



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte PITRA

Informe: INF – PI – UGERVN – 12 – 2020

Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27 Años 2019 – 2020

Informe Final

Preparado por:

Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional
LanammeUCR

San José, Costa Rica

Setiembre, 2020



1. Informe INF-PI-UGERVN-12-2020		2. Copia No.1		
3. Título Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27, Años 2019 – 2020		4. Fecha del Informe Setiembre 2020		
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 204
11. Ejecución de Evaluación del Proyecto:				
Líder: Ing. Cristian Valverde C. M.Sc. PMP® UGERVN	Especialista: Ing. José Francisco Garro M., M.Sc. PMP® UGERVN	Especialista: Geólogo Paulo Ruiz C., Ph.D. UGERVN	Especialista: Ing. Ronald Naranjo Umaña, PMP® UGERVN	Especialista: Ing. Stephan Rodríguez Shum, M.Sc. USVT
Fecha: Setiembre, 2020	Fecha: Setiembre, 2020	Fecha: Setiembre, 2020	Fecha: Setiembre, 2020	Fecha: Setiembre, 2020
12. Coordinación de Evaluación de Proyecto: Ing. Roy Barrantes Jiménez M.Sc. PMP® Coordinador UGERVN	13. Coordinación de Evaluación de Seguridad Vial: Ing. Javier Zamora Rojas M.Sc. Coordinador USVT	14. Revisado Legal: Lic. Miguel Chacón A. Asesor Legal	15. Revisado y aprobado por: Inga. Ana Luisa Elizondo Salas MSc. Coordinadora PITRA	
Fecha: Setiembre, 2020	Fecha: Setiembre, 2020	Fecha: Setiembre, 2020	Fecha: Setiembre, 2020	



TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	11
RECONOCIMIENTO	12
1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	13
2 OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN CONCESIÓN SAN JOSÉ – CALDERA, AÑOS 2019 - 2020 17	
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN, AÑOS 2019 – 2020.....	18
3.1 CAPACIDAD ESTRUCTURAL, DEFLEXIONES OBTENIDAS MEDIANTE EL FWD, TRONCAL PRINCIPAL	18
3.1.1 <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	18
3.1.2 <i>Resultados obtenidos, mes de septiembre del 2019.....</i>	19
3.1.3 <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría</i>	22
3.2 CAPACIDAD FUNCIONAL, CONDICIÓN SEGÚN REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI), TRONCAL PRINCIPAL.....	22
3.2.1 <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	22
3.2.2 <i>Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI)</i>	23
3.2.3 <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad funcional con el Perfilómetro Láser.</i>	26
3.3 RESULTADOS OBTENIDOS DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE PAVIMENTOS, TRONCAL PRINCIPAL	26
3.3.1 <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	26
3.3.2 <i>Resultados de coeficiente de rozamiento con el GripTester y MuMeter</i>	28
3.3.3 <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento.....</i>	32
3.4 ANÁLISIS DE NOTAS DE CALIDAD Q, TRONCAL PRINCIPAL, AÑOS 2019 – 2020	34
3.5 COMPARACIÓN DE INDICADORES EN LA TRONCAL PRINCIPAL, AÑOS 2012 AL 2019	41
3.5.1 <i>Evaluación con el Deflectómetro de Impacto</i>	41
3.5.2 <i>Evaluación con el Perfilómetro Láser.....</i>	43
3.5.3 <i>Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial</i>	44
3.6 COMPARACIÓN DE LAS NOTAS Q OBTENIDAS PARA LA RUTA 27, AÑOS 2012 AL 2019	45
3.7 ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL. EVALUACIONES REALIZADAS EN ENERO, FEBRERO Y ABRIL DEL 2020	48
3.7.1 <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	48
3.7.2 <i>Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales.....</i>	49
4 EVALUACIÓN DE LAS RADIALES	52
4.1 ASPECTOS GENERALES	52
4.2 RESULTADOS OBTENIDOS: CAPACIDAD ESTRUCTURAL.....	53
4.3 RESULTADOS OBTENIDOS: CONDICIÓN FUNCIONAL	54
4.4 RESULTADOS OBTENIDOS: COEFICIENTE DE FRICCIÓN	54
4.5 NOTAS DE CALIDAD Q PARA LAS RADIALES	56
4.6 RESULTADOS OBTENIDOS: ANÁLISIS DE DETERIOROS SUPERFICIALES	57
4.7 COMPARACIÓN DE LA CONDICIÓN DE LAS RADIALES, CAMPAÑAS 2013 – 2019	58
4.7.1 <i>Evaluación con el deflectómetro de impacto.....</i>	58
4.7.2 <i>Evaluación con el perfilómetro láser superficial</i>	62
4.7.3 <i>Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial.</i>	67
4.7.4 <i>Evaluación visual de Deterioro Superficial.....</i>	71



5	MODELOS DE DETERIORO	75
5.1	APLICACIÓN DEL MODELO DE DETERIORO	75
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	79
6	CONDICIONES GEOTÉNICAS Y SISTEMAS DE DRENAJE	82
6.1	REGISTRO HISTÓRICO DE PRECIPITACIONES	82
6.2	EVALUACIÓN TALUD EN PK 37+500.....	83
6.3	EVALUACIÓN TALUD EN PK 38+600.....	86
6.4	EVALUACIÓN TALUD EN PK 44+500.....	89
6.4.1	<i>Monitoreo del nivel piezométrico</i>	<i>100</i>
6.4.2	<i>Condición actual</i>	<i>102</i>
6.5	EVALUACIÓN TALUD EN PK 47+000.....	105
6.6	EVALUACIÓN TALUD EN PK 73+000.....	109
7	EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL Y MOVILIDAD.....	112
7.1	GENERALIDADES	112
7.2	INSPECCIÓN DE SITIOS DE CONCENTRACIÓN DE CHOQUES VIALES	112
7.2.1	<i>Tramo 1: Conexión RN39 – RN27 – Peaje Escazú, Estación 2+580 – 3+800</i>	<i>113</i>
7.2.2	<i>Tramo 2: Cercanías Radial Lindora, Estación 10+740 – 11+120.....</i>	<i>117</i>
7.2.3	<i>Tramo 3: Puente Río Grande – Radial Atenas, Estación 30+800 – 31+860</i>	<i>121</i>
7.2.4	<i>Tramo 4: Inmediaciones puente río Concepción, Estación 45+180 – 46+580.....</i>	<i>125</i>
7.3	INSPECCIÓN DE RADIALES.....	128
7.3.1	<i>Radial Coyol</i>	<i>128</i>
7.3.2	<i>Radial Turrúcares.....</i>	<i>129</i>
7.3.3	<i>Radial Atenas.....</i>	<i>130</i>
7.3.4	<i>Radial Escobal.....</i>	<i>131</i>
7.4	OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS.....	132
7.4.1	<i>Movilidad.....</i>	<i>132</i>
7.4.2	<i>Seguridad vial</i>	<i>134</i>
7.4.3	<i>Geometría.....</i>	<i>134</i>
8	CONCLUSIONES.....	136
8.1	CONCLUSIÓN GENERAL	136
8.2	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	138
8.2.1	<i>Sobre la condición estructural</i>	<i>138</i>
8.2.2	<i>Sobre la condición funcional</i>	<i>138</i>
8.2.3	<i>Sobre la resistencia al deslizamiento como parámetro de seguridad vial.....</i>	<i>138</i>
8.2.4	<i>Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica</i>	<i>139</i>
8.2.5	<i>Sobre las notas de calidad y las estrategias de intervención.....</i>	<i>139</i>
8.2.6	<i>Sobre los Modelos de Deterioro.....</i>	<i>139</i>
8.2.7	<i>Sobre las condiciones geotécnicas y sistemas de drenaje</i>	<i>140</i>
8.2.8	<i>Sobre condiciones geométricas de los taludes</i>	<i>140</i>
8.2.9	<i>Sobre los márgenes y sistemas de contención vehicular</i>	<i>141</i>
8.2.10	<i>Sobre la demarcación horizontal y señalamiento vertical.....</i>	<i>141</i>
8.2.11	<i>Sobre la movilidad de usuarios no motorizados.....</i>	<i>142</i>
9	RECOMENDACIONES	143
9.1.1	<i>Sobre la evaluación funcional, estructural, resistencia al deslizamiento y de deterioro superficial del proyecto</i>	<i>143</i>



9.1.2	<i>Sobre la evaluación de las radiales</i>	143
9.1.3	<i>Sobre el estado de los taludes y terraplenes adyacentes a la ruta</i>	143
9.1.4	<i>Sobre condiciones geométricas del trazado del proyecto</i>	144
9.1.5	<i>Sobre los márgenes y sistemas de contención vehicular</i>	145
9.1.6	<i>Sobre la demarcación horizontal y señalamiento vertical</i>	146
9.1.7	<i>Sobre la movilidad en general</i>	146
10	BIBLIOGRAFÍA	148
	ANEXO I: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO	152
	ANEXO II: RESULTADOS OBTENIDOS PERFILÓMETRO LÁSER	157
	ANEXO III: RESULTADOS OBTENIDOS MEDIDOR DE AGARRE SUPERFICIAL	162
	ANEXO IV: RESULTADOS OBTENIDOS NOTAS DE CALIDAD Q	171
	ANEXO V RESULTADOS OBTENIDOS PARA CADA UNO DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN LAS RADIALES 176	
	ANEXO VI MODELO DE DETERIORO PARA LA RUTA NACIONAL 27 SAN JOSÉ - CALDERA	196



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: <i>DIAGRAMA DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA 27, AÑOS 2019 - 2020.</i>	14
FIGURA 2. ESTADO GENERAL DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL POR MEDIO DE DEFLEXIONES EN SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA, CAMPAÑA 2019 – 2020	19
FIGURA 3. UBICACIÓN DE ALGUNOS TRAMOS CON DEFLEXIONES MODERADOS Y ALTAS, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA.	20
FIGURA 4. ESTADO GENERAL DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ, SEGÚN LOS VALORES DE DEFLEXIÓN FWD OBTENIDOS, CAMPAÑA 2019 – 2020.....	21
FIGURA 5. UBICACIÓN DE ALGUNOS TRAMOS CON DEFLEXIONES ALTAS, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ.	21
FIGURA 6. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PARÁMETRO <i>IRI</i> , SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA	24
FIGURA 7. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PARÁMETRO <i>IRI</i> , SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ	24
FIGURA 8. UBICACIÓN DE TRAMOS CON UN <i>IRI</i> ENTRE MODERADO Y BAJO.	25
FIGURA 9. GRIP TESTER.....	26
FIGURA 10. MU METER	27
FIGURA 11. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE A) <i>GRIP TESTER</i> Y B) <i>MUMETER</i>	29
FIGURA 12. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE A) <i>GRIP TESTER</i> Y B) <i>MU METER</i>	30
FIGURA 13. UBICACIÓN DE TRAMOS CON VALORES DE FRICCIÓN DE POCO DESLIZANTE A MUY DESLIZANTE.....	31
FIGURA 14. UBICACIÓN DE TRAMOS CON VALORES DE FRICCIÓN QUE CUMPLEN O INCUMPLEN CON EL CONTRATO.	33
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN DE LAS NOTAS DE CALIDAD Q PARA LA TRONCAL PRINCIPAL. A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ	34
FIGURA 16. AGRUPACIÓN DE LAS NOTAS DE CALIDAD PARA DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS GENERALES DE INTERVENCIÓN	37
FIGURA 17.: DISTRIBUCIÓN DE LAS NOTAS DE CALIDAD Q PARA LA TRONCAL PRINCIPAL. A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ	38
FIGURA 18. UBICACIÓN DE TRAMOS CON NOTAS DE CALIDAD ENTRE Q1 – Q6, Y R1.	39
FIGURA 19: DISTRIBUCIÓN DE LAS LABORES DE REHABILITACIÓN EN PORCENTAJES, EN LA TRONCAL PRINCIPAL, A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ	40
FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DE LAS LABORES DE REHABILITACIÓN EN PORCENTAJES, EN LA TRONCAL PRINCIPAL, A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ. SEGÚN RESULTADOS DEL GRIP TESTER.	41
FIGURA 21. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO.....	42
FIGURA 22. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS REGULARIDADES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO	43
FIGURA 23. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS REGULARIDADES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2019, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ DE LA RUTA NACIONAL 27	44
FIGURA 24. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2019, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA DE LA RUTA NACIONAL 27	44
FIGURA 25. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2019, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ DE LA RUTA NACIONAL 27	45
FIGURA 26. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPARACIÓN DE NOTAS Q PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2019. A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ	46
FIGURA 27.: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2019. A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ	47
FIGURA 28-. RESULTADOS DE DETERIORO SUPERFICIAL, A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ	50
FIGURA 29 A) UBICACIÓN DE TRAMOS EVALUADOS, B) VISUALIZACIÓN DE SUPERFICIE.....	51
FIGURA 30. UBICACIÓN DE LAS RADIALES EN LA RUTA NACIONAL 27.....	52
FIGURA 31. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO, PARA LAS RADIALES DE LA RUTA 27, EN PORCENTAJES PARA CADA CATEGORÍA.	53
FIGURA 32. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PERFILÓMETRO LÁSER, PARA LAS RADIALES.....	54
FIGURA 33. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL GRIP TESTER, PARA LAS RADIALES DEL PROYECTO CONCESIONADO,	55
FIGURA 34. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MU-METER, PARA LAS RADIALES DE LA RUTA 27, EN PORCENTAJES.....	55
FIGURA 35. NOTAS Q PARA LAS RADIALES.	56
FIGURA 36. DISTRIBUCIÓN DE DETERIOROS EN LAS RADIALES CON ÁREA DETERIORADA POR RADIAL, RUTA NACIONAL 27.....	57
FIGURA 37. COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIA EL COYOL AÑOS 2013-2019.....	59



