



Laboratorio Nacional de Materiales
y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte PITRA

Informe: INF – PI – UGERVN – 12 – 2018

Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27 Años 2017 - 2018

Informe Final

Preparado por:

**Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional
LanammeUCR**

San José, Costa Rica

Septiembre, 2018

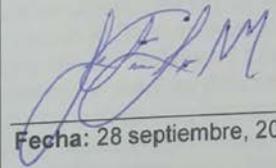
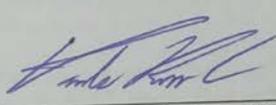
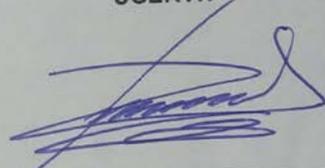
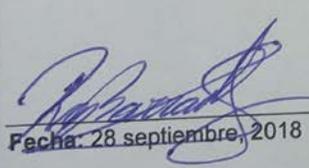
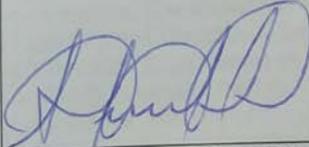
1. Informe INF-PI-UGERVN-12-2018		2. Copia No.1	
3. Título Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27, Años 2017 - 2018		4. Fecha del Informe Septiembre 2018	
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440			
6. Notas complementarias No aplica			
7. Resumen <i>El presente informe muestra los resultados del trabajo de evaluación de la Ruta Nacional 27 Carretera San José – Caldera, el cual es administrado bajo la modalidad de Concesión de Obra Pública. Este estudio se hace con base en los postulados del Artículo 6 Inciso D de la Ley 8114, el cual otorga al LanammeUCR la competencia de evaluar “de manera anual las carreteras y puentes en concesión”. Con base en esto, se realiza una evaluación del estado de la ruta y sus cuatro radiales en parámetros funcionales, estructurales, de mantenimiento y de seguridad vial, tanto de la carretera como de las obras afines a la misma, como cunetas, taludes y terraplenes aledaños. Los resultados obtenidos se comparan con aquellos de las campañas anteriores, y toda la información pasa a formar parte de la base de datos digital del proyecto incorporándose ya como un punto más en la curva de tendencia del comportamiento del pavimento.</i>			
8. Palabras clave Ruta 27, taludes, pavimentos, gestión, deslizamientos, deterioros, PSI, modelos		9. Nivel de seguridad: Alto	10. Núm. de páginas 167
11. Ejecución del proyecto: Ing. Cristian Valverde C. M.Sc. UGERVN  Fecha: 28 septiembre, 2018	12. Colaboradores Ing. José Francisco Garro M., M.Sc. UGERVN  Fecha: 28 septiembre, 2018	Geólogo Paulo Ruiz C., Ph.D. UGERVN  Fecha: 28 septiembre, 2018	Ing. Ronald Naranjo Umaña UGERVN  Fecha: 28 septiembre, 2018
13. Diseño de proyecto: Ing. Roy Barrantes Jiménez M.Sc. Coordinador UGERVN  Fecha: 28 septiembre, 2018	14. Revisado por: Lic. Miguel Chacón A. Asesor Legal  Fecha: 28 septiembre, 2018		15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loria Salazar, Ph.D. Coordinador PITRA  Fecha: 28 septiembre, 2018



TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	96
RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	10
2. OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN CONCESIÓN SAN JOSÉ – CALDERA, AÑOS 2017 - 2018	12
2.1 OBJETIVO GENERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN, AÑOS 2017 – 2018.....	13
3.1 CAPACIDAD ESTRUCTURAL, DEFLEXIONES OBTENIDAS MEDIANTE EL FWD, TRONCAL PRINCIPAL	13
3.1a. <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	13
3.1b. <i>Resultados obtenidos, mes de septiembre del 2017.....</i>	13
3.1c. <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría FWD</i>	16
3.2 CAPACIDAD FUNCIONAL, CONDICIÓN SEGÚN REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI), TRONCAL PRINCIPAL	17
3.2a. <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	17
3.2b. <i>Resultados de regularidad superficial (IRI).....</i>	18
3.2c. <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad funcional con el Perfilómetro Láser (IRI).....</i>	20
3.3 RESULTADOS OBTENIDOS DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE PAVIMENTOS, TRONCAL PRINCIPAL	20
3.3a. <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	20
3.3.a.1 <i>Grip Tester (Figura 9).....</i>	20
3.3.a.2 <i>Mu Meter (Figura 10).....</i>	21
3.3b. <i>Resultados de coeficiente de rozamiento con el GripTester y MuMeter</i>	22
3.3c. <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento.....</i>	24
3.4 ANÁLISIS DE NOTAS DE CALIDAD Q, TRONCAL PRINCIPAL, AÑOS 2017 – 2018.....	25
3.5 COMPARACIÓN DE INDICADORES EN LA TRONCAL PRINCIPAL, AÑOS 2012 AL 2017.....	27
3.5a. <i>Evaluación con el Deflectómetro de Impacto.....</i>	27
3.5b. <i>Evaluación con el Perfilómetro Láser.....</i>	28
3.5c. <i>Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial</i>	29
3.6 COMPARACIÓN DE LAS NOTAS Q OBTENIDAS PARA LA RUTA 27, AÑOS 2012 AL 2017	30
3.7 ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL. EVALUACIONES REALIZADAS EN JULIO DEL 2017.....	33
3.7a. <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	33
3.7b. <i>Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales.....</i>	33
3.7c. <i>Comparación de resultados entre los años 2014 - 2017 de la evaluación visual de deterioros superficiales.....</i>	38
4. EVALUACIÓN DE LAS RADIALES	42
4.1 ASPECTOS GENERALES	42
4.2 RESULTADOS OBTENIDOS: CAPACIDAD ESTRUCTURAL	43
4.3 RESULTADOS OBTENIDOS: CONDICIÓN FUNCIONAL	44
4.4 RESULTADOS OBTENIDOS: COEFICIENTE DE FRICCIÓN	45
4.5 NOTAS DE CALIDAD Q PARA LAS RADIALES.....	47
4.6 RESULTADOS OBTENIDOS: ANÁLISIS DE DETERIOROS SUPERFICIALES	47
4.7 COMPARACIÓN DE LA CONDICIÓN DE LAS RADIALES, CAMPAÑAS 2013 – 2017.....	48
4.7a. <i>Evaluación con el deflectómetro de impacto.....</i>	48
4.7b. <i>Evaluación con el perfilómetro láser superficial.....</i>	52
4.7c. <i>Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial.....</i>	56
4.7d. <i>Evaluación visual de Deterioro Superficial.....</i>	60
5. MODELOS DE DETERIORO	65
5.1 APLICACIÓN DEL MODELO DE DETERIORO.....	65
5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	70



6.	CONDICIONES GEOTÉNICAS Y SISTEMAS DE DRENAJE.....	72
6.1	PRINCIPALES EVENTOS OCURRIDOS EN EL AÑO 2017	72
6.1a.	<i>Deslizamiento en la línea del tren y generación caída de agua en el km 46+700.....</i>	72
6.1b.	<i>Tormenta tropical Nate, caída de rocas y cierre de la vía tramo Atenas - Orotina.....</i>	74
6.2	SITIOS VULNERABLES	76
6.2a.	<i>Estacionamiento 21+800.....</i>	76
6.2b.	<i>Estacionamiento 28+350.....</i>	77
6.2c.	<i>Estacionamiento 37+750.....</i>	78
6.2d.	<i>Estacionamiento 38+600.....</i>	79
6.2e.	<i>Estacionamiento 44+500.....</i>	82
6.2f.	<i>Estacionamiento 44+800.....</i>	83
6.2g.	<i>Estacionamiento 47+000.....</i>	84
6.2h.	<i>Estacionamiento 73+000.....</i>	85
7.	CONCLUSIONES	87
7.1	CONCLUSIÓN GENERAL.....	87
7.2	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS	89
7.2a.	<i>Sobre la condición estructural.....</i>	89
7.2b.	<i>Sobre la condición funcional</i>	89
7.2c.	<i>Sobre la resistencia al deslizamiento como parámetro de seguridad vial.....</i>	89
7.2d.	<i>Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica</i>	90
7.2e.	<i>Sobre las notas de calidad y las estrategias de intervención.....</i>	90
7.2f.	<i>Sobre los Modelos de Deterioro.....</i>	90
7.2g.	<i>Sobre las condiciones geotécnicas y sistemas de drenaje</i>	91
8.	RECOMENDACIONES	91
8.1a.	<i>Sobre la evaluación funcional, estructural, resistencia al deslizamiento y de deterioro superficial del proyecto.....</i>	91
8.1b.	<i>Sobre la evaluación de las radiales.....</i>	92
8.1c.	<i>Sobre el estado de los taludes y terraplenes adyacentes a la ruta</i>	92
9.	BIBLIOGRAFÍA	93
	ANEXO I: RESULTADOS OBTENIDOS	97
	DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO	97
	ANEXO II: RESULTADOS OBTENIDOS	102
	PERFILÓMETRO LÁSER	102
	ANEXO III: RESULTADOS OBTENIDOS	107
	MEDIDOR DE AGARRE SUPERFICIAL.....	107
	ANEXO IV: RESULTADOS OBTENIDOS.....	112
	NOTAS DE CALIDAD Q	112
	ANEXO V: RESULTADO EVALUACIÓN VISUAL. PRINCIPALES DETERIOROS EN PAVIMENTO Y BARRERAS DE CONTENCIÓN LATERAL.....	117
	ANEXO VI: SITIOS DETECTADOS CON	130
	PROBLEMAS EN LOS GUARDAVÍAS.....	130
	ANEXO VII RESULTADOS OBTENIDOS PARA CADA UNO DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN LAS RADIALES	138
	ANEXO VIII MODELO DE DETERIORO PARA LA RUTA NACIONAL 27 SAN JOSÉ - CALDERA.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: DIAGRAMA DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA 27, AÑOS 2017 - 2018.....	11
FIGURA 2: ESTADO GENERAL DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA SEGÚN LOS VALORES DE DEFLEXIÓN FWD OBTENIDOS, CAMPAÑA 2017-2018	14
FIGURA 3: UBICACIÓN DE ALGUNOS TRAMOS CON DEFLEXIONES MODERADOS Y ALTAS, SENTIDO DE IDA.	15
FIGURA 4: ESTADO GENERAL DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ, SEGÚN LOS VALORES DE DEFLEXIÓN FWD OBTENIDOS, CAMPAÑA 2017-2018	15
FIGURA 5: UBICACIÓN DE ALGUNOS TRAMOS CON DEFLEXIONES MODERADAS, SENTIDO DE VENIDA.	16
FIGURA 6: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PARÁMETRO <i>IRI</i> , SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA	18
FIGURA 7: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PARÁMETRO <i>IRI</i> , SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ	18
FIGURA 8: UBICACIÓN DE TRAMOS CON UN <i>IRI</i> ENTRE MODERADO Y BAJO.	19
FIGURA 9: GRIP TESTER.....	20
FIGURA 10: MU METER	21
FIGURA 11: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE A) <i>GRIP TESTER</i> Y B) <i>MUMETER</i> PARA EL SENTIDO DE IDA.	22
FIGURA 12: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE A) <i>GRIP TESTER</i> Y B) <i>MU METER</i> , PARA EL SENTIDO DE VENIDA.	23
FIGURA 13: UBICACIÓN DE TRAMOS CON VALORES DE FRICCIÓN DE POCO DESLIZANTE A MUY DESLIZANTE.	23
FIGURA 14: DISTRIBUCIÓN DE LAS NOTAS DE CALIDAD <i>Q</i> PARA LA TRONCAL PRINCIPAL PARA AMBOS SENTIDOS.....	25
FIGURA 15: UBICACIÓN DE TRAMOS CON NOTAS DE CALIDAD ENTRE <i>Q1 - Q3, Q5 Y Q8</i> ,	26
FIGURA 16: DISTRIBUCIÓN DE LAS LABORES DE REHABILITACIÓN EN PORCENTAJES, EN LA TRONCAL PRINCIPAL,	27
FIGURA 17: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO	27
FIGURA 18: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO	28
FIGURA 19: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS REGULARIDADES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO	29
FIGURA 20: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS REGULARIDADES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2017, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ DE LA RUTA NACIONAL 27	29
FIGURA 21: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2017, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA DE LA RUTA NACIONAL 27	30
FIGURA 22: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2017, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ DE LA RUTA NACIONAL 27	30
FIGURA 23: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPARACIÓN DE NOTAS <i>Q</i> PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2017,.....	31
FIGURA 24: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2017 EN AMBOS SENTIDO DE CIRCULACIÓN.....	32
FIGURA 25: RESULTADOS DE DETERIOROS, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA.	34
FIGURA 26: RESULTADOS DE DETERIOROS, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ.....	35
FIGURA 27: UBICACIÓN DE TRAMOS CON PRESENCIA DE EXUDACIÓN.	36
FIGURA 28: UBICACIÓN DE GUARDAVÍAS IMPACTADAS	37
FIGURA 29: UBICACIÓN DE TRAMOS CON BARRERAS LATERALES IMPACTADAS.	38
FIGURA 30: COMPARACIÓN DETERIORO SUPERFICIAL 2014 AL 2017 EN EL SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA.....	39
FIGURA 31: COMPARACIÓN DETERIORO SUPERFICIAL 2014 AL 2016 EN EL SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA.....	40
FIGURA 32: COMPARACIÓN DETERIORO SUPERFICIAL 2014 AL 2017 EN EL SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ.	41
FIGURA 33: COMPARACIÓN DETERIORO SUPERFICIAL 2014 AL 2017 EN EL SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ.....	42
FIGURA 34: UBICACIÓN DE LAS RADIALES EN LA RUTA NACIONAL 27.	43
FIGURA 35: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO, PARA LAS RADIALES DE LA RUTA 27, EN PORCENTAJES PARA CADA CATEGORÍA.....	44
FIGURA 36: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PERFILÓMETRO LÁSER, PARA LAS RADIALES	45
FIGURA 37: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL GRIP TESTER, PARA LAS RADIALES DEL PROYECTO CONCESIONADO,	46
FIGURA 38: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MU-METER, PARA LAS RADIALES DE LA RUTA 27, EN PORCENTAJES	46
FIGURA 39: NOTAS <i>Q</i> PARA LAS RADIALES.	47
FIGURA 40: DISTRIBUCIÓN DE DETERIOROS EN LAS RADIALES, RUTA NACIONAL 27	48
FIGURA 41: COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIALES AÑOS 2013-2017	49
FIGURA 42: COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIALES AÑOS 2013-2017	50
FIGURA 43: COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIALES AÑOS 2013-2017	51
FIGURA 44: COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIALES AÑOS 2013-2017	52
FIGURA 45: COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIALES AÑOS 2013-2017	53
FIGURA 46: COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIALES AÑOS 2013-2017	54
FIGURA 47: COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIALES AÑOS 2013-2017	55
FIGURA 48: COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIALES AÑOS 2013-2017	56
FIGURA 49: COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (<i>GRIPTESTER</i>) AÑOS 2013-2017.....	57
FIGURA 50: COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (<i>GRIPTESTER</i>) AÑOS 2013-2017.....	58



FIGURA 51: COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (GRIPTESTER) AÑOS 2013-2017.....	59
FIGURA 52: COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (GRIPTESTER) AÑOS 2013-2017.....	60
FIGURA 53: ÁREAS DE DETERIORO POR RADIAL, AÑOS 2014 A 2017	61
FIGURA 54: CONDICIÓN SUPERFICIAL EN RADIALES	62
FIGURA 55: CONDICIÓN SUPERFICIAL EN RADIALES	63
FIGURA 56: CONDICIÓN SUPERFICIAL EN RADIALES	64
FIGURA 57: EJEMPLO DE CURVA OBTENIDA A PARTIR DE LOS DATOS DEL PSI	66
FIGURA 58: GRÁFICA EJEMPLO PSI VS AÑO, E IRI VS AÑO.....	66
FIGURA 59: MODELO DE DETERIORO PARA EL TRAMO 1, SENTIDO DE IDA SAN JOSÉ - CALDERA.....	68
FIGURA 60: MODELO DE DETERIORO PARA EL TRAMO 1, SENTIDO DE VENIDA CALDERA - SAN JOSÉ.....	69
FIGURA 61: CONCEPTO DEL PSI, Y EL RESPECTIVO CAMBIO DEL VALOR CON EL TIEMPO PARA UN PAVIMENTO (LÍNEA NEGRA), CONTRA VALORES UMBRAL (LÍNEAS HORIZONTALES).....	70
FIGURA 62: ESTACIONAMIENTO 46+700 A.) VISTA EN DIRECCIÓN SAN JOSÉ - CALDERA.....	73
FIGURA 63: ESTACIONAMIENTO 46+700. IZQUIERDA (A) FOTOGRAFÍA AÉREA DEL SITIO EN EL EST. 46+700.....	73
FIGURA 64: ESTACIONAMIENTO 46+700. IZQUIERDA: FOTOGRAFÍA AÉREA, INDICANDO LA LÍNEA DEL PERFIL TOPOGRÁFICO AB. DERECHA: PERFIL TOPOGRÁFICO OBTENIDO DEL SITIO.....	74
FIGURA 65: ROCAS SOBRE LA CALZADA, EST. 48+400. FUENTE: CRHOY.....	75
FIGURA 66: TALUD ESTACIONAMIENTO 21+800 A) LD EROSIÓN SUPERFICIAL CON FORMACIÓN DE SURCOS.....	77
FIGURA 67: TALUD ESTACIONAMIENTO 28+350. A) VISTA GENERAL DEL TALUD DE CORTE.....	78
FIGURA 68: TALUD ESTACIONAMIENTO 37+750, MOSTRANDO LOS DETERIOROS MÚLTIPLES EN EL CONTROL DE EROSIÓN DETERIOROS.....	79
FIGURA 69: TALUD EN EL EST. 38+600, TRABAJOS DE SUSTITUCIÓN DE MALLA EN ZONA ALTERADA POR DAR.....	80
FIGURA 70: TALUD DEL EST. 38+600, CONCRETO LANZADO MOSTRANDO AGRIETAMIENTO INTENSO Y PÉRDIDA DE RESISTENCIA.....	81
FIGURA 71: ESTADO DE LOS TRABAJOS DE ESTABILIZACIÓN AL 6 DE JUNIO DEL 2017, EST. 44+500.....	82
FIGURA 72: PARTE ALTA DEL TALUD EN EL EST. 44+400, LADO DERECHO.....	83
FIGURA 73: MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL OBTENIDO POR EL LANAMMEUCR, DONDE SE MUESTRA LA UBICACIÓN DE DESLIZAMIENTOS ACTIVOS (LÍNEAS ROJAS PUNTEADAS).....	83
FIGURA 74: ZONA CON POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO, TALUD DEL EST. 44+800.....	84
FIGURA 75: ESTADO DEL CONCRETO LANZADO, TALUD DERECHO DEL EST. 47+000.....	85
FIGURA 76: DESLIZAMIENTO EN EL TALUD IZQUIERDO DEL EST. 47+000.....	85
FIGURA 77: TALUD DEL EST. 73+000. A) SE SEÑALA EL SITIO CON POTENCIAL DE GENERAR CAÍDA DE ROCAS EN LA CARRETERA. B) AL PIE DEL TALUD SE OBSERVA LA CUNETAS COMPLETAMENTE COLMATADA POR LOS FINOS ACUMULADOS ENTRE EL PIE DEL TALUD, Y LA BARRERA DE CONTENCIÓN.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 RANGOS DE DEFLEXIÓN, UTILIZADOS PARA CLASIFICAR LOS DATOS DE DEFLECTOMETRÍA DEL PROYECTO.....	13
TABLA 2 DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA EL SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA, CAMPAÑA 2017-2018	14
TABLA 3 DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA EL SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ, CAMPAÑA 2017-2018.....	15
TABLA 4 RANGOS DE CLASIFICACIÓN DE REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI)	17
TABLA 5 RESULTADOS OBTENIDOS EN REGULARIDAD SUPERFICIAL, RUTA 27	18
TABLA 6 CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO SEGÚN EL GN	21
TABLA 7 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL GRIPTESTER.....	22
TABLA 8. RANGO DE APLICACIÓN DEL MODELO PARA EL CÁLCULO DEL PSI COSTA RICA	65
TABLA 9 SECCIONES DE CONTROL	65
TABLA 10 AÑO EN EL QUE EL PSI ALCANZA EL VALOR DE 3,0 (UMBRAL DE REHABILITACIÓN).....	71
TABLA 11 RESUMEN DE SITIOS VULNERABLES A CAÍDA DE BLOQUES O EVENTOS RELACIONADOS CON LLUVIAS	76

ÍNDICE DE FIGURAS ANEXO

FIGURA A1 1 RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 0+000 - 20+000.....	98
FIGURA A1 2 RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 06+000 - 40+000.....	98
FIGURA A1 3 RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 40+000 - 60+000.....	99
FIGURA A1 4 : RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 60+000 - 76+000.....	99
FIGURA A1 13 RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000.....	100
FIGURA A1 14 RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000.....	100
FIGURA A1 15 RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000.....	101



FIGURA A1 16 RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000..... 101

FIGURA A2 1 RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 0+000 - 20+000 103
 FIGURA A2 2 RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 20+000 - 40+000 103
 FIGURA A2 3 RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 40+000 - 60+000 104
 FIGURA A2 4 RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 60+000 - 76+000 104
 FIGURA A2 13 RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000 105
 FIGURA A2 14 RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000 105
 FIGURA A2 15 RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000 106

FIGURA A3 1 RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 0+000 -20+000 108
 FIGURA A3 2 RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 20+000 - 40+000 108
 FIGURA A3 3 RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 40+000 - 60+000 109
 FIGURA A3 4 RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 60+000 - 76+000 109
 FIGURA A3 13 RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000 110
 FIGURA A3 14 RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000 110
 FIGURA A3 15 RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000 111
 FIGURA A3 16 RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000 111

FIGURA A4 2 RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 0+000 - 20+000..... 113
 FIGURA A4 3 RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 20+000 - 40+000... 113
 FIGURA A4 4 RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 40+000 - 60+000... 114
 FIGURA A4 5 RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 60+000 - 76+000... 114
 FIGURA A4 6 RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000 115
 FIGURA A4 7 RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000 .. 115
 FIGURA A4 8 RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000 .. 116
 FIGURA A4 9 RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000 116

FIGURA A5 1 RESULTADOS BACHEO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 0+000 - 20+000 118
 FIGURA A5 2 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 0+000 - 20+000 118
 FIGURA A5 3 RESULTADOS BACHEO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 20+000 - 40+000 119
 FIGURA A5 4 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 20+000 - 40+000 119
 FIGURA A5 5 RESULTADOS BACHEO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 40+000 - 60+000 120
 FIGURA A5 6 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 40+000 - 60+000 120
 FIGURA A5 7 RESULTADOS BACHEO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 60+000 - 76+000 .. 121
 FIGURA A5 8 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 60+000 - 76+000 121
 FIGURA A5 9 RESULTADOS BACHEO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000 122
 FIGURA A5 10 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000 122
 FIGURA A5 11 RESULTADOS BACHEO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000 .. 123
 FIGURA A5 12 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000 123
 FIGURA A5 13 RESULTADOS BACHEO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000 .. 124
 FIGURA A5 14 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000 124
 FIGURA A5 15 RESULTADOS BACHEO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000 .. 125
 FIGURA A5 16 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000 125
 FIGURA A5 17 RESULTADOS EXUDACIÓN, RUTA NACIONAL 27, EST. 0+000 - 20+000 126
 FIGURA A5 18 GUARDAVÍAS DEFECTUOSOS, RUTA NACIONAL 27, EST. 0+000 - 20+000 126
 FIGURA A5 19 RESULTADOS EXUDACIÓN, RUTA NACIONAL 27, EST. 20+000 - 40+000 127
 FIGURA A5 20 GUARDAVÍAS DEFECTUOSOS, RUTA NACIONAL 27, EST. 20+000 - 40+000 127
 FIGURA A5 21 RESULTADOS EXUDACIÓN, RUTA NACIONAL 27, EST. 40+000 - 60+000 128
 FIGURA A5 19 GUARDAVÍAS DEFECTUOSOS, RUTA NACIONAL 27, EST. 40+000 - 60+000 128



FIGURA A5 19 RESULTADOS EXUDACIÓN, RUTA NACIONAL 27, EST. 60+000 - 760+000	129
FIGURA A5 19 GUARDAVÍAS DEFECTUOSO, RUTA NACIONAL 27, EST. 60+000 - 76+000.....	129
FIGURA A7 1 RESULTADOS FWD, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL.....	139
FIGURA A7 2 RESULTADOS FWD, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27.....	139
FIGURA A7 3 RESULTADOS IRI, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL	140
FIGURA A7 4 RESULTADOS IRI, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27	140
FIGURA A7 5 RESULTADOS GRIP, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL	141
FIGURA A7 6 RESULTADOS GIRIP, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27	141
FIGURA A7 7 RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL	142
FIGURA A7 8 RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27	142
FIGURA A7 9 RESULTADOS BACHEO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL	143
FIGURA A7 10 RESULTADOS BACHEO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27	143
FIGURA A7 11 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL	144
FIGURA A7 12 RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL EL COYOL.....	144
FIGURA A7 13 RESULTADOS FWD, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS	145
FIGURA A7 14 RESULTADOS FWD, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27	145
FIGURA A7 15 RESULTADOS IRI, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS	146
FIGURA A7 16 RESULTADOS IRI, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27	146
FIGURA A7 17 RESULTADOS GIRIP, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS.....	147
FIGURA A7 18 RESULTADOS GIRIP, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27.....	147
FIGURA A7 19 RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS.....	148
FIGURA A7 20 RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27	148
FIGURA A7 21 RESULTADOS BACHEO, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS	149
FIGURA A7 22 RESULTADOS BACHEO, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27	149
FIGURA A7 23 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS.....	150
FIGURA A7 24 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27	150
FIGURA A7 25 RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL ATENAS	151
FIGURA A7 26 RESULTADOS FWD, RADIAL TURRUCARES	151
FIGURA A7 27 RESULTADOS IRI, RADIAL TURRUCARES	152
FIGURA A7 28 RESULTADOS GRIP, RADIAL TURRUCARES	152
FIGURA A7 29 RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL TURRUCARES	153
FIGURA A7 30 RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL TURRUCARES	153
FIGURA A7 31 RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL TURRUCARES	154
FIGURA A7 32 RESULTADOS FWD, RADIAL ESCOBAL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ESCOBAL	154
FIGURA A7 33 RESULTADOS FWD, RADIAL ESCOBAL, SENTIDO ESCOBAL - RUTA NACIONAL 27	155
FIGURA A7 34 RESULTADOS IRI, RADIAL ESCOBAL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ESCOBAL.....	155
FIGURA A7 35 RESULTADOS IRI, RADIAL ESCOBAL, SENTIDO ESCOBAL - RUTA NACIONAL 27	156
FIGURA A7 36 RESULTADOS GRIP, RADIAL ESCOBAL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ESCOBAL.....	156
FIGURA A7 37 RESULTADOS GRIP, RADIAL ESCOBAL, SENTIDO ESCOBAL - RUTA NACIONAL 27	157
FIGURA A7 38 RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL ESCOBAL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ESCOBAL	157
FIGURA A7 39 RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL ESCOBAL, SENTIDO ESCOBAL - RUTA NACIONAL 27	158
FIGURA A7 40 RESULTADOS BACHEO, RADIAL ESCOBAL	158



RESUMEN

Bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar una evaluación anual de los proyectos y puentes administrados bajo la modalidad de concesión de obra pública, cumpliendo la función de ser un instrumento eficaz e imparcial de rendición de cuentas, y contribuyendo 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 los años 2017 – 2018.

Para poder valorar de forma objetiva la calidad de un proyecto en concesión y el mantenimiento de los niveles de servicio a lo largo de la vida útil del mismo, es necesario contar con especificaciones técnicas que definan estándares mínimos de calidad. En el caso de especificaciones contractuales que presentaron 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 tal efecto, 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. Por otra parte, 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 2 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 los índices de fricción del pavimento en mojado (condición crítica), lo cual se relaciona directamente con el nivel de peligrosidad o accidentabilidad de un tramo de ruta. Por último, con el *Equipo de Imágenes Georeferenciadas 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, como la obtención de la ubicación, tipo y severidad de los deterioros que afectan su superficie.



1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

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

La calidad final de un proyecto vial administrado bajo la modalidad de concesión de obra pública depende principalmente de dos aspectos: 1. La rigurosa fundamentación técnica de las especificaciones establecidas en el contrato, tomando en consideración que el proyecto debe brindar a los usuarios un servicio eficiente, confortable y seguro, considerando que además debe darse una recuperación del patrimonio vial representado por el proyecto específico, ya que eventualmente 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 más de 45mil km de rutas evaluadas hasta el año 2017 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):

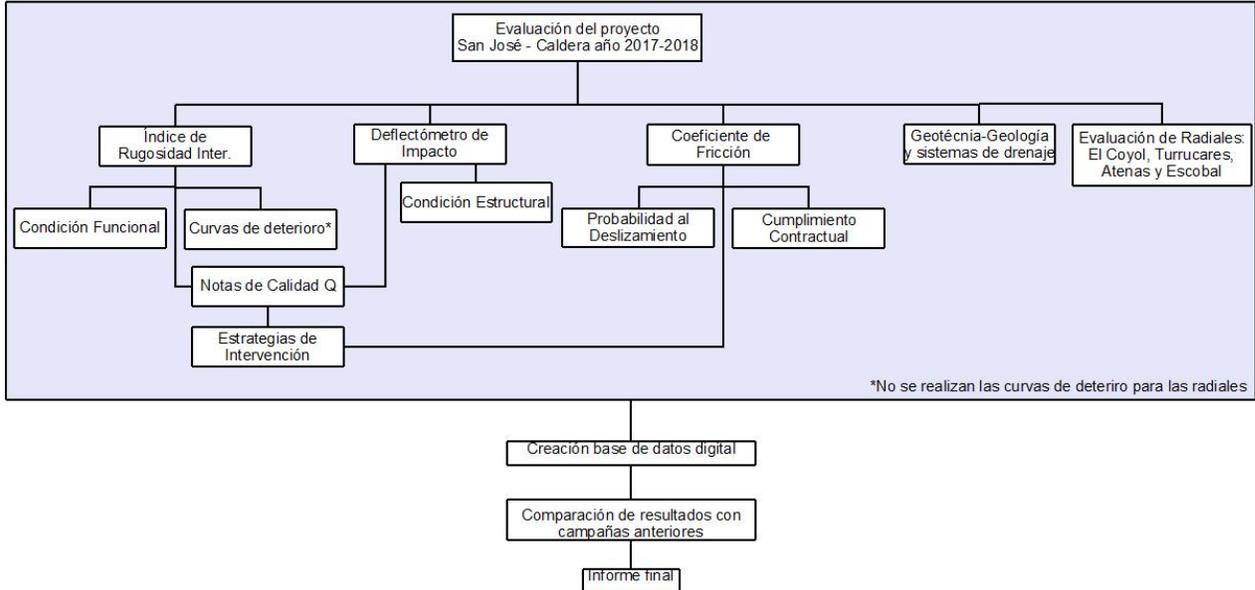


Figura 1: Diagrama de la evaluación del proyecto San José – Caldera Ruta 27, años 2017 - 2018.

Como parte de las obras realizadas por la concesionaria en la carretera San José - Caldera, se incluyó en el proyecto la construcción de las siguientes radiales:

- Radial El Coyol de Alajuela (3,80 km)
- Radial Turrúcares (0,29 km)
- Radial Atenas (3,30 km)
- Radial Escobal (0,40 km)

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

Se realizó también un análisis geológico y geotécnico en los taludes aledaños a la ruta, así como un control de aquellos sitios que han presentado en el pasado problemas como deslizamientos, agrietamientos y drenaje ácido. Por último, se evaluaron los sistemas de drenaje de aguas, como cunetas y contracunetas.



2. OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN CONCESIÓN SAN JOSÉ – CALDERA, AÑOS 2017 - 2018

2.1 Objetivo General

Fiscalizar por medio de una evaluación, la condición del pavimento del proyecto en concesión San José – Caldera, Ruta Nacional 27, en el plazo comprendido entre agosto del 2017 y agosto 2018, cuantificando de manera sistemática la evolución del mismo y su desempeño 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.

2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la resistencia estructural de los pavimentos construidos, con el *Deflectómetro de Impacto* y clasificarla según rangos de estado.
- Evaluar el estado de la regularidad superficial 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*.
- Hacer una evaluación del deterioro de la superficie de ruedo, por medio de equipo de *Imágenes Georeferenciadas de Alta Resolución*, alertando de la presencia de deterioros que pueden poner en peligro la seguridad del usuario, así como el confort y durabilidad del proyecto.
- Comparar las condiciones actuales con las obtenidas en años anteriores, para establecer la evolución del estado de la infraestructura como tal.
- Elaborar curvas de deterioro que permitan predecir la condición en que podría llegar carretera en años futuros, según las tendencias obtenidas con base en las evaluaciones realizadas a la fecha.
- Evaluar la condición de taludes, deslizamientos y sistemas de drenaje desde el punto de vista geológico y geotécnico.
- 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.
- Evaluar el estado estructural, funcional, de seguridad vial y de condición superficial de las cuatro radiales que forman parte del proyecto.

3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN, AÑOS 2017 – 2018

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

3.1a. 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 de Internet del *LanammeUCR* (www.lanamme.ucr.ac.cr).

La evaluación del proyecto con dicho equipo 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, considerado 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 superficial, 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 tomando en consideración el diseño estructural realizado por el Concesionario, por lo que fueron utilizados en la presente evaluación para clasificar los resultados.

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 mm²)			
<i>Bajas</i>	menor a 52	menor a 36	menor a 47	menor a 50
<i>Moderadas</i>	52 – 57	36 – 40	47 – 52	50 – 58
<i>Altas</i>	57 – 71	40 – 49	52 – 66	58 – 80
<i>Muy Altas</i>	mayor a 71	mayor a 49	mayor a 66	mayor a 80

3.1b. Resultados obtenidos, mes de septiembre del 2017

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en el parámetro de deflexiones superficiales en el sentido San José - Caldera, para la campaña de evaluación 2017-

¹ Dentro de esta longitud no se incluyen los tramos fuera del troncal principal del proyecto

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.

2018; la Figura 2 muestra en forma gráfica este resultado. En total, se procesaron 1480 mediciones con el equipo en este sentido.

Tabla 2 Deflexiones FWD obtenidas para el sentido San José - Caldera, campaña 2017-2018

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	100,0

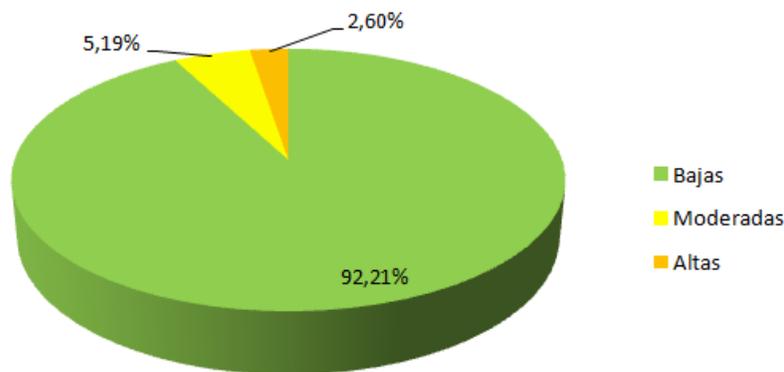


Figura 2: Estado general de la capacidad estructural sentido San José – Caldera según los valores de deflexión FWD obtenidos, campaña 2017-2018

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 ida San José – Caldera.

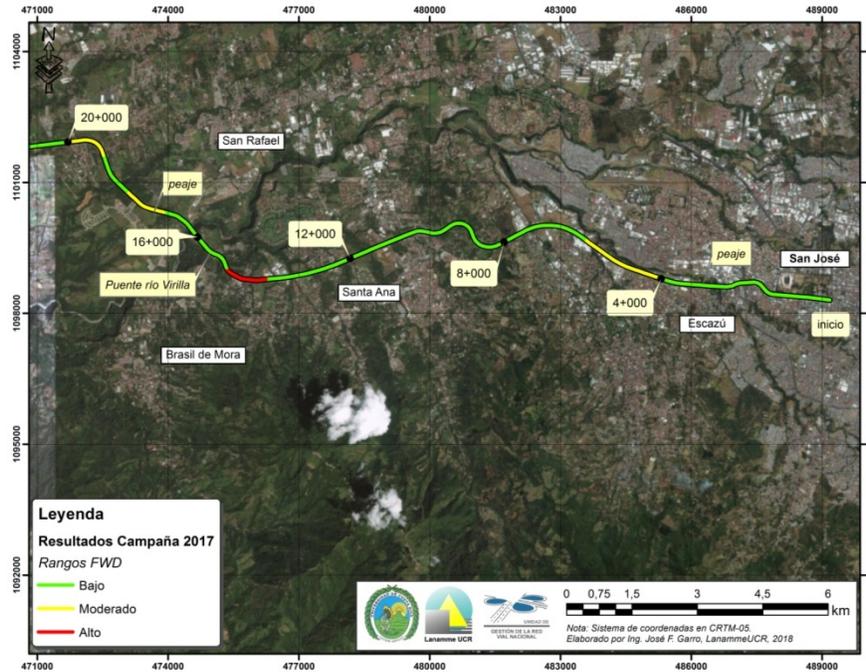


Figura 3: Ubicación de algunos tramos con deflexiones moderados y altas, sentido de ida.

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

Tabla 3 Deflexiones FWD obtenidas para el sentido Caldera – San José, campaña 2017-2018

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas	75	97,4
Moderadas	2	2,6
Altas	0	0,0
Muy Altas	0	0,0
Total	77	100,0

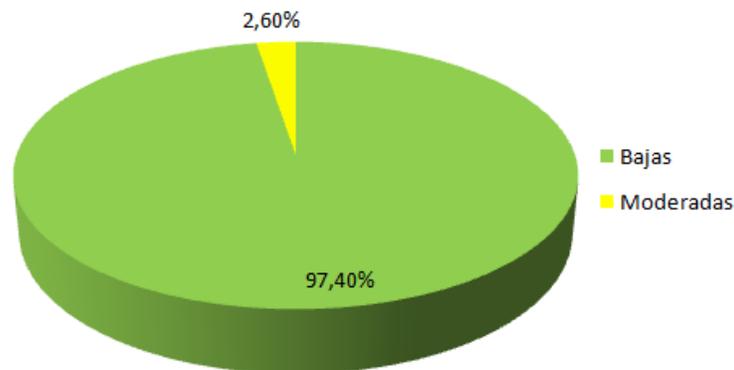


Figura 4: Estado general de la capacidad estructural sentido Caldera – San José, según los valores de deflexión FWD obtenidos, campaña 2017-2018

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

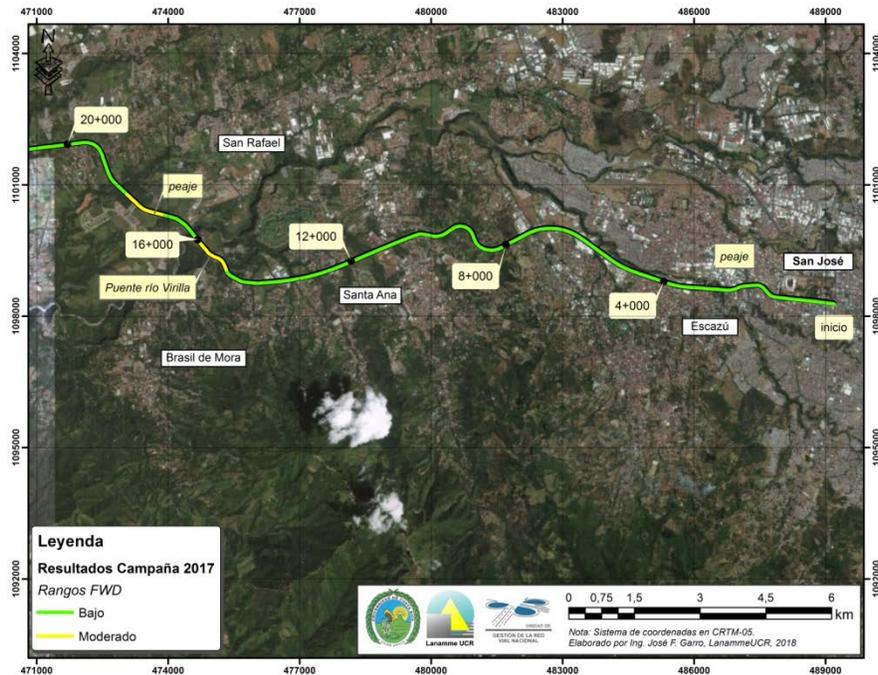


Figura 5: Ubicación de algunos tramos con deflexiones moderadas, sentido de venida.

3.1c. *Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría FWD*

Los resultados obtenidos a partir del *Deflectómetro de Impacto* muestran que la mayor parte de la estructura del pavimento en la troncal principal se encuentra en buenas condiciones. Esta valoración estructural representa la condición de soporte del pavimento hasta el momento de la medición, es decir entre el 5 de setiembre y el 12 de octubre del año 2017. Estos valores pueden variar posteriormente en magnitudes significativas con los cambios de temperatura durante épocas muy cálidas, así como con los cambios en los niveles de humedad de las capas de base, subbase y subrasante durante la época lluviosa. Las mediciones que se realicen durante el año 2018 y años subsiguientes revelarán los efectos de estas variaciones en la pérdida o conservación de la capacidad estructural de este proyecto.

En el Anexo 1, se muestran los estacionamientos donde se localizan puntos con deflexiones moderadas, altas y muy altas, para cada sentido de la ruta.

3.2 Capacidad funcional, condición según regularidad superficial (IRI), troncal principal

3.2a. 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: cuando existen 2 o más carriles por sentido, se mide el carril externo o carril de diseño, que es donde debe circular el tránsito pesado, por lo que es el que sufre mayor deterioro.

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

Tabla 4 Rangos de clasificación de regularidad superficial (IRI)

Rango de regularidad m / km	Clasificación
menor a 1,0	<i>regularidad superficial muy buena</i>
entre 1,0 y 1,9	<i>regularidad superficial buena</i>
entre 1,9 y 3,6	<i>regularidad superficial regular</i>
entre 3,6 y 6,4	<i>regularidad superficial deficiente</i>
mayor a 6,4	<i>regularidad superficial muy deficiente</i>

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 del análisis los elementos que se consideran como singularidades, 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, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino”³

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

3.2b. Resultados de regularidad superficial (IRI)

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial del proyecto en el mes de agosto del 2017; las Figura 6 y 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	
menor a 1,0	0 km	0,0 %	0 km	0,0 %
entre 1,0 y 1,9	43 km	55,84 %	45 km	54,44 %
entre 1,9 y 3,6	34 km	44,16 %	32 km	41,56 %
entre 3,6 y 6,4	0 km	0,0 %	0 km	0,0 %
mayor a 6,4	0 km	0,0 %	0 km	0,0 %
Total	77 km		77 km	

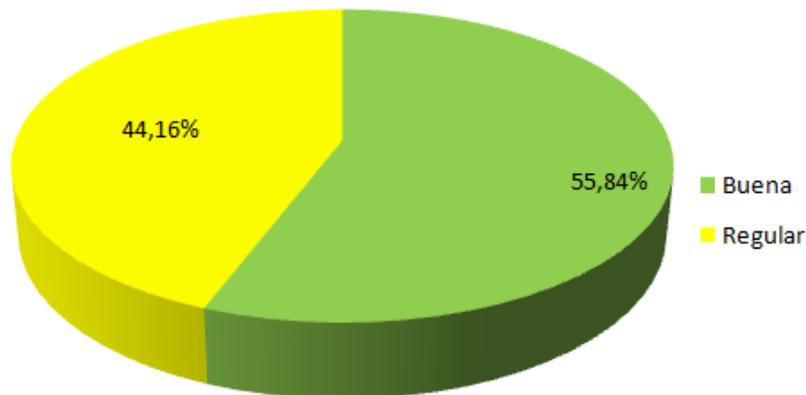


Figura 6: Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido San José – Caldera

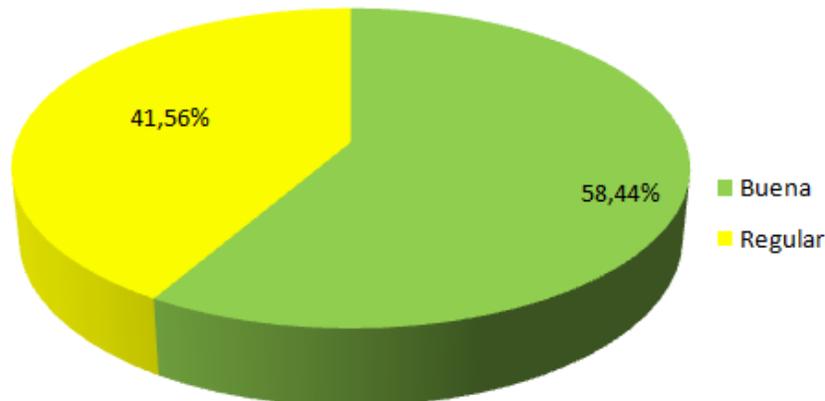
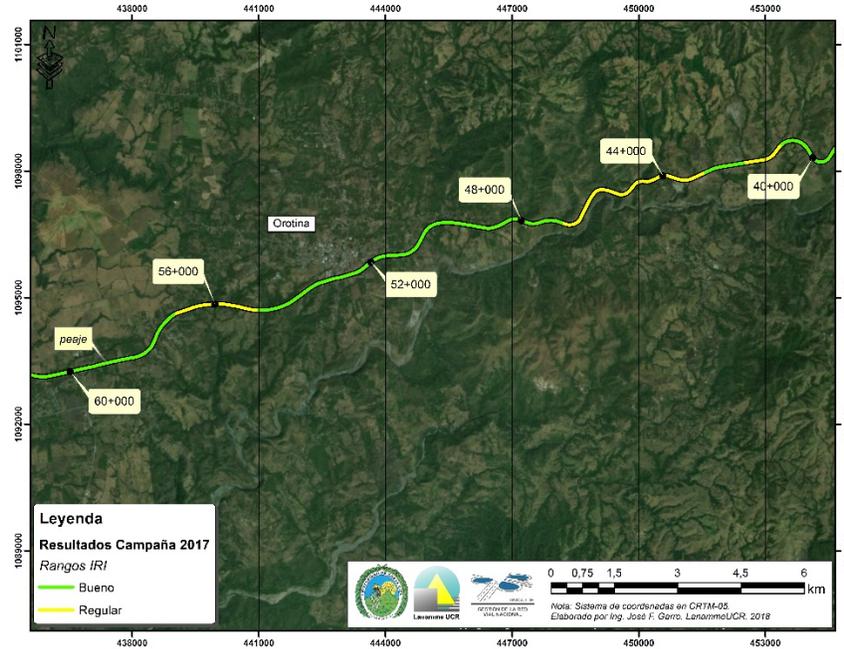
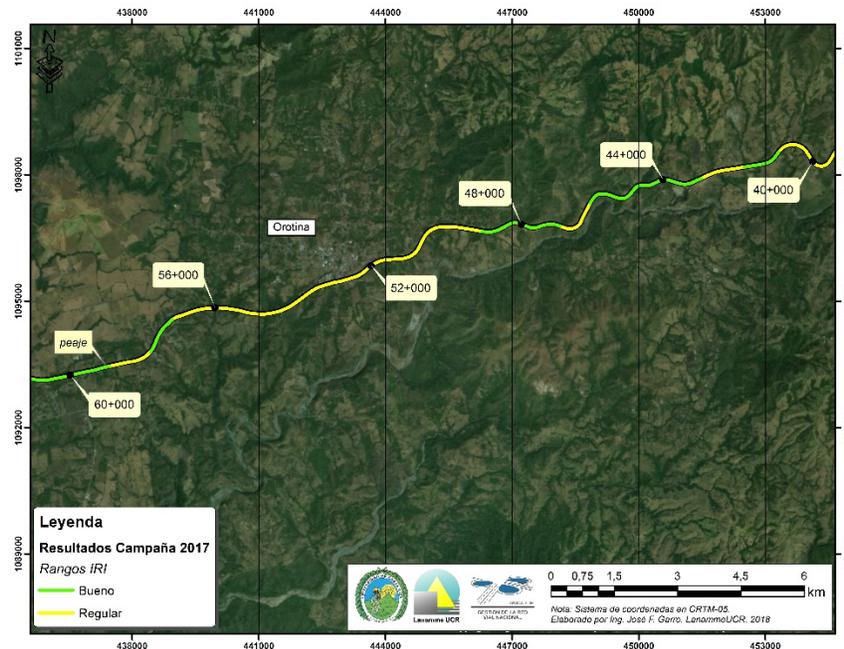


Figura 7: Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido Caldera – San José

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



a)



b)

Figura 8: Ubicación de tramos con un IRI entre moderado y bajo.
a) sentido de ida San José - Caldera, b) sentido de venida Caldera - San José

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

3.2c. *Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad funcional con el Perfilómetro Láser (IRI).*

Con base en los valores obtenidos para este parámetro, un porcentaje importante (poco más de 40%) de la longitud del proyecto evaluado, presenta valores de IRI en condición regular, lo cual como se ha mencionado antes, además de influir de manera negativa en los costos de operación de la flota vehicular, incide de manera directa sobre la carpeta asfáltica, acelerando sus deterioros. Como se verá más adelante en el apartado de *Notas de Calidad y Estrategias de Intervención*, con actividades de bajo impacto y costo, es posible recuperar los valores buenos de IRI.

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

3.3a. *Equipo utilizado y criterios de clasificación*

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

3.3.a.1 *Grip Tester (Figura 9).*



Figura 9: Grip Tester

La evaluación de la RN27 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, 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 coeficiente de fricción transversal

(CFT) con el valor *Grip Number* (GN) que se obtiene con este equipo; éste 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.

3.3.a.2 *Mu Meter* (Figura 10).



Figura 10: *Mu Meter*

El *MuMeter* es usado para medir el coeficiente de rozamientos en pistas de aeropuertos, debido a que su configuración, con 2 ruedas que miden la fricción en condición húmeda, semeja el tren de aterrizaje de un avión comercial. Es por esta razón

que su uso en redes viales no es común, además de que los resultados obtenidos con este equipo no son comparables con aquellos obtenidos con el *GripTester*⁴.

