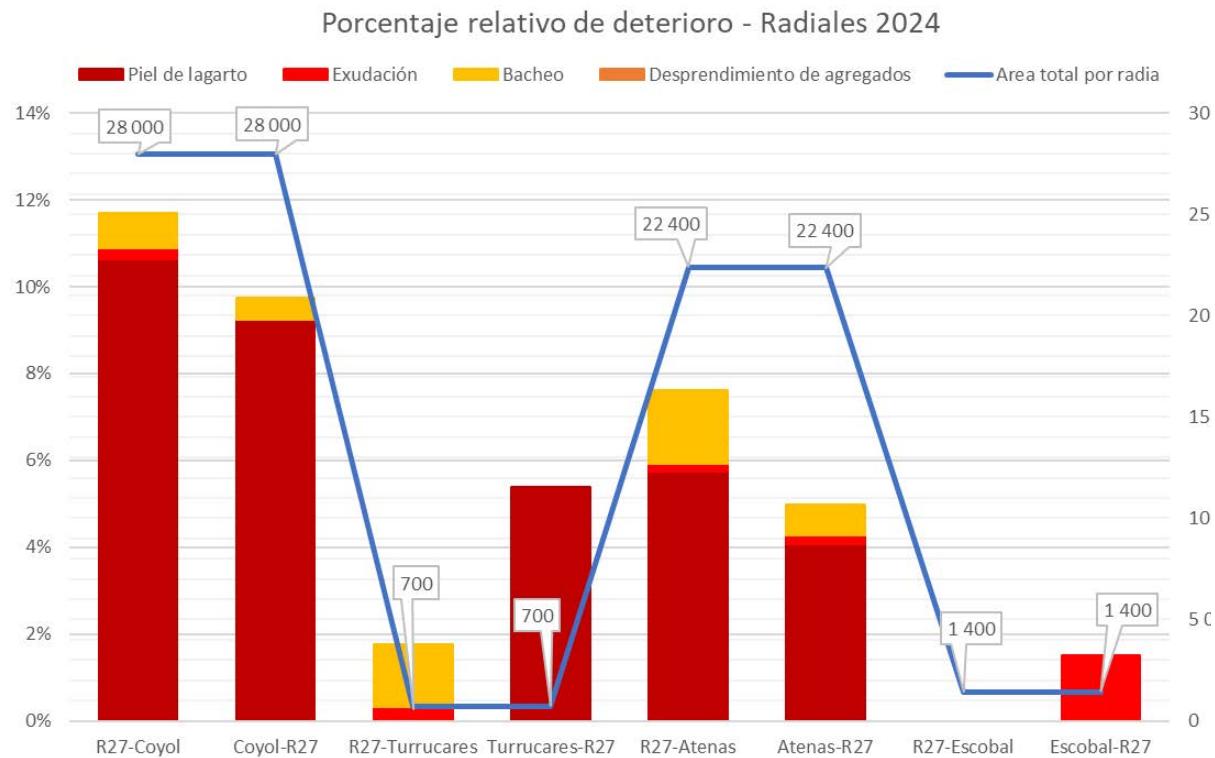
Con el *Equipo de Imágenes Digitales Georeferenciadas*, se realizó un levantamiento detallado de la superficie pavimentada de cada radial. Con esto, fue posible ubicar los deterioros en cada radial, así como su extensión y severidad.

En la campaña de evaluación 2024 – 2025, se muestra que, al hacer una comparación relativa del área deteriorada versus el área total aproximada de cada radial (Figura 40), se puede notar que la radial a El Coyol es la que presenta mayor porcentaje de área deteriorada. Además, se puede apreciar que los deterioros dominantes son Piel de Lagarto, Exudación y Bacheo, en donde para la Radial El Coyol la Piel de Lagarto representa alrededor de un 11 % del área estimada para esa radial.

Estos resultados concuerdan con los valores obtenidos en la sección 1.13 Notas de Calidad Q para las radiales, puesto que un porcentaje importante de longitud para cada radial requiere de actividades de rehabilitación e incluso reconstrucción, dado el nivel que presenta tanto, desde el punto de vista estructural como funcional y de deterioros superficiales.

Figura 40.

Distribución de deterioros en las radiales con área deteriorada por radial, Ruta Nacional 27.



8.7 Comparación de la condición de las radiales, campañas 2013 – 2024

8.7.1 Evaluación con el deflectómetro de impacto

Las Figura 41, Figura 42, Figura 43 y Figura 44 muestran para cada sentido de las radiales, la comparación de los resultados obtenidos en las campañas de evaluación de la capacidad estructural, entre los años 2013 a 2024. Del estudio de estas figuras, no se determina una tendencia clara hacia la mejora, pero lo que si resulta claro es que, al comparar el estado estructural de las radiales con la de la troncal principal, los resultados muestran que, a lo largo de las últimas campañas de evaluación, excepto la Radial de Escobal que mantiene buena capacidad estructural, no se evidencia un plan de intervenciones para su conservación y mejora.

**Figura 41.**

Comparativo Deflexiones de Radial El Coyol años 2013-2024.

Deflexión en Estructural de Pavimento Ruta 27 - El Coyol, 2013-2024



Deflexión en Estructural de Pavimento El Coyol - Ruta 27 , 2013-2024

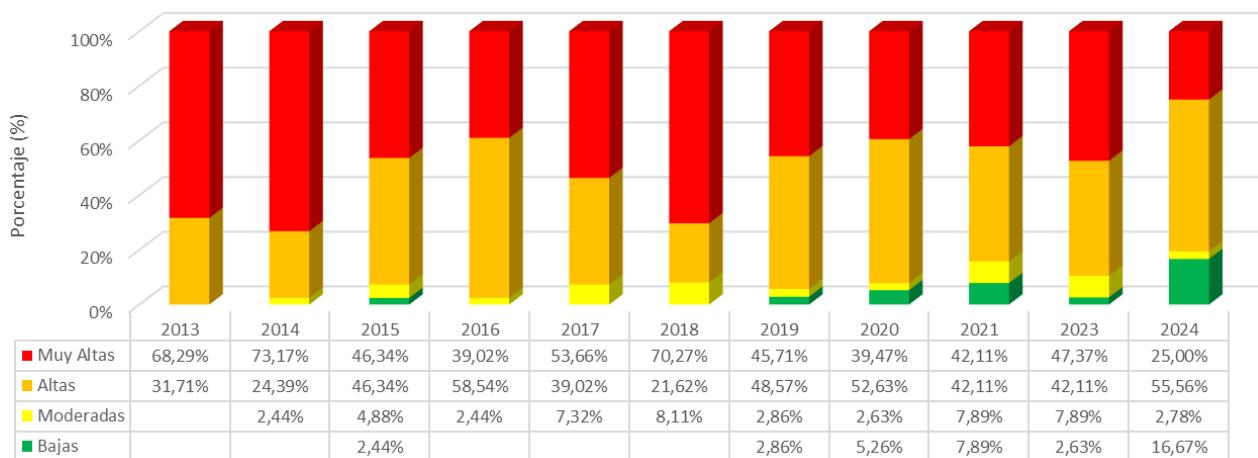
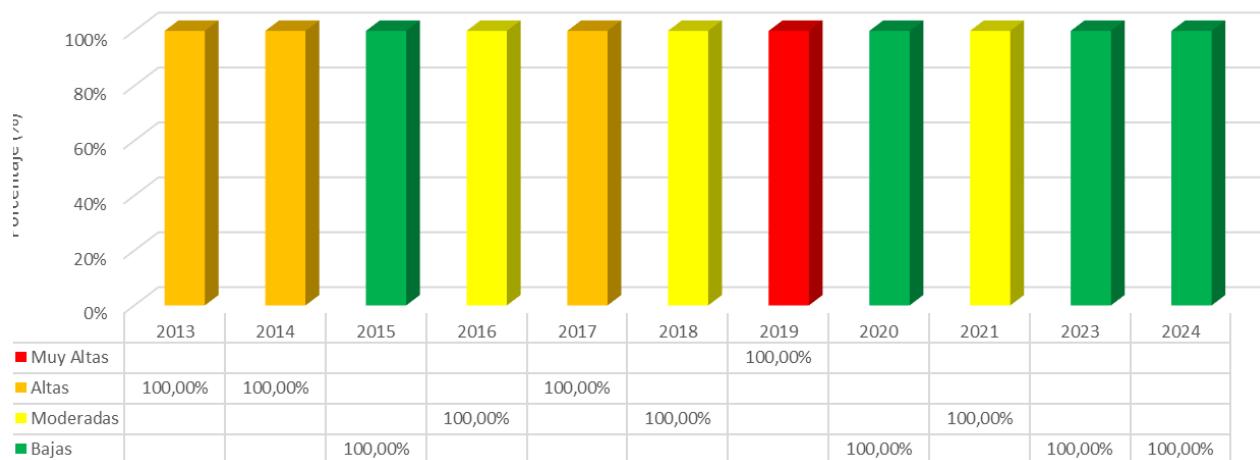


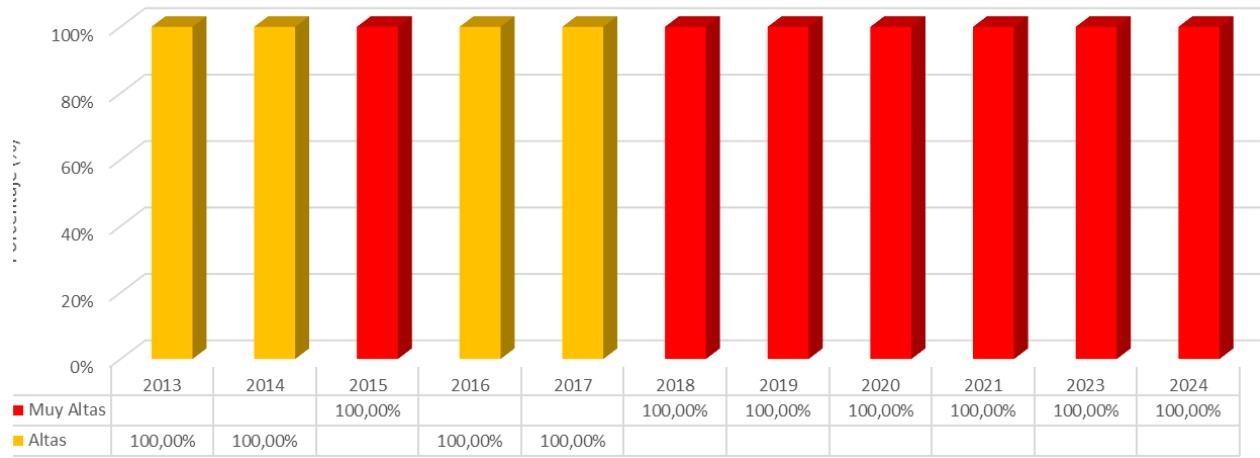
Figura 42.

Comparativo Deflexiones de Radial Turrúcares años 2013-2024.

Deflexión en Estructural de Pavimento Ruta 27 - Turrúcares, 2013-2024



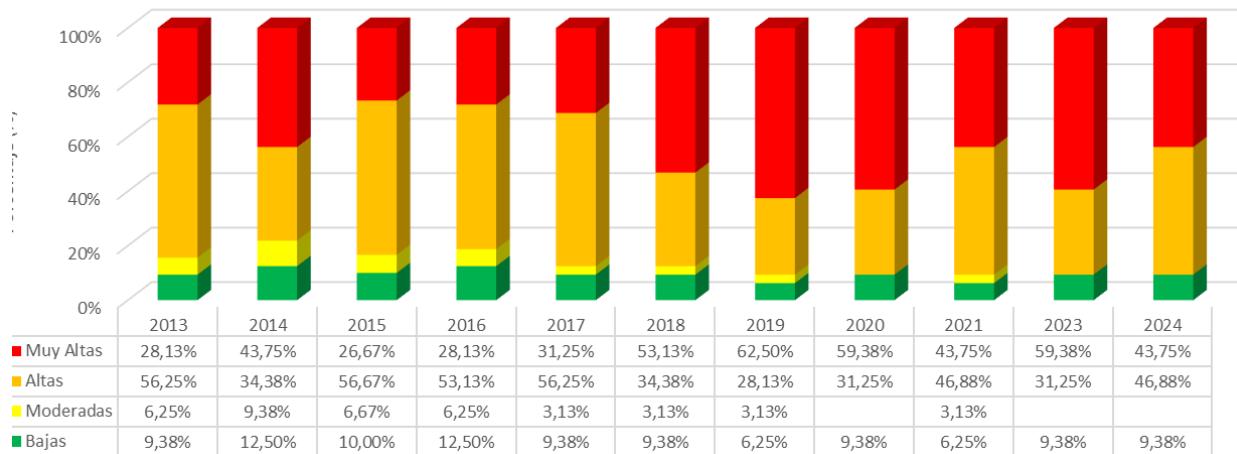
Deflexión en Estructural de Pavimento Turrúcares - Ruta 27, 2013-2024



**Figura 43.**

Comparativo Deflexiones de Radial Atenas años 2013-2024.

Deflexión en Estructural de Pavimento Ruta 27 - Atenas, 2013-2024



Deflexión en Estructural de Pavimento Atenas - Ruta 27, 2013-2024

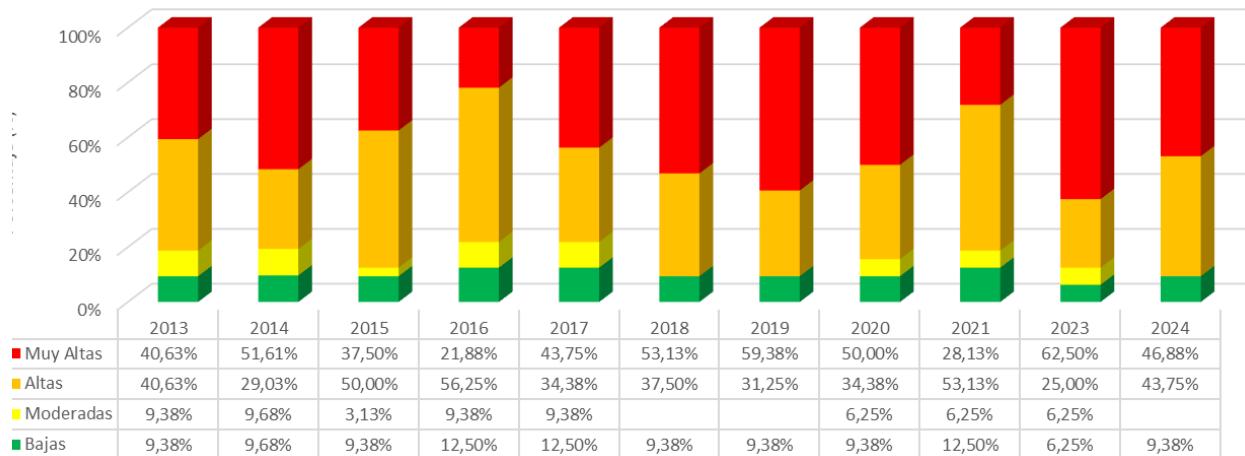
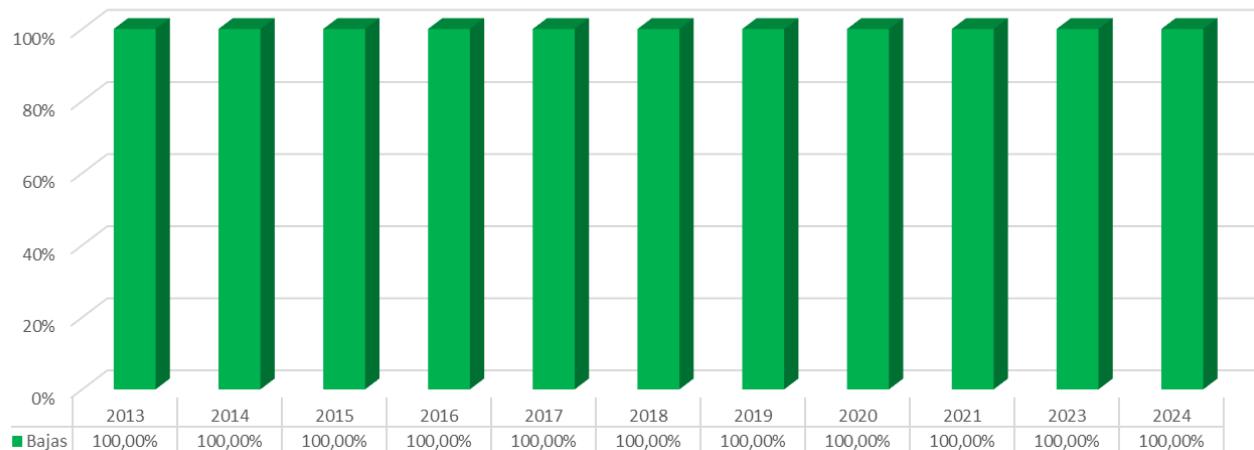


Figura 44.

Comparativo Deflexiones de Radial Escobal años 2013-2024.

Deflexión en Estructural de Pavimento Ruta 27 - Escobal, 2013-2024



Deflexión en Estructural de Pavimento Escobal - Ruta 27, 2013-2024



8.7.2 Evaluación con el perfilómetro láser superficial

En las Figura 45,

Figura 46, Figura 47 y Figura 48, se muestra la comparación de resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial, para las campañas 2013 a 2024. A continuación, se analiza esta información:

- Radial El Coyol:
 - En el sentido Ruta 27 – El Coyol para los años 2013 y 2014 se presentaba una condición superficial buena, a partir del 2015 se presenta una variación constante, sin definir claramente una tendencia a la mejora; particularmente entre los años 2019 y 2022 se presenta poca variación en los porcentajes de regular y buena, para el año 2023 se presenta una disminución cercana al 10 % en relación con el año anterior, para el año 2024 se presenta una leve disminución en las categorías Regular y Buena para dar pie a la categoría Deficiente con un 6,25 %
 - En el sentido El Coyol – Ruta 27 entre los años 2013 y 2015 se aprecia una mayor presencia de una condición buena, a partir del 2016 se presenta una variación constante, marcando una tendencia a la desmejora hasta el año 2018, ya que a partir del 2019 hay un cambio a la mejora, puesto que disminuye el porcentaje deficiente y se incrementa levemente la condición de buena, pero para el 2021 el porcentaje de condición buena baja un 13 % respecto al año 2020 y continúa disminuyendo en un 5 % para el año 2022, respecto al año anterior y un 7 % en el 2023 en comparación con el año 2022, para la evaluación del 2024, se presentó una desmejora en su condición, dado que no cuenta con la condición buena, incrementando la condición regular.
- Radial a Turrúcares:
 - En el sentido Ruta 27 – Turrúcares se puede observar que, en el 2013 se contaba con una condición muy deficiente, presentando una mejora que se mantuvo entre el 2014 y 2018 en una condición regular y para los años 2019 y 2021 presenta una mejora más, situando este indicador en una condición buena, disminuyendo en el año 2022 a la categoría deficiente y presentando una mejora a regular en el año 2023, para la evaluación del 2024 volvió a la condición de Deficiente.

- En el sentido Turrúcares – Ruta 27 se tuvo que entre el 2013 al 2016 estuvo variando la condición entre deficiente y muy deficiente, mejorando su condición a partir del año 2017 hasta el año 2022 a la categoría de regular, para el año 2023 presentó una desmejora en su condición, dado que el tramo tuvo una condición deficiente, finalmente para la evaluación del 2024 presentó una mejora de su condición, pasando de deficiente a regular.
- Radial Atenas:
- En el sentido Ruta 27 – Atenas desde el año 2013 cuenta mayoritariamente una condición regular, a partir del año 2018 se observa el incremento de la condición deficiente hasta el 2021, dado que, para el 2022 ya no se cuenta con la condición Muy deficiente y se da una disminución alrededor de un 7 % en la condición deficiente, para el 2023 se presenta un incremento de casi un 10 % en la condición deficiente y un 6,45 % en condición muy deficiente. Para la evaluación del 2024 se percibe una leve mejora en la condición Buena y manteniendo aproximadamente igual en relación con el año anterior.
- En el sentido Atenas – Ruta 27 en los años 2018 al 2022, se han venido dando incrementos en las categorías de regular, deficiente y muy deficiente, donde la condición regular, la cual es la que tiene mayor presencia en este tramo, pasó de un 80 % en el 2020 a casi un 68 % en el 2022, para el año 2023 se da un incremento del 11 % en la categoría deficiente y del 3,44 % en la categoría muy deficiente. Para la evaluación del 2024 se mantiene una condición muy similar al año anterior, con una leve mejora en la condición Buena.
- Radial Escobal:
- En el sentido Ruta 27 – Escobal se presenta un comportamiento sostenido desde el 2013 hasta el 2019 con dominancia de la condición regular, para el año 2020 se presenta una variación que mejora la condición funcional, puesto que hay tramos con condición de muy buena y buena equiparado con la condición regular, pero ya en el

2021 al 2023 no se cuenta con la condición muy buena, manteniendo la condición regular en un 33,33 % respecto al año anterior. Para la evaluación del 2024 presentó una desmejora en la condición general, dado solo presenta condición regular.

- En el sentido Escobal – Ruta 27 se ha mantenido la condición funcional en categoría regular desde el año 2013 al 2022, para el año 2023 hay presencia de un 33,33 % en categoría deficiente y en la evaluación del 2024 se presenta una mejora en la condición, dado que solo hay condición Regular.

**Figura 45.**

Comparativo Regularidad Superficial de Radial El Coyol años 2013-2024.

Capacidad Funcional Ruta 27 - El Coyol, 2013-2024



Capacidad Funcional El Coyol - Ruta 27, 2013-2024

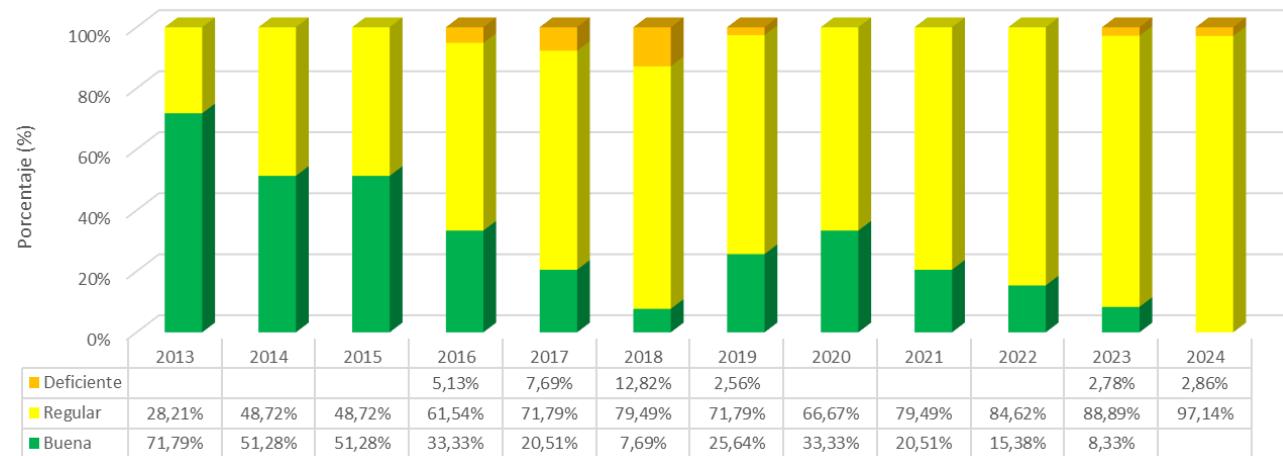


Figura 46.

Comparativo Regularidad Superficial de Radial Turrúcares años 2013-2024.

Capacidad Funcional Ruta 27 - Turrúcares, 2013-2024



Capacidad Funcional Turrúcares - Ruta 27, 2013-2024

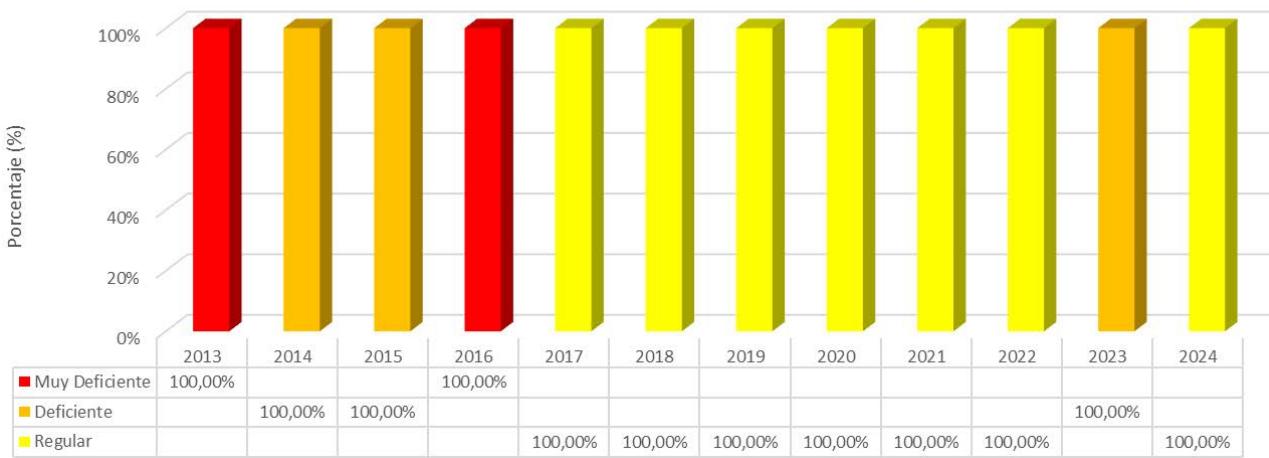
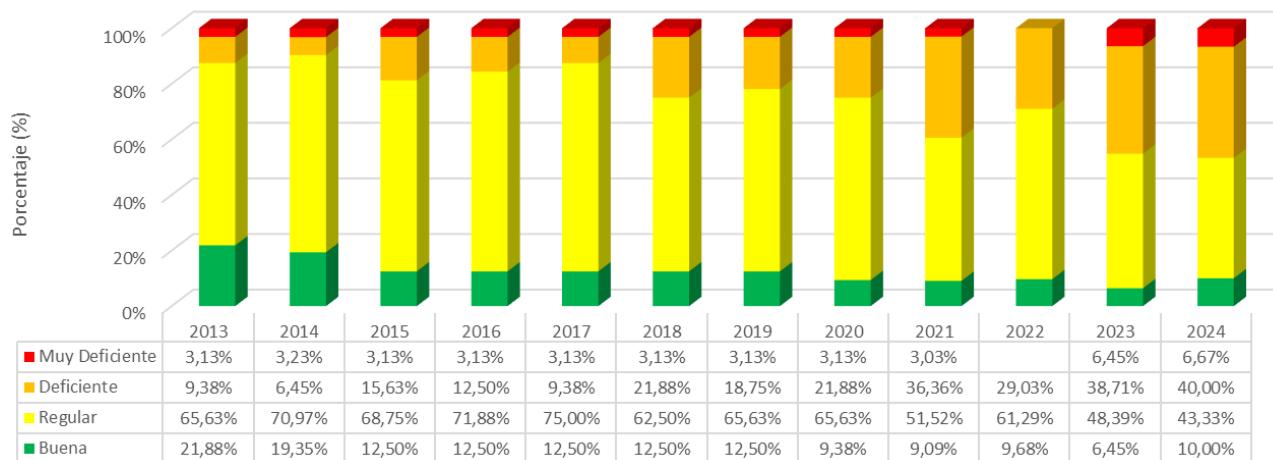


Figura 47.

Comparativo Regularidad Superficial de Radial Atenas años 2013-2024.

Capacidad Funcional Ruta 27 - Atenas, 2013-2024



Capacidad Funcional Atenas - Ruta 27, 2013-2024

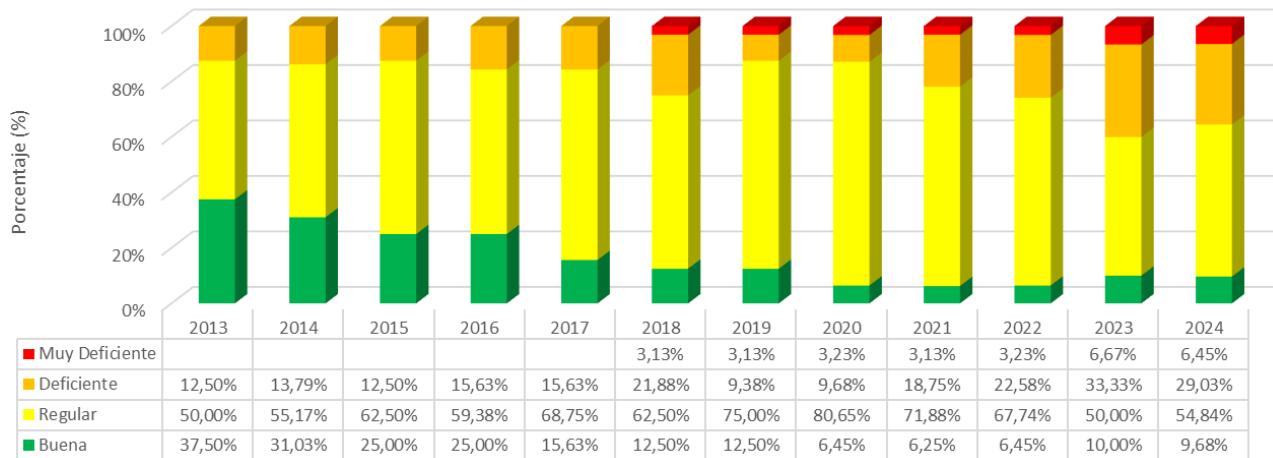
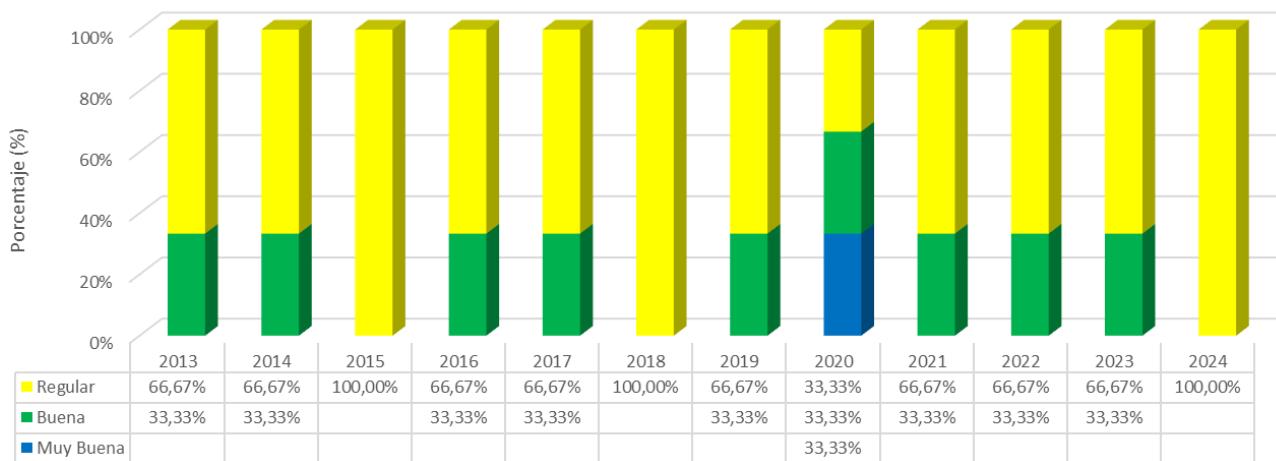


Figura 48.

Comparativo Regularidad Superficial de Radial Escobal años 2013-2024.

Capacidad Funcional Ruta 27 - Escobal, 2013-2024



Capacidad Funcional Escobal - Ruta 27, 2013-2024



8.7.3 Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial

En las Figura 49, Figura 50, Figura 51 y Figura 52 se muestra la comparación de los resultados del ensayo con el GripTester para las radiales en las campañas del 2013 hasta el 2024. Al respecto se tienen tendencias variadas, tal y como se analizan a continuación:

- Radial El Coyol
 - Sentido Ruta Nacional 27-El Coyol: al comparar los registros del 2023 y 2024, se evidenció un deterioro generalizado del parámetro, donde la condición Deslizante disminuyó pasando de un 45,00 % en el 2023 a un 7,50 % en el 2024, en cuanto a la condición *Muy deslizante* pasó de 0 % para el año 2023 a un 95,50 % para el año 2024.
 - Sentido El Coyol-Ruta Nacional 27: a lo largo de las evaluaciones realizadas se presenta variabilidad en su condición, dentro de esta variabilidad domina una tendencia desde el año 2016 al 2021 de presentar tramos de vía dominante con condiciones de *Muy deslizantes* a *Deslizantes*, sin embargo, en el año 2022 y 2023 dominan las condiciones *Poco deslizantes* y *Deslizantes*. Es importante mencionar que para la presente evaluación aumentó el riesgo asociado al deslizamiento, donde se registró un 29,57 % para la condición *Deslizante* y un 70,73 % en condición *Muy deslizante*.
- Radial Turrúcares:
 - Sentido Ruta 27-Turrúcares: no hay combinación de condiciones, sino que la condición identificada se presenta en la totalidad del tramo, 100 % en cada año. Lo anterior pues, en el 2013 es *Deslizante* y se mantiene constante durante el periodo que va del 2014 al 2017, en los años 2018 y 2019 como *Muy deslizante*, en torno al 2020 y 2021 como *Deslizante*, en el año 2022 se presenta una condición *Muy deslizante*, en el año 2023 se tiene una condición *Deslizante* y, por último, para el año 2024 se presenta una condición *Muy Deslizante*.

- Sentido Turrúcares-Ruta 27: las condiciones varían del 2013 a la fecha generalmente en un 100 % con condición *Deslizante* y *Muy deslizante*, esto de forma consistente desde el año 2017 al 2021, sin embargo, en el año 2022 se presenta un 50 % como condición *Deslizante* y un 50 % *Muy deslizante*. En el caso del año 2023 y en la actual evaluación del 2024 se presenta un 100% de condición *Muy deslizante*.
- Radial Atenas:
 - Sentido Ruta-27 Atenas: del 2013 al 2015 se presente una tendencia de *Poco deslizante* y algunos tramos *No deslizantes*. En el 2016 la condición *Deslizante* predomina con un 75 %, estado que empeora en el 2017 al contar con un 53 % en condición *Deslizante* y un 34 % en condición *Muy deslizante*. Del 2017 al 2020 se observa una mejoría en el estado del coeficiente de rozamiento, pero no se alcanza en ningún año el estado *No deslizante*. Al año 2023, se evidencia el deterioro de las categorías que ha ido en aumento con respecto a los años 2021 y 2022, donde resalta un 21,88 % en condición *Muy deslizante*, un 59,38 % en condición *Deslizante* y 18,75 % en condición *Poco deslizante*; para el año 2024 presenta una mejora en la condición *Poco Deslizante* pasando a un 22,58%.
 - Sentido Atenas-Ruta 27: domina la condición *Poco deslizante*, con valores altos en el 2013, 2016, 2017, 2019, 2020 y 2021, el cual empeoró para el año 2022. El estado al 2023 mejoró respecto al año 2022, debido a que disminuyó la condición *Muy deslizante* a 12,12 %, pero aumentó la condición *Deslizante* a un 57,58 % y en la condición *Poco deslizante* se presenta un 30,30 %, para el año 2024 se presenta un leve incremento en la condición *Poco Deslizante* incrementando en un 13,45 %.
- Radial Escobal:
 - Sentido Ruta 27-Escobal: en el 2013 domina la condición *Poco deslizante* seguido de *Deslizante*. En el 2014 toda su longitud llega a la condición *Muy deslizante*, al

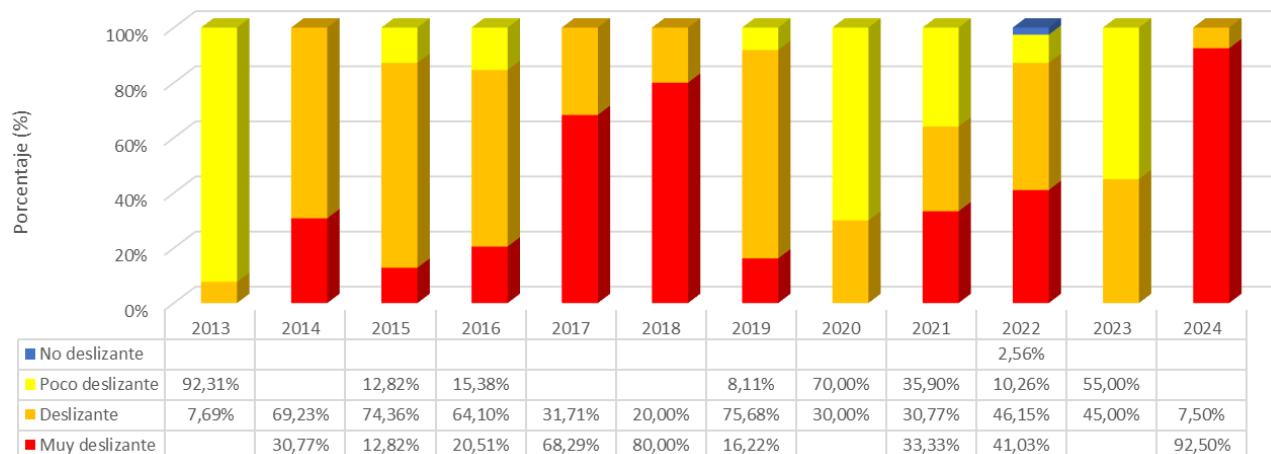
año siguiente mejora y toda su longitud cae en la condición de *Poco deslizante*. Desde el 2016 hasta el 2018 se mantiene como *Deslizante* y baja considerablemente en el 2019 pero, adicionalmente, surge de nuevo la condición de *Poco deslizante*. Para la condición 2020, se observan mejoras al pasar a un estado 100 % *Poco deslizante*, sin embargo, para el año 2021 empeora la condición al presentar condiciones tanto *Deslizante* como *Poco deslizante*. En el año 2022 la condición es de un 100 % *Deslizante*, mientras que para el año 2023, se presenta un 50 % de condición *Deslizante* y un 50 % de *Poco deslizante*. Para el 2024 se presenta una mejora considerable al presentarse un 33,33 % en condición *No Deslizante*.