FIGURA 38. COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIAL TURRUCARES AÑOS 2013-2019.....	60
FIGURA 39. COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIAL ATENAS AÑOS 2013-2019.....	61
FIGURA 40. COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIAL ESCOBAL AÑOS 2013-2019	62
FIGURA 41. COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIAL EL COYOL AÑOS 2013-2019.....	63
FIGURA 42. COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIAL TURRÚCARES AÑOS 2013-2019	64
FIGURA 43. COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIAL ATENAS AÑOS 2013-2019	65
FIGURA 44. COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIAL ESCOBAL AÑOS 2013-2019.....	66
FIGURA 45. COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (GRIPTESTER) RADIAL EL COYOL 2013-2019	68
FIGURA 46. COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (GRIPTESTER) RADIAL TURRUCARES 2013-2019.....	69
FIGURA 47. COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (GRIPTESTER) RADIAL ATENAS 2013-2019	70
FIGURA 48. COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (GRIPTESTER) RADIAL ESCOBAL 2013-2019	71
FIGURA 49. CONDICIÓN SUPERFICIAL EN RADIAL EL COYOL	72
FIGURA 50. CONDICIÓN SUPERFICIAL EN RADIAL TURRÚCARES	73
FIGURA 51. CONDICIÓN SUPERFICIAL EN RADIAL ATENAS	74
FIGURA 52. EJEMPLO DE CURVA OBTENIDA A PARTIR DE LOS DATOS DEL PSI	76
FIGURA 53. GRÁFICA EJEMPLO PSI VS AÑO, E IRI VS AÑO.....	76
FIGURA 54: MODELO DE DETERIORO PARA EL TRAMO 1, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA.	78
FIGURA 55: MODELO DE DETERIORO PARA EL TRAMO 3, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ.	79
FIGURA 56. CONCEPTO DEL PSI, Y EL RESPECTIVO CAMBIO DEL VALOR CON EL TIEMPO PARA UN PAVIMENTO (LÍNEA NEGRA), CONTRA VALORES UMBRAL (LÍNEAS HORIZONTALES).....	80
FIGURA 56. REGISTRO DE LLUVIA POR MES EN LA ESTACIÓN DE Balsa de Atenas 2014 – 2020.....	83
FIGURA 58. A) CONDICIÓN ACTUAL DEL TALUD AL COSTADO DERECHO DEL KILÓMETRO 37+500. B) MATERIAL METEORIZADO Y FRACTURADO EN LA PARTE ALTA DEL TALUD.....	85
FIGURA 59. CONDICIÓN ACTUAL DEL TALUD AL COSTADO DERECHO DEL KILÓMETRO 37+500.	86
FIGURA 60. MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DEL TALUD EN EL KM 38+600.	87
FIGURA 61, TALUD INTERVENIDO, PK 38+600. A) GEOSINTÉTICO CON REFUERZO DE MALLA METÁLICA. B) DETERIORO EN EL MANTO PARA CONTROL DE EROSIÓN Y EN EL CONCRETO ADYACENTE.	88
FIGURA 62. LOCALIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MONITOREO GEOTÉCNICO EN LA RUTA NACIONAL No.27	89
FIGURA 63. TOPOGRAFÍA CERCANA AL ESTACIONAMIENTO 44+500 DE LA RUTA NACIONAL No.27	90
FIGURA 64: PK 44+500. LAS MARCAS AMARILLAS MUESTRAN EL RECORRIDO DE LA GRIETA EN LA SUPERFICIE. EL PUNTO ROJO ES LA UBICACIÓN DELL MONITOREO GEOTÉCNICO..	91
FIGURA 65. MODELO DE ELEVACIÓN Y ESTUDIO DE PENDIENTES EN EL SECTOR DEL KM 44+500 DE LA RUTA NACIONAL No. 27. 92	92
FIGURA 66. CAMBIOS EN LA TOPOGRAFÍA DEL SECTOR CERCAÑO AL KM 44+500, A) CURVAS DE NIVEL ANTES EN EL AÑO 2007, B) CURVAS DE NIVEL DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA (2017).	93
FIGURA 67. VISTA GENERAL DEL SECTOR ESTUDIADO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	94
FIGURA 68. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA GEOFÍSICA REALIZADA, SE OBSERVAN VARIAS ESTRUCTURAS EN EL SUBSUELO CON MATERIALES DIVERSOS.	95
FIGURA 69. PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LA PERFORACIÓN EN EL KM 44+500 DE LA RUTA NACIONAL No.27	96
FIGURA 70. SECCIÓN TRANSVERSAL PERPENDICULAR A LA RUTA NACIONAL No.27, TOPOGRAFÍA EXISTENTE AL INICIO DEL MONITOREO	97
FIGURA 71. SECCIÓN TRANSVERSAL PERPENDICULAR A LA RUTA NACIONAL No.27, TOPOGRAFÍA EXISTENTE AL INICIO DEL MONITOREO	98
FIGURA 72. VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO DE LA TUBERÍA DE LA Sonda INCLINOMÉTRICA EN EL DESLIZAMIENTO DEL PK 44+500	99
FIGURA 73. LLUVIA Y PROFUNDIDAD DE NIVEL FREÁTICO EN PERFORACIÓN UBICADA EN ESTACIONAMIENTO 44+500	102
FIGURA 74. DENTRO DEL POLÍGONO DE COLOR AMARILLOS SE MUESTRA EL HUNDIMIENTO PRINCIPAL EN LA RUTA, SE LOCALIZA EN CARRIL CON SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA.	103
FIGURA 75. BACHES DE ASFALTO COLOCADOS PARA NIVELAR LOS HUNDIMIENTOS EN EL CARRIL EXTERNO EN EL SENTIDO CALDERA- SAN JOSÉ.	103
FIGURA 76. FOTOGRAFÍAS DONDE SE OBSERVA AGUA SALIENDO DE LOS DRENAJES EN EL FRENTE DEL MURO ANCLADO.....	104



FIGURA 77. GRIETA AL PIE DEL MURO ANCLADO CONSTRUIDO EN EL ESTACIONAMIENTO 44+500.....	104
FIGURA 78. PK 47+000 ALGUNOS DETERIOROS OBSERVADOS EN EL CONCRETO LANZADO	105
FIGURA 79. PK 47+000 VISTA GENERAL DE LA CONDICIÓN ACTUAL DEL TALUD.....	106
FIGURA 80. PK 47+000 DETERIORO EN EL ACERO QUE ESTÁ EN CONTACTO CON EL MEDIO ÁCIDO DEL TALUD	106
FIGURA 81. PK 47+000 MANCHAS AMARILLENAS CARACTERÍSTICAS DE DEPÓSITOS GENERADOS EN MEDIOS ÁCIDOS, LO QUE GENERA DETERIORO ACELERADO DEL CONCRETO.....	107
FIGURA 82. SECCIÓN INTERVENIDA RECIENTEMENTE, SE SUSTITUYÓ UNA PARTE DEL CONCRETO LANZADO EN EL TALUD	107
FIGURA 83. GRIETAS OBSERVADAS EN EL CONCRETO LANZADO DEL TALUD EN EL ESTACIONAMIENTO 47+000	108
FIGURA 84. CONDICIÓN ACTUAL DEL TALUD AL COSTADO DERECHO DEL ESTACIONAMIENTO 47+000, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ.....	109
FIGURA 85. PK 73 +000. BARRERA DE CONCRETO COLOCADA AL PIE DEL TALUD A MODO DE BARRERA DE CONTROL DE CAÍDOS.	110
FIGURA 86. PK 73 +000. ACUMULACIÓN DE MATERIALES FINOS AL PIE DEL TALUD.	111
FIGURA 87. TRAMO CONCENTRACIÓN DE CHOQUES VIALES: ESTACIÓN 2+580 – 3+800	113
FIGURA 88. CONEXIÓN RN39 – RN27	113
FIGURA 89. BAHÍA DE AUTOBÚS SOBRE VÍA PRINCIPAL TIPO AUTOPISTA.....	115
FIGURA 90. SISTEMA DE CONTENCIÓN VEHICULAR SEMIRRÍGIDO Y CONEXIÓN CON BARRERA DE CONCRETO	116
FIGURA 91. DISCONTINUIDADES EN SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR.....	117
FIGURA 92. TRAMO DE CONCENTRACIÓN DE CHOQUES VIALES: ESTACIÓN 10+740 – 11+120	117
FIGURA 93. LUMINARIAS EN MEDIANA Y VÍA DE VELOCIDAD REGLAMENTARIA DE 80 KM/H	119
FIGURA 94. BIFURCACIÓN ENTRE RADIAL Y RUTA NACIONAL 27.....	119
FIGURA 95. CONEXIÓN BARRERA SEMIRRÍGIDA CON PRETEL DE PUENTE Y BARRERA RÍGIDA.....	120
FIGURA 96. PUENTE PEATONAL, BAHÍA DE AUTOBÚS Y CARRIL DE ACELERACIÓN	121
FIGURA 97. TRAMO DE CONCENTRACIÓN DE CHOQUES VIALES: ESTACIÓN 30+800 – 31+860	122
FIGURA 98. CONEXIÓN BARRERA SEMIRRÍGIDA CON PRETEL DE PUENTE.....	123
FIGURA 99. BARRERAS DE CONCRETO AISLADAS	123
FIGURA 100. TERMINAL DE CONCRETO EN MEDIANA	124
FIGURA 101. DISCONTINUIDADES EN BARRERAS MEDIANAS	124
FIGURA 102. PEAJE ALEDAÑO A RADIAL ATENAS, INMEDIACIÓN A LA ESTACIÓN 32+000	125
FIGURA 103. TRAMO DE CONCENTRACIÓN DE CHOQUES VIALES: ESTACIÓN 45+180 – 46+580	126
FIGURA 104. BARRERAS DE CONCRETO AISLADAS, DETERIORADAS Y CON DISCONTINUIDADES	126
FIGURA 105. CONEXIÓN BARRERA SEMIRRÍGIDA CON PRETEL DE PUENTE Y PRESENCIA DE VEHÍCULOS PESADOS	127
FIGURA 106. SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR DE CONCRETO	127
FIGURA 107. DEMARCACIÓN HORIZONTAL BORROSA Y AUSENCIA DE CAPTALUCES.....	128
FIGURA 108. SEÑALAMIENTO VERTICAL DETERIORADO	128
FIGURA 109. CONEXIÓN ENTRE SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE CONCRETO Y METÁLICOS	129
FIGURA 110. DISCONTINUIDADES EN SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR.....	129
FIGURA 111. DEMARCACIÓN HORIZONTAL BORROSA.....	130
FIGURA 112. SEÑALAMIENTO VERTICAL DETERIORADO	130
FIGURA 113. APROXIMACIONES A PEAJES	131
FIGURA 114. DEMARCACIÓN HORIZONTAL BORROSA Y AUSENCIA DE CAPTALUCES.....	131
FIGURA 115. DEMARCACIÓN HORIZONTAL BORROSA Y AUSENCIA DE CAPTALUCES.....	132
FIGURA 116. ACCESOS INSEGUROS A AUTOPISTA.....	134



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RANGOS DE DEFLEXIÓN, UTILIZADOS PARA CLASIFICAR LOS DATOS DE DEFLECTOMETRÍA DEL PROYECTO	18
TABLA 2. DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA EL SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA, CAMPAÑA 2019-2020	19
TABLA 3. DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA EL SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ, CAMPAÑA 2019-2020.....	20
TABLA 4. RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)	23
TABLA 5. RESULTADOS OBTENIDOS EN REGULARIDAD SUPERFICIAL, RUTA 27.....	23
TABLA 6. CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO SEGÚN EL GN	27
TABLA 7. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL GRIPTESTER	28
TABLA 8. SEGMENTO DE KILÓMETROS EVALUADOS.....	49
TABLA 9. RANGO DE APLICACIÓN DEL MODELO PARA EL CÁLCULO DEL PSI COSTA RICA	75
TABLA 10. SECCIONES DE CONTROL.....	75
TABLA 11. AÑO EN EL QUE EL PSI ALCANZA EL VALOR DE 3,0 (UMBRAL DE REHABILITACIÓN MAYOR)	81
TABLA 12. COMPARACIÓN DE DATOS DE ESTACIÓN UBICADA EN Balsa Y EL NIVEL FREÁTICO MEDIDO EN LA PERFORACIÓN EN EL ESTACIONAMIENTO 44+500.....	101
TABLA 13. TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE CHOQUES VIALES INSPECCIONADOS	112
TABLA 14. LONGITUDES MÍNIMAS PARA CARRILES DE ACELERACIÓN	114
TABLA 15. DISTANCIAS DE ZONA LIBRE MÍNIMA NECESARIAS SEGÚN VELOCIDAD, TPD Y PENDIENTE	118

ÍNDICE DE FIGURAS ANEXO

FIGURA A1 1. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 0+000 - 20+000.....	153
FIGURA A1 2. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 20+000 - 40+000.....	153
FIGURA A1 3. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 40+000 - 60+000.....	154
FIGURA A1 4. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 60+000 - 76+000.....	154
FIGURA A1 5. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000.....	155
FIGURA A1 6. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 – 40+000.....	155
FIGURA A1 7. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000.....	156
FIGURA A1 8. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000.....	156
FIGURA A2 1. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 0+000 - 20+000.....	158
FIGURA A2 2. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 20+000 - 40+000.....	158
FIGURA A2 3. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 40+000 - 60+000.....	159
FIGURA A2 4. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 60+000 - 76+000.....	159
FIGURA A2 5. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000	160
FIGURA A2 6. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000	160
FIGURA A2 7. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000	161
FIGURA A3 1. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 0+000 -20+000.....	163
FIGURA A3 2. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 20+000 - 40+000.....	163
FIGURA A3 3. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 40+000 - 60+000.....	164
FIGURA A3 4. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 60+000 - 76+000.....	164
FIGURA A3 5. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000.....	165
FIGURA A3 6. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000.....	165
FIGURA A3 7. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000.....	166
FIGURA A3 8. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000.....	166
FIGURA A3 9. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 0+000 -20+000	167
FIGURA A3 10. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 20+000 - 40+000	167
FIGURA A3 11. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 40+000 - 60+000	168
FIGURA A3 12. RESULTADOS MUMETE, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 60+000 - 76+000.....	168
FIGURA A3 13. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000	169
FIGURA A3 14. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000	169