3.3b. Resultados de coeficiente de rozamiento con el *GripTester* y *MuMeter*

Los datos obtenidos con ambos equipos para cada sentido de la RN27 se muestran en las Figuras 8 y 9. 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 proyecto en ambos sentidos San José – Caldera, Caldera – San José se presentan respectivamente en la Tabla 7 y 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 al 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		
Ida SJ-Cld	0 km	0,0%	28 km	36,4%	49 km	63,6%	0 km	0,0%	77
Venida Cld-SJ	11 km	14,3%	30 km	39,0%	36 km	46,8%	0 km	0,0%	77



Figura 11: Resultados de las pruebas de a) *Grip Tester* y b) *MuMeter* para el sentido de ida. Los rangos del *Mu Meter* corresponden a los indicados en el contrato.

⁴ El *GripTester* posee sólo una rueda con la que se mide la fricción de la superficie de ruedo, la cual se coloca sobre una de las huellas de los vehículos. Con el *MuMeter* esto no es posible, dado que mientras es posible colocar una de sus ruedas medidoras sobre la huella, la otra rueda medidora siempre se encontrará fuera de la misma, variando los resultados obtenidos.



Figura 12: Resultados de las pruebas de a) *Grip Tester* y b) *Mu Meter*, para el sentido de venida. 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*.

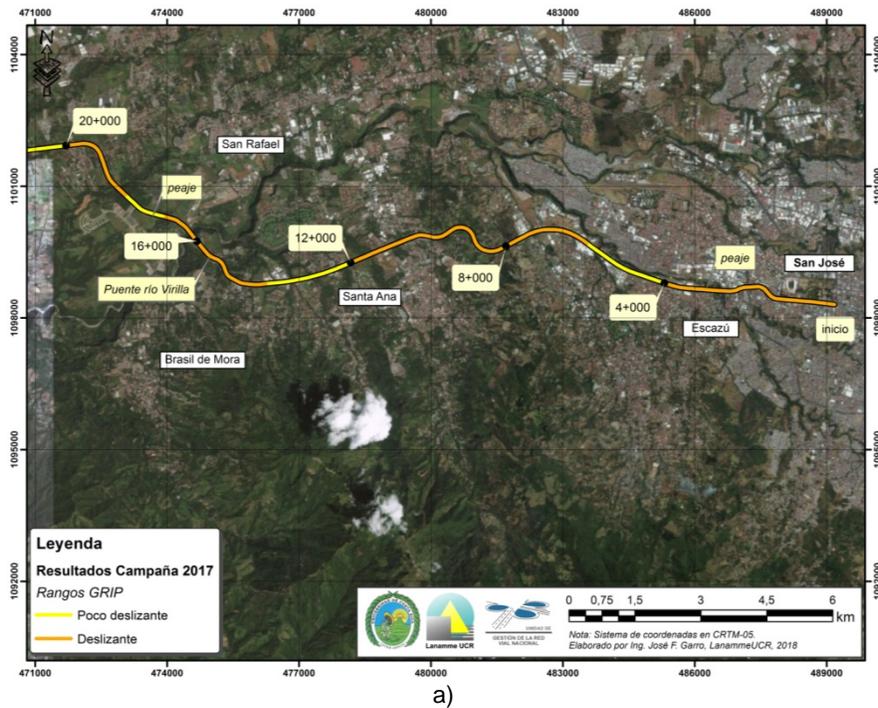
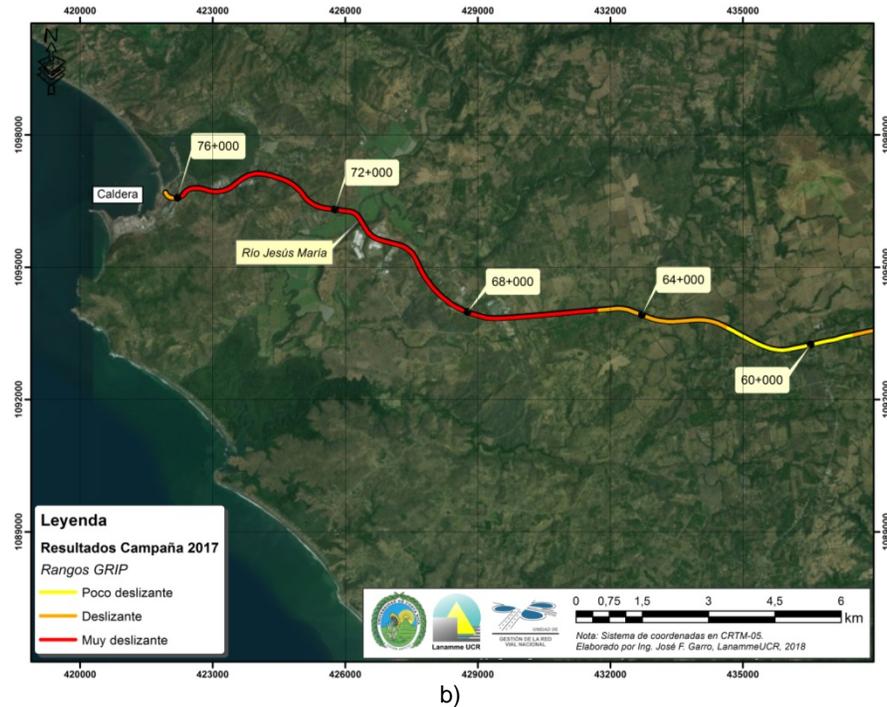


Figura 13: Ubicación de tramos con valores de fricción de poco deslizante a muy deslizante. a) sentido San José - Caldera



(continuación Figura 13): b) sentido Caldera - San José

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

3.3c. Análisis general de resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento.

Para el caso del *MuMeter*, se utilizan los valores límites indicados en el contrato⁵, donde se indica que para pendientes mayores del 6% y en intersecciones, el valor mínimo es de 0,55; y para tramos rectos con pendientes menores al 6%, el valor mínimo es de 0,45⁶. Observando los resultados, alrededor del 4% de la longitud de la troncal principal no cumple con los parámetros que se indican en el contrato para este indicador.

Por su parte, los resultados obtenidos con el *GripTester* revelan que alrededor del 37% de la longitud de la ruta en el sentido San José – Caldera presenta condiciones deslizantes, mientras que un 39% de la longitud en el otro sentido se encuentra en dicho rango. Con esto, se revela la limitación que tiene el *MuMeter* al medir los niveles de agarre en proyectos viales.

⁵ Contrato 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 valores no son válidos desde el punto de vista técnico, ya que este equipo no se ve afectado por los cambios de pendiente de la carretera.

Por último, y como complemento a las Notas Q obtenidos con el FWD y el IRI, se utilizan los resultados obtenidos en la prueba del *GripTester* para establecer el tipo de intervención a realizar, para aquellos tramos con notas de calidad bajas (Q1 a Q3).

3.4 Análisis de Notas de Calidad Q, troncal principal, años 2017 – 2018

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 14). Los resultados muestran de manera general una superficie en buenas condiciones tanto desde el punto de vista estructural como funcional, dado que en ambos sentidos un 95% de su longitud se encuentra en las notas Q1 a Q3. Sin embargo, resalta un 3% de longitud que presenta nota Q8 en el sentido San José – Caldera, tramo que se caracteriza por valores de deflectometría altos, o lo que es lo mismo, una estructura de pavimento que ha sufrido disminución en su capacidad de soporte de cargas.

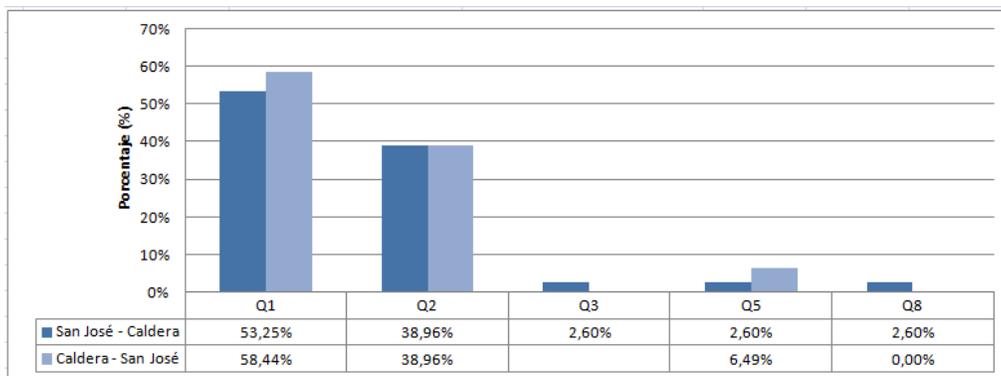
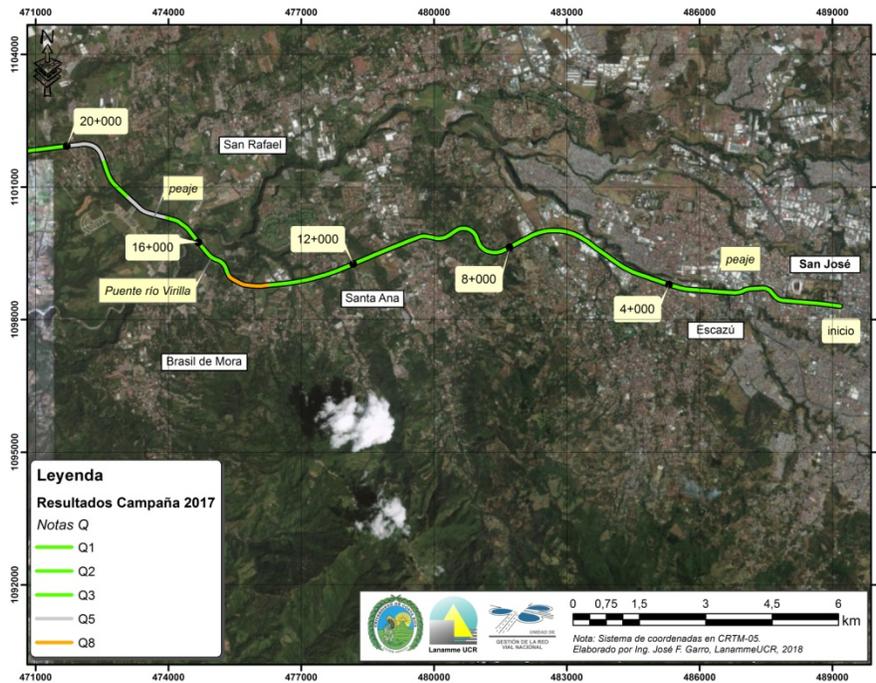
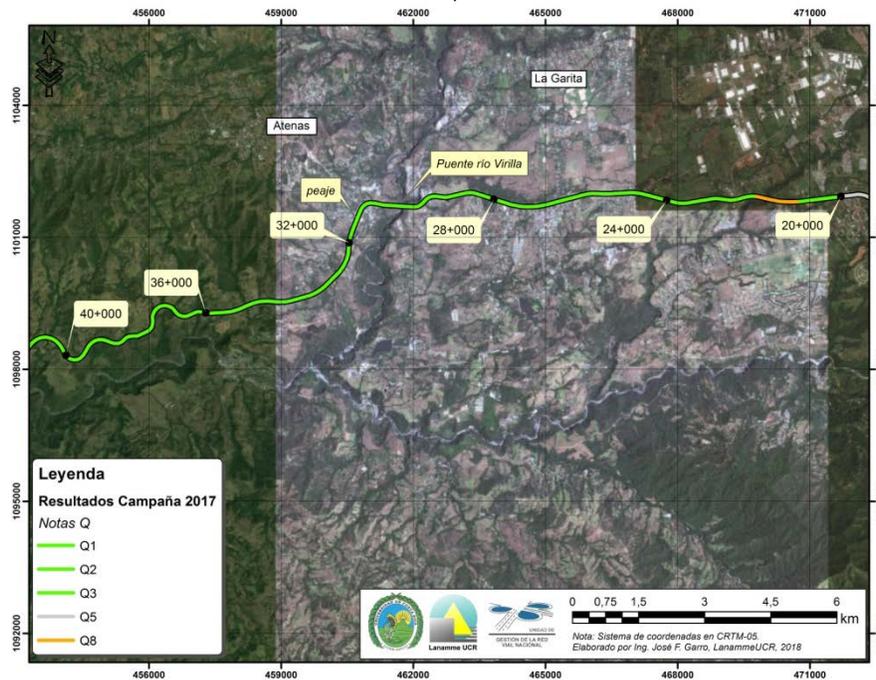


Figura 14: Distribución de las Notas de Calidad Q para la troncal principal para ambos sentidos

En la Figura 15 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.



a)



b)

Figura 15: Ubicación de tramos con Notas de Calidad entre Q1 - Q3, Q5 y Q8, en las cercanías del peaje de San Rafael de Alajuela, sentido de ida.

Debido a los bajos niveles de agarre que presenta un porcentaje importante de la longitud del proyecto (ver Sección 3.3 *Resultados del Coeficiente de Rozamiento*), las *Estrategias de Intervención* a 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 16.

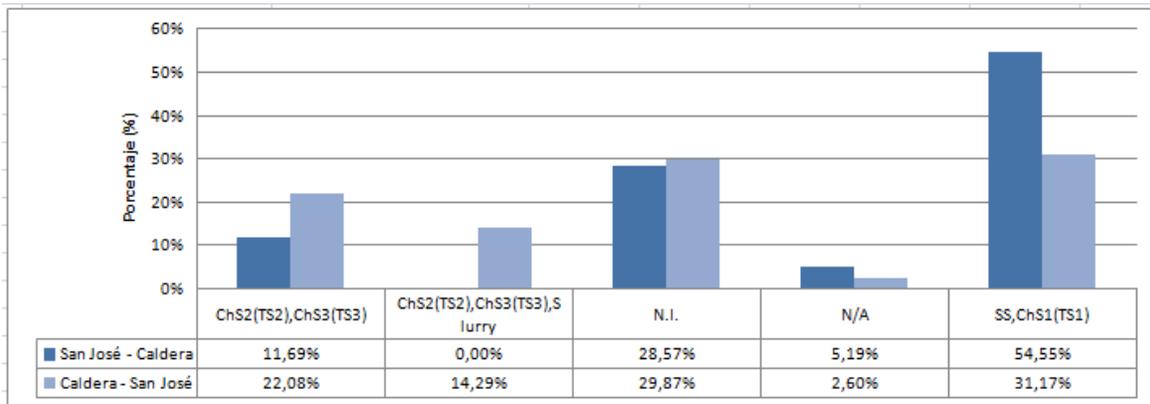


Figura 16: Distribución de las labores de rehabilitación en porcentajes, en la troncal principal, para ambos sentidos.

3.5 Comparación de indicadores en la troncal principal, años 2012 al 2017

3.5a. Evaluación con el Deflectómetro de Impacto

La Figura 17 muestra el comportamiento de la ruta en su condición estructural, sentido de ida San José – Caldera, para las últimas 6 campañas de evaluación. Por su parte, la Figura 18 muestra los resultados en el sentido de venida, para las mismas campañas. Debido a que las longitudes evaluadas entre campañas varían en menos del 1%, los resultados son comparables.

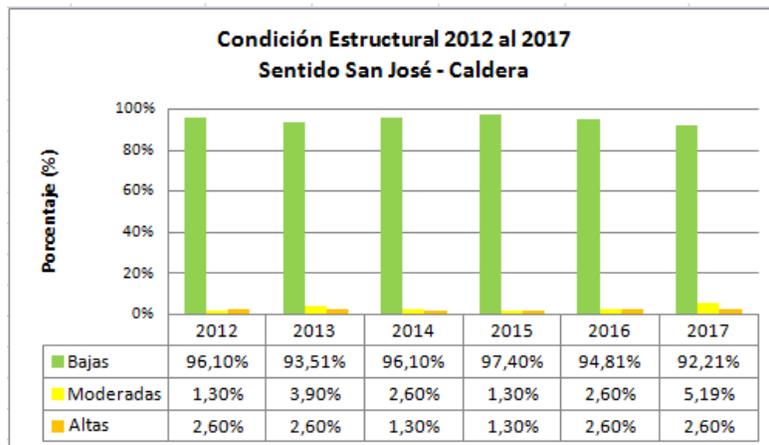


Figura 17: Resultados obtenidos en la evaluación de las deflexiones del pavimento para las campañas 2012 al 2017, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27

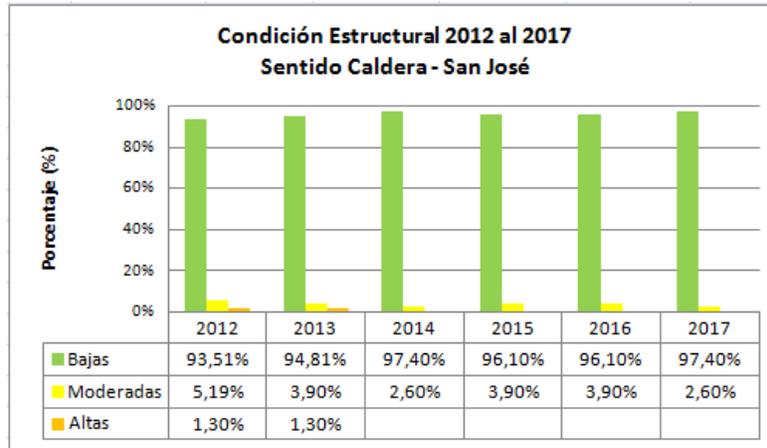


Figura 18: Resultados obtenidos en la evaluación de las deflexiones del pavimento para las campañas 2012 al 2017, sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27

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 capacidad estructural se ha mantenido estable en el tiempo. En el sentido de ida, los porcentajes de longitud en las categorías *moderada* y *alta*, se han mantenido aproximadamente similares, mientras que en el sentido de venida, dichos rangos han ido en disminución. 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), el paquete estructural va perdiendo resistencia, producto del fenómeno conocido como fatiga o pérdida de capacidad de soporte de las capas mismas. De ahí la importancia de este parámetro, con el que es posible programar estrategias de intervención, cuando se alcance un umbral en dicha capacidad.

3.5b. Evaluación con el Perfilómetro Láser

Del estudio de las Figuras 19 y 20, se observa un aumento constante en la categoría *regular*, con la consiguiente disminución en la categoría *buena*, esto para ambos sentidos de la ruta. Desde el año 2012, hasta la presente evaluación, aproximadamente un 20% de la longitud de la ruta ha entrado en esta categoría, con el detrimento tanto para los usuarios, como para la ruta misma (al acelerarse la incidencia de deterioros sobre la superficie de la misma). De nuevo, la longitud evaluada en estas 6 campañas varía en menos del 1%, por lo que los datos son comparables.

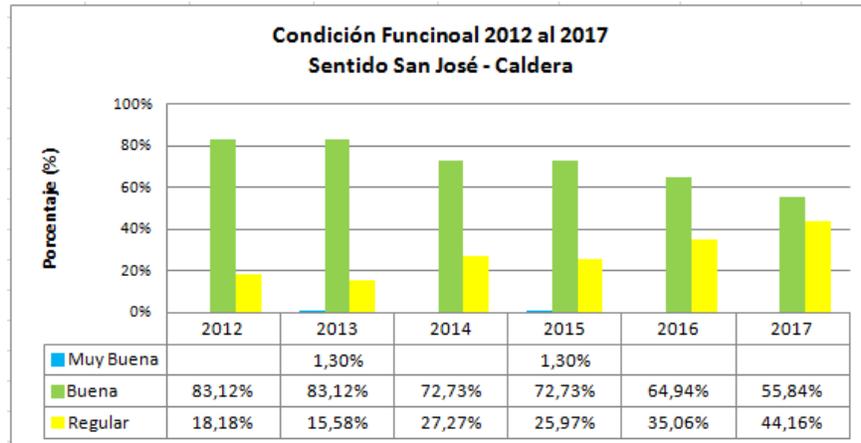


Figura 19: Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento para las campañas 2012 al 2017, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27

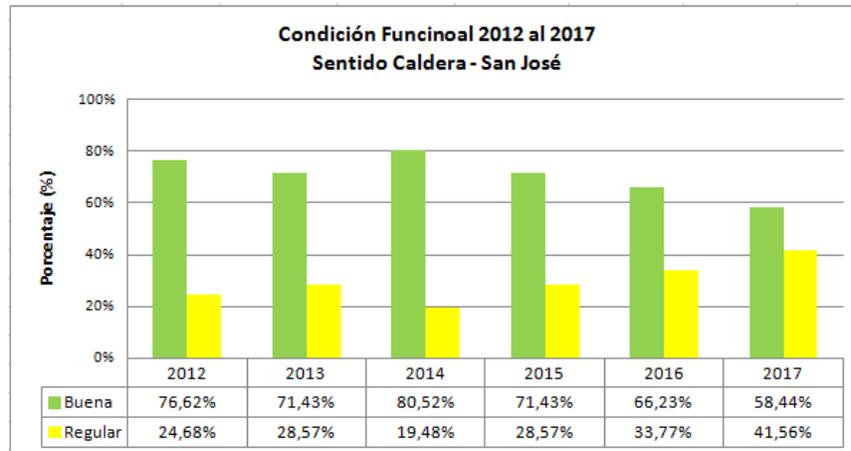


Figura 20: Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento para las campañas 2012 al 2017, sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27

3.5c. Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial

Las Figuras 21 y 22 presentan los resultados obtenidos en las campañas de evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial *GripTester*, realizadas en los años 2012 al 2017 para cada uno de los sentidos de la Ruta Nacional 27.

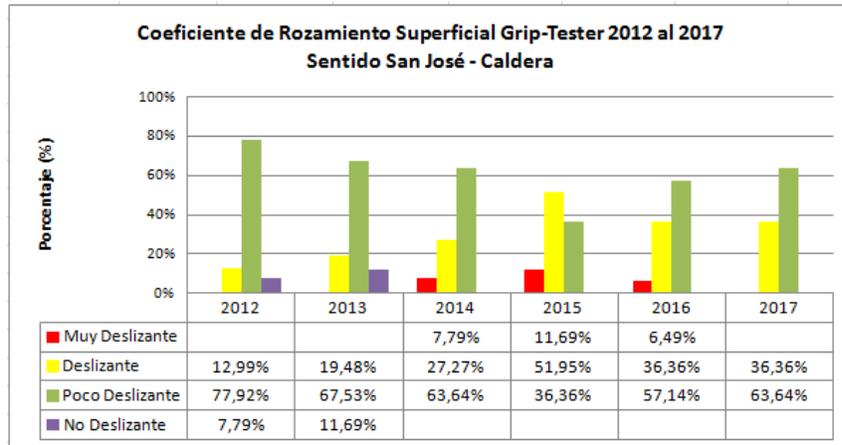


Figura 21: Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2012 al 2017, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27

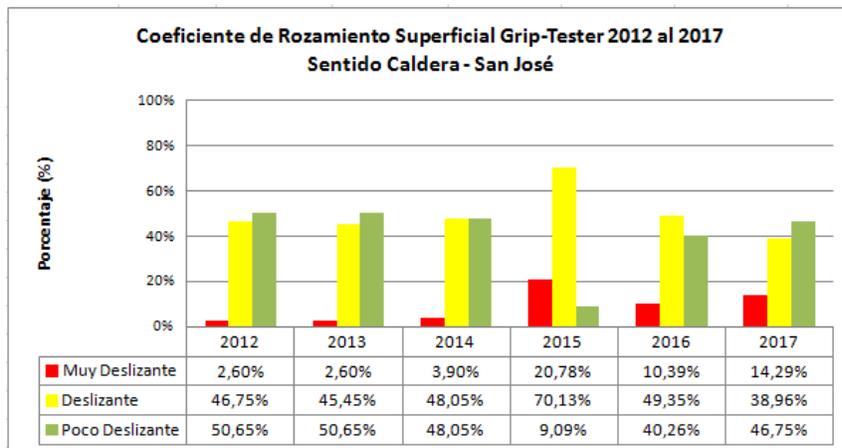


Figura 22: Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2012 al 2017, sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27

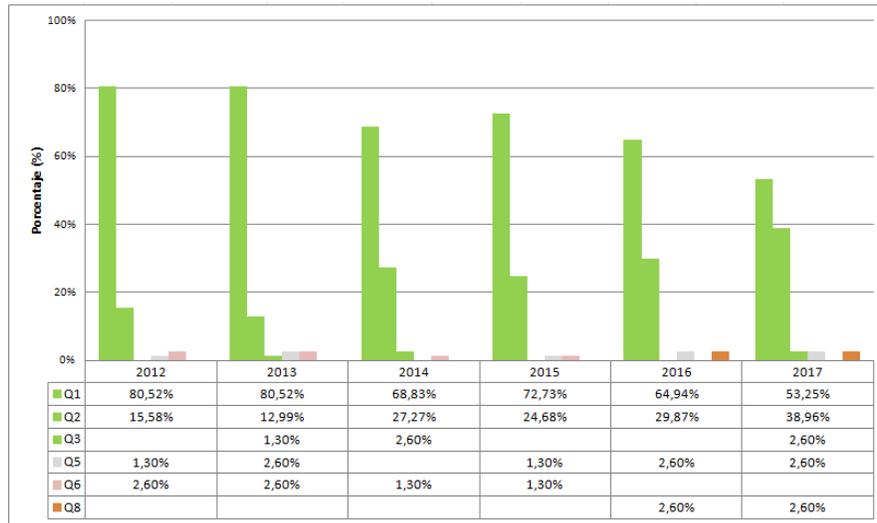
Mientras que en el sentido de ida se ha venido dando una mejora constante en este parámetro (en la campaña actual no se detectaron tramos en la categoría “*muy deslizante*”, mientras que aumentó la longitud en la categoría “*poco deslizante*”), en el sentido de venida los resultados indican un aumento de un 4% en la longitud de esta categoría “*muy deslizante*” con respecto a la campaña anterior.

3.6 Comparación de las notas Q obtenidas para la Ruta 27, años 2012 al 2017

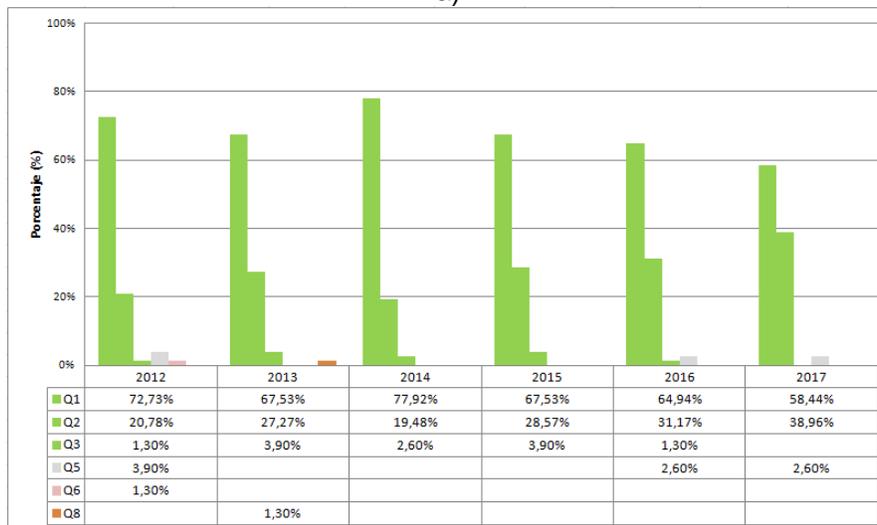
Por medio de la utilización de la metodología para el cálculo de las Notas de Calidad Q, el LanammeUCR introduce un indicador de condición del proyecto, que permite evaluar la evolución del deterioro del corredor en forma integral. Las Notas de Calidad Q ponderan la condición estructural y la condición 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 23).



a)



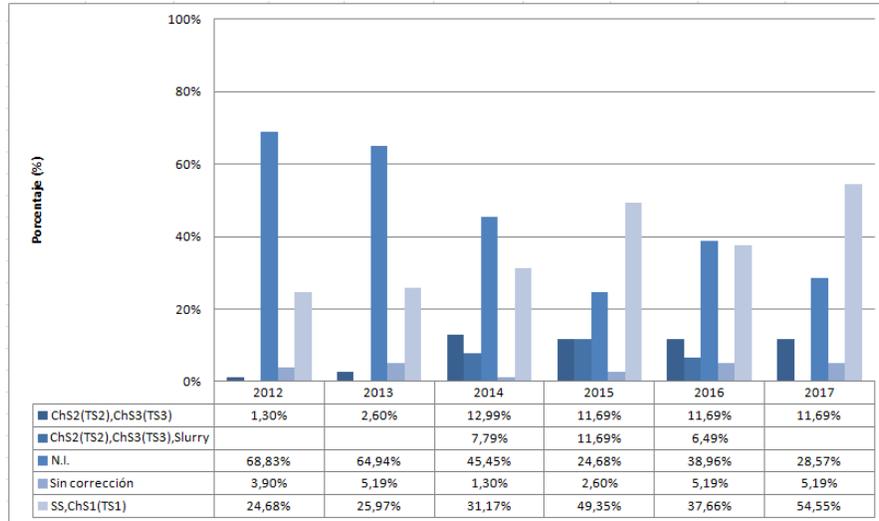
b)

Figura 23: Resultados obtenidos en la comparación de Notas Q para las campañas 2012 al 2017, para el sentido a) San José - Caldera y b) Caldera - San José

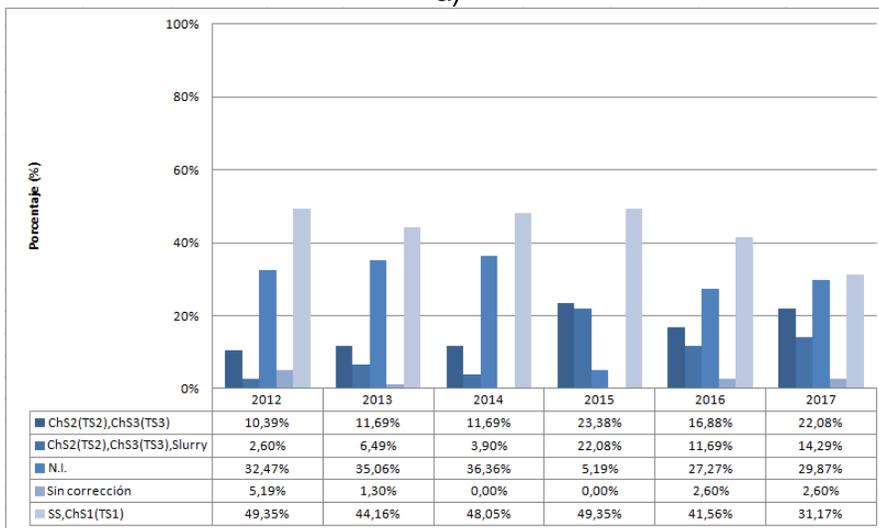
Correspondiendo con los resultados obtenidos en las evaluaciones estructural y funcional, se ha dado una disminución constante de la longitud del proyecto con nota de calidad Q1, evolucionando hacia las notas Q2 y Q3. Si bien esto indica que el proyecto como tal presenta buenas condiciones generales, esta tendencia podría generar tramos con peores notas en evaluaciones futuras.

En el sentido de ida, existe un pequeño porcentaje de su longitud (aproximadamente 5%) con notas Q5 y Q8. Estos porcentajes se mantienen desde la evaluación del año 2016 – 2017, y geográficamente se localizan en sitios similares. Caso similar sucede en el sentido de venida, donde se conserva el porcentaje de ruta con nota de calidad Q5.

Con respecto a las estrategias de intervención, la comparación de resultados entre evaluaciones desde el año 2012 se muestra en la Figura 24.



a)



b)

Figura 24: Resultados obtenidos en la comparación de estrategias de intervención para las campañas 2012 al 2017 en ambos sentido de circulación

Estas estrategias están definidas con el objeto de mejorar las condiciones generales de la ruta, cuando se analiza por tramos. Del análisis de esta última figura, se concluye que para el sentido de venida, las estrategias a aplicar son cada vez más



agresivas, lo cual va en concordancia con los resultados obtenidos, especialmente en el parámetro de agarre superficial. De no realizarse intervenciones oportunas, se expone al usuario a una ruta con un índice de servicio menor al que debería dar una obra de esta naturaleza.

3.7 Análisis de la condición superficial. Evaluaciones realizadas en julio del 2017

3.7a. Equipo utilizado y criterios de clasificación

Los detalles del *Equipo de Imágenes Georeferenciadas* 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). Los criterios de severidad que se utilizaron para la realización de esta evaluación, se establecen de acuerdo a lo definido en la norma ASTM *D6433* para deterioros superficiales en pavimentos flexibles, y el *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos para Profesionales*. Al contar con la información obtenida en el periodo 2011 - 2017 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.

Por su parte, existen elementos presentes en todo tramo de ruta, que requieren de mantenimiento constante para garantizar la seguridad vial de los usuarios y sus vehículos. En este aspecto, las barreras de contención son elementos que ayudan a disminuir la gravedad de los accidentes, al evitar que los vehículos se salgan de la vía e impacten elementos cercanos, como postes, árboles, cabezales de alcantarillas, etc. Por tanto, para este informe de evaluación, se han identificado, referenciado y fotografiado las barreras de contención laterales, comúnmente conocidas como *Flex Beam*, que se encuentran en condiciones tales que no garantizan la seguridad operacional de la ruta. Además, se realiza una comparación de la condición de estas barreras en los años 2016 y 2017.

3.7b. Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales.

En la Figura 25, se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de deterioros realizada en la troncal principal en el sentido San José – Caldera. En total, se registraron 16.933 m² afectados por deterioros tipo área que representa 4.29% del área total, y 1.390 m de deterioros tipo grieta que presenta aproximadamente un 1.17 % de la longitud total. En dicha figura, se ilustran los resultados en porcentajes relativos a dichos totales.

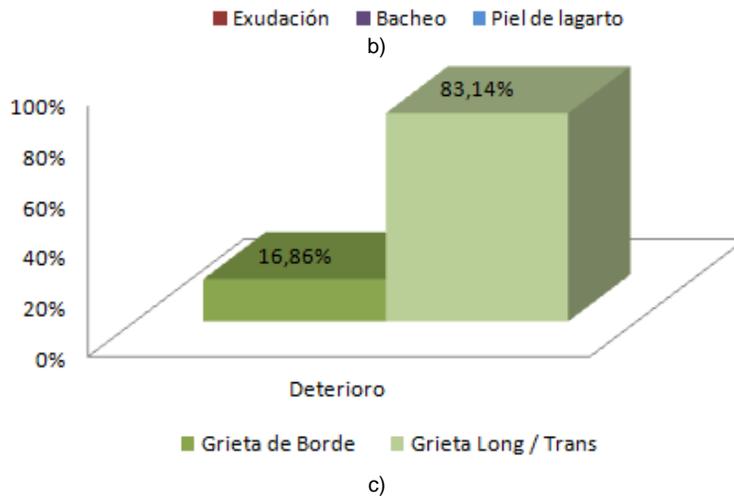
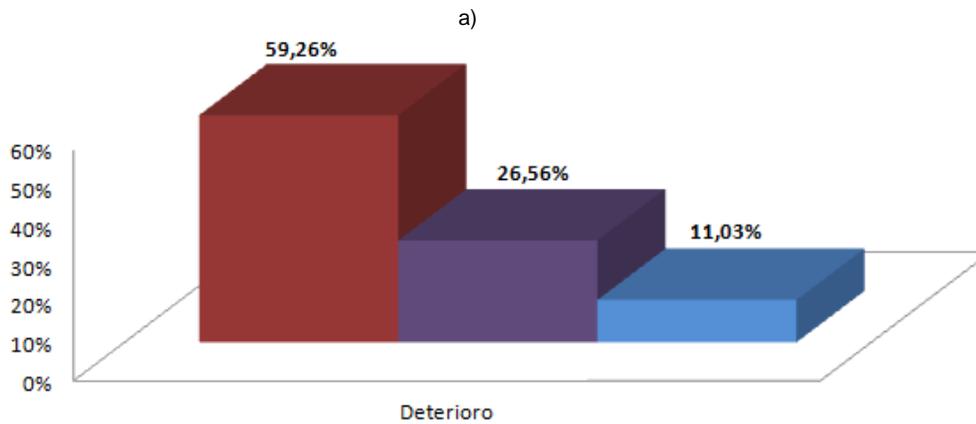
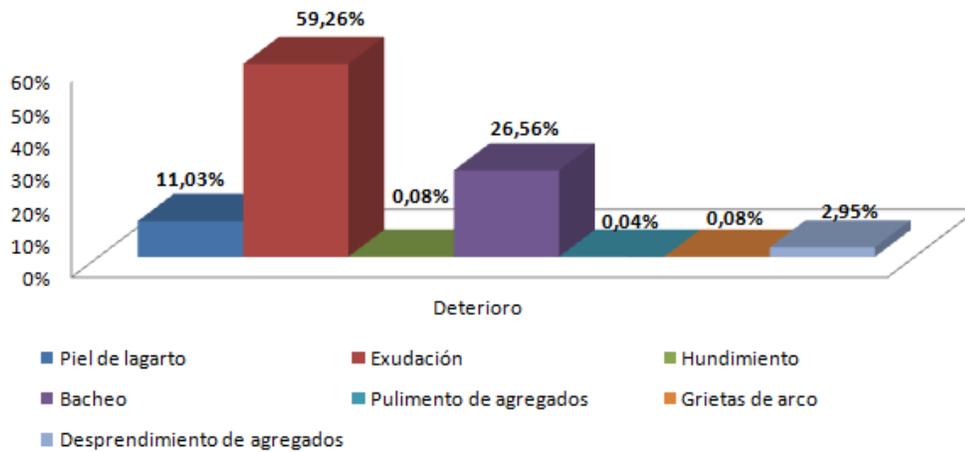


Figura 25: Resultados de deterioros, sentido San José – Caldera.
a) Resumen general de deterioros, b) Deterioros con mayor área, c) Deterioros de grietas.

Como se observa, el deterioro tipo *exudación* representa más de la mitad del área para estos tipos de deterioros, seguido por el *bacheo* y *piel de lagarto*. Se debe recalcar

que el cartel de licitación para este proyecto, en el apartado 2.5.2 *Indicadores para Pavimento Asfáltico*, indica claramente que la exudación como tal es inaceptable; además, es sabida la relación entre este deterioro y los bajos niveles de agarre de una superficie de ruedo. Para el caso de los deterioros tipo grieta, la mayoría son del tipo longitudinales/transversales, con un bajo porcentaje del tipo grietas de borde. Se debe indicar que estos resultados se contrastaron con varias giras realizadas entre los meses de junio y julio del presente año, donde varios sitios con deterioros fueron reparados.

En la Figura 26 se muestra los resultados para el sentido de venida. El área afectada por deterioros es de 13.664 m² que representa un 3,28% del área total en este sentido, y para los tipo grieta se detectaron 1.488 m afectados que representa 1.25% aproximadamente de la longitud total.

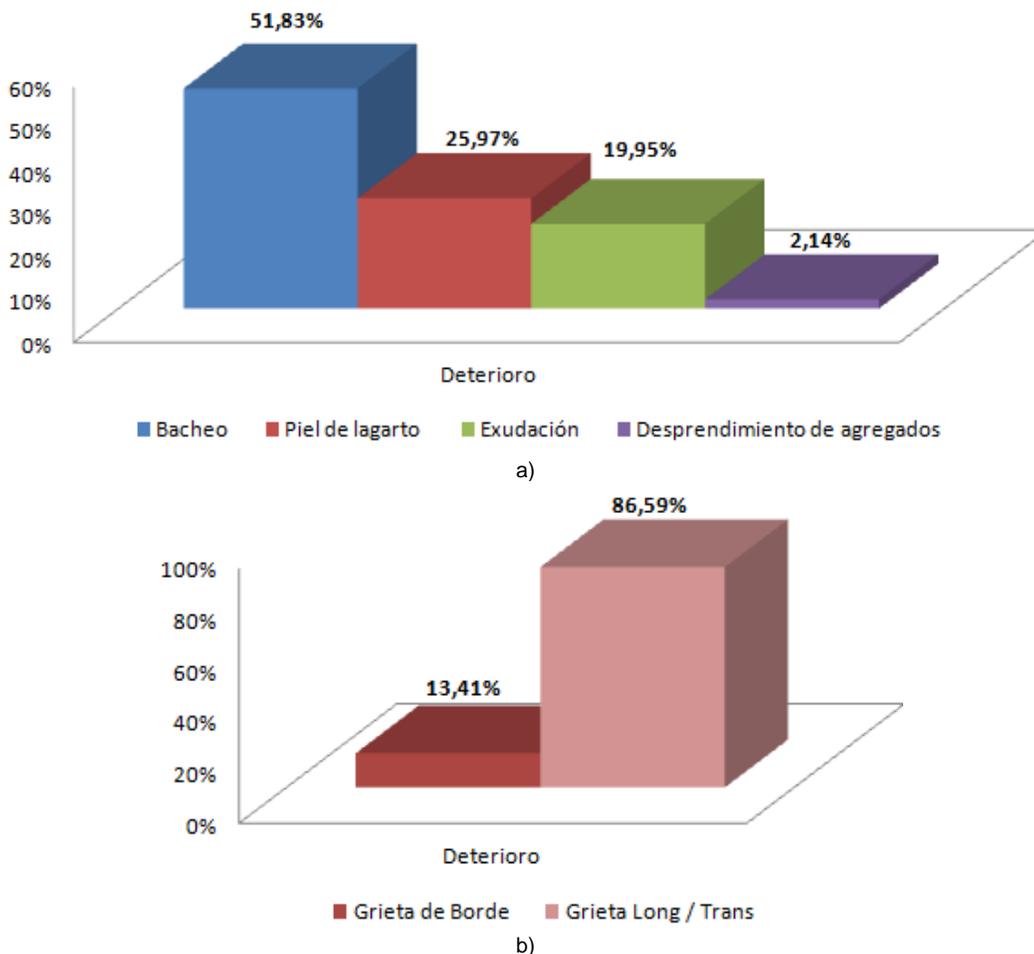
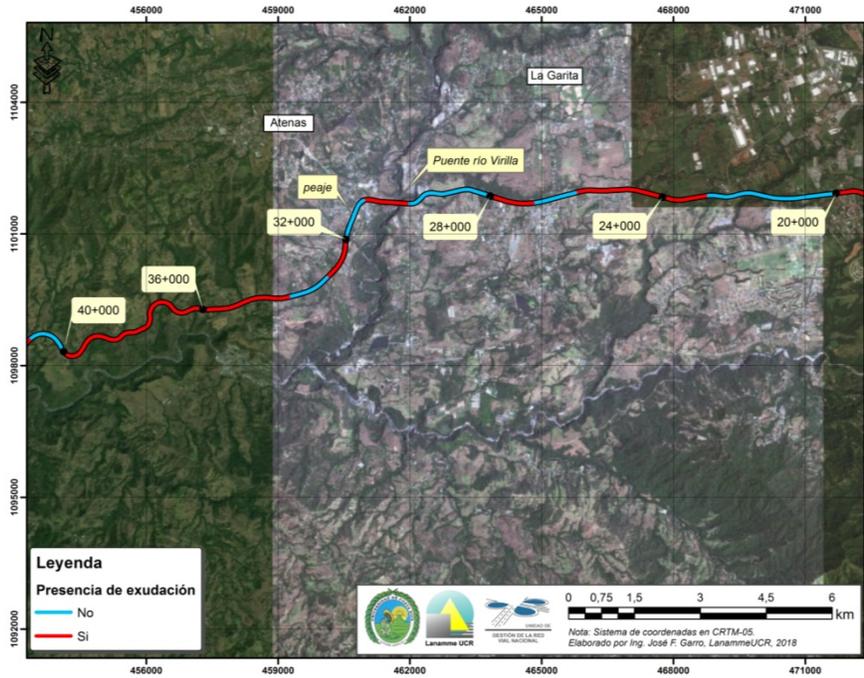


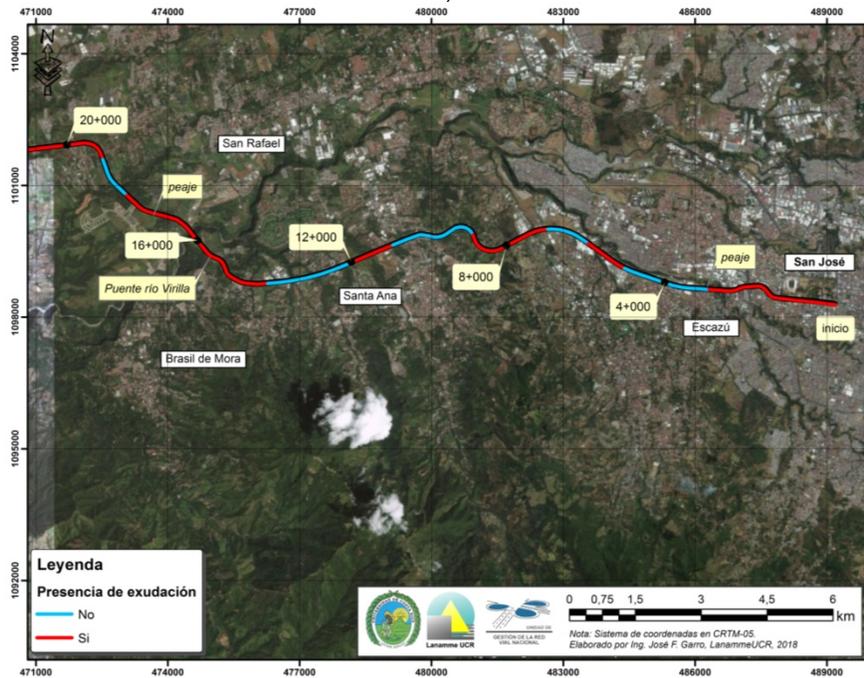
Figura 26: Resultados de deterioros, sentido Caldera - San José.
a) Resumen General de deterioro, b) Resumen deterioros de grietas.

En este caso, el bacheo es el deterioro más extendido, seguido por piel de lagarto y la exudación. Similar al sentido de ida, en el tema de deterioros tipo grietas, las grietas

longitudinales/transversales son las que dominan por sobre las de borde. La Figura 27 muestra algunos mapas con ubicación de tramos con deterioros, para la ruta evaluada.



a)



b)

Figura 27: Ubicación de tramos con presencia de exudación.
a) sentido San José - Caldera, b) Caldera - San José

En el tema de las barreras laterales, se detectaron los sitios donde éstas muestran deformaciones debido a impactos: en total 17 en el sentido de ida, 16 en el de venida. En una de las giras de validación realizadas en agosto, 5 de los 17 puntos en el sentido de ida habían sido reparados, mientras que se detectó uno nuevo en el est. 5+950; para el sentido de venida, 4 sitios fueron reparados, mientras que se detectaron nuevos problemas en los est. 20+600, 21+400 y 24+800. Ejemplos de los problemas encontrados se muestran en la Figura 28; la Figura 29 muestra la ubicación de algunos sitios con barreras impactadas. En el Anexo V se muestra la totalidad de sitios con deterioros encontrados para esta evaluación; mientras que en el Anexo VI se muestran la totalidad de sitios con guardavías impactados, detectados en esta evaluación.

Es importante mencionar que al comparar los sitios con barreras impactadas de la presente evaluación, con aquellos obtenidos en la evaluación de los años 2016 – 2017, no existe coincidencia, lo que indica que los mismos fueron reparados en el periodo entre evaluaciones.



San José - Caldera Est. 8+795
a)



Caldera - San José Est. 40+680
b)

Figura 28: Ubicación de Guardavías impactadas

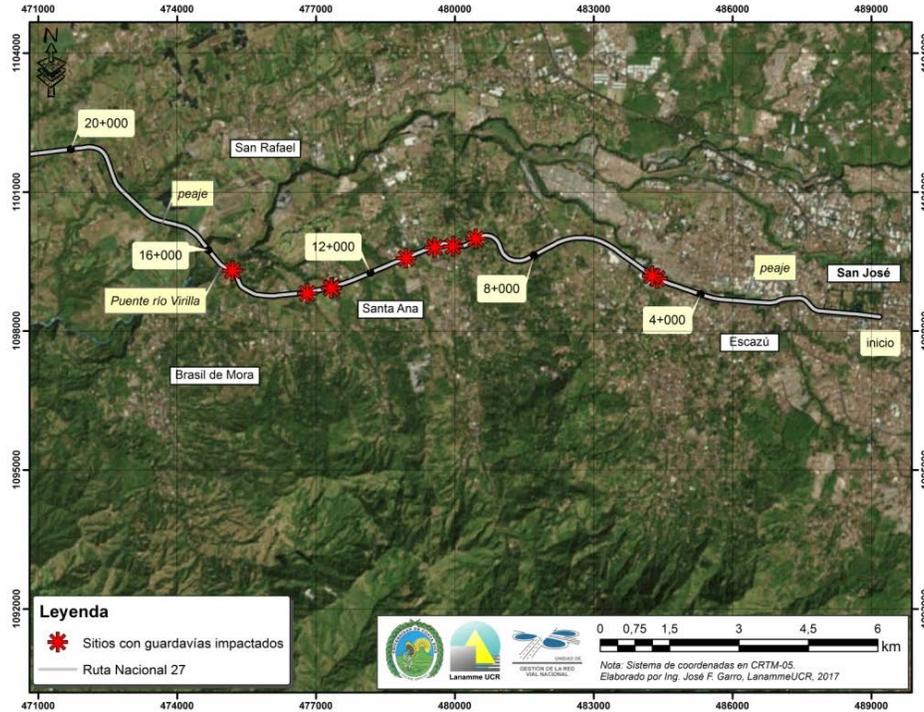


Figura 29: Ubicación de tramos con barreras laterales impactadas.

3.7c. Comparación de resultados entre los años 2014 - 2017 de la evaluación visual de deterioros superficiales.

En la Figura 30 se muestra la comparación para las últimas 4 evaluaciones, en el tema de deterioros, para el sentido de ida San José – Caldera. En los de tipo *área*, se ha dado un incremento constante en la superficie afectada, mientras que los de tipo *grieta* han arrojado resultados aproximadamente similares en las últimas 2 campañas de evaluación, que al compararse con las campañas 2014 & 2015, se deriva un crecimiento acelerado: de seguirse la tendencia, es posible en el corto plazo alcanzar los porcentajes máximos fijados en el cartel de licitación, Cláusula 2.5.2 *Indicadores para Pavimento Asfáltico* en el inciso c) *Agrietamiento (%)*.