- Sentido Escobal-Ruta 27: en el 2013 toda su longitud resulta *Poco deslizante* al año siguiente es totalmente *Muy deslizante*. Vuelve a *Poco deslizante* en el 2015 y en el 2016 presenta en su totalidad condición *Deslizante* y en el 2017 pasa a ser *Muy deslizante*. En el 2018 mejora la condición, dado que baja su condición a *Muy deslizante* (33 %) y el resto de la longitud pasa a *Deslizante* (67 %), cierra el 2019 con una condición *Poco deslizante*. Al 2020 el estado empeora con respecto al año anterior y baja a un 100 % en condición *Deslizante*, condición que para el 2021 se ve afectada de forma negativa, ya que se registró un 25 % en condición *Muy deslizante*. En el año 2022, se presenta un 25 % de condición *Poco deslizante*, mientras que el 75 % restante corresponde a una condición *Deslizante*. Por último, en el año 2023 empeoró la situación teniendo una condición *Muy deslizante* de 25 % y *Deslizante* del 75 %. Para el año 2024 hubo una mejora sustancial, dado que se presenta un 66,67 % en condición *Poco Deslizante*.

**Figura 49.**

Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial El Coyol 2013-2024

Coeficiente Rozamiento GN Ruta 27 - El Coyol, 2013-2024



Coeficiente Rozamiento GN El Coyol - Ruta 27, 2013-2024

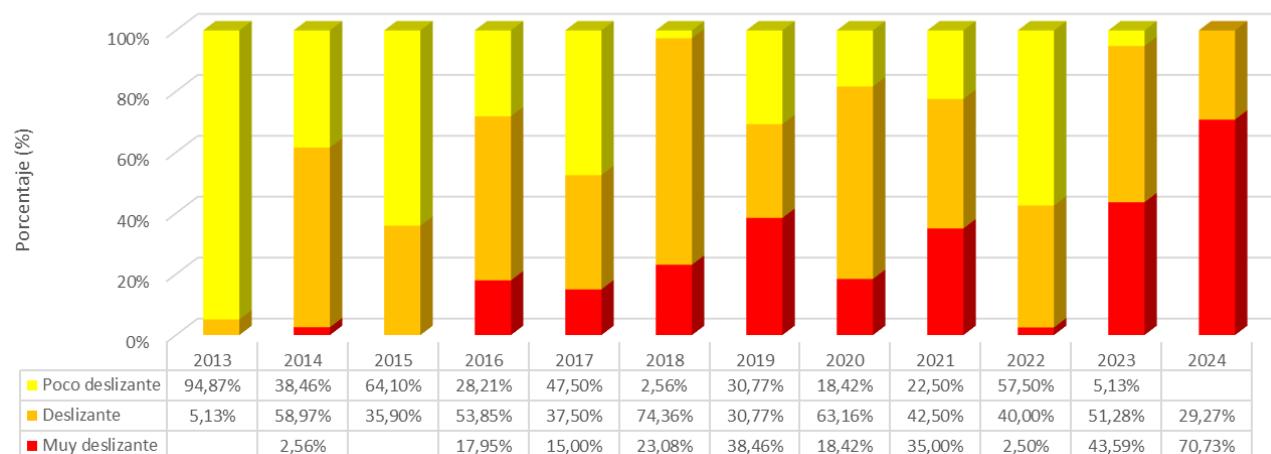
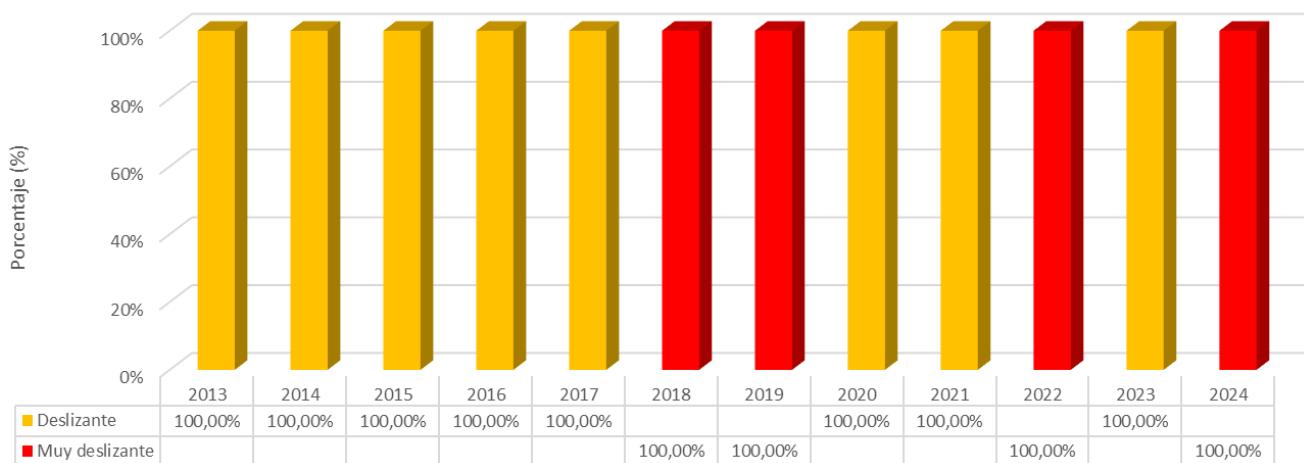


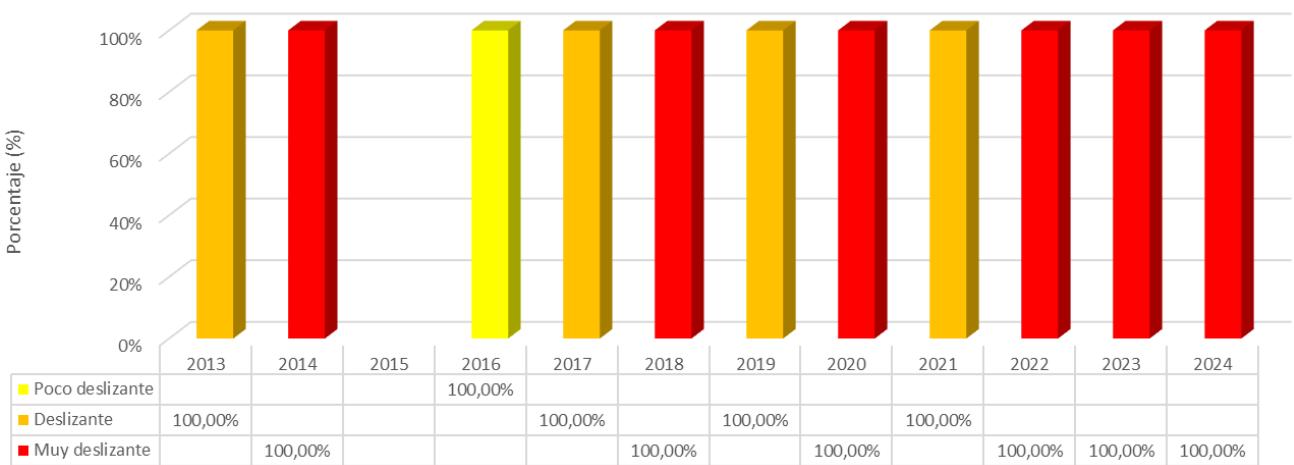
Figura 50.

Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial Turrúcares 2013-2024.

Coeficiente Rozamiento GN Ruta 27 - Turrúcares, 2013-2024



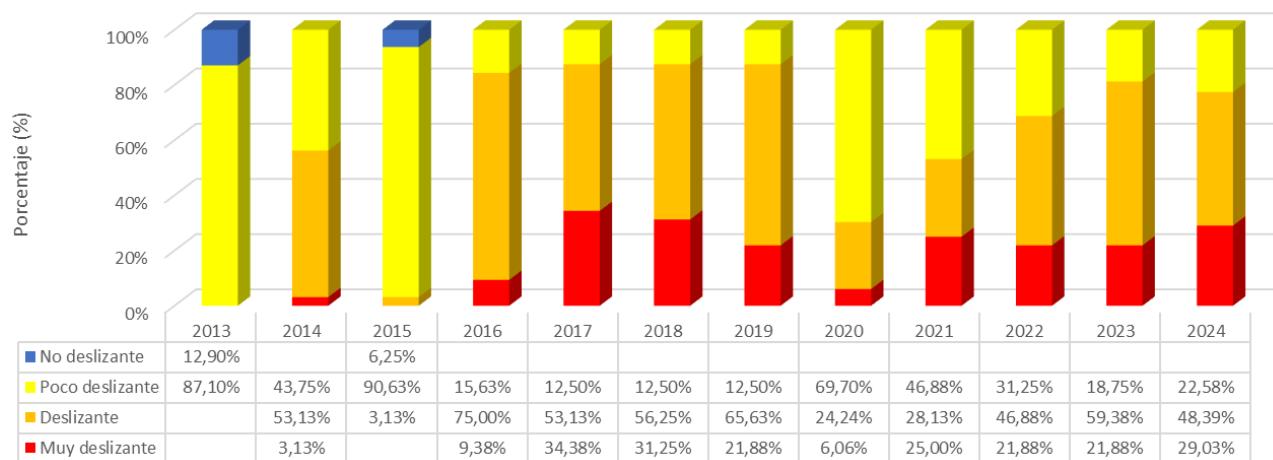
Coeficiente Rozamiento GN Turrúcares - Ruta 27, 2013-2024



**Figura 51.**

Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial Atenas 2013-2024.

Coeficiente Rozamiento GN Ruta 27 - Atenas, 2013-2024



Coeficiente Rozamiento GN Atenas - Ruta 27, 2013-2024

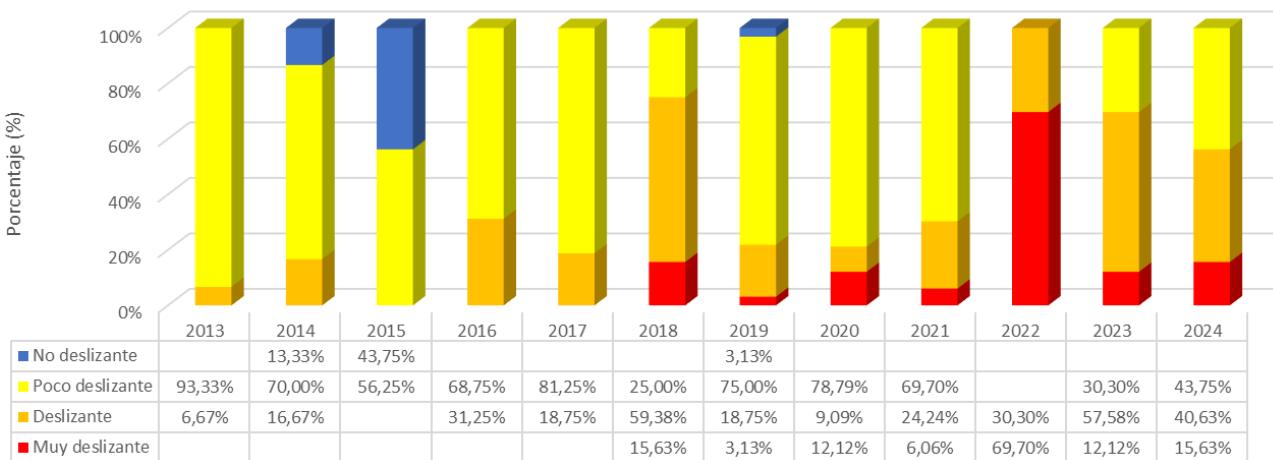


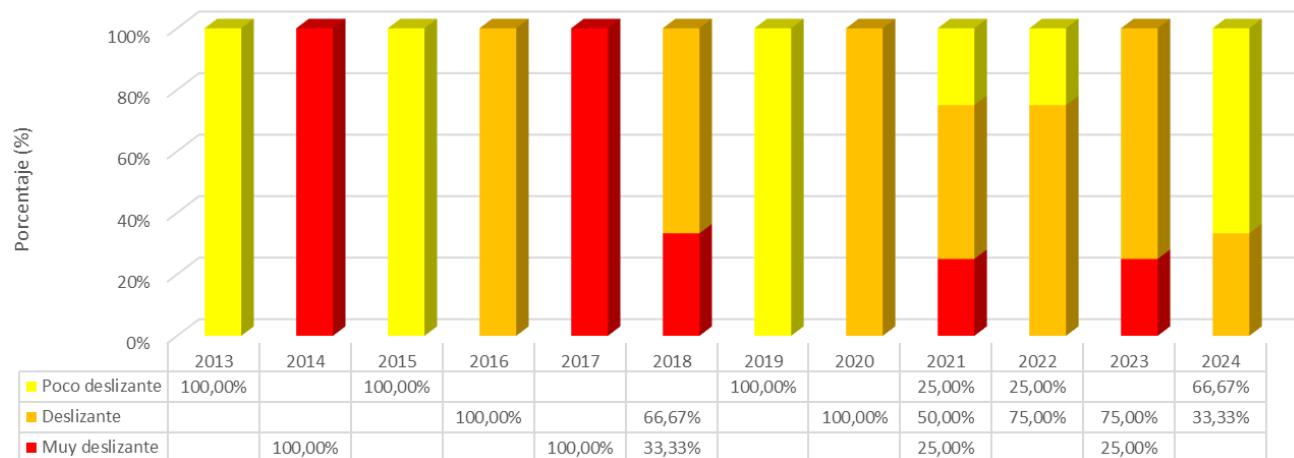
Figura 52.

Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial Escobal 2013-2024.

Coeficiente Rozamiento GN Ruta 27 - Escobal, 2013-2024



Coeficiente Rozamiento GN Escobal - Ruta 27, 2013-2024



8.7.4 Evaluación visual de Deterioro Superficial.

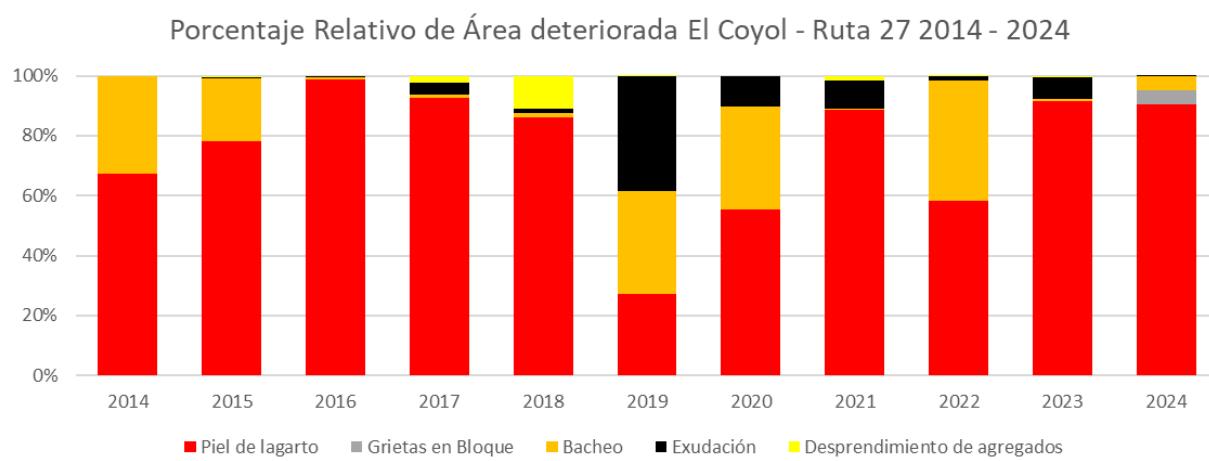
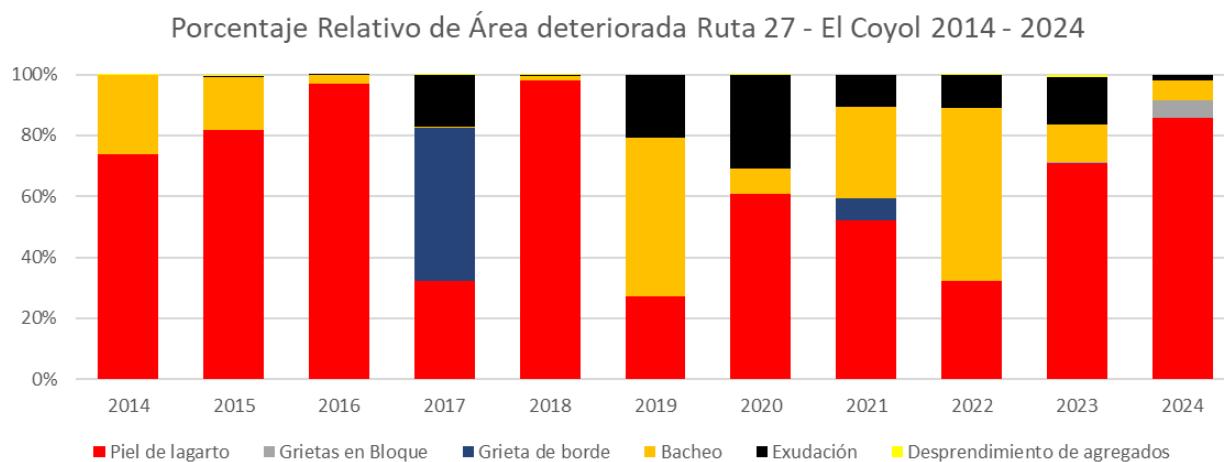
Al desglosar los deterioros por tipo para el periodo de evaluación 2014 – 2023, se pueden destacar un comportamiento en la presencia de distintos tipos de deterioros a continuación:

8.7.4.1 Radial el Coyol.

A lo largo de los períodos de evaluación, se puede notar que hay una dominancia de tres principales deterioros: Piel de Lagarto, Baches y exudación, siendo que, para el último año de evaluación, el deterioro tipo Piel de lagarto tuvo mayor presencia en ambos sentidos, tal como se muestra en la Figura 53.

Figura 53.

Condición superficial en Radial El Coyol.

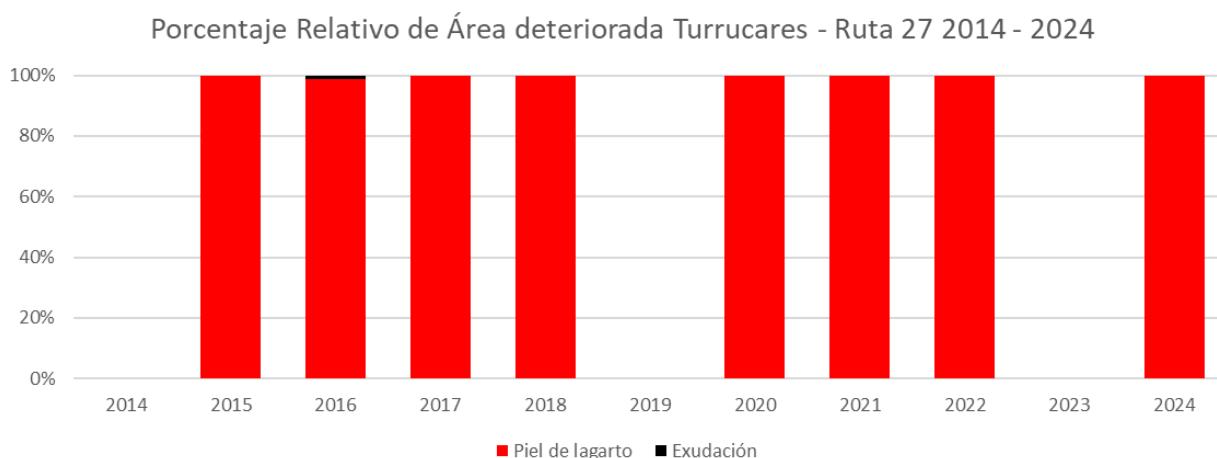
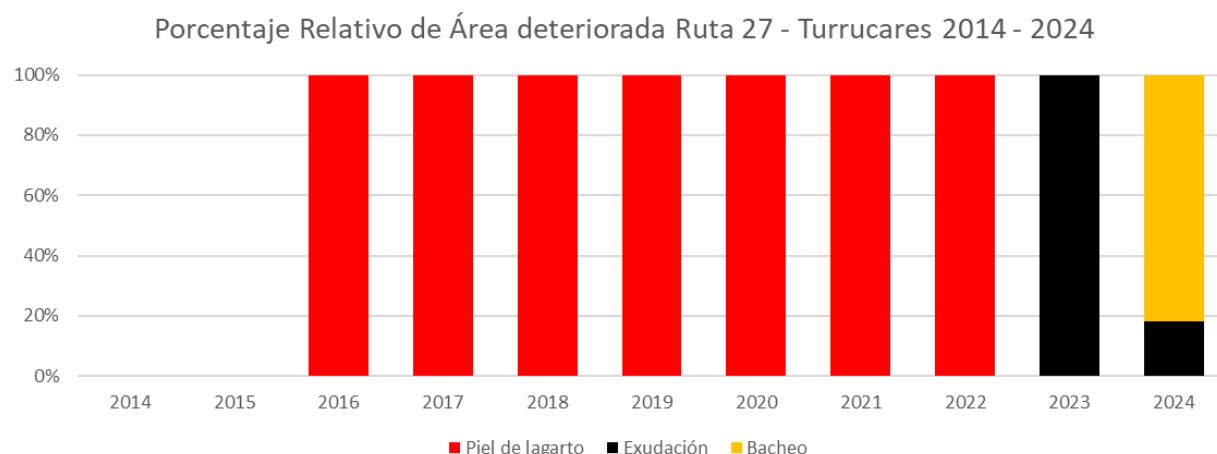


8.7.4.2 Radial Turrucares.

Para esta radial, ha habido una presencia dominante del deterioro tipo Piel de Lagarto, a excepción de la evaluación realizada en el 2023, donde se detectó la exudación como deterioro dominante para el sentido Ruta 27 – Turrucares, para el sentido Turrúcares – Ruta 27 no se detectó deterioro superficial, tal como se muestra en la Figura 54.

Figura 54.

Condición superficial en Radial Turrúcares.



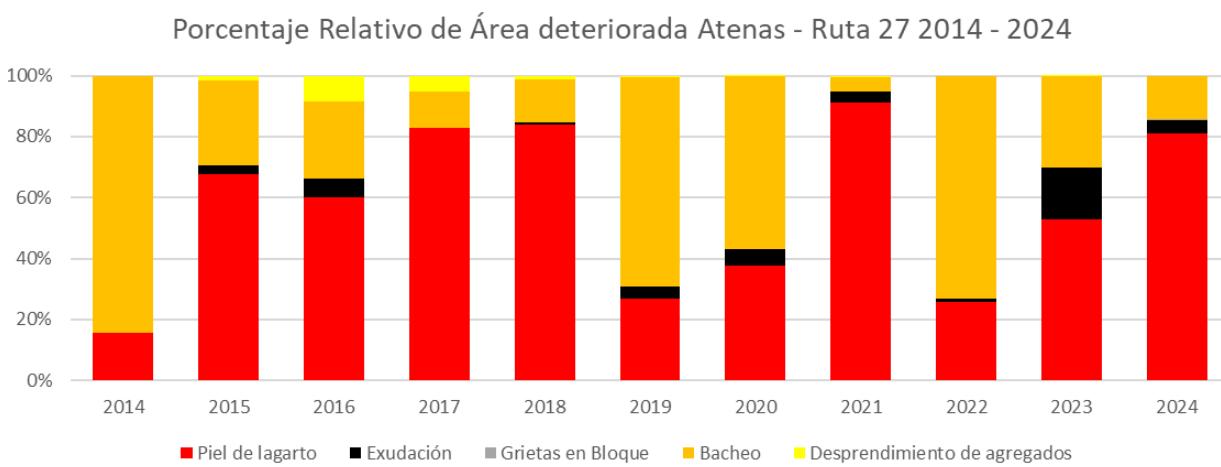
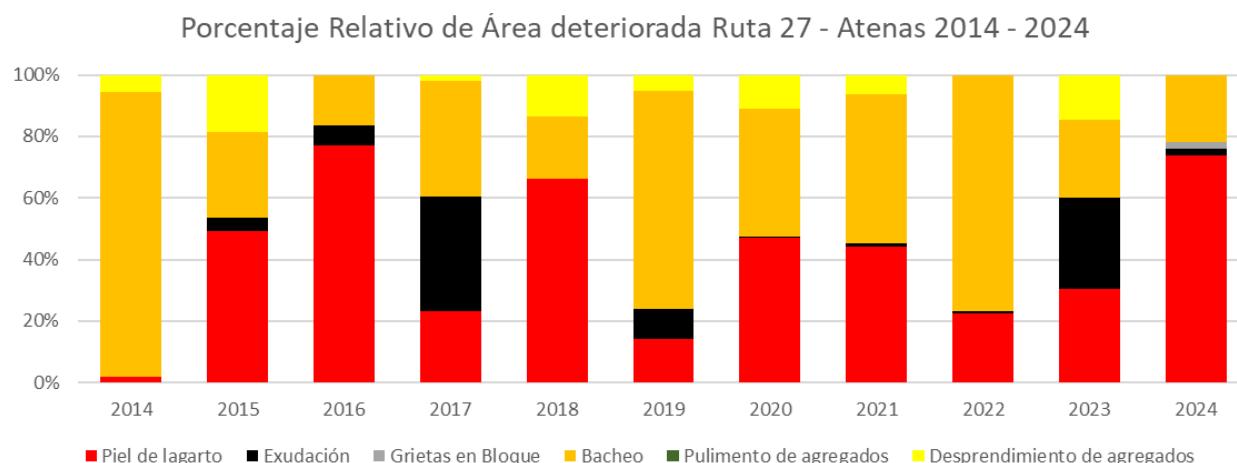


8.7.4.3 Radial Atenas.

En la Radial Atenas se puede notar una variación en la presencia dominante de deterioro superficial, principalmente en el sentido Ruta 27 – Atenas, ya que, en general se puede apreciar que el Bacheo es el deterioro que mayor presencia tiene en la mayoría del área detectada, seguido por Piel de Lagarto, contrario a esto, en el sentido Atenas – Ruta 27, se ve una presencia más constante del deterioro tipo Piel de Lagarto, a diferencia de la evaluación del año 2023, donde se pudo detectar presencia considerable de Piel de Lagarto, Exudación y Bacheo, tal como se muestra en la Figura 55.

Figura 55.

Condición superficial en Radial Atenas.

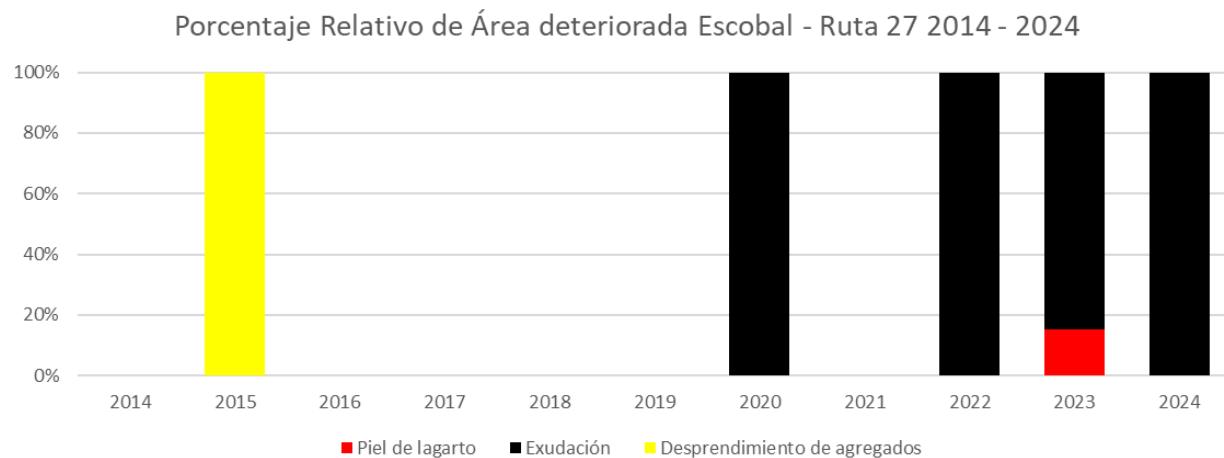
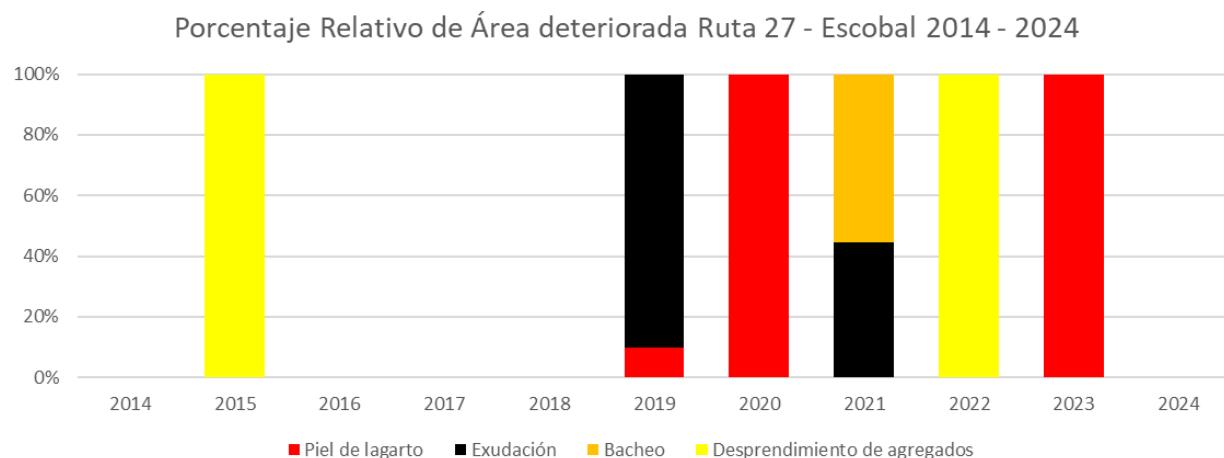


8.7.4.4 Radial Escobal.

Para la Radial Escobal, se puede notar que para el sentido Ruta 27 – Escobal cinco de las 10 evaluaciones presentan deterioro variando entre Exudación, Piel de Lagarto, Bacheo y Desprendimiento de Agregados, siendo que, para el año 2023 solo se dio la presencia de Piel de Lagarto. Para el sentido Escobal – Ruta 27, cuatro de las 10 evaluaciones tenían presencia de deterioro superficial, donde se observa una dominancia de la Exudación, tal como se muestra en la Figura 56.

Figura 56.

Condición superficial en Radial Escobal.



8. Modelos de Deterioro

Los modelos de deterioro son una herramienta que, dentro del marco de la administración de pavimentos, permiten predecir de manera aproximada el daño que éstos pueden sufrir a lo largo de su vida útil. Básicamente, son modelos matemáticos que toman en cuenta una cantidad establecida de variables, con el fin de determinar el estado a futuro, de tramos dentro de la infraestructura vial. Estos modelos surgen a partir de desarrollos empíricos, los cuales se originan a partir de bases de datos reales de pavimentos existentes, con información que cubre estado actual, tránsito, datos de diseño, entre otros.

Existen los modelos probabilísticos, que estudian las relaciones entre las variables seleccionadas, usando estadísticas y modelos de probabilidad, para predecir condiciones a futuro. Por su parte, los modelos determinísticos hacen uso de las propiedades físicas y mecánicas de las capas que componen un pavimento, para predecir dicha condición a futuro. Para la aplicación del modelo de deterioro a esta ruta, se utiliza un modelo determinístico, el cual será presentado a continuación.

9.1 Aplicación del Modelo de Deterioro

En el informe *LM-PI-UMP-010-R1* (Aguiar, Ávila, Badilla, 2013) se determina la correlación entre los parámetros subjetivos de serviciabilidad de un pavimento *PSI* a través de la percepción humana, con los valores objetivos de *IRI*, para Costa Rica, usando para ello la metodología aplicada por la *AASHTO*. El modelo obtenido se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.

Rango de aplicación del Modelo para el cálculo del *PSI* Costa Rica.

Modelo	Rango de Aplicación*
1. $\text{PSI}_{\text{CR}} = 0,015 * \text{IRI}^2 - 0,470 * \text{IRI} + 4,989$	$0 - 10 \text{ m/km}$

* Rango de aplicación se refiere a los valores permitidos de *IRI* donde el modelo es válido.

Para el análisis de curvas de deterioro en la Ruta Nacional 27, sólo para la troncal, se utilizaron los valores del *IRI* medidos a partir del año 2011 en ambos sentidos de la vía, con una

frecuencia de cada 100 m, sin considerar las singularidades de la carretera que puedan alterar sus valores. Con base en la estructura presente, se procedió con la segmentación de la ruta en 4 secciones homogéneas, las cuales se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10.

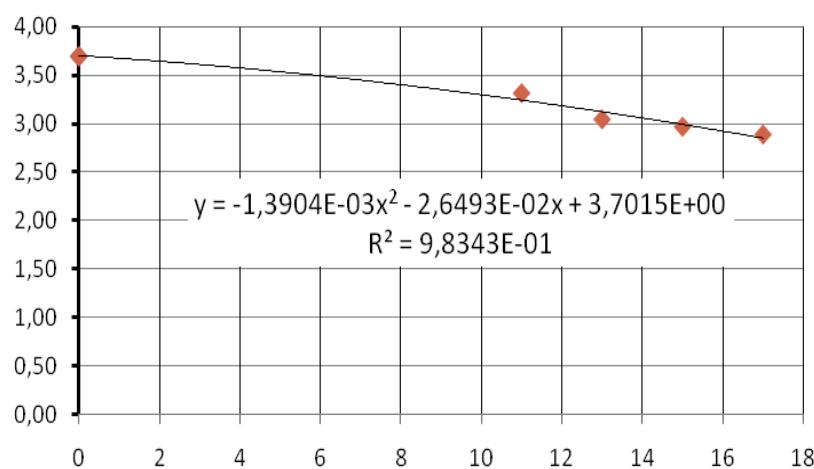
Secciones de control.

Tramo	Estacionamiento
1	0+000 a 3+605
2	3+605 a 14+025
3	14+025 a 51+720
4	51+720 a 76+310

Con los valores de IRI para cada tramo homogéneo de cada sentido de la ruta, se calculó el PSI según lo mostrado en la Tabla 10. Con esto, se procede a graficar los valores obtenidos para cada año: el modelo de deterioro para dicho tramo será por tanto la curva de mejor ajuste. Un ejemplo de curva obtenida se muestra en la Figura 57.

Figura 57.

Ejemplo de curva obtenida a partir de los datos del PSI.

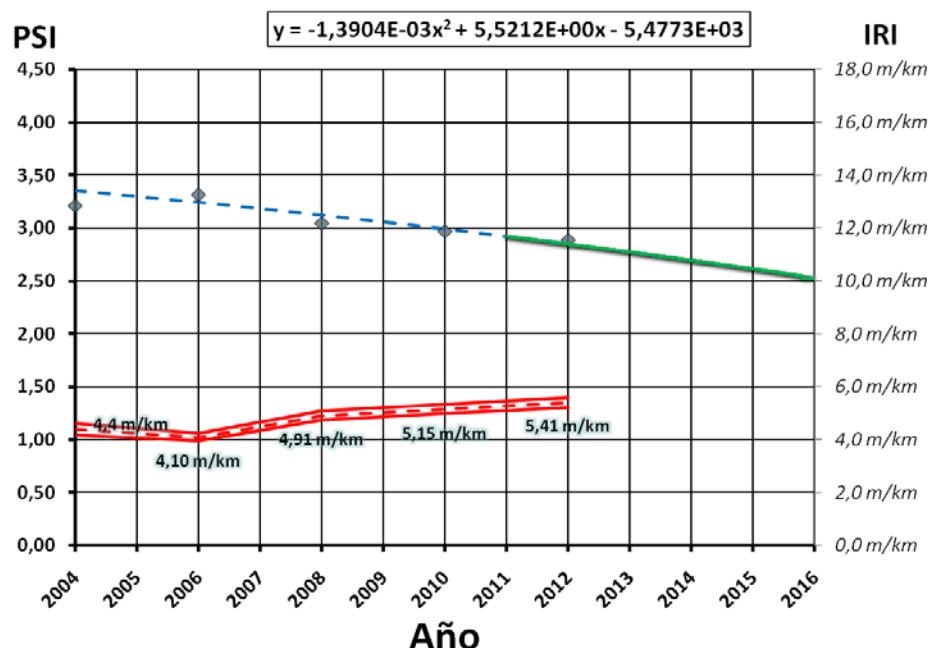




En la Figura 58 se muestra como una ecuación cuadrática característica de un tramo evaluado, permite proyectar la condición funcional de una sección en años posteriores (línea verde).

Figura 58.

Gráfica ejemplo PSI vs Año, e IRI vs Año.



El valor del R^2 obtenido con la curva de mejor ajuste, no es el más acertado para describir modelos de esta naturaleza. Por lo tanto, se utiliza un coeficiente de determinación ajustado, definido por

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

donde el valor SSE es el enfoque del análisis de varianza que utiliza la suma cuadrática de los errores, definido como

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

y el valor SST es la suma total de los cuadrados corregida, que representa la variación en los valores de respuesta que idealmente serían explicados en el modelo

$$SST = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n 2y_i\bar{y}_i + n \sum_{i=1}^n \bar{y}_i$$

Los valores teóricos obtenidos del análisis están representados por \hat{y}_i , los valores reales (aquellos de la base de datos de las evaluaciones) están representados por y_i , y n representa el número de datos usados para determinar la envolvente de la curva de deterioro.