FIGURA A3 15. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000 170
 FIGURA A3 16. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000 170

FIGURA A4 1. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 0+000 - 20+000..... 172
 FIGURA A4 2. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 20+000 - 40+000..... 172
 FIGURA A4 3. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 40+000 - 60+000..... 173
 FIGURA A4 4. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 60+000 - 76+000..... 173
 FIGURA A4 5. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000..... 174
 FIGURA A4 6. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000..... 174
 FIGURA A4 7. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000..... 175
 FIGURA A4 8. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000..... 175

FIGURA A5 1. RESULTADOS FWD, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL..... 177
 FIGURA A5 2. RESULTADOS FWD, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27..... 177
 FIGURA A5 3. RESULTADOS IRI, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL 178
 FIGURA A5 4. RESULTADOS IRI, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27..... 178
 FIGURA A5 5. RESULTADOS GRIP, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL..... 179
 FIGURA A5 6. RESULTADOS GRIP, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27..... 179
 FIGURA A5 7. RESULTADOS MUMETER, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – EL COYOL..... 180
 FIGURA A5 8. RESULTADOS MUMETER, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27 180
 FIGURA A5 9. RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL..... 181
 FIGURA A5 10. RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27..... 181
 FIGURA A5 11. RESULTADOS BACHEO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL 182
 FIGURA A5 12. RESULTADOS BACHEO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27 182
 FIGURA A5 13. RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL 183
 FIGURA A5 14. RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL – RUTA NACIONAL 27 183
 FIGURA A5 15. RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – EL COYOL..... 184
 FIGURA A5 16. RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL – RUTA NACIONAL 27..... 184
 FIGURA A5 17. RESULTADOS AGRIETAMIENTO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL – RUTA NACIONAL 27 185
 FIGURA A5 18. RESULTADOS AGRIETAMIENTO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – EL COYOL 185
 FIGURA A5 19. RESULTADOS FWD, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS..... 186
 FIGURA A5 20. RESULTADOS FWD, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27..... 186
 FIGURA A5 21. RESULTADOS IRI, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS 187
 FIGURA A5 2-2 RESULTADOS IRI, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27 187
 FIGURA A5 23. RESULTADOS GRIP, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS..... 188
 FIGURA A5 24. RESULTADOS GRIP, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27..... 188
 FIGURA A5 25. RESULTADOS MUMETER, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS 189
 FIGURA A5 26. RESULTADOS MUMETER, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27 189
 FIGURA A5 27. RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS 190
 FIGURA A5 28. RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27 190
 FIGURA A5 29. RESULTADOS BACHEO, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS 191
 FIGURA A5 30. RESULTADOS BACHEO, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27 191
 FIGURA A5 31. RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS..... 192
 FIGURA A5 32. RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27 192
 FIGURA A5 33. RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – ATENAS 193
 FIGURA A5 34. RESULTADOS DESPRENDIMIENTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS – RUTA NACIONAL 27..... 193
 FIGURA A5 35. RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS – RUTA NACIONAL 27 194
 FIGURA A5 36. RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – ATENAS 194
 FIGURA A5 37. RESULTADOS AGRIETAMIENTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – ATENAS 195
 FIGURA A5 38. RESULTADOS AGRIETAMIENTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS – RUTA NACIONAL 27 195



RESUMEN

Bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar una evaluación anual de las carreteras administradas bajo la modalidad de concesión de obra pública, cumpliendo la función de ser un instrumento eficaz e imparcial contribuyendo a garantizar la calidad y el mantenimiento de los niveles de servicio del patrimonio vial en manos de empresas concesionarias. En este informe se evalúa la condición actual de la Concesión de Obra Pública Ruta Nacional 27 Carretera San José – Caldera para los años 2019 – 2020.

Para valorar de forma objetiva la calidad y desempeño de un proyecto en concesión y el mantenimiento de los niveles de servicio a lo largo de la vida útil del mismo, es necesario contar con especificaciones técnicas que definan estándares mínimos de calidad. En el caso de especificaciones contractuales en un estudio anterior se identificó poca exigencia o ambigüedad en los parámetros, equipos o procedimientos de medición, la *Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del Programa de Infraestructura de Transporte del LanammeUCR*, realizó la valoración de acuerdo con los estándares de calidad, equipos y procedimientos establecidos internacionalmente para este tipo de proyectos. El análisis de las especificaciones contractuales ya fue presentado en el informe *LM-PI-ERV-40-2010*, emitido el 18 de octubre del año 2010.

Los parámetros técnicos con los que se realizó la evaluación de este proyecto están relacionados directamente con la vida útil o de servicio del proyecto, con el costo de operación de la flota vehicular que por allí circula y con los niveles de seguridad vial que se brindan. Para 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 dos equipos para medir la condición de deslizamiento de la superficie del pavimento, conocidos por su nombre en inglés como *GripTester* y el *MuMeter*: ambos equipos miden el coeficiente de fricción del pavimento en mojado (condición crítica), lo cual se relaciona con el nivel de peligrosidad o accidentabilidad de un tramo de ruta. En los tramos de alta concentración de choques viales y en las radiales se evaluó la demarcación y señalización vial, los márgenes de carretera y sistemas de contención vehicular, así como la seguridad y condiciones de movilidad de peatones y otros usuarios vulnerables.

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 ciertos deterioros que afectan su superficie.



Reconocimiento

Se extiende un reconocimiento por la valiosa colaboración brindada en el desarrollo de este informe, a las estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil que cumplen con labores de asistencia en esta Unidad, los cuales son:

- María Laura Estrada Murillo
- Sophia Calderón Trigueros

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



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 de evaluación que se enmarca dentro de las funciones de fiscalizador que la citada ley le confiere al LanammeUCR. El trabajo realizado tiene como uno de los puntos de partida el levantamiento y la obtención de datos realizado por parte del Laboratorio de Evaluación de Pavimentos 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 resultados altamente confiables para el análisis incluido en este informe.

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

El LanammeUCR ha evaluado este proyecto desde el año 2010, lo que representa una experiencia de aproximadamente 1.300 km evaluados hasta el año 2019 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):

Informe: INF-PI-UGERVN-12-2020	Setiembre, 2020	Página 13 de 204
--------------------------------	-----------------	------------------

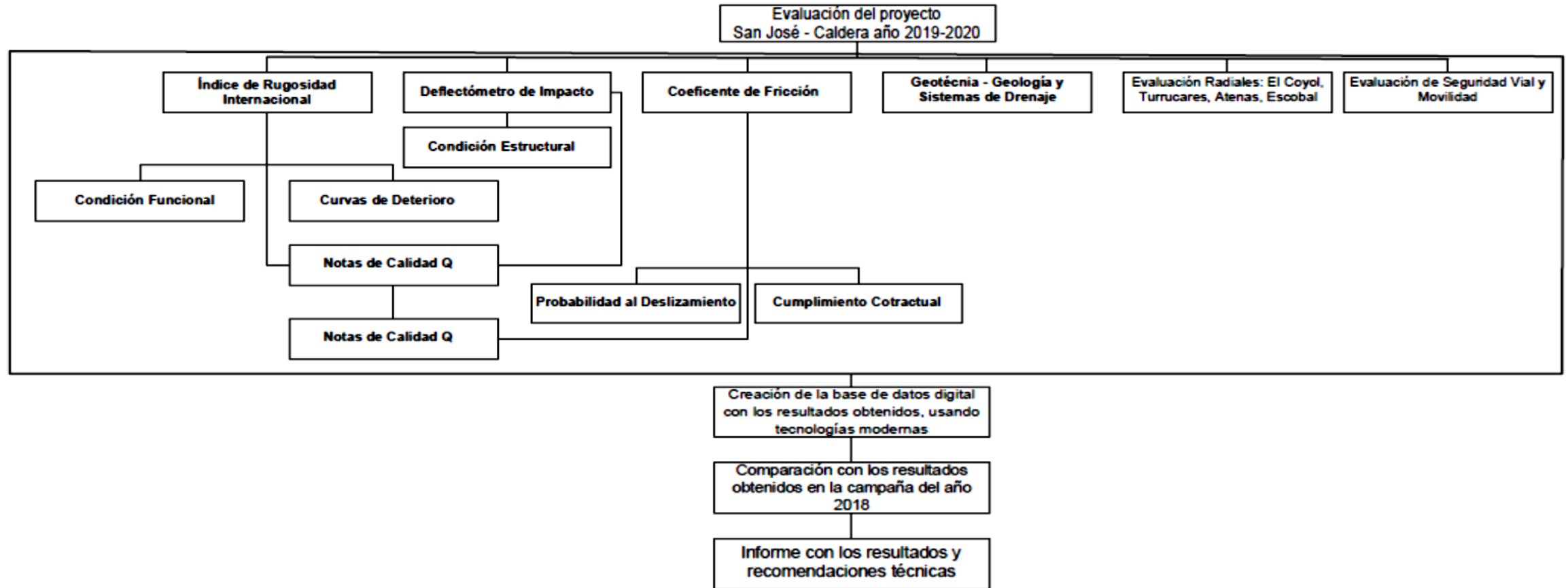


Figura 1: Diagrama de la evaluación del proyecto San José – Caldera Ruta 27, años 2019 - 2020.



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 (4,1 km)
- Radial Turrúcares (0,1 km)
- Radial Atenas (3,30 km)
- Radial Escobal (0,30 km)

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

Se realizaron evaluaciones de seguridad vial y movilidad en las secciones de la vía principal donde se identificaron sitios de concentración de choques viales. De forma complementaria, se evaluaron las radiales y se generaron observaciones generales ante condiciones que afectan la movilidad segura del proyecto.

Se realizó también un análisis geológico y geotécnico en sitios de interés: en cinco 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. Para la realización de esta evaluación se siguió la siguiente metodología:

1. Seguimiento a la condición de sitios de la carretera que históricamente han presentado problemas que son de interés para las áreas de geología y geotecnia, así como aquellos sitios que han sido evaluados en informes anteriores del LanammeUCR.
2. Evaluaciones de campo periódicas con los siguientes objetivos:
 - 2.1. Descripción de las condiciones geológicas de los sitios de interés, en especial aquellas que afectan el desempeño de las obras construidas por el Concesionario. Esto incluye el grado de meteorización y alteración de los materiales en relación con su origen geológico, sitios que presentan Drenaje Ácido de Rocas, etc.
 - 2.2. Descripción de condiciones geotécnicas de los sitios y las obras de interés. Esto incluye la identificación y descripción de sitios con materiales que evidencien inestabilidad, así como el riesgo general que representan según la altura del talud o ladera, la cercanía con la carretera y su condición de deterioro. Descripción de nuevas obras geotécnicas, generación de criterios sobre las nuevas intervenciones que haya realizado el Concesionario en este campo, descripción de la condición y la evolución de las obras geotécnicas anteriormente construidas y evaluadas, tales como obras de retención, rellenos y sistemas de drenaje en los taludes, incluyendo deterioros, evidencia o falta de mantenimiento, problemas de erosión, deformaciones u otros cambios observables, pérdida de funcionalidad, etc.
 - 2.3. Levantamiento de datos mediante el registro fotográfico de la condición de estos activos geotécnicos y generación de modelos de elevación digital mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados.



- 2.4. Monitoreo geotécnico de sitios de interés. En los sitios en los que el LanammeUCR ha instalado equipos para el monitoreo de obras geotécnicas se realiza el levantamiento de los datos de los equipos, la descripción de la condición de dichos activos, inventario de nuevos deterioros identificados tanto en la obra geotécnica como en el pavimento de la carretera, descripción de la consecuente afectación a los usuarios, valoración de la necesidad de comunicar alguna situación particular al Consejo Nacional de Concesiones, etc. La instalación de los equipos de monitoreo geotécnico se realiza en coordinación con el CNC, con el fin de que este a su vez informe al Concesionario sobre las actividades de monitoreo que realiza el LanammeUCR.
3. Comunicación con el Consejo Nacional de Concesiones (CNC). En los casos que se considera oportuno se realiza consultas al CNC sobre información requerida para llevar a cabo la evaluación de la ruta en concesión. Además, si producto del seguimiento de la condición de los activos geotécnicos, en algún momento se considera necesario informar al CNC sobre alguna condición particular que se considere de alto riesgo para los usuarios, inmediatamente se prepara un oficio con el detalle de la información pertinente según sea el caso.
4. Procesamiento de los datos obtenidos. Los datos obtenidos en las evaluaciones de campo, así como toda la información recopilada durante el año de evaluación es procesada y organizada, con el fin de identificar los aspectos más relevantes que serán posteriormente desarrollados para aportar al informe de evaluación anual de esta ruta en concesión.
5. Generación del capítulo de evaluación de la condición geológica y geotécnica de esta Ruta Nacional.



2 OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN CONCESIÓN SAN JOSÉ – CALDERA, AÑOS 2019 - 2020

2.1 Objetivo General

Evaluar el desempeño del proyecto en concesión San José – Caldera, Ruta Nacional 27, en el plazo comprendido entre julio del 2019 y junio 2020, cuantificando de manera sistemática la evolución del mismo 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*.
- Evaluar para la troncal la condición superficial de aquellos deterioros que puedan medirse adecuadamente a través de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT).
- Comparar las condiciones actuales con aquellas obtenidas en años anteriores, para obtener una comparación objetiva y técnica del estado del proyecto concesionado.
- Elaborar curvas de deterioro que permitan extrapolar la condición en que se podría encontrar la carretera en años futuros, según las tendencias obtenidas con base en las evaluaciones de la condición funcional realizadas a la fecha.
- Evaluar la condición de taludes, deslizamientos y sistemas de drenaje desde el punto de vista geológico y geotécnico.
- Evaluar las condiciones de la infraestructura vial desde el punto de vista de una movilidad segura.
- Mantener una base de datos actualizada de los parámetros técnicos del proyecto, que sea útil para la planificación de obras destinada al mejoramiento de la vía.