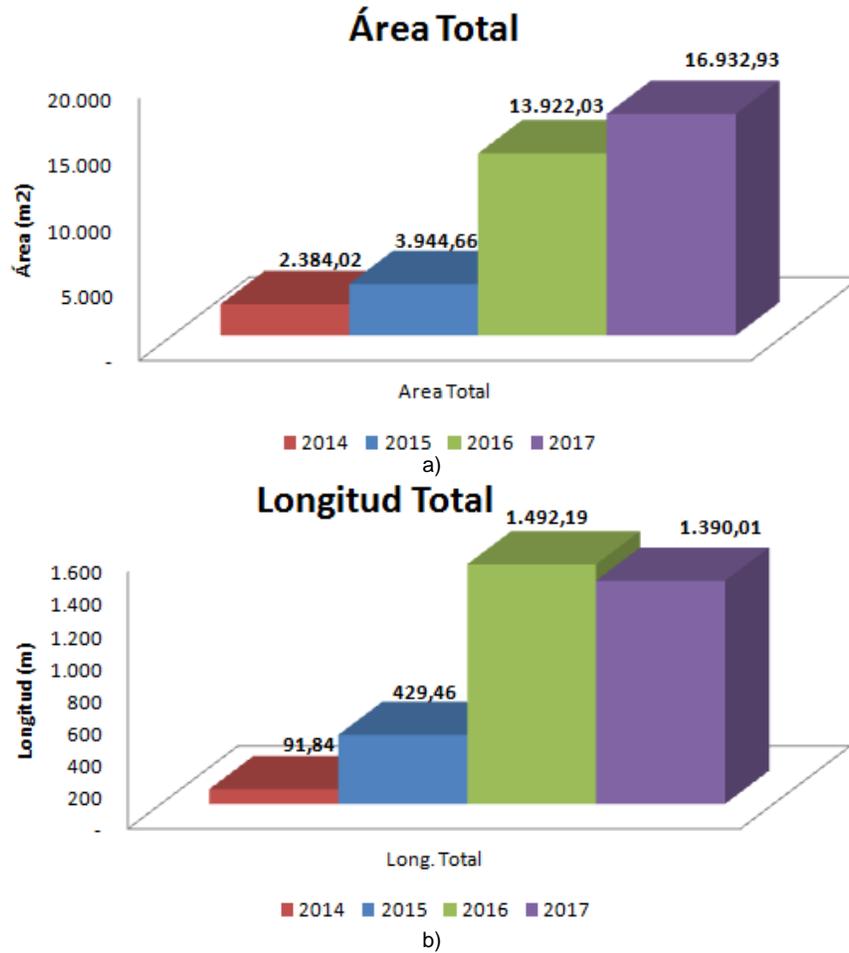
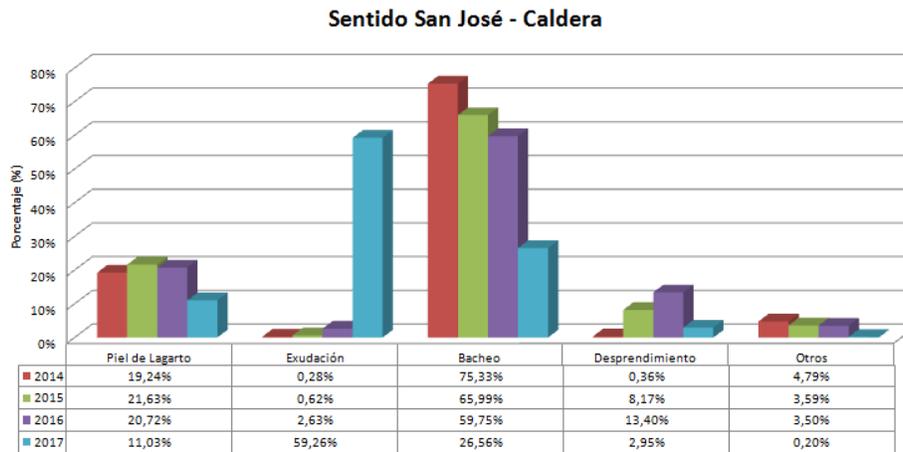
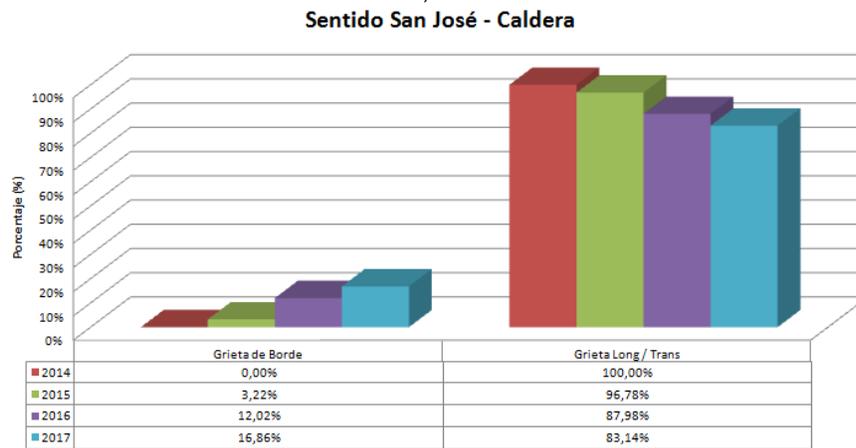


Figura 30: Comparación deterioro superficial 2014 al 2017 en el Sentido San José - Caldera.
a) Deterioros tipo área; b) Deterioros tipo grieta

Al desglosar los deterioros por tipo (Figura 31), excepto por la *exudación*, los demás deterioros tipo área han disminuido su área relativa con cada evaluación (Figura 31a). En los tipo grieta (Figura 31b), las grietas de borde han ido ganando porcentaje de manera constante.



a)



b)

Figura 31 Comparación deterioro superficial 2014 al 2016 en el Sentido San José - Caldera.
a) Deterioros tipo área; b) Deterioros tipo grieta

Lo presentado anteriormente, fue el análisis para el sentido de ida. En el sentido de venida, se realiza un análisis similar: la Figura 32 muestra los resultados obtenidos en la afectación de la superficie de ruedo por deterioros, para las últimas 4 campañas de evaluación. Para los deterioros tipo *área*, existe un incremento importante entre los años 2015 a 2016, la cual se mantiene aproximadamente constante en esta última evaluación. Caso contrario para los tipo *grieta*: mientras que entre las campañas 2015 y 2016 se obtuvieron resultados similares, para la última los resultados aumentaron en un factor de casi 6.

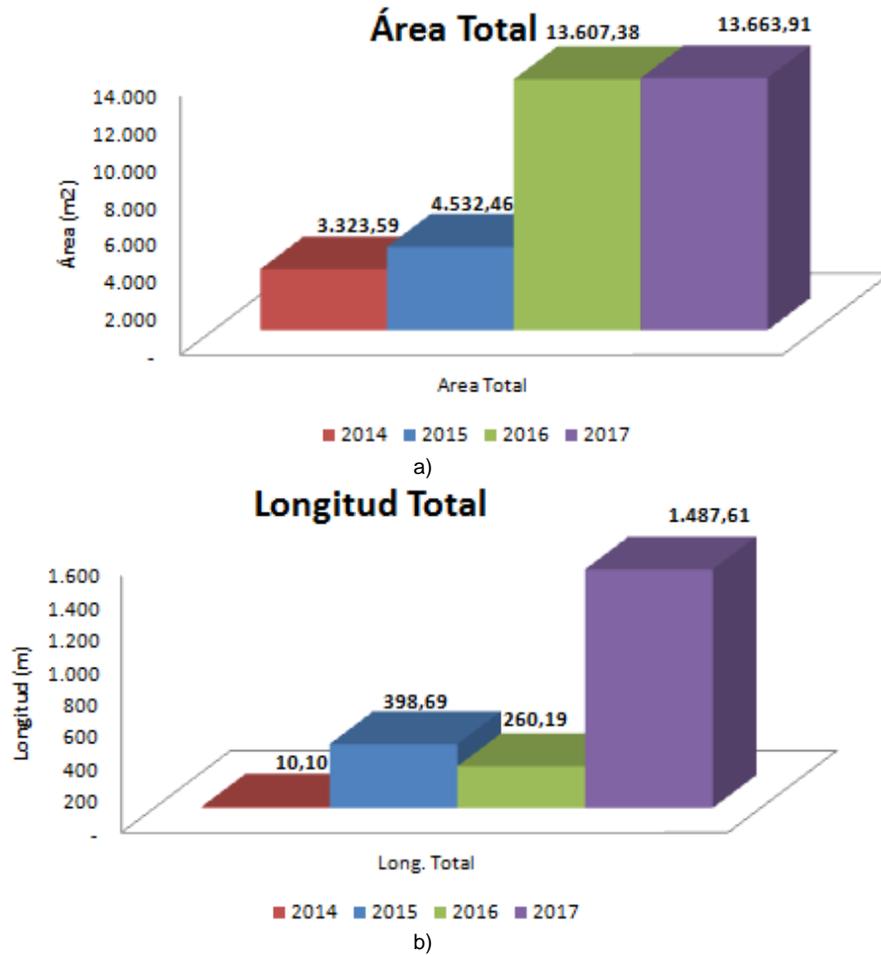
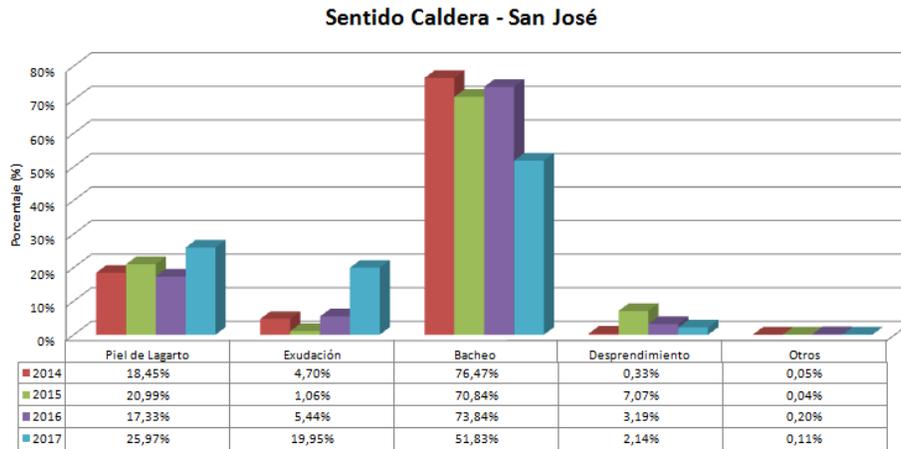
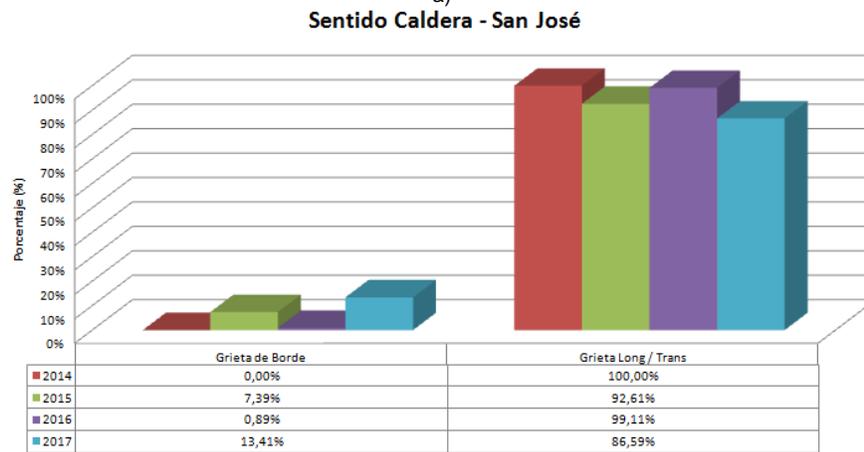


Figura 32: Comparación deterioro superficial 2014 al 2017 en el Sentido Caldera - San José.
a) Deterioros tipo área; b) Deterioros tipo grieta

Al realizar el desglose por tipo de deterioro, tanto el tipo *piel de lagarto*, como especialmente la *exudación* (Figura 33a) han aumentado en esta última evaluación, al compararlos con el *bacheo* y el *desprendimiento*. Por su parte, las grietas de borde (Figura 33b) aumentaron desde la campaña 2016, en relación con las grietas longitudinales y transversales.



a)



b)

Figura 33: Comparación deterioro superficial 2014 al 2017 en el Sentido Caldera - San José.

a) Deterioros tipo área; b) Deterioros tipo grieta

4. EVALUACIÓN DE LAS RADIALES

4.1 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 Turrucars: conecta la Ruta 27 en el estacionamiento 26+350 con el poblado de Turrucars 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.

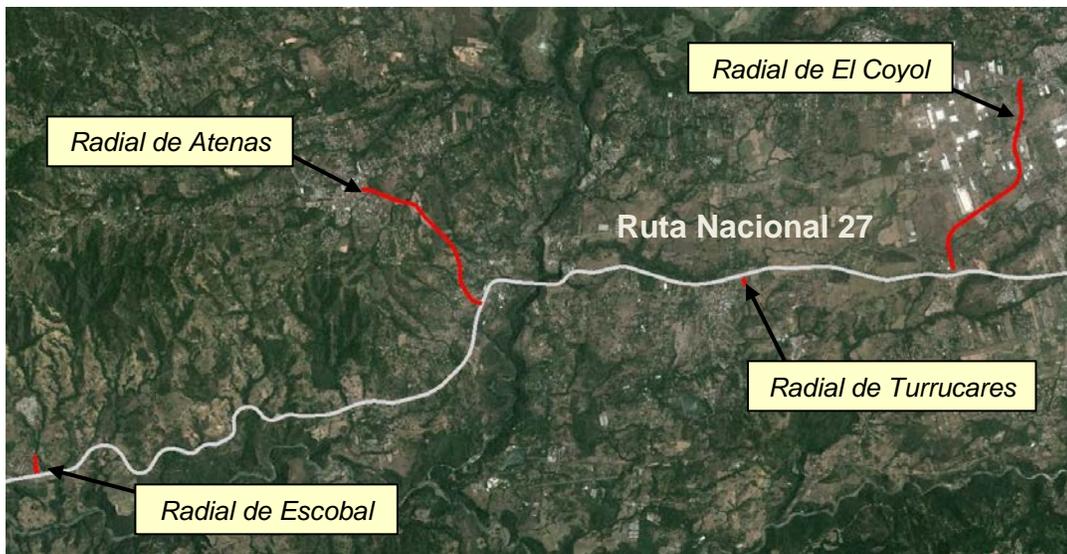


Figura 34: Ubicación de las radiales en la Ruta Nacional 27.

Como parte de la Campaña de Evaluación 2017–2018 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.

4.2 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, 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.

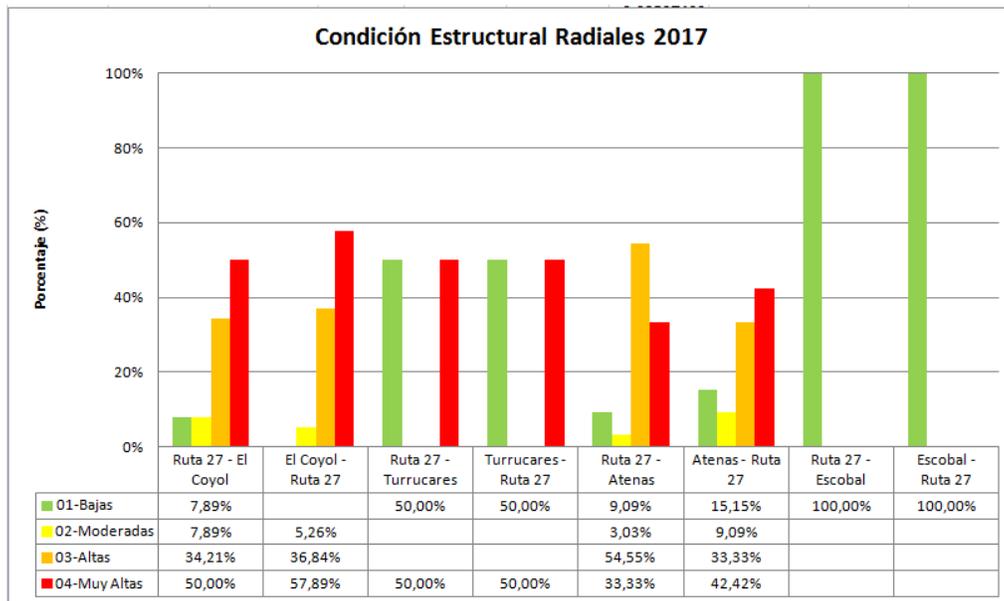


Figura 35: Resultados obtenidos con el Deflectómetro de Impacto, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada categoría.

Analizando la Figura 35, las 2 radiales más largas del proyecto (Atenas y El Coyoil), son las que presentan los valores más altos de deflexiones, indicando una capacidad estructural deficiente. Por su parte, la de Escobal presenta deflexiones bajas en toda su longitud.

4.3 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.

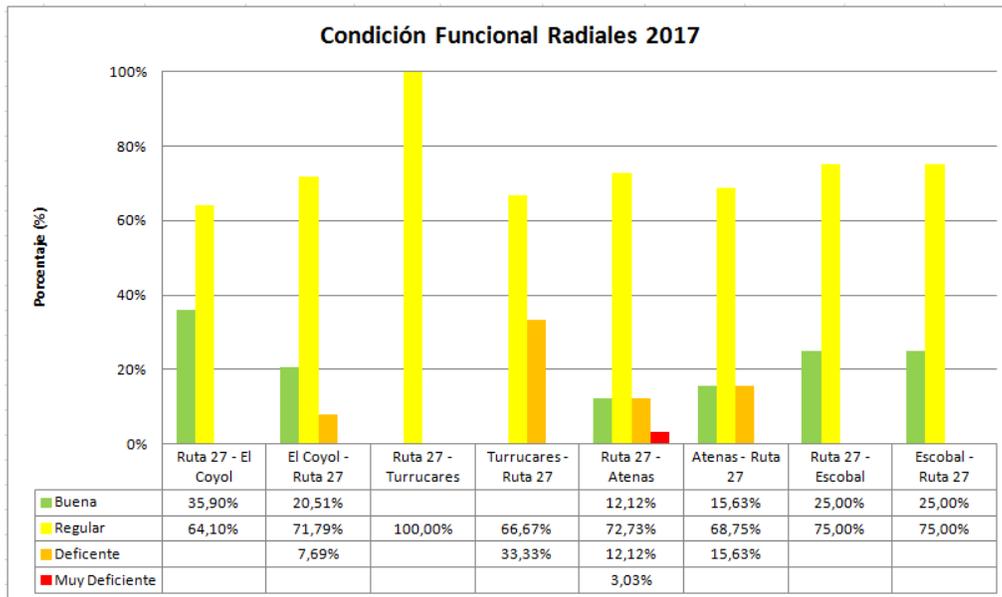


Figura 36: Resultados obtenidos con el Perfilómetro Láser, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.

Como se observa, la mayor parte de la longitud de cada radial se encuentra en la categoría de *regular*. La radial de Atenas, presenta además una longitud importante en el rango de *deficiente* y *muy deficiente*.

4.4 Resultados obtenidos: Coeficiente de Fricción

Las Figuras 37 y 38 muestran los resultados obtenidos en la evaluación de agarre superficial, con los 2 equipos usados también en la troncal principal (*GripTester*, *MuMeter*). Se puede observar que mientras en la evaluación con el *MuMeter*, sólo la radial a Turrúcares aparece con valores fuera de contrato, en la prueba con el *GripTester* se presenta un buen porcentaje de cada radial en categorías *deslizante* a *muy deslizante*, lo cual vuelve a señalar al *MuMeter* como un equipo no adecuado para medir el parámetro de la fricción superficial, en obras viales.

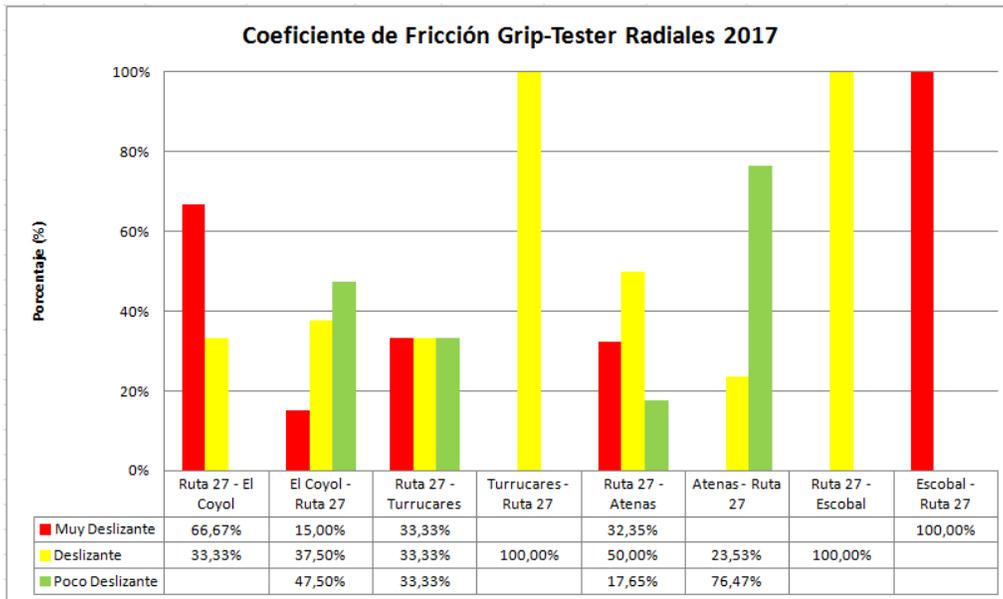


Figura 37: Resultados obtenidos con el Grip Tester, para las radiales del proyecto concesionado, en porcentajes para cada rango.

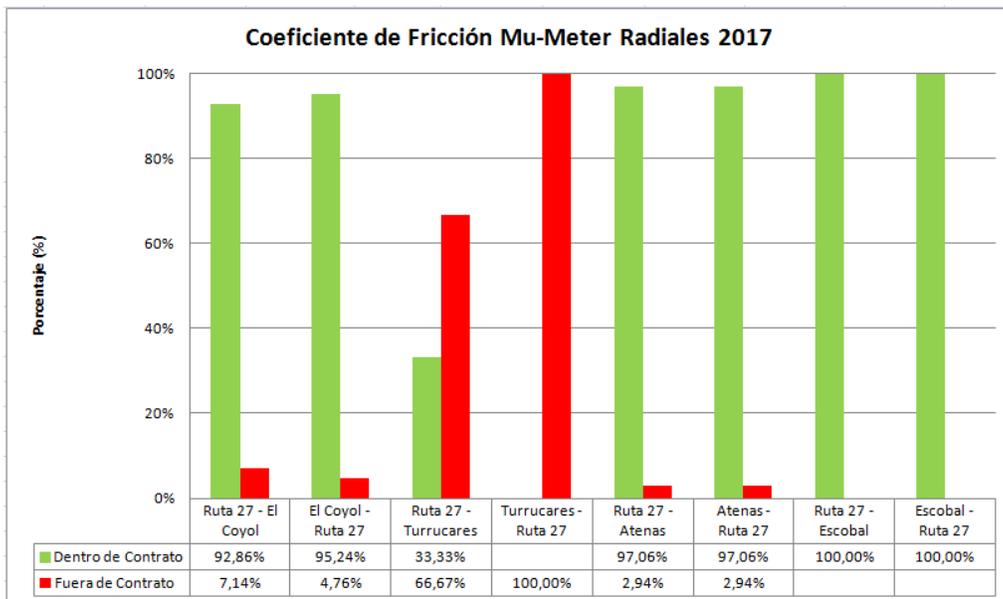


Figura 38: Resultados obtenidos con el Mu-Meter, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.

4.5 Notas de Calidad Q para las radiales

Con base en los resultados obtenidos en deflectometría, regularidad y agarre superficial, se procede a estimar las notas Q para cada radial (dividida en tramos de 100 metros de longitud para facilitar el análisis). Los resultados (Figura 39), muestran que, excepto por la radial a Escobal, las demás presentan porcentajes importantes de su longitud, con Notas Q altas y tramos que ameritan actividades de rehabilitación / reconstrucción.

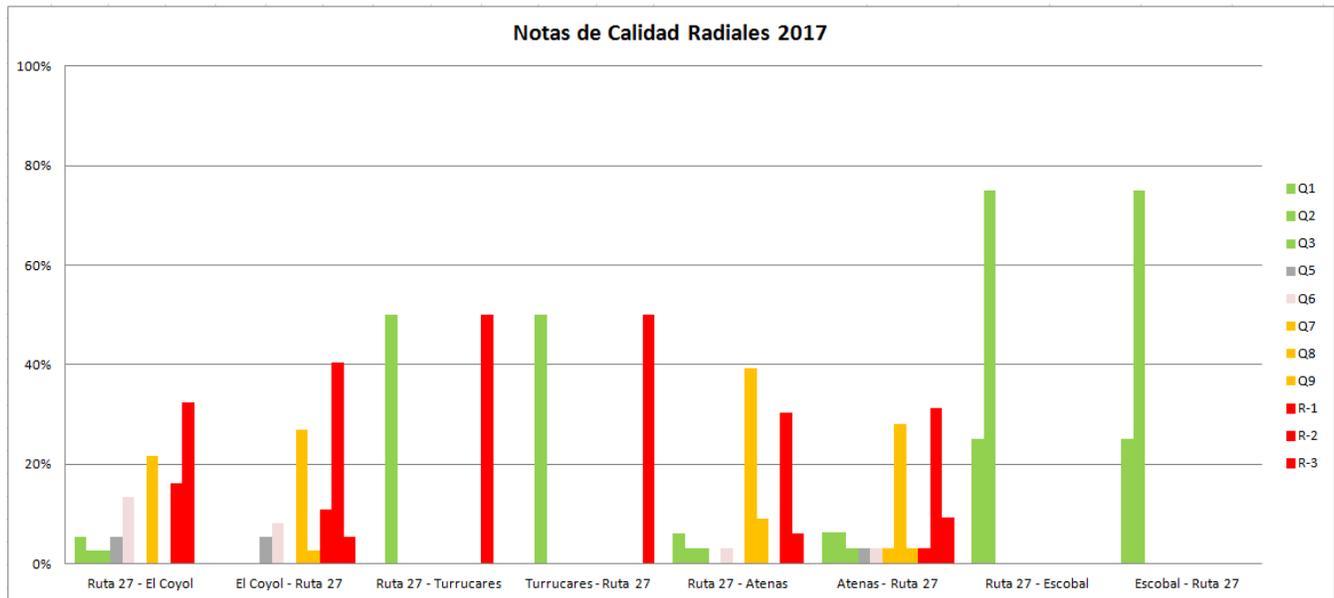


Figura 39: Notas Q para las Radiales.

4.6 Resultados obtenidos: análisis de deterioros superficiales

Con el *Equipo de Imágenes Georeferenciadas*, se realizó un levantamiento detallado de la superficie pavimentada de cada radial. Con esto, fue posible ubicar los deterioros en cada una, así como su extensión y severidad. Los resultados, mostrados en la Figura 40, indican que el deterioro del tipo *piel de lagarto* es el más extendido, seguido por la exudación y el bacheo. En dicha figura no aparece la radial de Escobal, dado que no presentó deterioros al momento de realizarse la evaluación. Estos hallazgos concuerdan con los resultados obtenidos en el apartado anterior *Notas de Calidad*, en el sentido que un porcentaje importante de longitud para cada radial, requieren 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.

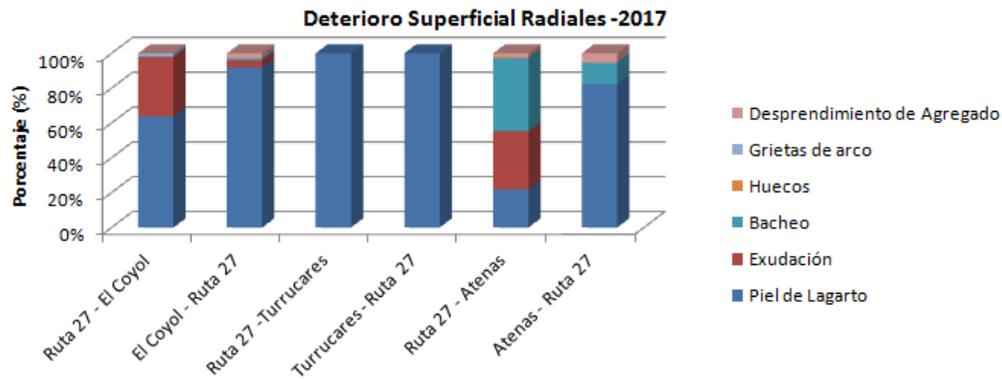


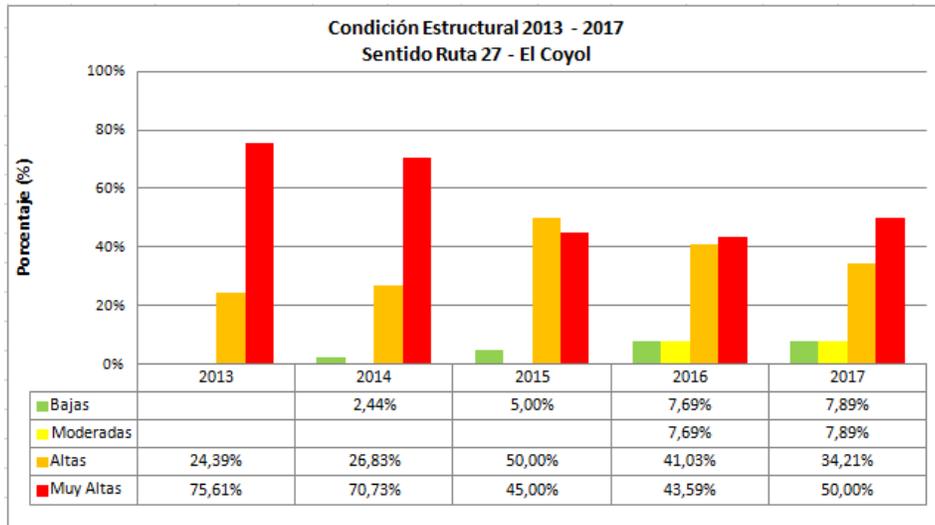
Figura 40: Distribución de deterioros en las radiales, Ruta Nacional 27

Se debe mencionar que no se detectaron deterioros tipo grietas longitudinales, transversales o de borde. Tal y como se mencionó, las grietas detectadas en las radiales corresponden al tipo *piel de lagarto*, el cual se clasifica como un deterioro tipo *área*.

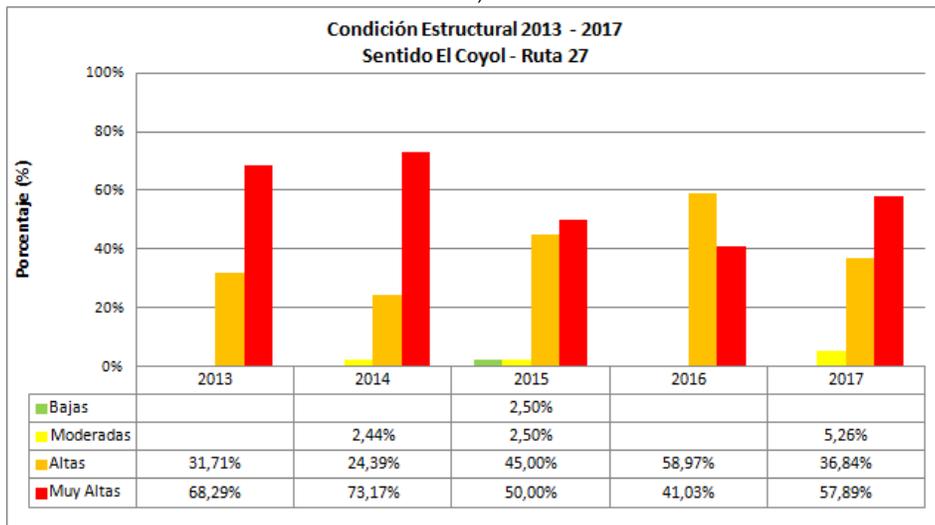
4.7 Comparación de la condición de las radiales, campañas 2013 – 2017

4.7a. Evaluación con el deflectómetro de impacto

Las Figuras 41 a 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 2017. Del estudio de estas figuras, no se determina una tendencia clara hacia el deterioro o la mejora, pero lo que si resulta claro es que al comparar el estado estructural de las radiales con las del troncal principal, los resultados muestran que a lo largo de las últimas 4 campañas de evaluación, no existe una política clara en el sentido de proveer a estas radiales de un paquete estructural a la altura de la troncal principal. Si bien el nivel de tránsito difiere entre estas rutas (siendo bastante menor en las radiales), no debería existir esta disparidad de resultados.

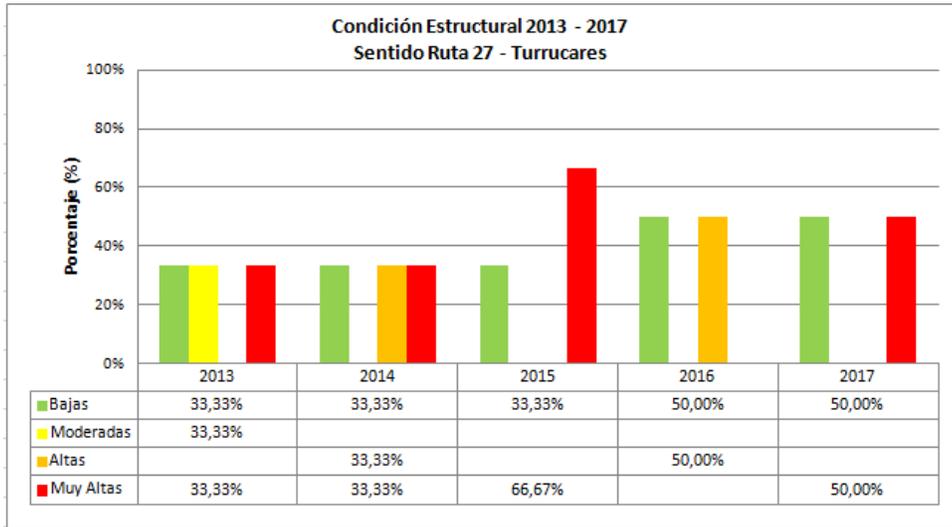


a)

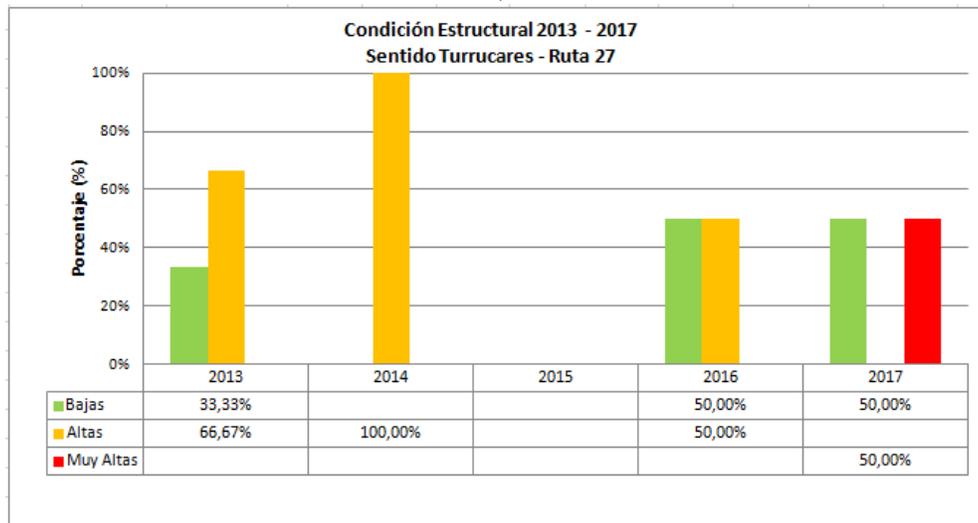


b)

Figura 41: Comparativo Deflexiones de Radiales años 2013-2017

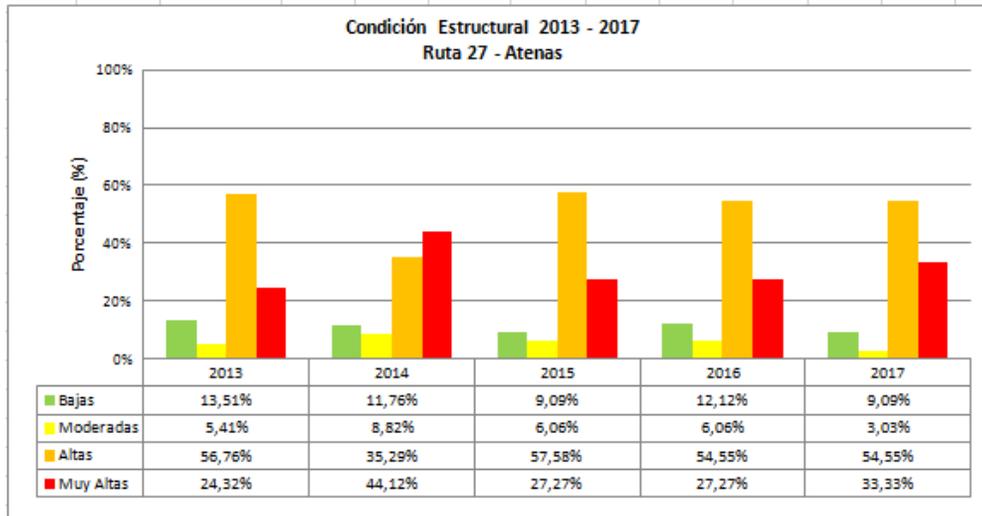


c)

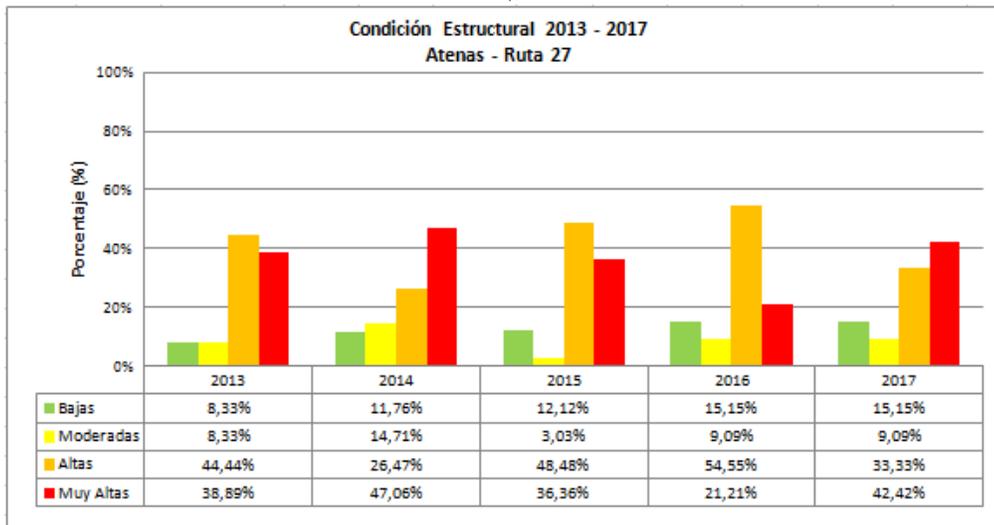


d)

Figura 42: Comparativo Deflexiones de Radiales años 2013-2017

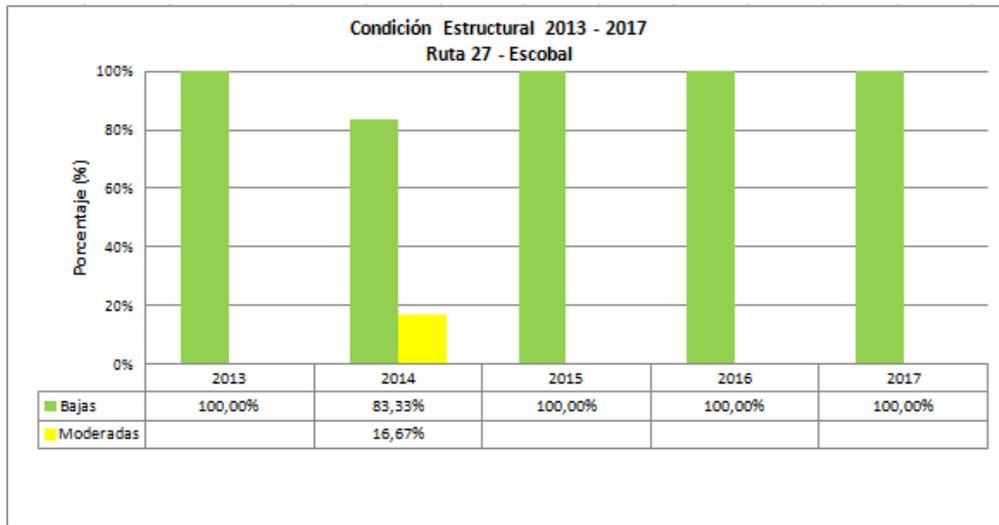


e)

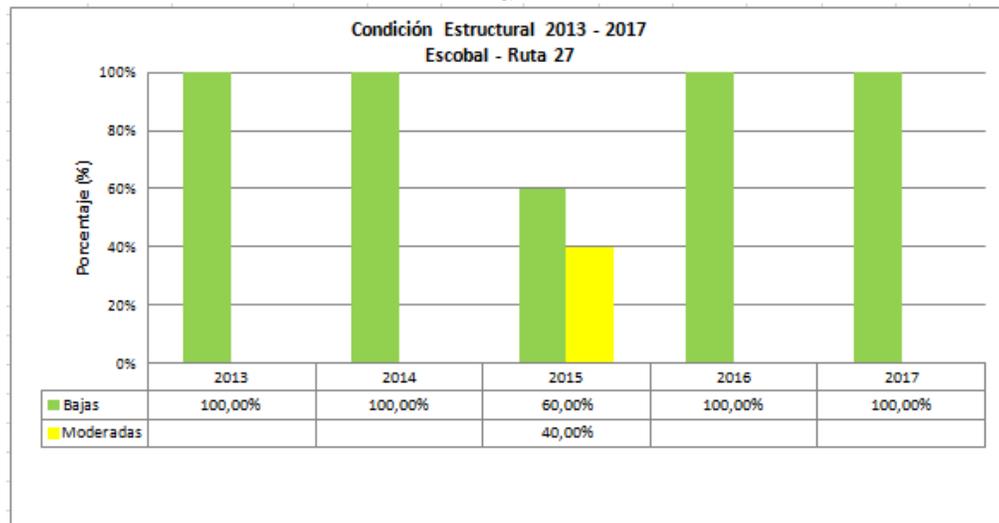


f)

Figura 43: Comparativo Deflexiones de Radiales años 2013-2017



g)

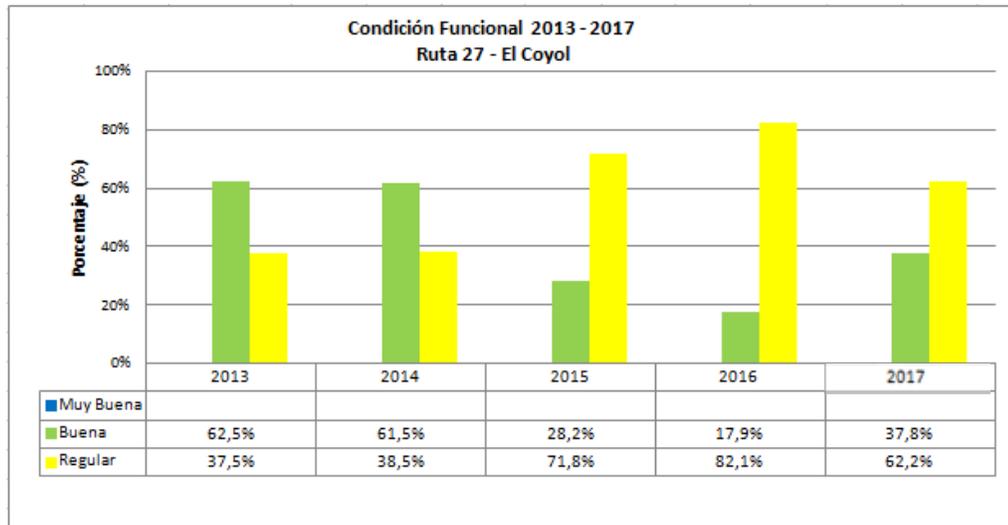


h)

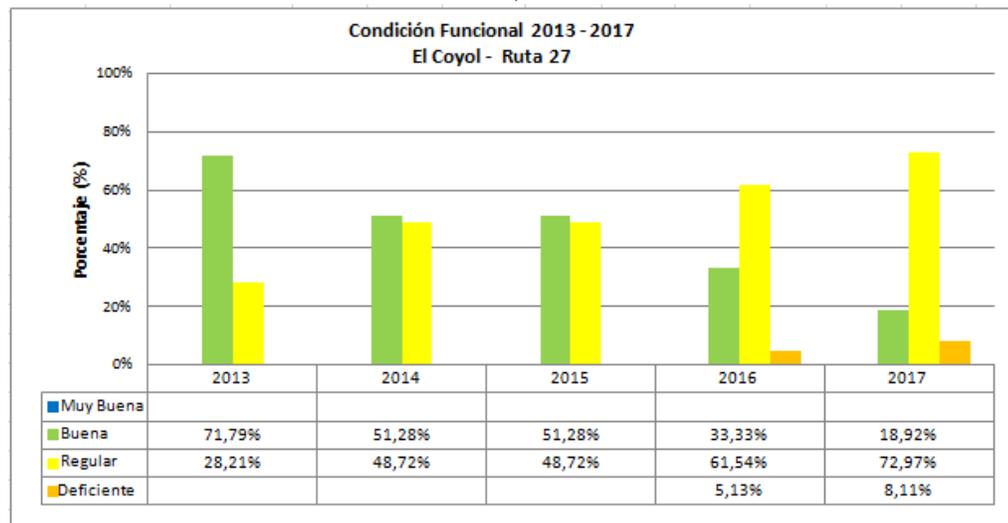
Figura 44: Comparativo Deflexiones de Radiales años 2013-2017

4.7b. Evaluación con el perfilómetro láser superficial

En las Figuras 45 a 48, se muestra la comparación de resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial, para las campañas 2013 a 2017. Se nota la tendencia, especialmente en las radiales más largas (Coyol, Atenas) al deterioro de las radiales en este parámetro, al haber un porcentaje cada vez mayor de la longitud en los rangos *regular a deficiente*.