Luego de obtener el análisis completo de cada tramo homogéneo, se procede a realizar una ficha representativa donde se muestra el resumen de los parámetros utilizados y valores obtenidos, como se muestra en las Figura 59 y Figura 60.



Figura 59.

Modelo de deterioro para el tramo 1, sentido San José - Caldera.

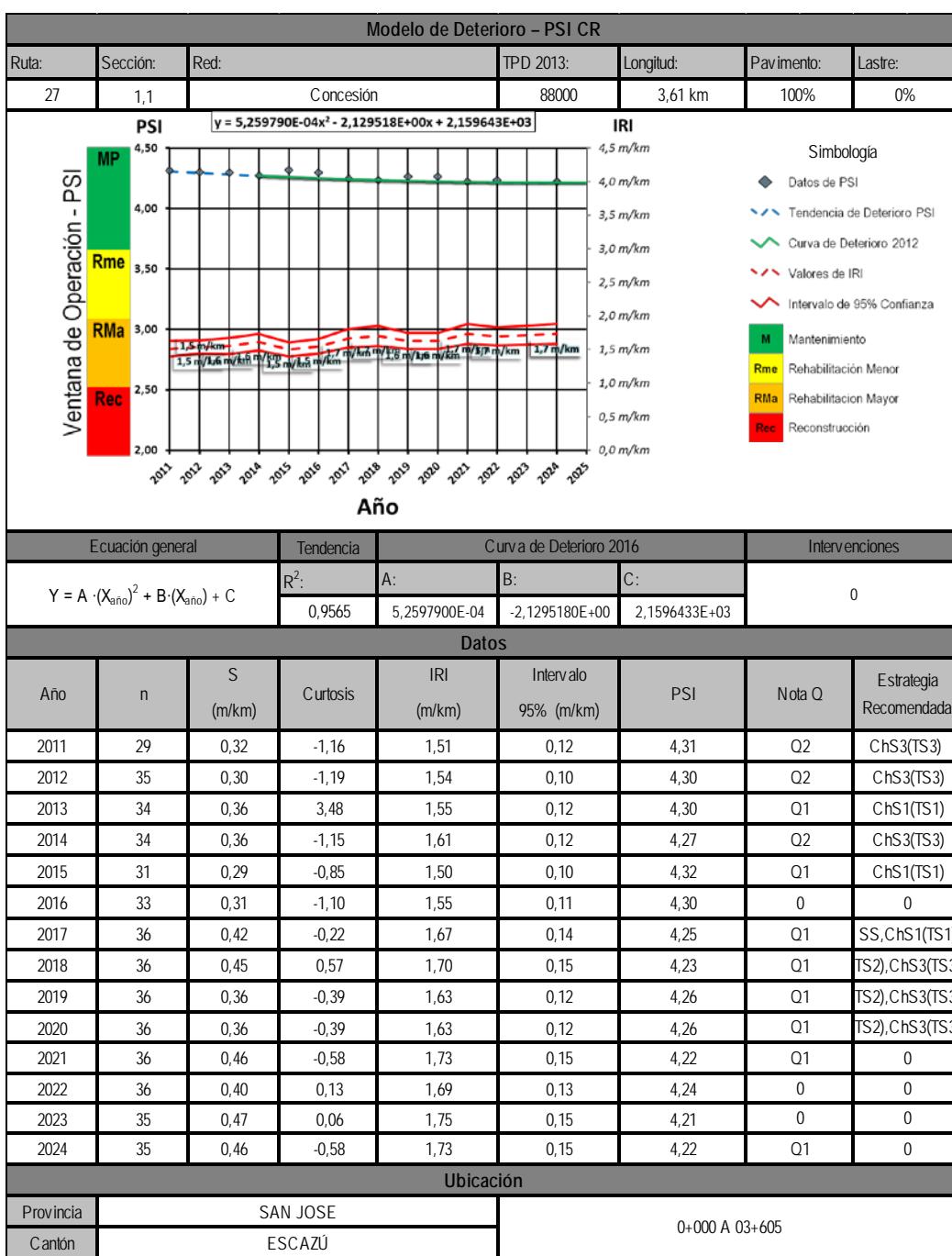
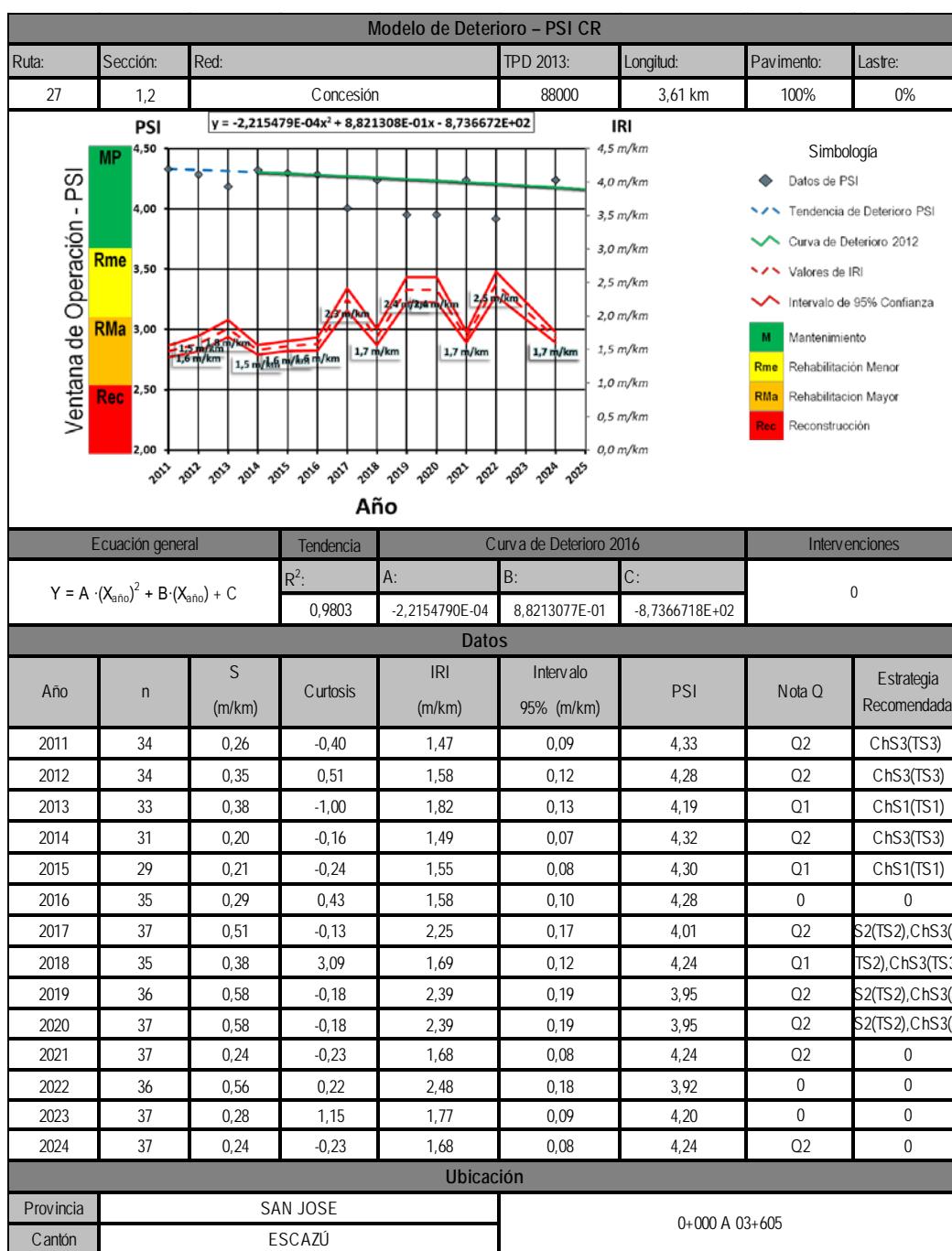




Figura 60.

Modelo de deterioro para el tramo 1, sentido Caldera - San José.



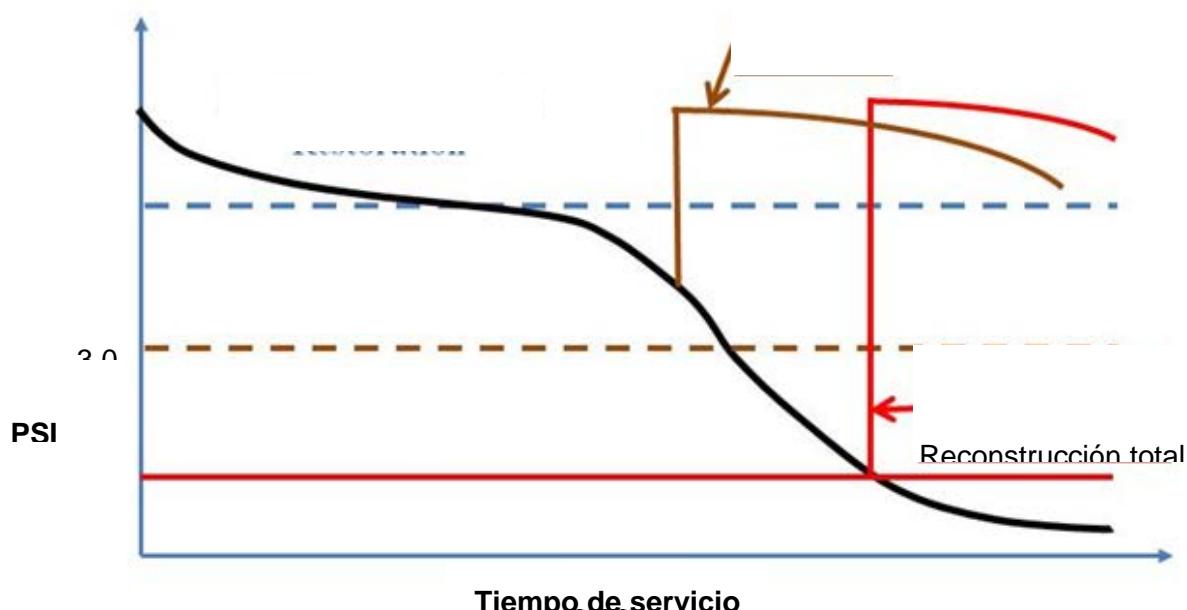


9.2 Análisis de Resultados

Partiendo de la base de que un pavimento nuevo debe presentar un valor de PSI cercano a 4,5 y que se va deteriorando en el tiempo con el paso de las cargas vehiculares y las condiciones climáticas, se va reduciendo dicho valor. Al analizar este índice a lo largo de la vida de un proyecto, es posible establecer umbrales para realizar intervenciones, con el objeto de conservar el nivel de servicio en niveles óptimos (Figura 61).

Figura 61.

Concepto del PSI, y el respectivo cambio del valor con el tiempo para un pavimento (línea negra), contra valores umbral (líneas horizontales).



La figura anterior muestra el cambio del índice de serviciabilidad para un pavimento a lo largo de su tiempo de servicio. Es posible, mediante intervenciones menores, conservar valores PSI altos. A nivel internacional, es aceptado que cuando un pavimento llega a un valor de PSI igual a tres, para recuperar una condición cercana a la inicial es necesario realizar una rehabilitación mayor (curva café). Asimismo, cuando se alcanzan valores cercanos a dos, el tipo de intervención es su reconstrucción total (curva roja), con el impacto económico y de tiempo que esto significa.

Con los modelos de deterioro explicados en la sección anterior, es posible obtener la tendencia del cambio del valor *PSI* para cada tramo homogéneo, estableciendo el punto en el tiempo, en el que el mismo alcanzará un valor de tres (*rehabilitación mayor*). Si bien en cada tramo, año con año se realizan intervenciones en puntos específicos, lo que se analiza acá es la tendencia del cambio del valor del *PSI* para la totalidad del tramo homogéneo, por lo que el modelo es aplicable. Además, con cada evaluación sucesiva a partir de ésta, se obtendrá el nuevo valor del *PSI*, el cual permitirá ir calibrando la curva de manera más precisa.

Con los modelos de deterioro obtenidos (y cuya totalidad se muestra en el Anexo VI), la Tabla 11 muestra el resumen de resultados, con el valor *PSI* de la presente evaluación, así como el tiempo necesario en años, para alcanzar el valor de 3.

Tabla 11.

Año en el que el *PSI* alcanza el valor de 3,0 (umbral de rehabilitación mayor).

Tramo	Sentido	Descripción	PSI-2024	PSI=3	PSI	Delta años
1,1	San José - Caldera	0+000 A 03+605	4,21	2035	4,27	11
2,1	San José - Caldera	03+605 A 14+025	4,21	2035	3,96	11
3,1	San José - Caldera	14+025 A 51+720	3,92	2035	3,40	11
4,1	San José - Caldera	51+720 A 76+310	3,97	2035	3,72	11
1,2	Caldera - San José	0+000 A 03+605	4,18	2035	3,99	11
2,2	Caldera - San José	03+605 A 14+025	4,22	2035	4,03	11
3,2	Caldera - San José	14+025 A 51+720	3,97	2035	3,46	11
4,4	Caldera - San José	51+720 A 76+310	3,93	2035	3,56	11

Con base en estos resultados, los tramos homogéneos muestran que, según las condiciones actuales, ninguno de los tramos alcanzará un valor de *PSI* menor a 3 antes de que termine el periodo de la concesión.

9. CONCLUSIONES

10.1 Conclusión General

El presente es un informe técnico de evaluación, reiteramos, que se enmarca en las funciones de ente fiscalizador que la Ley 8114 le confiere al LanammeUCR.

La prueba con el medidor de agarre superficial *GripTester*, usado a nivel internacional para medir la resistencia al deslizamiento de una superficie de ruedo en carretera, dio resultados que señalan tramos de la vía con valores ubicados en la categoría de “Muy Deslizante” (23,38 % de la longitud en el sentido San José - Caldera y un 36,36 % en el sentido contrario); y en el sentido Caldera – San José, un 55,84 % se encuentra en la categoría de “Deslizante”, condición que en el sentido opuesto se ubicó en 58,44 %. Por su parte, la prueba con el *MuMeter*⁹ dio como resultado que el 100 % de la longitud de la troncal principal, en ambos sentidos de circulación, presentan una condición dentro de los valores estipulados en el contrato.

El análisis integral del pavimento en la troncal principal, se realiza considerando la influencia de una serie de aspectos que afectan en algún grado la calidad general del proyecto. Se debe tomar en consideración la calidad de los materiales utilizados, es decir, el diseño 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. Todos estos aspectos no son independientes entre sí, dado que existe una estrecha correlación entre cada uno de ellos y deben ser ponderados dentro del ámbito de un proyecto en concesión de obra pública.

Con los resultados de las pruebas de capacidad estructural, funcional y de agarre superficial, se calculan las Notas de Calidad para la ruta, así como las estrategias de intervención según

⁹ El LanammeUCR, en el informe INF-PI-UGERVN-05-2016 consigna que las especificaciones presentes en el Contrato de Concesión de Obra Pública de la Carretera San José – Caldera, en el apartado relativo a la medición de la resistencia al resbalamiento como se denomina ahí, no son apropiadas desde el punto de vista técnico, debido al uso original del MuMeter para realizar esta medición en pistas de aterrizaje, y que no es posible adaptarlo a la medición de carreteras, debido a que la configuración física de las ruedas no coinciden con las huellas de los vehículos.

la nota obtenida en cada tramo. Si bien las notas obtenidas califican la ruta en buenas condiciones (al ser las Q1 y Q2 las que abarcan la mayor parte de la longitud del proyecto), al comparar los resultados de esta última campaña contra campañas anteriores, es posible determinar una tendencia a la mejora, la cual se ha venido reflejando desde el año 2019. Esto especialmente es claro al analizar las estrategias de intervención, las cuales para esta evaluación son más rigurosas en comparación con las obtenidas en evaluaciones anteriores.

En el tema de deterioros superficiales, se sigue la tendencia marcada desde la campaña de evaluación anterior, con un aumento de los deterioros tipo área (piel de lagarto, bacheo, exudación y desprendimiento de agregado) y una disminución en la cantidad de kilómetros con grietas, en comparación con evaluaciones anteriores. Para el primer tipo, los deterioros más comunes son piel de lagarto, el bache y la exudación; mientras que en el segundo tipo dominan las grietas longitudinales y transversales. Es de recordar que el pliego de licitación para este proyecto prohíbe del todo la existencia de la exudación, deterioro que ha sido relacionado a nivel mundial con bajos niveles de agarre superficial.

A partir de investigaciones del *LanammeUCR* en modelos de deterioros para rutas nacionales, estimados a partir de la determinación del PSI en correlación con el IRI en los tramos donde el modelo es válido, se pudieron estimar los modelos en esta evaluación. Con ello y la calibración que se hará año con año, a partir de nuevos valores de *IRI* obtenidos, será posible evaluar las políticas de mantenimiento que se están aplicando a la ruta. Con los resultados obtenidos este año, para los ocho tramos analizados, siempre que se mantengan las condiciones actuales de mantenimiento, se puede estimar que no tendrán un valor inferior a un PSI igual a 3 en los próximos 11 años.

10.2 Conclusiones Específicas

10.2.1 Sobre la condición funcional

En este parámetro, un 83,12 % de la longitud de la troncal principal en el sentido San José – Caldera, presenta valores en el rango de Regular, el 16,88 % corresponde a una condición Buena, mientras que en el sentido Caldera – San José se presentaron 80,52 % y 19,48 % respectivamente. Sabiendo la relación existente entre valores altos de IRI con costos de

operación, es importante establecer una política para reducir este porcentaje, sobre todo cuando es posible ver una clara tendencia al deterioro (aumento del porcentaje de longitud en el rango regular de IRI) desde la campaña de evaluación 2015-2016, con una leve disminución en el año 2019.

Con respecto a las radiales, el rango de *IRI* dominante es el Regular, con porcentajes promedio en el orden de 80 % de la longitud de cada radial en esta categoría.

10.2.2 Sobre la resistencia al deslizamiento

En el sentido San José – Caldera se presenta un 23,38 % de la vía en la condición *Muy Deslizante* y un 55,84 % *Deslizante*, en el sentido opuesto se cuenta con un 36,36 % y un 58,44 % respectivamente. Según los datos obtenidos con el *GripTester*, se puede relacionar con niveles bajos de seguridad vial al momento de transitar los usuarios por la superficie de la carretera.

En lo que respecta a los datos obtenidos con el *MuMeter*, en ambos sentidos de circulación, se registró un 100 % en la longitud de la ruta que presenta valores dentro de los rangos estipulados en el contrato.

En comparación con las campañas anteriores del periodo 2018 al 2020, los valores obtenidos con el *GripTester* habían experimentado una disminución en relación con los valores que se clasifican como *Muy deslizante* y *Deslizantes* en ambos sentidos de circulación. Sin embargo, los registros del año 2021 y 2022 evidencian deterioros, con un aumento predominante en la categoría *Deslizante* y *Muy deslizantes* para ambos sentidos de circulación, principalmente en la campaña de 2022. En cuanto a la última campaña de evaluación del periodo 2024 – 2025, se obtuvo una disminución en los valores de las categorías *Deslizante* y *Muy deslizante*, aunque cabe destacar que mantiene valores por encima de los deseados en términos de seguridad vial.

Al analizar las radiales, predomina la condición *Deslizante* de forma generalizada. En el caso de la Radial Turrúcares, presenta un 100 % de los segmentos de vía en condición *Muy Deslizante*, para el sentido Ruta Nacional 27 hacia Turrúcares y un 100 % en el sentido opuesto, en la condición *Muy Deslizante*. De forma análoga, la Radial Atenas presenta un



48,39 % en condición *Deslizante* para el sentido Atenas hacia Ruta Nacional 27 y 40,63 % en sentido contrario. Asimismo, en la Radial Coyol en el sentido Ruta Nacional 27 hacia El Coyol, se obtuvo un 92,50 % en condición *Muy Deslizante*. Por último, en la Radial Escobal en el sentido hacia Ruta Nacional 27, se obtuvo un 66,67 % en condición *Poco Deslizante*.

Al tomar en cuenta los datos del *MuMeter* para las radiales, estos presentan un 100 % de cumplimiento para todas las radiales en ambos sentidos de circulación, de acuerdo con los rangos estipulados en el contrato.

Queda demostrado que tanto la Ruta Nacional 27 y sus Radiales con el método de *MuMeter* muestran un alto grado de cumplimiento en el contrato respecto a años anteriores, sin embargo, en cuanto al método del *GripTester* se demuestra que se ha mantenido, en gran medida, el grado de peligrosidad por bajos niveles de resistencia al deslizamiento, donde de forma histórica no se alcanzan valores robustos en la categoría *No deslizante*, condición a la que se debe aspirar de forma predominante.

10.2.3 Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica

Gracias a la información obtenida con el *Equipo de Imágenes*, fue posible realizar una evaluación detallada de la totalidad de los deterioros superficiales en las radiales y la troncal principal. Las últimas cuatro evaluaciones muestran la tendencia a incrementar la presencia de deterioros asociados a la capacidad estructural.

En las radiales, el deterioro predominante es el tipo *piel de lagarto*, seguido en menor medida por *bacheo, exudación y los agrietamientos*.

10.2.4 Sobre las notas de calidad y las estrategias de intervención

Para la troncal principal, las notas de calidad dominantes son Q1, Q2 y Q3, con porcentajes bajos para la nota Q5 y Q8. Esto en general refuerza el concepto de que el proyecto presenta una buena condición estructural y funcional, en un porcentaje importante de su longitud. Sin embargo, al comparar las notas obtenidas en campañas de evaluación anteriores, tanto por su distribución como por la aparición de nuevas notas (tramos con notas Q6 a R2), se muestra una tendencia general hacia el deterioro. Lo anterior, se refuerza cuando se determinan las estrategias de conservación que, para estas últimas campañas, los resultados obtenidos



indican estrategias de mayor alcance cada vez, con el fin de devolver a la superficie de ruedo las condiciones normales para un proyecto de este tipo.

10.2.5 Sobre los Modelos de Deterioro

Con la ruta dividida en tramos homogéneos para cada uno de los sentidos y con el modelo de *PSI* desarrollado por el *LanammeUCR* para Costa Rica, el cual es utilizado como información de entrada con los datos calculados de *IR* con el perfilómetro láser, se estimaron los modelos de deterioro para la troncal principal. Para esta evaluación se obtuvo que, para todos los tramos analizados, se requiere realizar labores de mantenimiento preventivo, puesto que, según las condiciones actuales, ninguno de estos tramos alcanzará un valor de *PSI* menor a 3 en un plazo mayor a 11 años.

10. RECOMENDACIONES

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

11.1 Sobre la evaluación funcional y de deterioro superficial del proyecto

- Realizar intervenciones tempranas del tipo sellos de lechadas asfálticas o similares (*slurry seals, fog seals, chip seals, microsurfacing* u otras técnicas) en aquellas zonas con deterioros de tipo funcional, con el fin de detener la propagación de los deterioros detectados.
- Mantener o mejorar los estándares de calidad y mantenimiento del proyecto puesto que, al realizar el análisis de modelos de deterioro, se detectó que para esta evaluación hubo una mejora en la proyección de los tramos para el momento en que requerirían una intervención mayor. Es por esto por lo que deben considerarse las acciones preventivas correspondientes, que garanticen al Estado costarricense obtener un proyecto de altos estándares al final del periodo de la concesión.

11.2 Sobre la evaluación de las radiales

- Realizar una intervención del tipo *Rehabilitación Mayor* de manera inmediata en las radiales que presentan condiciones estructurales críticas, para extender su vida de servicio.
- Implementar un programa de mantenimiento rutinario a cada radial, de tal manera que cuente con una adecuada condición estructural, funcional y de seguridad vial, evitando deterioros prematuros y de forma acelerada.

11. Referencias

- Aguilar, J., 2017. *Caracterización geológica e identificación de drenaje ácido de roca en sitios seleccionados entre el km 37 y el km 48 en la Ruta Nacional 27*. Tesis, Lic. Escuela Centroamericana de Geología.
- American Association of State Highway Transportation Officials. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 6th Edition. Washington, D. C, Estados Unidos de América.
- American Association of State Highway Transportation Officials. (2010). *Highway Safety Manual*, 1st Edition. Washington, D. C, Estados Unidos de América.
- American Association of State Highway Transportation Officials. (1993). *American Association of State Highway Transportation Officials Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- American Association of State Highway Transportation Officials. (2008). Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, Interim Edition: *A Manual of Practice*. Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- American Association of State Highway Officials. (2014). *LRFD Bridge Design Specification*, Seventh Edition. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- American Association of State Highway Officials. (1961). *The American Association of State Highway Official Road Test: History and Description of Project*. Highway Research Board, Vol. 61, No. 1. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- Al-Omari & Darter. (1994). *Relationships between international roughness index and Present serviceability ratings*. Transportation Research Council, Washington D.C. Estados Unidos de América.
- Arriaga, P. & C. Mario. (1998). *Índice de Rugosidad Internacional en la red carretera de México*. Publicación Técnica No 108. Sanfandila, Qro. México.

- Sociedad América para Ensayos y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés). Estados Unidos de América.
- Badilla, G. (2009). *Determinación de la regularidad superficial de pavimento mediante el cálculo del índice regularidad internacional (IRI): Aspectos y consideraciones importantes*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Badilla, G., Elizondo, F. & Barrantes, R. (2008). *Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Carey, W. & Irick, P. (1960). *The Pavement Serviceability Performance Concept*. Highway Research Board. Record 250. Estados Unidos de América.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2013). *Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes*, San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.
- Consejo Nacional de Concesiones (CNC). (2000a). Pliego de licitación: Concesión de obra con servicio público de la carretera San José – Caldera. Licitación pública internacional N°01-98. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
- Consejo Nacional de Concesiones (CNC). (2000b). Contrato de concesión: Concesión de obra con servicio público de la carretera San José – Caldera. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
- De Solminihac, H., Salsilli, R., Kohler, E. & Bengoa, E. (2003). *Analysis of Pavement Serviceability for the AASHTO Design Method: The Chilean Case*. Santiago, Chile.
- Dold, B., 2010: Gestión de residuos y minería sostenible. Basic concepts in environmental geochemistry of sulfidic mine-waste management.- 37 pp. Universidad Internacional de Andalucía.
- Dujisin, D. & Arroyo, A. (1995). *Desarrollo de una Relación Índice de Serviciabilidad - Índice de Rugosidad Internacional (IRI)*. Comisión de Diseño y Evaluación De Pavimentos, Corporación de Desarrollo Técnico (CDT), Cámara Chilena de la Construcción. Santiago, Chile.
- Grandia, F., Salas, J., Arcos, D., Archambault, A. & Cottard, F., 2009: Impacto del drenaje ácido de explotaciones mineras en la cuenca del Río Margarita y Embalse de Hatillo (República Dominicana).- Bol. Geol. Minero, 120(4): 595-606.
- Hall, K. T. & Correa Muñoz, C. E. (2007). *Estimation of present serviceability index from International Roughness Index*. Transportation Research Record 1655, TRB. Consejo de Investigación Nacional. Paper No. 99-1508 Washington, D. C, Estados Unidos de América.

- HOLDRIDGE, L. R., 1967: Life zone ecology.- 206 págs. Tropical Science Center, San José.
- Huang, Y. (1998) *Pavement Analysis and Design* Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. Estados Unidos de América.
- Hungr, O., Leroueil, S. & Picarelli, L., 2014: The Varnes classification of landslide types, an update. – *Landslides*, 11:167–194, DOI 10.1007/s10346-013-0436-y.
- Hveem, F M. & Carmany R. M. (1948). *The Factors Underlying the Rational Design of Pavements*. Highway Research Board, Vol 28, pp 101-136. Estados Unidos de América.
- INTECO. (2019). *INTE W82: 2019. Dispositivos de señalización temporal para el control del tránsito en obras. Hitos de vértice. Requisitos y métodos de ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR, *Análisis de los estudios geológico – geotécnicos y del diseño, construcción y mantenimiento de la sección comprendida entre los estacionamientos 46+780 a 46+860 y de la atención a los hechos relacionados con la falla de la sección de relleno. Proyecto San José – Caldera, Ruta nacional 27, Tramo II*, año 2010, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2010, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2010, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2011, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2012, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2013, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2014-2015, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2015-2016, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2016-2017, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2017-2018, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2019-2020, PITRA.
- 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.
- 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.
- LanammeUCR. (2011). Guía de evaluación de seguridad vial en puentes. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

- Montero, M. (2019). *Diagnóstico de utilización de puentes peatonales en la Gran Área Metropolitana* (Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica). San José, Costa Rica.
- Moya, L., Agüero, J., Zamora, J. y Jiménez, D. (2019). *Análisis de choques en la Ruta 27 usando modelos multivariados* (Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica). San José, Costa Rica.
- Palacios, C. (2011). *Análisis sobre la Guía Mecánico Empírica AASHTO 2011*. Laboratorio GEOLAB & VialTech. Ecuador.
- Paterson, W. (1986). *Road Deterioration and Maintenance Effects*. Banco Mundial. Washington, D.C., Estados Unidos de America.
- Permanent International Association of Road Congresses (PIARC). (2003). *Road Safety Manual, 1st Edition*. PIARC Technical Committee on Road Safety.
- Piedra, Jonathan. (2007) *Coeficiente de fricción de las carreteras nacionales en Costa Rica*, Proyecto final de graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica
- Porras, H., Cascante, M., Granados, R., y Alvarado, G.E., 2012: *Volcán-Estratigrafía y tectónica del Valle Central occidental y las estribaciones de los Montes del aguacate a lo largo de la Ruta 27*, Costa Rica. Rev. Geol. Amér. Central, 47: 69-93.
- Rodríguez, S., Agüero, J., Zamora, J. y Jiménez, D. (2019). *Análisis de sitios de concentración de choques viales mediante la utilización de sistemas móviles para el inventario de carreteras en la Ruta Nacional 1*. (Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica). San José, Costa Rica.
- Rodriguez, G., 2010: El sistema de gestión ambiental en el control del drenaje ácido de mina. 315 pp. Universidad Nacional de Ingeniería Lima, Perú [Tesis Maestría].
- Ruiz, P., Araúz, A., Garcia, J., Villalobos, G., Sedó, A & Suárez, C., 2015: Drenaje ácido de rocas en taludes de la ruta nacional 27, San José - Caldera, Costa Rica. Rev. Geol. Amér Central, 53: 25-46 DOI: 0.15517/rgac.v53i0.21146.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2014). *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: SIECA.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2011). *Manual Centroamericano de Normas y Diseño Geométrico de Carreteras*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: SIECA.
- Sobek, A., Schuller, W., Freeman, J & Smith, R., 1978: *Field and Laboratory Methods Applicable to Overburden and Minesoils*. – 203 págs. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Cincinnati, Ohio.

- Suarez, C. 2017. Metodología para la Caracterización del Efecto del Drenaje Ácido en las rocas y el concreto lanzado en los taludes de la Ruta Nacional No. 27 (San José - Caldera), tesis, Lic. Escuela Centroamericana de Geología.
- Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional. (2011). Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica LM-PI-UE-05-2011. LanammeUCR.
- UMTRI Research Review. The Shape of Roads to Come: Measuring and Interpreting Road Roughness Profiles. Volúmen 33. Número 1, 2002.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA) Office Of Solid Waste Special Waste Branch. 1994 : Technical Document Acid Mine Drainage Prediction. Epa530-R94-036 Ntis Pb94-201829. 52 pp.
- Valverde, G. (2011). *Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras*. Vicerrectoría de Investigación. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Valverde, G. (2010). Guía para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial. San José, Costa Rica.
- 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 iberoamericano de Seguridad Vial (I CISEV). Costa Rica. 2008.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2020). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2020*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. <http://repositorio.mopt.go.cr>

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (s.f.). *Manual de puentes de Costa Rica MP-2020*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Documento pendiente de publicación.

12. Anexos

13.1 Anexo I: Resultados obtenidos con el Deflectómetro de Impacto



A continuación, se muestran las figuras con los resultados de la evaluación utilizando el Deflectómetro de Impacto del LanammeUCR, para ambos sentidos de la Ruta Nacional 27.

Figura A1 1.

Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 - 20+000

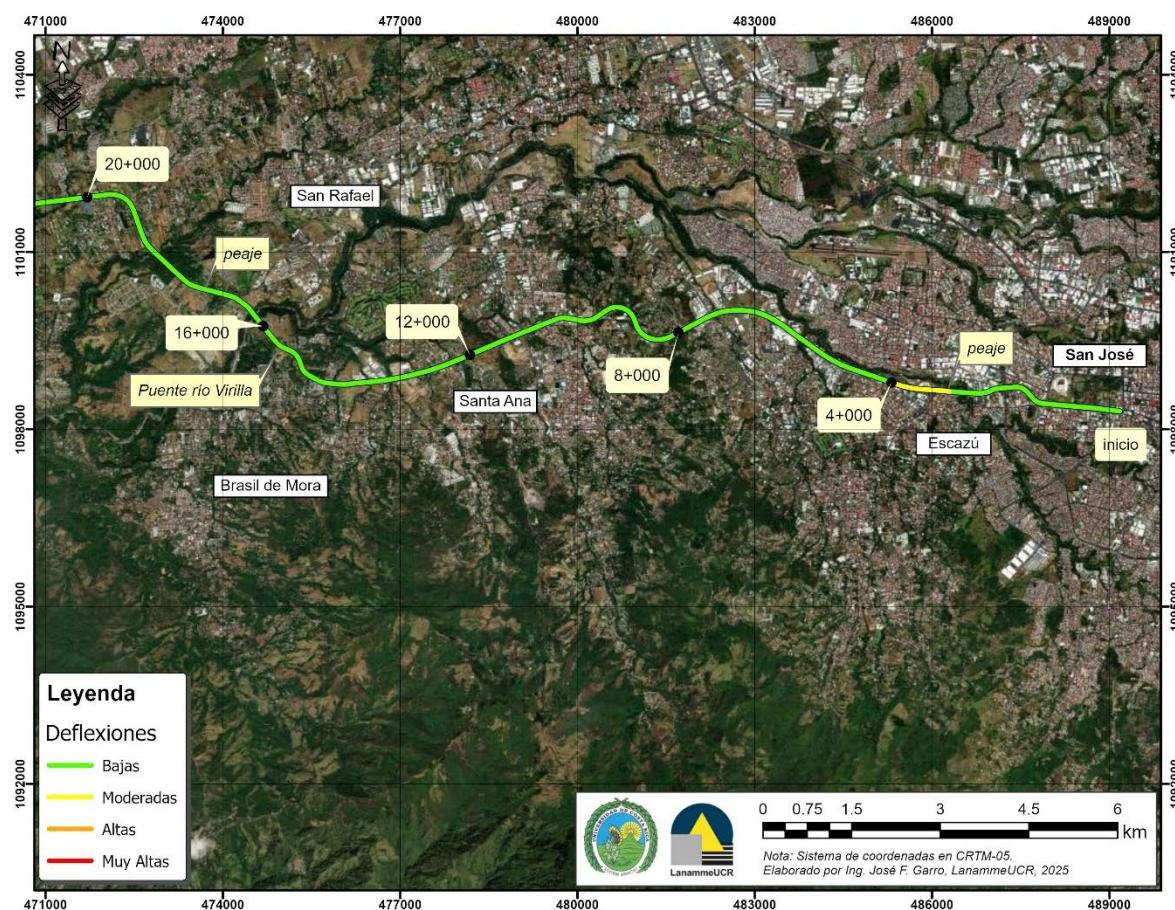




Figura A1 2.

Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000

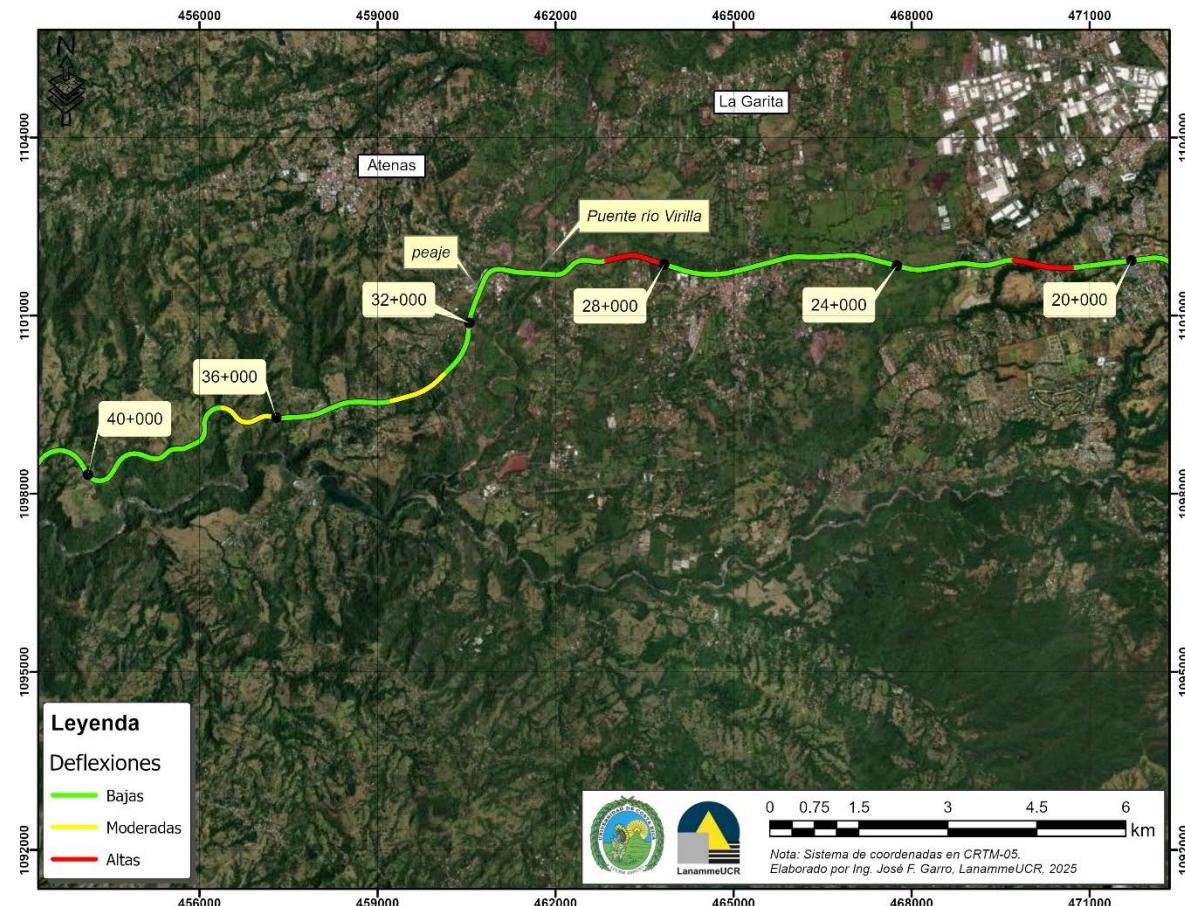




Figura A1 3.

Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Cadera Est. 40+000 - 60+000

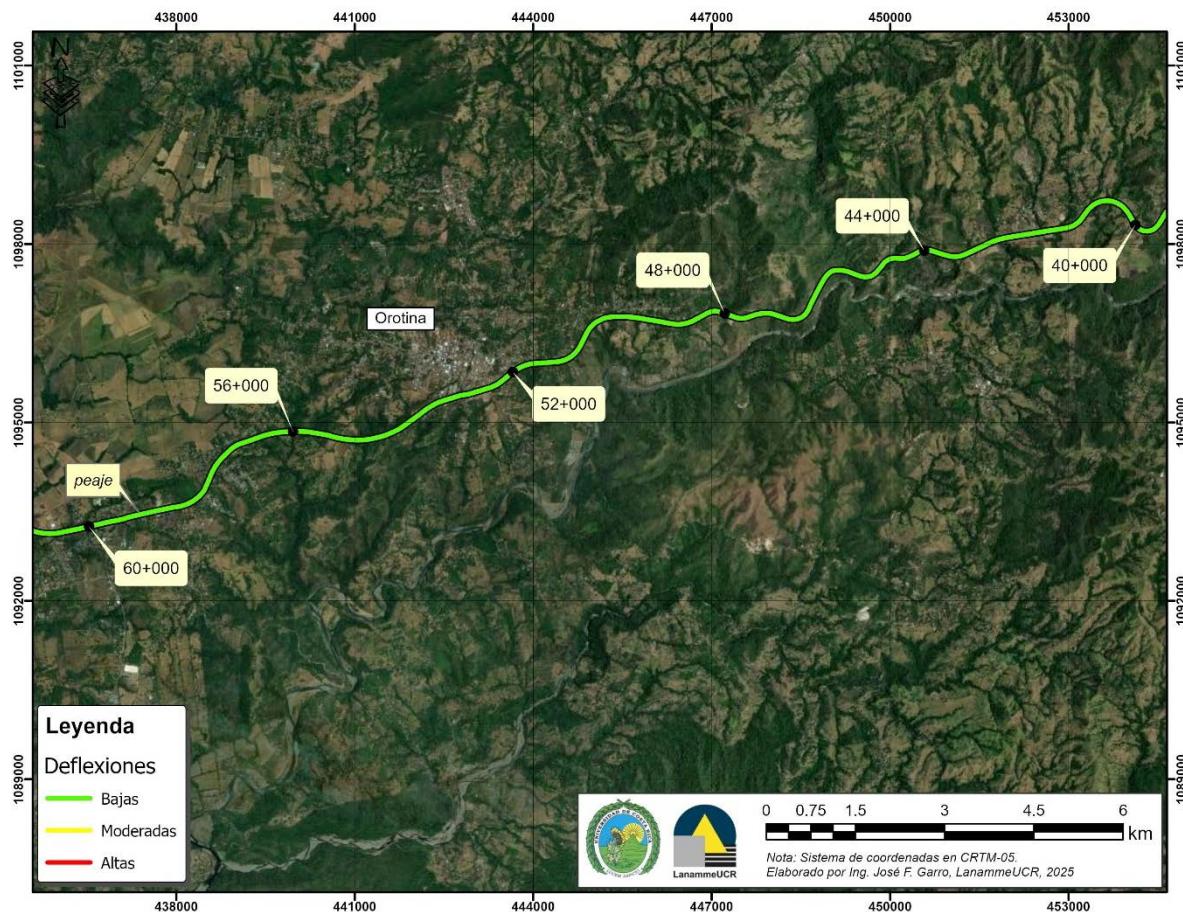




Figura A1 4.

Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000





Figura A1 5.

Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

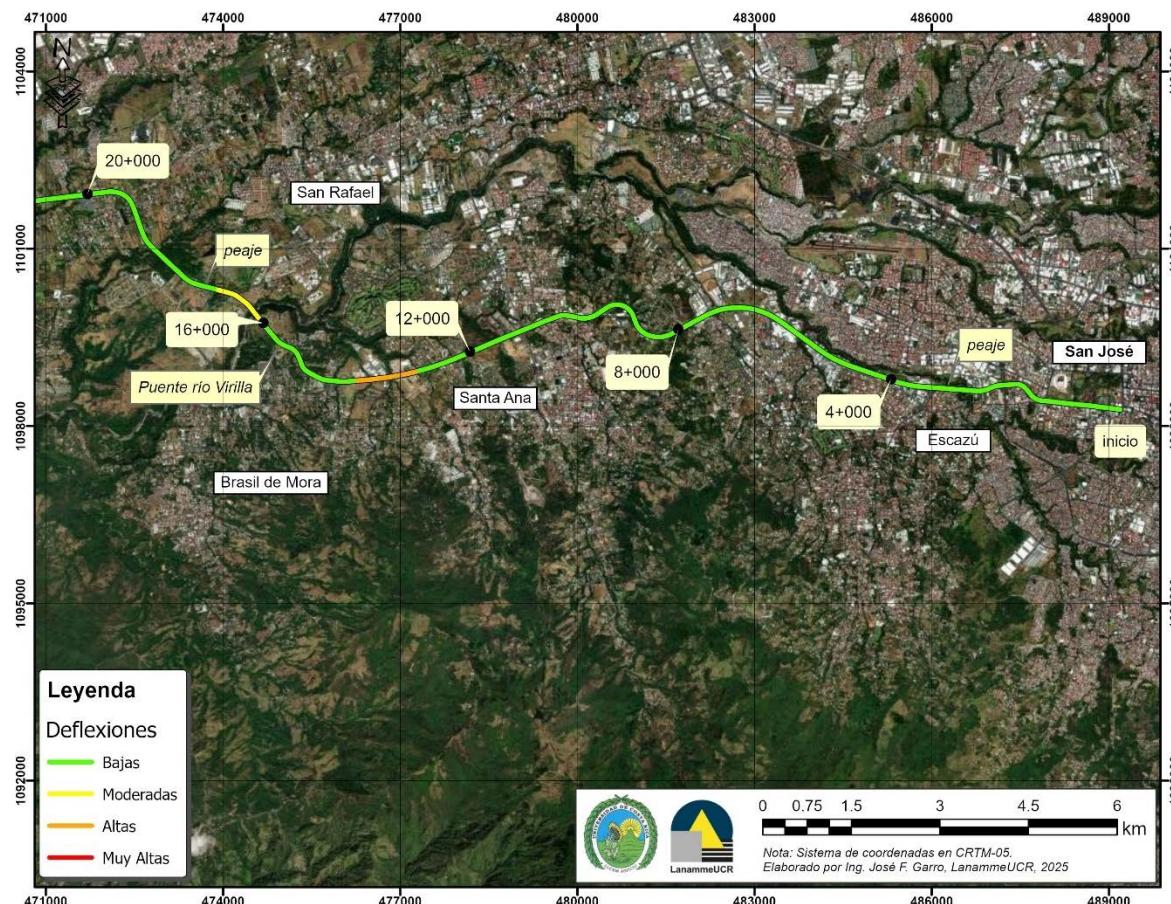




Figura A1 6.

Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 – 40+000

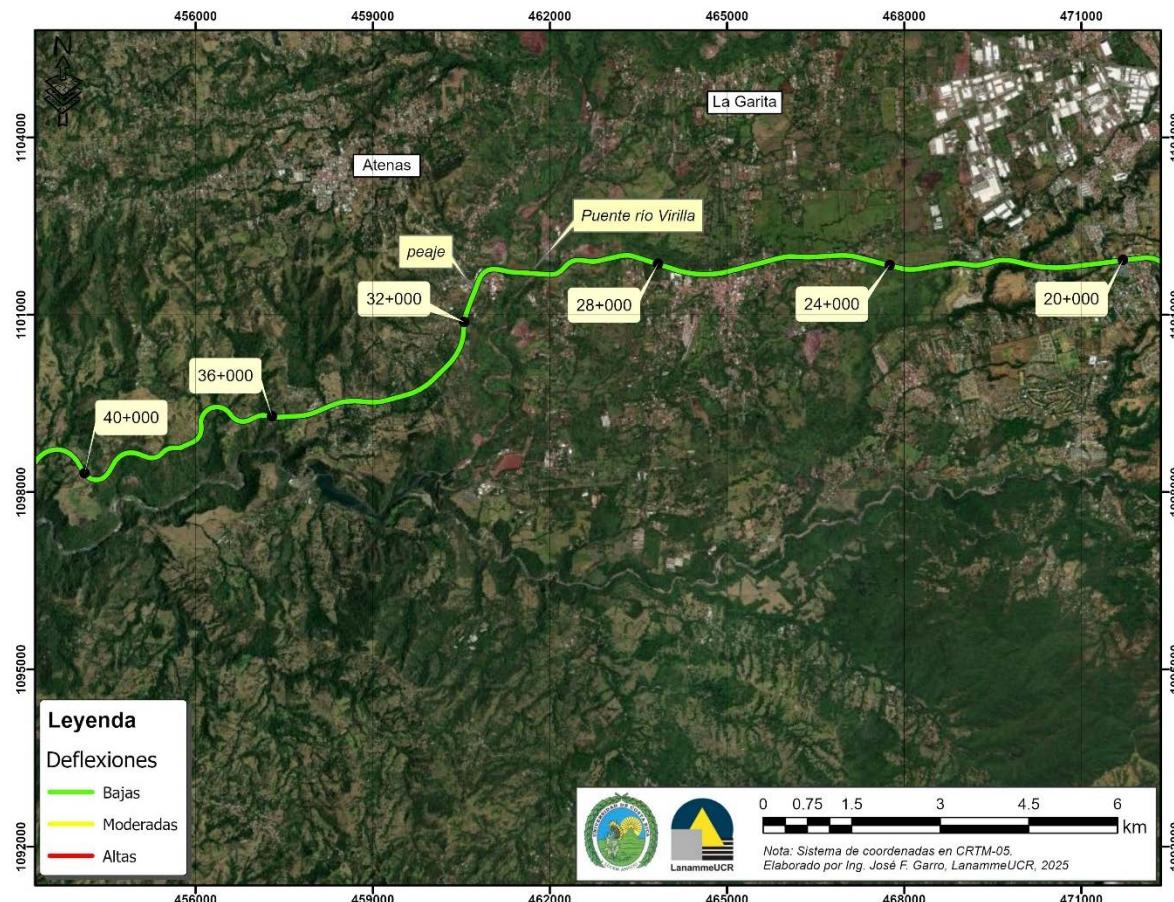




Figura A1 7.

Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

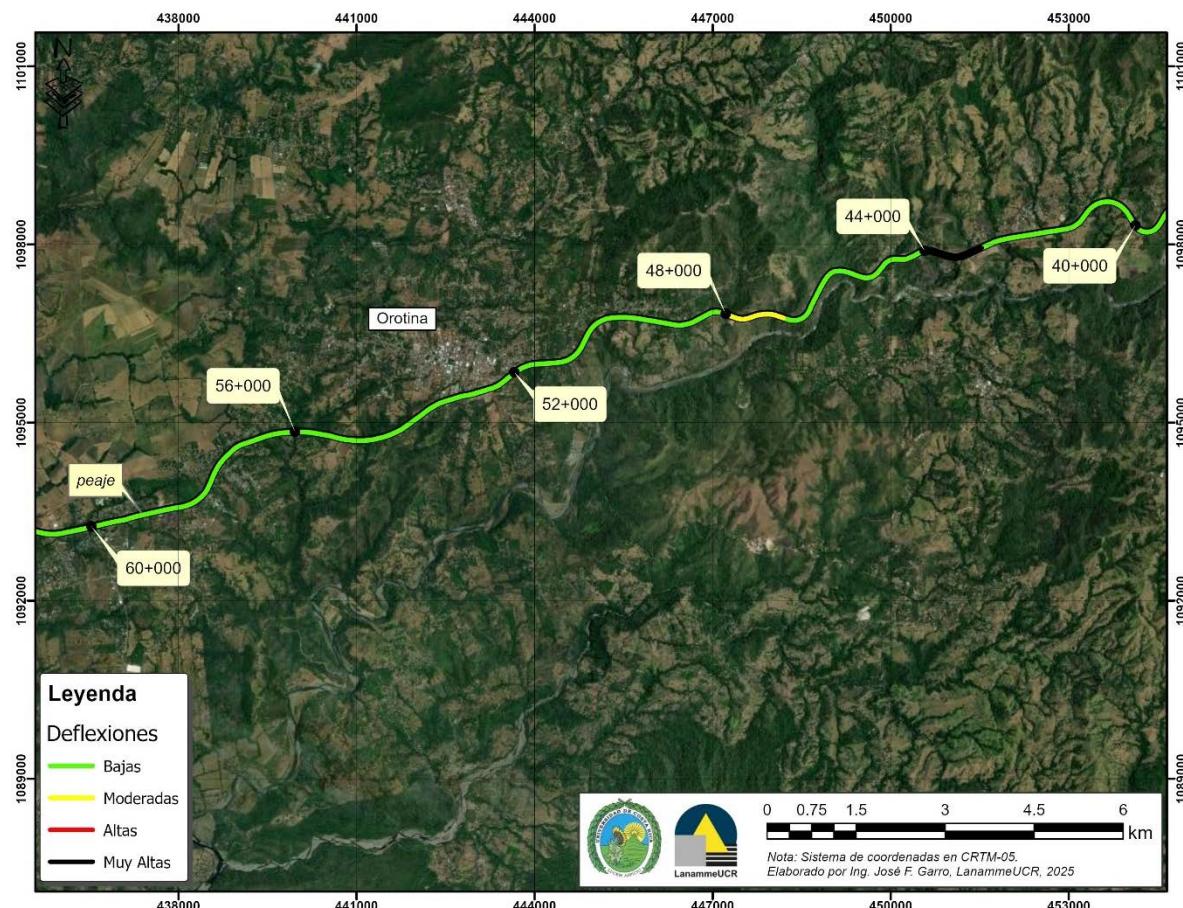




Figura A1 8.

Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



13.2 Anexo II: Resultados obtenidos Perfilómetro Láser



A continuación, se muestran las figuras con los resultados de la evaluación utilizando el Perfilómetro Láser del LanammeUCR, para ambos sentidos de la Ruta Nacional 27.

Figura A2 1.

Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 - 20+000

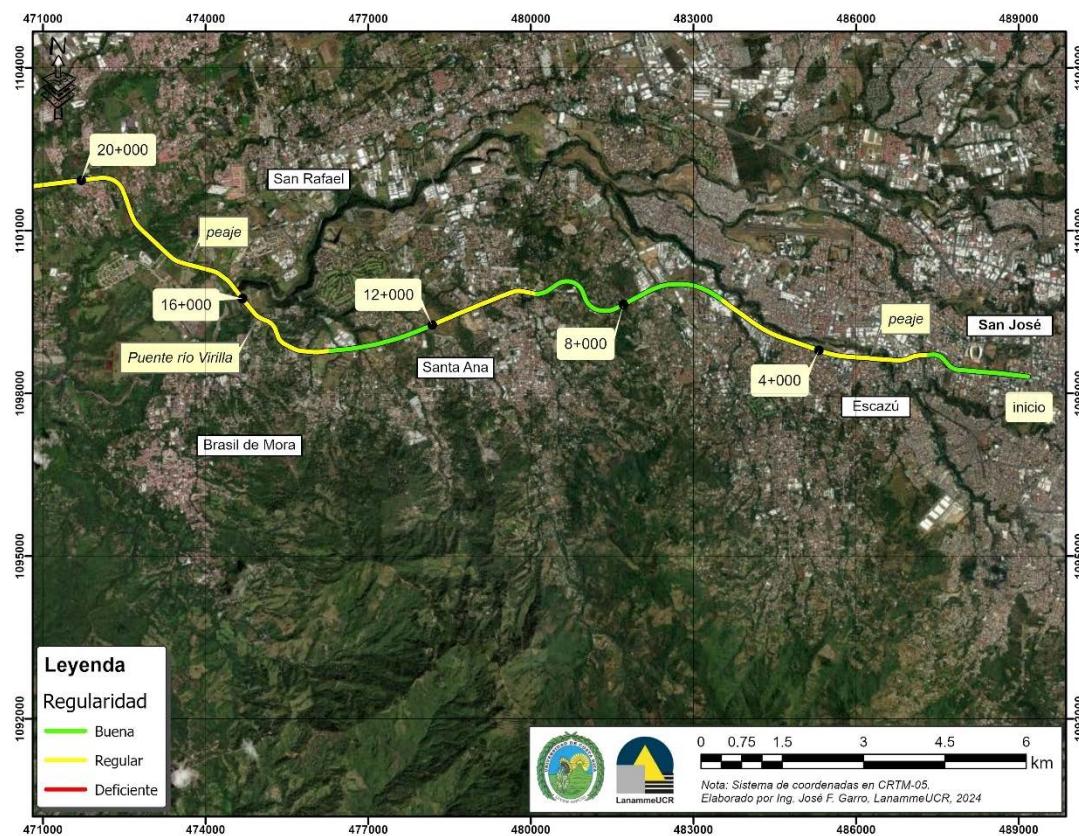




Figura A2 2.

Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000

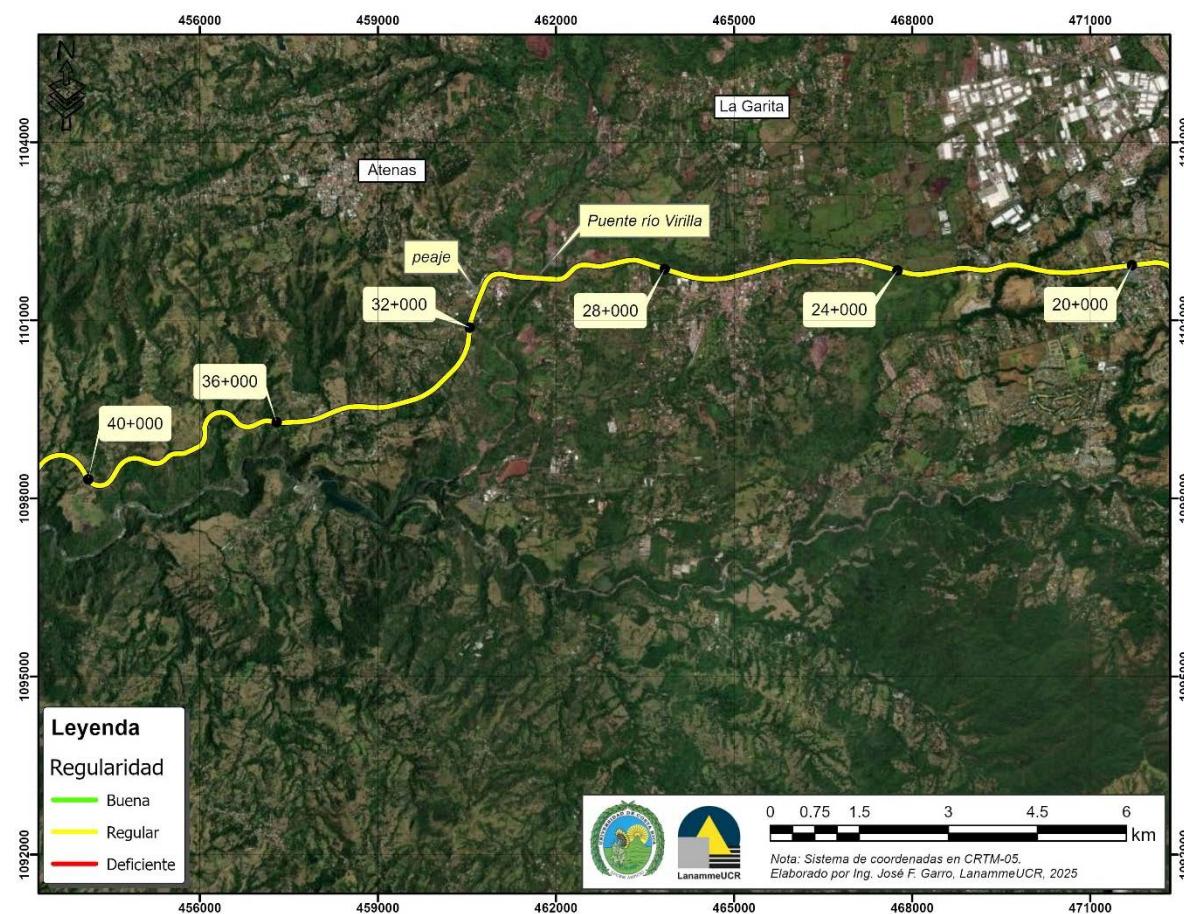




Figura A2 3.

Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

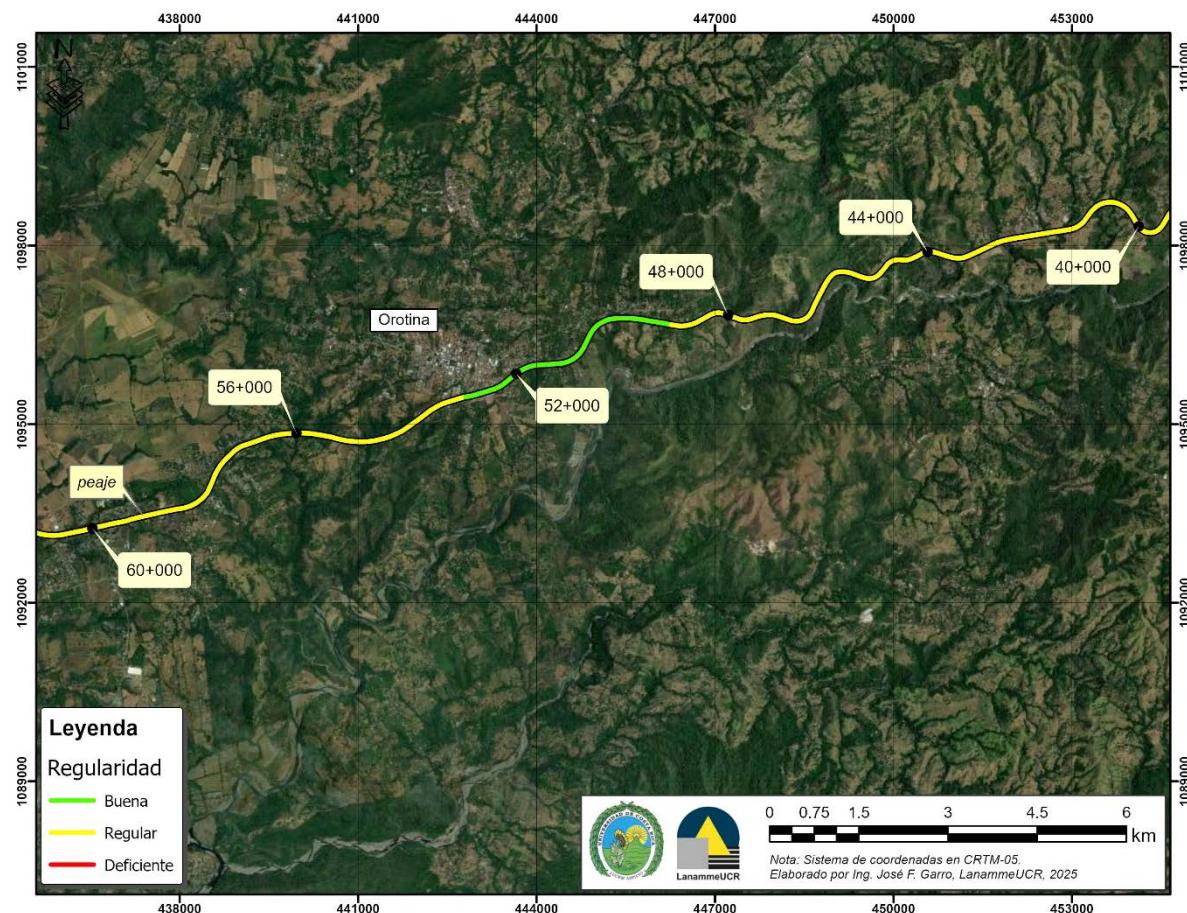




Figura A2 4.

Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000





Figura A2 5.

Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

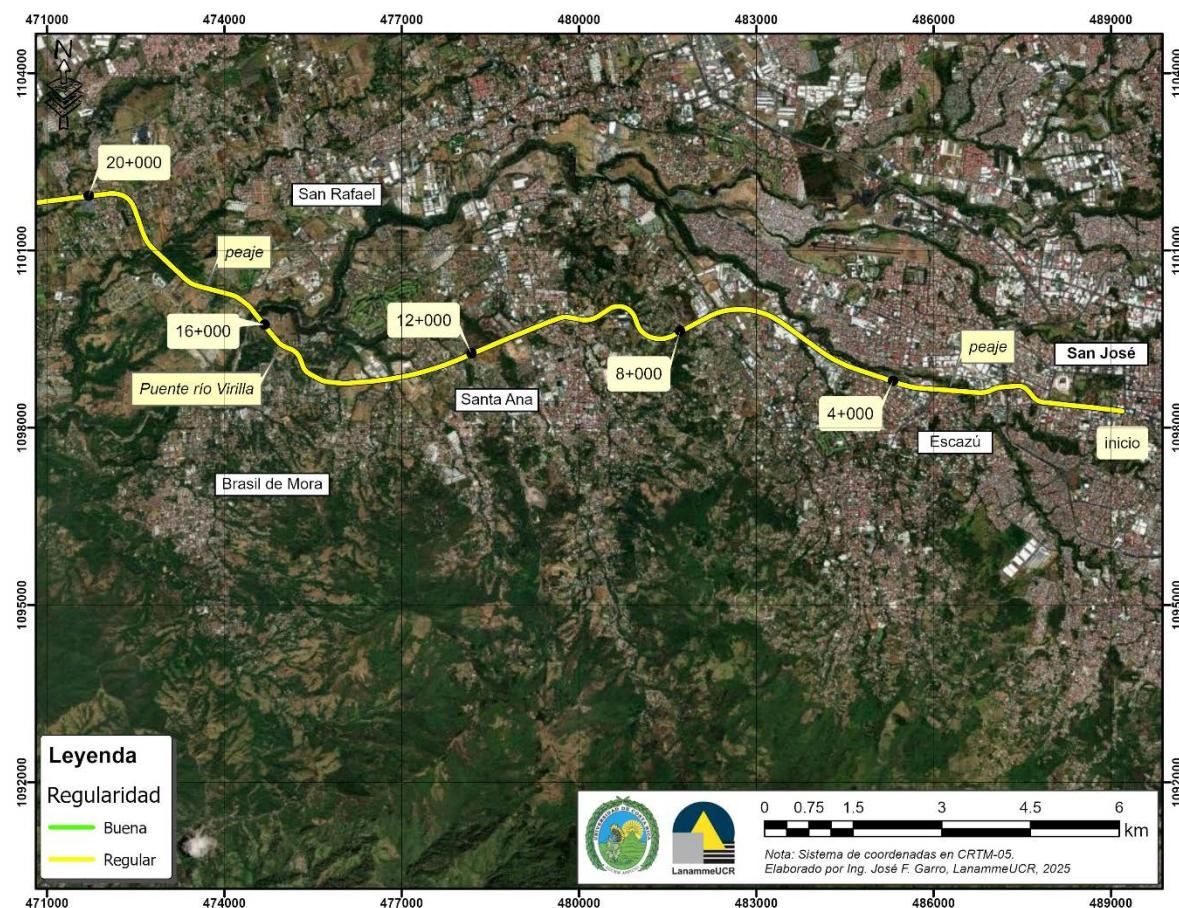




Figura A2 6.

Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000

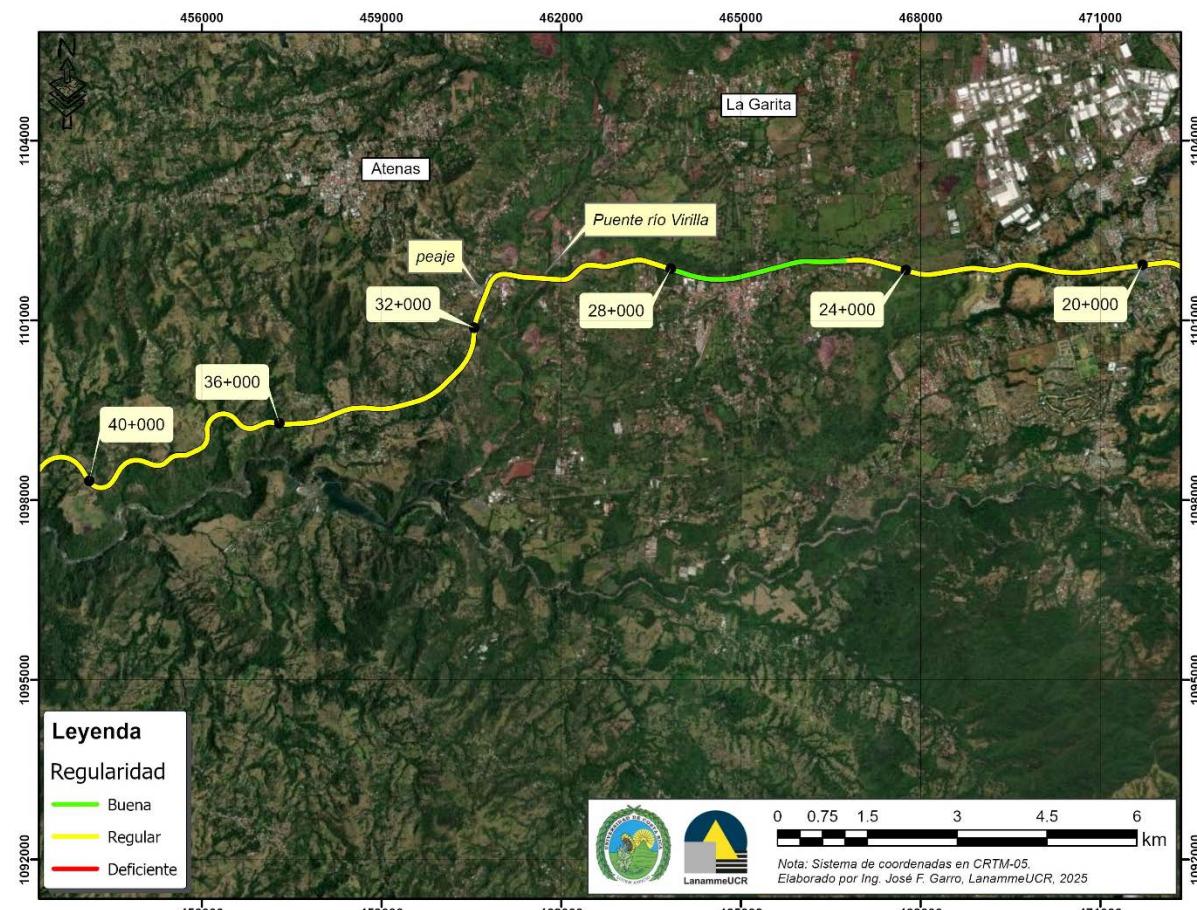




Figura A2 7.

Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

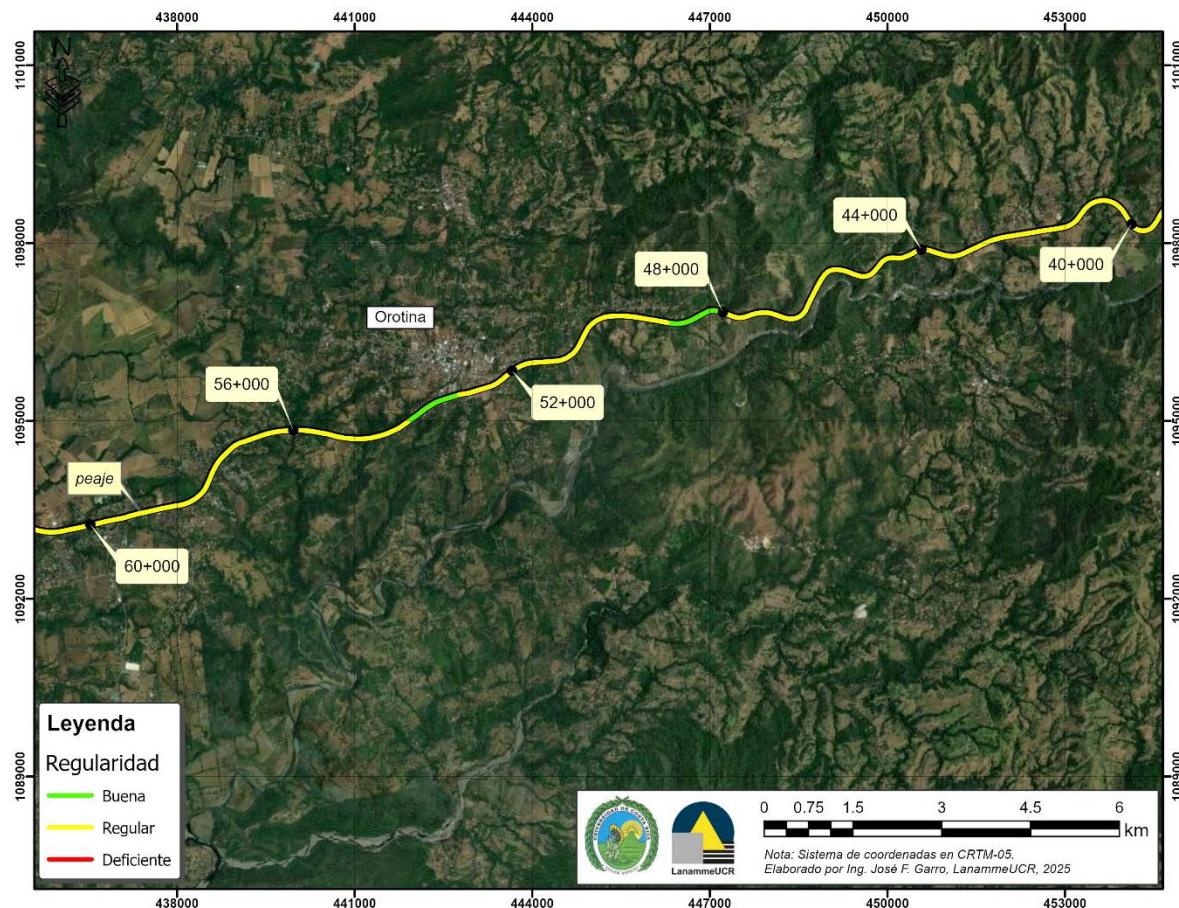




Figura A2 8.

Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



13.3 Anexo III: Resultados obtenidos Medidor de Agarre Superficial



Figura A3 1.

Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 -20+000

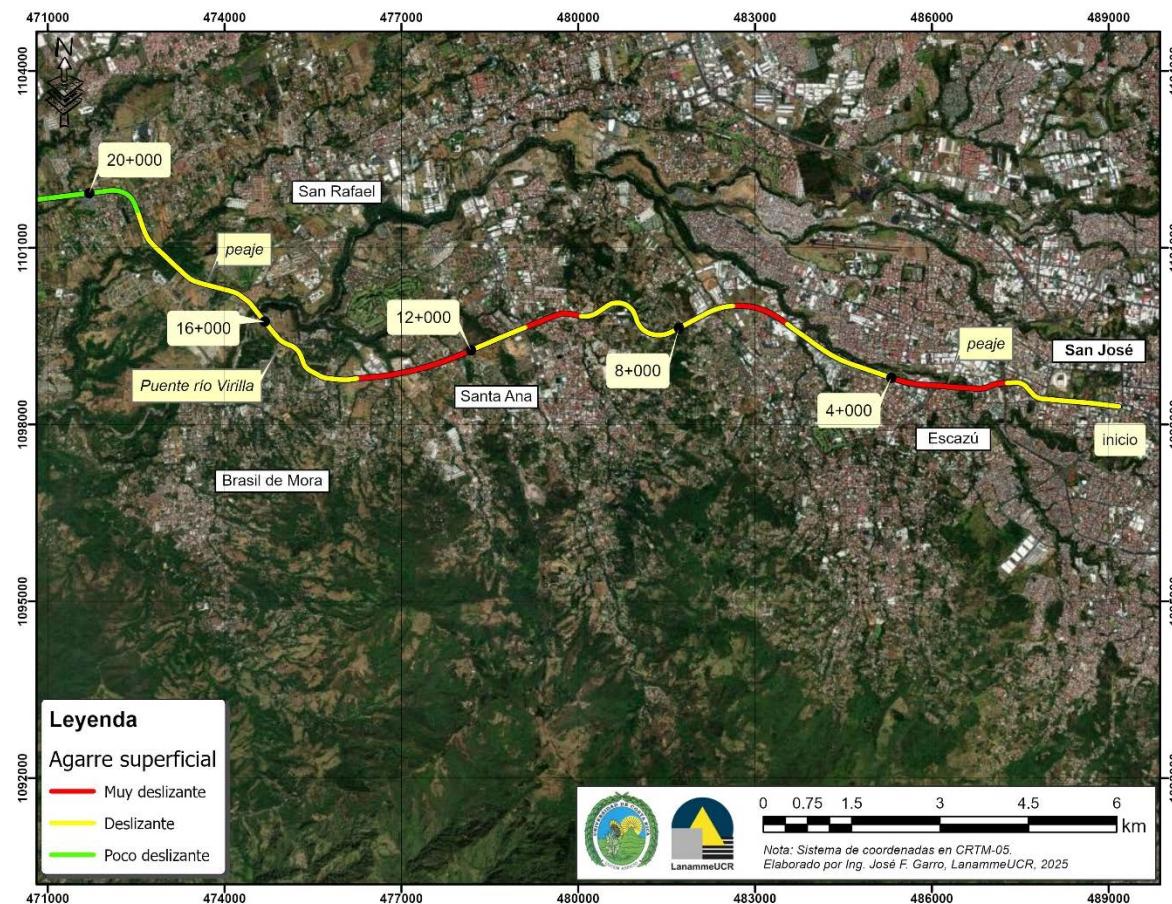




Figura A3 2.

Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000

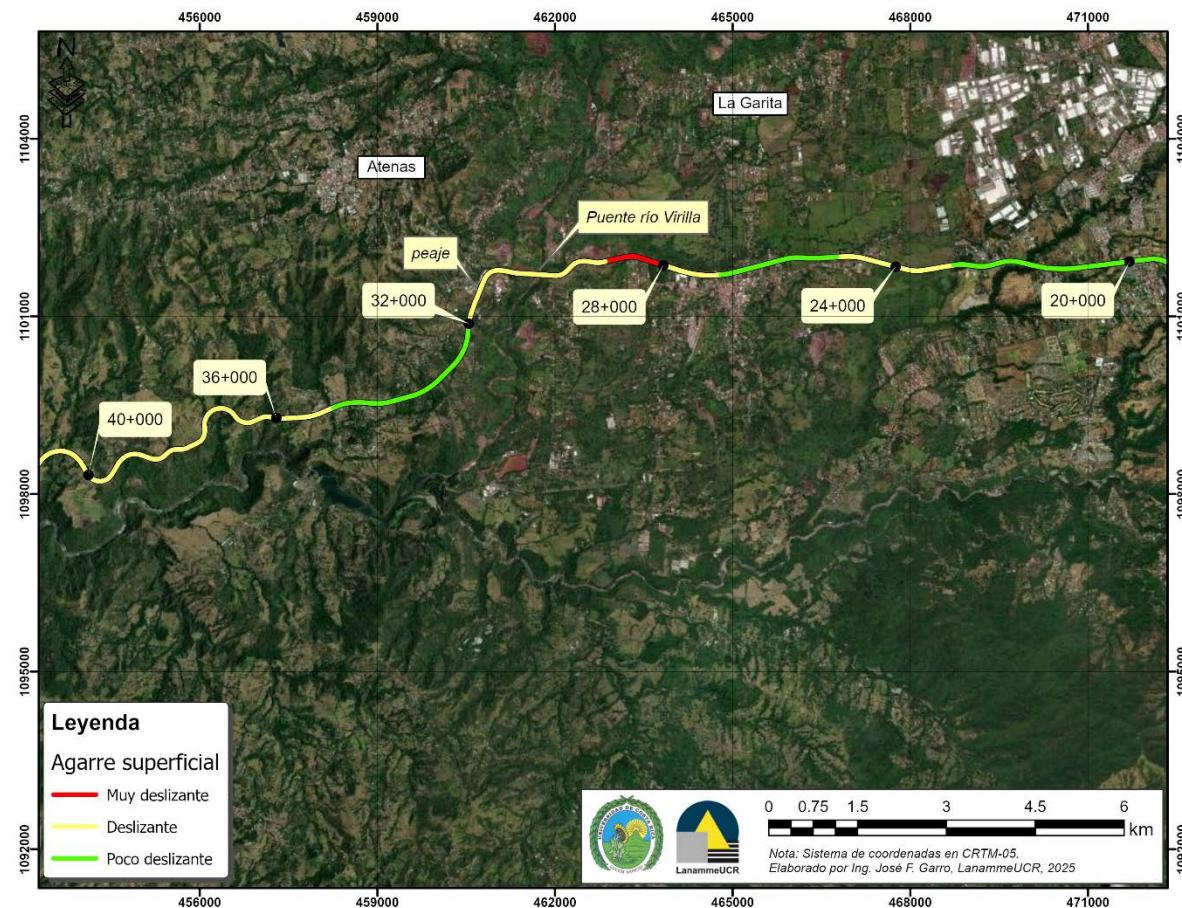




Figura A3 3.

Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

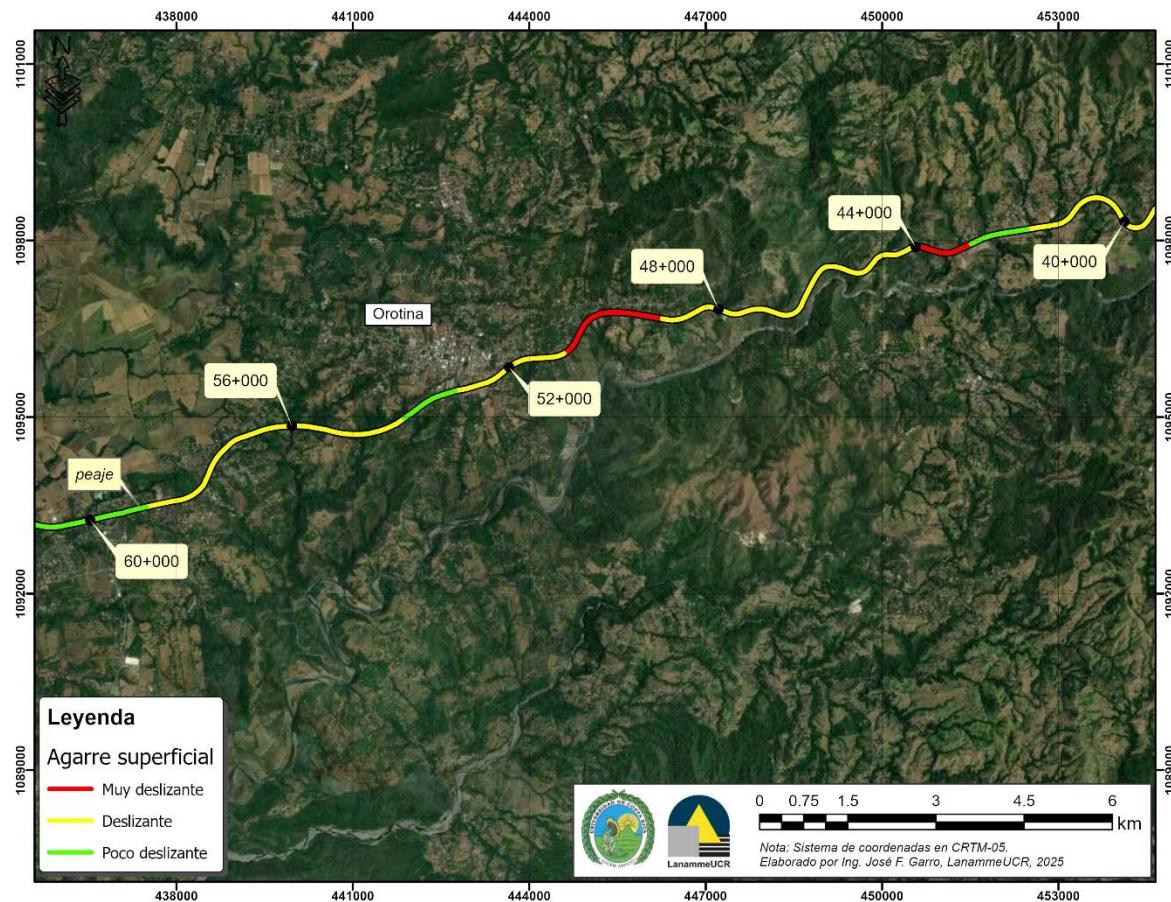




Figura A3 4.

Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000





Figura A3 5.

Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

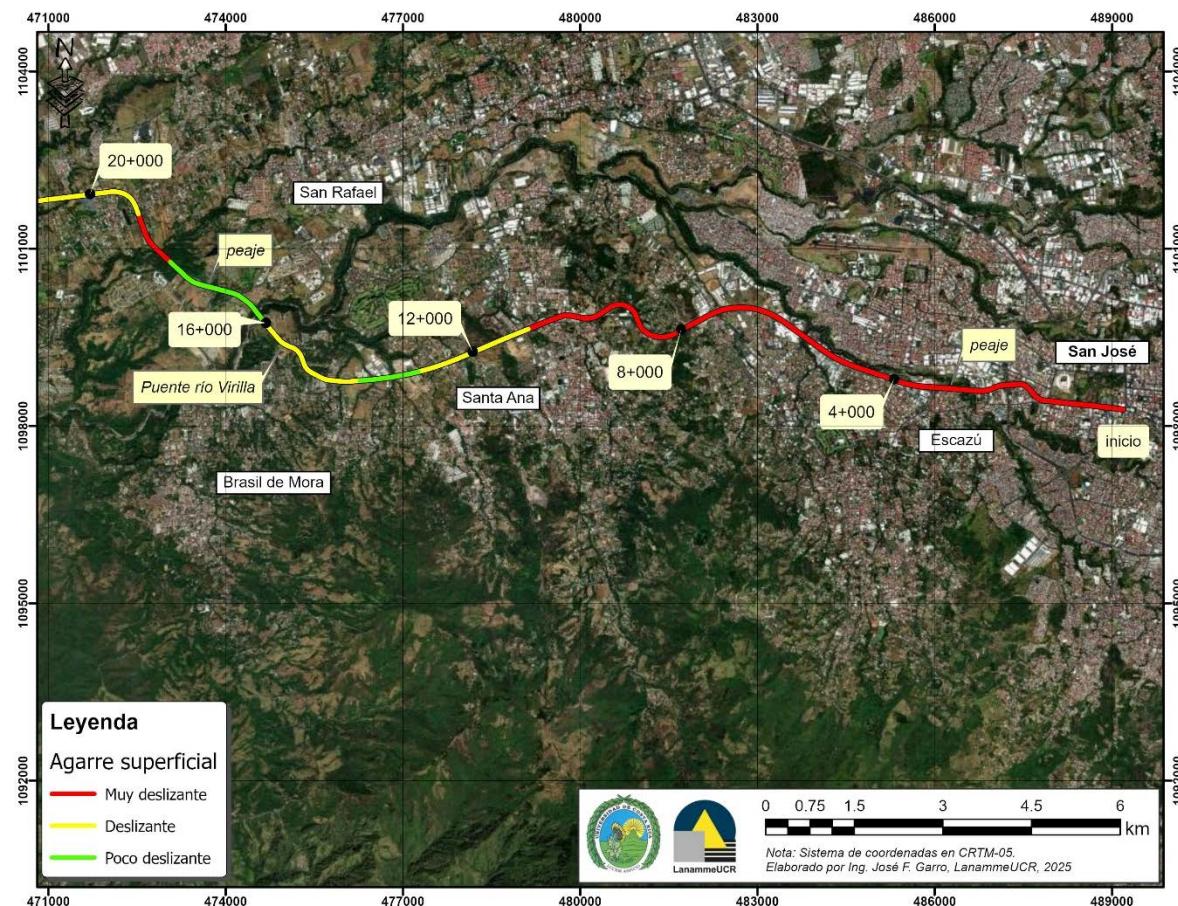




Figura A3 6.

Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000

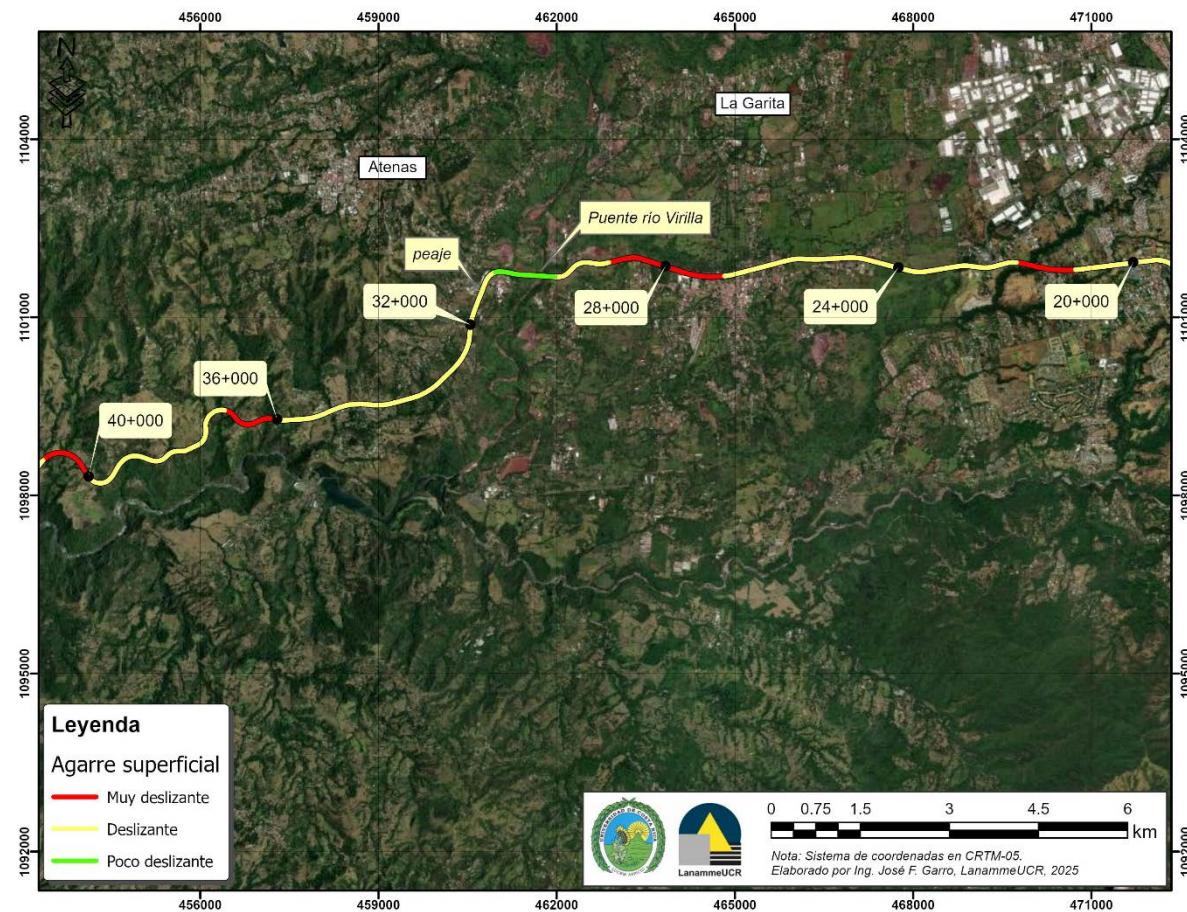




Figura A3 7.

Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

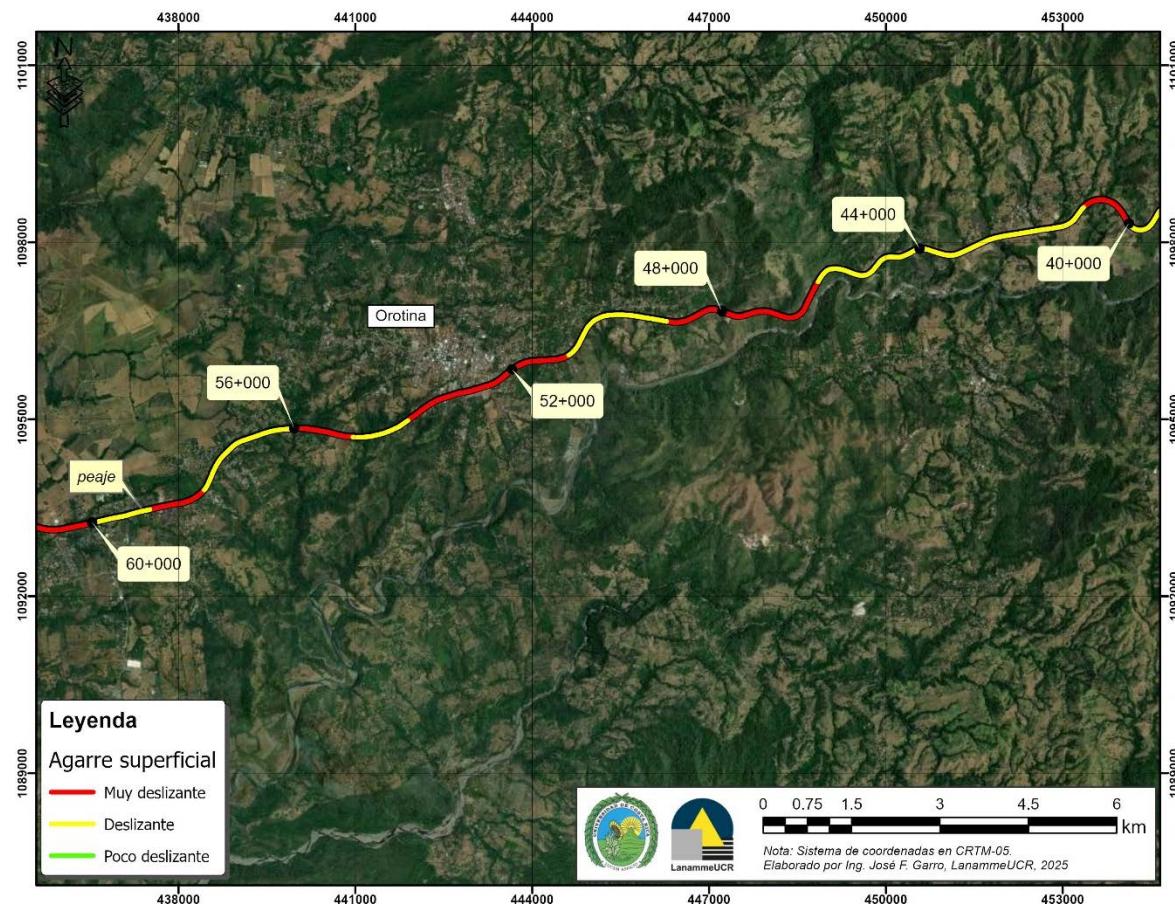




Figura A3 8.

Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000





Figura A3 9.

Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 -20+000

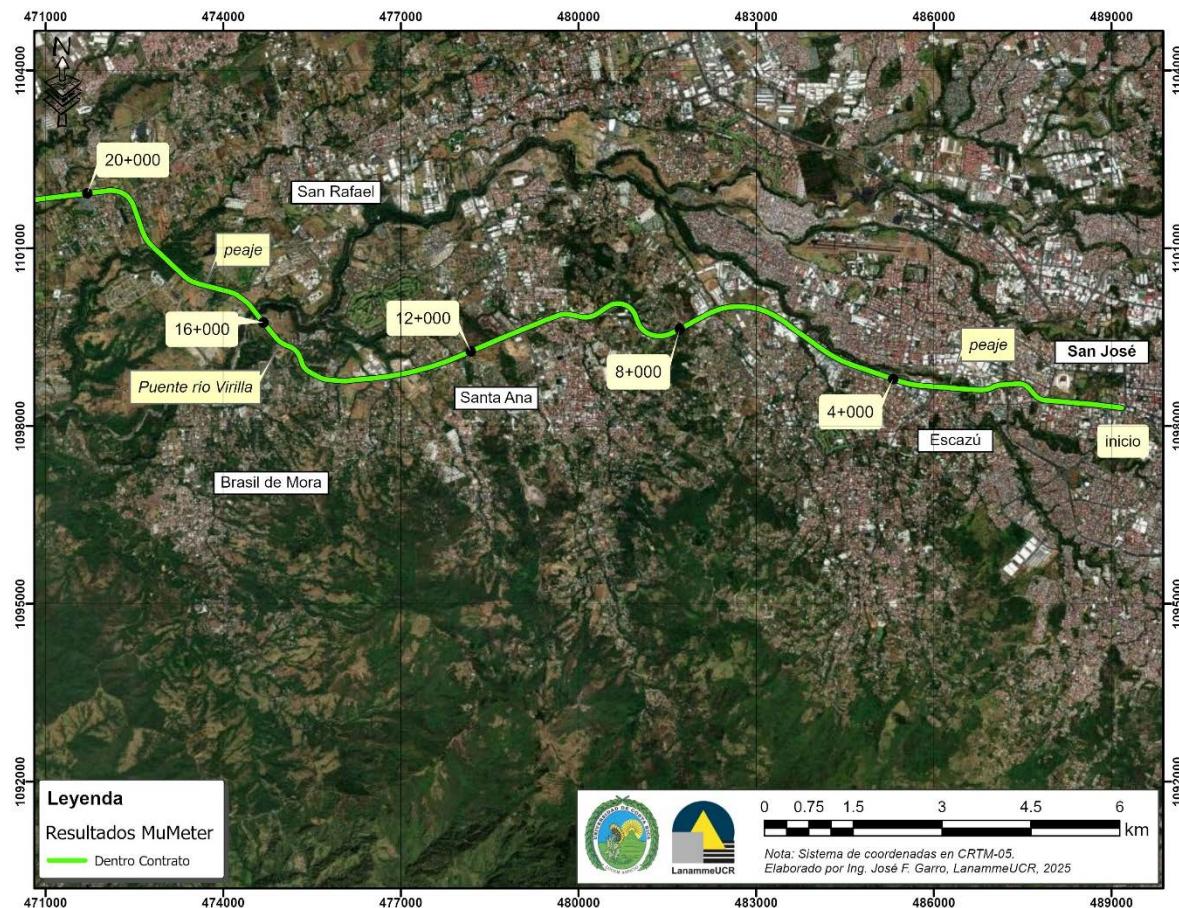




Figura A3 10.

Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000

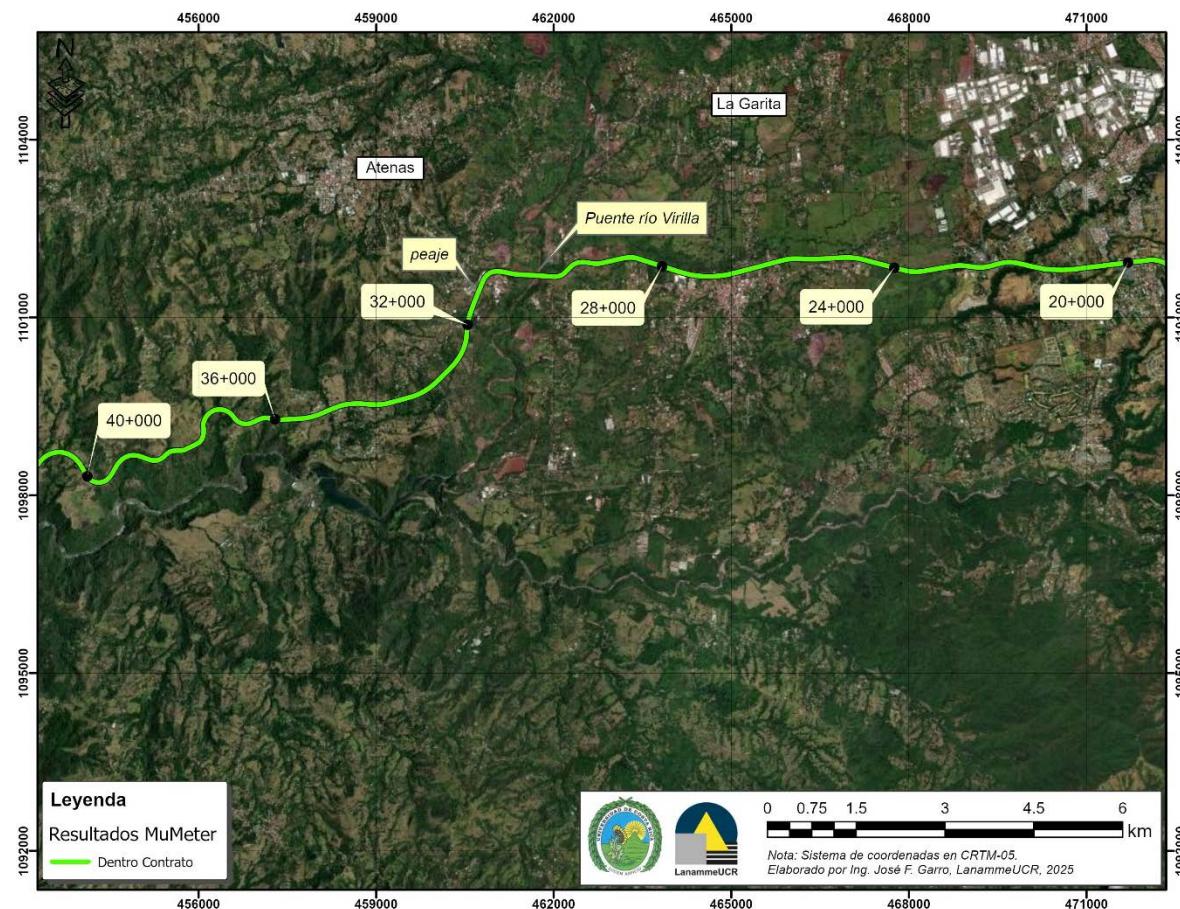




Figura A3 11.

Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

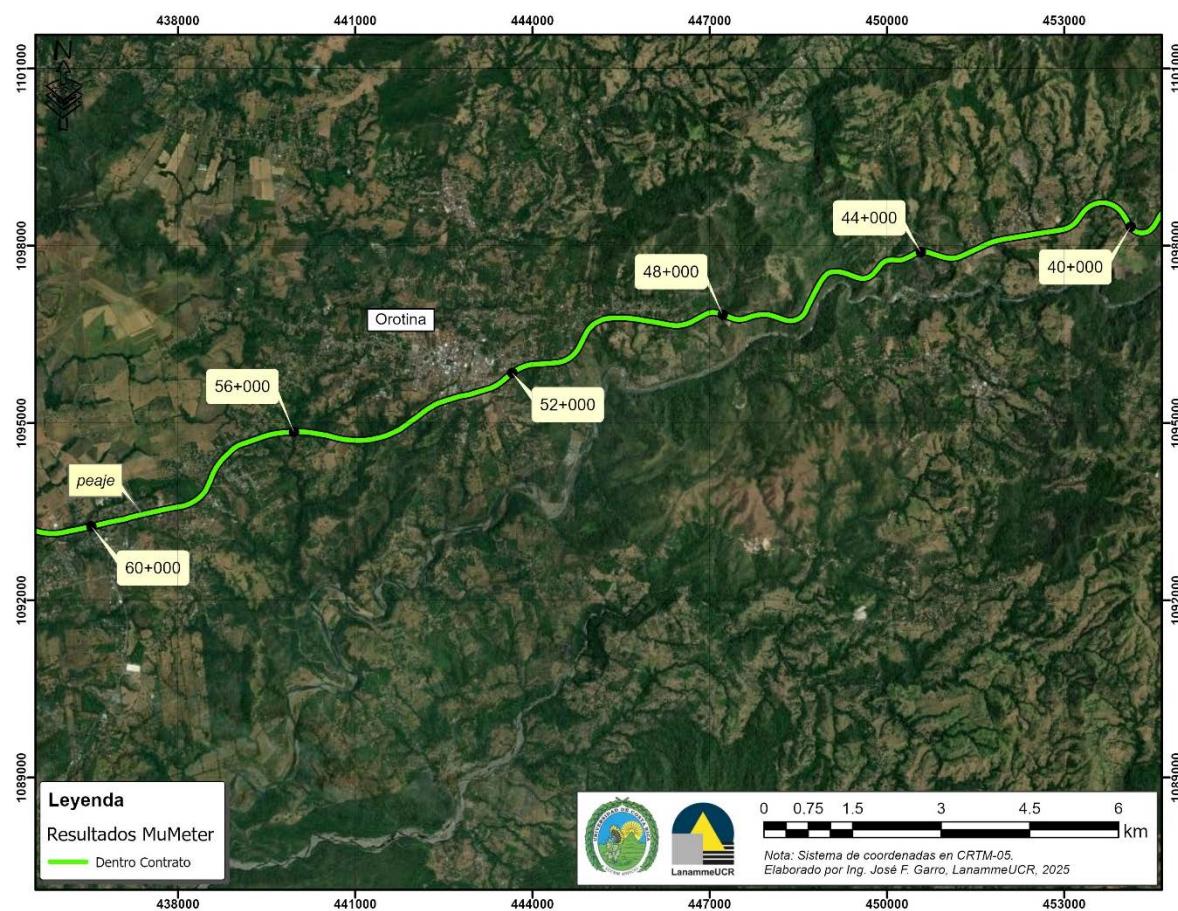




Figura A3 12.

Resultados MuMete, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000





Figura A3 13.

Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

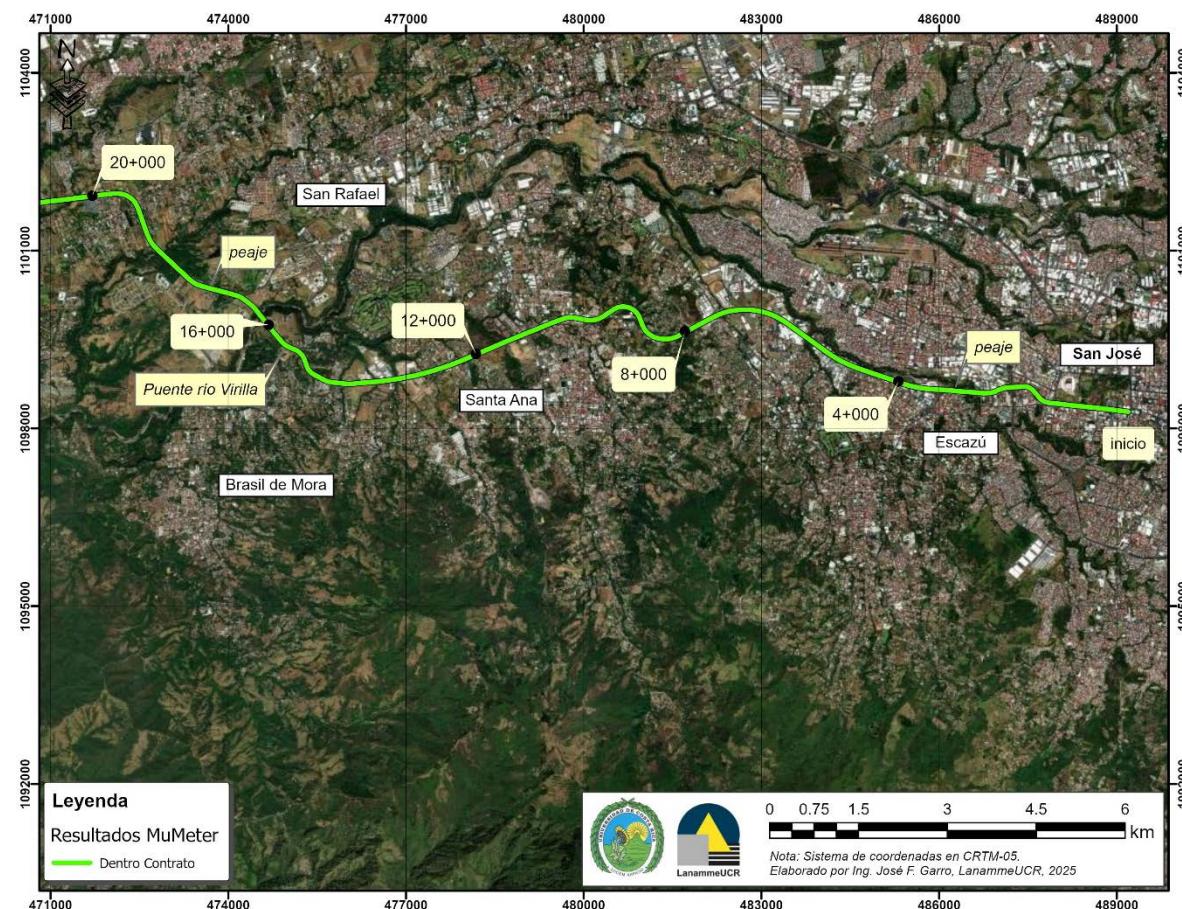




Figura A3 14.

Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000

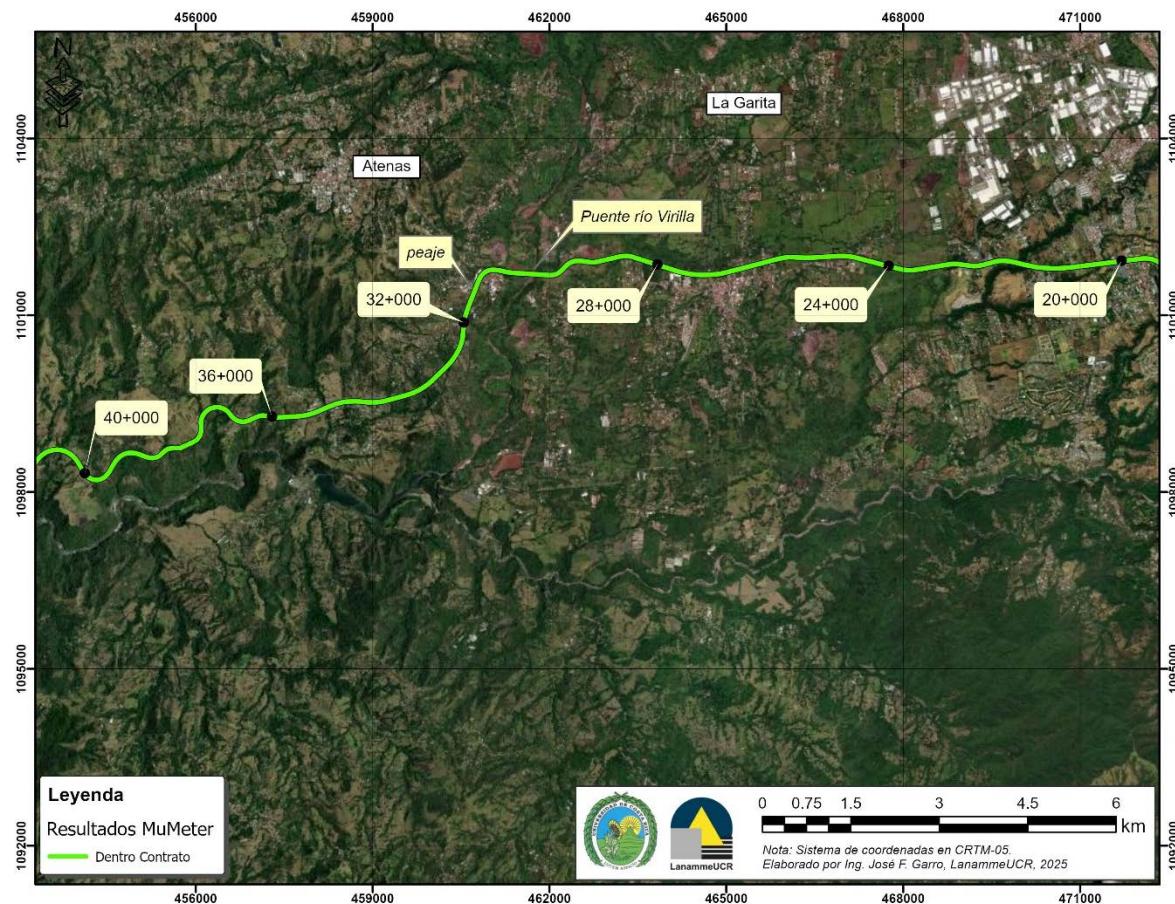




Figura A3 15.

Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

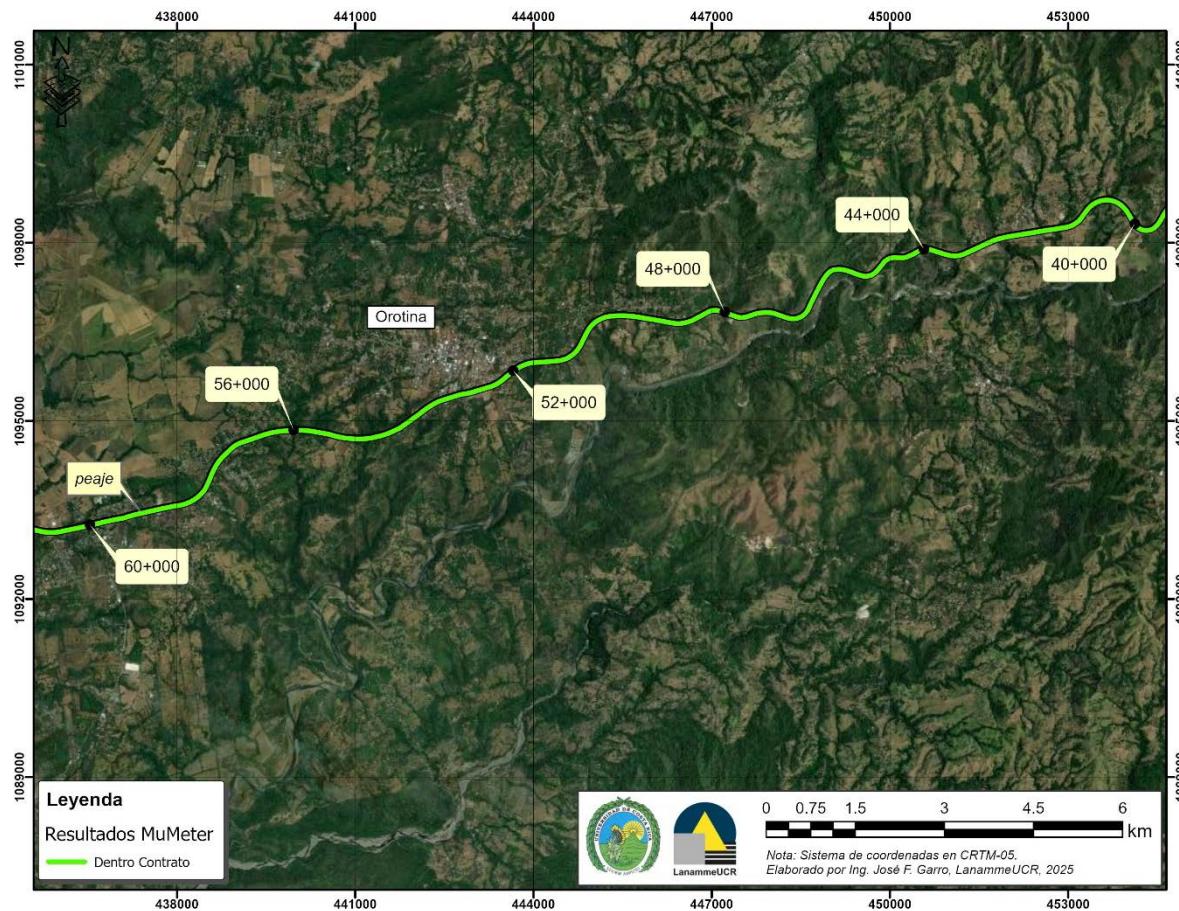




Figura A3 16.

Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



13.4 Anexo IV: Resultados Obtenidos Notas de Calidad Q



Figura A4 1

Resultado Notas de Calidad, Ruta Nacional 27, Sentido San José – Caldera 0+000 – 20+000

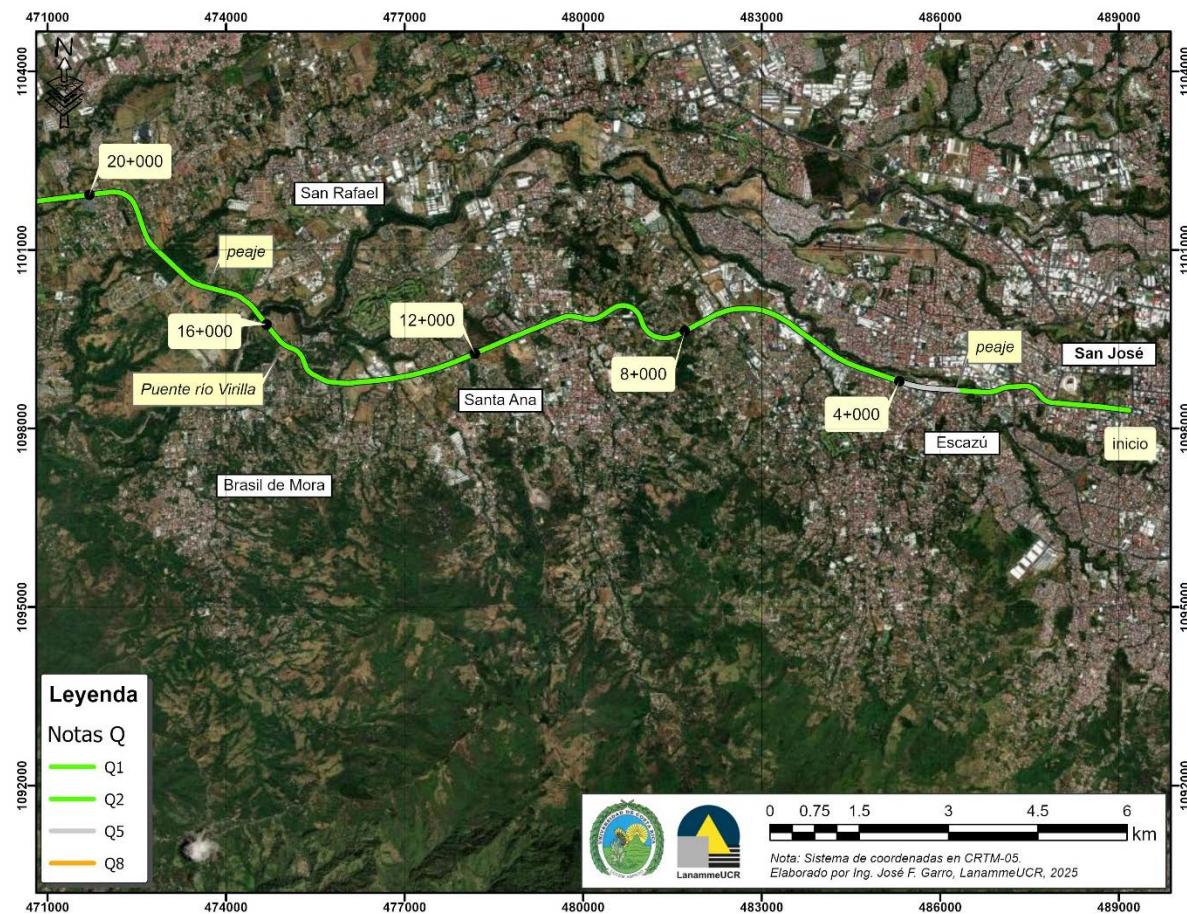




Figura A4 2

Resultado Notas de Calidad, Ruta Nacional 27, Sentido San José – Caldera 20+000 – 40+000

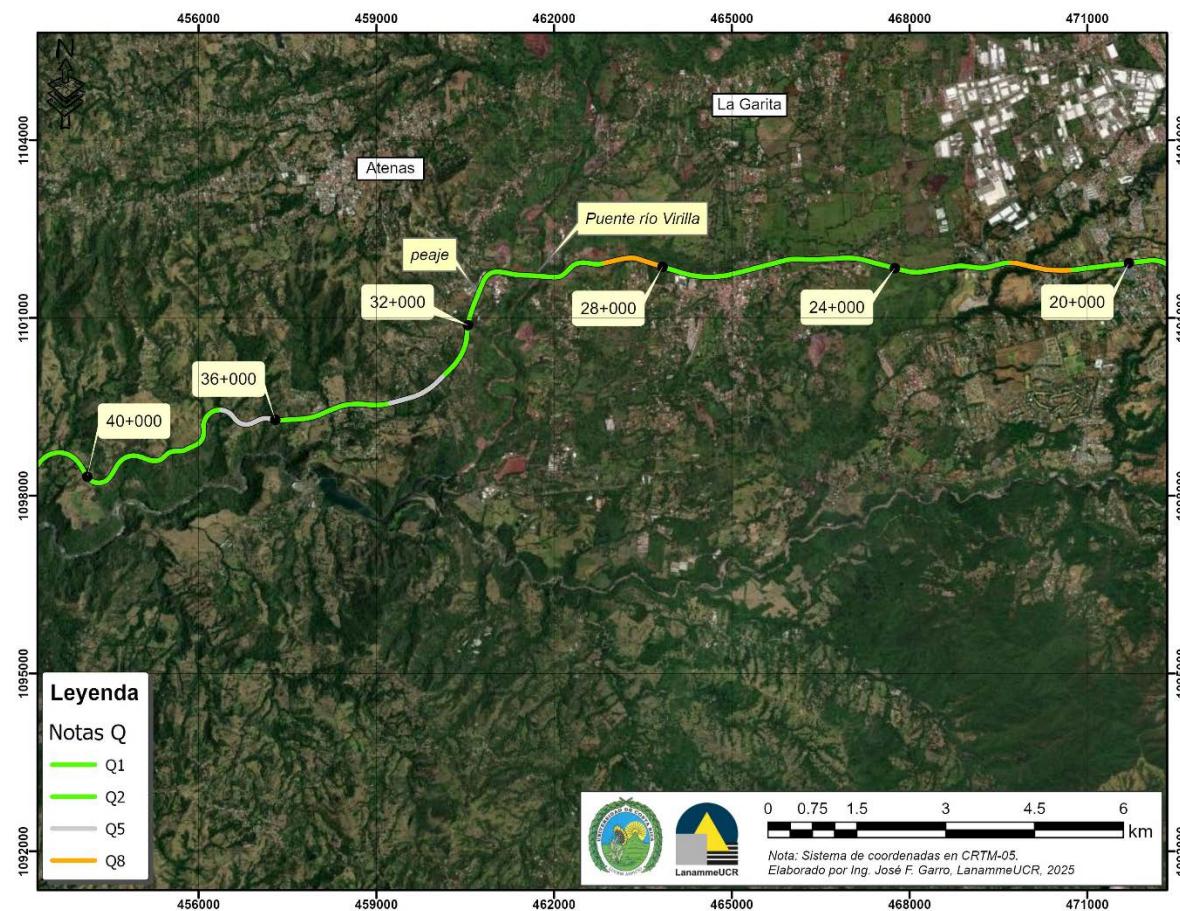




Figura A4 3

Resultado Notas de Calidad, Ruta Nacional 27, Sentido San José – Caldera 40+000 – 60+000

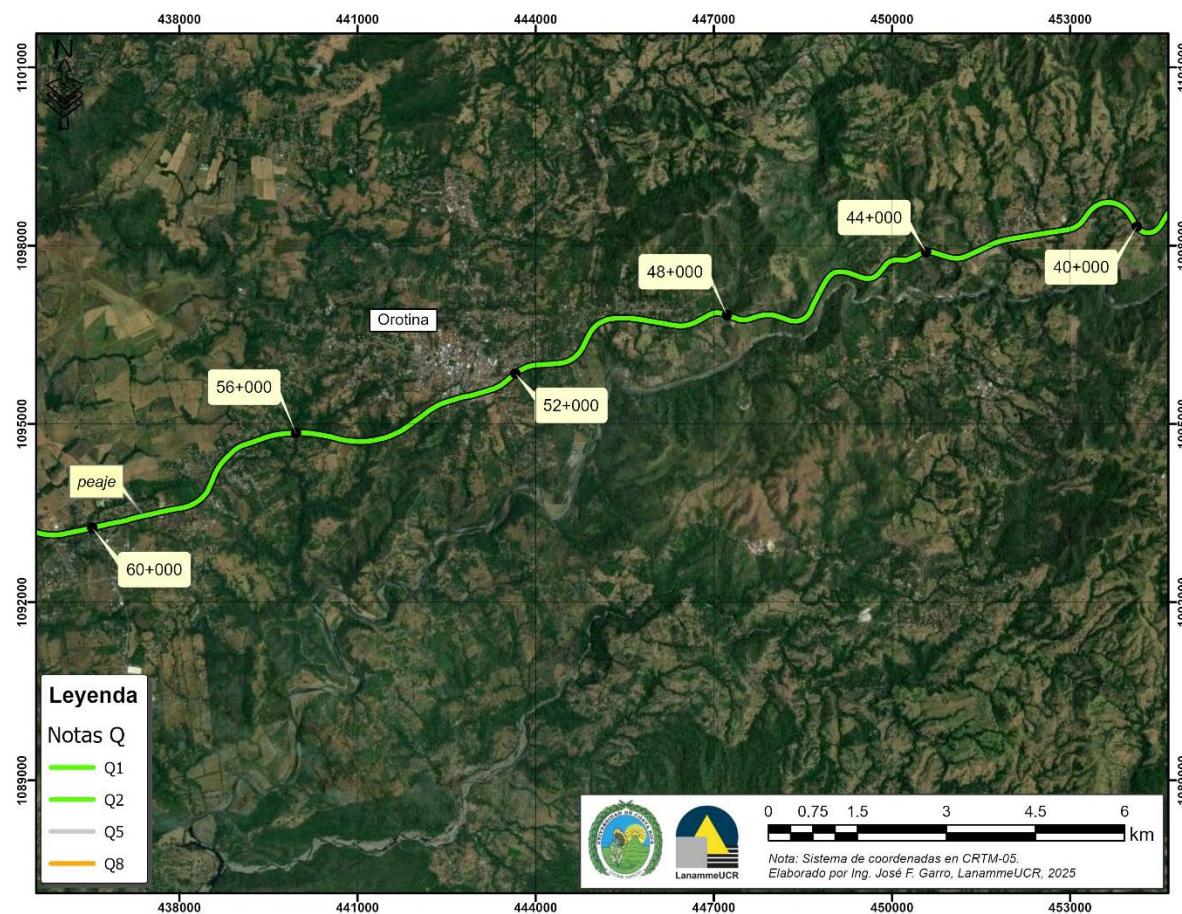




Figura A4 4

Resultado Notas de Calidad, Ruta Nacional 27, Sentido San José – Caldera 60+000 – 76+000





Figura A4 5

Resultado Notas de Calidad, Ruta Nacional 27, Sentido Caldera – San José 0+000 – 20+000

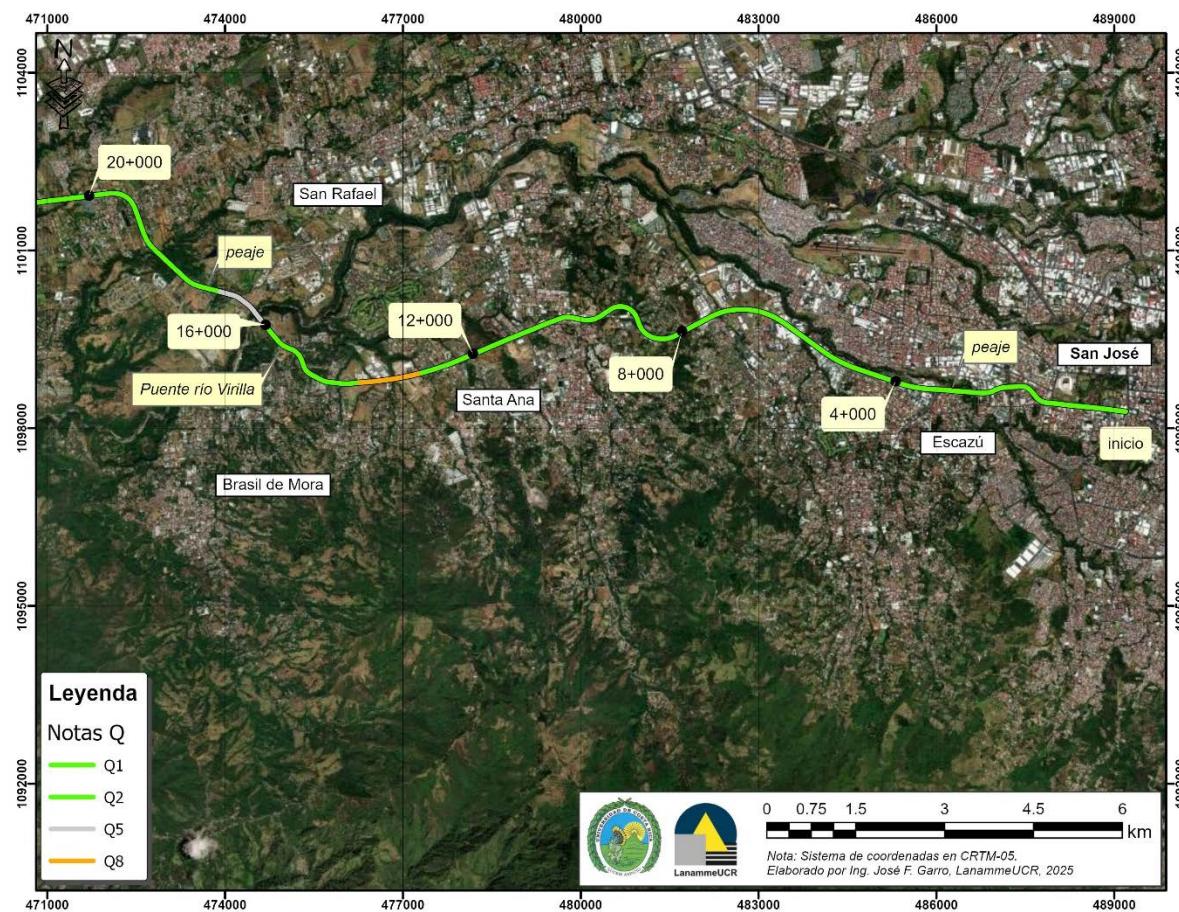




Figura A4 6

Resultado Notas de Calidad, Ruta Nacional 27, Sentido Caldera – San José 20+000 – 40+000

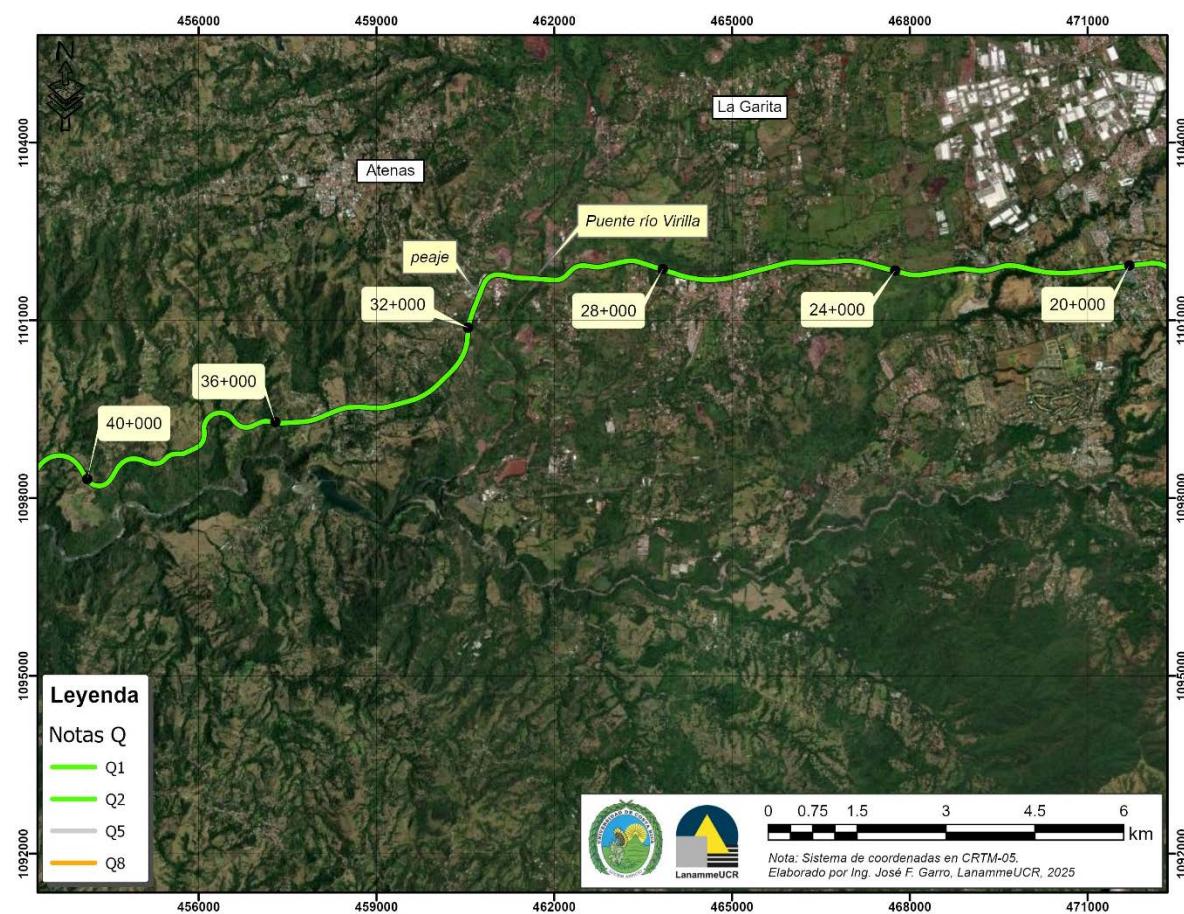




Figura A4 7

Resultado Notas de Calidad, Ruta Nacional 27, Sentido Caldera – San José 40+000 – 60+000

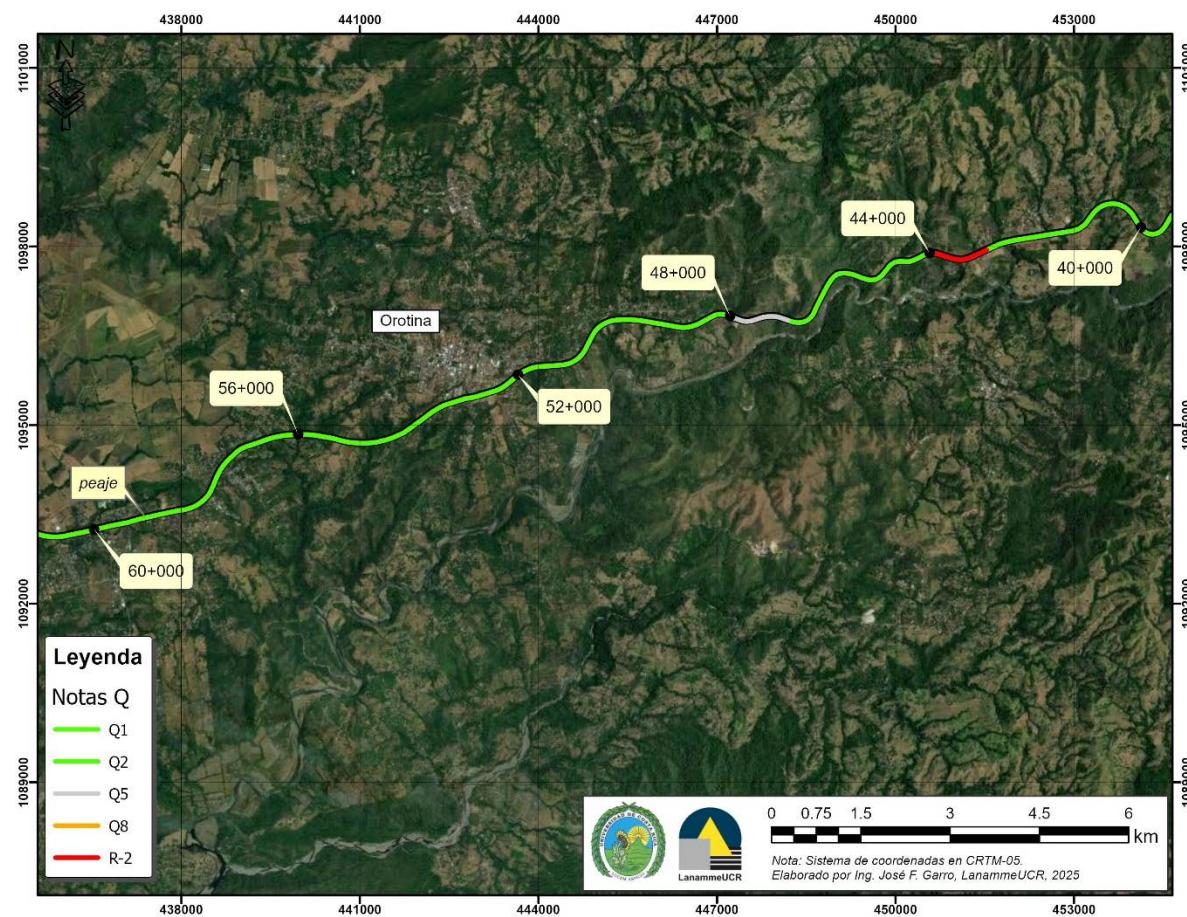




Figura A4 8

Resultado Notas de Calidad, Ruta Nacional 27, Sentido Caldera – San José 60+000 – 76+000



13.5 Anexo V Resultados obtenidos para cada uno de los parámetros evaluados en las Radiales



Figura A5 1

Resultados FWD, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyol

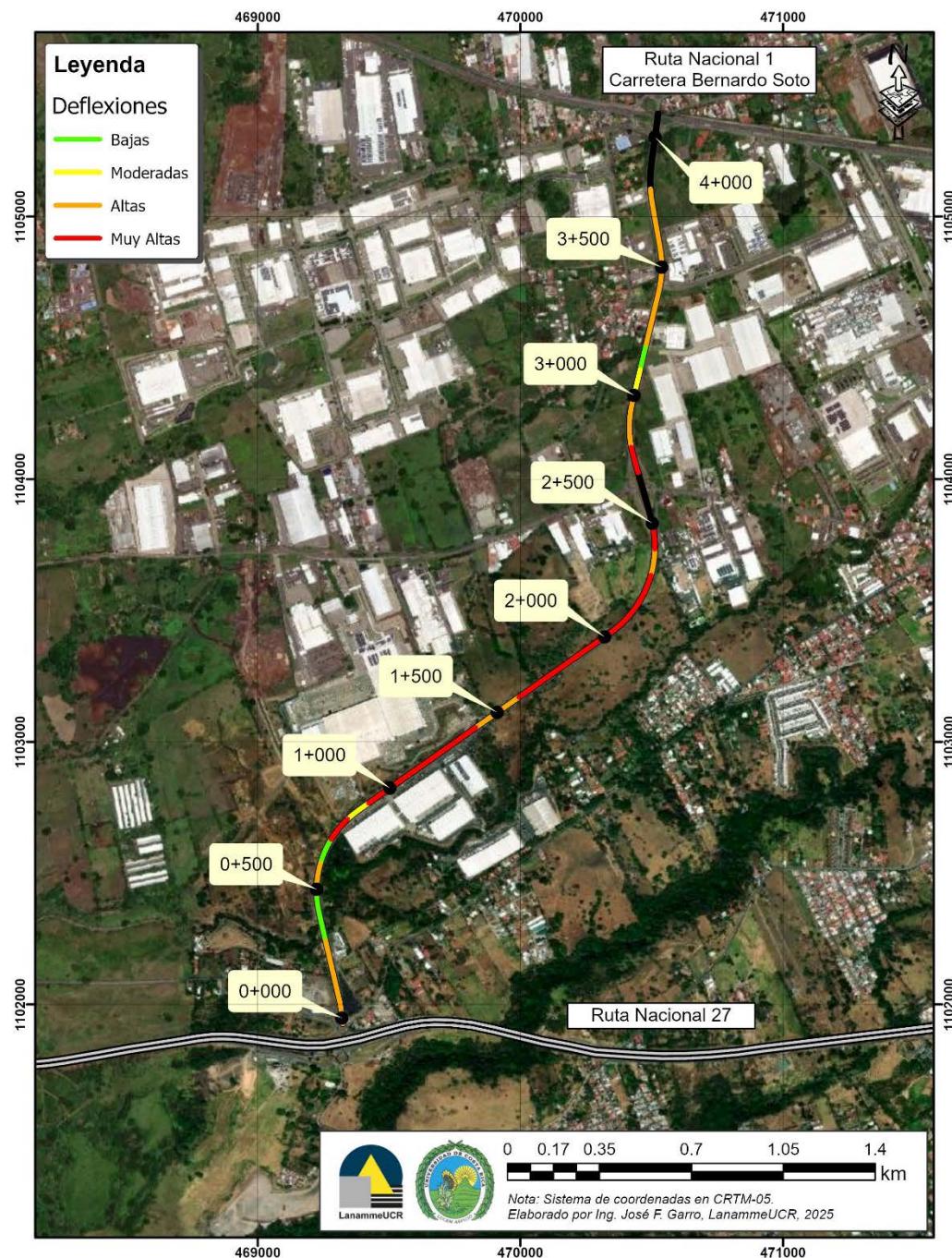




Figura A5 2

Resultados FWD, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27

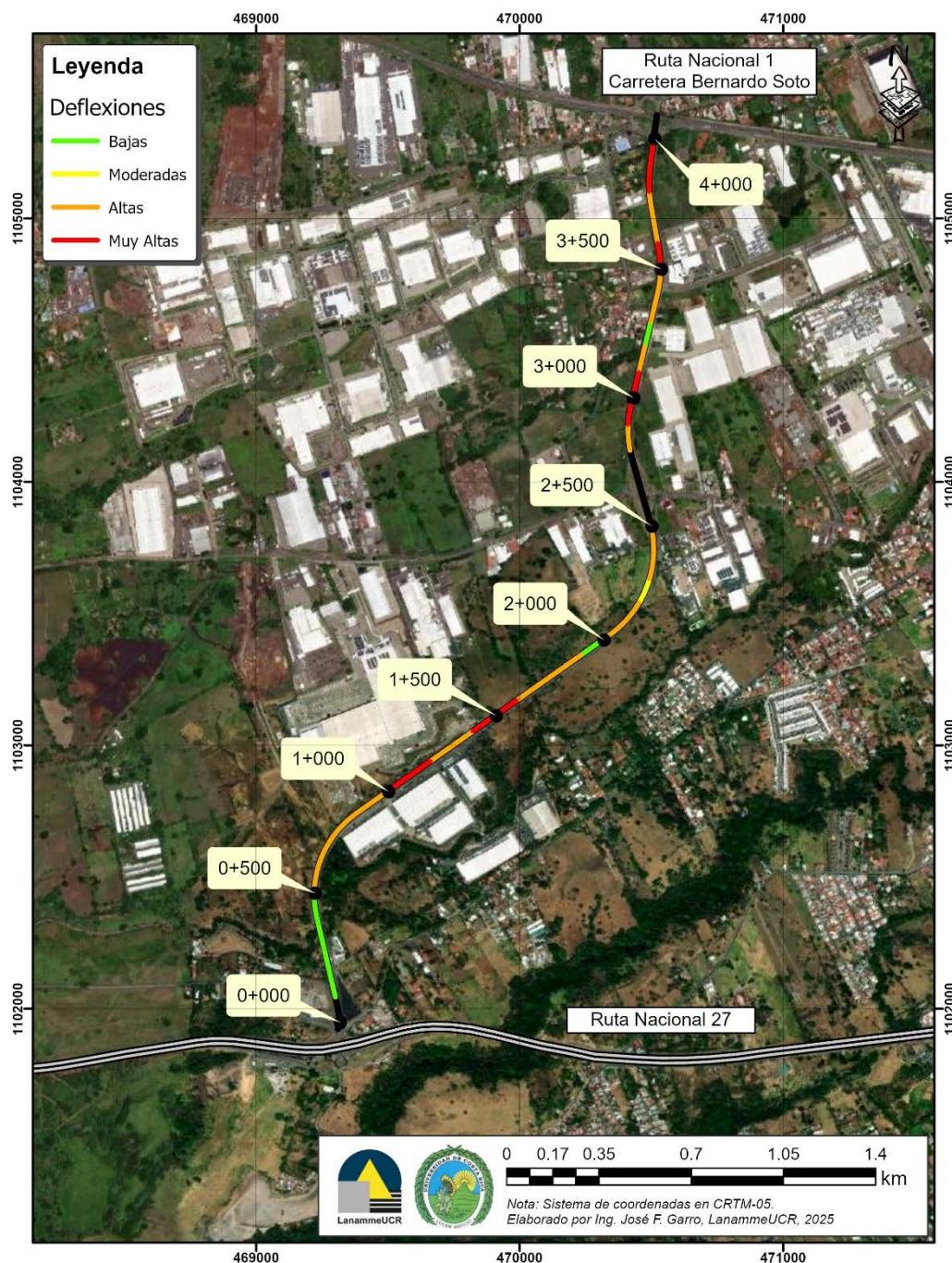
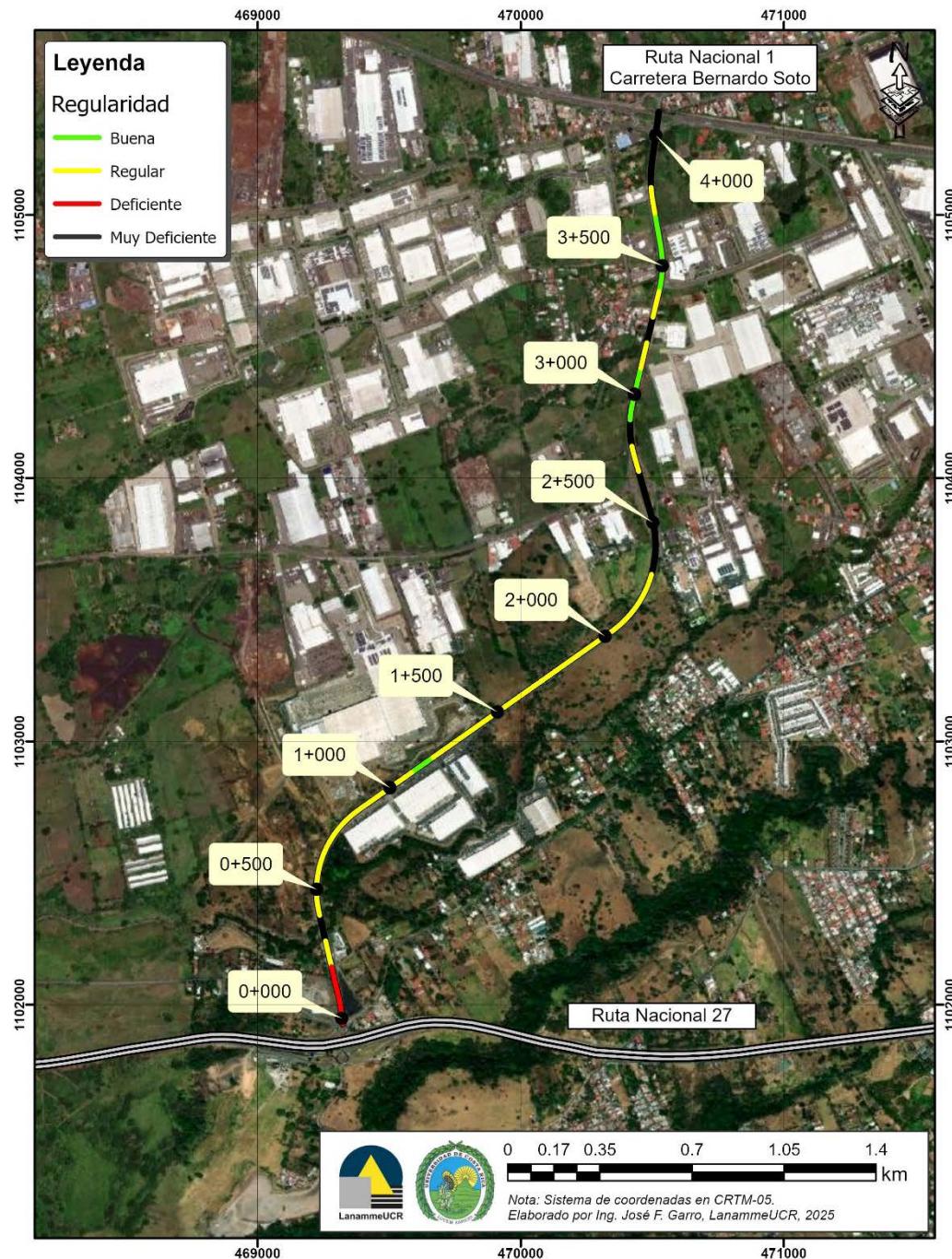




Figura A5 3

Resultados IRI, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyol



EIC-Lanamme-INF-0969-2025

Código: RC-576-v01

Válido desde: 03/02/2025

Página 180 de 202

Figura A5 4.

Resultados IRI, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27

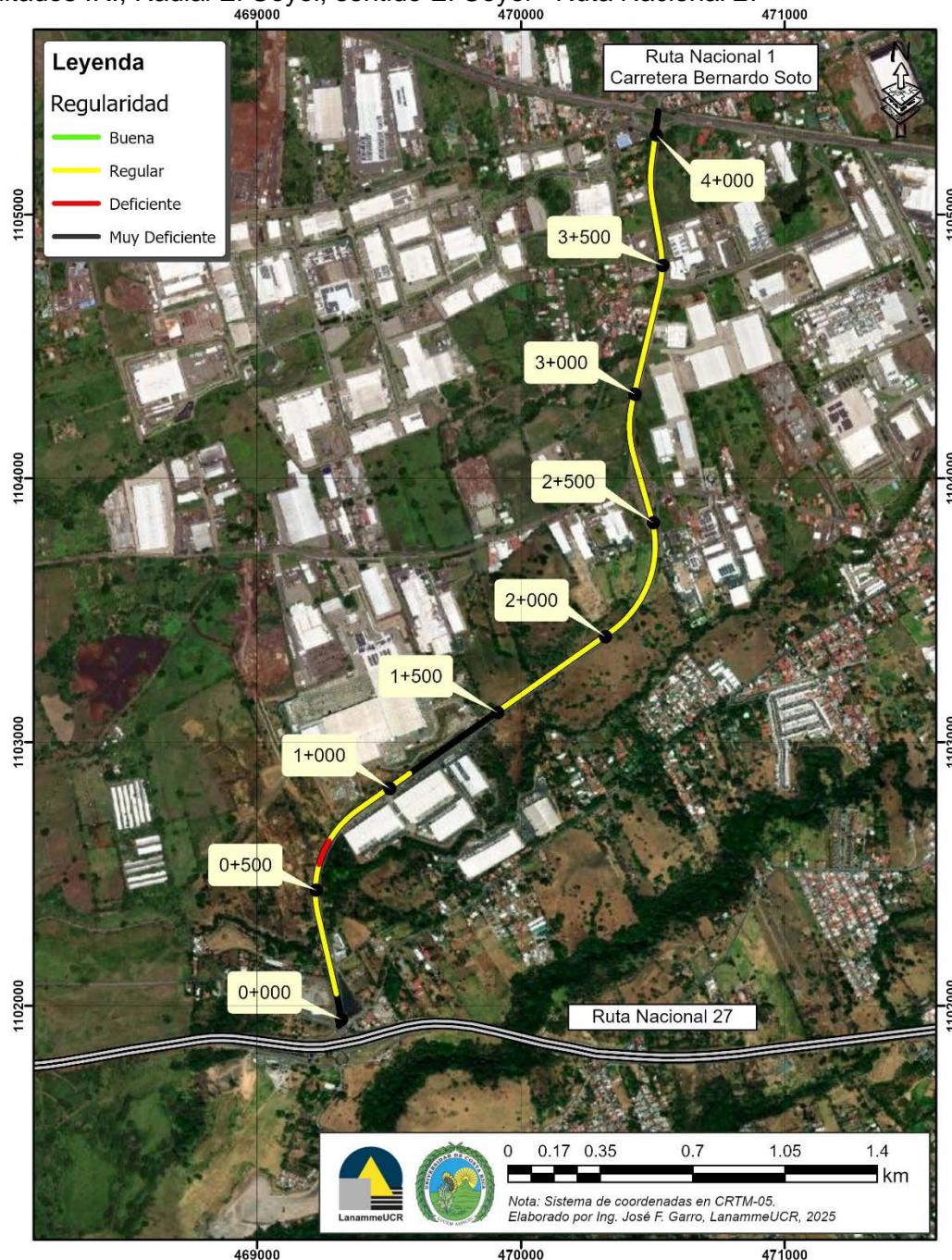




Figura A5 5.