3 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN, AÑOS 2019 – 2020

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

3.1.1 Equipo utilizado y criterios de clasificación

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

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

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

Tabla 1. Rangos de deflexión, utilizados para clasificar los datos de deflectometría del proyecto

Tramo	San José - Escazú (0+000 – 3+605)	Escazú – Ciudad Colón (3+605 – 14+025)	Ciudad Colón - Orotina (14+025 – 51+720)	Orotina - Caldera (51+720 – 76+310)
Categorías deflexión	Rangos (en mm ⁻³)			
<i>Bajas</i>	menor a 520	menor a 360	menor a 470	menor a 500
<i>Moderadas</i>	520 – 570	360 – 400	470 – 520	500 – 580
<i>Altas</i>	570 – 710	400 – 490	520 – 660	580 – 800
<i>Muy Altas</i>	mayor a 710	mayor a 490	mayor a 660	mayor a 800

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

² El informe *Determinación de Rangos de Clasificación para la Red Vial Nacional, UI-PE-03-08*, del *LanammeUCR* explica la metodología para establecer los rangos de *FWD* e *IRI* para clasificar el proyecto. Los rangos de *FWD* fueron calculados específicamente para esta ruta, tomando en consideración las distintas estructuras del pavimento.



3.1.2 Resultados obtenidos, mes de septiembre del 2019

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos por medio del deflectómetro de impacto en el sentido San José - Caldera, para la campaña de evaluación 2019 – 2020; la Figura 2 muestra en forma gráfica este resultado.

Tabla 2. Deflexiones FWD obtenidas para el sentido San José - Caldera, campaña 2019-2020

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas	73	94,81
Moderadas	3	3,90
Altas	1	1,30
Muy Altas	0	0,0
Total	77	100

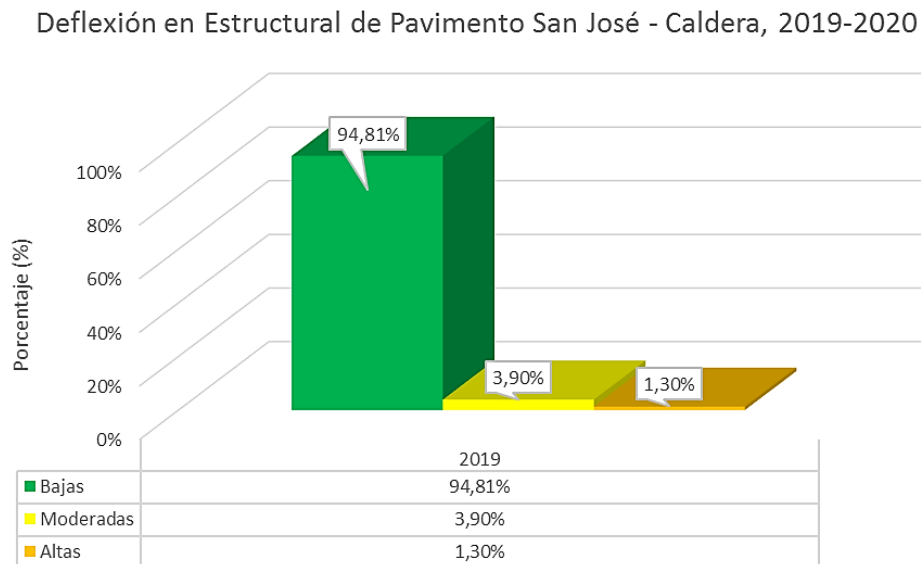


Figura 2. Estado general de la capacidad estructural por medio de deflexiones en sentido San José – Caldera, campaña 2019 – 2020

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

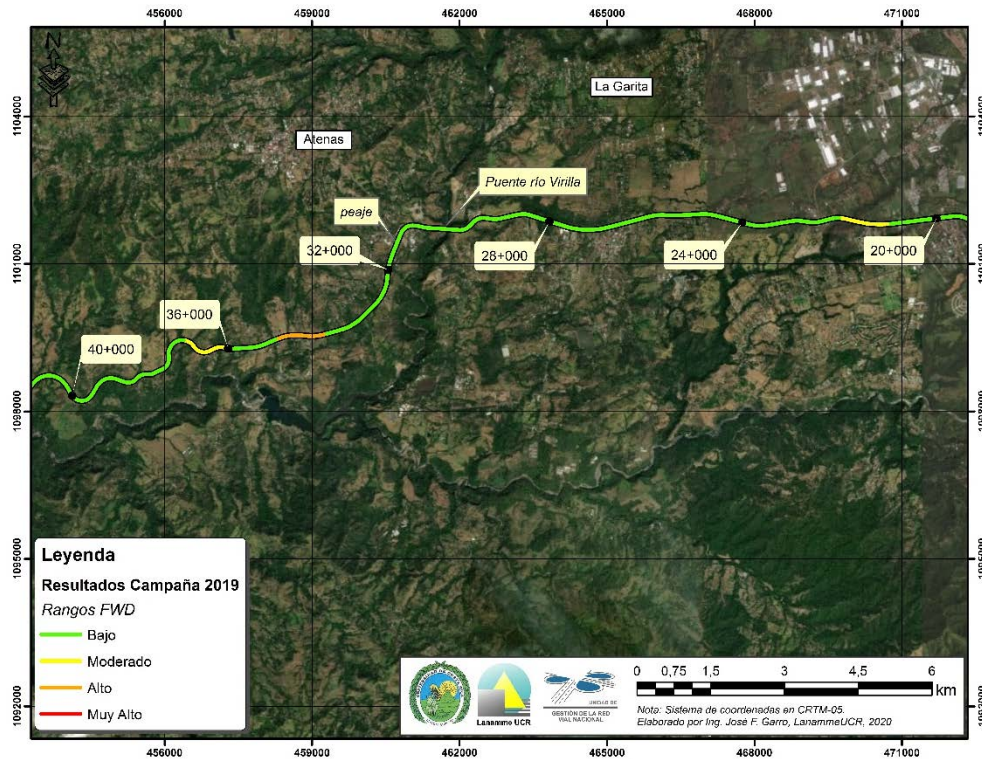


Figura 3. Ubicación de algunos tramos con deflexiones moderados y altas, sentido San José - Caldera.

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

Tabla 3. Deflexiones FWD obtenidas para el sentido Caldera – San José, campaña 2019-2020

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas	71	92,21
Moderadas	4	5,19
Altas	0	0,00
Muy Altas	2	2,60
Total	77	100



Deflexión en Estructural de Pavimento Caldera - San José, 2019-2020

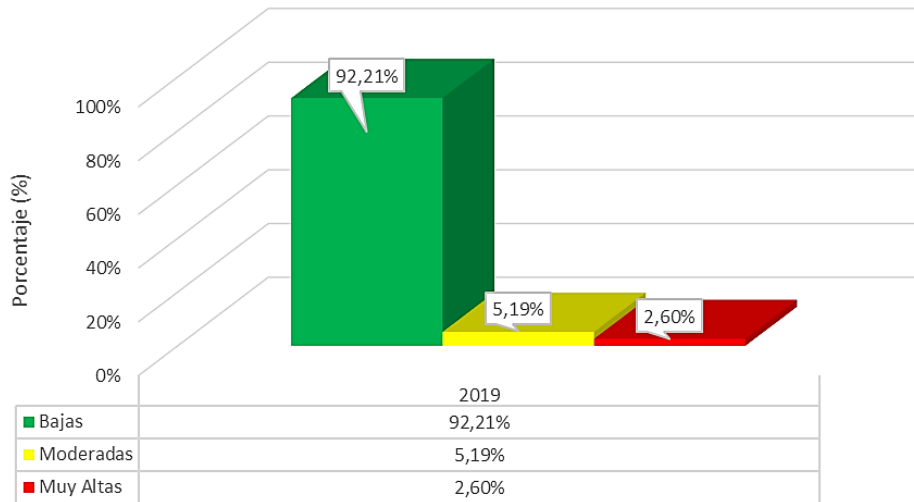


Figura 4. Estado general de la capacidad estructural sentido Caldera – San José, según los valores de deflexión FWD obtenidos, campaña 2019 – 2020

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

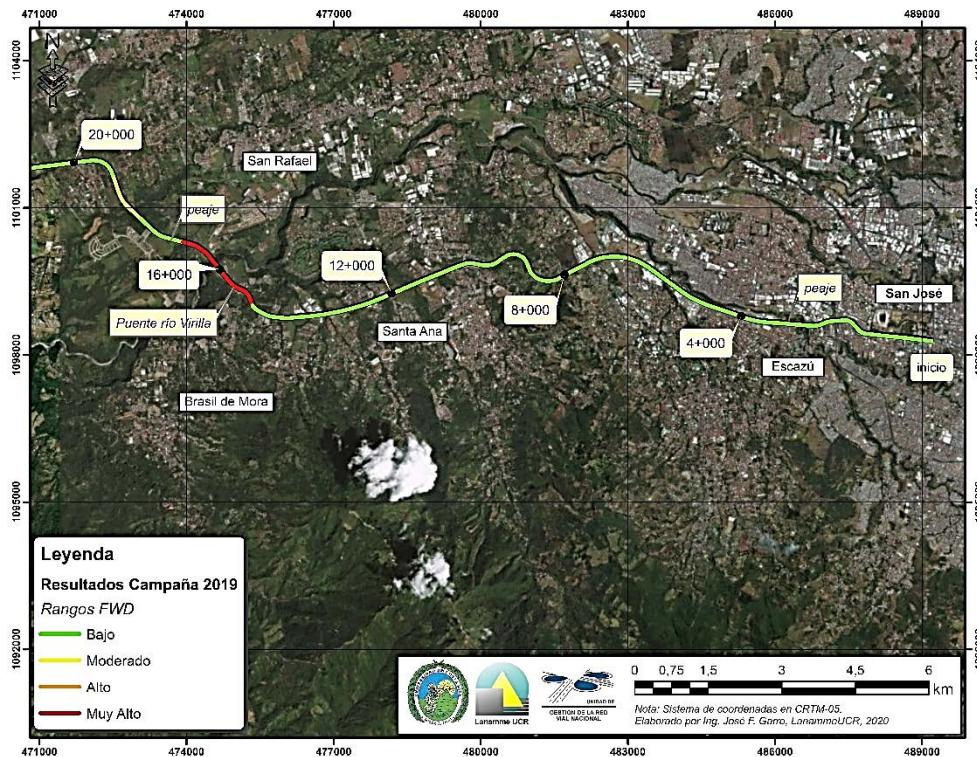


Figura 5. Ubicación de algunos tramos con deflexiones altas, sentido Caldera – San José.



3.1.3 *Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría*

De los resultados obtenidos a partir de la prueba realizada con el *Deflectómetro de Impacto*, se puede observar que alrededor de un 95% de la estructura del pavimento en el Sentido San José – Caldera y poco más de un 92% en el Sentido Caldera – San José cuenta con muy buena capacidad para soportar las cargas del tránsito que circulan por ella, puesto que presenta deflexiones bajas. Esta valoración estructural representa la condición de soporte del pavimento al momento de realizar la medición, es decir entre el 10 y el 20 de setiembre del año 2019. *Los cambios de temperatura en la superficie del pavimento y las variaciones en los niveles de humedad en las capas inferiores durante la época lluviosa, pueden generar variaciones significativas en los valores obtenidos a la hora de medir la capacidad estructural del proyecto. Este efecto puede ser valorado a lo largo del tiempo en evaluaciones posteriores.*

En términos generales la troncal principal presenta una buena capacidad estructural en ambos sentidos, una de las ventajas de contar con estas evaluaciones de tipo no destructivas consistente en la posibilidad de ubicar espacialmente con mucha precisión los tramos donde se detecta pérdida de capacidad estructural. Es muy conveniente realizar intervenciones oportunas de los sitios donde se detecta esta pérdida de capacidad ya que esta condición suele progresar mostrando deterioros superficiales que afectan el flujo vehicular, así como la seguridad de los usuarios y además, resulta en una enorme pérdida del patrimonio vial del proyecto.

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

3.2.1 *Equipo utilizado y criterios de clasificación*

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

La evaluación del proyecto con este equipo abarcó la totalidad de la longitud de la ruta. Debido a la importancia del IRI para calificar la calidad de un proyecto vial, se midió el perfil longitudinal en los dos sentidos.