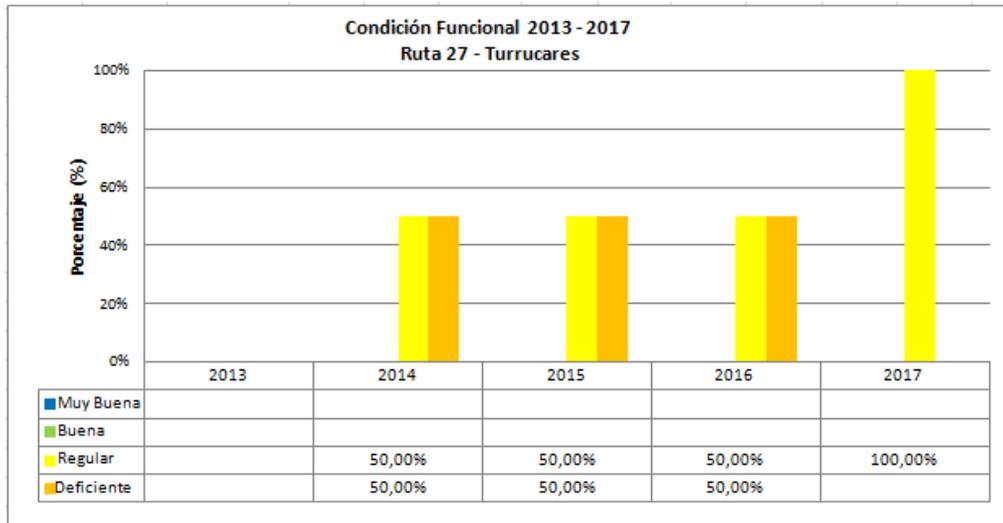


a)

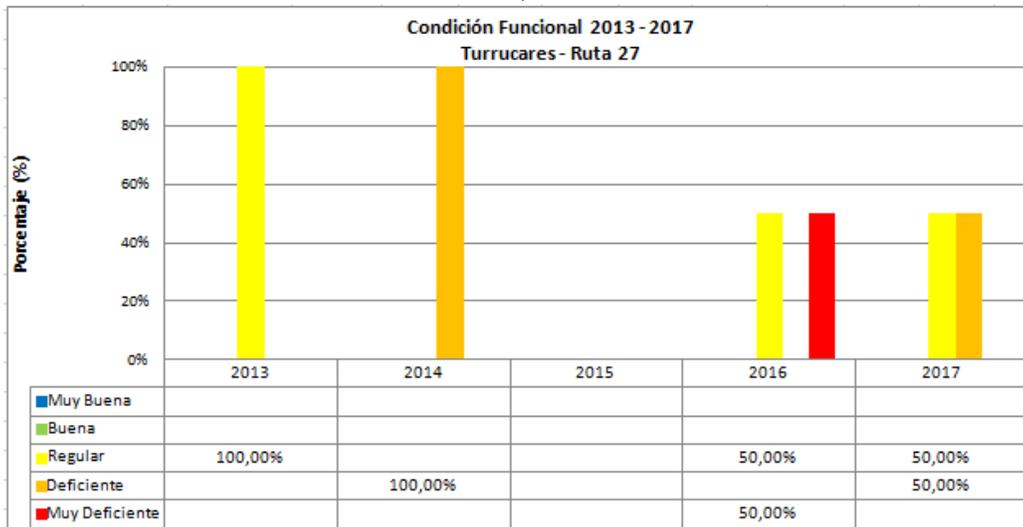


b)

Figura 45: Comparativo Regularidad Superficial de Radiales años 2013-2017

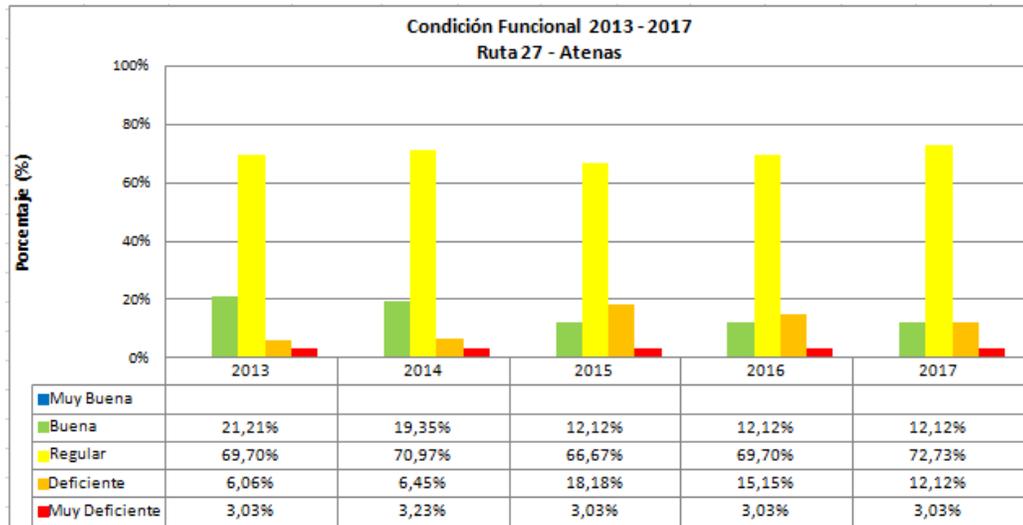


c)

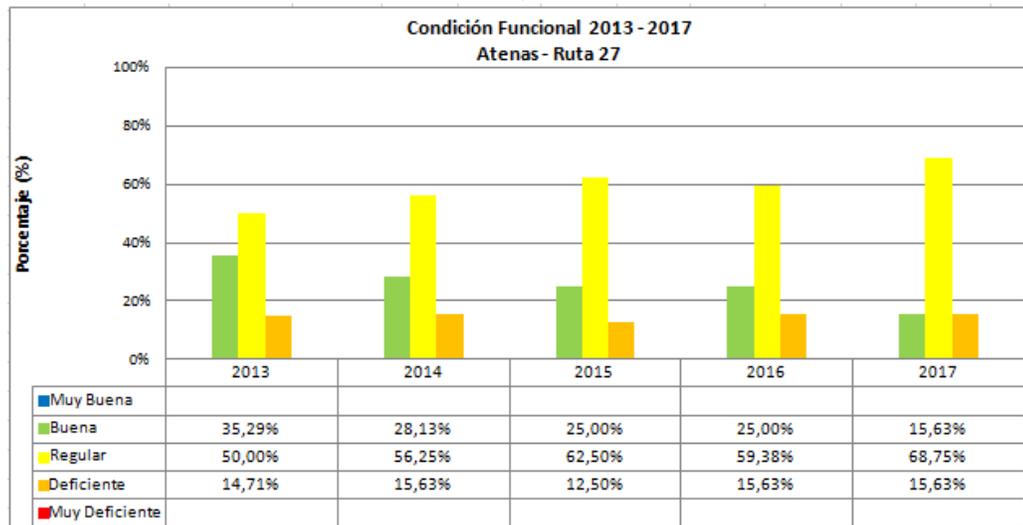


d)

Figura 46: Comparativo Regularidad Superficial de Radiales años 2013-2017

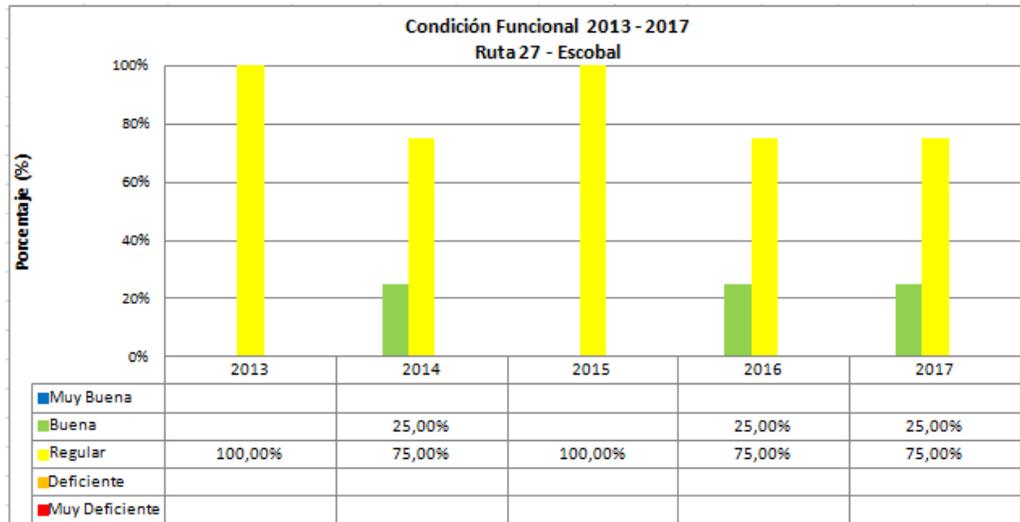


e)

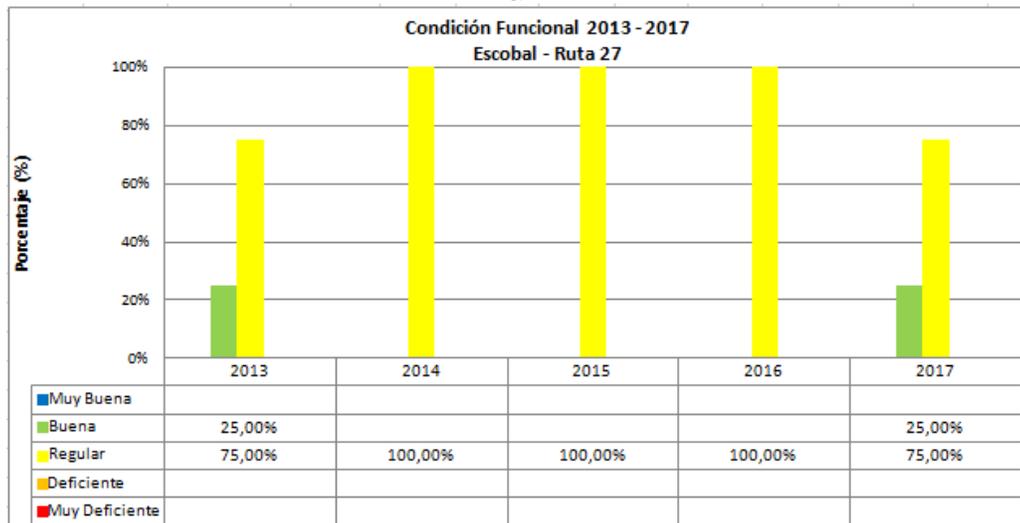


f)

Figura 47: Comparativo Regularidad Superficial de Radiales años 2013-2017



g)

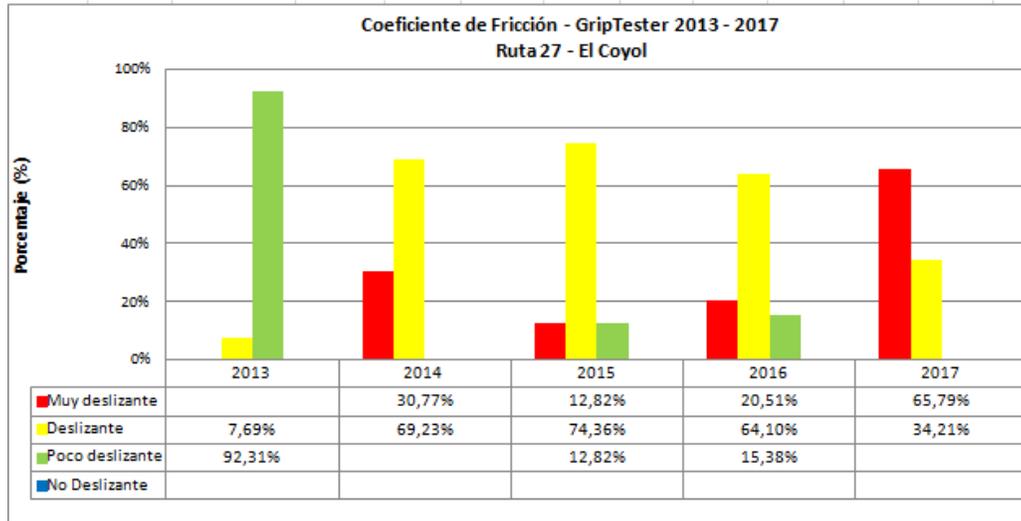


h)

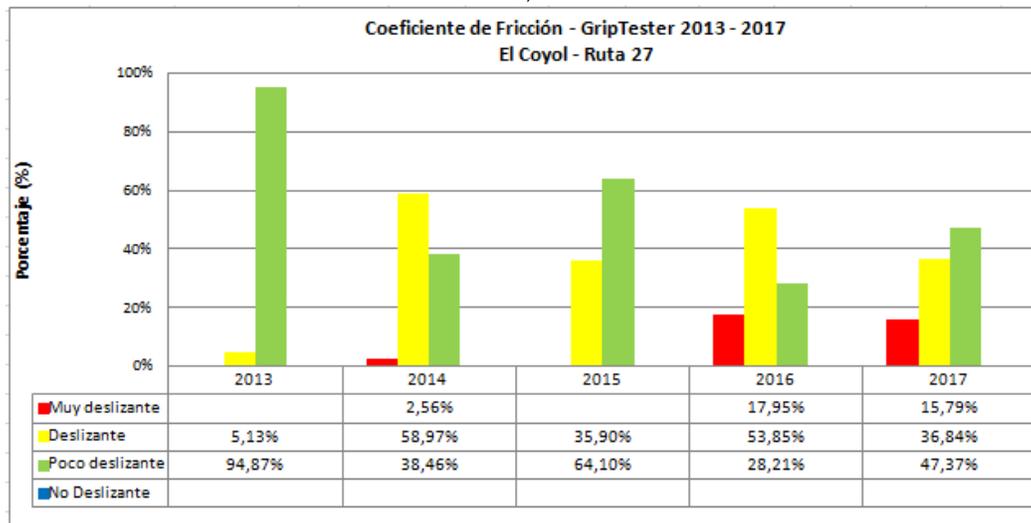
Figura 48: Comparativo Regularidad Superficial de Radiales años 2013-2017

4.7c. *Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial.*

En las Figuras 49 a 52, se muestra la comparación de los resultados del ensayo con el GripTester, para las radiales, en las campañas 2013 a 2017. De nuevo, y especialmente con las radiales más largas (Atenas, Coyol), la tendencia hacia el deterioro en este parámetro es clara en los últimos años.

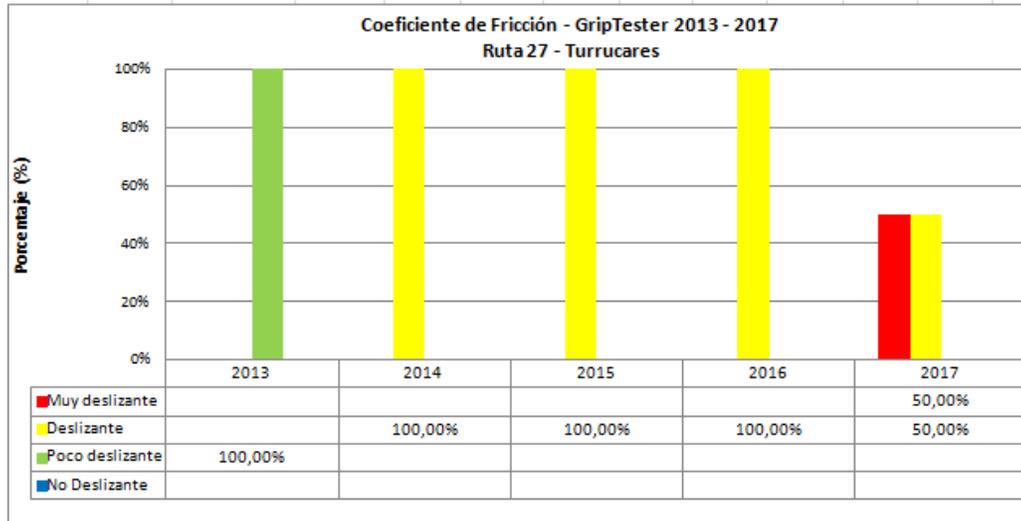


a)

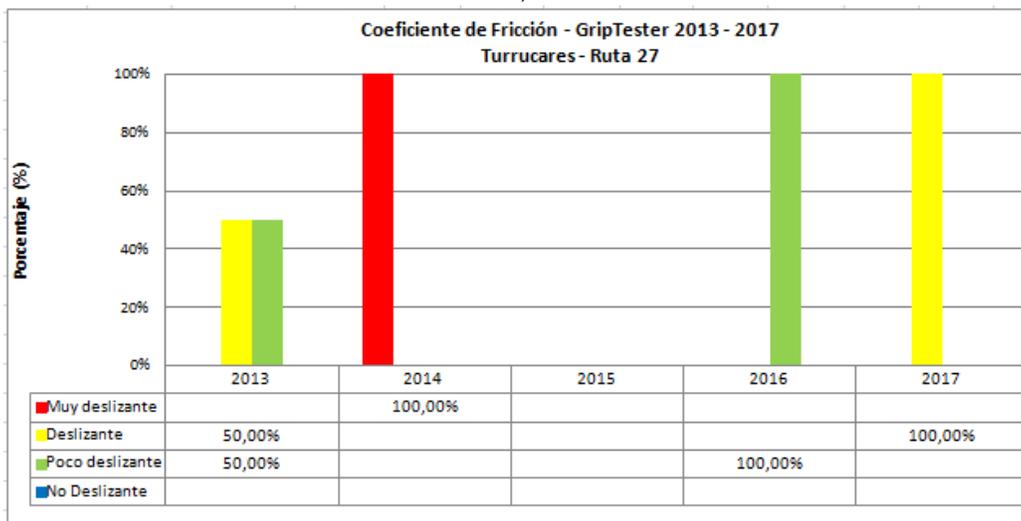


b)

Figura 49: Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) años 2013-2017

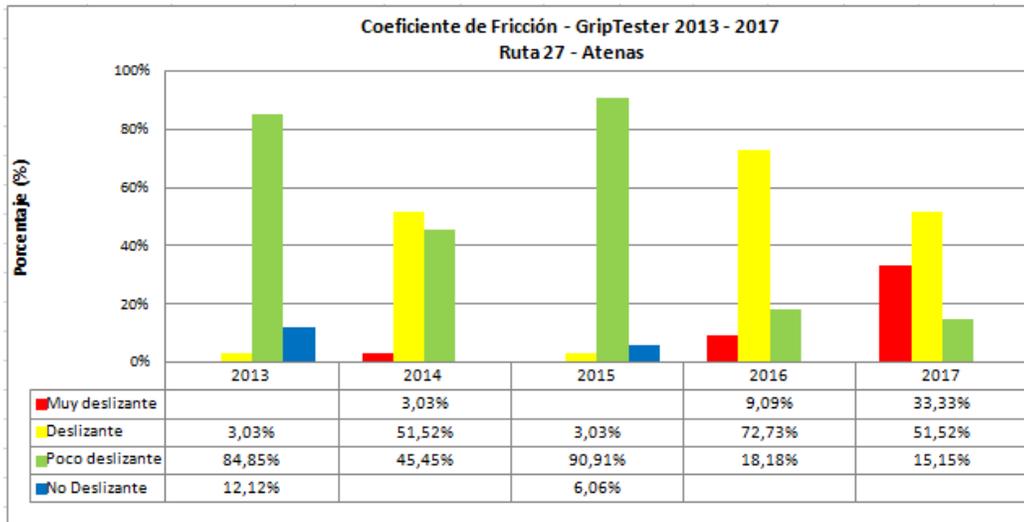


c)

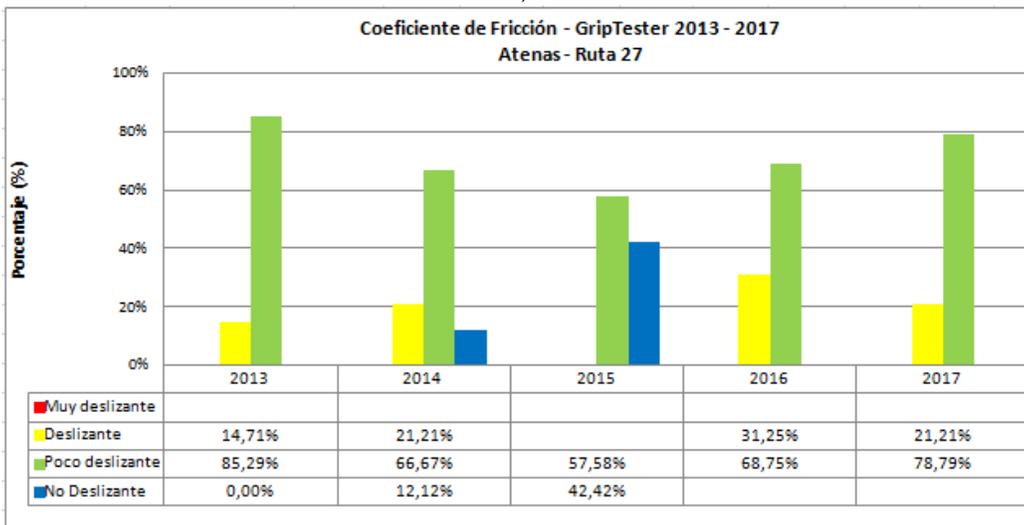


d)

Figura 50: Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) años 2013-2017

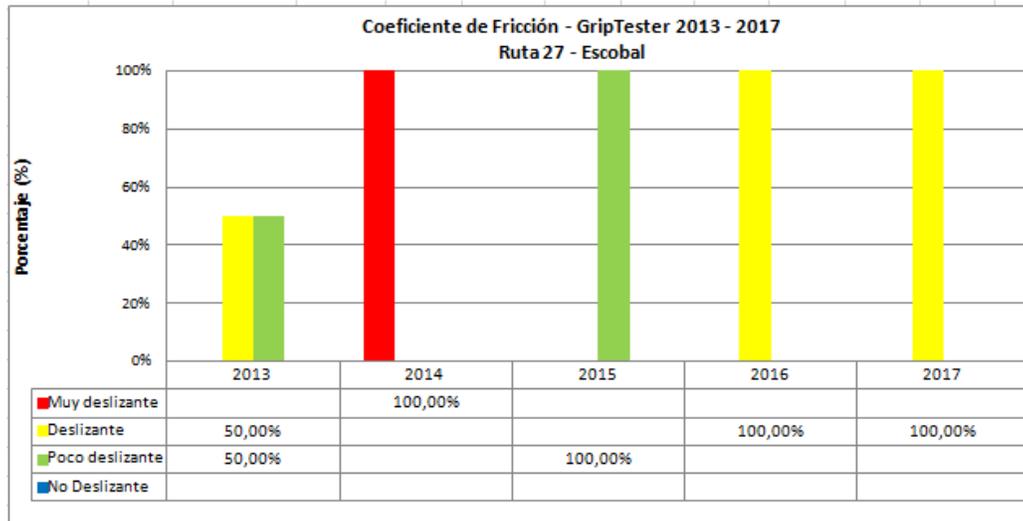


e)

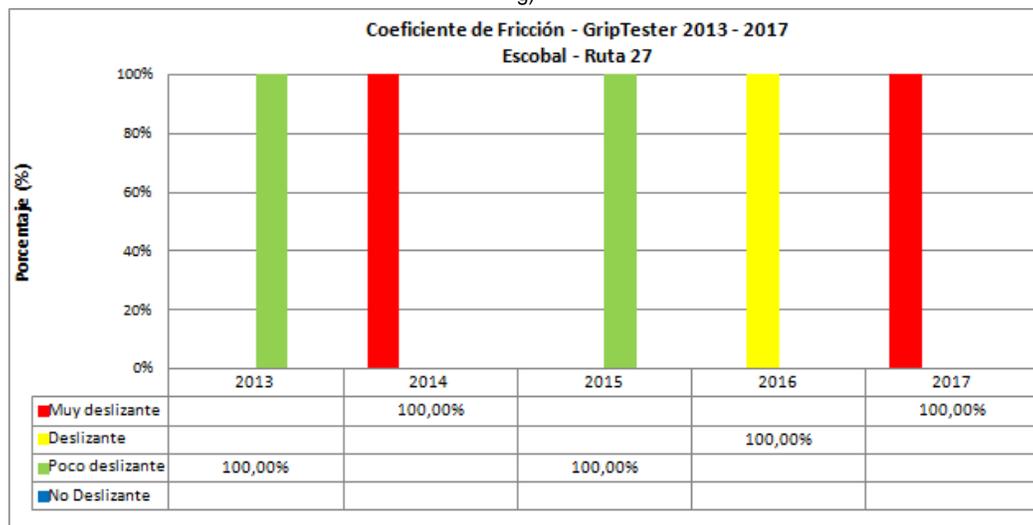


f)

Figura 51: Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) años 2013-2017



g)



h)

Figura 52: Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) años 2013-2017

4.7d. Evaluación visual de Deterioro Superficial.

Para realizar la comparación de deterioros obtenidos en las radiales, en las campañas de los años 2014 a 2017, se obtuvo el área total afectada para cada una, en cada evaluación. Los resultados se muestran en la Figura 53. Se nota como, al menos para las radiales más largas (Atenas, Coyol), se alcanzó un pico de área deteriorada en el año 2016, para disminuir en la presente evaluación. La radial a Escobal no presenta valores, debido a que en estas campañas no ha mostrado deterioros en su superficie.

Área total por radial

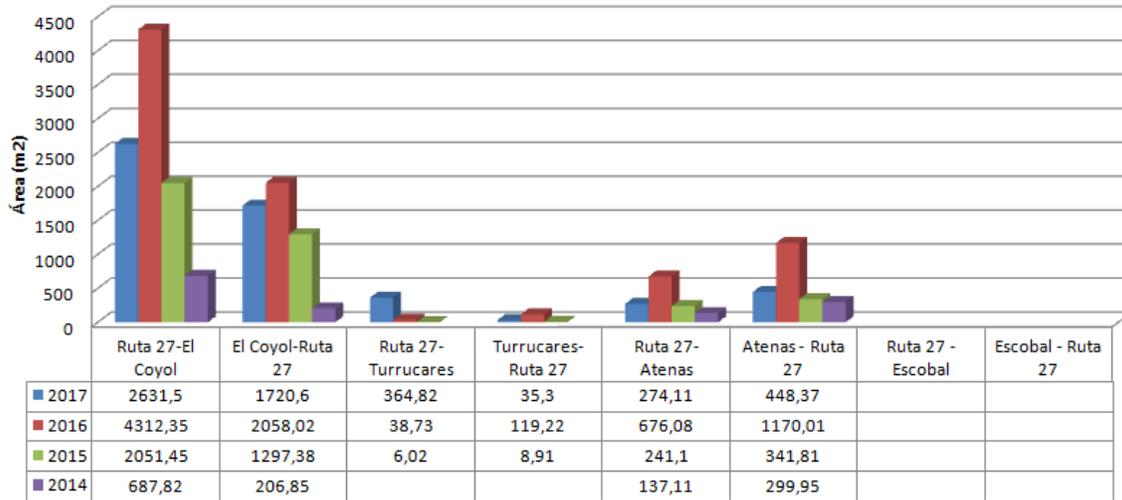
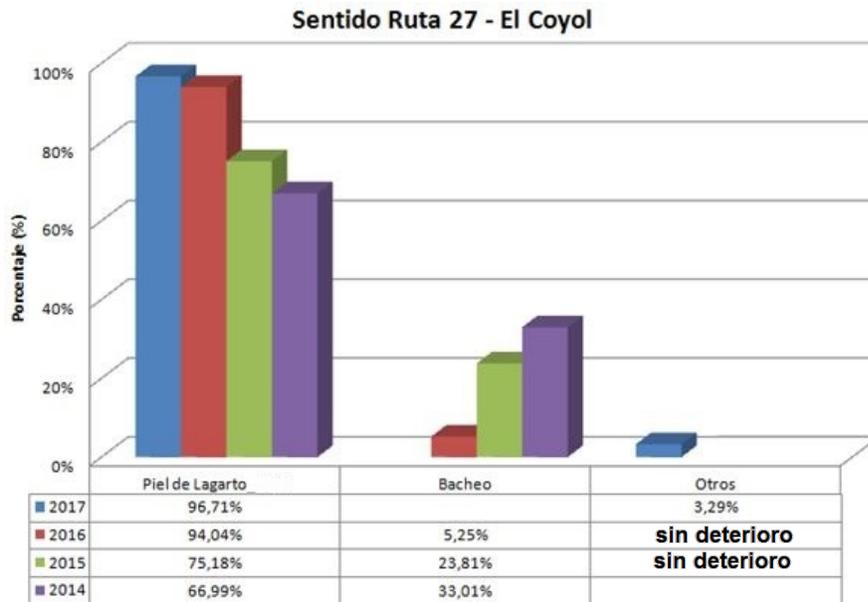
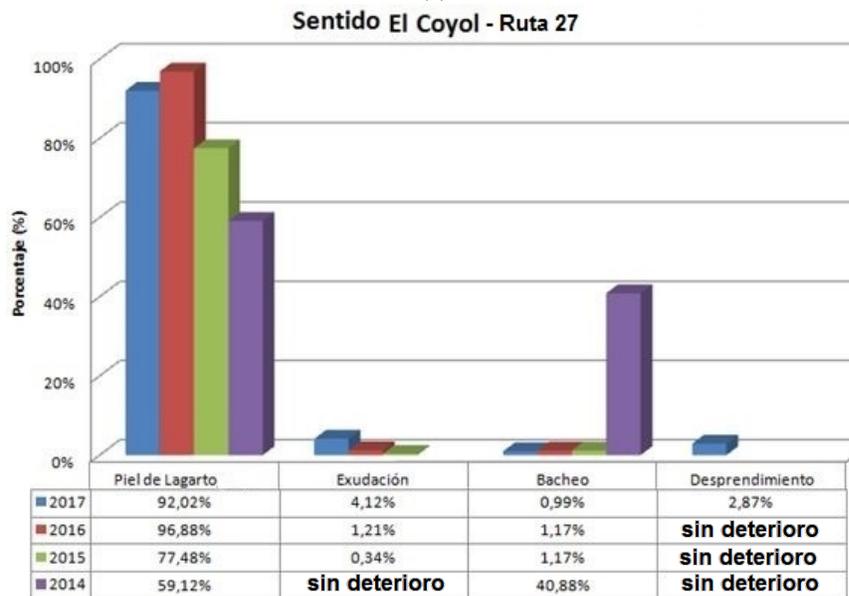


Figura 53: Áreas de deterioro por radial, años 2014 a 2017

Al desglosar los deterioros por tipo para el periodo de evaluación 2014 – 2017, el mayor porcentaje por área lo ocupa el conocido como *piel de lagarto*, seguido del *bacheo* (Figuras 54 a 56). Destaca el incremento importante en el área afectada por exudación, para el año 2017, en el sentido de ida de la radial a Atenas (Figura 56).

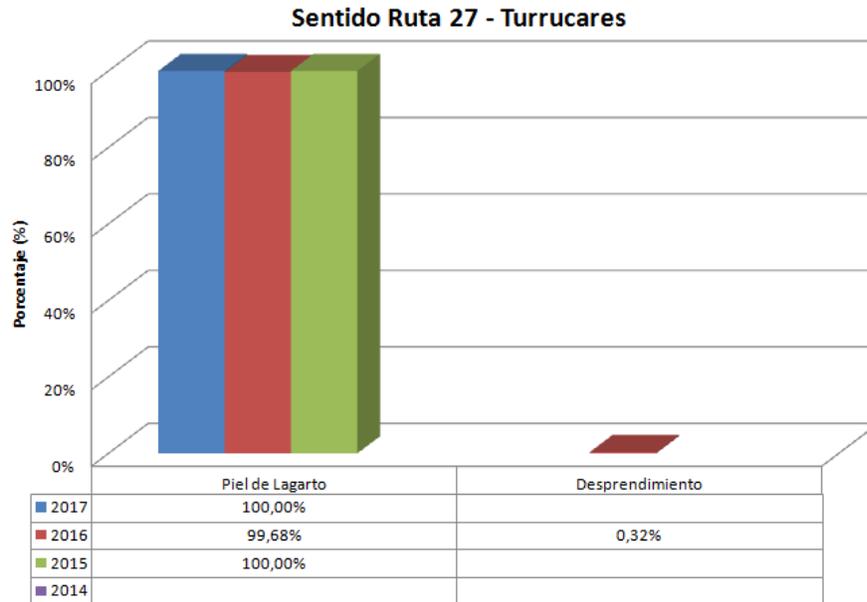


(a)

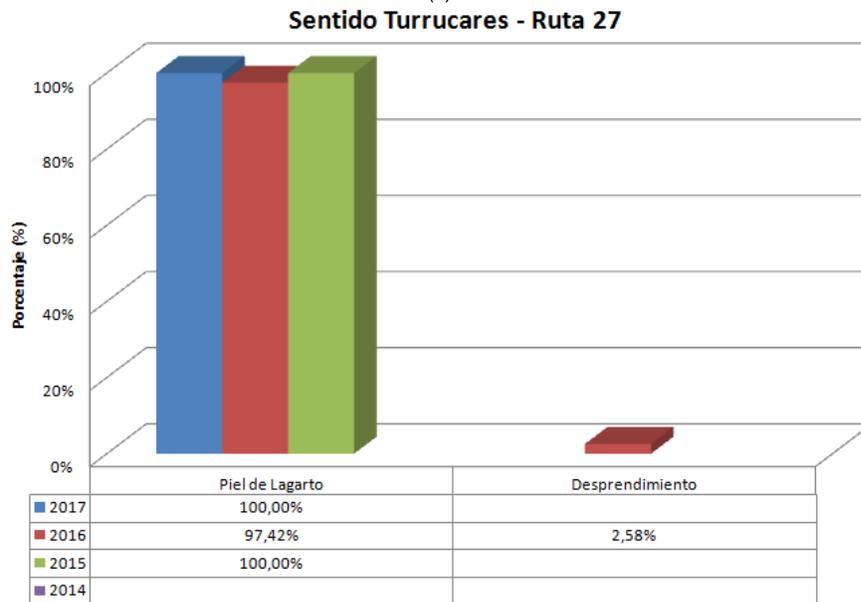


(b)

Figura 54: Condición superficial en Radiales

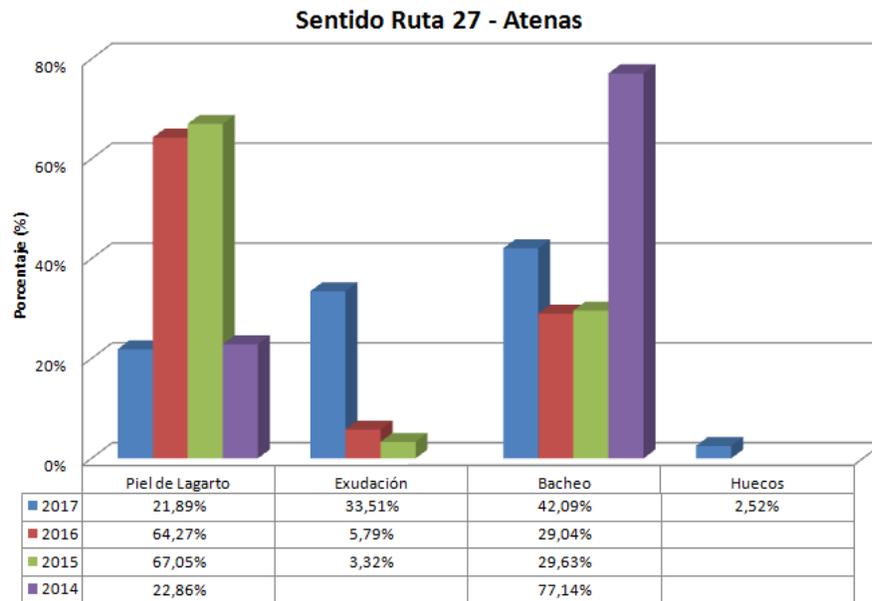


(c)

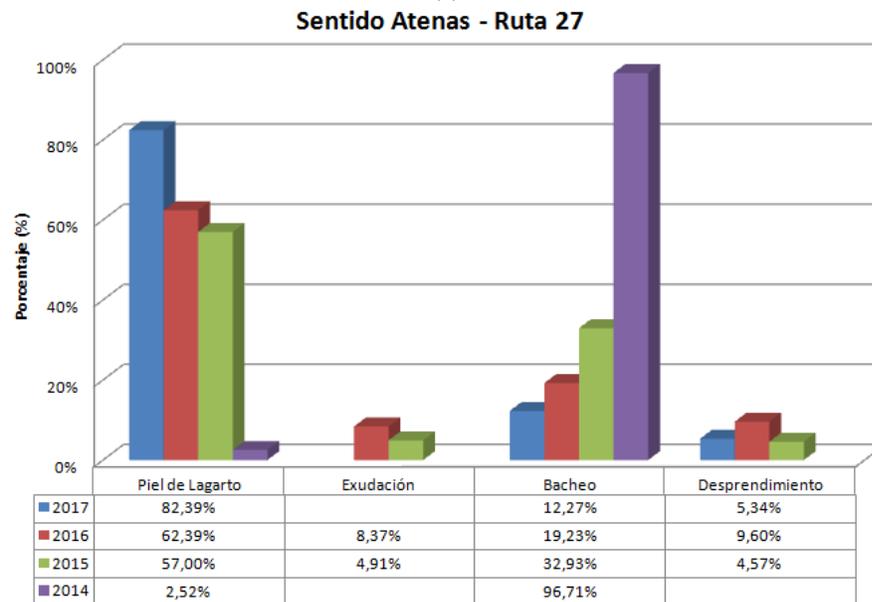


(d)

Figura 55: Condición superficial en Radiales



(e)



f)

Figura 56: Condición superficial en Radiales

5. 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 varias 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 en 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.

5.1 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 8.

Tabla 8. Rango de aplicación del Modelo para el cálculo del PSI Costa Rica

Modelo	Rango de Aplicación*
1. $PSI_{CR} = 0,015 * IRI^2 - 0,470 * IRI + 4,989$	0 – 10 ^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, 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 segmentó la ruta en 4 secciones homogéneas, las cuales se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9 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 8. 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.

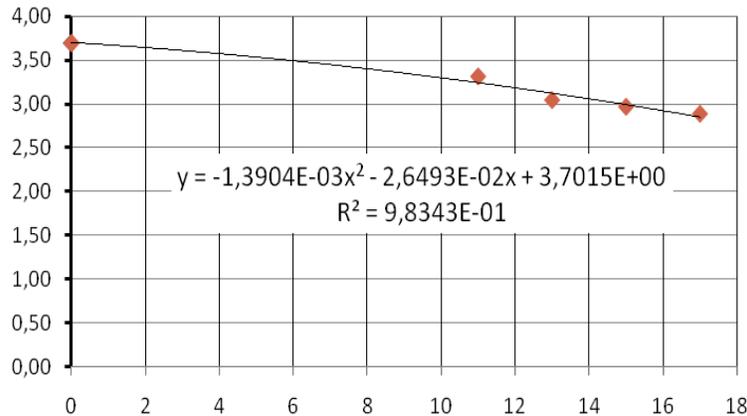


Figura 57: Ejemplo de curva obtenida a partir de los datos del PSI

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).

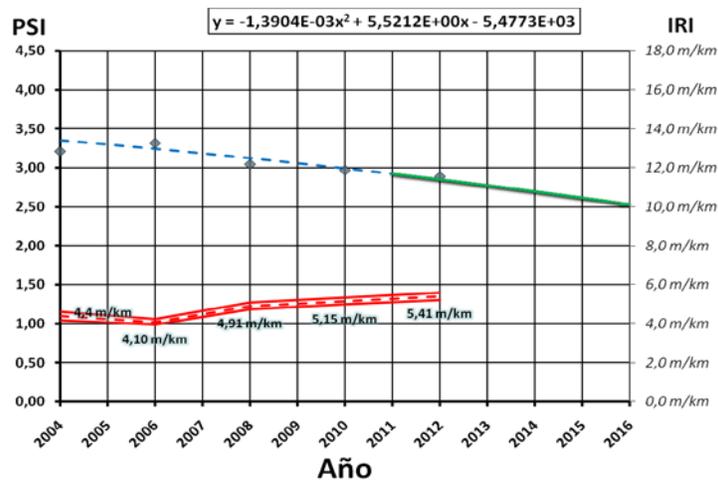


Figura 58: Gráfica ejemplo PSI vs Año, e IRI vs Año

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

$$SST = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2$$

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 Figuras 59 y 60.

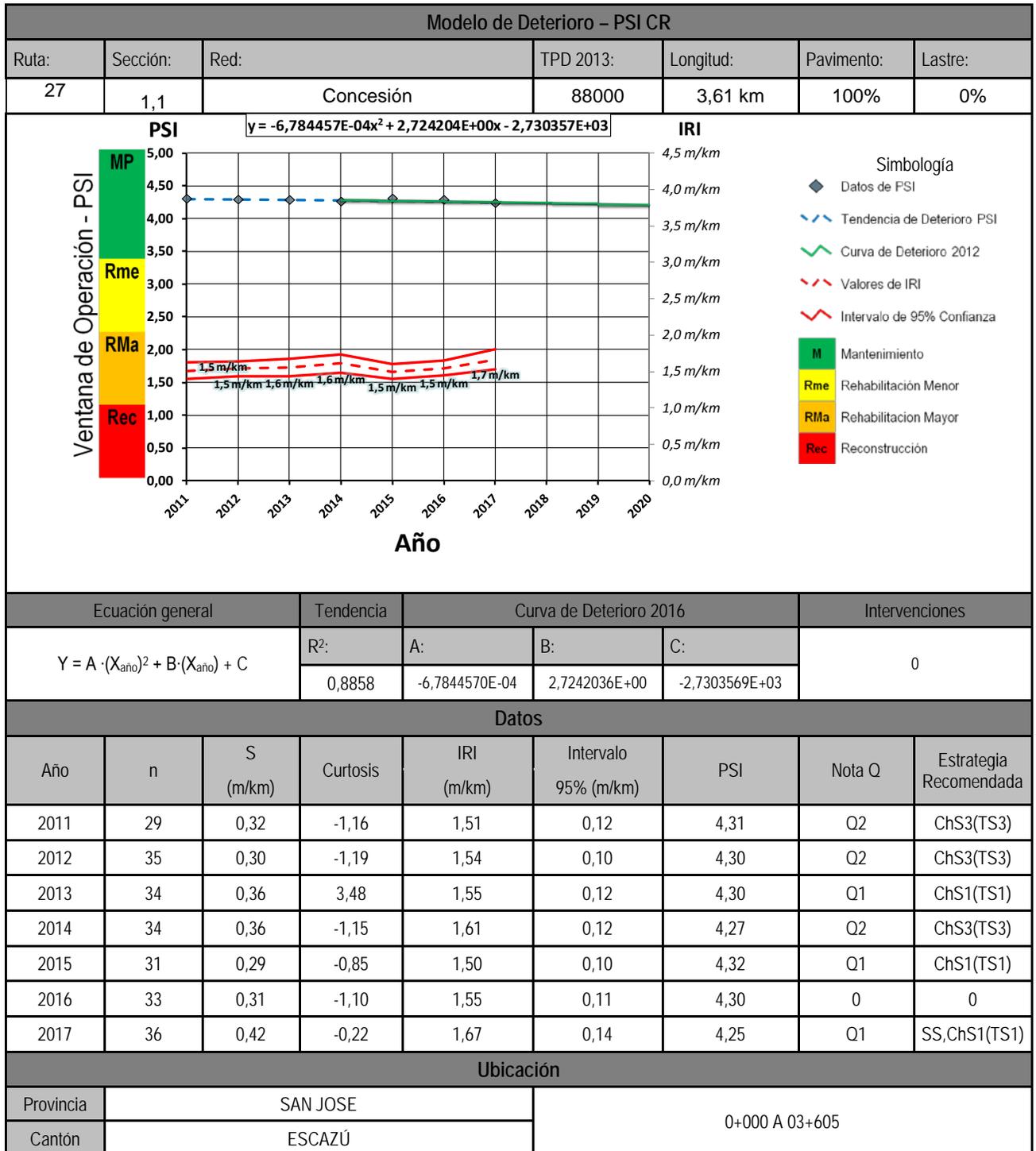


Figura 59: Modelo de deterioro para el tramo 1, sentido de ida San José - Caldera.

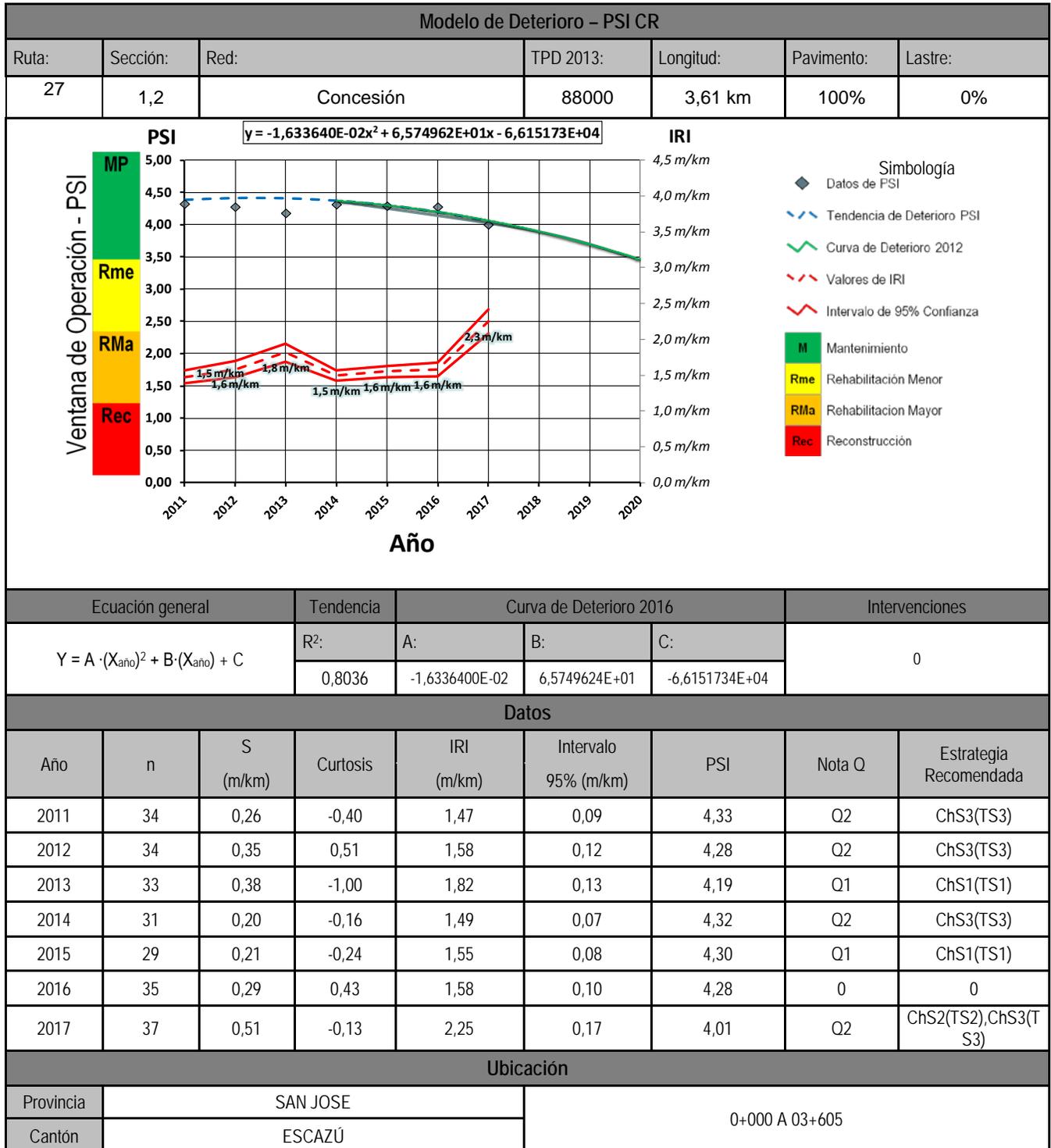


Figura 60: Modelo de deterioro para el tramo 1, sentido de venida Caldera - San José.

5.2 Análisis de Resultados

Partiendo de que un pavimento nuevo presenta un valor de PSI cercano a 4,5; el mismo se va deteriorando en el tiempo con el tránsito y las condiciones climáticas, 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).

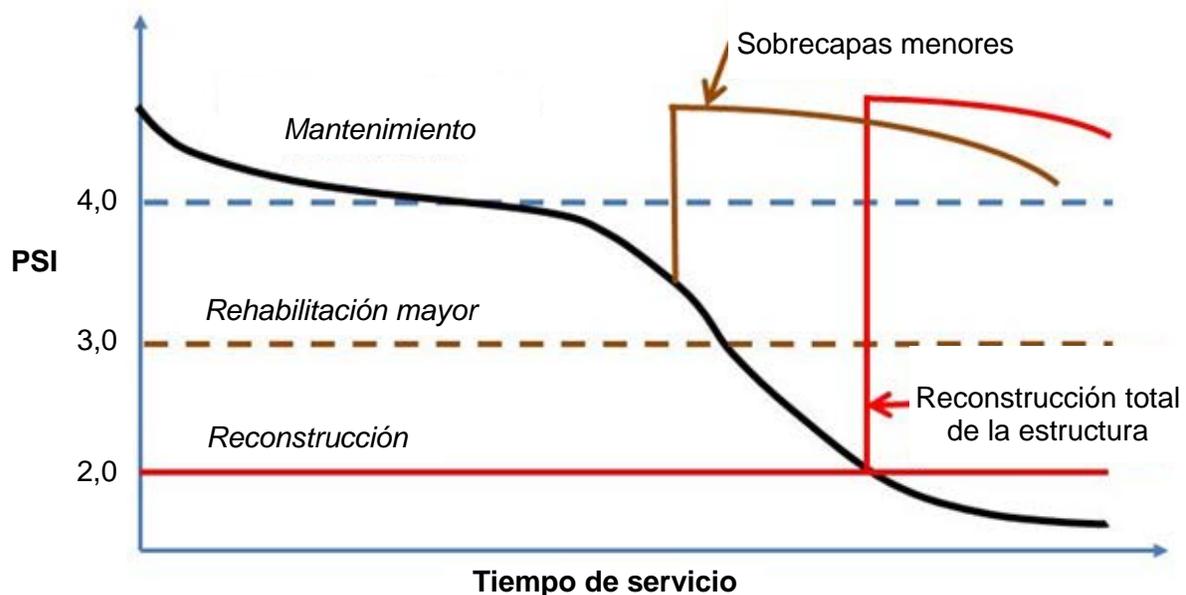


Figura 61: Concepto del PSI, y el respectivo cambio del valor con el tiempo para un pavimento (línea negra), contra valores umbral (líneas horizontales).

La figura anterior, muestra el cambio del índice de servicio 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 3, se alcanzó un punto en el que, para recuperar una condición cercana a la inicial, es necesario realizar una rehabilitación mayor (curva café). Asimismo, cuando se alcanzan valores cercanos a 2, 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 3 (*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 VIII), la Tabla 10 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 10 Año en el que el PSI alcanza el valor de 3,0 (*umbral de rehabilitación*)

Tramo	Sentido	Descripción	PSI ₂₀₁₇	PSI=3,0	Delta años
1,1	San José - Caldera	0+000 a 3+605	4,25	2052	35
2,1	San José - Caldera	3+605 a 14+025	4,34	2047	30
3,1	San José - Caldera	14+025 a 51+720	4,15	2030	13
4,1	San José - Caldera	51+720 a 76+310	4,14	2031	14
1,2	Caldera - San José	0+000 a 03+605	4,06	2021	4
2,2	Caldera - San José	03+605 a 14+025	4,16	2024	7
3,2	Caldera - San José	14+025 a 51+720	4,19	2036	19
4,4	Caldera - San José	51+720 a 76+310	4,05	2020	3

Con base en estos resultados, los tramos homogéneos seleccionados se pueden agrupar en 3 categorías:

- Tramos que alcanzarán un valor PSI 3 en el largo plazo: en esta categoría, existen 2 tramos, ambos en el sentido de ida San José – Caldera, y que corresponden con el Tramo 1 (0+000 a 3+605) y el 2 (3+605 a 14+025). Siguiendo las tendencias actuales de mantenimiento, ambos alcanzarán el umbral de rehabilitación dentro de 30 años o más.
- Tramos que alcanzarán un valor PSI 3 en el mediano plazo: acá se encuentran 3 tramos, que son en el sentido de ida el 3 (14+025 a 51+720) y el 4 (51+720 a 76+310), y en el sentido de venida el tramo 3 (51+720 a 14+025). Éstos alcanzaran el umbral de rehabilitación entre los 10 a 20 años.
- Tramos que alcanzarán un valor PSI 3 en el corto plazo: por último, en esta categoría se encuentran los restantes 3 tramos, todos en el sentido de venida, y que son el 1 (3+605 a 0+000), el 2 (14+025 a 3+605) y el 4 (76+310 a 51+720). Los casos críticos corresponden a los tramos 1 y 4, que de seguirse las tendencias actuales de mantenimiento, alcanzarán el umbral de rehabilitación en 4 y 3 años, respectivamente.



6. CONDICIONES GEOTÉNICAS Y SISTEMAS DE DRENAJE

En lo relacionado al tema geotécnico y geológico, el año 2017 presentó condiciones climatológicas que impactaron de forma directa los taludes de la Ruta Nacional 27, en algunos casos perjudicando el tránsito sobre esta ruta.

A continuación, se resume el impacto que generó la onda tropical No. 40 y la Tormenta Tropical *Nate*, y las implicaciones que estos eventos generaron sobre el proyecto evaluado. Además, se analizan los sitios más vulnerables con el fin de que sean intervenidos a la mayor brevedad posible, para garantizar a los usuarios una ruta con condiciones óptimas y seguras de tránsito.