Resultados GRIP, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyol

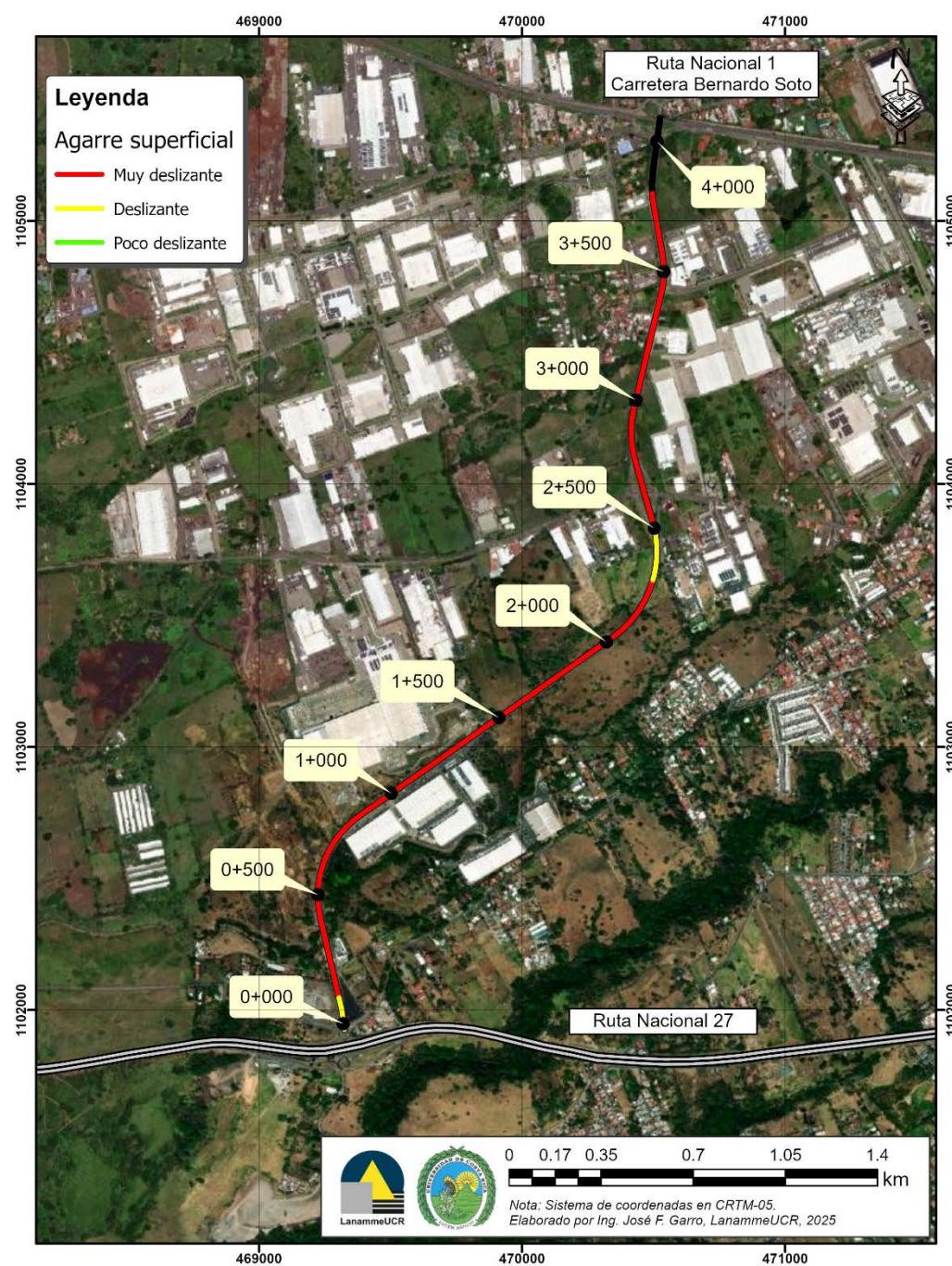




Figura A5 6.

Resultados GRIP, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27

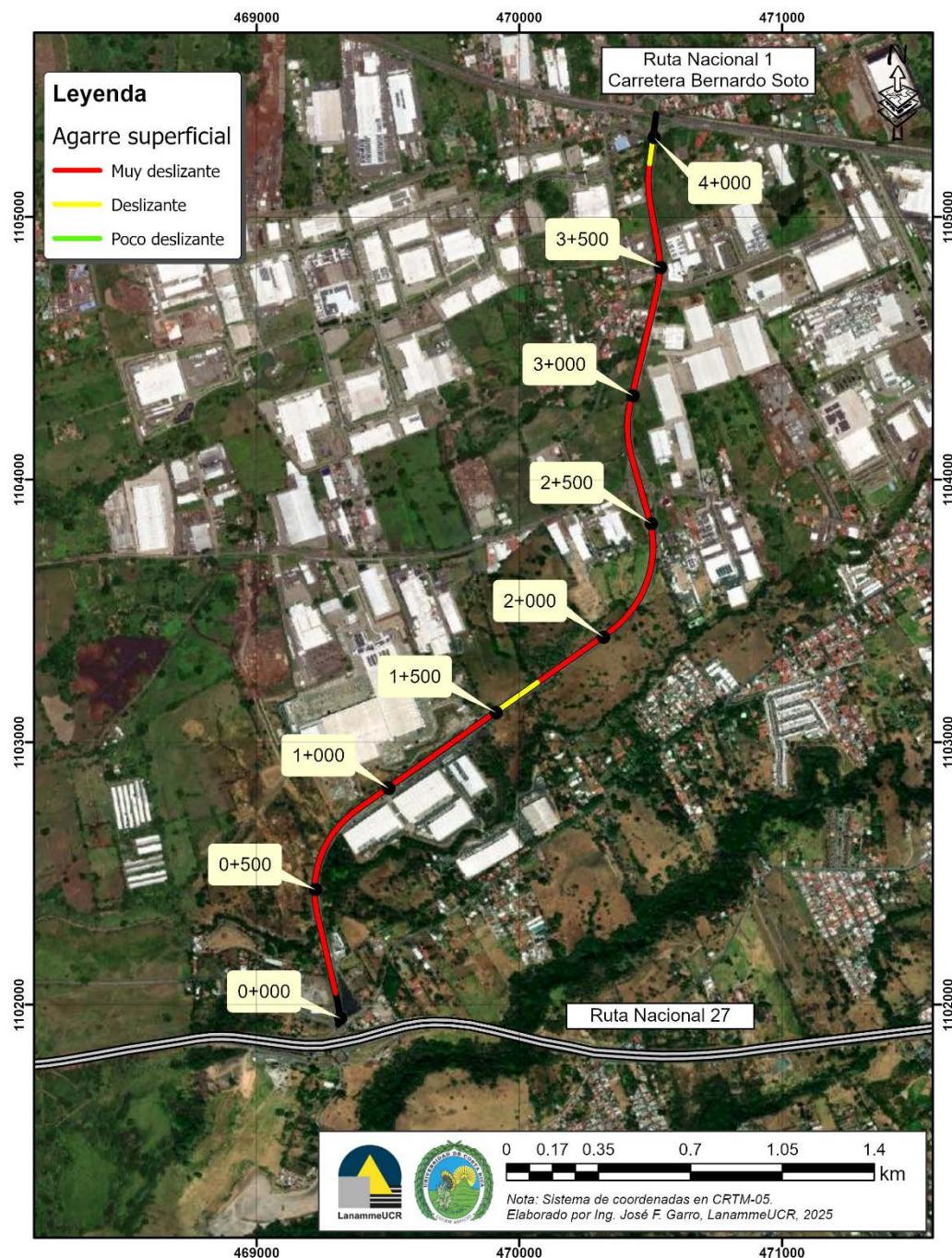




Figura A5.7.

Resultados MuMeter, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 – El Coyol

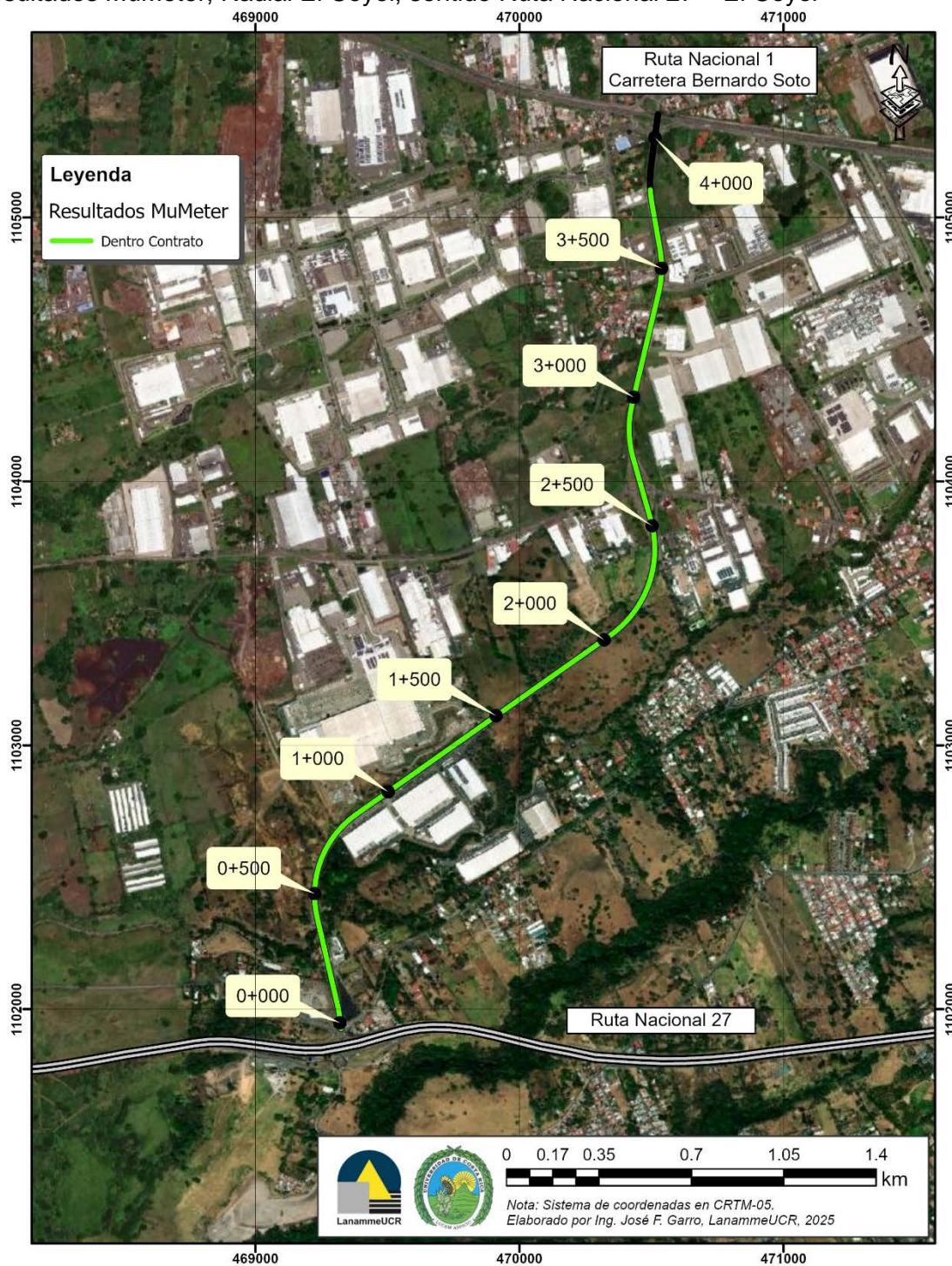




Figura A5 8.

Resultados MuMeter, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27

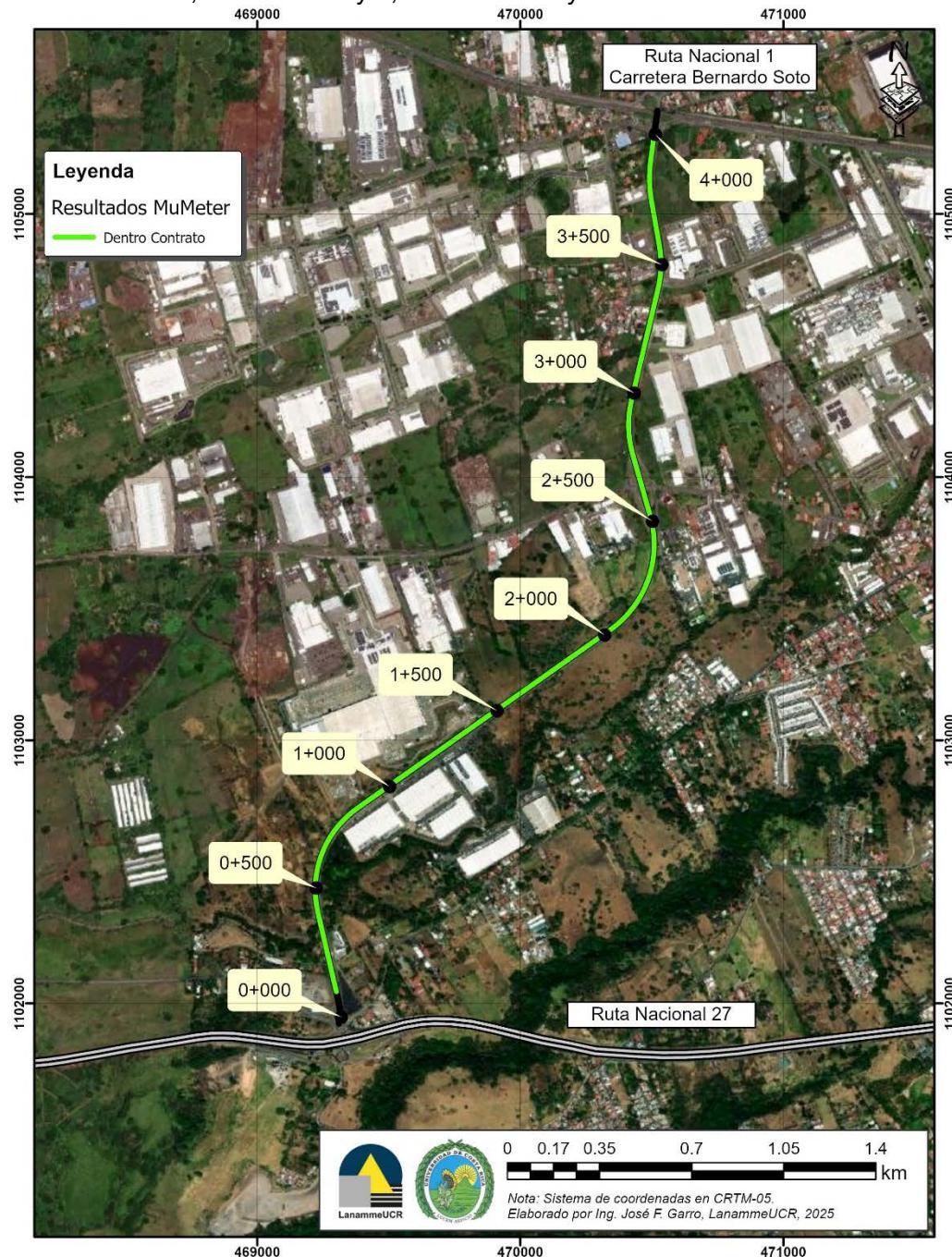




Figura A5 9

Resultados FWD, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

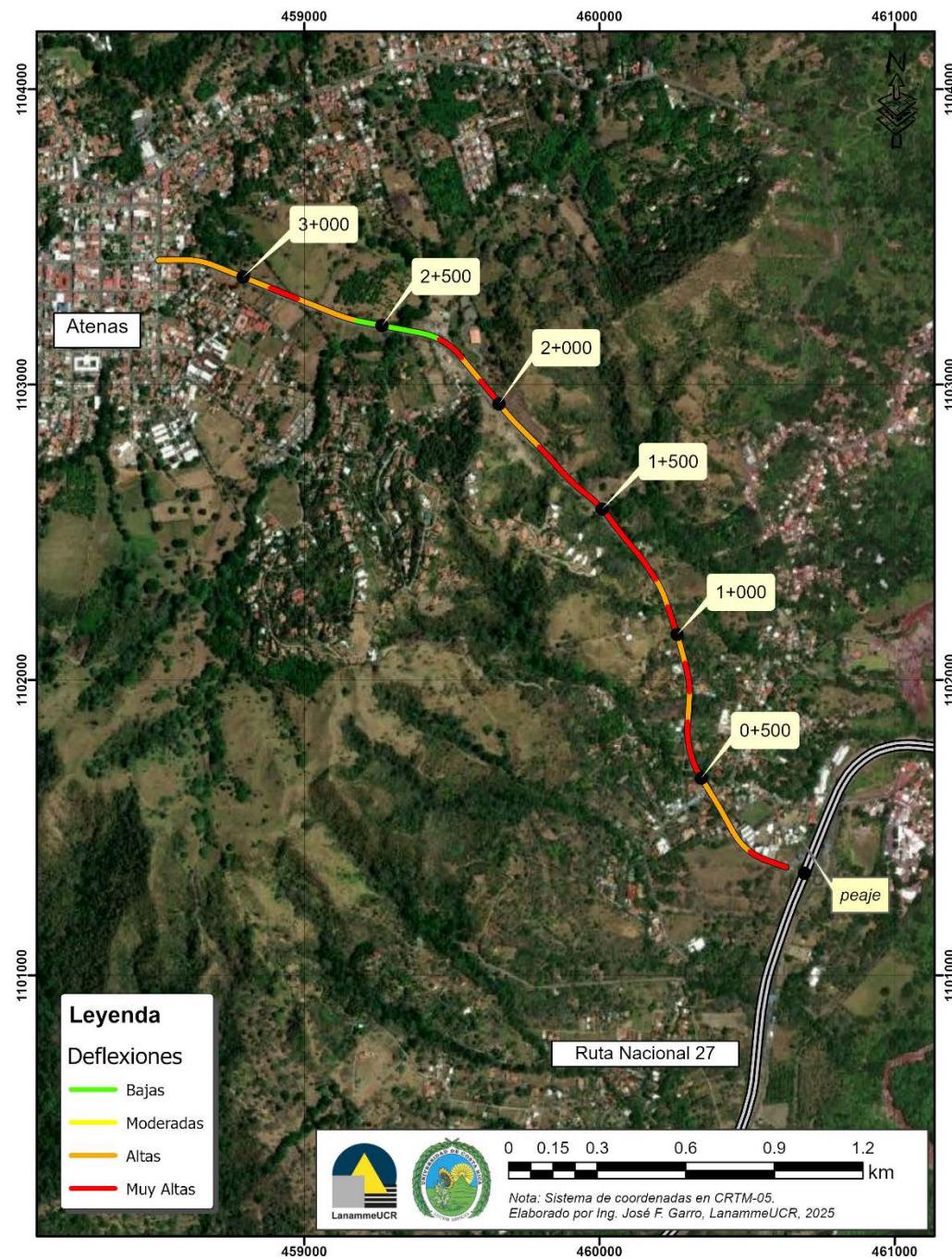




Figura A5 10

Resultados FWD, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

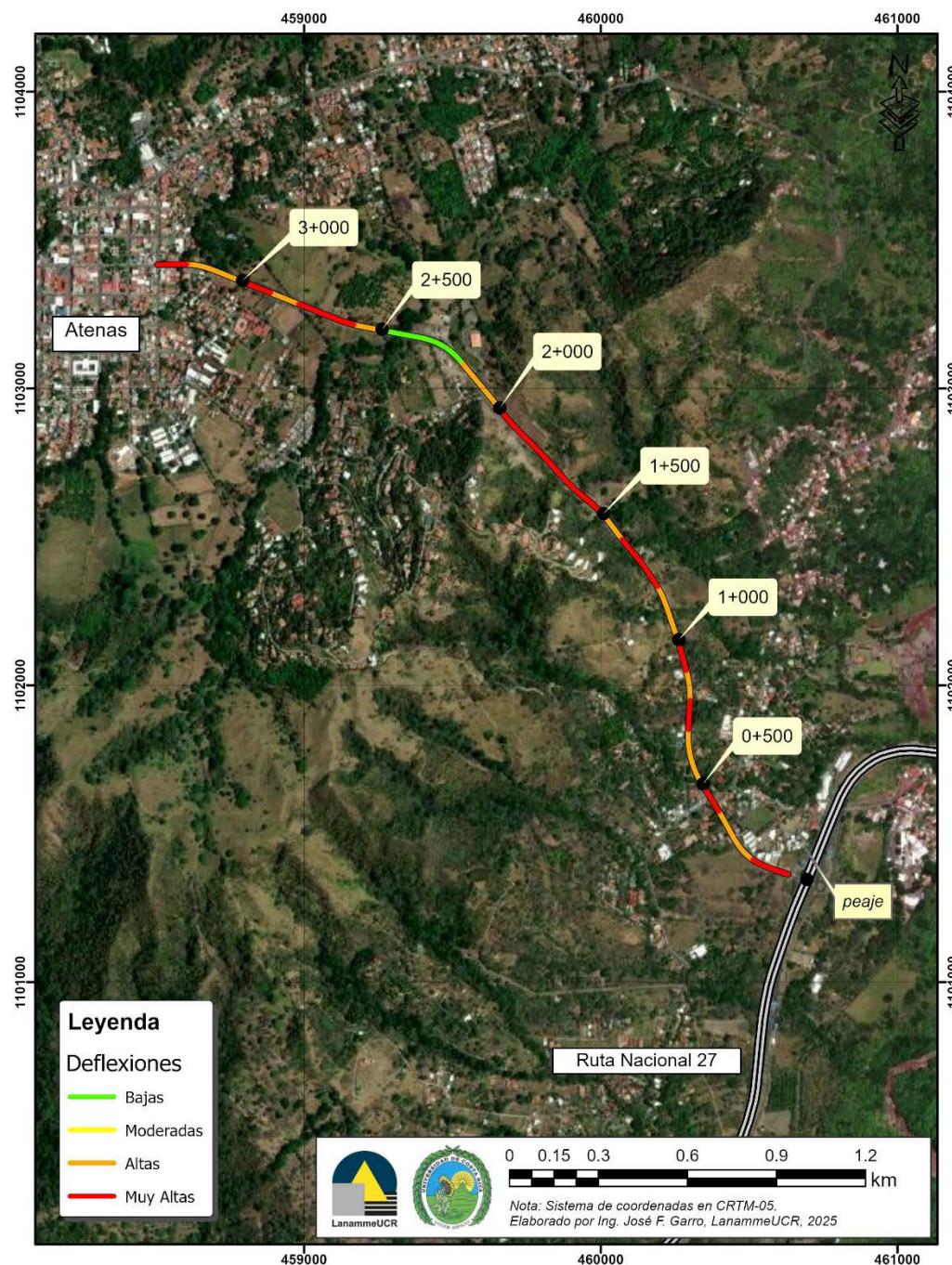




Figura A5 11.

Resultados IRI, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 – Atenas

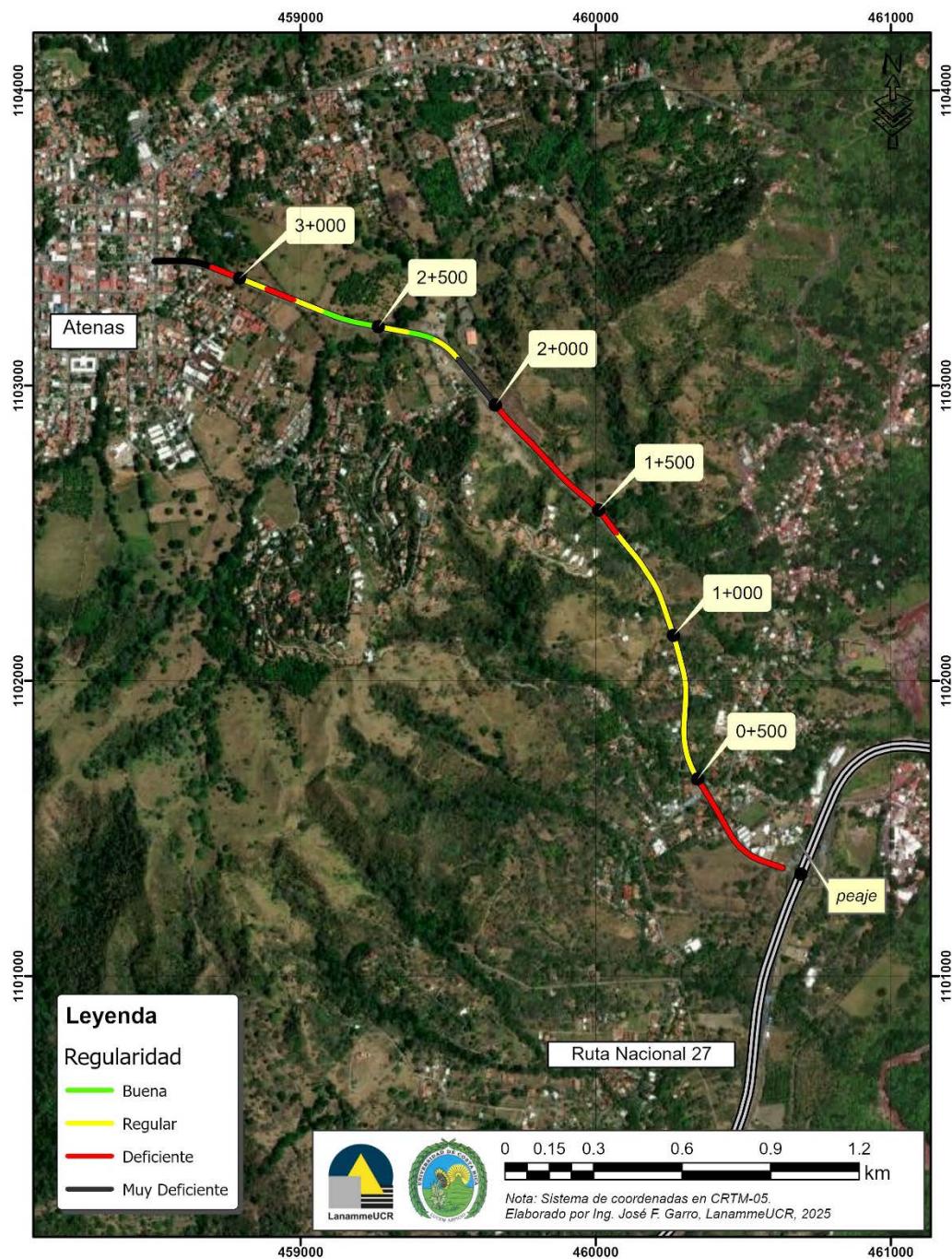




Figura A5 12

Resultados IRI, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

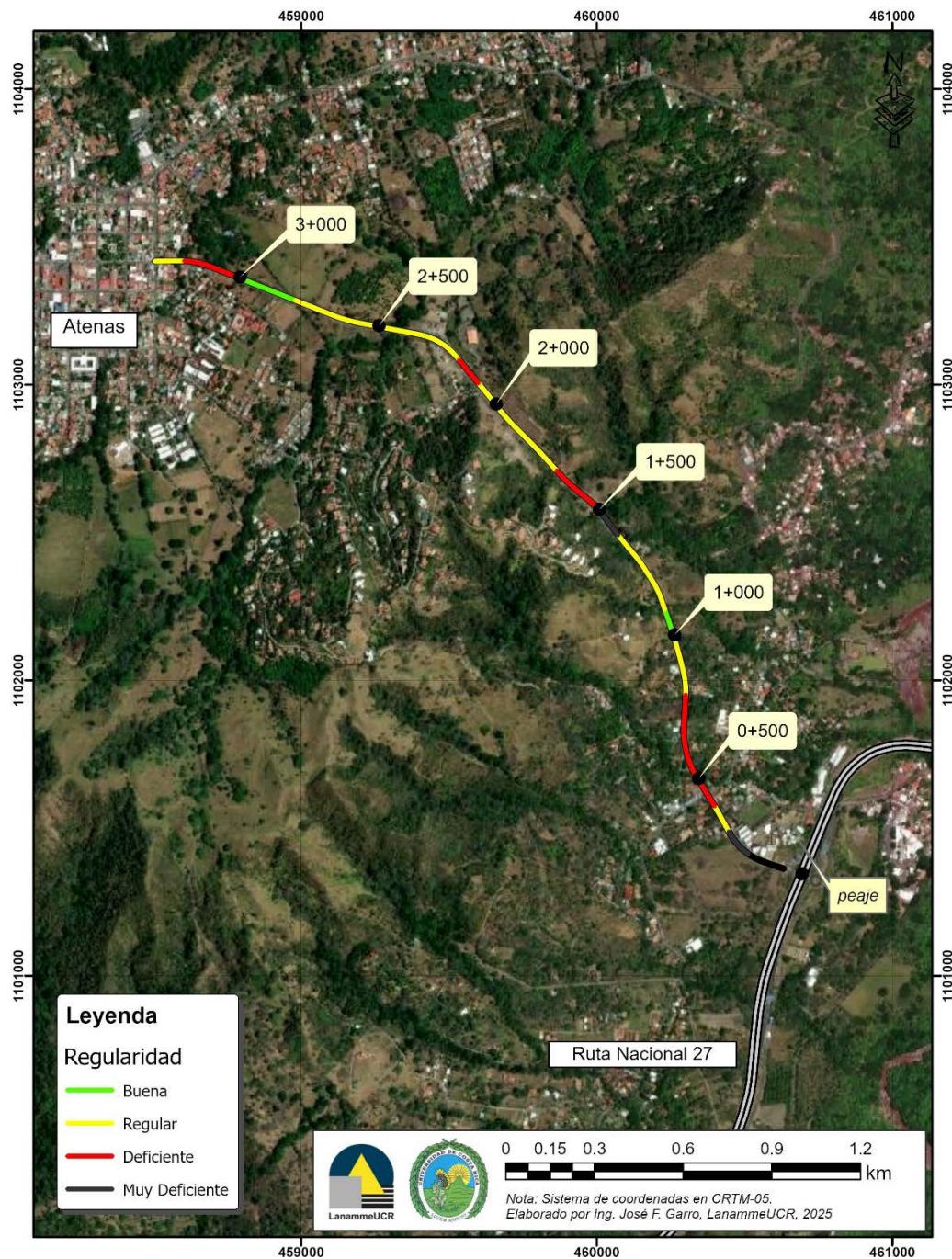




Figura A5 13.

Resultados GRIP, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

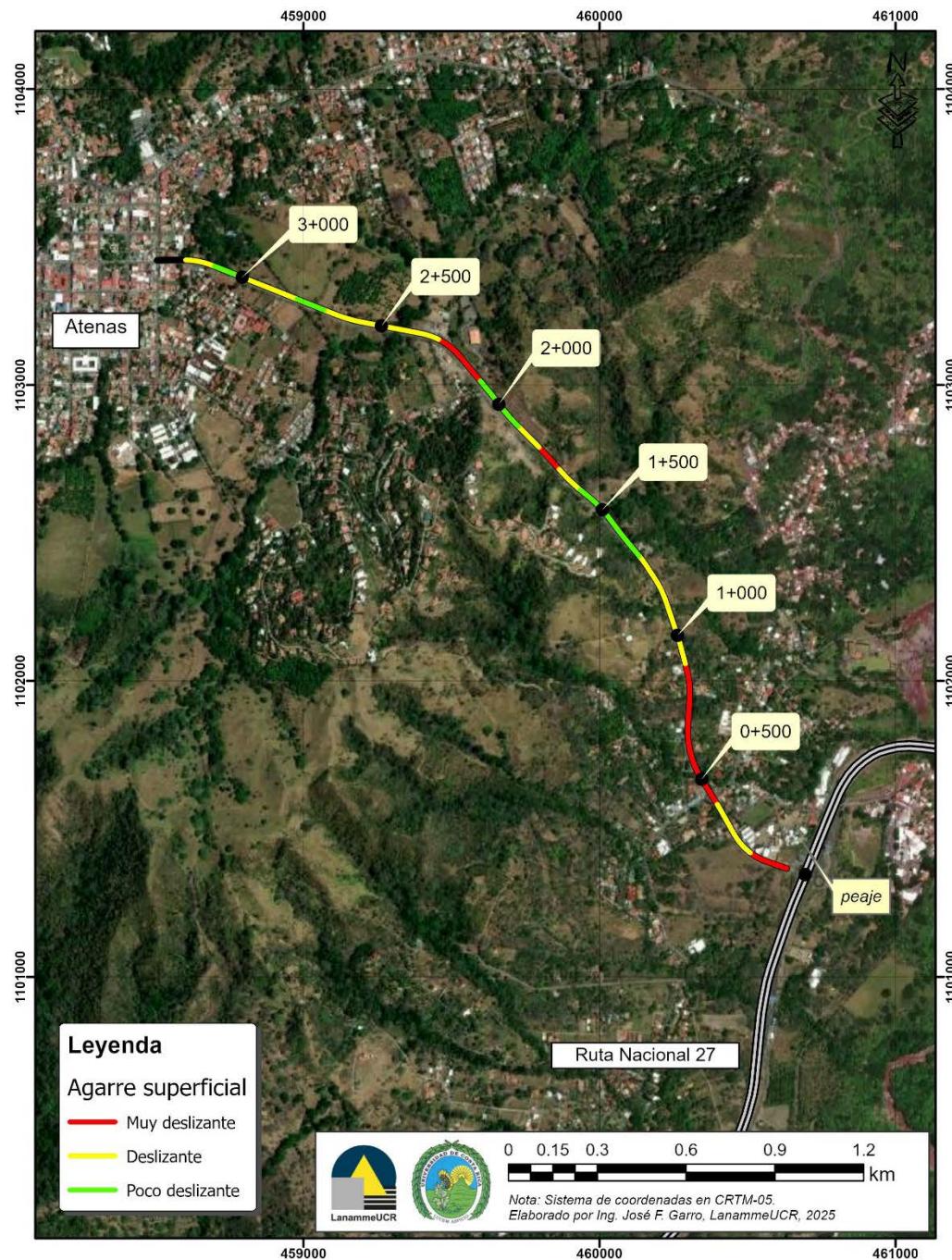




Figura A5 14.

Resultados GRIP, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

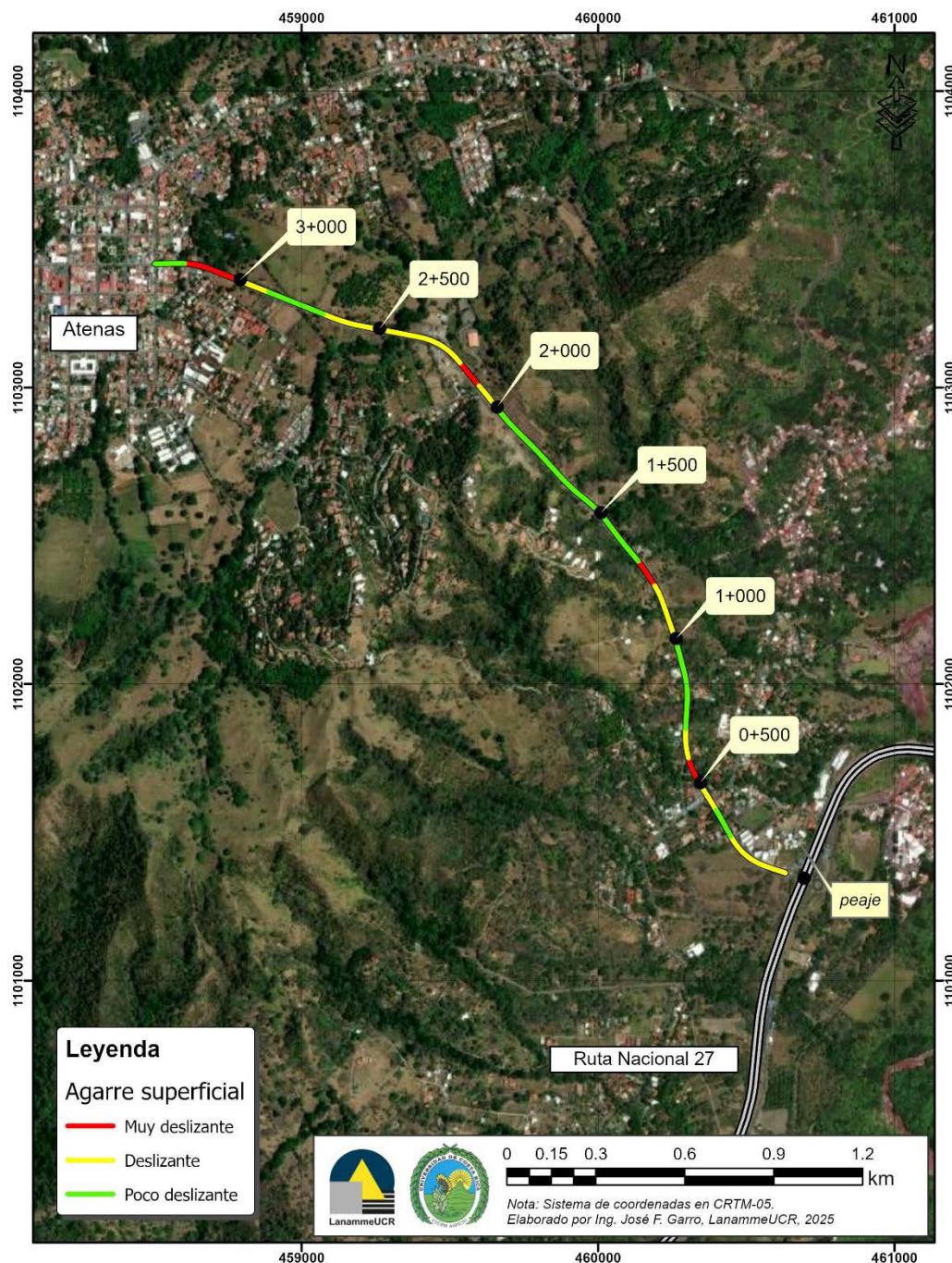




Figura A5 15.