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



Tabla 4. Rangos de clasificación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

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

Fuente: Determinación de rangos de clasificación para la Red Vial Nacional, UI-03-08, LanammeUCR, 2008

Los datos del perfil longitudinal están procesados en tramos de 100 metros de longitud, y representa el promedio de las medidas de los sensores izquierdo y derecho del *perfilómetro*, que se hacen coincidir con la huella de los vehículos. Se excluye los elementos que se consideran como singularidades por medio de análisis estadísticos, los cuales se definen como:

“Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino”³

3.2.2 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial del proyecto en el mes de mayo del 2019; 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	37 km	48,05 %	38 km	49,35 %
entre 1,9 y 3,6	40 km	51,95 %	39 km	50,65 %
entre 3,6 y 6,4	0 km	0,0 %	00 km	0,00 %
mayor a 6,4	0 km	0,0 %	0 km	0,00 %
Total	77 km	100 %	77 km	100 %

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



Capacidad Funcional San José - Caldera, 2019-2020

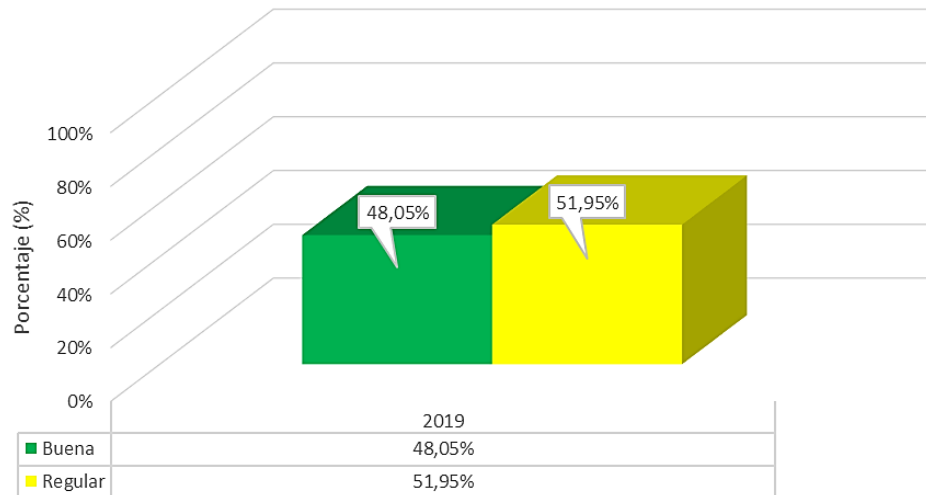


Figura 6. Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido San José – Caldera

Capacidad Funcional Caldera - San José, 2019-2020

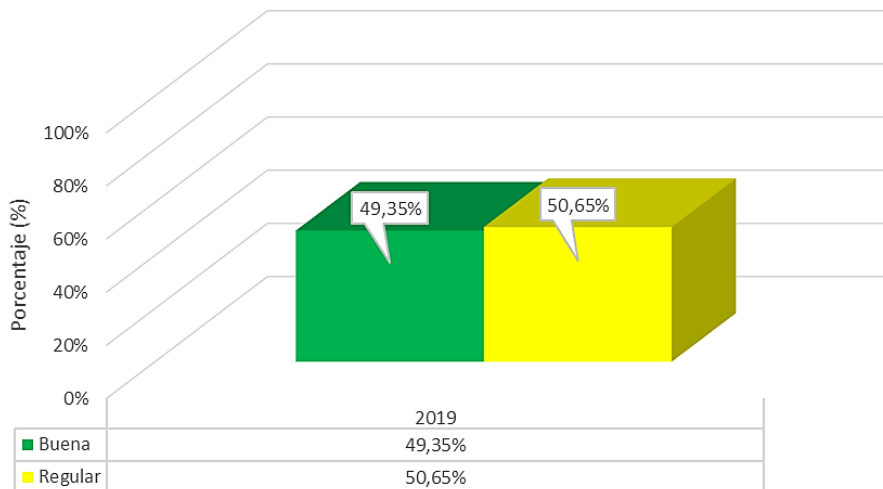


Figura 7. Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido Caldera – San José

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

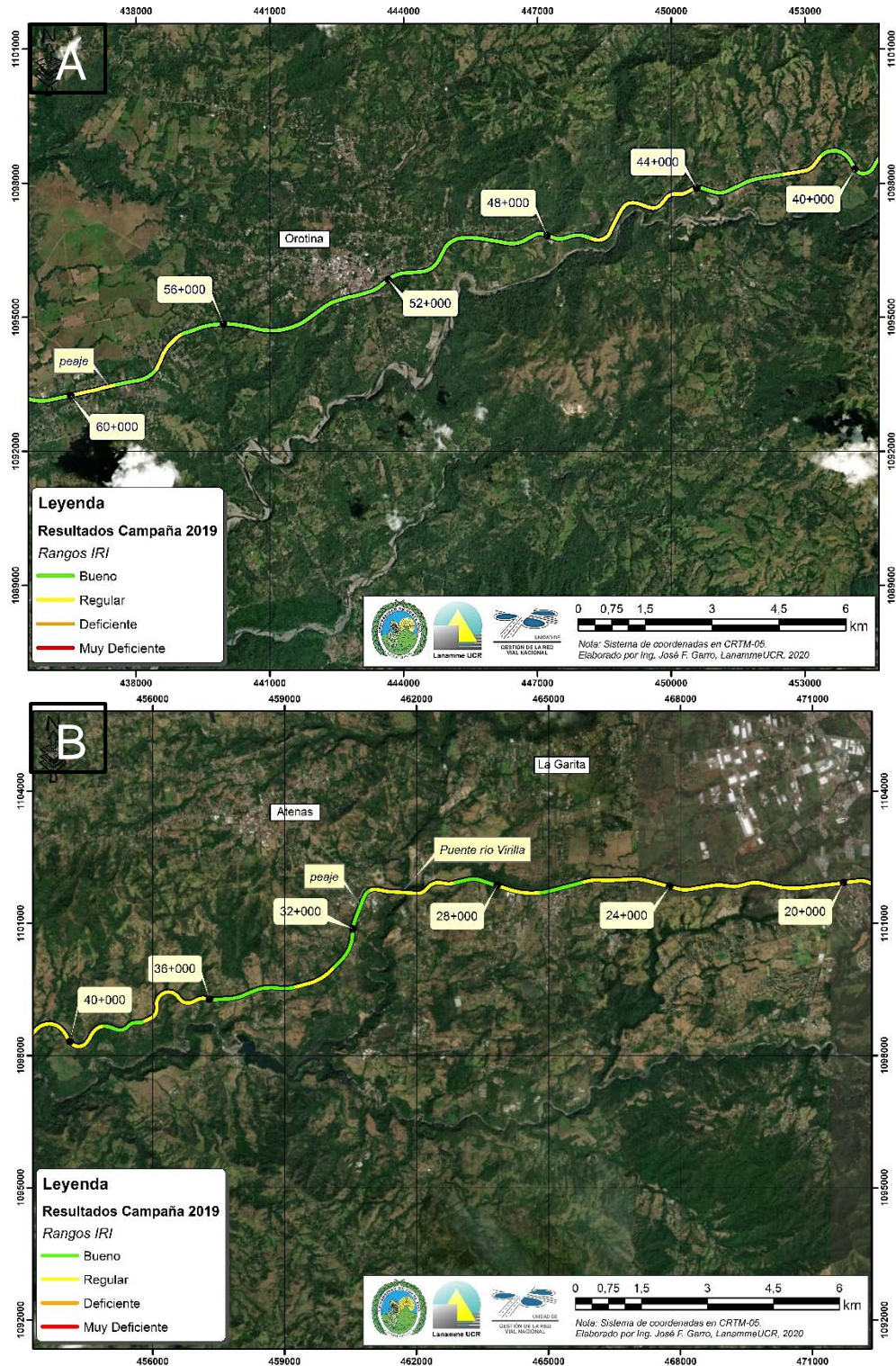


Figura 8. Ubicación de tramos con un IRI entre moderado y bajo. A) sentido San José - Caldera, B) sentido Caldera - San José



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

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

Con base en los valores obtenidos para este parámetro, un porcentaje importante (51,95% y 50,65% San José – Caldera y Caldera – San José respectivamente) de la longitud del proyecto evaluado, presenta valores de *IRI* en condición regular, lo cual como se ha mencionado en informes anteriores, además de influir de manera negativa en los costos de operación de la flota vehicular, incide de cierta manera en la estructura del pavimento, acelerando su deterioro. Como se mostrará en el apartado 3.5 *Análisis de Notas de Calidad Q troncal principal años 2019 – 2020*, con actividades de bajo impacto y costo, es posible mantener y mejorar los valores que se obtienen con este indicador.

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

3.3.1 *Equipo utilizado y criterios de clasificación*

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

3.3.1.1 *Grip Tester*



Figura 9. Grip Tester

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

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

Tabla 6. Clasificación internacional del pavimento según el GN

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

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

3.3.1.2 Mu Meter



Figura 10. Mu Meter

El *MuMeter* es usado principalmente para medir el coeficiente de rozamiento en pistas de aeropuertos por medio de la reacción de una celda de carga en respuesta a la fuerza de desviación que generan 2 ruedas que cuentan con un ángulo de desviación de 7°



respecto al eje central del equipo. Es por esta razón que su uso en redes viales no es común; los resultados obtenidos con este equipo no son comparables con aquellos obtenidos con el *GripTester*⁴.

3.3.2 Resultados de coeficiente de rozamiento con el *GripTester* y *MuMeter*

En total, se evaluaron y procesaron con el *GripTester* más de 30,000 secciones de 5 metros de longitud, las cuales se agruparon en datos por kilómetro para tener una mejor representación y control de los datos. Los resultados de las mediciones obtenidas para este 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 a lo indicado en el contrato de la concesión, para definir si se encuentra dentro de los parámetros estipulados en él, o fuera de ellos.

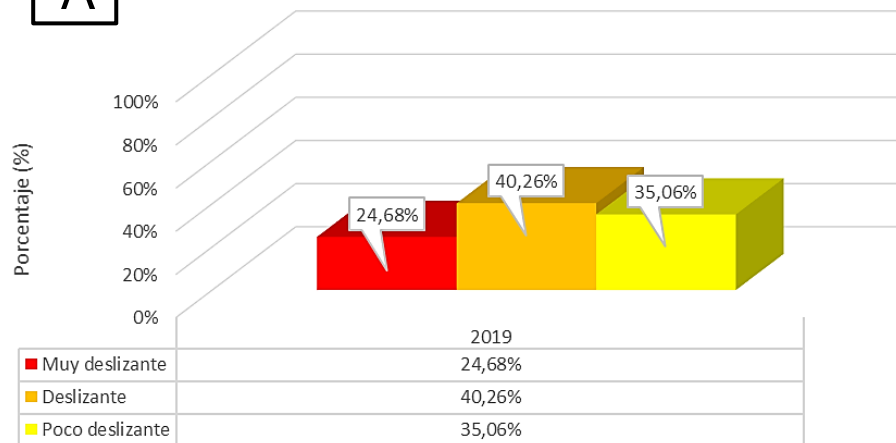
Tabla 7. Resultados obtenidos con el *GripTester*

Sentido	Longitud en cada rango (km), %								Total km
	Muy Deslizante		Deslizante		Poco Deslizante		No Deslizante		
San José – Caldera	19 km	24,68 %	31 km	40,26 %	27 km	35,06 %	0 km	0,0%	77
Caldera – San José	13 km	16,88 %	19 km	24,68 %	45 km	58,44 %	0 km	0,0%	77

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

Coeficiente Rozamiento GN San José - Caldera, 2019-2020

A



Coeficiente Rozamiento Mu San José - Caldera, 2019-2020

B

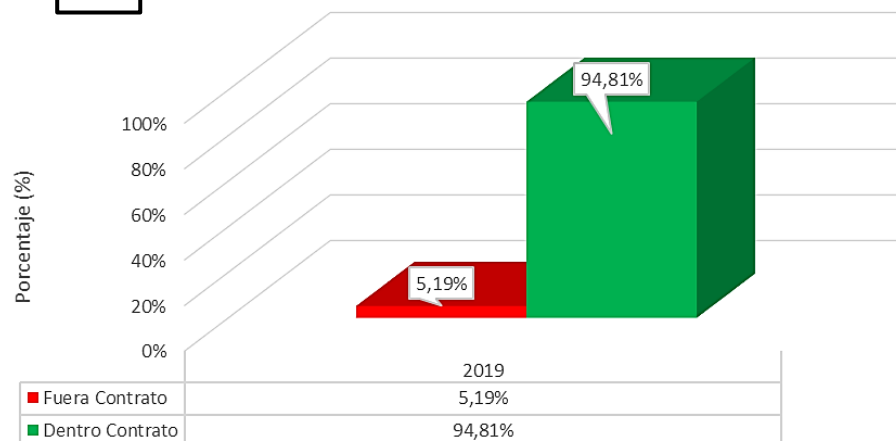
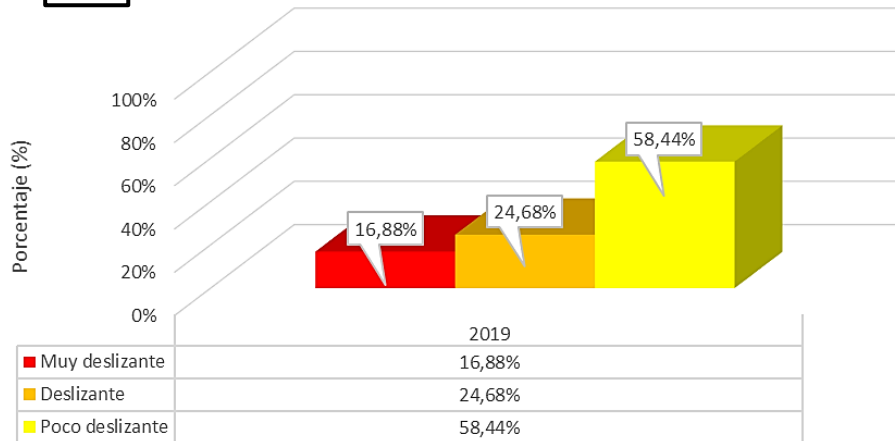


Figura 11. Resultados de las pruebas de A) Grip Tester y B) MuMeter. Los rangos del Mu Meter corresponden a los indicados en el contrato.

Coeficiente Rozamiento GN Caldera - San José , 2019-2020

A



Coeficiente Rozamiento Mu Caldera - San José, 2019-2020

B

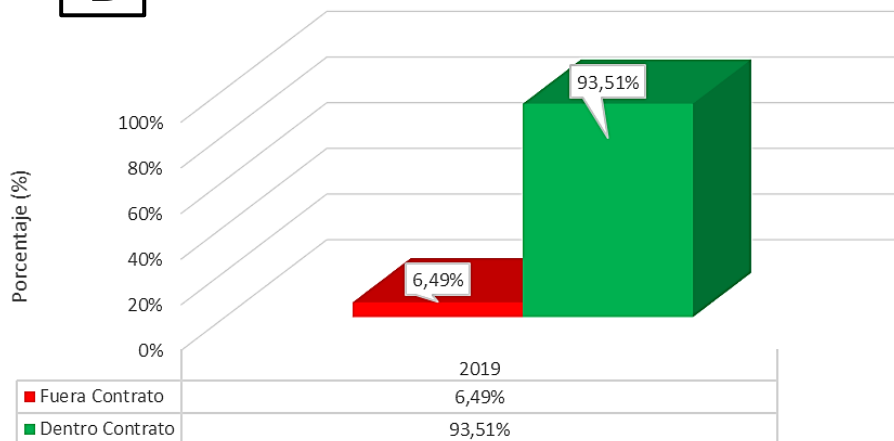


Figura 12. Resultados de las pruebas de a) Grip Tester y b) Mu Meter. Los rangos del Mu Meter corresponden a los indicados en el contrato.