6.1 Principales eventos ocurridos en el año 2017

6.1a. Deslizamiento en la línea del tren y generación caída de agua en el km 46+700

Las lluvias generadas por la Onda Tropical 40 el día sábado 16 de septiembre del 2017, dieron pie a que se produjera un deslizamiento en el derecho de vía de la línea del tren que se ubica sobre el nivel de la Ruta Nacional 27, en el estacionamiento 46+700. Ese deslizamiento bloqueó tanto la línea del tren, como la contracuneta sobre el talud, lo que ocasionó una caída importante de agua y de material de tamaños centimétricos sobre el carril de ida de la ruta, tal y como se muestra en la Figura 62. Al respecto, cabe indicar que el Artículo 10 del Reglamento de Servicio de Obra dispone que:

"En caso de surgir algún evento que por motivos de fuerza mayor o caso fortuito, impida temporalmente el paso expedito de vehículos por la vía, el Concesionario deberá informar sobre dicha situación a los usuarios en forma inmediata y clara por los medios que sean de mayor cobertura pública".



Figura 62: Estacionamiento 46+700 A.) Vista en dirección San José - Caldera. B.) Vista en dirección Caldera - San José. Fuente: CRHoy

Dada la condición presente en este sitio, el 18 de setiembre del 2017, funcionarios de la *Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional* utilizaron un vehículo aéreo no tripulado para obtener información topográfica del sitio, con el fin de determinar si existen más zonas vulnerables en la zona que se encuentra en la parte superior de la línea del tren. A partir de las fotografías aéreas (Figura 63) se generó un modelo de elevación digital del terreno.

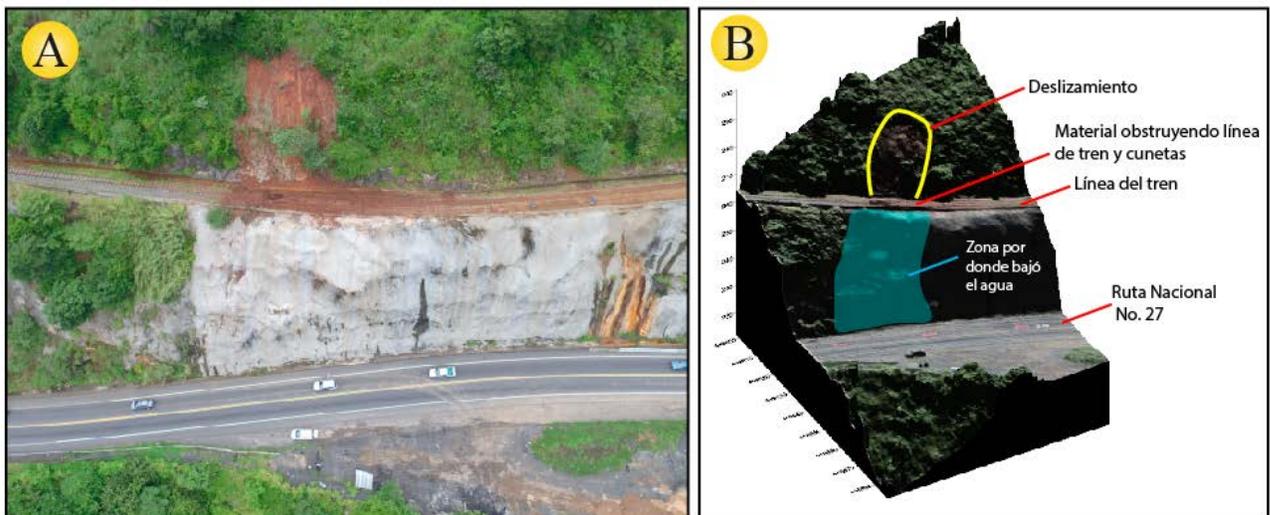


Figura 63: Estacionamiento 46+700. Izquierda (A) Fotografía aérea del sitio en el est. 46+700. Derecha (B) Modelo de elevación digital obtenido, análisis del lugar.

A partir de este modelo, se pudo estimar que la caída de material recorrió una distancia aproximada de 30 m hasta la superficie de ruedo (Figura 64), no mostrando riesgos adicionales por este evento, aunque si es de gran importancia mantener monitoreado el comportamiento de los taludes de este sector.

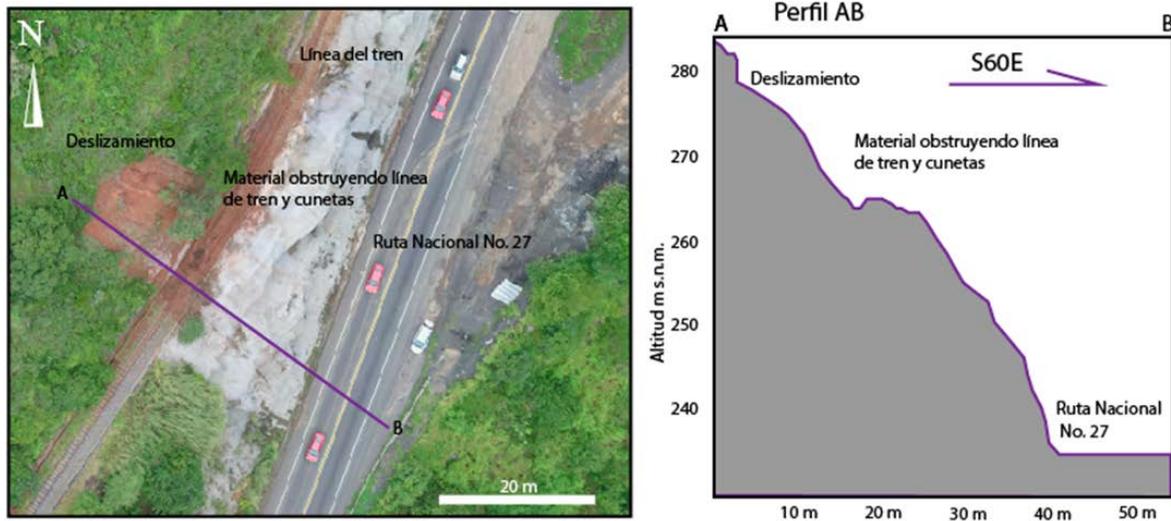


Figura 64: Estacionamiento 46+700. Izquierda: fotografía aérea, indicando la línea del perfil topográfico AB. Derecha: perfil topográfico obtenido del sitio.

Con base en esta experiencia, así como de otras a lo largo de la ruta, y sabiendo que la concesionaria cuenta con estaciones meteorológicas y pluviómetros en varios sitios, es posible crear un modelo que ayude a correlacionar los niveles de precipitación con la ocurrencia de eventos de caída de aguas como el mostrado en la Figura 62, de pequeños bloques o incluso deslizamientos de material. Con esto, se podría establecer un modelo de alerta temprana para los usuarios, avisando cuando las lluvias alcancen valores que históricamente hayan desencadenado problemas, y realizando cierres preventivos.

Se recomienda coordinar con el Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER), la evaluación y el mantenimiento de los taludes y cunetas que puedan tener un impacto directo sobre la ruta, tal como sucedió en noviembre del 2017.

6.1b. Tormenta tropical Nate, caída de rocas y cierre de la vía tramo Atenas - Orotina

La Tormenta Tropical Nate generó un impacto importante en el territorio nacional en el mes de octubre del 2017, ya que se generaron deslizamientos, inundaciones y caída de puentes en varias zonas del país. En la Ruta Nacional 27 hubo afectación directa que se relaciona con problemas de erosión, socavación de taludes e inestabilidad de rellenos, lo cual obligó al cierre de la ruta por varios días.

Entre los problemas que se presentaron, hubo desprendimiento de rocas desde los taludes aledaños, muchas de las cuales llegaron a la calzada. Dos de estas rocas presentaban tamaños importantes (mayores a 5 metros), que requirió el uso de maquinaria y de voladura, para poder ser retiradas (Figura 65).

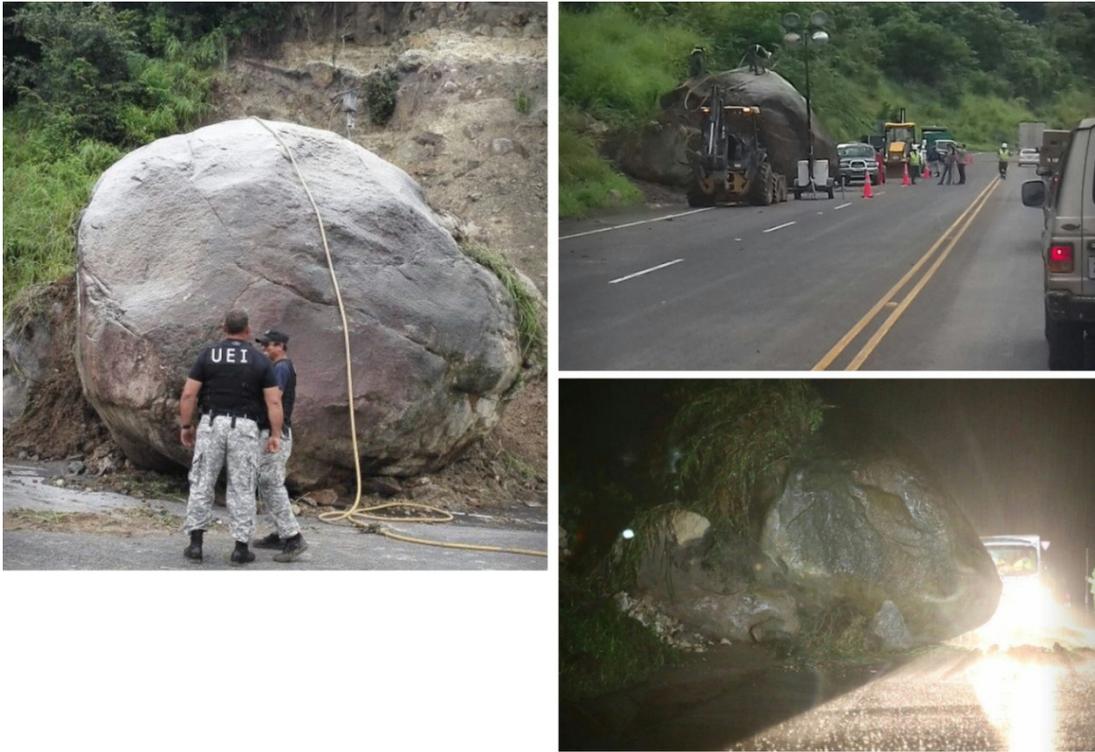


Figura 65: Rocas sobre la calzada, est. 48+400. Fuente: *CRHoy*

Debido a lo anterior, la ruta estuvo cerrada entre los días 4 y 6 de octubre del año 2017, siendo el tramo afectado el ubicado entre Atenas y Orotina, mientras se realizaban los trabajos de limpieza correspondientes. Según lo observado en el campo, el mecanismo de caída de las rocas está relacionado con la erosión hídrica que generó la lluvia, así como a la saturación del suelo que daba soporte a las rocas. De esta forma el material fino fue erosionado y al perderse, las rocas se precipitaron hacia la carretera por gravedad, favorecidas por la alta pendiente de los taludes. Sobre esta situación, el *LanammeUCR* ha señalado en varios informes la alta vulnerabilidad que tienen las rocas en ciertos sectores y la posibilidad de que este fenómeno se repita, por lo que se recomienda realizar un levantamiento integral de la condición de los taludes de la ruta, con el fin de identificar los sitios vulnerables que puedan generar colapsos similares durante la estación lluviosa del año 2018.

6.2 Sitios Vulnerables

Como se comentó anteriormente, debido al efecto que tuvieron los principales eventos meteorológicos que impactaron el territorio nacional durante el año 2017, funcionarios de la UGERVN del LanammeUCR realizaron una evaluación de varios taludes a lo largo de la ruta entre San José y Caldera, con el objetivo de evaluar su condición e identificar sitios vulnerables. Con esta información y mediante los levantamientos periódicos de la condición de los taludes, se obtuvo la Tabla 11 que resume los sitios que se recomienda sean intervenidos mediante la realización de estudios básicos y el diseño e implementación de soluciones, con el fin de evitar que durante las estaciones lluviosas de los próximos años, se presenten situaciones similares de caída de suelo y rocas en la carretera.

Tabla 11 Resumen de sitios vulnerables a caída de bloques o eventos relacionados con lluvias

Estacionamiento	Observaciones
21+800 (LI y LD)	<i>La erosión expone rocas que tienen potencial de caer en la carretera</i>
28+350 (LI)	<i>La erosión diferencial ha socavado el soporte de un sector del talud</i>
37+750 (LD)	<i>Malla metálica muy deteriorada, no brinda protección adecuada, caída constante de material</i>
38+600 (LD)	<i>Sitio con DAR, concreto lanzado muy deteriorado, agrietado y con alto potencial de caída de bloques en la carretera</i>
44+500 (LI y LD)	<i>Deslizamiento afecta el relleno de la carretera, en el LD suelo con alto potencial de caer sobre la carretera</i>
44+800 (LD)	<i>Sitio con deslizamientos activos, sector con alto potencial de generar caída de material en la carretera</i>
47+000 (LD)	<i>Sitio con DAR, concreto lanzado deteriorado, agrietado y con alto potencial de caída de bloques en la carretera</i>
73+000 (LD)	<i>La erosión expone bloques de roca con alto potencial de caída de material en la carretera</i>

A continuación se detalla cada uno de los estacionamientos indicados en la Tabla 11.

6.2a. Estacionamiento 21+800

En este sitio los taludes de corte a ambos lados presentan alturas entre los 15 y 20 metros, con pendientes mayores a 55°, y localizados a unos cuantos metros de la carretera. Con el paso de los años, la erosión superficial ocasionada por la lluvia ha provocado la pérdida del suelo fino y rocas de menor tamaño, minando el soporte de las rocas de tamaños mayores (que llegan a más de 1 metro de diámetro). Es por esta razón que es posible ver rocas a distintas alturas en ambos lados de la carretera, con poco soporte de suelo, lo que las convierte en un peligro para la seguridad de los usuarios

(Figura 66). Es de esperar que con el aumento de las lluvias en los próximos meses (estación lluviosa del 2018 y años posteriores), continúe la pérdida de suelo fino y se incremente la caída de rocas provenientes de estos taludes. Se recomienda evaluar la condición que presenta actualmente el talud a la mayor brevedad posible, para realizar los estudios y los diseños de las soluciones geotécnicas necesarias para intervenirlo de forma efectiva.



Figura 66: Talud estacionamiento 21+800 A) LD Erosión superficial con formación de surcos. B) LD, Detalle de las rocas en la parte superior. C) Talud LI con rocas que han perdido soporte debido a la erosión.

6.2b. Estacionamiento 28+350

En la parte alta del talud de corte del lado izquierdo (sentido San José – Caldera), se observa un sector que presenta evidencia de haber sufrido recientemente un deslizamiento debido a erosión diferencial, ya que en punto se presenta un estrato intermedio que es más susceptible al arrastre de partículas de suelo fino, producto de erosión hídrica. Al socavarse este estrato, la capa sobreyacente pierde parte del soporte, por lo tanto se considera que, conforme avance la erosión, un sector del estrato superior tiene potencial de deslizarse y por su ubicación podría caer sobre la carretera (Figura 67). Es necesario estudiar y mejorar el manejo del agua superficial en este sitio, con el fin de

evitar la descarga del agua de lluvia que dispare dicho movimiento. Se recomienda también la instalación de una protección superficial que prevenga el avance de la erosión diferencial.



Figura 67: Talud estacionamiento 28+350. A) Vista general del talud de corte
B) Detalle de la parte alta del talud

6.2c. Estacionamiento 37+750

La solución de geosintéticos sobre el talud implementada en este sitio presenta deterioros severos desde hace siete años (informes *INF-PITRA-010-2011*, *INF-PITRA-001-2013*, *INF-PI-UGERVN-05-2014*, *INF-PI-UGERVN-14-2014*, *INF-PI-UGERVN-05-2016*, *INF-PI-UGERVN-04-2017*) (ver Figura 68). Esta malla de geosintético presenta roturas, además de que se ha perdido el anclaje al talud en varios puntos, junto con la rotura de la malla base. La solución temporal instalada actualmente consiste en barreras tipo “New Jersey” de hormigón a nivel del espaldón, las cuales actúan de forma pasiva deteniendo las rocas que caen constantemente del talud hacia la carretera. Por el deterioro constante que presenta este talud, es necesario evaluar su condición geomecánica actual, diseñar e implementar las soluciones que garanticen su estabilidad y protegerlo superficialmente con el fin de evitar la caída de rocas en la carretera.



Figura 68: Talud estacionamiento 37+750, mostrando los deterioros múltiples en el control de erosión deterioros

6.2d. Estacionamiento 38+600

En este sitio se localiza un tramo de carretera en el que ocurre el proceso de drenaje ácido de roca (*DAR*). Este término hace referencia a la acidificación de las aguas naturales, como consecuencia de la oxidación de rocas que contienen importantes concentraciones de minerales metálicos ricos en azufre o sulfuros (ejemplos: *pirita*, *arsenopirita*, *marcasita*, *calcopirita*, *esfalerita*, *pirrotina*, entre otros). Éstos tienden a oxidarse al exponerse a agentes naturales como el agua y el aire, por destape de la cobertura vegetal o simplemente por exposición al ambiente. Durante el proceso de oxidación del mineral, los átomos de azufre reducido (sulfuro) se oxidan a sulfato y forman ácido sulfúrico. Esto se ve incrementado si hay poca presencia relativa de neutralizadores como rocas calizas o minerales calcáreos como *calcita* u otros carbonatos, los que podrían disminuir la acidez. Al mismo tiempo, se pueden liberar elementos metálicos presentes en la roca como cobre, zinc, plata, cromo, manganeso, entre otros; los cuales pueden incorporarse al agua (USEPA, 1994; Grandia et al., 2009; Rodríguez, 2010; & Dold, 2010). Tal y como el *LanammeUCR* ha comprobado, en el estacionamiento 38+600 se está dando este fenómeno (*INF-PI-UGERVN-05-2016*) y además se ha demostrado que el concreto y el acero de este sitio están afectados directamente por la exposición al drenaje ácido de roca (Suárez, 2017), por lo que no es adecuada su utilización para controlar la erosión y/o estabilizar este talud.

Hacia finales del año 2017, los materiales que se habían colocado en agosto del 2015 para proteger el sector en el cual el concreto lanzado había fallado, ya presentaban daños severos generados por esta acidez local. Los anclajes de acero estaban expuestos debido a que el material que sostenían había caído, mientras que el geotextil y la malla (que mostraron roturas en varios puntos) presentaron gran acumulación de suelo y rocas en sus partes altas, con el peligro que esto representa para los usuarios en caso de nuevas roturas. Posteriormente, el Concesionario intervino un sector específico del talud (Figura 69): los trabajos consistieron en la remoción de una parte del concreto lanzado que estaba agrietado y afectado por el drenaje ácido, así como la remoción de las rocas que se habían acumulado en la malla metálica. En su lugar se colocó un manto para control de erosión con refuerzo metálico, anclado al talud mediante pines de varilla de acero y placas metálicas. Estos materiales no están diseñados para soportar la condición de acidez y el grado de alteración que presentan el suelo y las rocas del talud. Las consecuencias negativas del uso de materiales que no soportan las condiciones de drenaje ácido de roca que se presenta en este sitio, han sido señaladas por el LanammeUCR mediante los siguientes informes: *INF-PITRA-001-2013*, *LM-PI-UGERVN-005-2013*, *LM-PI-UGERVN-007-2013*, *INF-PI-UGERVN-005-2014*, *INF-PI-UGERVN-014-2014*, *LM-PI-UGERVN-003-2015*, *LM-PI-UGERVN-008-2015*, *INF-PI-UGERVN-04-2017*. A pesar de esto, se siguen utilizando materiales que rápidamente (uno o dos años) son corroídos y deteriorados por el *DAR*.



Figura 69: Talud en el est. 38+600, trabajos de sustitución de malla en zona alterada por *DAR*.

Adicionalmente, hay otros sectores en este mismo talud que presentan deterioro severo del concreto y el acero, así como grietas y desplazamiento de bloques de concreto

(Figura 70). Esto evidencia de que las obras de estabilización y protección no son las adecuadas para este sitio, y además exponen a los usuarios a riesgos por caída de concreto, rocas y suelo.



Figura 70: Talud del est. 38+600, concreto lanzado mostrando agrietamiento intenso y pérdida de resistencia.

Por la condición en la que se encuentra este talud, es necesaria la intervención inmediata mediante estudios básicos, para realizar el diseño e implementación de soluciones aptas para enfrentar el drenaje ácido de rocas en este sitio. Al corto plazo se recomienda la remoción controlada de todo el concreto lanzado que presente evidencias de estar siendo afectado por el *DAR*, como las que se mencionan a continuación:

- coloraciones naranjas y rojizas
- disolución del componente calcáreo del concreto
- oxidación avanzada del acero
- socavación de las partes bajas de los taludes recubiertos
- agrietamientos
- desplazamiento de bloques de concreto
- colmatación de drenajes con sales depositadas

6.2e. Estacionamiento 44+500

En este sitio tiene lugar un deslizamiento del terraplén que afecta además las laderas adyacentes. Se trata de un deslizamiento cuyos efectos en la carretera han sido constantes y han sido registrados por el LanammeUCR desde el año 2011 en los informes anuales de evaluación. Entre estos efectos se encuentran deformaciones de la carpeta asfáltica y del guardavía adyacente, así como asentamientos de variada magnitud a lo largo de aproximadamente 400 metros.

Durante la estación lluviosa del año 2017, los asentamientos en este sitio se hicieron más severos, al punto que se tuvo que intervenir el sector. Actualmente se está trabajando en el terraplén, removiendo parte del material inestable y realizando perforaciones para la construcción de un muro anclado que dará soporte a la estructura del pavimento (Figura 71). Posteriormente, según se ha indicado por parte del Consejo Nacional de Concesiones, se construirá una pantalla de pilotes al pie del relleno, con el fin de interceptar la superficie de falla y estabilizar la base del sitio.



Figura 71: Estado de los trabajos de estabilización al 6 de junio del 2017, est. 44+500.

Recientemente se observó otra condición de inestabilidad en este mismo sector de la carretera, en el talud de corte del lado derecho (sentido San José – Caldera), específicamente en el estacionamiento 44+400. En la parte alta de este talud, se encuentra un estrato de suelo con un sector que ha experimentado deslizamientos, con una orientación tal que los materiales desprendidos caen directamente a la ruta (Figura 72). De nuevo, se recomienda realizar los estudios básicos en este punto, para establecer los diseños y las intervenciones necesarias para prevenir la caída de material, mejorando la seguridad de los usuarios.



Figura 72: Parte alta del talud en el est. 44+400, lado derecho.

6.2f. Estacionamiento 44+800

Acá se localiza un talud de corte al lado derecho (en el sentido de ida), el cual ha presentado problemas de inestabilidad durante varios años, con caída recurrente de rocas, las cuales se acumulan en la malla instalada para tal efecto. Sin embargo, estudios realizados por el LanammeUCR demuestran que la zona inestable es mayor a la zona donde se instaló dicha malla, con varios deslizamientos activos que se ilustran en la Figura 73.

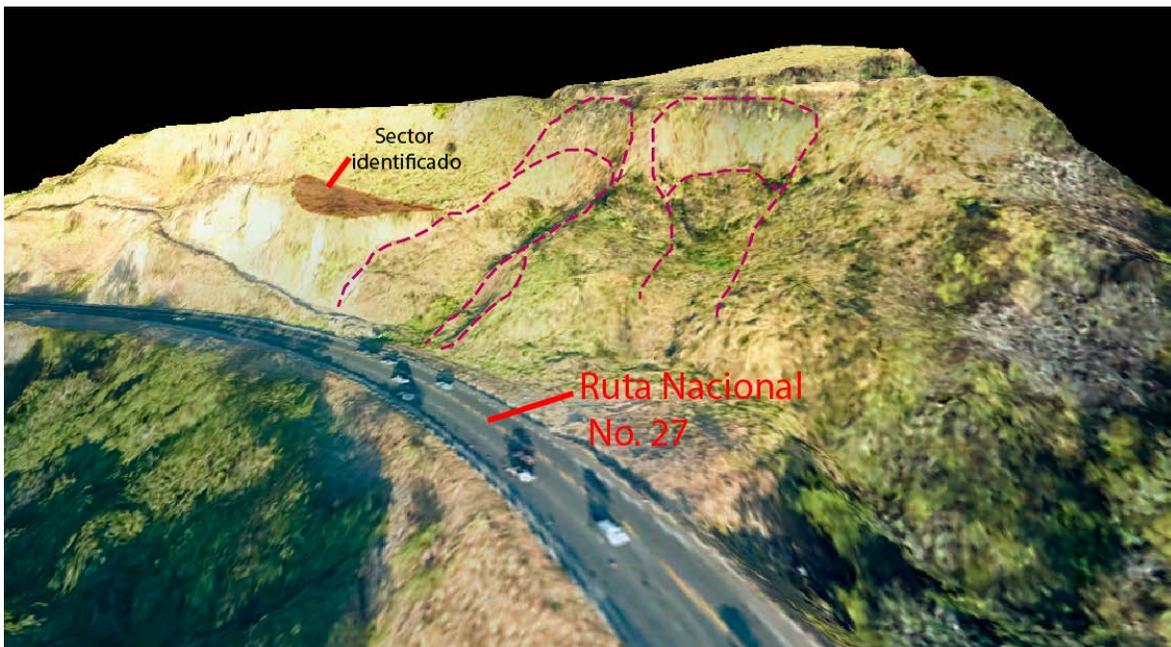


Figura 73: Modelo de elevación digital obtenido por el LanammeUCR, donde se muestra la ubicación de deslizamientos activos (líneas rojas punteadas).

La Figura 74, tomada en junio del año 2018, muestra la corona de uno de los deslizamientos, la cual coincide con otros 2 sitios muy cercanos que ya han presentado movimientos de material. Tomando en cuenta la altura del talud y la cantidad de material afectado, se recomienda la intervención del sitio, mediante la realización de estudios básicos geológicos y geotécnicos, así como el diseño e implementación de una solución que permita garantizar la estabilidad del talud y evite la caída de suelo y rocas sobre la carretera.



Figura 74: Zona con potencial de deslizamiento, talud del est. 44+800.

6.2g. Estacionamiento 47+000

En este sitio también se ha comprobado la presencia de Drenaje Ácido de Rocas (Aguilar, 2017). Durante la construcción de la carretera, el talud del lado derecho fue intervenido mediante la realización de cortes, bermas intermedias, drenajes sub horizontales y colocación de concreto lanzado en su fachada. Desde el año 2016, mediante el informe *INF-PI-UGERVN-05-2016*, el *LanammeUCR* indica el deterioro acelerado en el concreto y acero empleados para la protección superficial de este talud, así como los agrietamientos presentes (Figura 75). Además, varios drenajes sub horizontales presentan formación de sales que colmatan su sección, impidiendo el paso normal de las aguas.



Figura 75: Estado del concreto lanzado, talud derecho del est. 47+000.

En el talud del lazo izquierdo, existe un deslizamiento de material que obstruye la cuneta de concreto (Figura 76). Debido a estos problemas, se recomienda intervenir en el corto plazo el sector del talud que presenta deterioro en el concreto y en el acero, así como considerar el diseño de una solución permanente para la protección superficial del talud, que involucre el uso de materiales aptos para las condiciones de acidez que presenta este sitio y evitar el uso de concreto y aceros convencionales.



Figura 76: Deslizamiento en el talud izquierdo del est. 47+000.

6.2h. Estacionamiento 73+000

El talud de corte del lado derecho, en el sentido de ida San José – Caldera, con una altura aproximada de 20 metros, ha presentado durante años caída constante de material arenoso y rocas de tamaño centimétrico y decimétrico (Figura 77). De nuevo, existe una solución temporal en la forma de una barrera de concreto tipo “New Jersey”

para evitar que los caídos afecten la carretera. Sin embargo, esta caída constante de material ha provocado la socavación de parte del talud, exponiendo bloques de roca que van perdiendo el soporte, y que eventualmente verán su estabilidad comprometida. La altura de este talud, junto con una pendiente de 55° , significa que en eventos lluviosos importantes, se expone a los usuarios a niveles de amenaza altos. De nuevo, se recomienda la intervención de este sitio, con los respectivos estudios básicos para garantizar la medida de contención más adecuada.

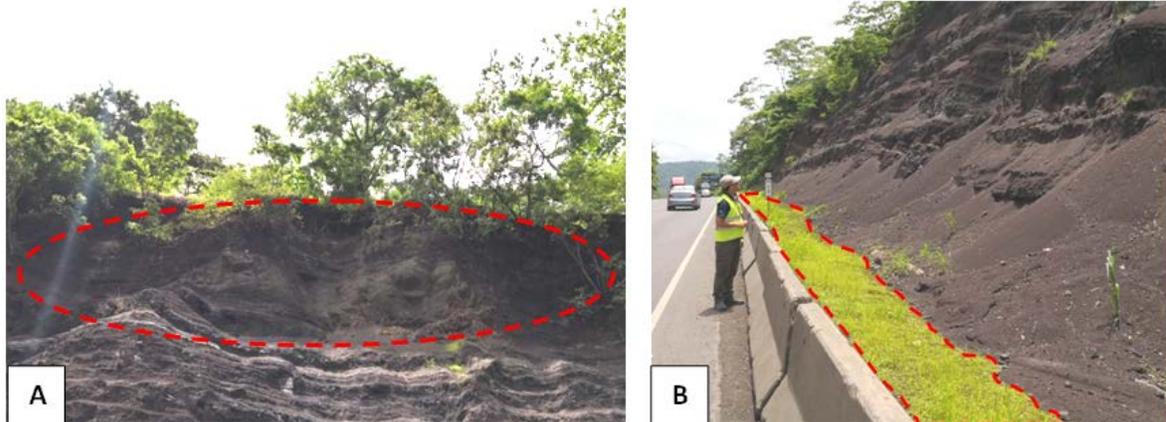


Figura 77: Talud del est. 73+000. A) Se señala el sitio con potencial de generar caída de rocas en la carretera. B) Al pie del talud se observa la cuneta completamente colmatada por los finos acumulados entre el pie del talud, y la barrera de contención.



7. CONCLUSIONES

7.1 Conclusión General

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

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. Ninguno de estos aspectos 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.

A partir de la evaluación realizada, se observó que de manera general la Ruta 27 San José - Caldera presenta una muy buena capacidad estructural en casi toda su longitud. Sin embargo, la condición funcional (que está relacionada directamente con el confort y los costos de operación) indica que sólo un aproximado del 55% de la longitud del proyecto, se encuentra en la categoría “Buena”, con el restante en la categoría “Regular”, lo que representa un incremento de esta última categoría en casi 9% con relación a la evaluación anterior (años 2016-2017). En el tema de la seguridad vial, la prueba con el medidor de agarre superficial “*GripTester*”, usado a nivel internacional para medir la resistencia al deslizamiento de una superficie de rueda, dio resultados que señalan que un porcentaje importante (36% de la longitud en el sentido de ida, 39% en el sentido de venida) presenta valores ubicados en la categoría de “Deslizante”; en el sentido de venida, un 14% se encuentra en la categoría de “Muy Deslizante”. Por su parte, la prueba con el “*MuMeter*”⁷, dio resultados en que sólo un 5% de la longitud de la troncal principal, se sale de los valores estipulados en el contrato.

⁷ 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.



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 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 al deterioro. Esto especialmente es claro al analizar las estrategias de intervención, las cuales para esta evaluación son más severas en comparación con las obtenidas en evaluaciones anteriores.

En contraste con la troncal principal, 3 de las 4 radiales del proyecto (Coyol, Atenas y Turrúcares) muestran valores de deflectometría, perfil y agarre superficial principalmente en rangos moderados a malos, lo cual se refleja en Notas de Calidad altas (Q7 a Q9, R1 a R3), y estrategias de intervención severas para recuperar condiciones normales. Sólo la radial de Escobal se encuentra en buen estado general.

En el tema de deterioros superficiales, se sigue la tendencia marcada desde la evaluación 2016-2017, con un aumento significativo de los deterioros tipo área y tipo grietas, en comparación con evaluaciones anteriores. Para el primer tipo, los deterioros más comunes son la exudación, el bacheo y la piel de lagarto; mientras que en el segundo tipo dominan las grietas longitudinales y transversales. Es de recordar que el cartel 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, se pudieron crear los modelos en esta evaluación para la RN27. Con ello, y la calibración que se hará año con año, cuando nuevos valores de *IRI* sean obtenidos, será posible evaluar las políticas de mantenimiento que se están aplicando a la ruta. Con los resultados obtenidos este año, existen 3 tramos críticos, todos ubicados en el sentido de venida Caldera – San José, que alcanzarán un nivel de serviciabilidad límite en el corto plazo (3 a 7 años).

Por último, en el tema geológico – geotécnico, son muchos los problemas que afectan esta ruta. La mayor parte de ellos se encuentran en la zona montañosa del *Tramo 2*, e históricamente han venido presentando problemas desde la misma apertura de la ruta, en el año 2010. Estos sitios están ubicados, y han sido evaluados por el *LanammeUCR* en varios informes de años anteriores. De no aplicarse las recomendaciones, es de esperar que presenten problemas con los fenómenos extraordinarios de lluvias que cada vez más afectan el territorio nacional (*Nate* y *Otto* son los ejemplos más recientes).



7.2 Conclusiones Específicas

7.2a. Sobre la condición estructural

Los resultados obtenidos con el *Deflectómetro de Impacto*, muestran que el proyecto mantiene una buena condición estructural en gran parte de la longitud del troncal principal del proyecto. Con base en las últimas 3 evaluaciones, se detecta una ligera tendencia al deterioro en este parámetro, dado que el porcentaje obtenido de la longitud con deflexiones bajas, ha venido en descenso desde la evaluación de los años 2015-2016.

En contraste, las radiales presentan condiciones donde predominan los rangos de deflexiones altas y muy altas en buena parte de su longitud, lo que indica condiciones estructurales malas. Sólo la radial de Escobal presenta el 100% de su longitud en ambos sentidos, en condiciones buenas.

7.2b. Sobre la condición funcional

En este parámetro, sólo un 55% de la longitud de la troncal principal presenta regularidades en el rango de buena, con el restante en el rango de regular. 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 respecto a las radiales, el rango de *IRI* predominante es el regular, con porcentajes mínimos en el orden de 60% de la longitud de cada radial en esta categoría.

7.2c. Sobre la resistencia al deslizamiento como parámetro de seguridad vial

En el sentido de ida, una tercera parte de la longitud presenta la superficie de ruedo en condiciones deslizantes; sin embargo, para el carril de venida, más del 50% de la longitud presenta superficies deslizantes a muy deslizantes, con la consiguiente exposición de los usuarios de esta ruta a niveles de seguridad vial bajos. Lo anterior, expresa los resultados obtenidos con el *GripTester*, con el equipo *MuMeter*, menos del 5% de la longitud de la ruta en ambos sentidos, presenta valores fuera de rango.

En este parámetro, la ruta ha experimentado un proceso de mejora desde la campaña de evaluación de los años 2015-2016, en el sentido de que el porcentaje de longitud con superficie poco deslizante, ha venido creciendo en forma constante con cada evaluación. Sin embargo, la realidad de las radiales demuestra ser muy distinta: los rangos dominantes son los deslizantes a muy deslizantes, con porcentajes importantes de longitud en esta categoría en cada una.



7.2d. Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica

Gracias a la información obtenida con el *Equipo de Imágenes Georeferenciadas*, fue posible realizar una evaluación detallada de la totalidad de los deterioros superficiales que muestra la ruta. La evaluación de los años 2016-2017, indicó un aumento importante de la superficie de la ruta afectada por deterioros tipo *área* y tipo *grieta*; con los resultados de la presente evaluación (2017-2018), dicha tendencia al aumento se mantiene.

Los deterioros tipo *área* que más predominan son el bacheo, la exudación y la piel de lagarto; los de tipo grieta predominantes son las grietas longitudinales y transversales. Es importante recalcar que, según el cartel de licitación de este proyecto, la exudación no debe presentarse: el mayor porcentaje encontrado de este deterioro se localiza en el Tramo 2 del proyecto, la zona montañosa entre Ciudad Colón y Orotina.

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

7.2e. Sobre las notas de calidad y las estrategias de intervención

Para la troncal principal, las notas de calidad predominantes son Q1 y Q2, con porcentajes bajos con notas Q3, Q5 y Q8. Esto en general refuerza el concepto de que el proyecto presenta buenas notas en la condición estructural y funcional en un porcentaje importante de su longitud. Sin embargo, y al comparar las notas obtenidas en campañas de evaluación anteriores, tanto por distribución como por la aparición de nuevas notas (tramos con notas Q5 y Q8 empezaron a aparecer en la evaluación 2015-2016), se concluye una tendencia general hacia el deterioro. Lo anterior se refuerza cuando se determinan las estrategias de conservación: para estas últimas campañas, los resultados obtenidos indican estrategias cada vez más severas, con el fin de devolver a la superficie de ruedo las condiciones normales para un proyecto de este tipo.

En las radiales, sólo la de Escobal presenta notas buenas Q1 y Q2. En las demás radiales, se dan porcentajes importantes de tramos con notas Q7 a Q9, y R1 a R3, lo que confirma lo expresado en secciones anteriores: en general, las radiales presentan estándares muy por debajo de los dados a la troncal principal, al punto que muchos tramos califican para reconstrucción

7.2f. Sobre los Modelos de Deterioro

Con la ruta dividida en tramos homogéneos para los sentidos de ida y de venida, y con el modelo de *PSI* desarrollado por el *LanammeUCR* para Costa Rica, a partir de los datos obtenidos de *IRI* con el perfilómetro láser se crearon los modelos de deterioro para la troncal principal de la RN27. Estos modelos dan una idea de la condición en cada año para cada tramo, con las políticas actuales de mantenimiento aplicadas sobre ellos. Los resultados obtenidos se agruparon en 3 categorías: tramos que alcanzarán el valor límite inferior del *PSI* en el largo plazo (más de 30 años a partir del presente), tramos que



alcanzarán dicho umbral en el mediano plazo (dentro de 10 años o más años), y los tramos críticos que alcanzarán dicho valor en el corto plazo. Destaca el hecho que, en esta última categoría, los 3 tramos corresponden con el sentido de venida, 2 de los cuales se ubican al inicio de la ruta (los primeros 14 km desde San José), y el tercero corresponde con el tramo 4, los últimos 26 km desde el cruce de Orotina, hasta el final de la ruta en Caldera. De seguirse aplicando las políticas de mantenimiento actuales en dichos tramos, es de esperarse actividades de rehabilitación mayor, en el término de 3 a 7 años.

7.2g. *Sobre las condiciones geotécnicas y sistemas de drenaje*

La serie de eventos climatológicos que afectaron el país durante el año 2017, puso en evidencia el grado de vulnerabilidad que presentan varios sitios de la RN27. Caída de aguas a la ruta, y taludes inestables, provocaron el cierre parcial o total de tramos durante dicho año, con la afectación que esto significa para los usuarios, y en general para el país. Debido a esto, funcionarios de la UGERVN se dieron a la tarea de visitar y estudiar los sitios que han venido presentando problemas, siendo muchos de ellos reincidentes en el sentido de que fueron detectados desde tiempo atrás, muchos incluso desde la misma apertura del proyecto en el año 2010.

De estas visitas, se identificaron 8 sitios. Seis de ellos representan zonas inestables, donde se da caída constante de material debido a la erosión hídrica y su geometría (taludes altos y con pendientes importantes). Los restantes 2 son sitios afectados por el fenómeno del drenaje ácido o DAR: son sitios donde las aguas subterráneas acarrear minerales que favorecen su acidificación, y que al contacto con concreto y/o acero, los degrada en el corto plazo. Para todos estos sitios, es necesario realizar estudios básicos, de tal manera que sea posible implementar una solución adecuada a cada problema, y evitar la afectación de la ruta cuando nuevos fenómenos meteorológicos de importante magnitud, afecten el país.

8. RECOMENDACIONES

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

8.1a. *Sobre la evaluación funcional, estructural, resistencia al deslizamiento y de deterioro superficial del proyecto*

- Ordenar al Concesionario realizar intervenciones tempranas del tipo sellos de lechadas asfálticas o similares (*slurry seals, fog seals, chip seals, microsurfacing* u otras técnicas) en aquellas zonas con deterioros de tipo funcional y problemas relacionados con la baja resistencia al deslizamiento, con el fin de detener la propagación de los deterioros detectados y las condiciones de inseguridad vial.



- Revisar los estándares de calidad y mantenimiento del proyecto, puesto que al realizar el análisis de modelos de deterioro, se detectaron varios tramos con deterioros acelerados. Es por esto que deben considerarse las acciones preventivas correspondientes, que garanticen al Estado costarricense obtener un proyecto de altos estándares al final del periodo de concesión.

8.1b. Sobre la evaluación de las radiales

- Realizar una intervención mayor tipo rehabilitación inmediata de 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 acelerados.

8.1c. Sobre el estado de los taludes y terraplenes adyacentes a la ruta

- Se recomienda coordinar con el *INCOFER* la evaluación y el mantenimiento de los taludes y cunetas que puedan tener un impacto directo sobre la ruta en el estacionamiento *46+700*.
- Los taludes deben estar protegidos con vegetación y material tipo geotextil adecuado para evitar que durante las lluvias el suelo sea removido.
- Para los taludes mencionados en la Tabla 11, se recomienda realizar estudios y diseños necesarios a la brevedad posible, que permitan realizar una intervención efectiva, previniendo afectaciones mayores para los usuarios y la ruta.
- Para el talud del estacionamiento *28+350*, se recomienda mejorar el manejo de las aguas superficiales, además de realizar la instalación de protección superficial para prevenir que se incremente la erosión diferencial.
- En el talud del estacionamiento *38+600*, al presentar *DAR* se requiere realizar una intervención inmediata con base en estudios, que permitan ofrecer una solución permanente y que garantice la serviciabilidad y seguridad de los usuarios.
- En el talud del estacionamiento *47+000*, se recomienda intervenir en el corto plazo el sector del talud que presenta deterioro en el concreto y en el acero.



9. BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- 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.



- De Solminihaç, 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.
- Huang, Y. (1998) *Pavement Analysis and Design* Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. Estados Unidos de América.
- Hveem, F M. & Carmany R. M. (1948). *The Factors Underlying the Rational Design of Pavements*. Highway Research Board, Vol 28, pp 101-136. Estados
- INSUMA, Ingenieros y Geólogos Consultores, 2012. Estudio Geotécnico Carretera San José Caldera, Rellenos entre las estaciones 44+260 y 44+540
- 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 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.

- 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.
- Piedra Rodríguez, Jonathan. *Coeficiente de fricción de las carreteras nacionales en Costa Rica*, Proyecto final de graduación, año 2007, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica
- Porras, H., Cascante, M., Granados, R., y Alvarado, G.E., 2012: *Volcano-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.
- 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.
- 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.
- Vargas, W. "Guía para elaborar perfiles de vulnerabilidad de infraestructura vial ante amenazas naturales" LANAMME. UCR. 2002.
- Vargas, W.; Garro, J. "Gestión de riesgos naturales en infraestructura vial" LANAMME. UCR. 2003.
- Vargas, W.; Garro, J. "*Relación entre las características geométricas y la vulnerabilidad de algunas rutas de montaña en Costa Rica*" I Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (I CISEV). Costa Rica. 2008.



Agradecimientos

Se extiende un agradecimiento al Laboratorio de Campo, por su valiosa colaboración en la programación y obtención de datos con los distintos equipos de alta tecnología con los que cuenta el LanammeUCR. Cabe destacar su alto nivel profesional y técnico a la hora de recabar información en sitio, lo que permite obtener excelentes resultados.

Por lo anterior, y por el valor que agrega a este informe el nivel técnico de ese laboratorio, se destaca la labor del siguiente personal:

Jefatura: Ing. Melissa Rojas Duarte

Personal Técnico:

- Cristian Molina Garita
- Edgar Mena Rodríguez
- Francisco González Villarreal
- Greivin Ceciliano Valverde
- Luis Pablo Blanco
- Marcos Vargas Romero
- Richard Vásquez Marín
- Sergio Castillo Mora

Además, extendemos el agradecimiento por la valiosa colaboración brindada en el desarrollo de este informe, a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil que cumplen con labores de asistencia en esta Unidad, los cuales son:

- Andrés Hernández Castro
- Mey Lin Vega Sánchez
- María Laura Estrada
- Melissa Camacho Umaña

Sin su valioso aporte no sería posible esta importante herramienta de gestión y fiscalización de la infraestructura Nacional.



Anexo I: Resultados obtenidos 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.