Resultados MuMeter, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

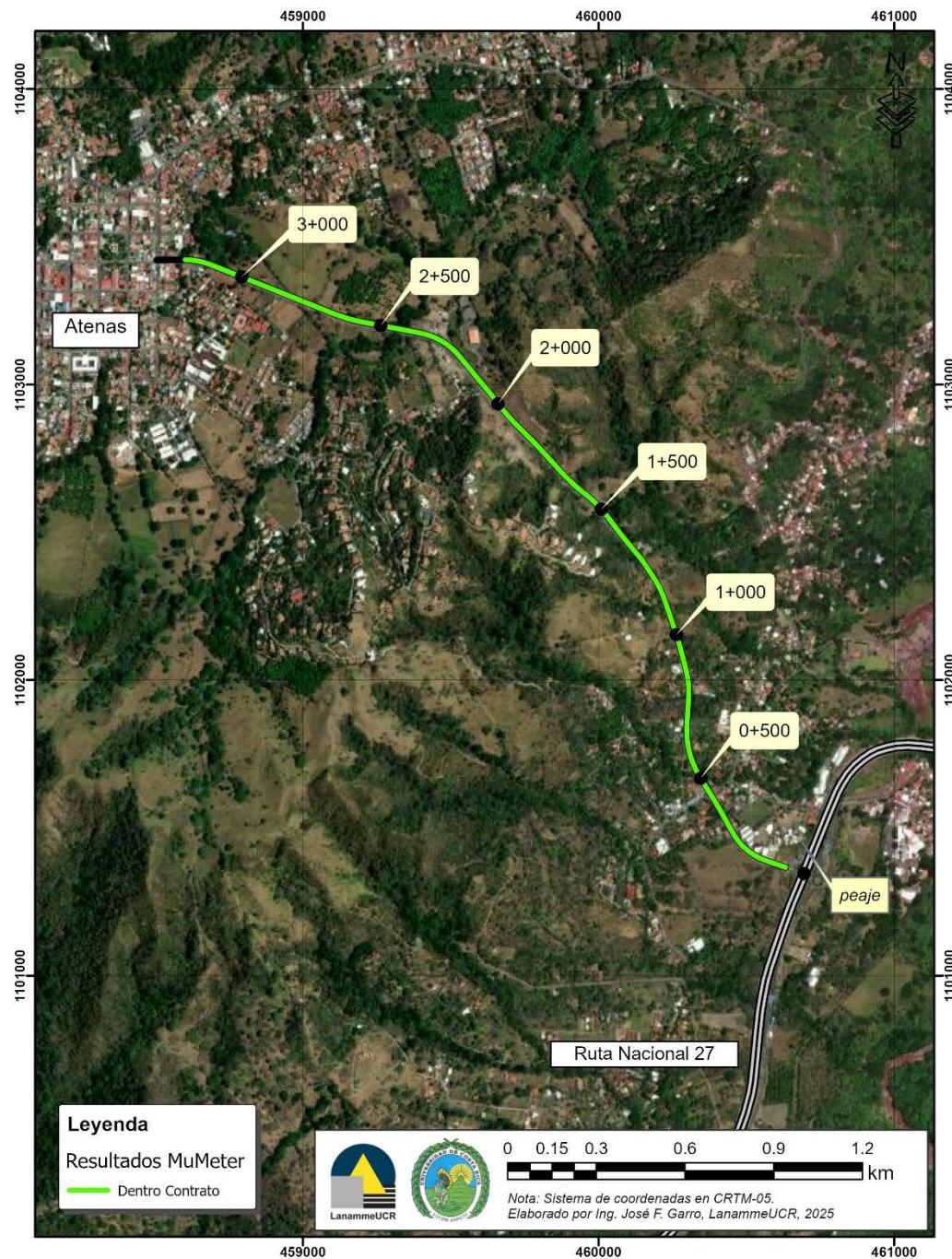
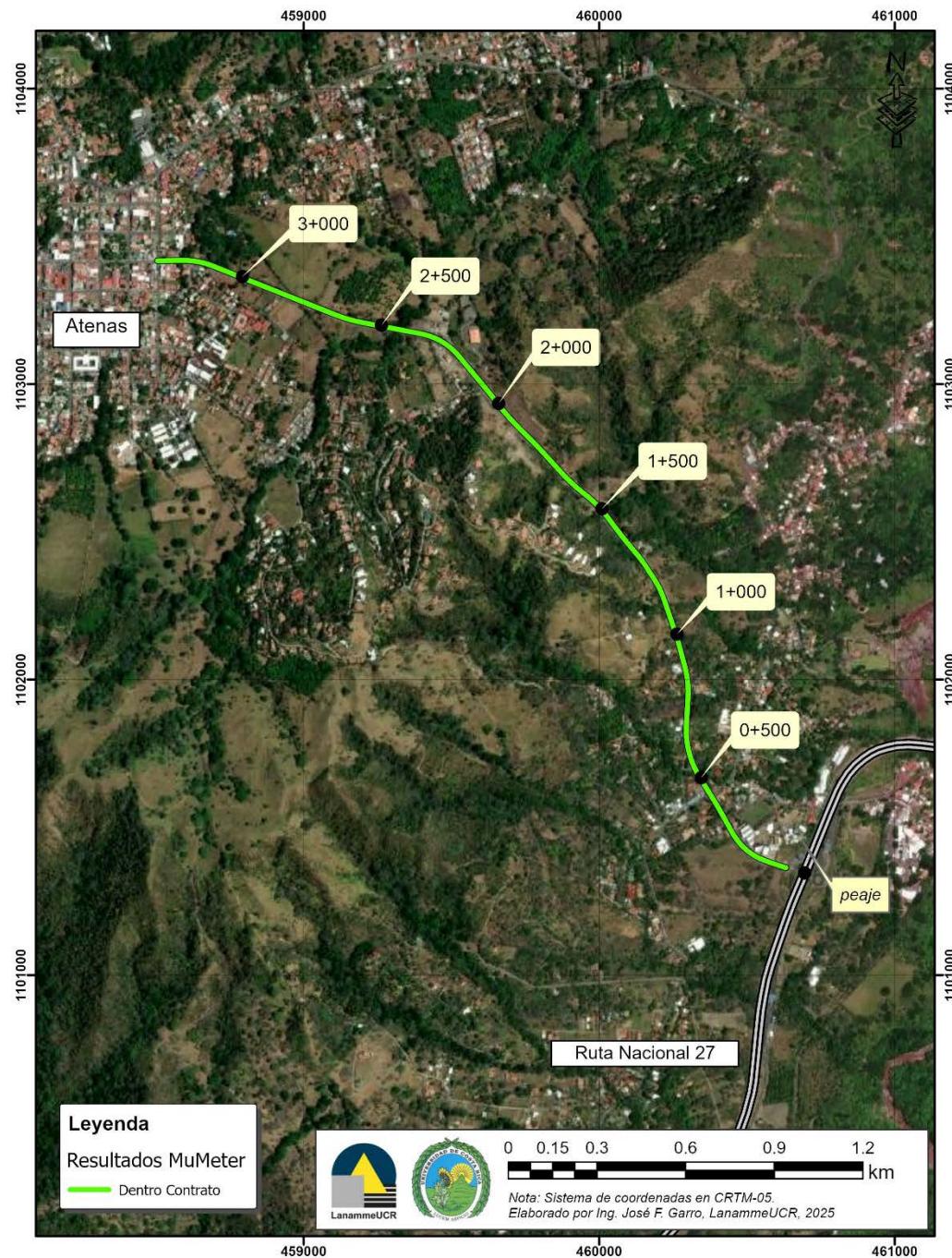


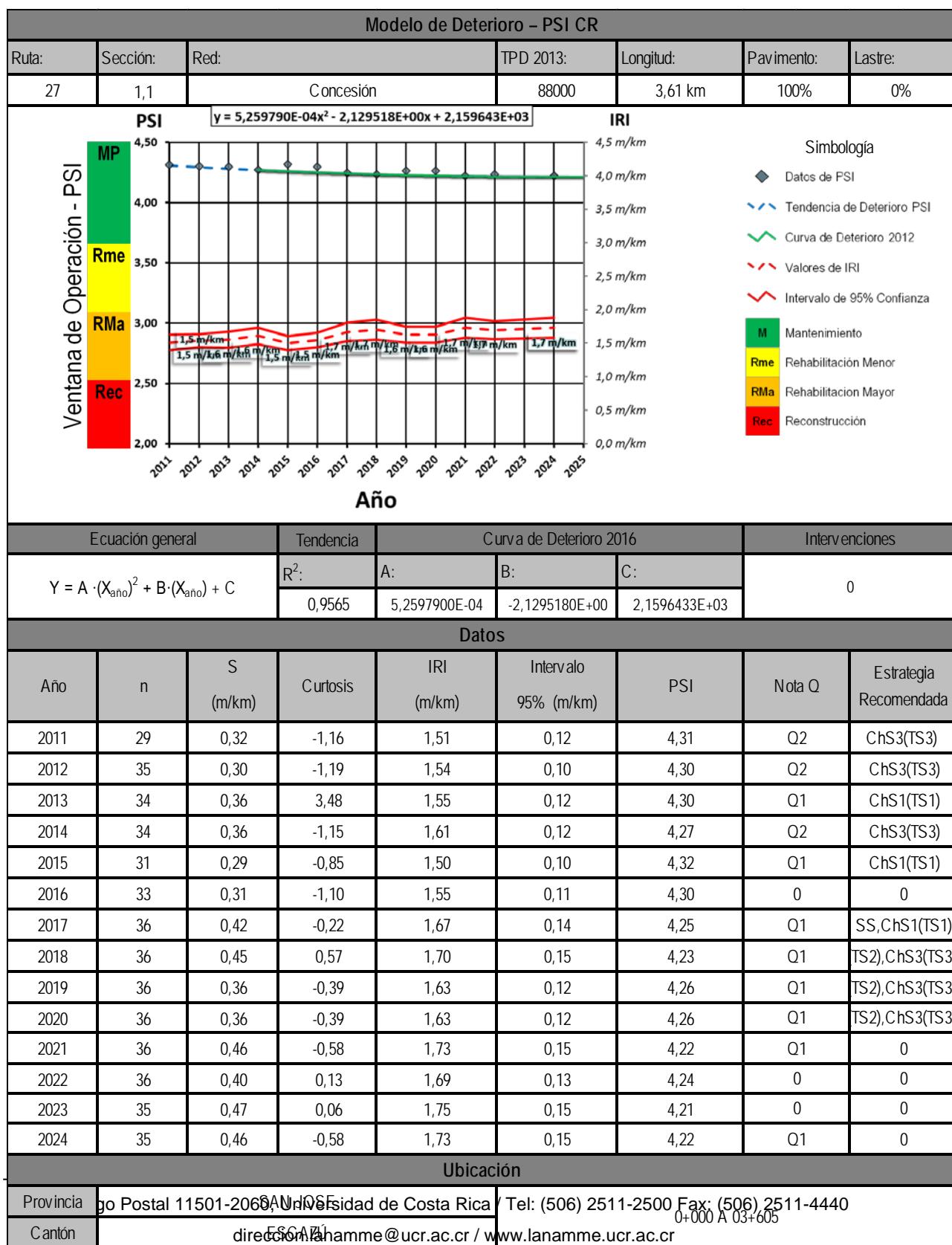


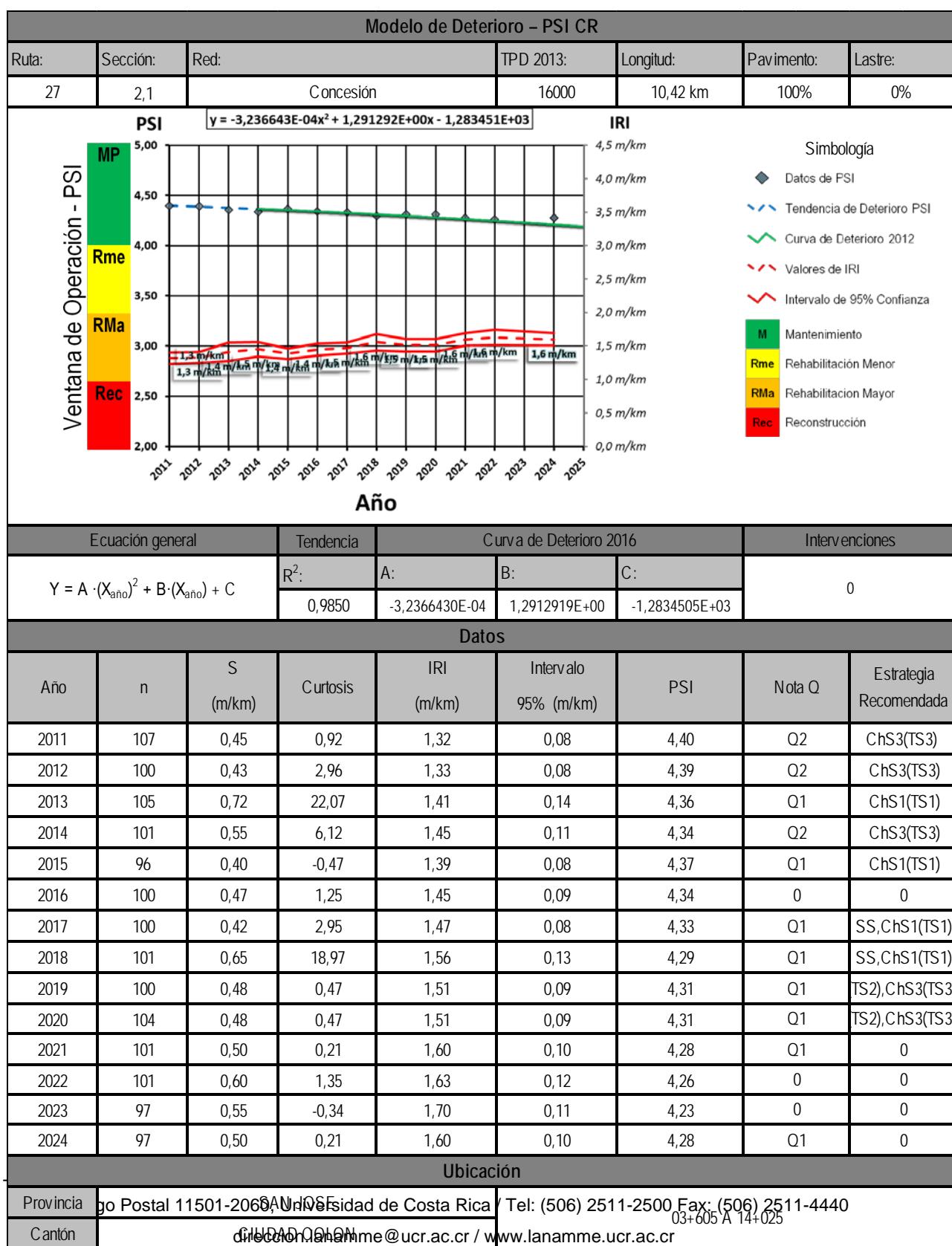
Figura A5 16.

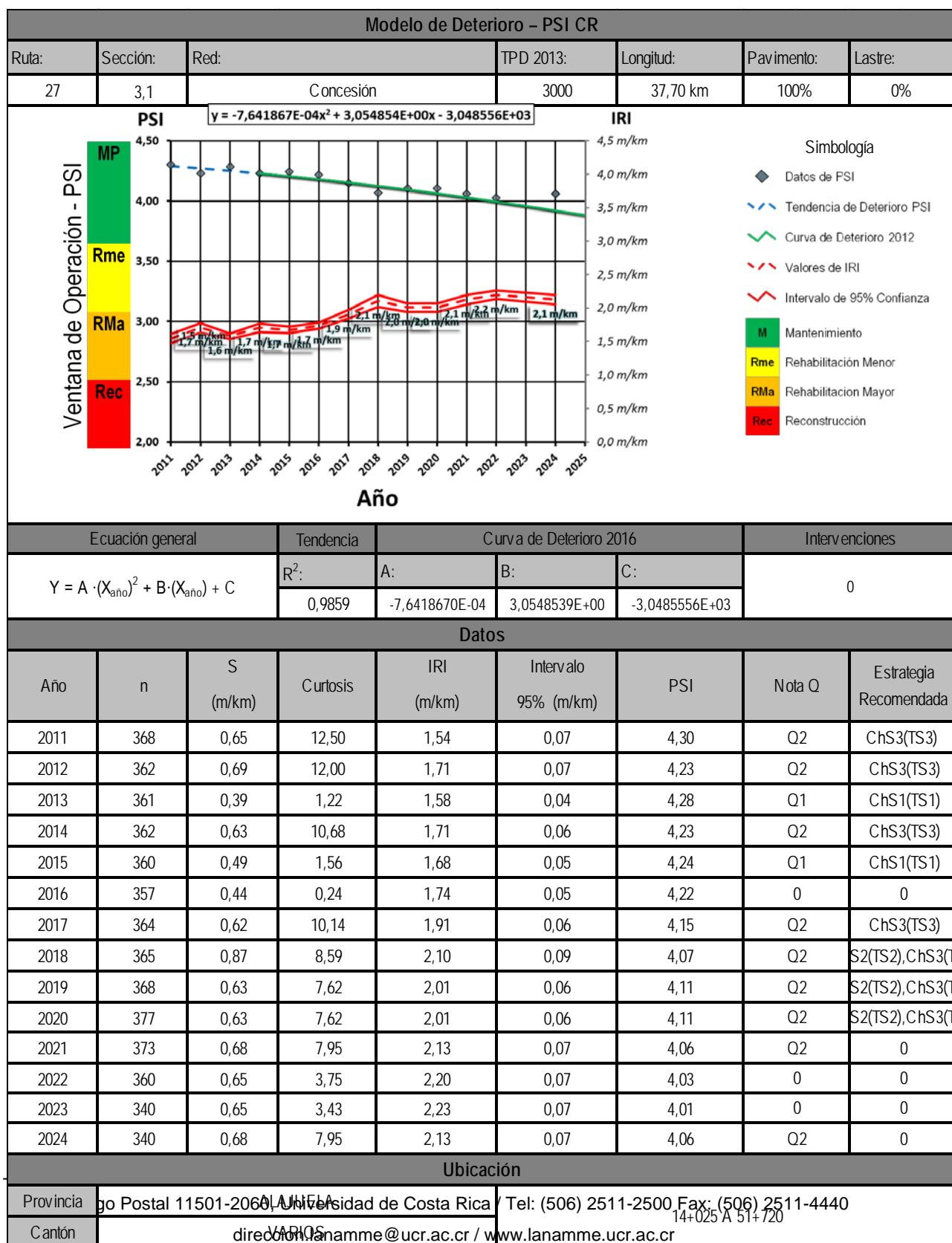
Resultados MuMeter, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

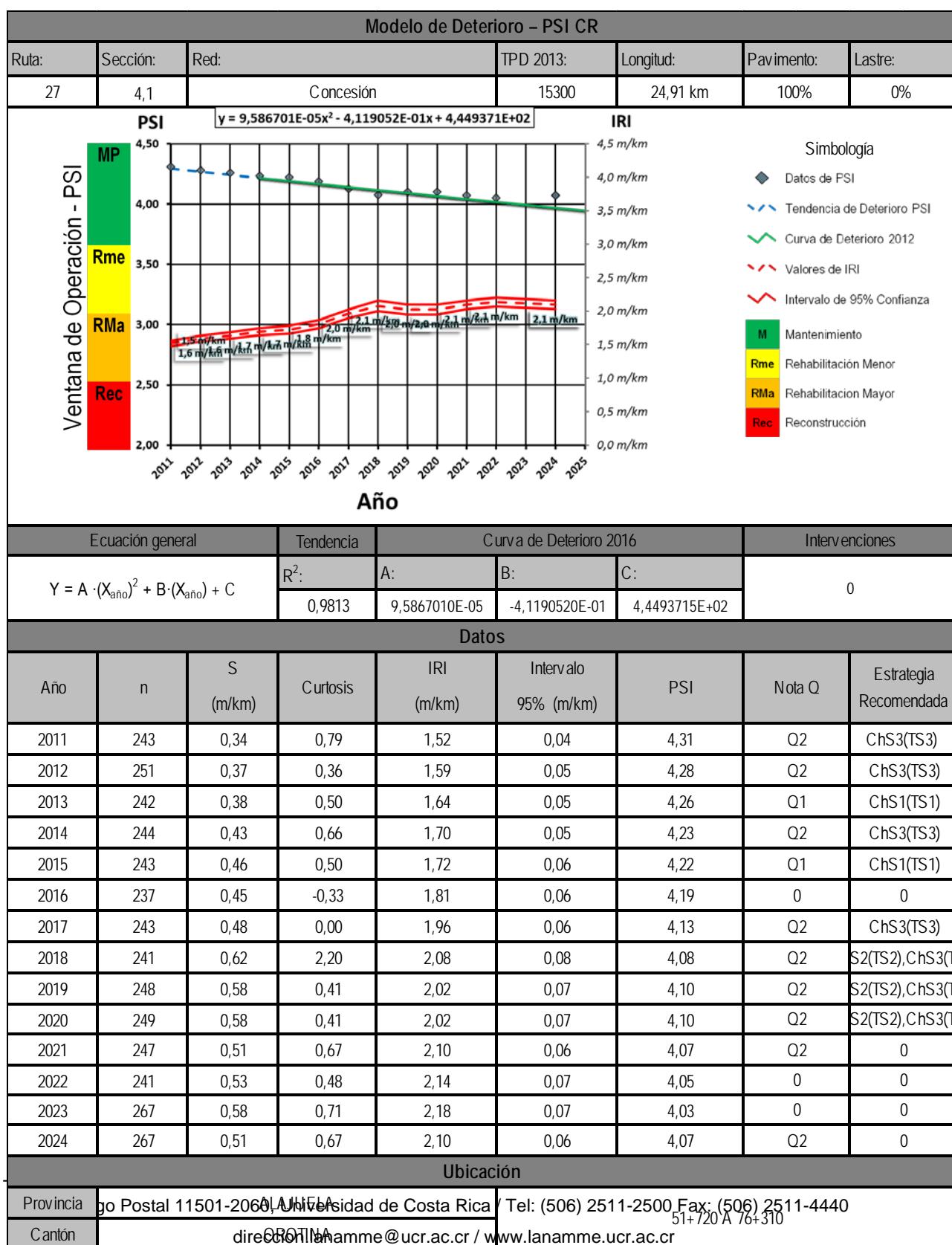


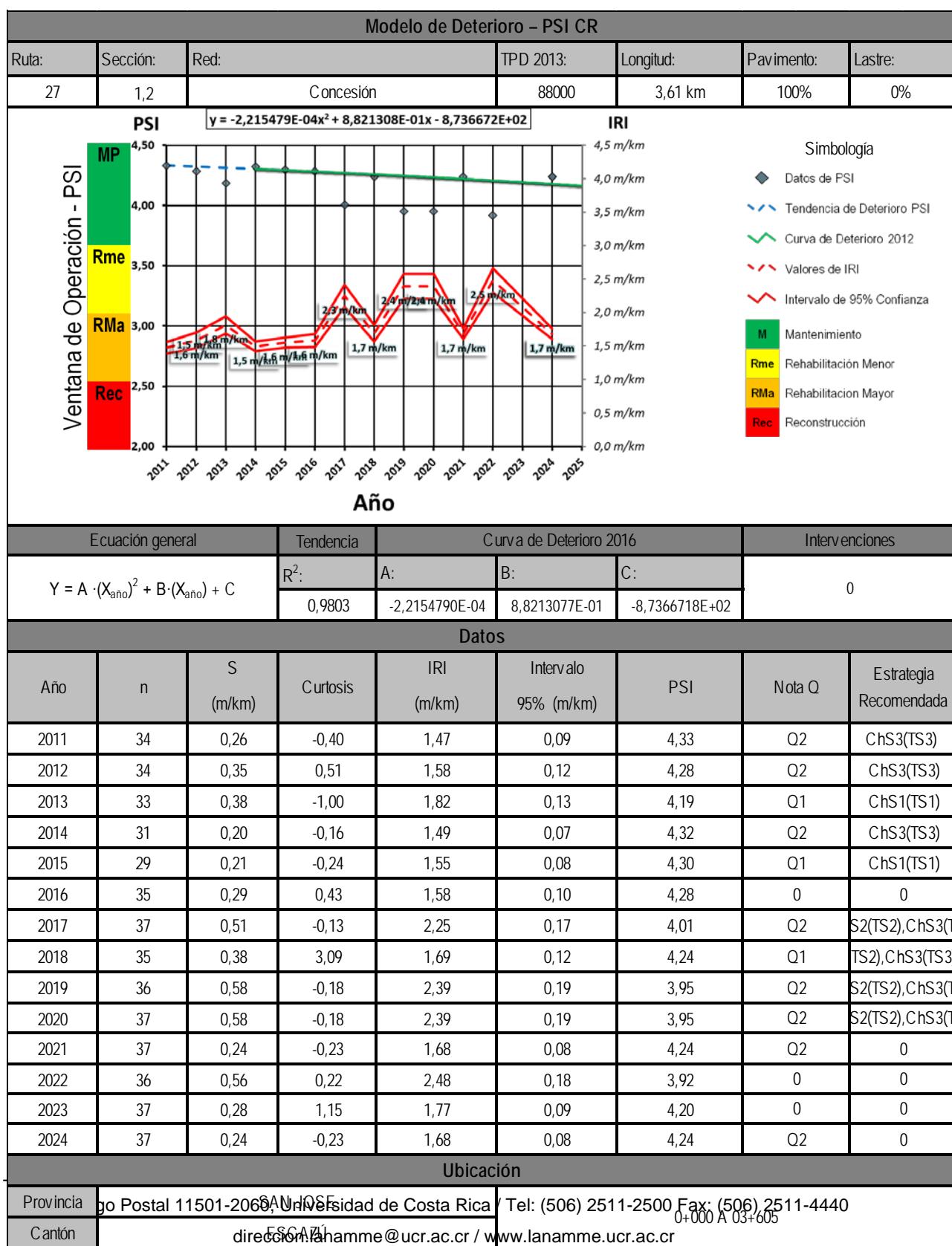
13.6 Anexo VI Modelo de Deterioro para la Ruta Nacional 27 San José – Caldera

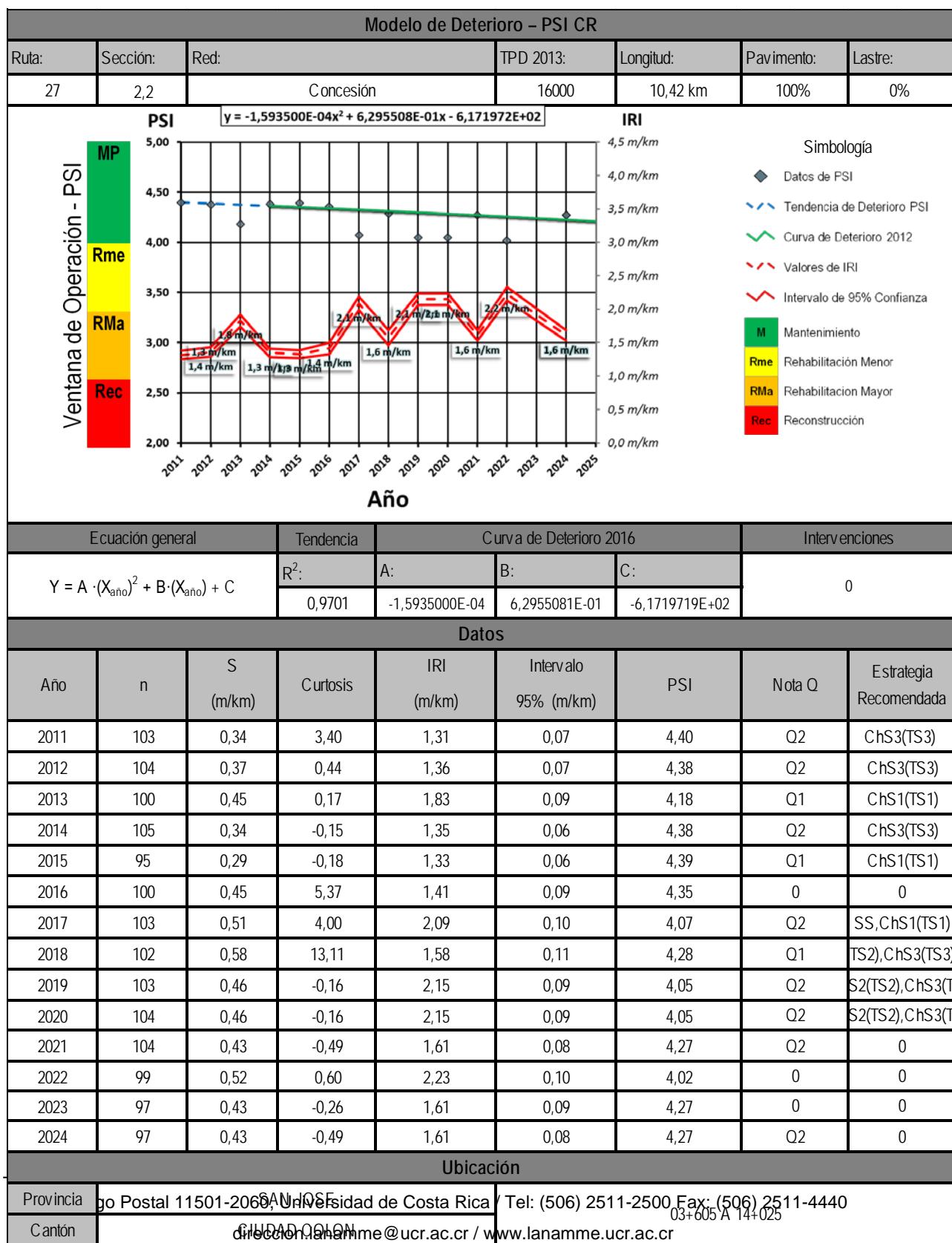


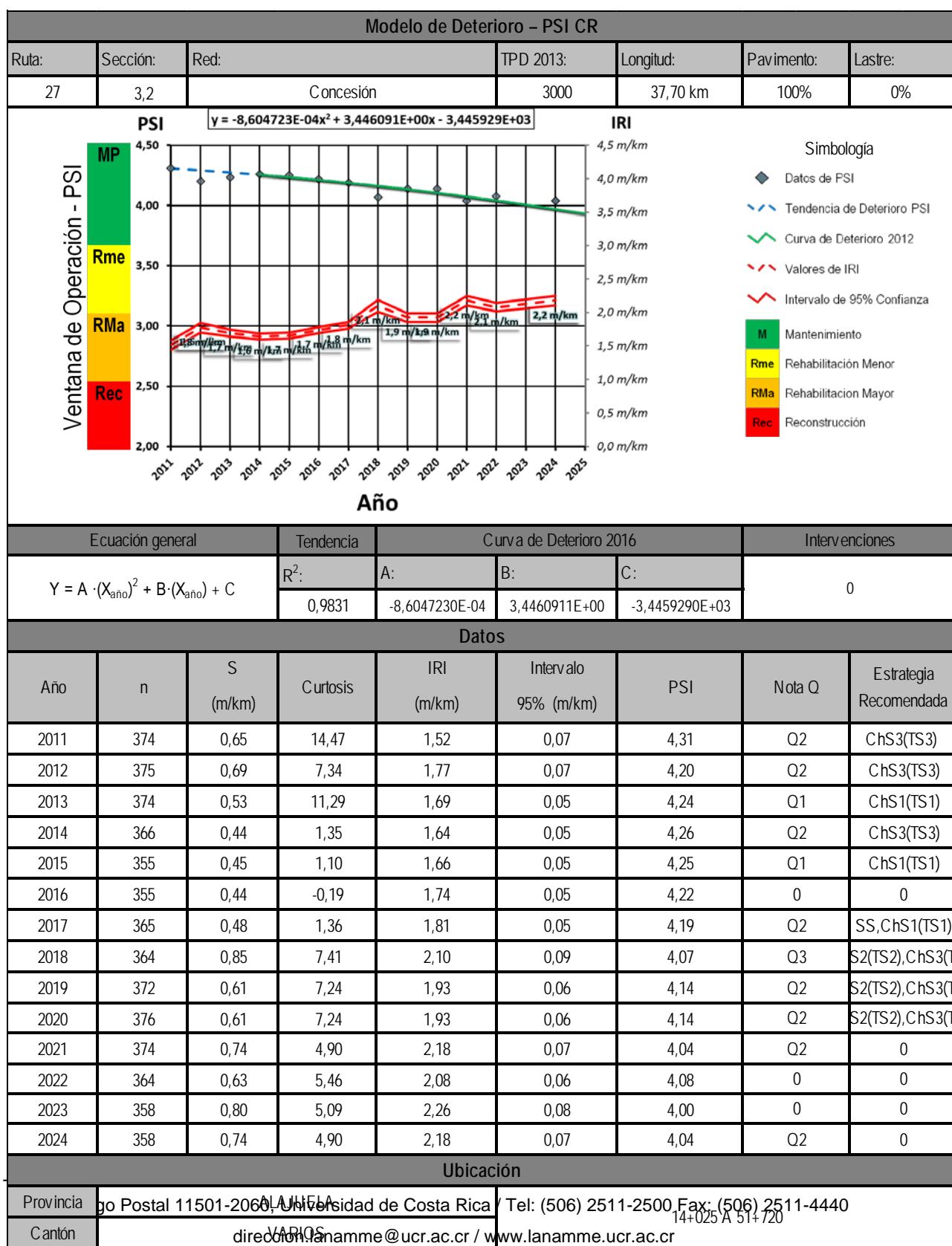


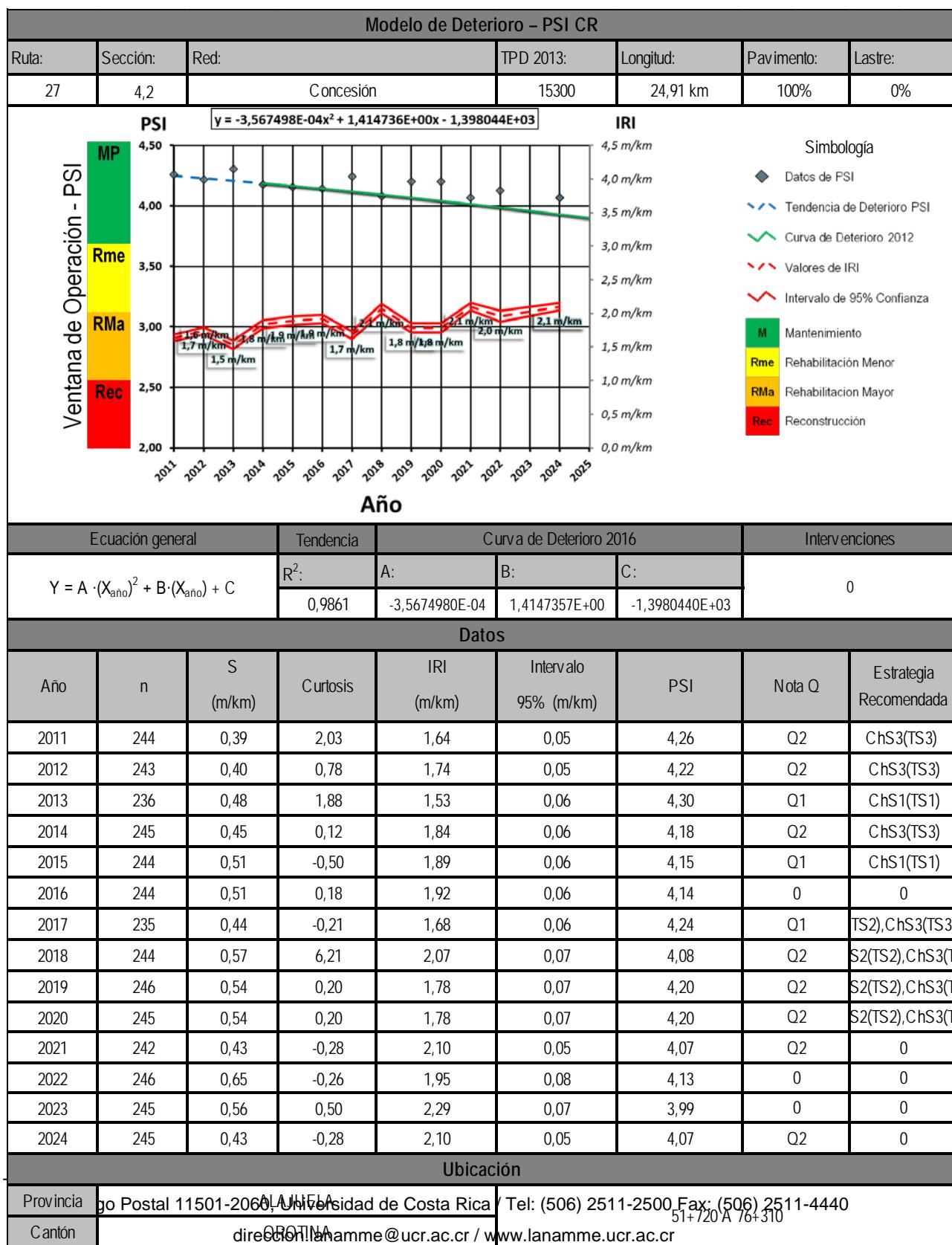












13. Transitorio

El nuevo formato de Informe del LanammeUCR entra en vigencia a partir del 03 de febrero del 2025. Los informes que se inicien a partir de esa fecha deben utilizar la nueva versión y cumplir con lo definido en ella. Los informes que se encuentran en el proceso de preparación previo a esta fecha, se pueden finalizar en el formato que fue iniciado.

--Ultima Línea--