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

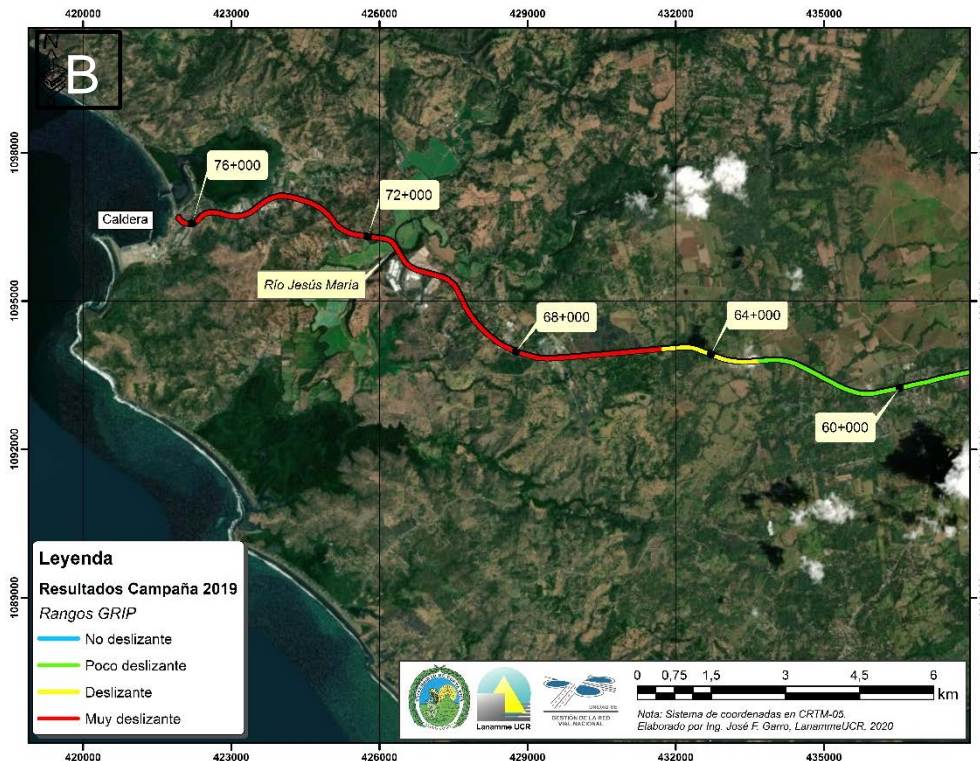
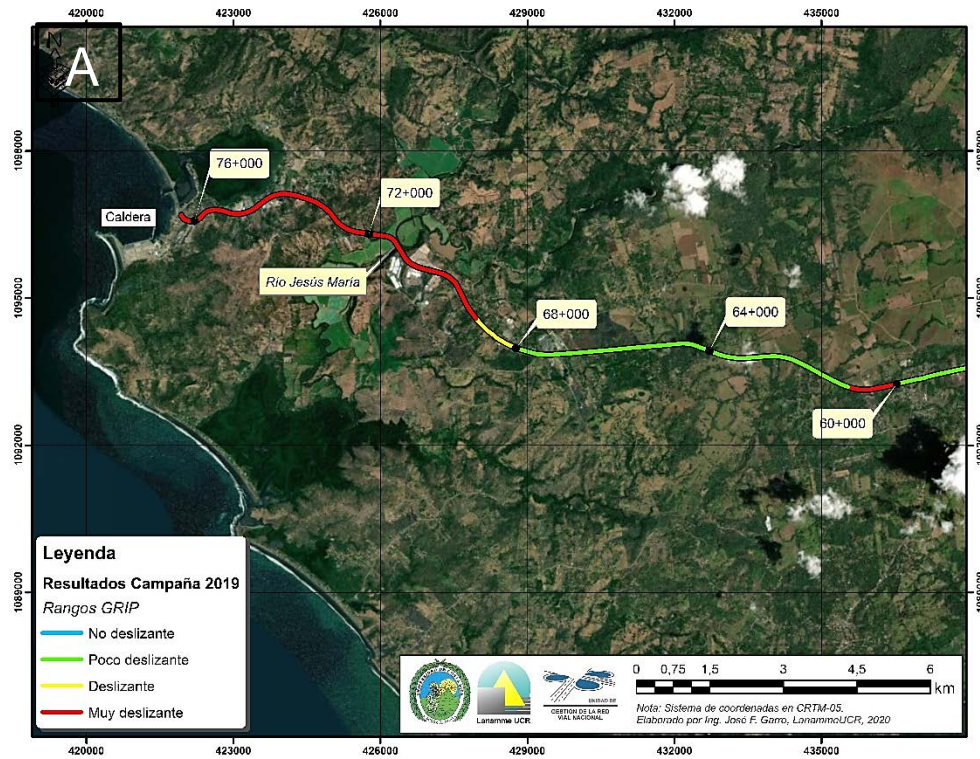


Figura 13. Ubicación de tramos con valores de fricción de poco deslizante a muy deslizante.
A) sentido San José – Caldera, B) Caldera – San José



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

3.3.3 *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 especifica que para pendientes mayores del 6% y en intersecciones, el valor mínimo es de 0,55 mientras que, para tramos rectos con pendientes menores al 6% el valor mínimo es de 0,45⁶.

Analizando los resultados obtenidos para el sentido San José – Caldera se puede observar que alrededor del 5% de la longitud no cumple con los parámetros que se indican en el contrato para este indicador y en el sentido Caldera – San José alrededor de un 6,5% de la longitud no cumple con los rangos indicados en el contrato.

En la Figura 14 se muestra los tramos donde hay mayor presencia de valores que incumplen con los rangos indicados en el contrato.

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

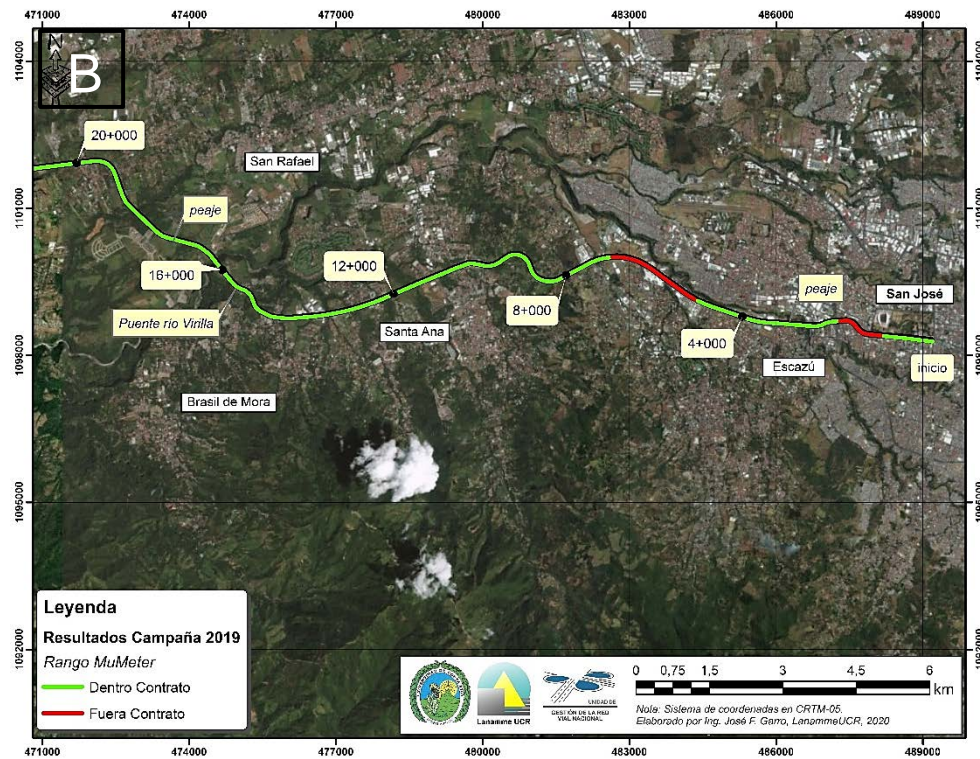
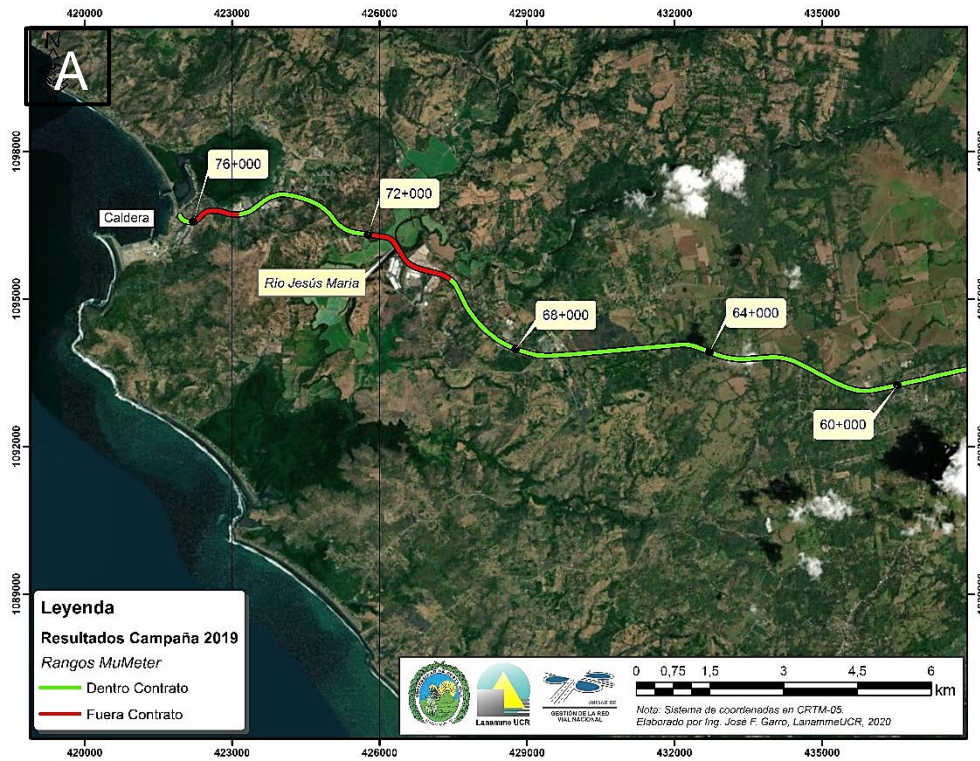


Figura 14. Ubicación de tramos con valores de fricción que cumplen o incumplen con el contrato.
A) sentido San José – Caldera, B) sentido Caldera – San José



Por su parte, los resultados obtenidos con el *GripTester* muestran que alrededor del 40% de la longitud de la ruta en el sentido San José – Caldera presenta condiciones Deslizantes y un 25% muestra condiciones Muy Deslizantes. Por su parte, en el sentido Caldera – San José, un 17% de la longitud cuenta con una condición Muy Deslizante y un 25% una condición Deslizante.

Es así como, con el *GripTester* se identifican zonas donde puede aumentar la probabilidad de que ocurran accidentes al presentar coeficientes de fricción bajos, además se evidencia una disminución en la presencia de tramos que incumplen contractualmente los valores obtenidos con el *MuMeter*.

3.4 Análisis de Notas de Calidad Q, troncal principal, años 2019 – 2020

Para la definición de las Notas de Calidad Q, se clasifica las unidades de análisis según la condición estructural (FWD), funcional (IRI) y de resistencia al deslizamiento (GN). Posteriormente, para cada de estas unidades de análisis, se combinan los resultados obtenidos de los indicadores que se mostraron anteriormente y se define una nueva calificación, conocida como Nota de Calidad (Nota Q), donde se establece el diagnóstico final de la condición de la sección y permite establecer una estrategia general de intervención final, tal como se muestra en la figura.

INDICADOR ESTRUCTURAL		CATEGORIAS DE FWD				
		BAJAS	MODERADA	ALTAS	MUY ALTAS	
INDICADOR FUNCIONAL		▼	▼	▼	▼	
Rangos de IRI (m/Km)	< 1,9 (Bueno)	▶	Q1	Q3	Q6	R-1
	1,9 – 3,6 (Regular)	▶	Q2	Q5	Q8	R-2
	3,6 – 6,4 (Malo)	▶	Q4	Q7	Q9	R-3
	> 6,4 (Muy Malo)	▶	M-RF	RH-RF	R-3	NP

Figura 15. Distribución de las Notas de Calidad Q para la troncal principal. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José

La definición de las notas de calidad es la siguiente:

Q1: Esta es la condición ideal de un pavimento desde el punto de vista estructural y funcional. Son pavimentos que se encuentran en un estado temprano de su vida útil y que brindan un buen servicio al usuario, mantienen altos niveles de servicio y bajos costos de operación vehicular. A pesar de esta condición estos pavimentos deben ser evaluados para identificar la presencia de deterioros que puedan afectar la seguridad vial tales como desprendimientos, desnudamiento o exudaciones, los cuales no constituyen deterioros



estructurales o de regularidad que puedan ser percibidos por el perfilógrafo (IRI) o por la deflectometría de campo. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de preservación de bajo costo.

Q2: En estos pavimentos la capacidad estructural sigue siendo muy buena, sin embargo, el nivel de regularidad superficial se ha desplazado a una condición regular donde la calidad del manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y se pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en los pavimentos flexibles pueden incluir deformaciones en la mezcla asfáltica, baches reparados y agrietamientos de severidad baja. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de preservación de bajo costo, enfocadas en corregir la pérdida de capacidad funcional.

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

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

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

Q7: Los pavimentos en esta categoría tienen una condición de ruedo similar a los descritos para la categoría Q4, sin embargo, presentan una peor condición estructural (cercana al 60% de vida estructural remanente del pavimento), por lo que la presencia de deterioros como ahuellamientos, agrietamiento por fatiga o agrietamientos transversales y longitudinales es mayor. En estos pavimentos la velocidad del deterioro estructural y



funcional se intensifica, por lo que están propensos a pasar a las categorías RH-RF o Q9 en el mediano plazo. Estos pavimentos presentan tramos candidatos a intervenciones de tipo “rehabilitación menor” que deberían estar enfocadas en recuperar la pérdida de capacidad funcional en el mediano plazo con el fin de evitar o retardar un mayor deterioro de la capacidad estructural.