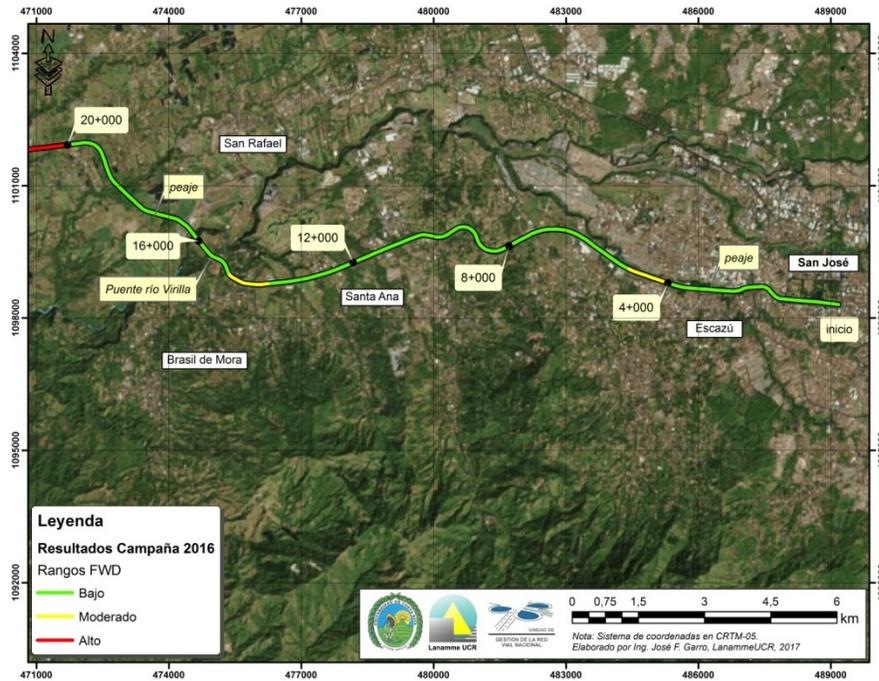


Figura A1 1 Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 - 20+000

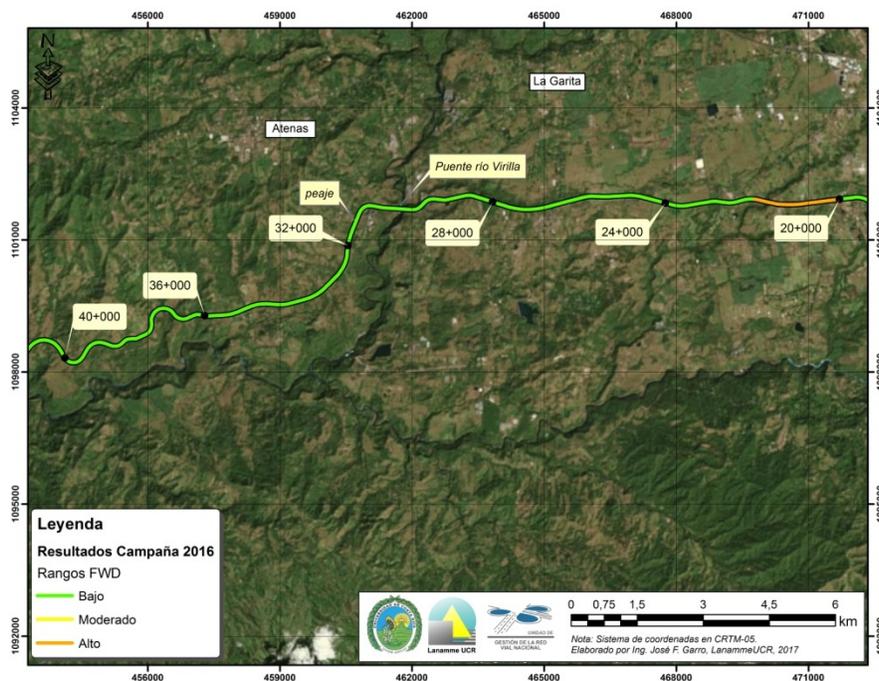


Figura A1 2 Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 06+000 - 40+000

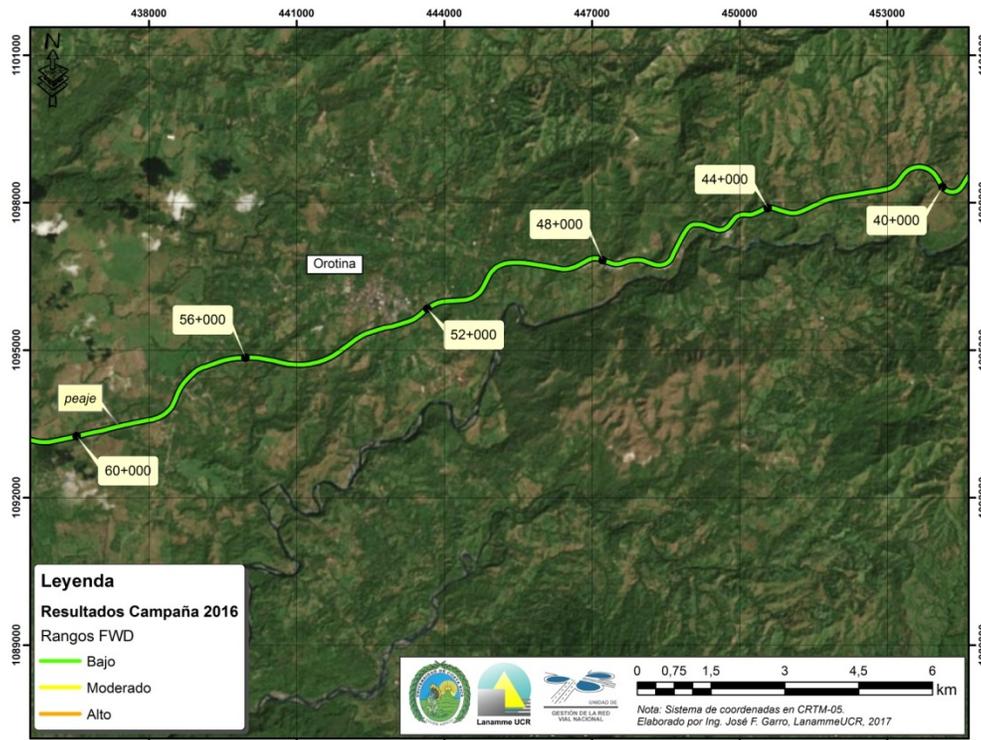


Figura A1 3 Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

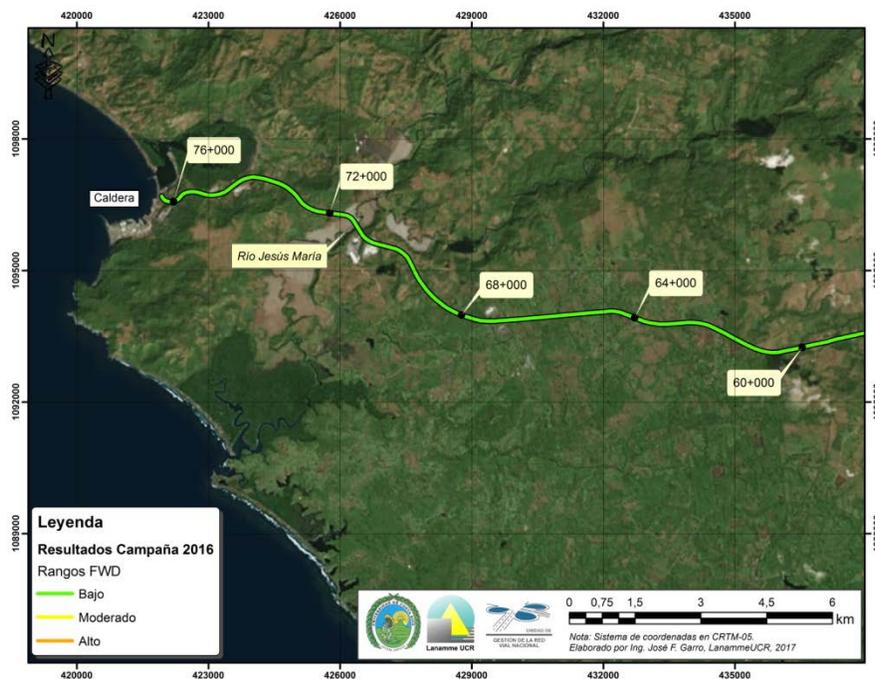


Figura A1 4 : Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000

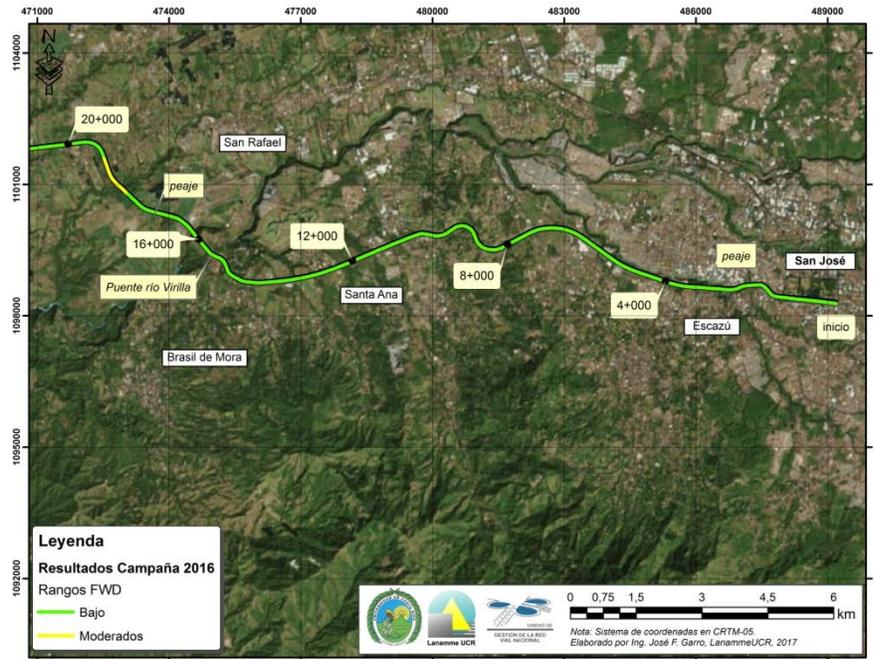


Figura A1 5 Resultados FWD,. Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

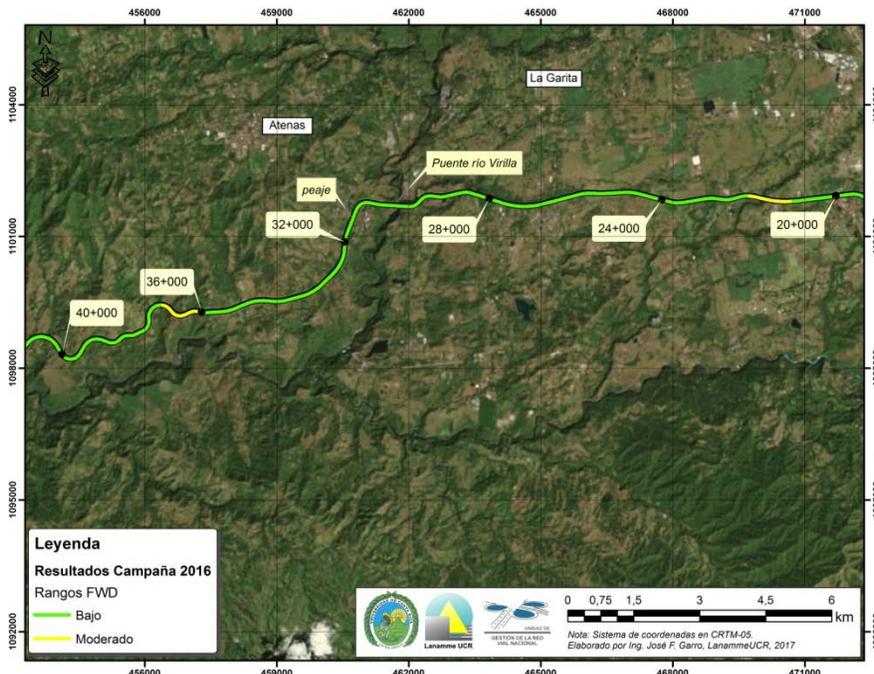


Figura A1 6 Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000

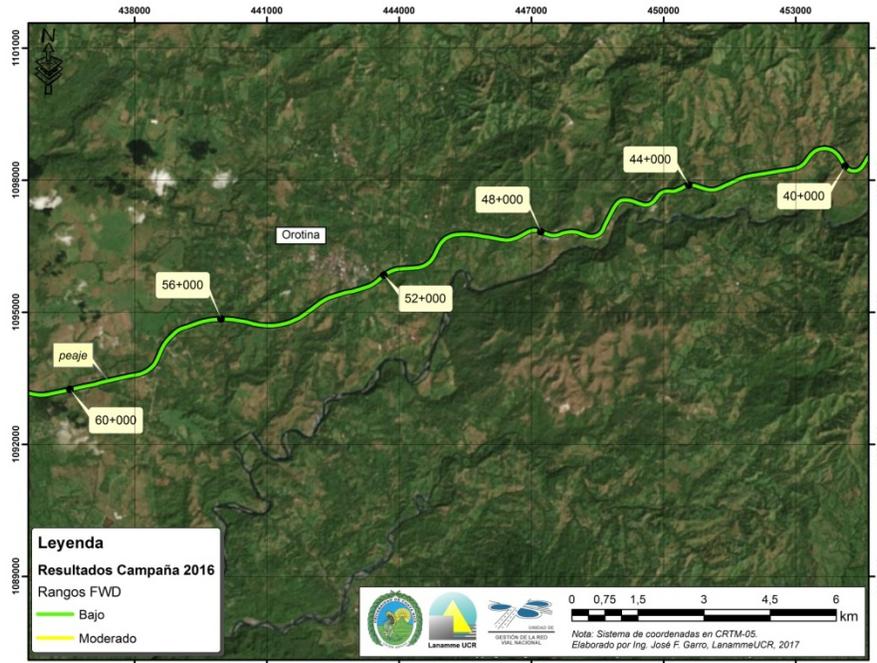


Figura A1 7 Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

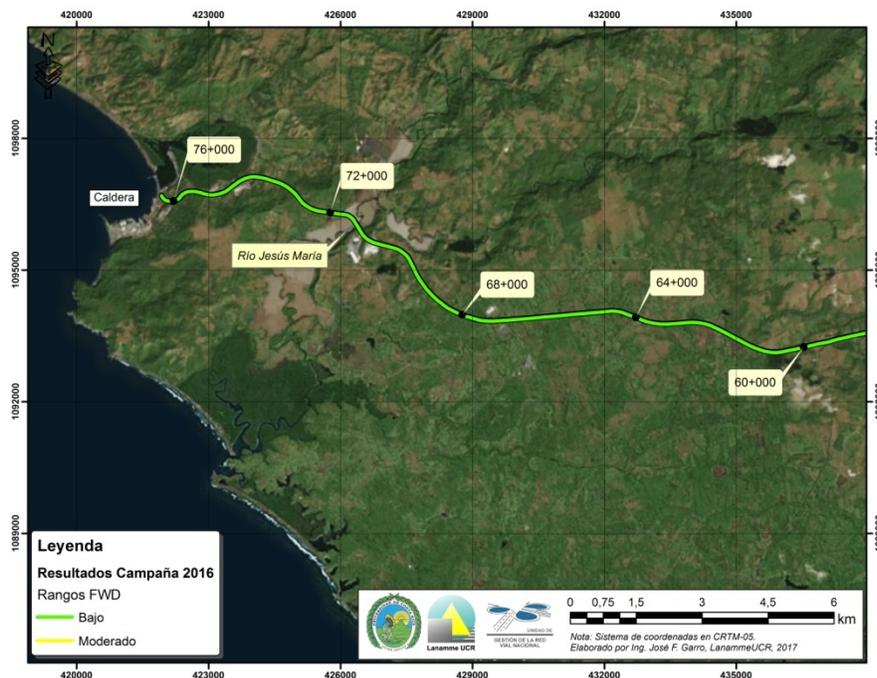


Figura A1 8 Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



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.

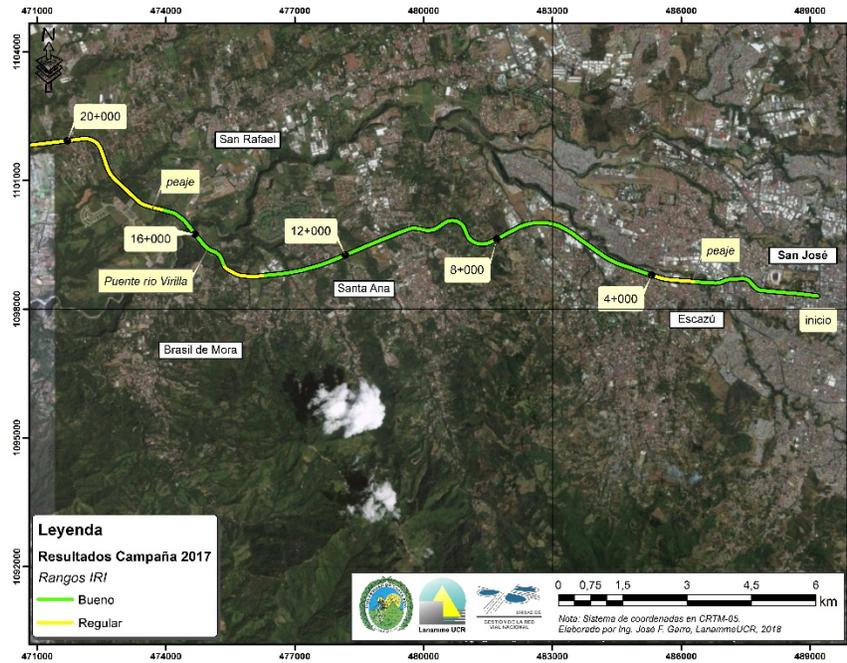


Figura A2 1 Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 - 20+000

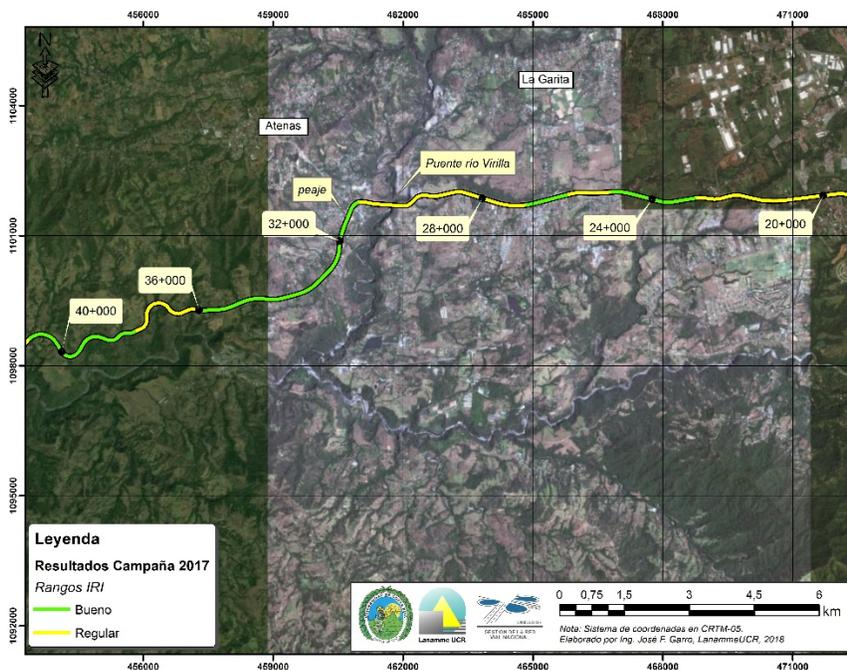


Figura A2 2 Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000

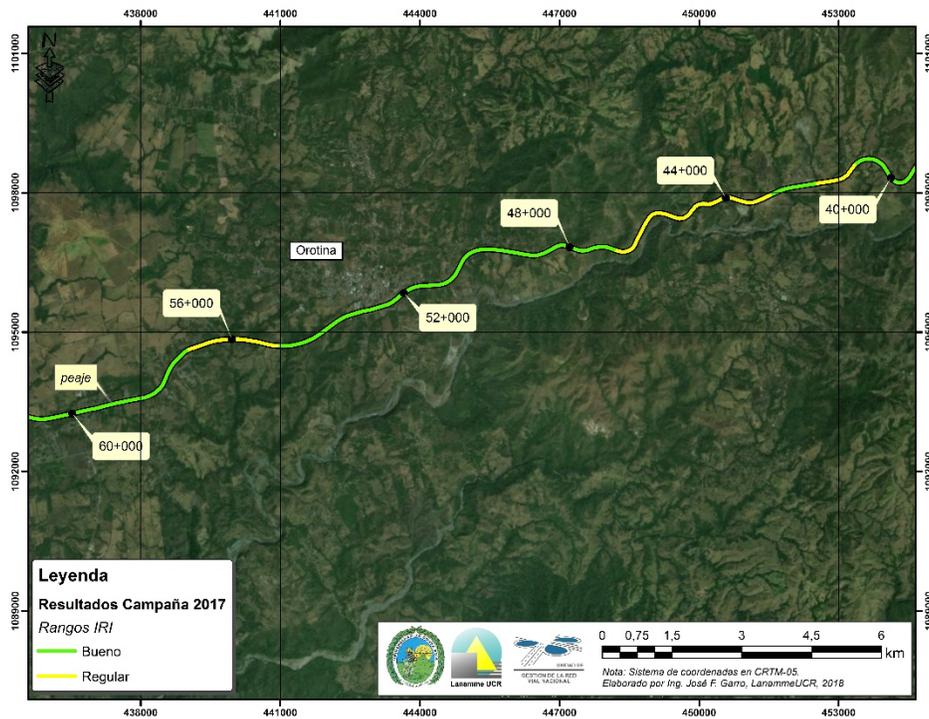


Figura A2 3 Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000



Figura A2 4 Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000

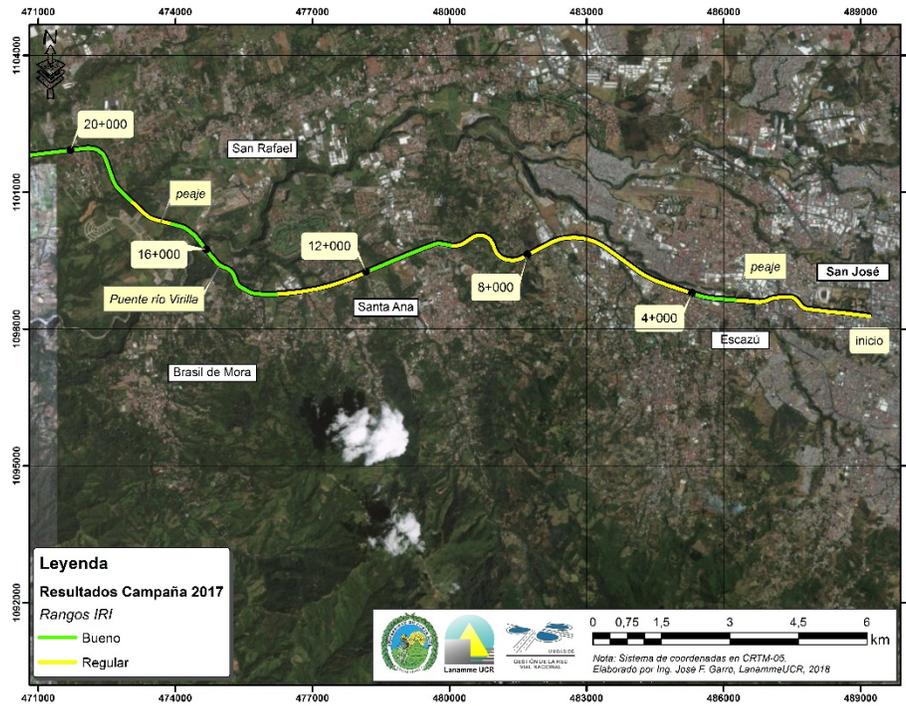


Figura A2 5 Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

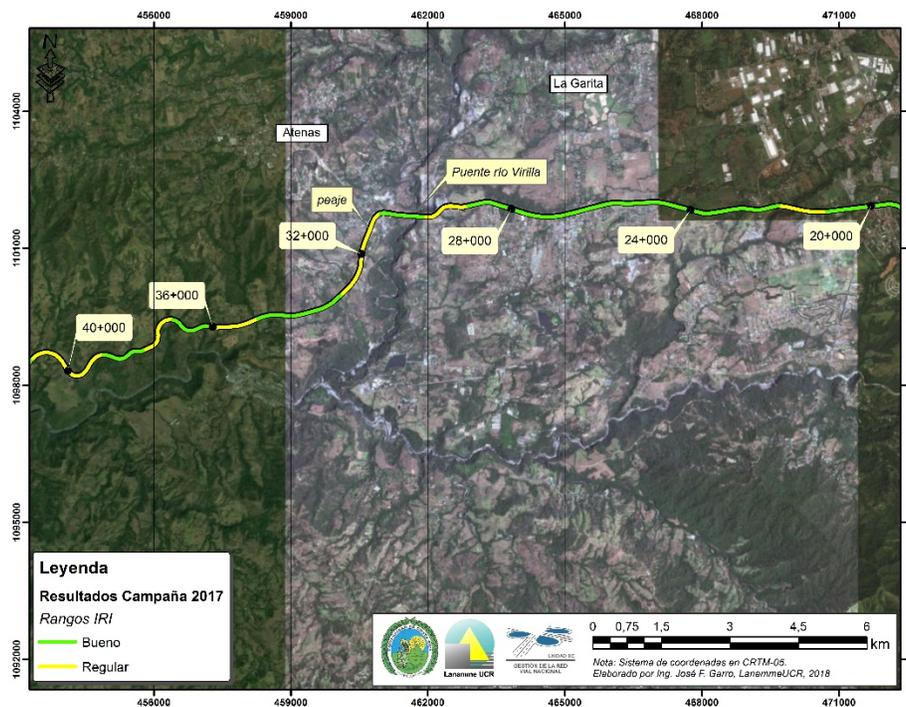


Figura A2 6 Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000

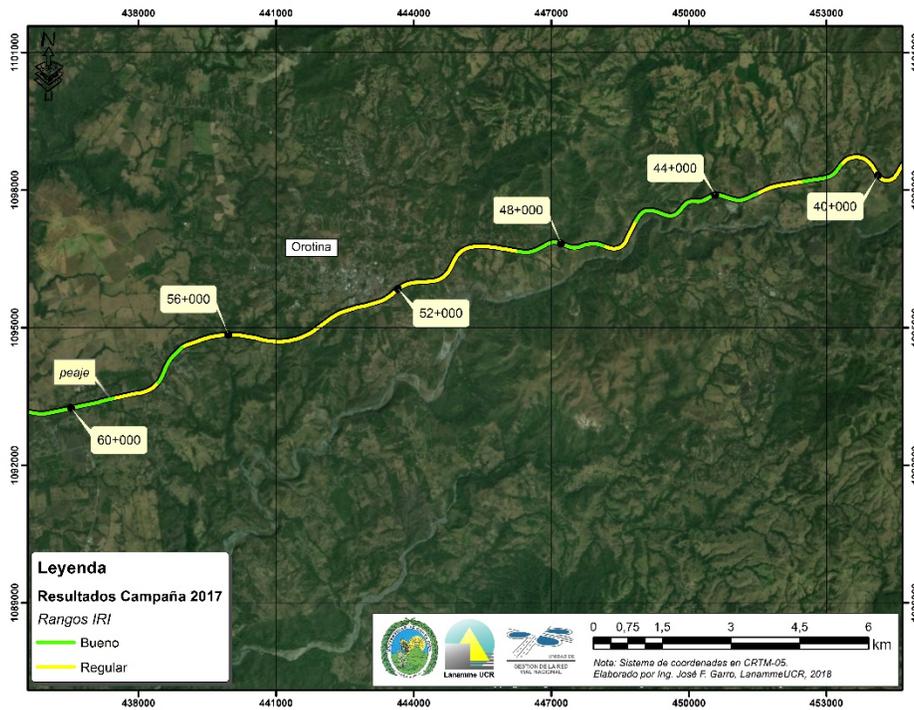


Figura A2 7 Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

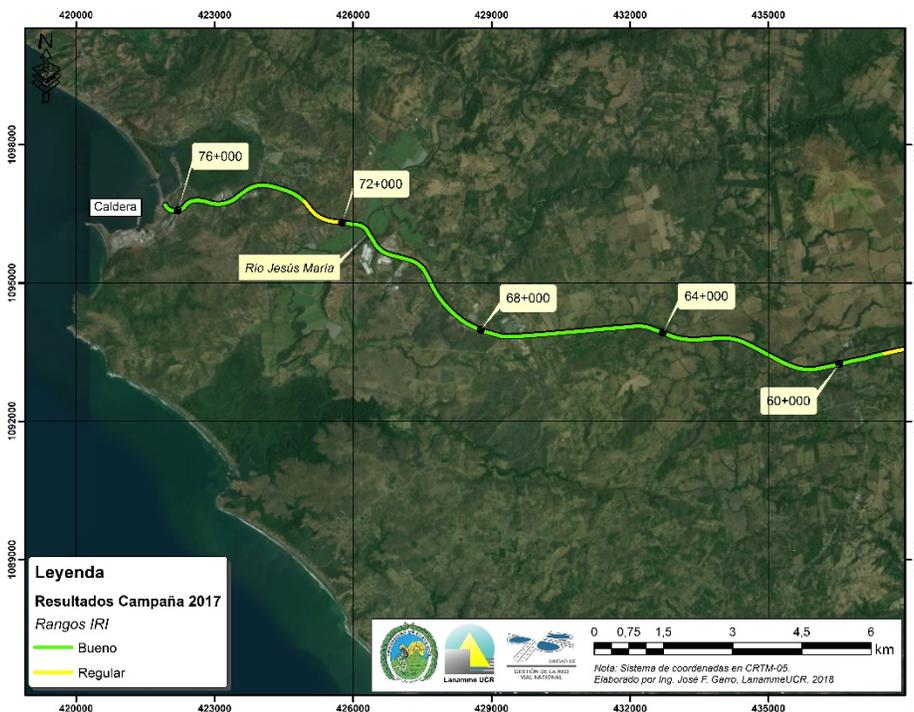


Figura A2 8 Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



Anexo III: Resultados obtenidos Medidor de Agarre Superficial

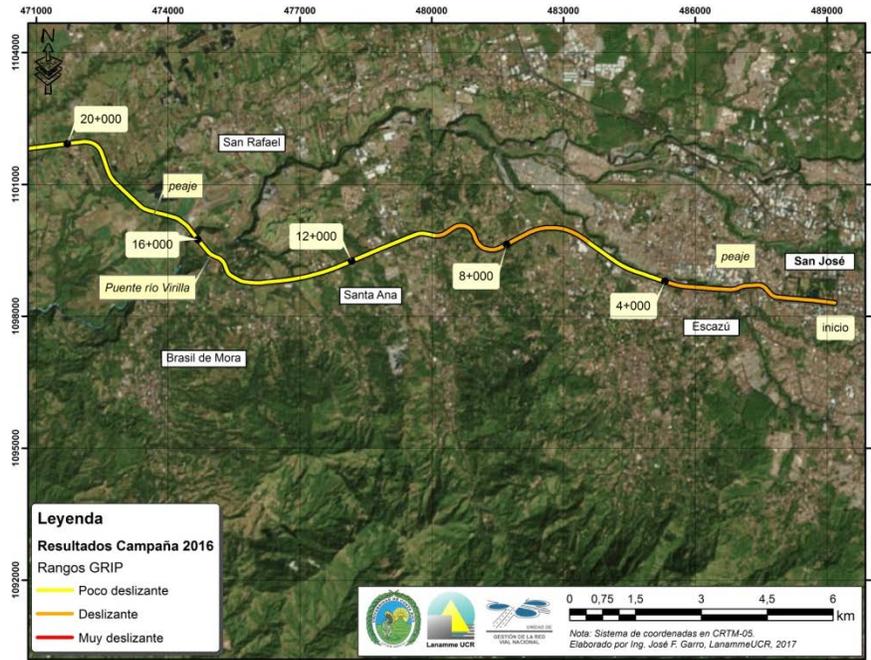


Figura A3 1 Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 -20+000

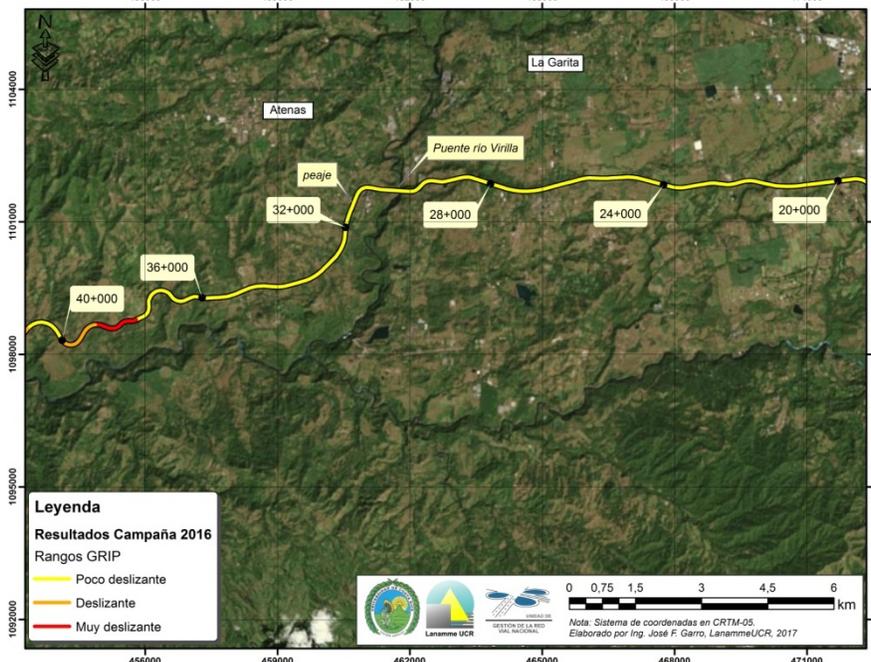


Figura A3 2 Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000



Figura A3 3 Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

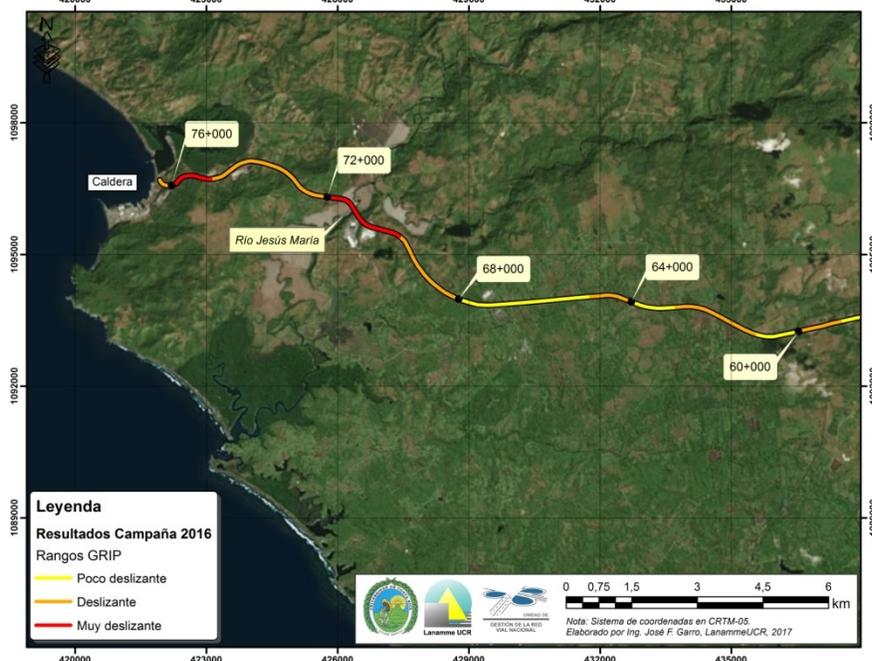


Figura A3 4 Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000

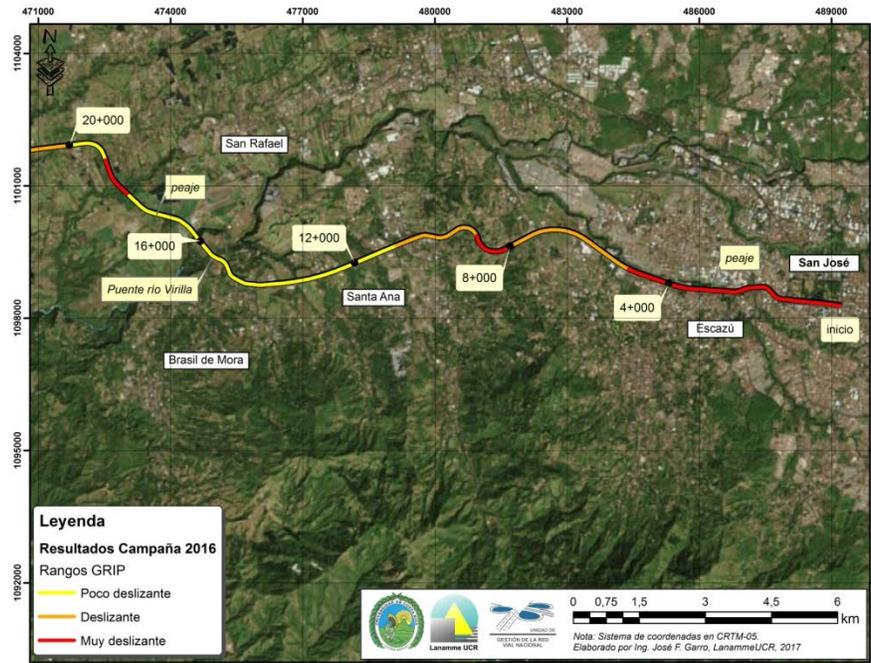


Figura A3 5 Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

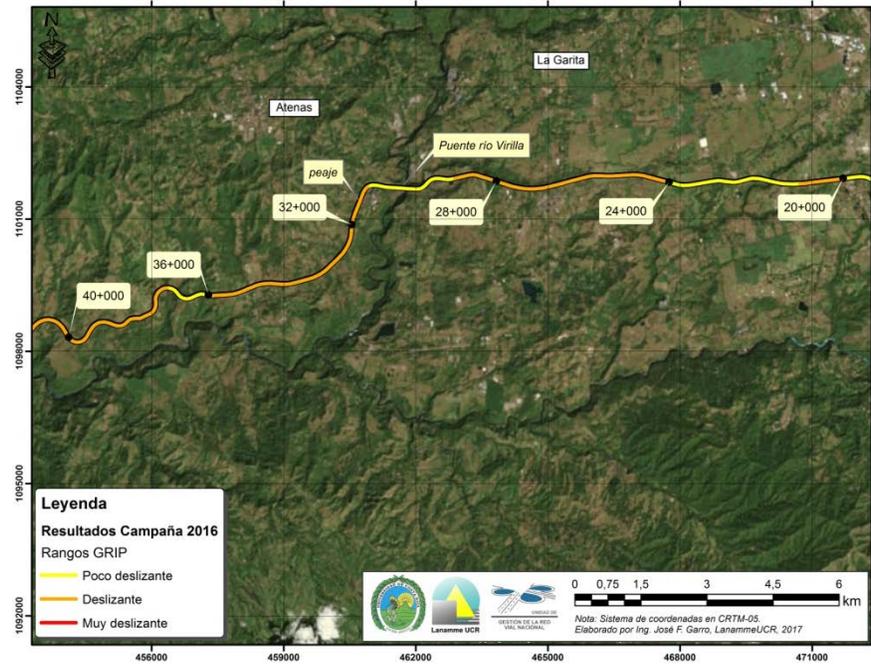


Figura A3 6 Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000



Figura A3 7 Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

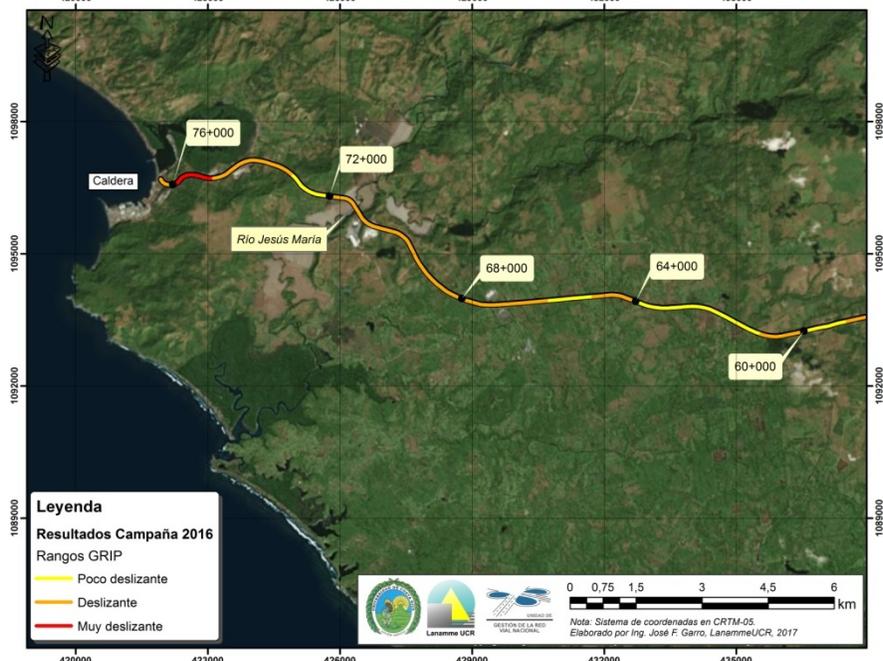


Figura A3 8 Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



Anexo IV: Resultados Obtenidos Notas de Calidad Q

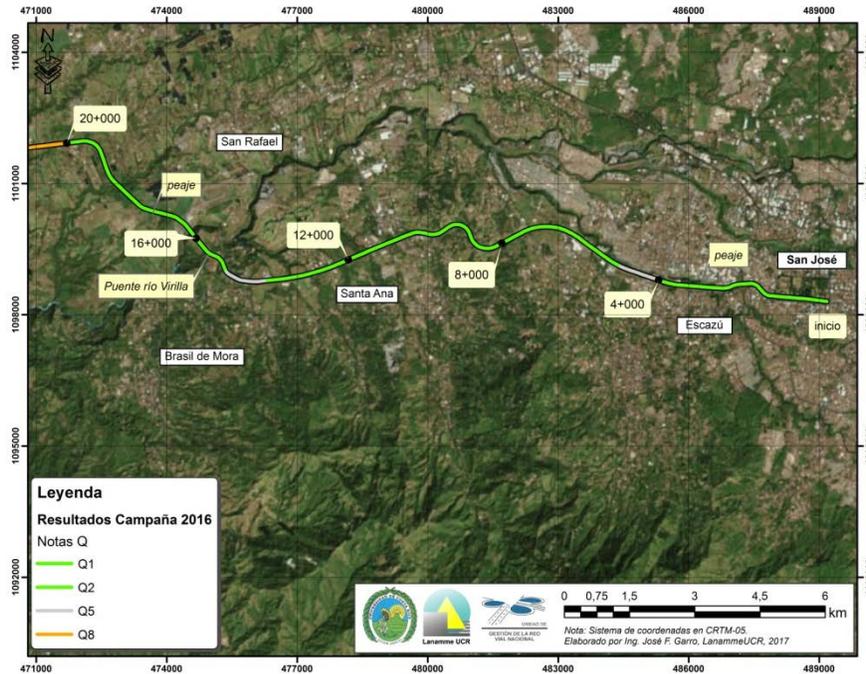


Figura A4 1 Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 0+000 - 20+000

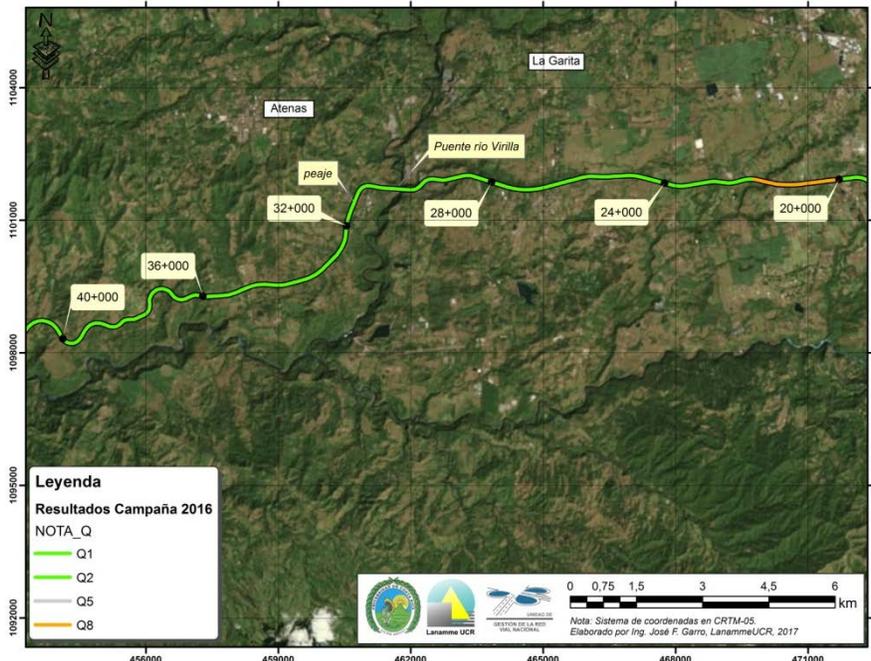


Figura A4 2 Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 20+000 - 40+000

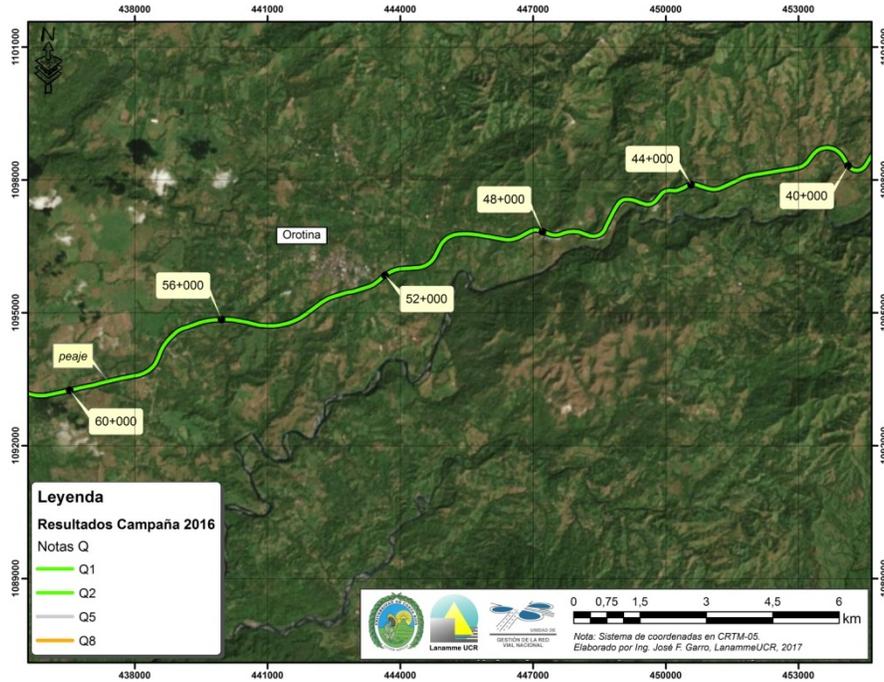


Figura A4 3 Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 40+000 - 60+000

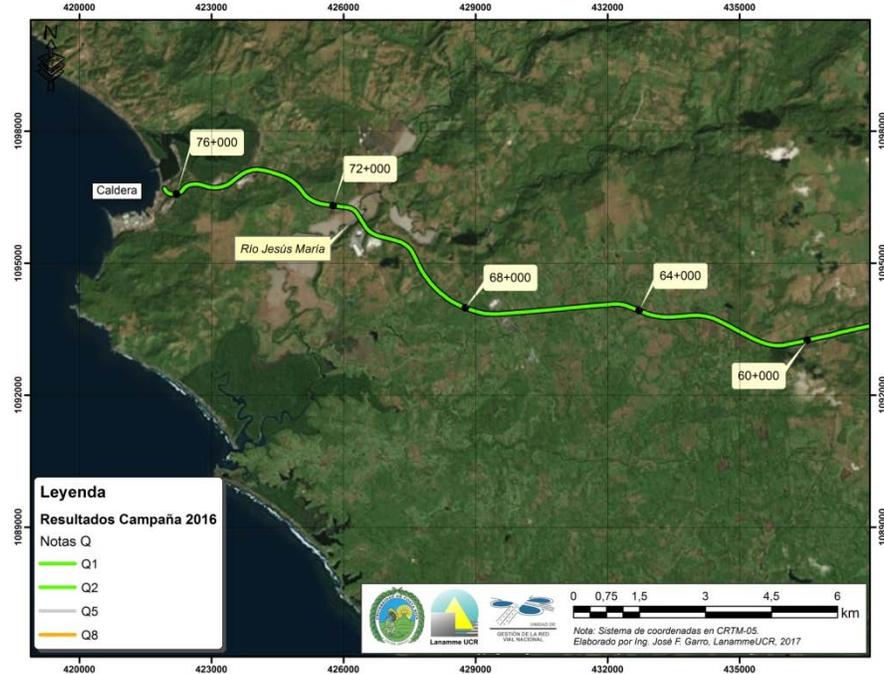


Figura A4 4 Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 60+000 - 76+000

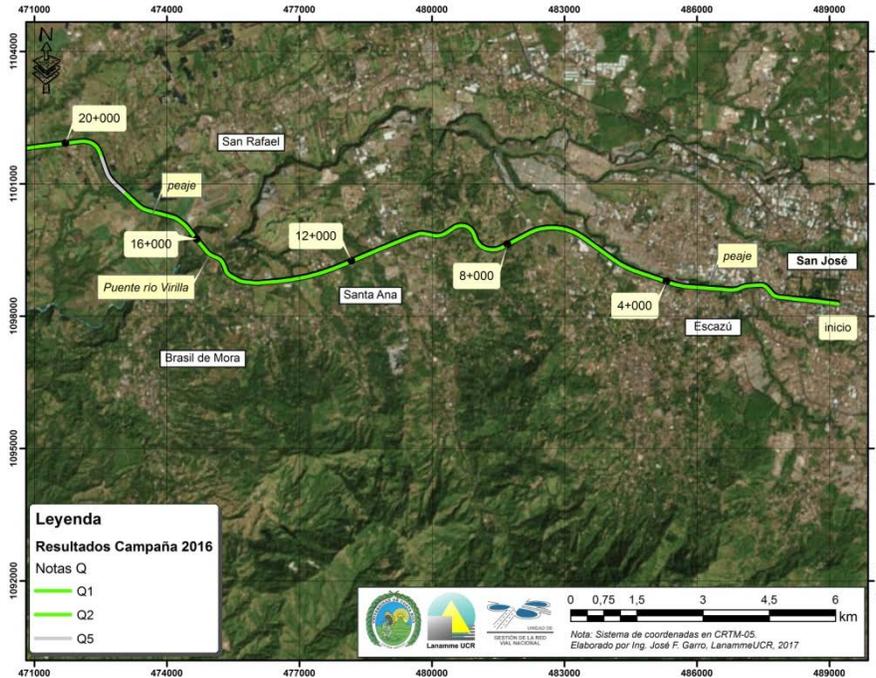


Figura A4 5 Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

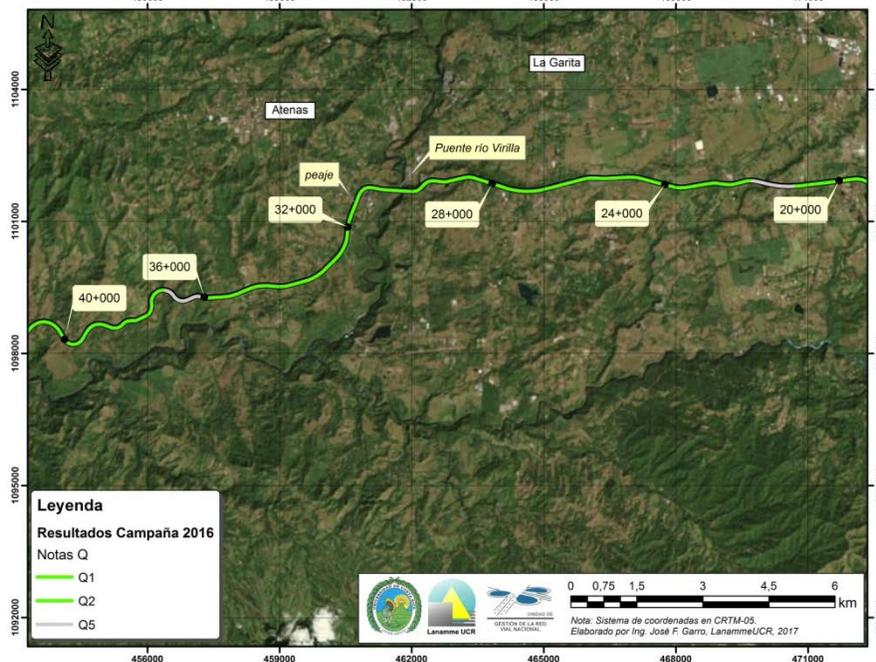


Figura A4 6 Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000

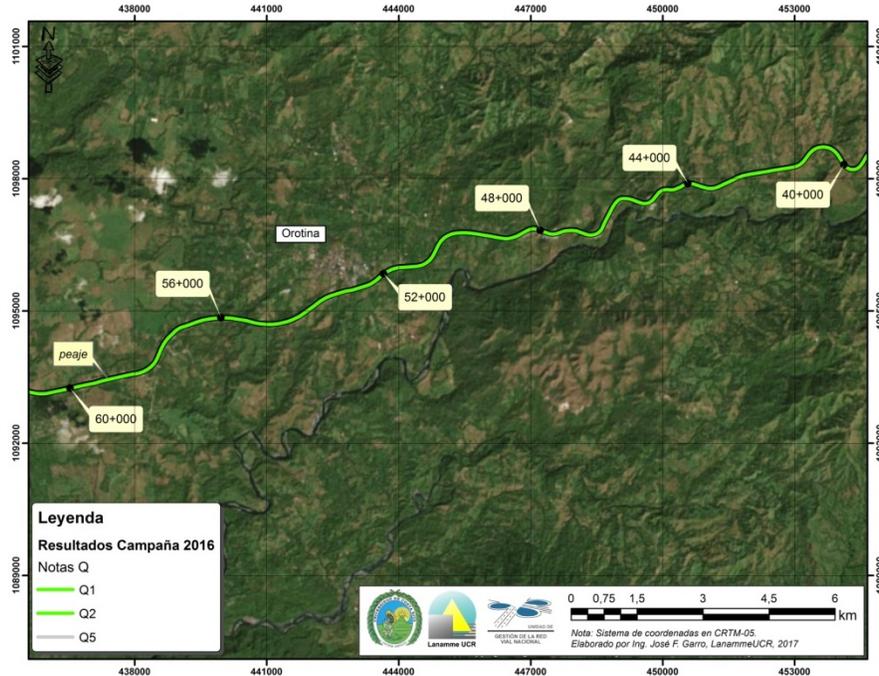


Figura A4 7 Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

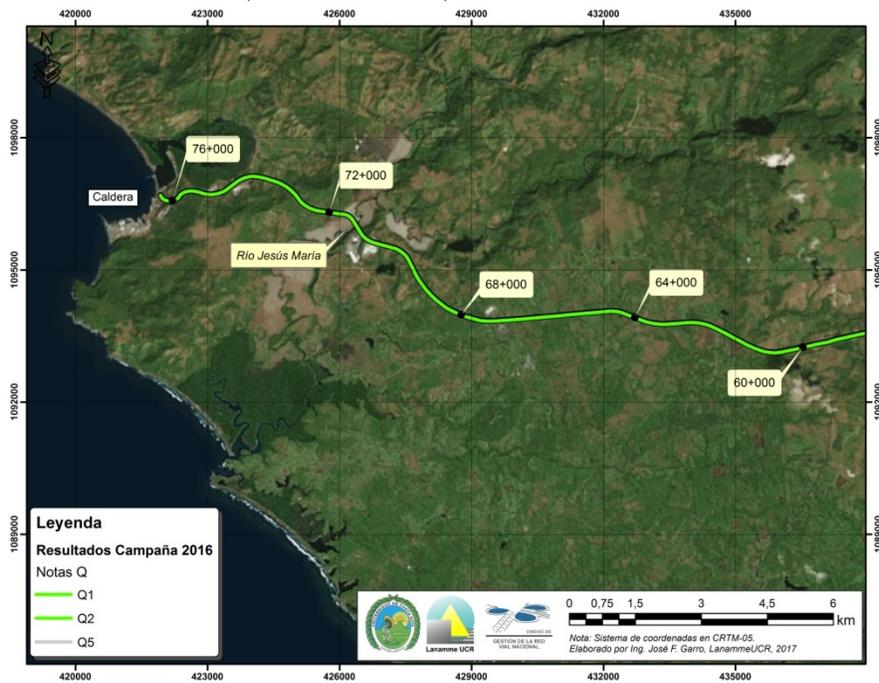


Figura A4 8 Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 760+000



Anexo V: Resultado evaluación visual. Principales deterioros en pavimento y barreras de contención lateral