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

Con base en los datos obtenidos en la evaluación de la condición estructural y funcional, se procedió a calcular las Notas de Calidad Q en tramos de un kilómetro de longitud en la troncal principal, para ambos sentidos (Figura 15). Los resultados muestran de manera general un pavimento en buenas condiciones tanto desde el punto de vista estructural como funcional dado que, en ambos sentidos, alrededor de un 95% de su longitud se encuentra en las notas Q1 y Q2. Sin embargo, resalta que en el sentido San José – Caldera, alrededor de un 4% de longitud presenta una nota de Q5 y un 5% en el sentido Caldera – San José, condición que se presenta debido a los valores de deflectometría Moderados y de IRI en el rango de regular. Adicionalmente, se detectan tramos que presentan una nota de Q6 es decir Rehabilitación Mayor (Ver Figura 16) (que representan alrededor del 1%) se caracteriza por valores de deflectometría altos, que caracteriza una estructura de pavimento que presenta una disminución en su capacidad estructural.

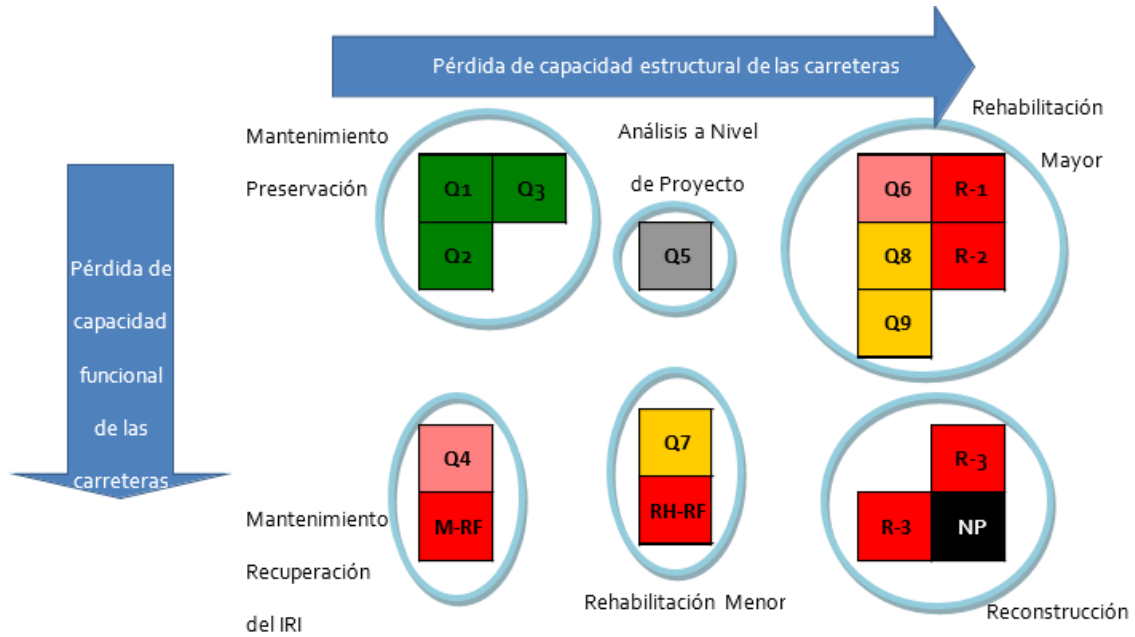
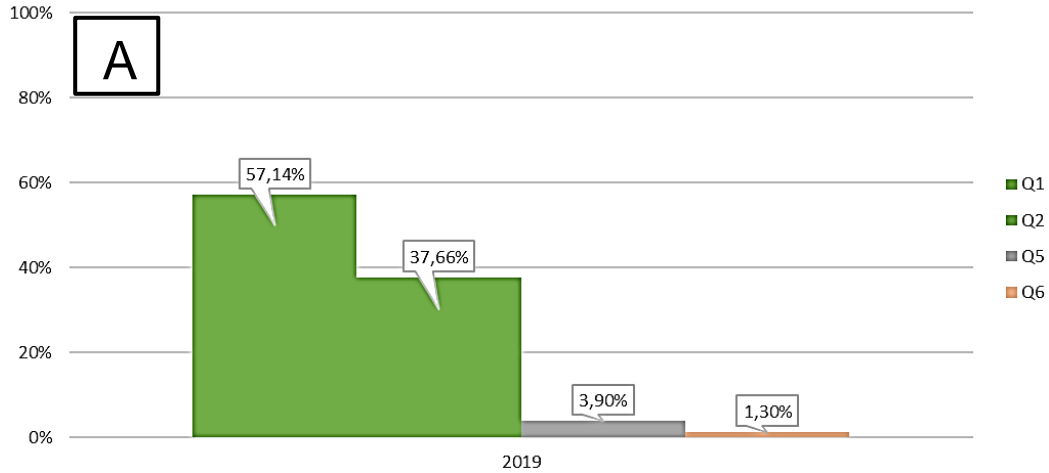


Figura 16. Agrupación de las notas de calidad para definición de estrategias generales de intervención

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

Nota de Calidad Q San José - Caldera, 2019-2020



Nota de Calidad Q Caldera - San José, 2019-2020

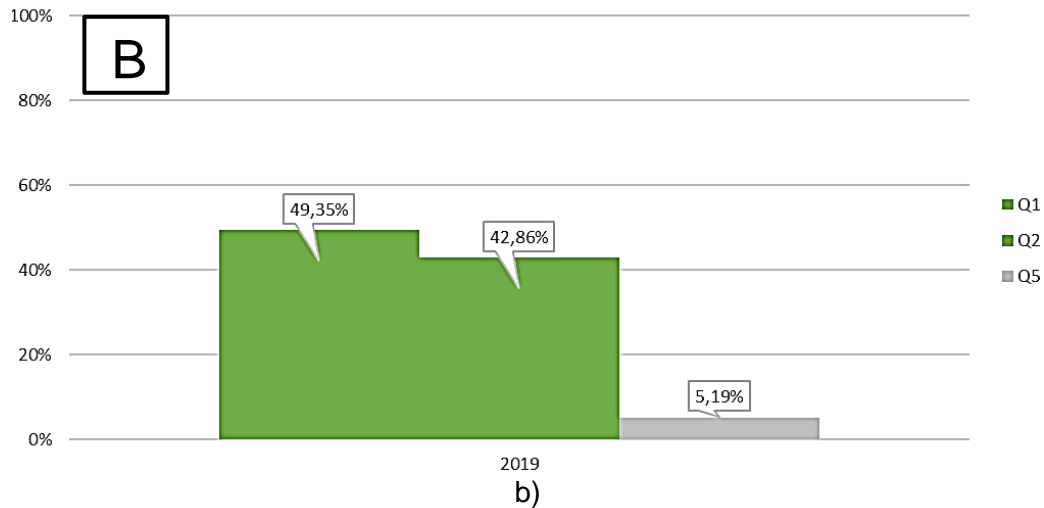


Figura 17.: Distribución de las Notas de Calidad Q para la troncal principal. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José

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

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

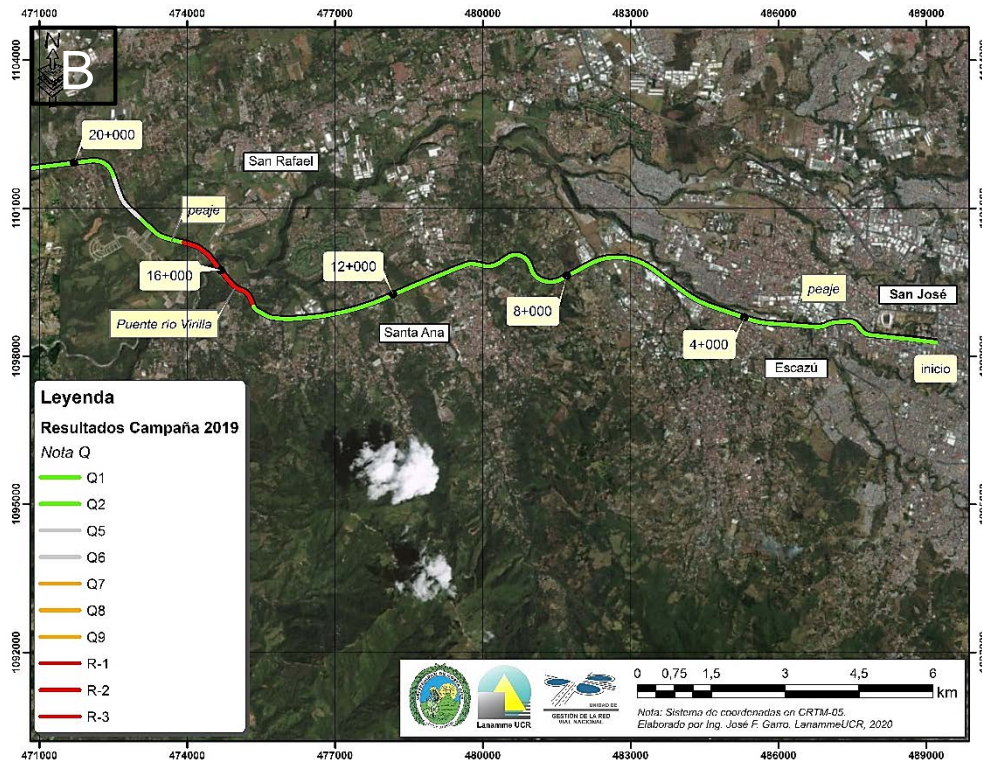
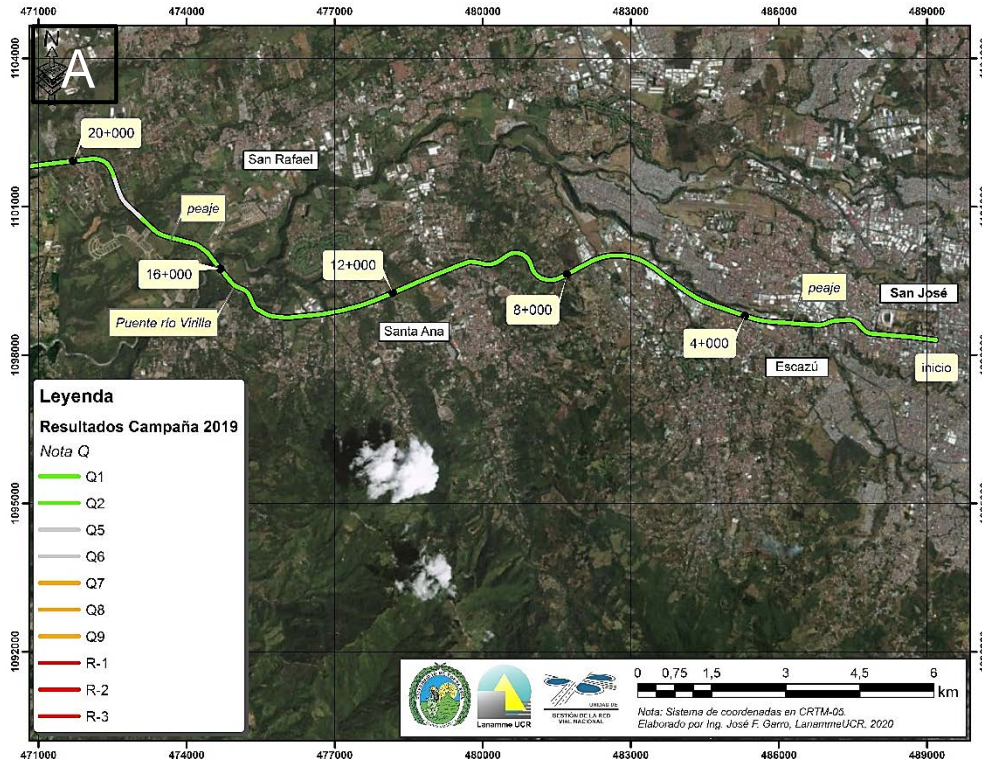


Figura 18. Ubicación de tramos con Notas de Calidad entre Q1 – Q6, y R1. A) Sentido San José – Cadera, B) sentido Caldera – San José.



Debido a los bajos niveles de agarre entre Muy deslizante y Deslizante, según el Grip Tester, que presenta un porcentaje importante de la longitud del proyecto, 64,94% sentido San José-Caldera y 41,56% sentido Caldera-San José (ver Sección 3.3 *Resultados obtenidos del Coeficiente de Rozamiento de pavimentos, troncal principal*), las *Estrategias de Intervención* (ver Figura 19) 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 20.

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

Figura 19: Distribución de las labores de rehabilitación en porcentajes, en la troncal principal, A) San José – Caldera, B) Caldera – San José

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

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

SS: Sand Seal o sello de arena. Aplicación de una emulsión asfáltica o asfalto diluido sobre la superficie del pavimento a una tasa de colocación definida, posteriormente se aplica una capa de arena graduada para mejorar o retardar condiciones de desprendimientos, desnudamientos o sellado de fisuras menores.