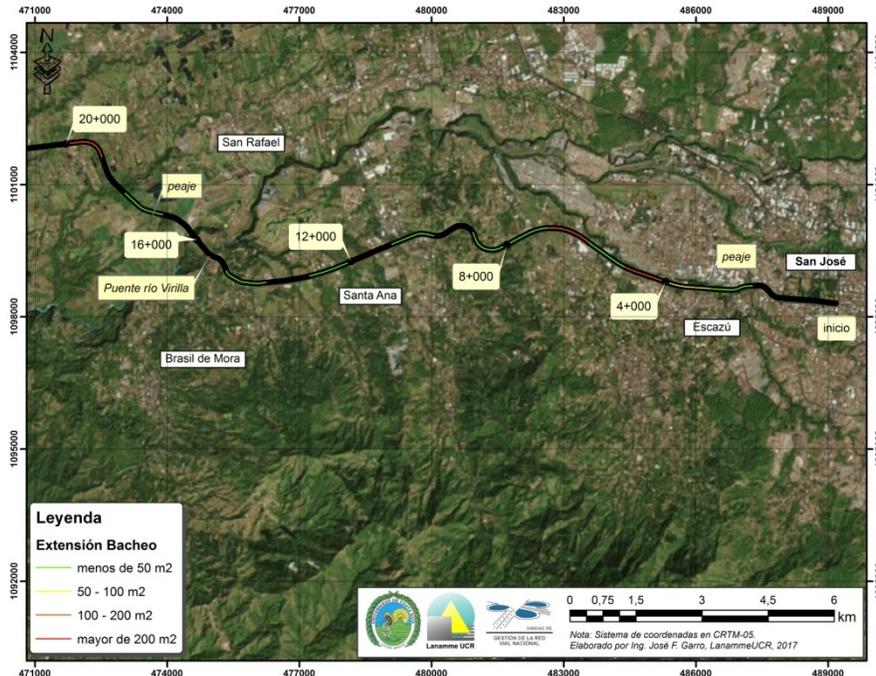


Figura A5 1 Resultados Bacheo, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 0+000 - 20+000

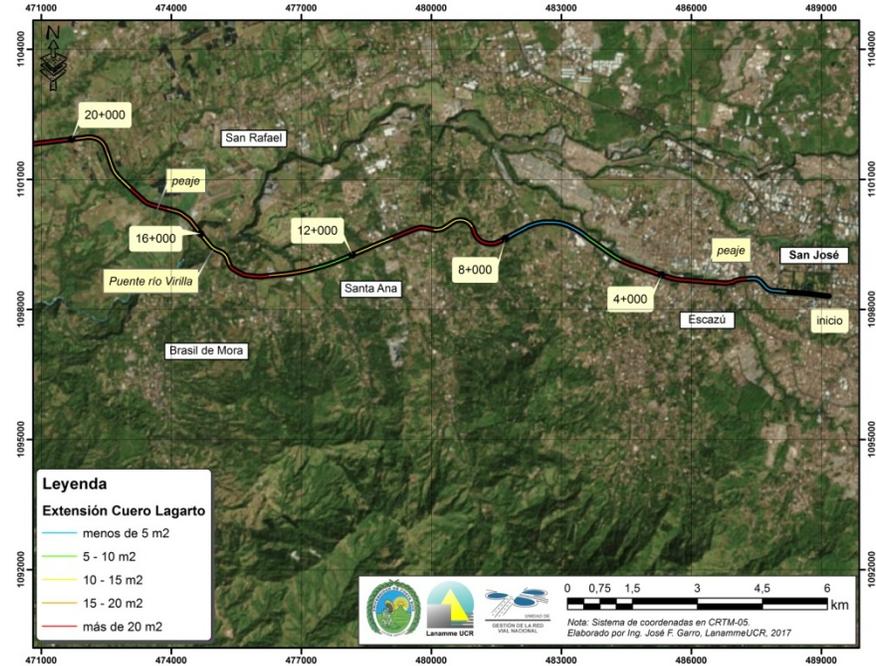


Figura A5 2 Resultados Piel de Lagarto, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 0+000 - 20+000

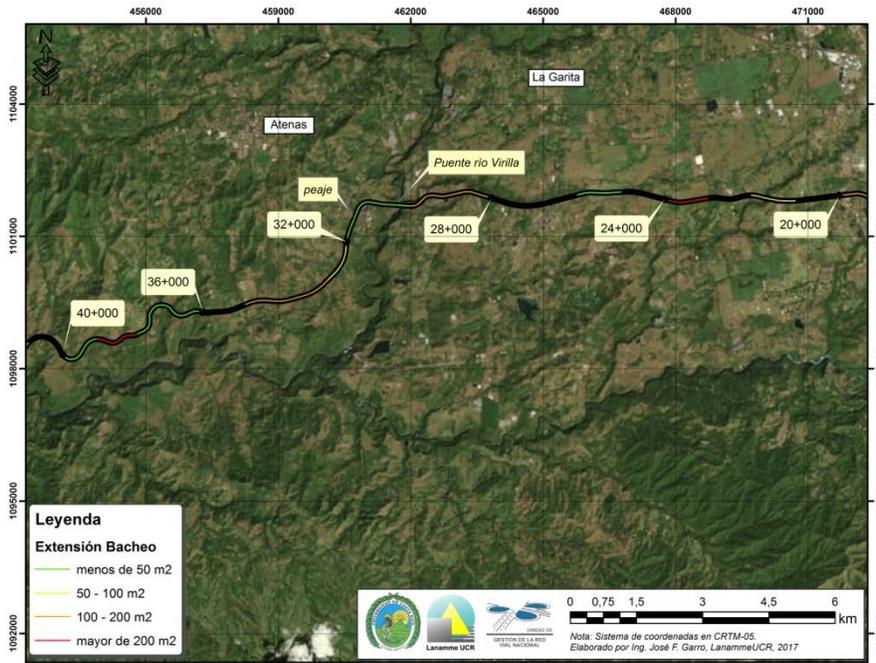


Figura A5 3 Resultados Bacheo, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 20+000 - 40+000

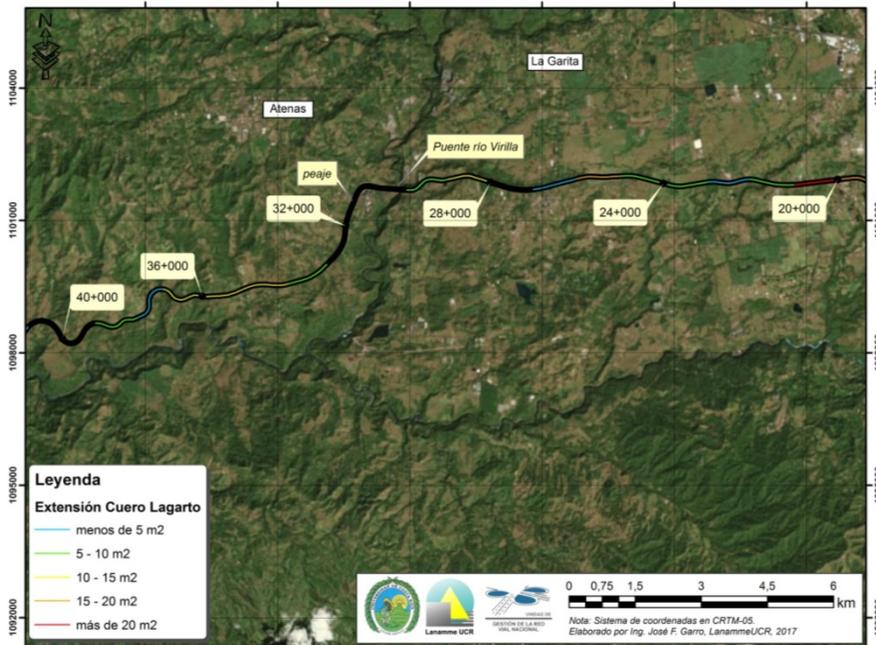


Figura A5 4 Resultados Piel de Lagarto, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 20+000 - 40+000

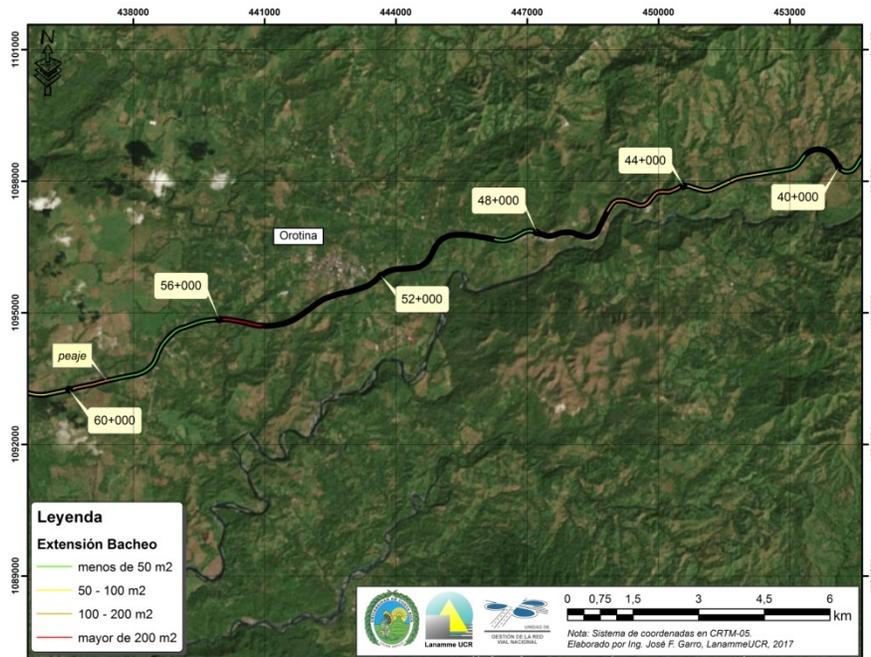


Figura A5 5 Resultados Bacheo, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 40+000 - 60+000

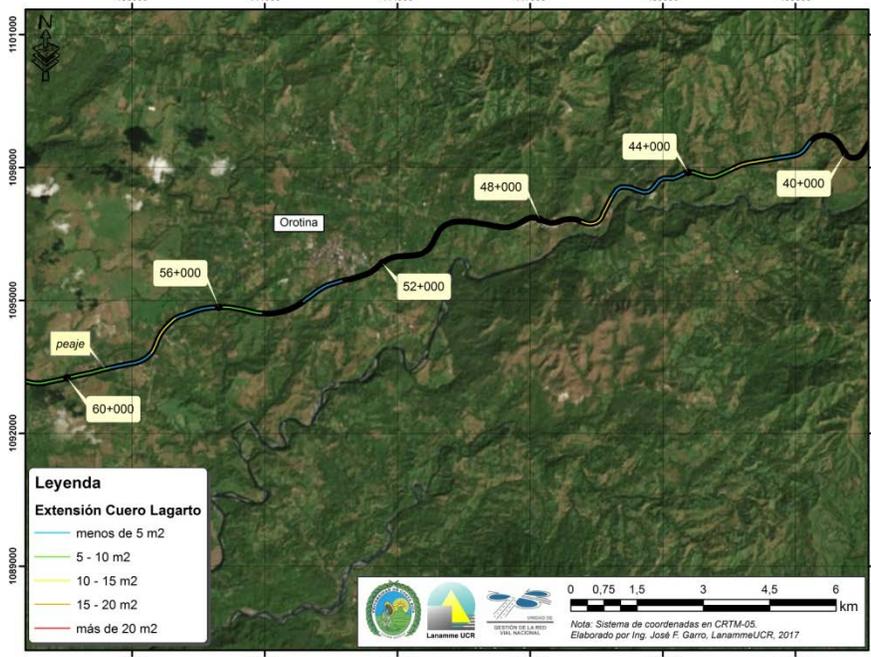


Figura A5 6 Resultados Piel de Lagarto, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 40+000 - 60+000

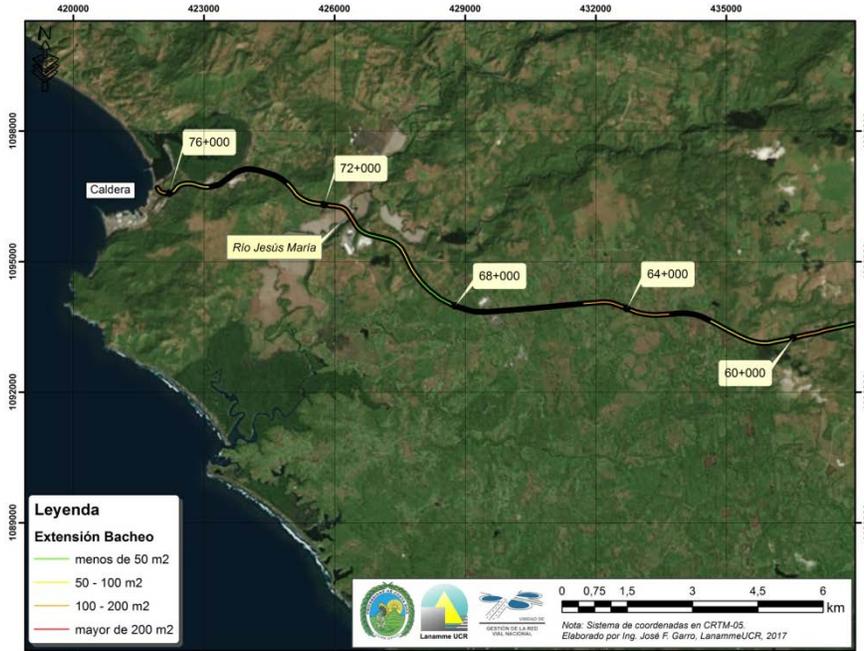


Figura A5 7 Resultados Bacheo, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 600+000 - 76+000

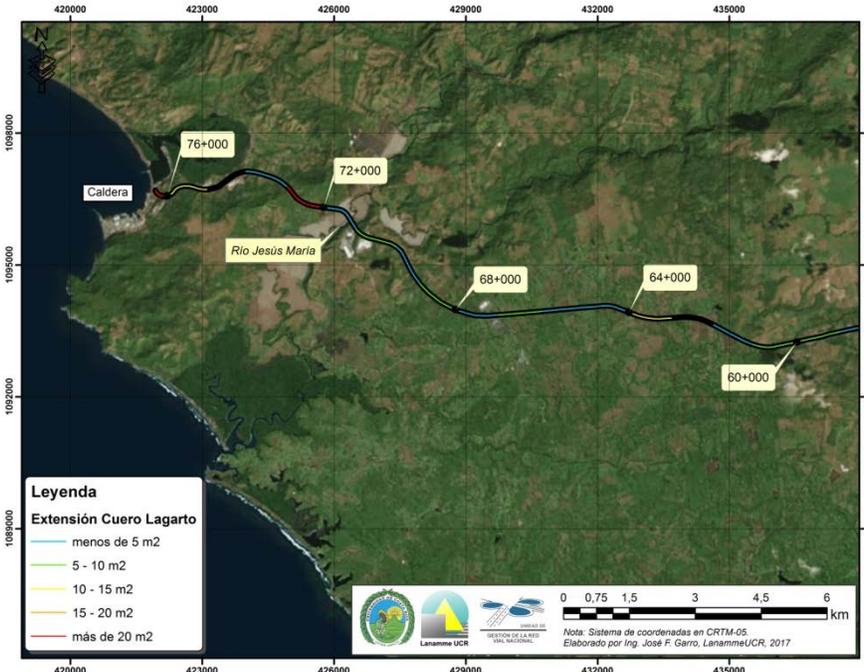


Figura A5 8 Resultados Piel de Lagarto, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 60+000 - 76+000

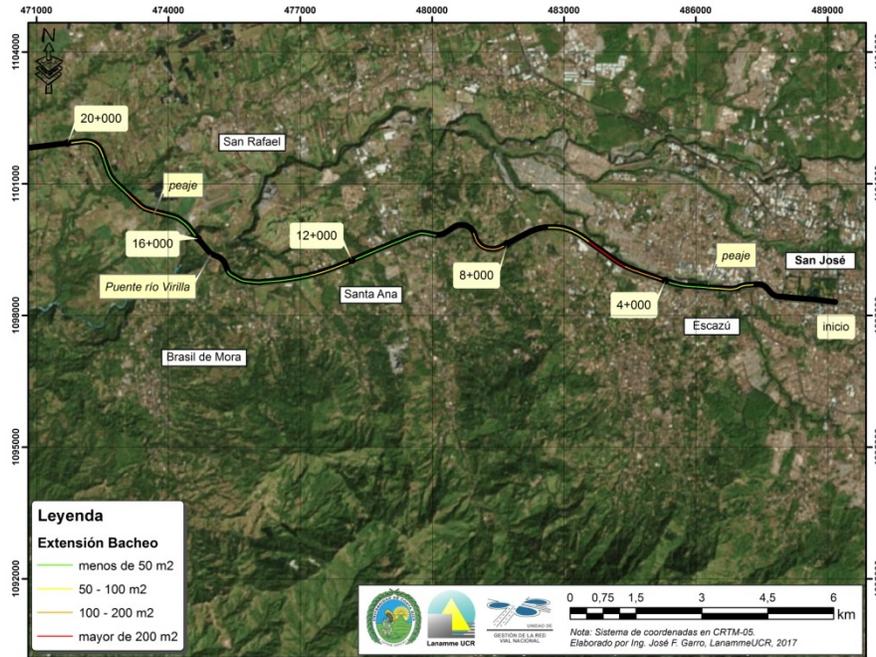


Figura A5 9 Resultados Bacheo, Ruta Nacional 27, sentido Caldera - San José Est. 0+000 - 20+000

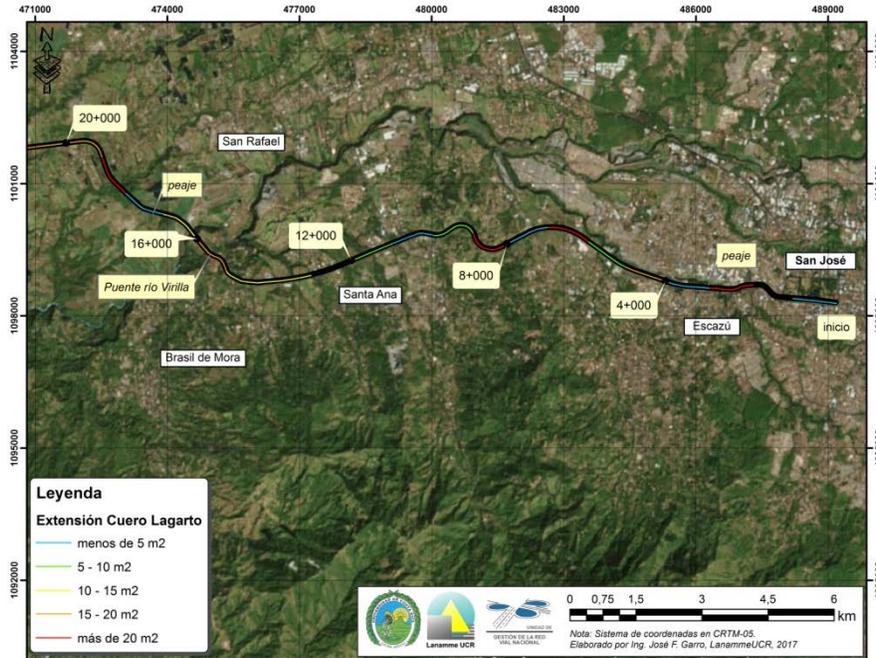


Figura A5 10 Resultados Piel de Lagarto, Ruta Nacional 27, sentido Caldera - San José Est. 0+000 - 20+000

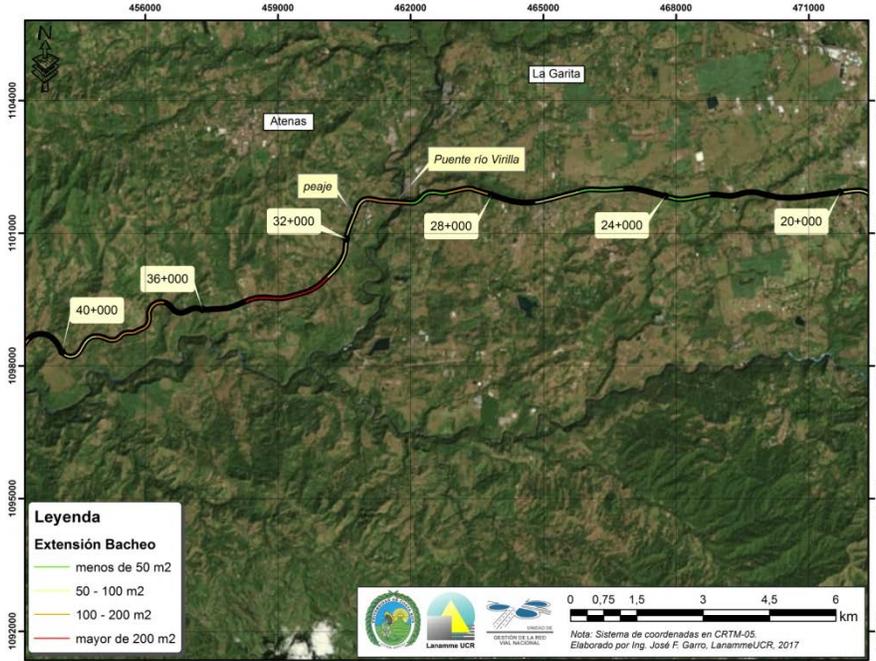


Figura A5 11 Resultados Bacheo, Ruta Nacional 27, sentido Caldera - San José Est. 20+000 - 40+000

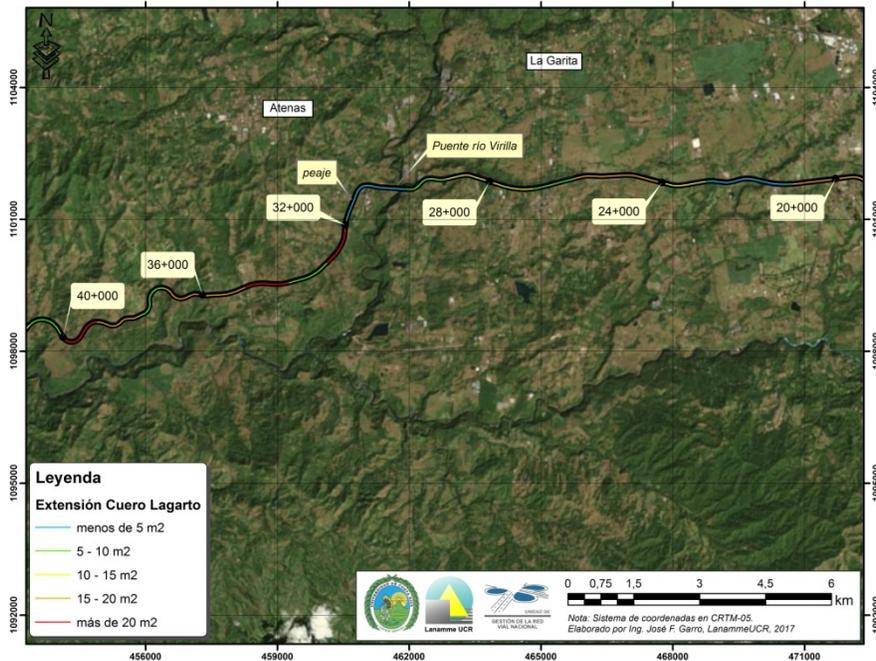


Figura A5 12 Resultados Piel de Lagarto, Ruta Nacional 27, sentido Caldera - San José Est. 20+000 - 40+000

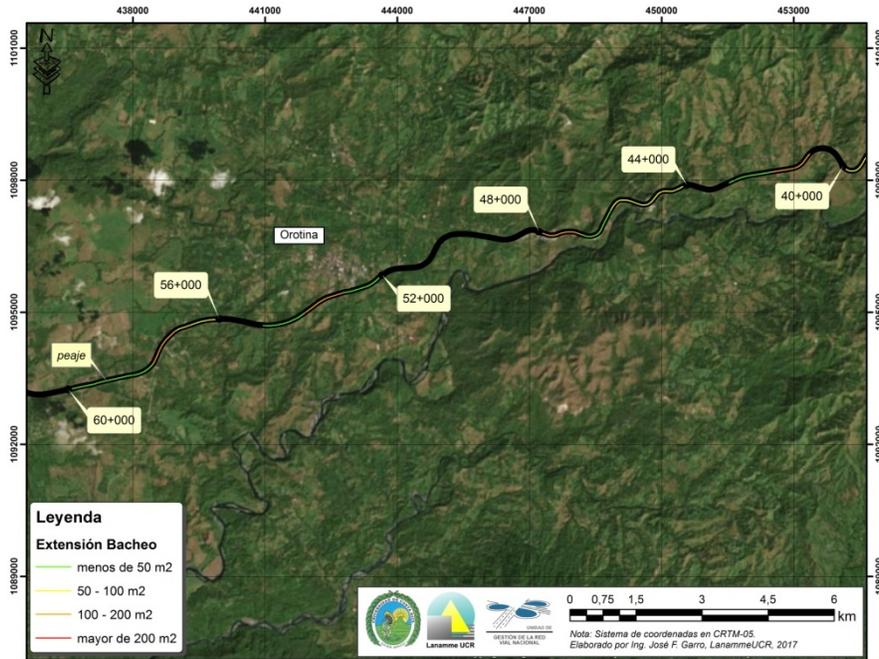


Figura A5 13 Resultados Bacheo, Ruta Nacional 27, sentido Caldera - San José Est. 40+000 - 60+000

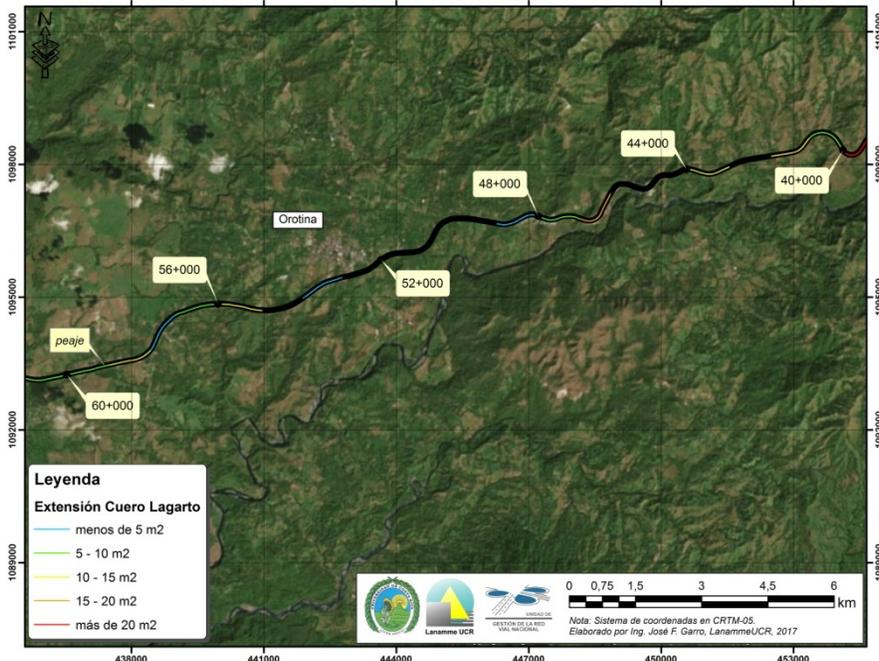


Figura A5 14 Resultados Piel de Lagarto, Ruta Nacional 27, sentido Caldera - San José Est. 40+000 - 60+000

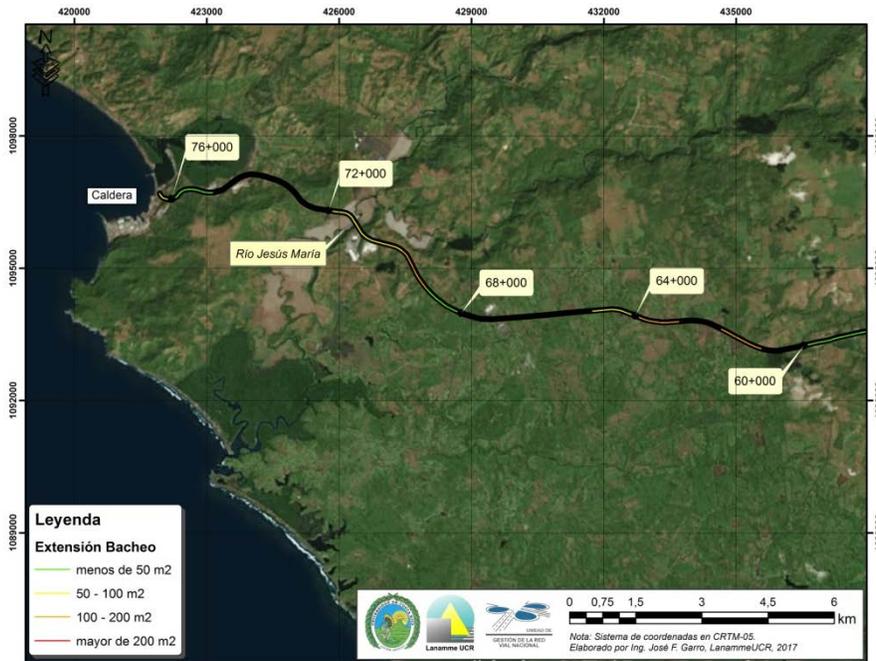


Figura A5 15 Resultados Bacheo, Ruta Nacional 27, sentido Caldera - San José Est. 60+000 - 76+000

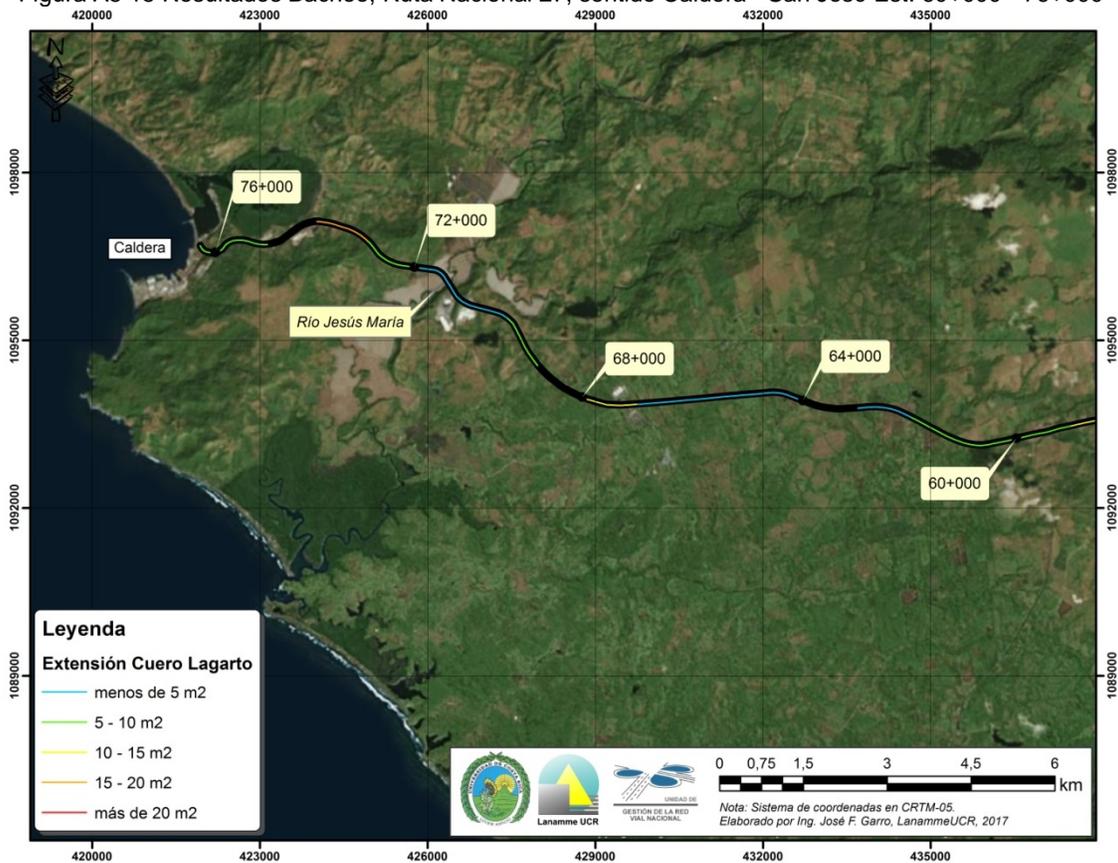


Figura A5 16 Resultados Piel de Lagarto, Ruta Nacional 27, sentido Caldera - San José Est. 60+000 - 76+000

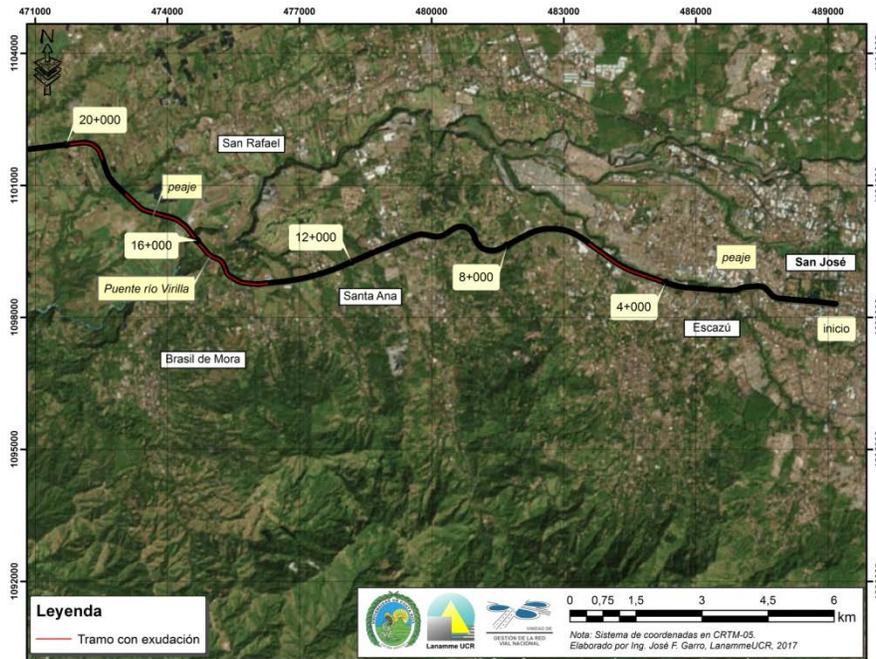


Figura A5 17 Resultados Exudación, Ruta Nacional 27, Est. 0+000 - 20+000

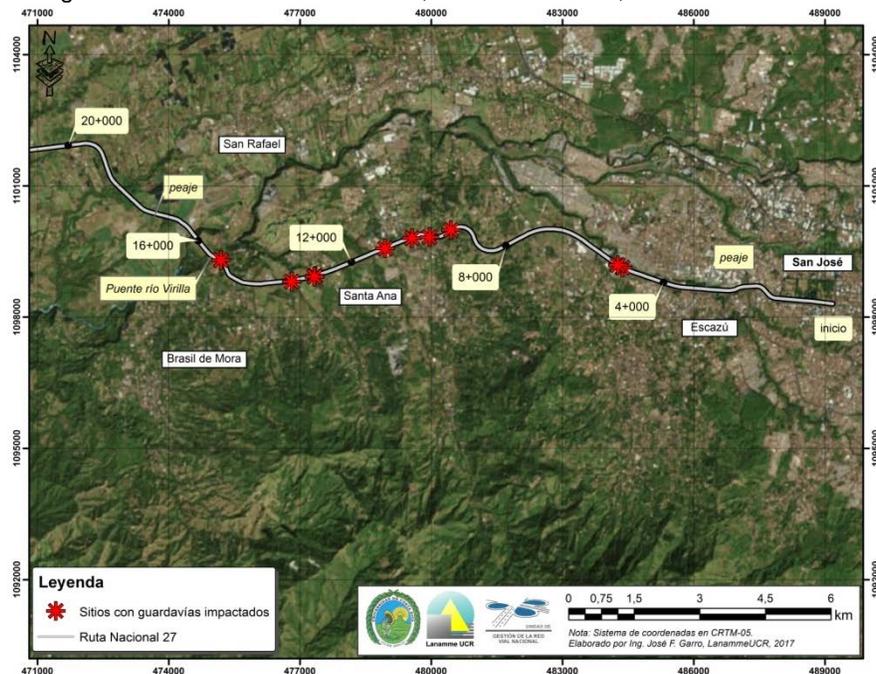


Figura A5 18 Guardavías defectuosos, Ruta Nacional 27, Est. 0+000 - 20+000

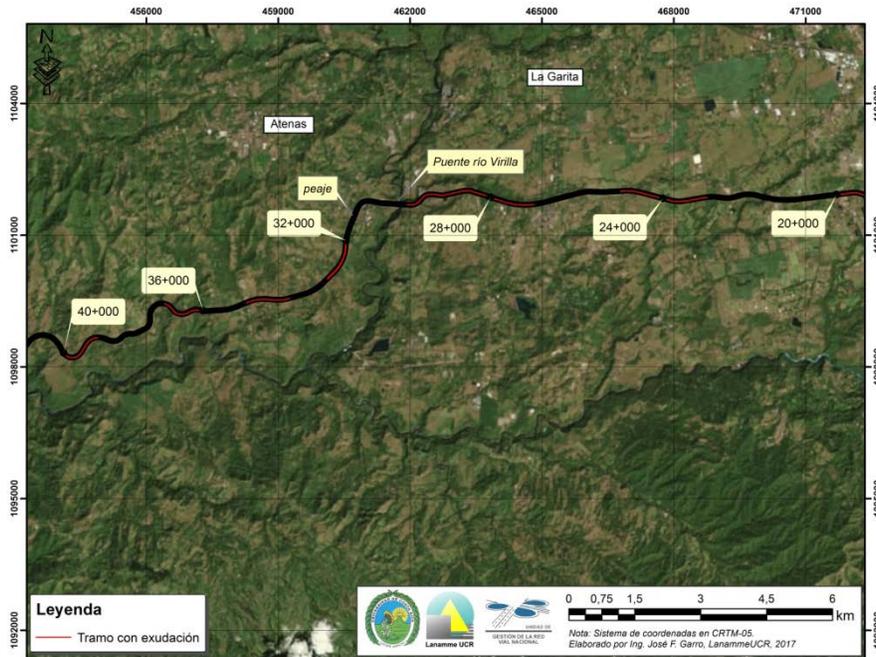


Figura A5 19 Resultados Exudación, Ruta Nacional 27, Est. 20+000 - 40+000

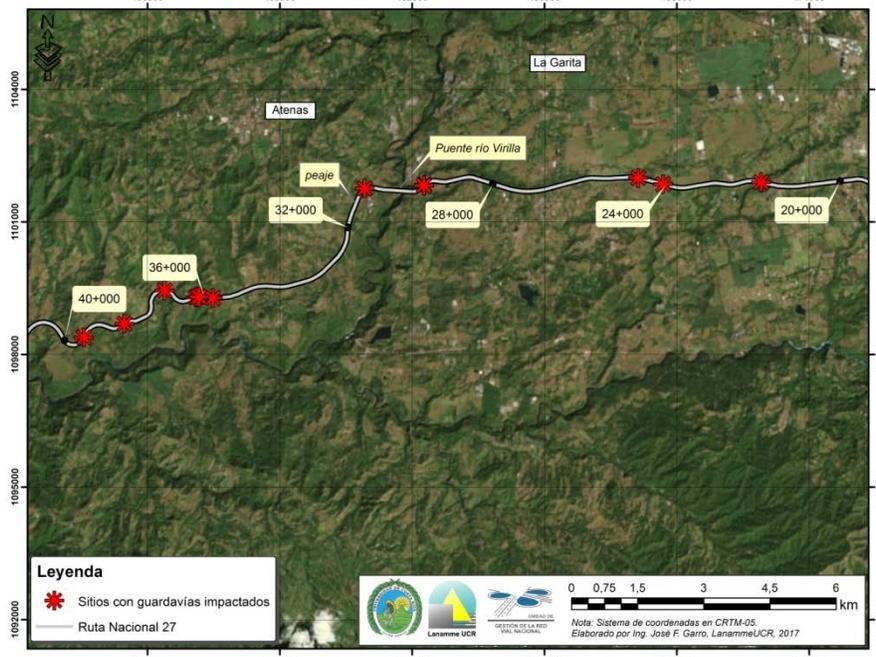


Figura A5 20 Guardavías defectuosos, Ruta Nacional 27, Est. 20+000 - 40+000

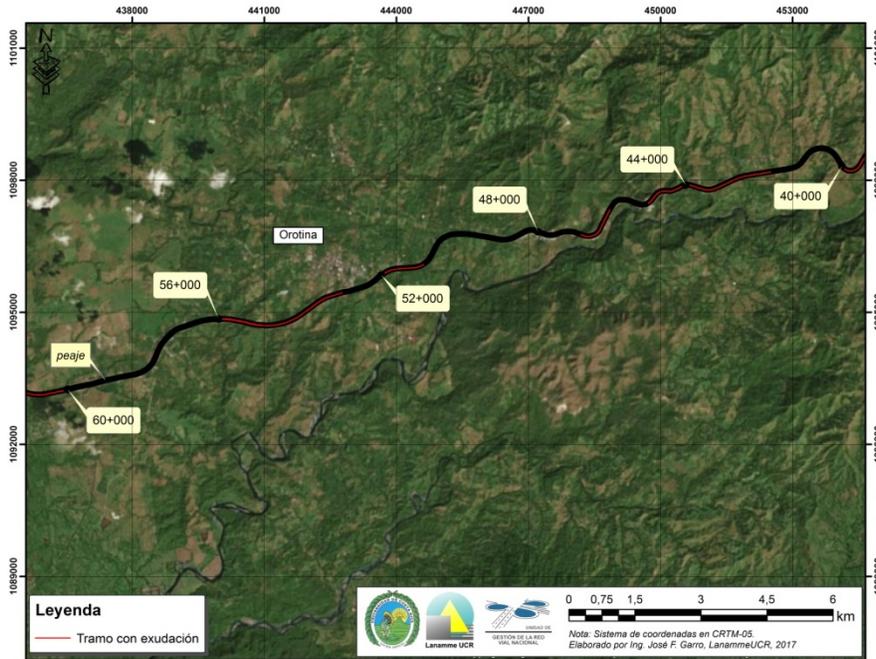


Figura A5 21 Resultados Exudación, Ruta Nacional 27, Est. 40+000 - 60+000

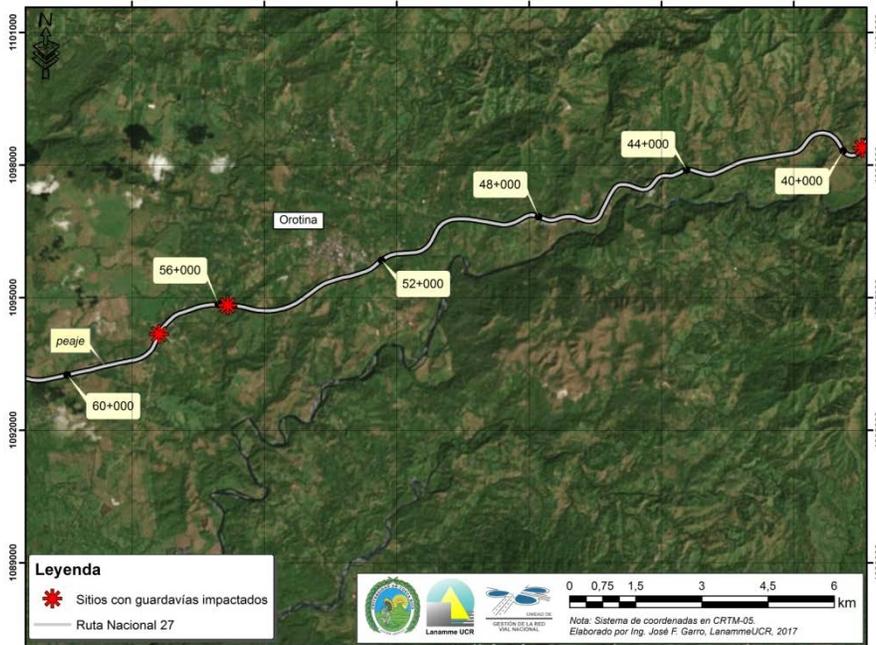


Figura A5 22 Guardavías defectuosos, Ruta Nacional 27, Est. 40+000 - 60+000

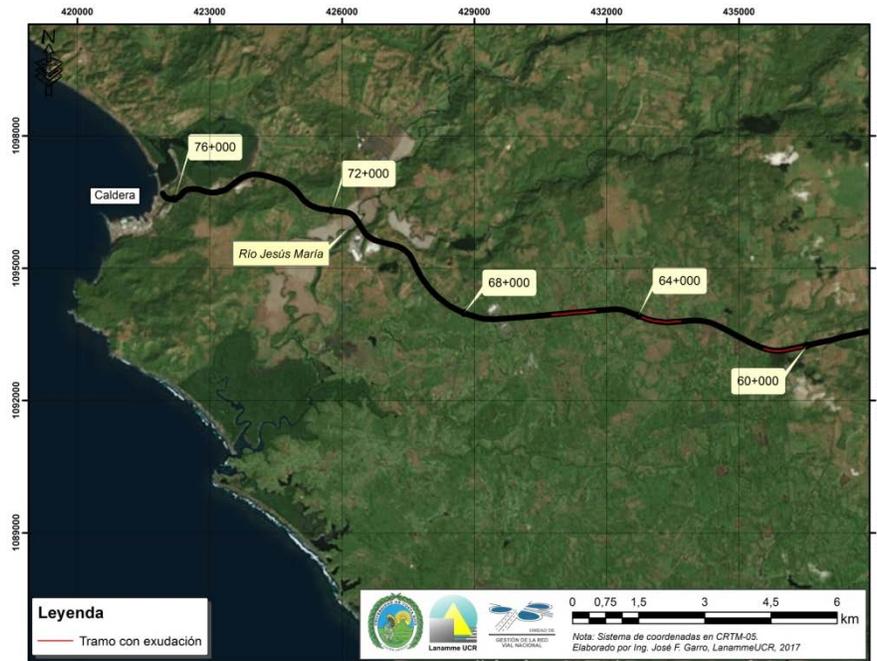


Figura A5 23 Resultados Exudación, Ruta Nacional 27, Est. 60+000 - 76+000

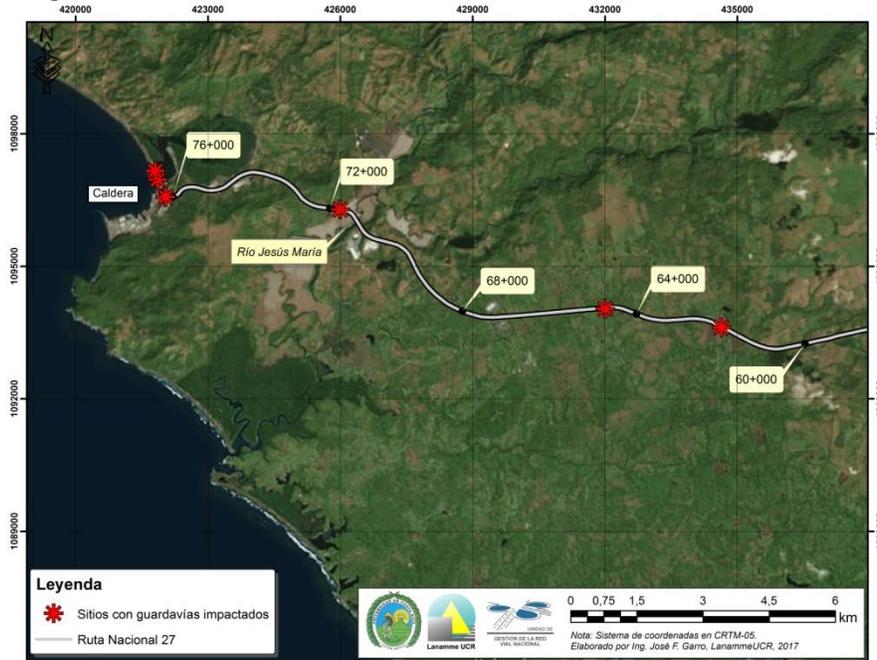


Figura A5 24 Guardavías defectuoso, Ruta Nacional 27, Est. 60+000 - 76+000



Anexo VI: Sitios detectados con problemas en los guardavías

Flex-Beam Ruta 27		
Sentido	Estacionamiento	Imagen
San José - Caldera	8+795	
San José - Caldera	15+380	
San José - Caldera	20+320	

Flex-Beam Ruta 27		
Sentido	Estacionamiento	Imagen
San José - Caldera	20+330	
San José - Caldera	28+165	
San José - Caldera	30+400	

Flex-Beam Ruta 27		
Sentido	Estacionamiento	Imagen
San José - Caldera	30+410	
San José - Caldera	40+385	
San José - Caldera	44+165	

Flex-Beam Ruta 27		
Sentido	Estacionamiento	Imagen
San José - Caldera	62+010	
Caldera - San José	10+520	
Caldera - San José	13+480	

Flex-Beam Ruta 27		
Sentido	Estacionamiento	Imagen
Caldera - San José	15+030	
Caldera - San José	34+020	
Caldera - San José	40+680	

Flex-Beam Ruta 27		
Sentido	Estacionamiento	Imagen
Caldera - San José	45+645	
Caldera - San José	62+595	
Caldera - San José	64+940	

Flex-Beam Ruta 27		
Sentido	Estacionamiento	Imagen
Caldera - San José	67+740	
Caldera - San José	71+805	



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

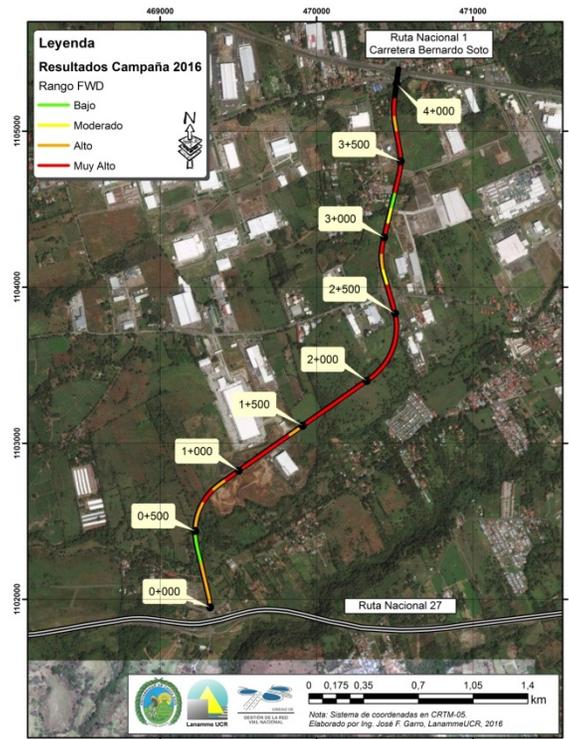


Figura A7 1 Resultados FWD, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyol

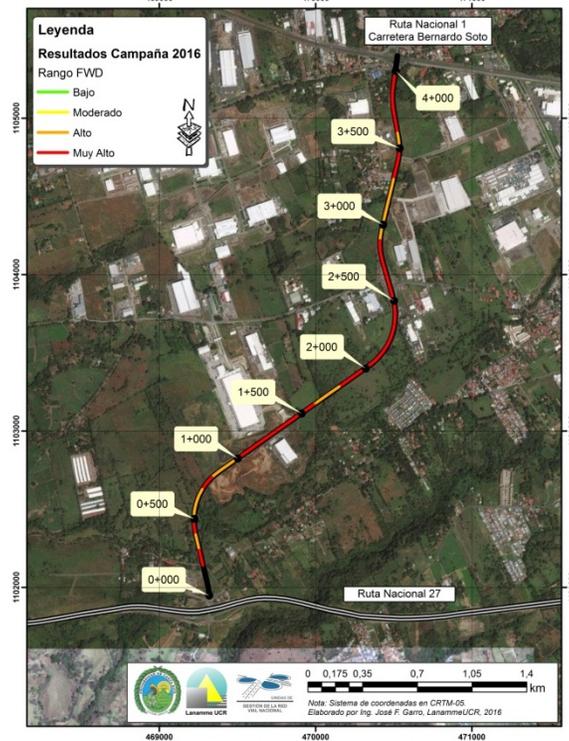


Figura A7 2 Resultados FWD, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27

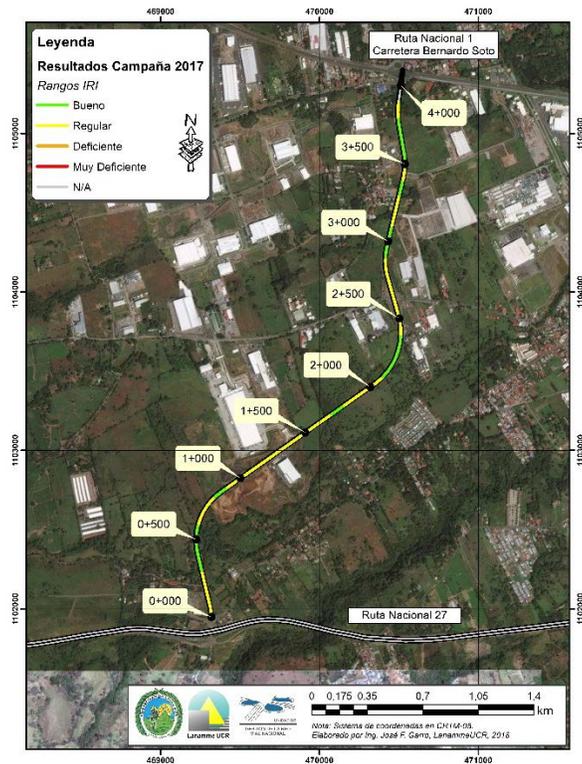


Figura A7 3 Resultados IRI, Radial El Coyo, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyo

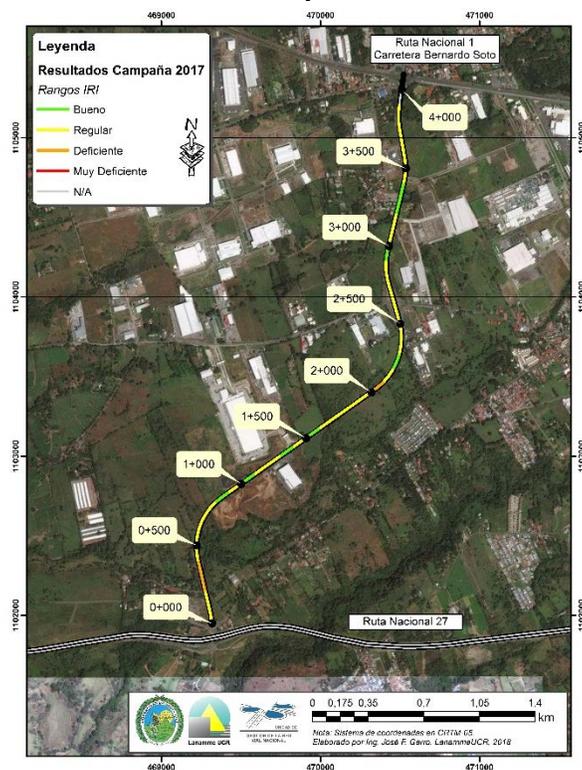


Figura A7 4 Resultados IRI, Radial El Coyo, sentido El Coyo - Ruta Nacional 27

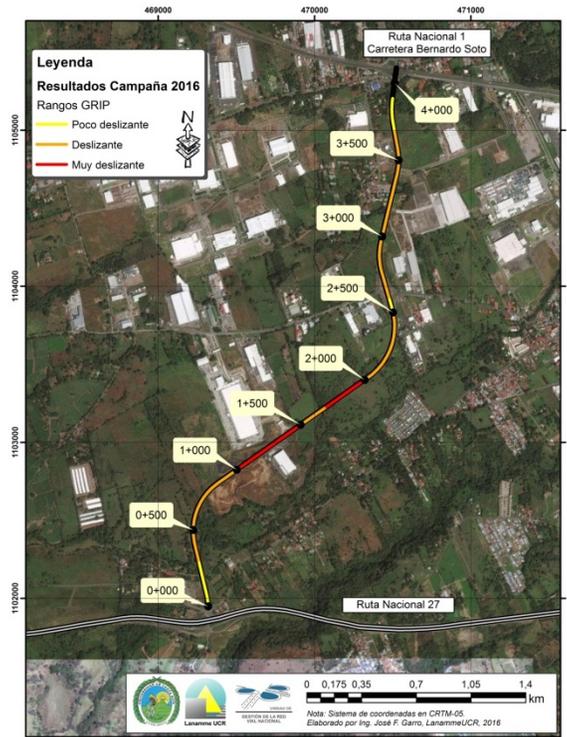


Figura A7 5 Resultados GRIP, Radial El Coyo, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyo

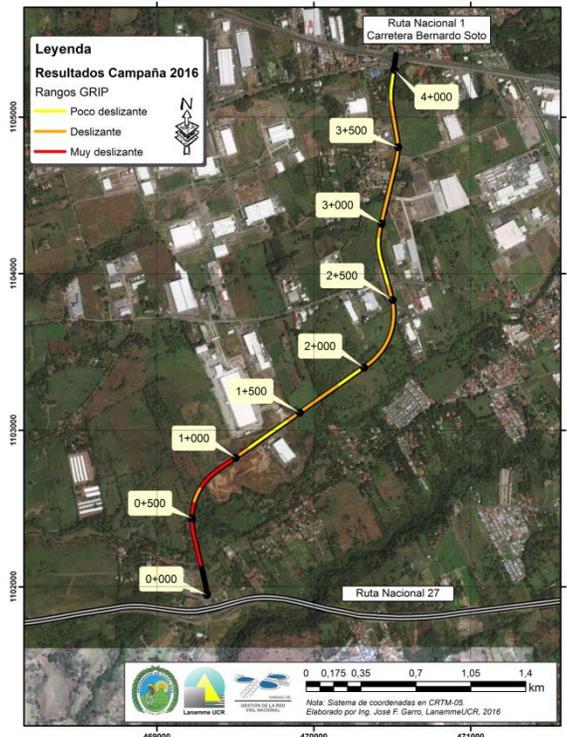


Figura A7 6 Resultados GIRIP, Radial El Coyo, sentido El Coyo - Ruta Nacional 27

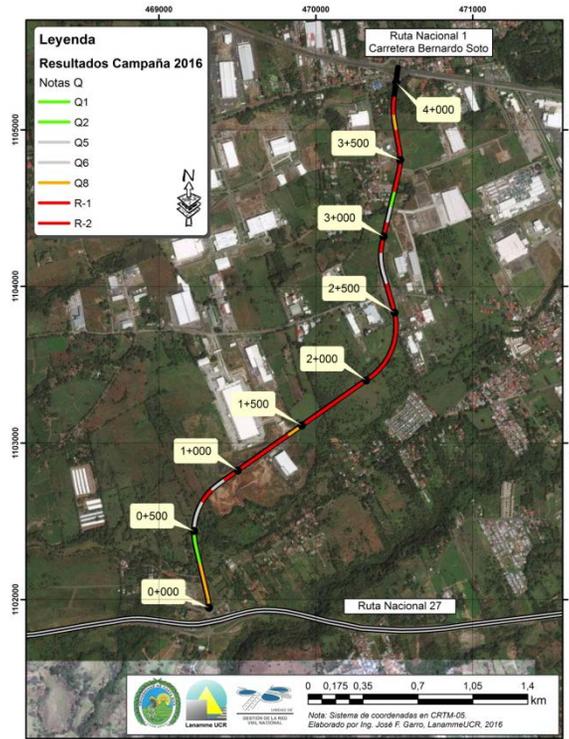


Figura A7 7 Resultados Notas Q, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyol

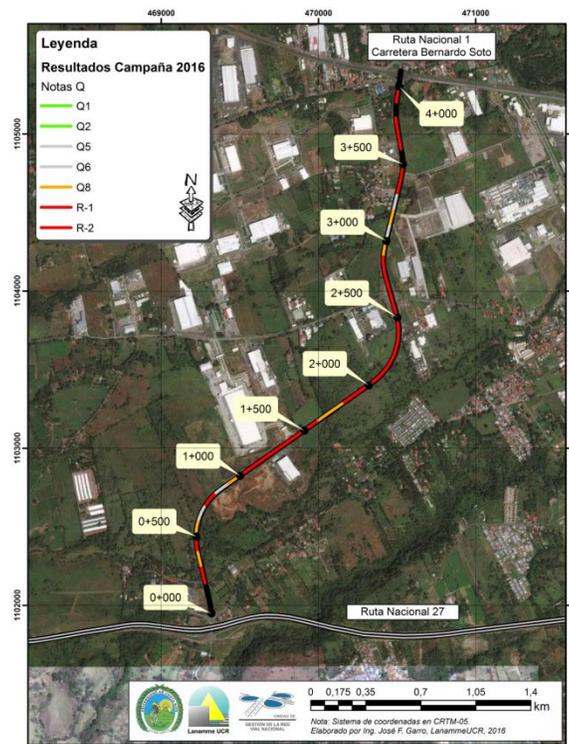


Figura A7 8 Resultados Notas Q, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27

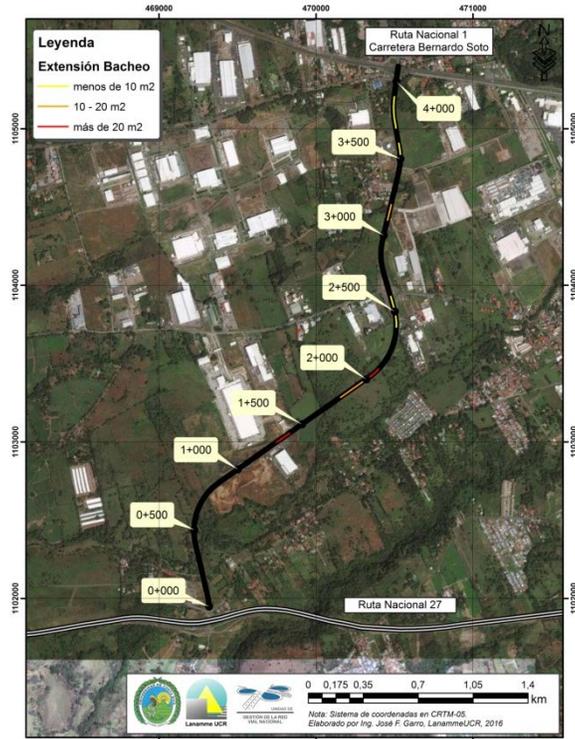


Figura A7 9 Resultados Bacheo, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyol

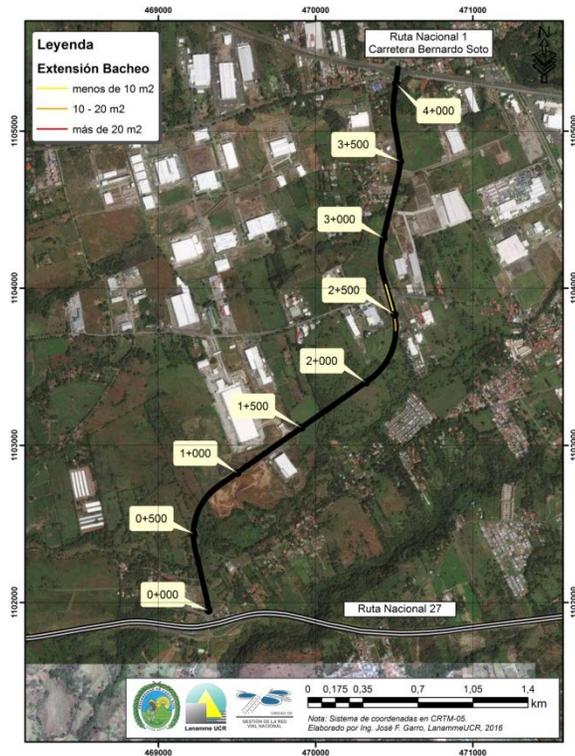


Figura A7 10 Resultados Bacheo, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27

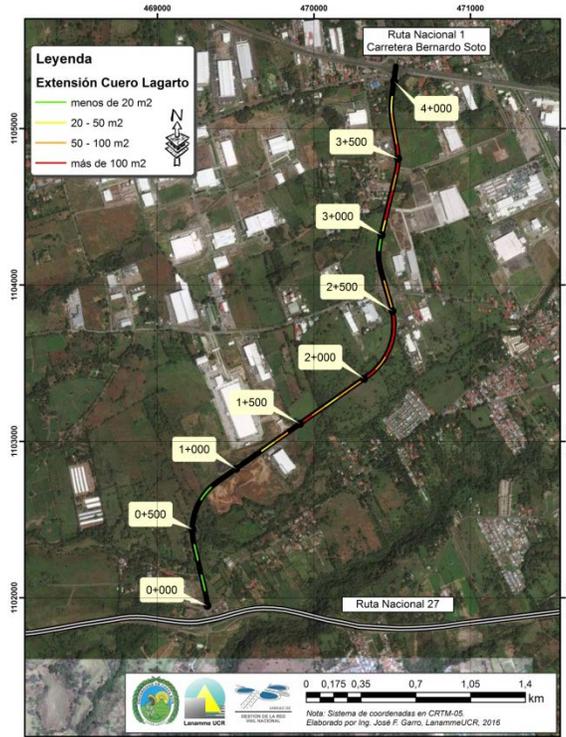


Figura A7 11 Resultados Piel de Lagarto, Radial El Coyal, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyal

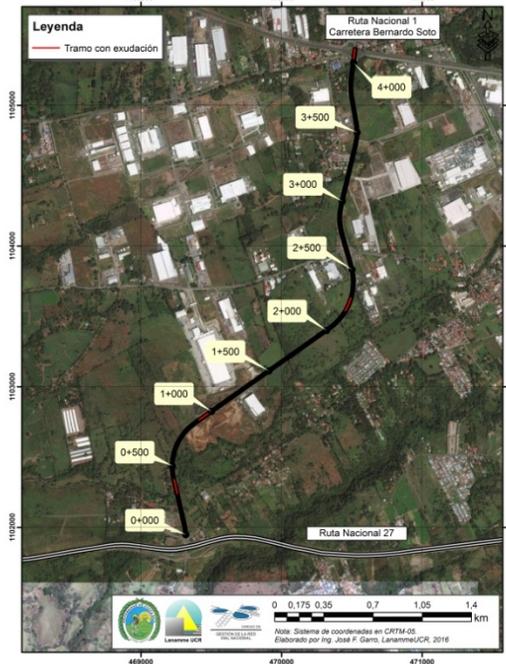


Figura A7 12 Resultados Exudación, Radial El Coyal

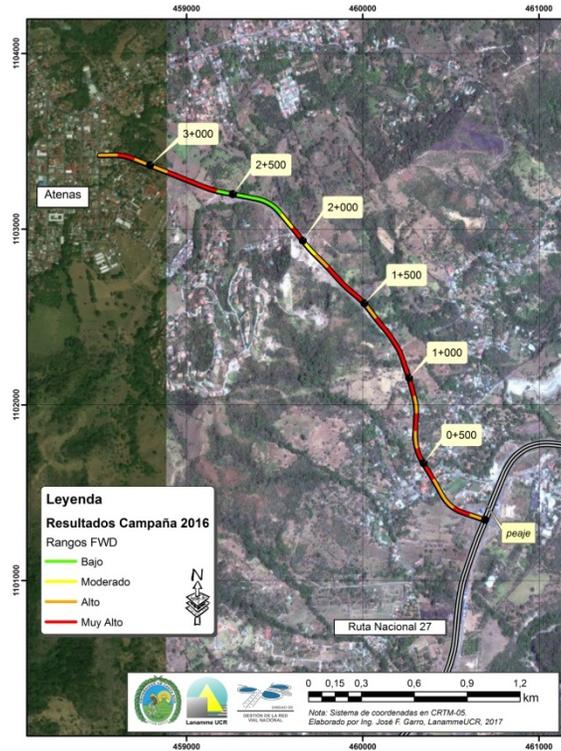


Figura A7 13 Resultados FWD, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

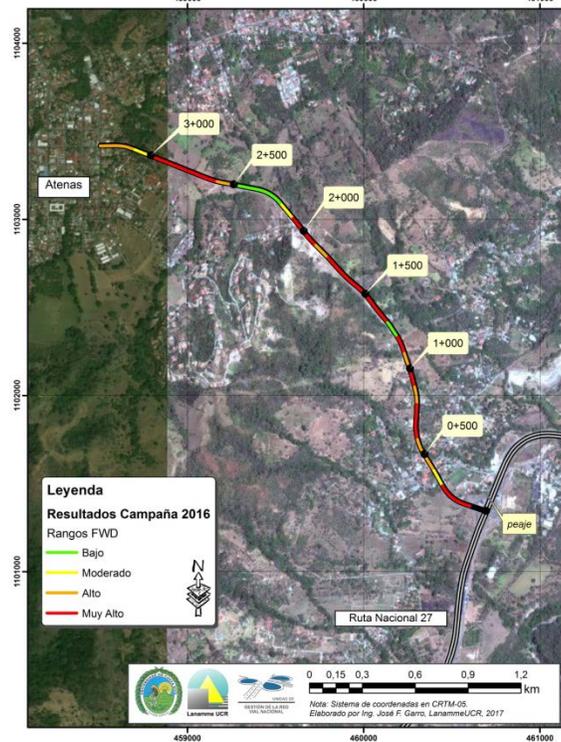


Figura A7 14 Resultados FWD, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

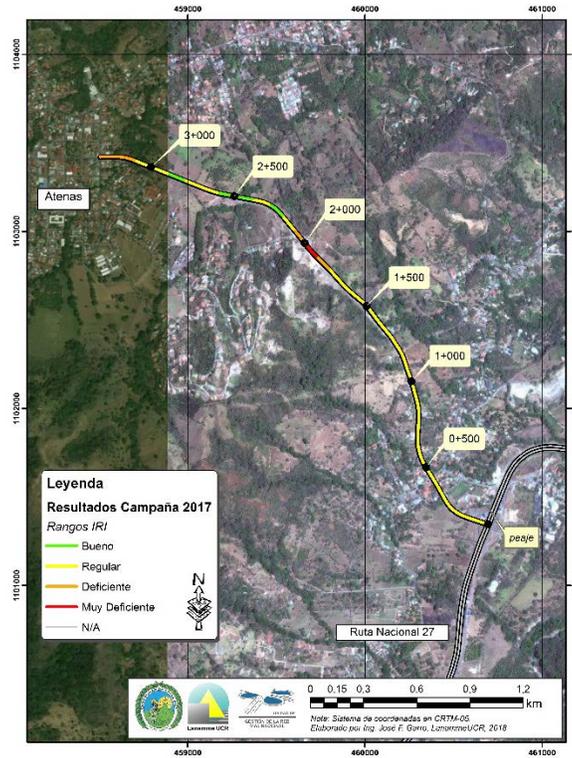


Figura A7 15 Resultados IRI, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

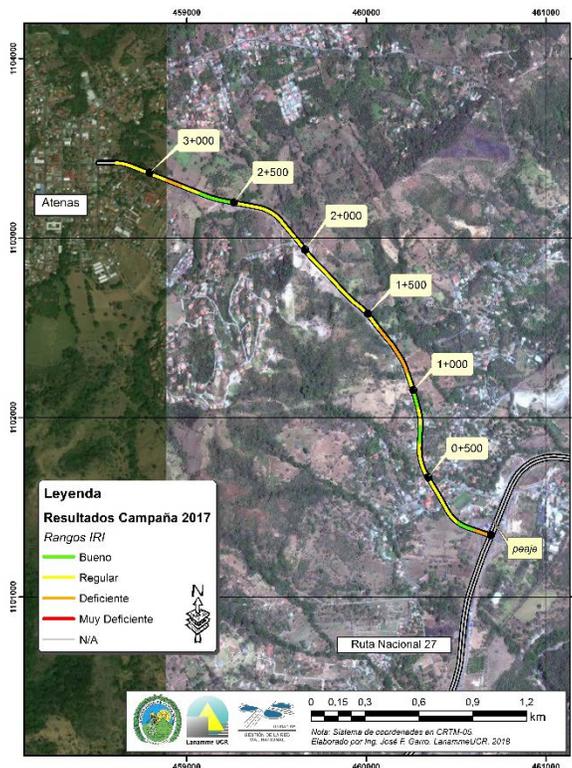


Figura A7 16 Resultados IRI, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

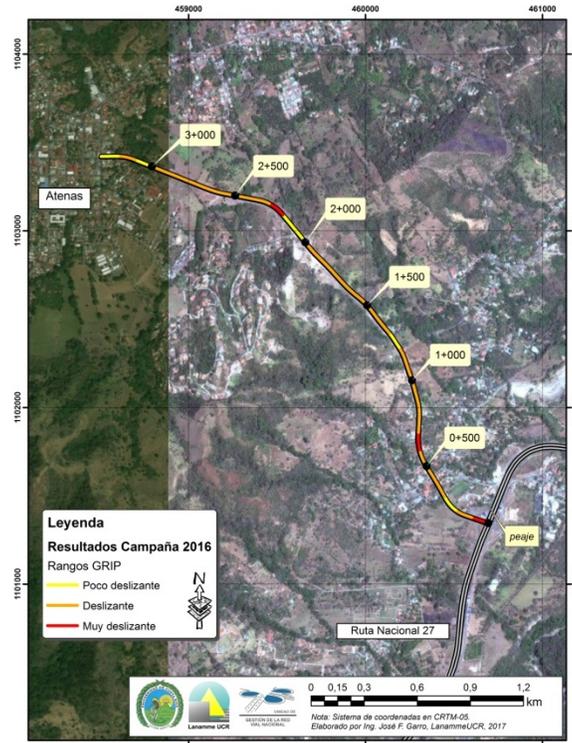


Figura A7 17 Resultados GIRIP, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

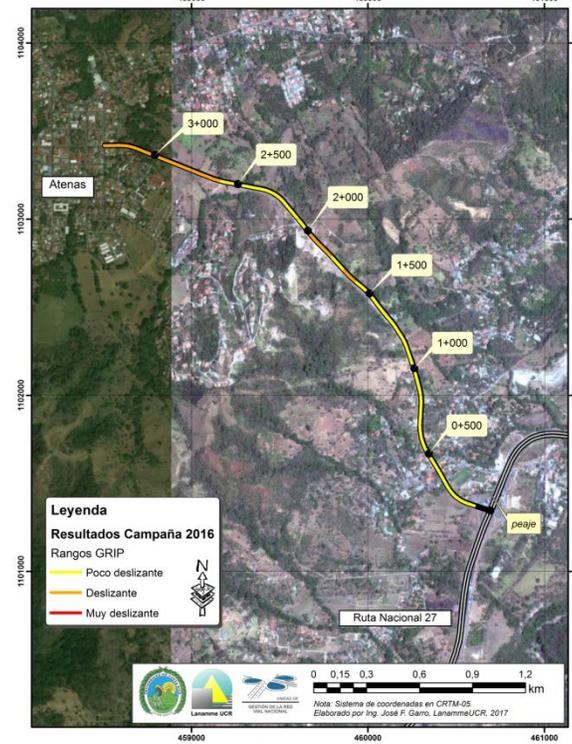


Figura A7 18 Resultados GIRIP, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

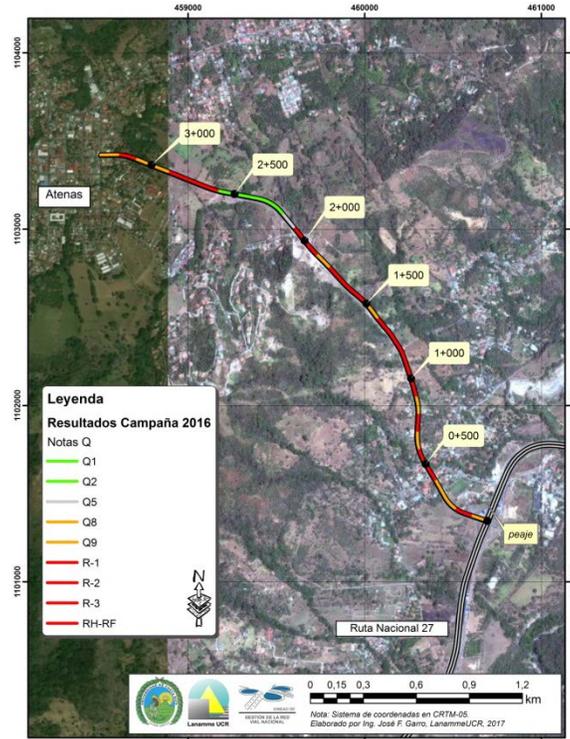


Figura A7 19 Resultados Notas Q, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

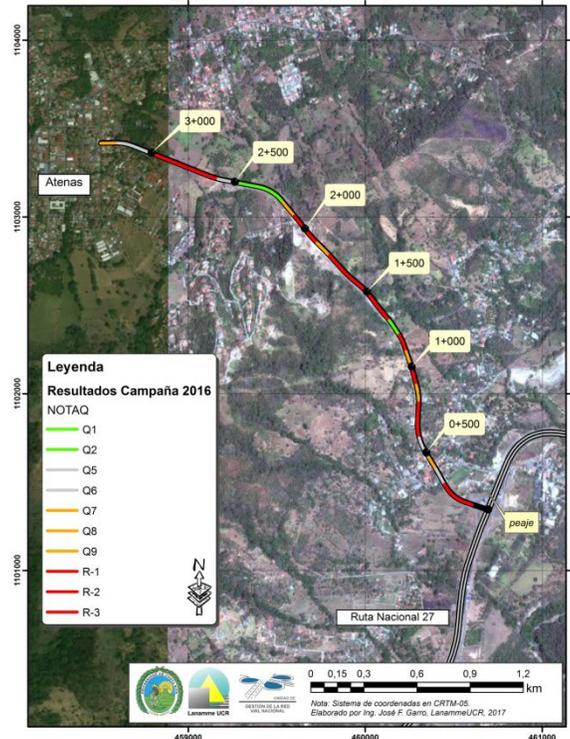


Figura A7 20 Resultados Notas Q, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

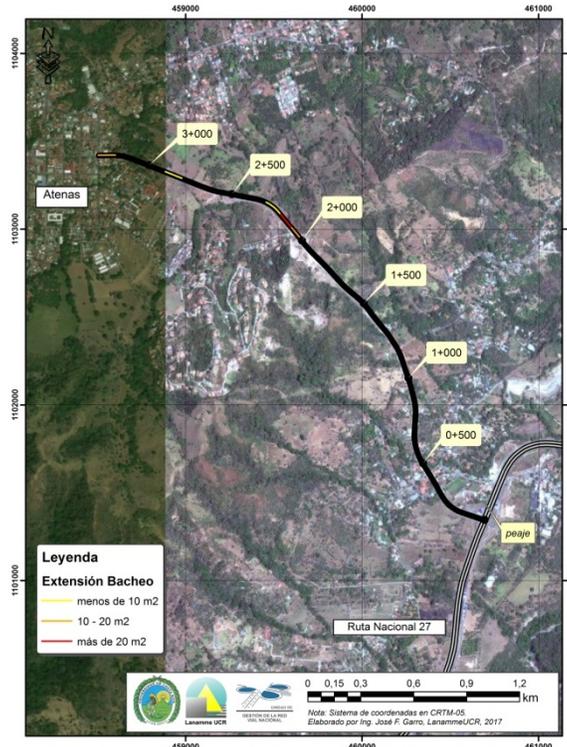


Figura A7 21 Resultados Bacheo, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

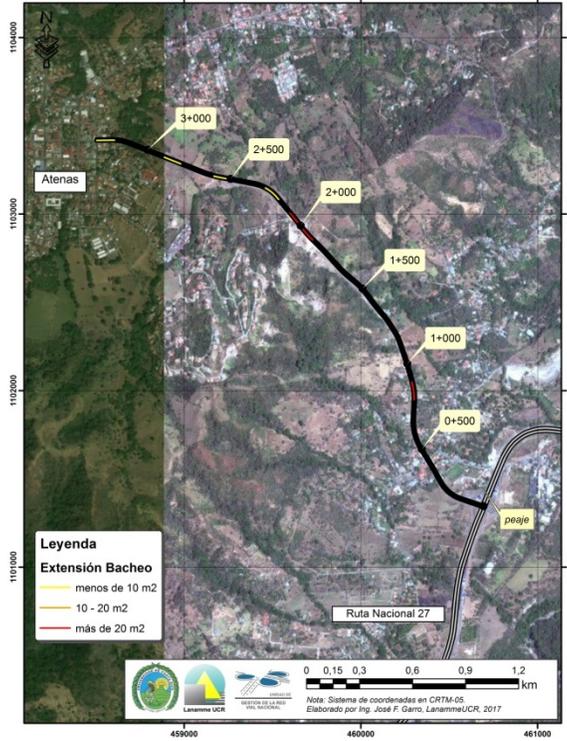


Figura A7 22 Resultados Bacheo, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

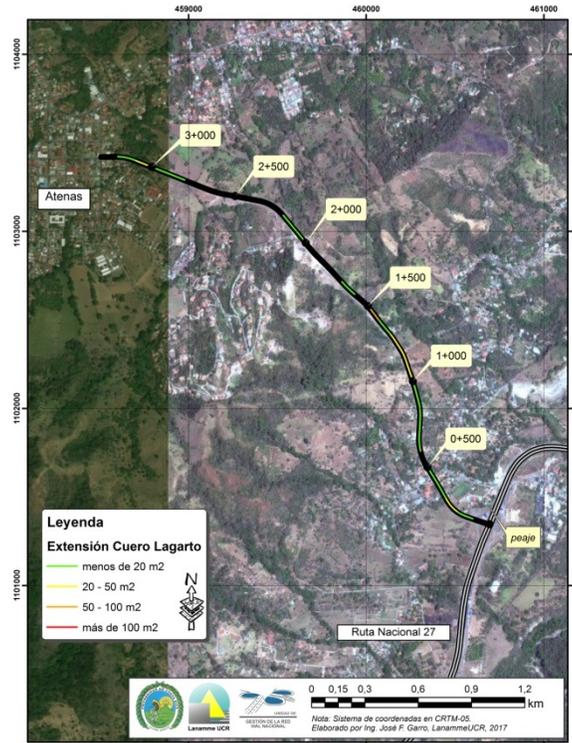


Figura A7 23 Resultados Piel de Lagarto, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

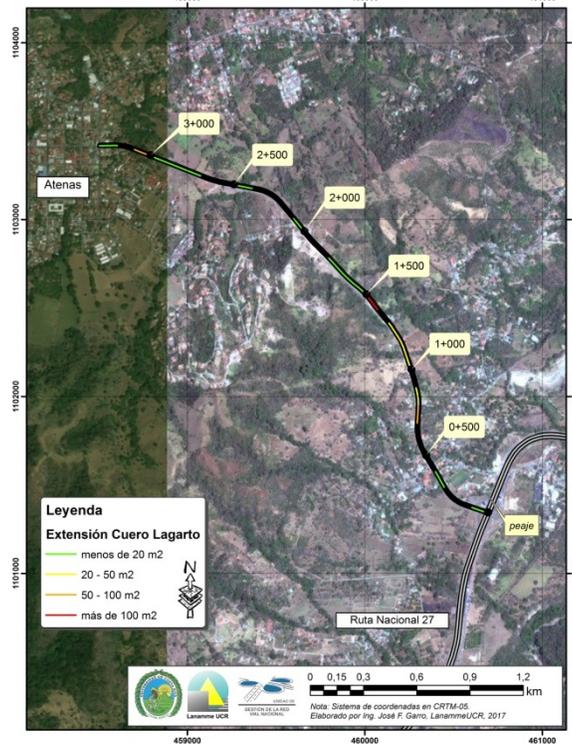


Figura A7 24 Resultados Piel de Lagarto, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

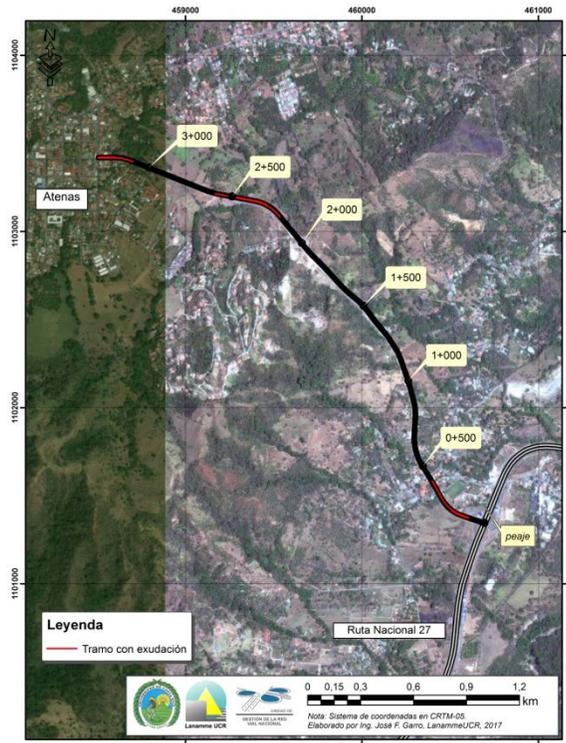


Figura A7 25 Resultados Exudación, Radial Atenas



Figura A7 26 Resultados FWD, Radial Turrucares



Figura A7 27 Resultados IRI, Radial Turrucare



Figura A7 28 Resultados GRIP, Radial Turrucare



Figura A7 29 Resultados Notas Q, Radial Turrucares

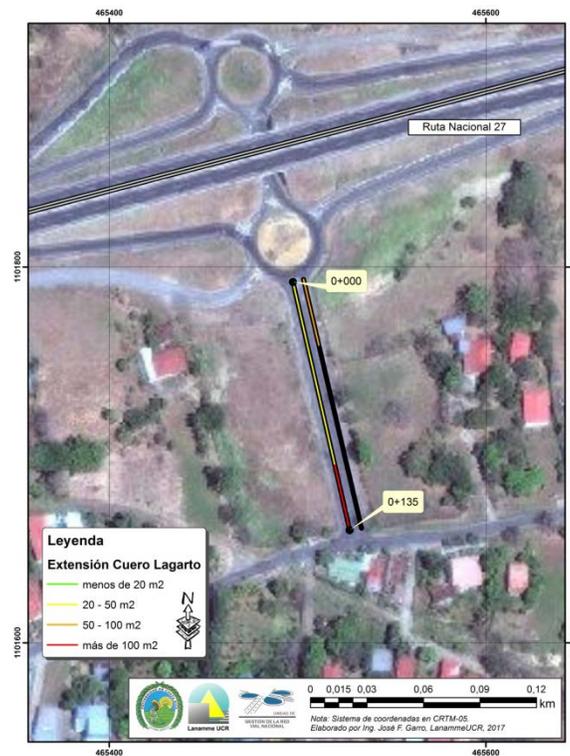


Figura A7 30 Resultados Piel de Lagarto, Radial Turrucares



Figura A7 31 Resultados Exudación, Radial Turrucare

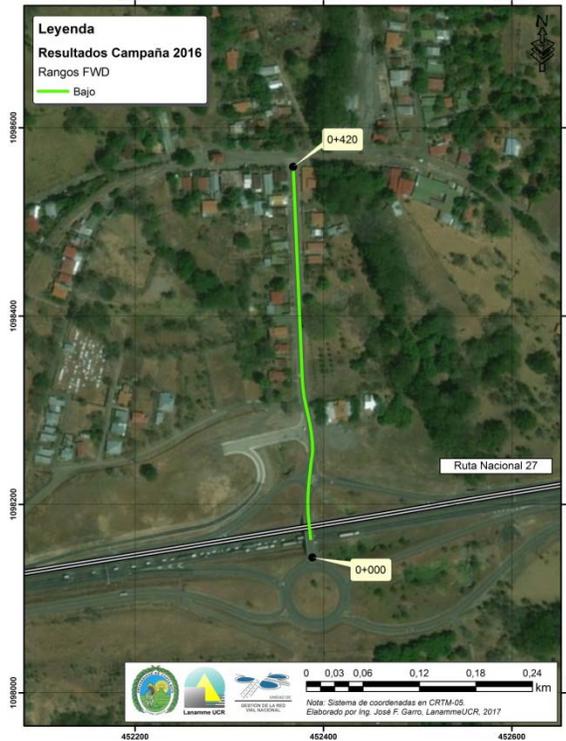


Figura A7 32 Resultados FWD, Radial Escobal, sentido Ruta Nacional 27 - Escobal

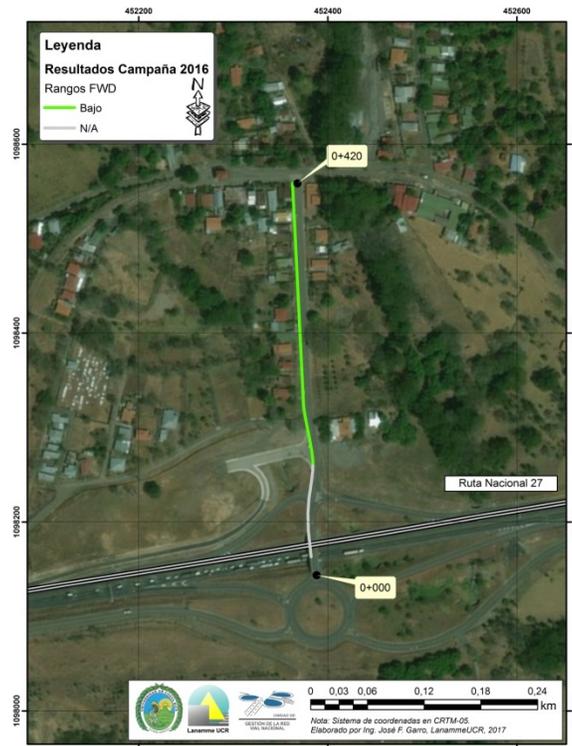


Figura A7 33 Resultados FWD, Radial Escobal, sentido Escobal - Ruta Nacional 27

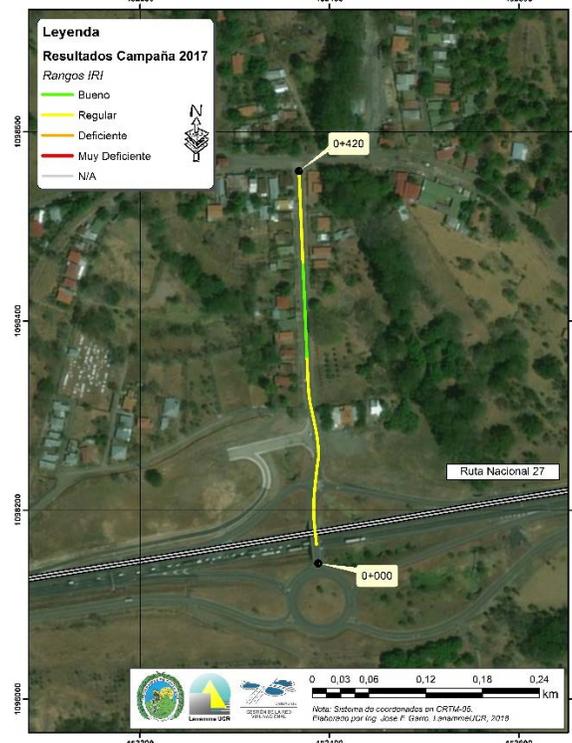


Figura A7 34 Resultados IRI, Radial Escobal, sentido Ruta Nacional 27 - Escobal

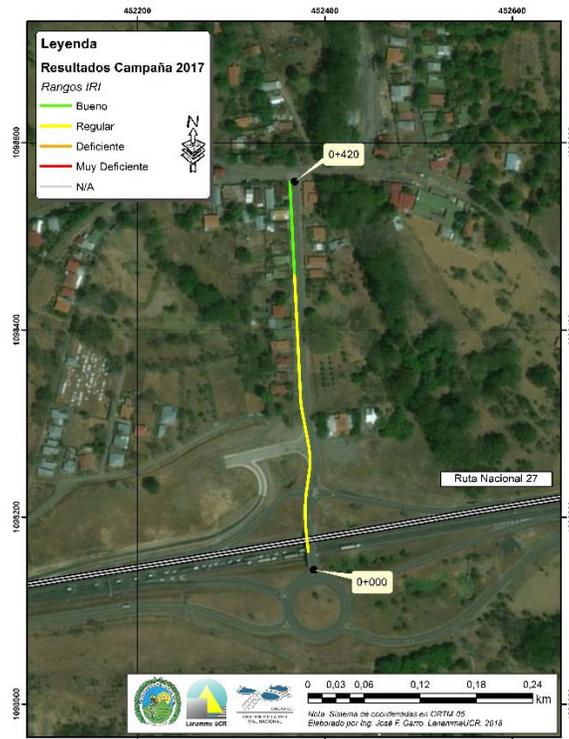


Figura A7 35 Resultados IRI, Radial Escobal, sentido Escobal - Ruta Nacional 27

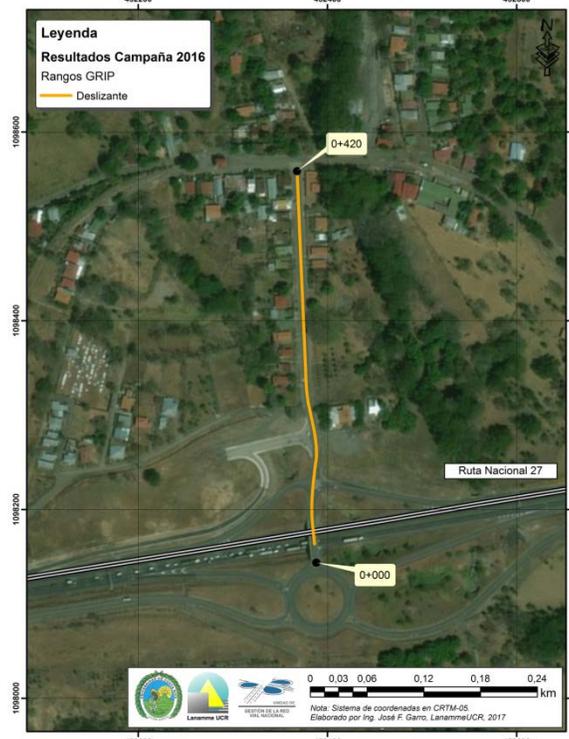


Figura A7 36 Resultados GRIP, Radial Escobal, sentido Ruta Nacional 27 - Escobal



Figura A7 37 Resultados GRIP, Radial Escobal, sentido Escobal - Ruta Nacional 27

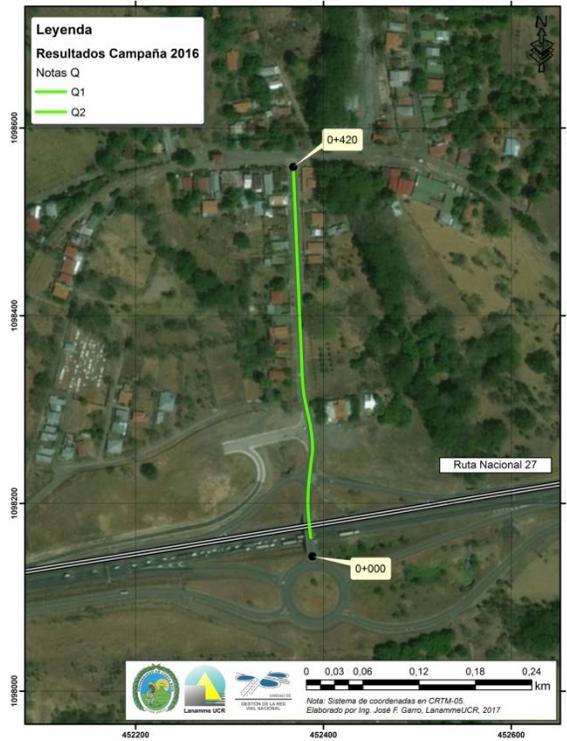


Figura A7 38 Resultados Notas Q, Radial Escobal, sentido Ruta Nacional 27 - Escobal

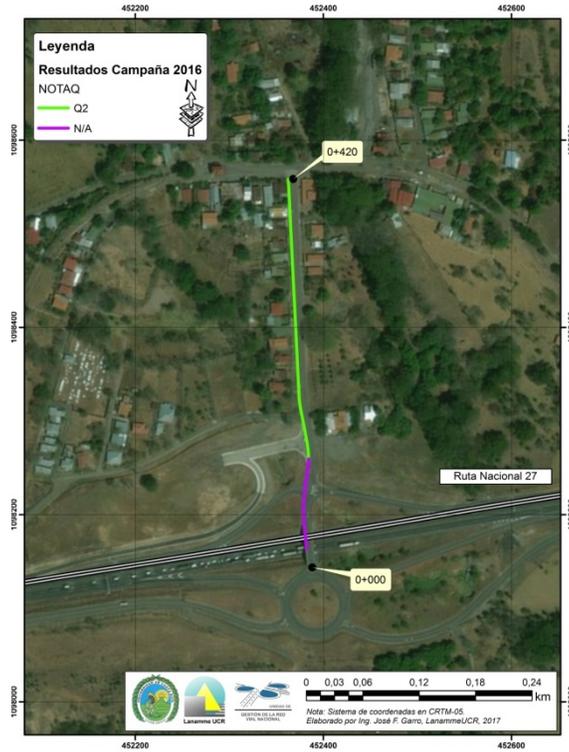


Figura A7 39 Resultados Notas Q, Radial Escobal, sentido Escobal - Ruta Nacional 27

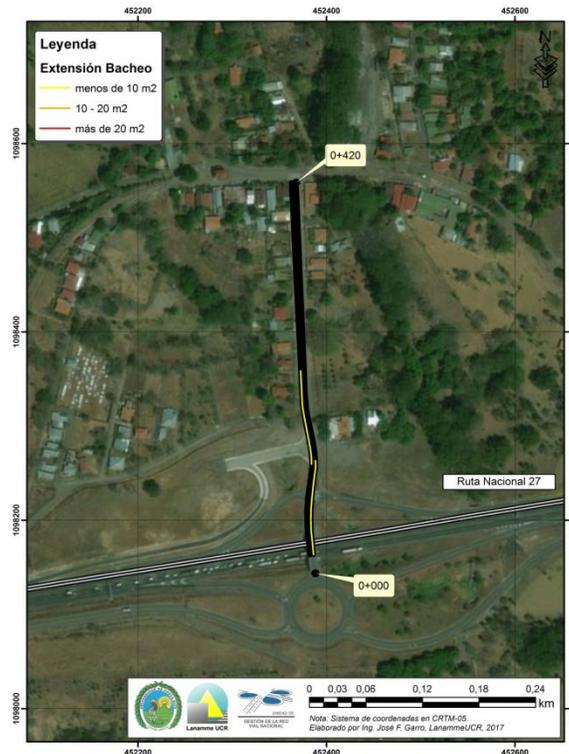


Figura A7 40 Resultados Bacheo, Radial Escobal



Anexo VIII Modelo de Deterioro para la Ruta Nacional 27 San José - Caldera