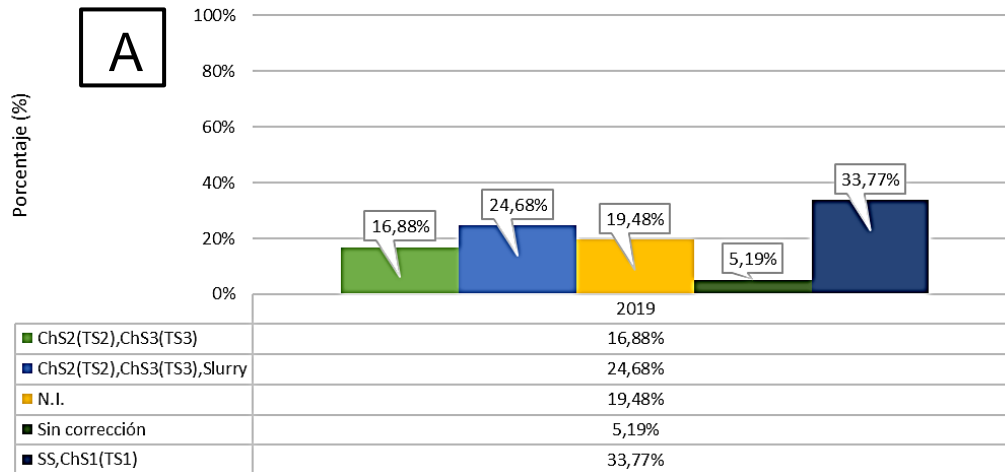
ChS1,2 y 3: Chip seal o sello de agregado, también conocido como “tratamientos superficiales” del tipo 1 (TS-1), tipo 2 (Ts-2) y tipo 3(TS-3). Aplicación de una emulsión asfáltica o asfalto diluido sobre la superficie del pavimento a una tasa de colocación definida, posteriormente se aplica una capa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

Slurry seal: Sello de lechada asfáltica. Aplicación de una mezcla de emulsión asfáltica combinada con un agregado fino, por medio de equipos especializados puede ser

utilizada para mejorar o retardar condiciones de desprendimientos, desnudamientos exudación, mala fricción o sellado de fisuras menores.

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

Estrat. Intervención San José - Caldera, 2019-2020



Estrat. Intervención Caldera - San José, 2019-2020

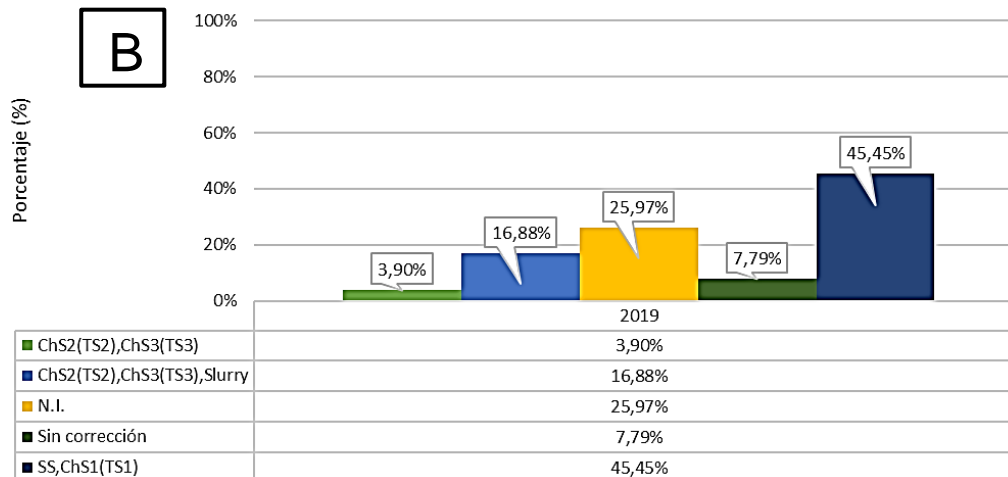


Figura 20. Distribución de las labores de rehabilitación en porcentajes, en la troncal principal, A) San José – Caldera, B) Caldera – San José. Según resultados del Grip Tester.

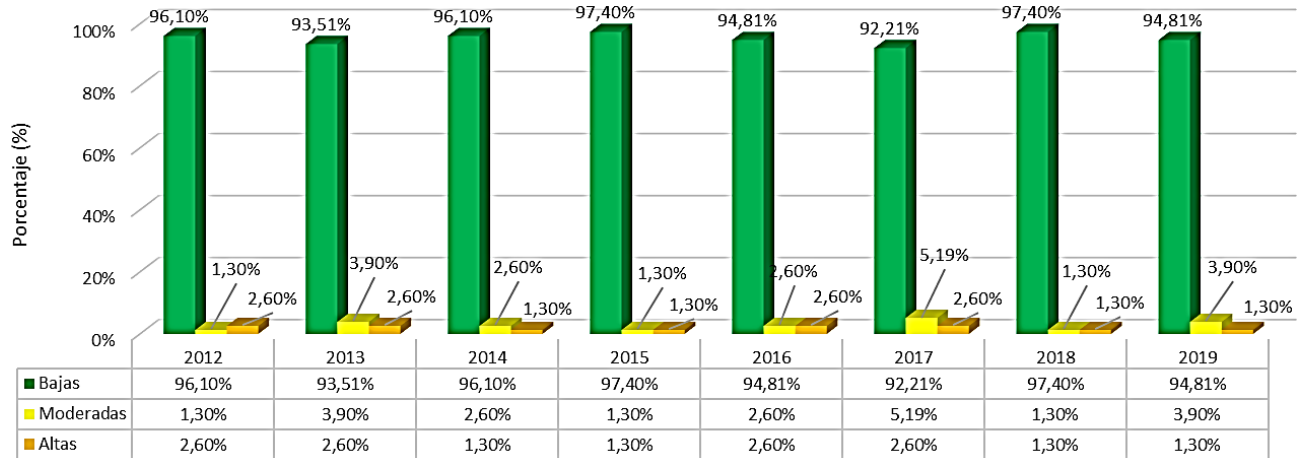
3.5 Comparación de indicadores en la troncal principal, años 2012 al 2019

3.5.1 Evaluación con el Deflectómetro de Impacto

La Figura 21 muestra el comportamiento de la ruta en su condición estructural, para ambos sentidos para las últimas 8 campañas de evaluación. Debido a que las longitudes evaluadas entre campañas varían en menos del 1%, los resultados son comparables.



Deflexión en Estructural de Pavimento San José - Caldera, 2012-2019



Deflexión en Estructural de Pavimento Caldera - San José , 2012-2019

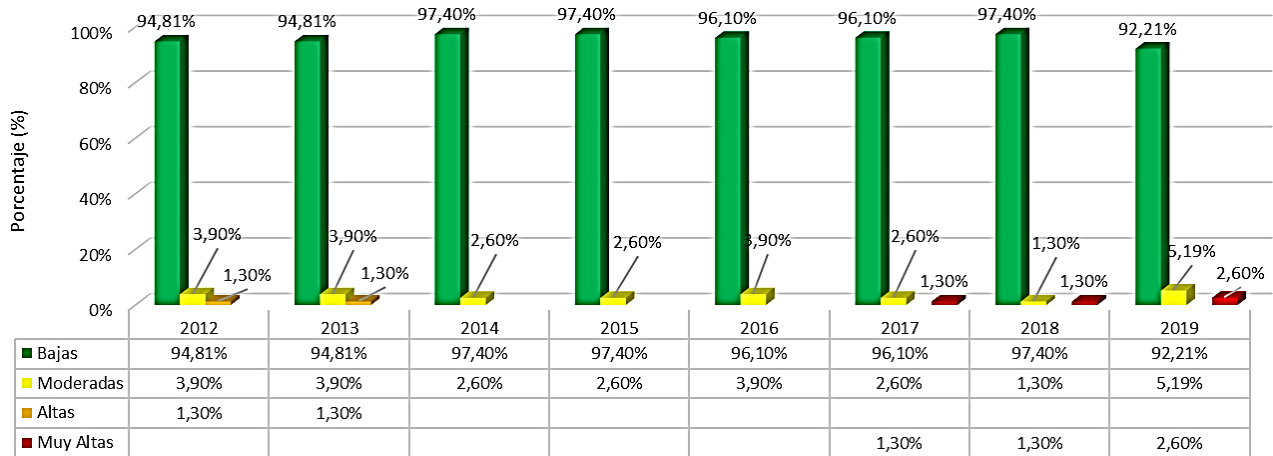


Figura 21. Resultados obtenidos en la evaluación de las deflexiones del pavimento para las campañas 2012 al 2019 de la Ruta Nacional 27

Estas notas de calidad reflejan que la estructura del pavimento en general presenta una muy buena condición a lo largo de las evaluaciones realizadas, demostrando que su paquete estructural ha mantenido deflexiones bajas a lo largo de las ocho evaluaciones.

En el sentido San José – Caldera, los tramos que presentan las categorías *moderada* y *alta* tiene un comportamiento muy similar entre el año 2012 y 2017, para el año 2019 disminuyó a un 1,3% la longitud que presenta deflexiones *Muy Altas*, mientras que en el sentido Caldera – San José, se incrementó en el 2019 a un 2,60% y se incrementó la *Moderadas* en un 5,19%. Se debe mencionar que el deterioro en la capacidad estructural



es normal en cualquier pavimento, debido a que conforme pasan los vehículos (especialmente vehículos pesados, como camiones de 3 o más ejes y cargas livianas), el paquete estructural va perdiendo capacidad soportante, producto del fenómeno conocido como fatiga del material que compone las diferentes capas del pavimento. De ahí la importancia de este parámetro, con el que es posible programar estrategias de intervención para mantener o mejorar su condición estructural.

3.5.2 Evaluación con el Perfilómetro Láser

Del análisis de las Figuras 22 y 23, se observa que para años anteriores se da un aumento constante en la categoría *Regular* y una disminución en la categoría *Buena*, esto para ambos sentidos de la ruta lo que conlleva a una desmejora en la capacidad funcional.

A partir del año 2013 y hasta el 2018, se aprecia una disminución de entre un 30% y 40% en ambos sentidos de circulación pasando, en el 2018, de una condición Buena a Regular con el detrimento del confort y posible incremento de los costos de operación para los usuarios y la posibilidad de una acelera incidencia de deterioros en el pavimento.

Para el año 2019 se presenta una mejora de casi un 17% en comparación con el año anterior en tramos que presentaban una condición Regular en el sentido San José – Caldera. En el sentido Caldera – San José se da una variación de aproximadamente un 9%, incrementando los tramos con una capacidad funcional Buena.

Capacidad Funcional San José - Caldera, 2012-2019

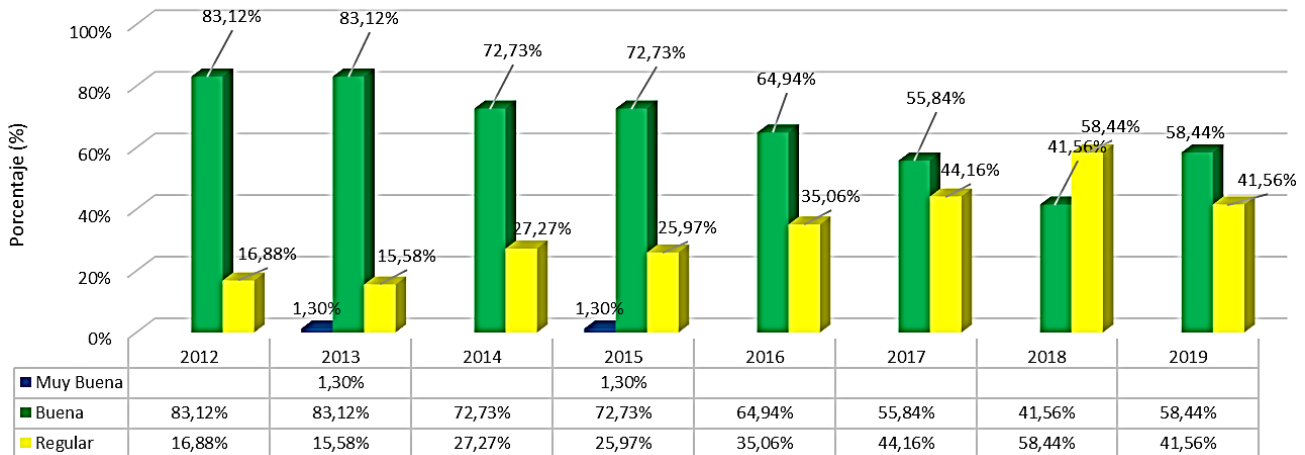


Figura 22. Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento para las campañas 2012 al 2019, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27

Capacidad Funcional Caldera - San José, 2012-2019

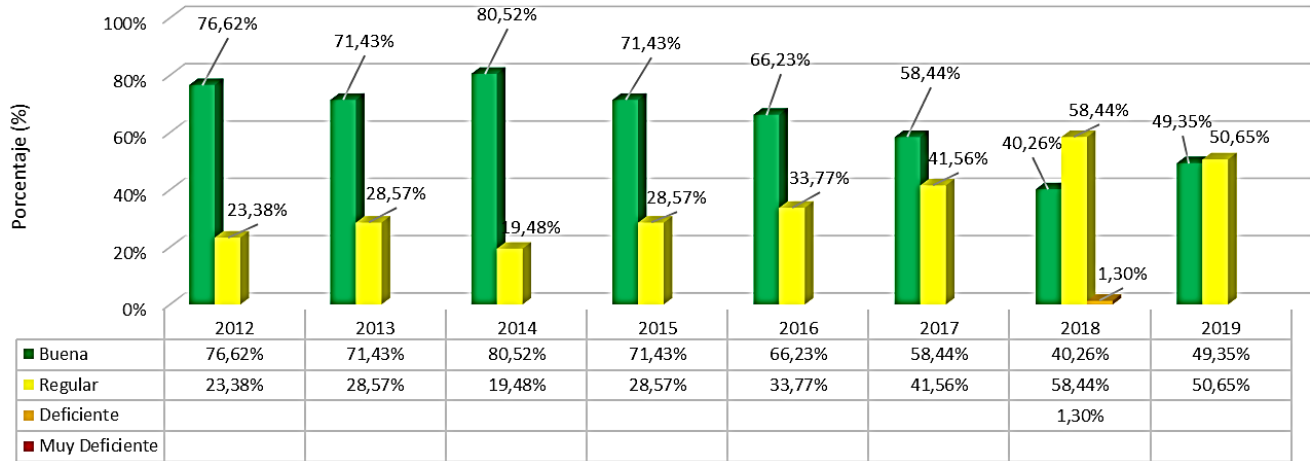


Figura 23. Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento para las campañas 2012 al 2019, sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27

3.5.3 Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial

Las Figuras 24 y 25 presentan los resultados obtenidos en las campañas de evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial *GripTester*, realizadas en los años 2012 al 2019 para cada uno de los sentidos de la Ruta Nacional 27.

Coefficiente Rozamiento GN San José - Caldera, 2012-2019

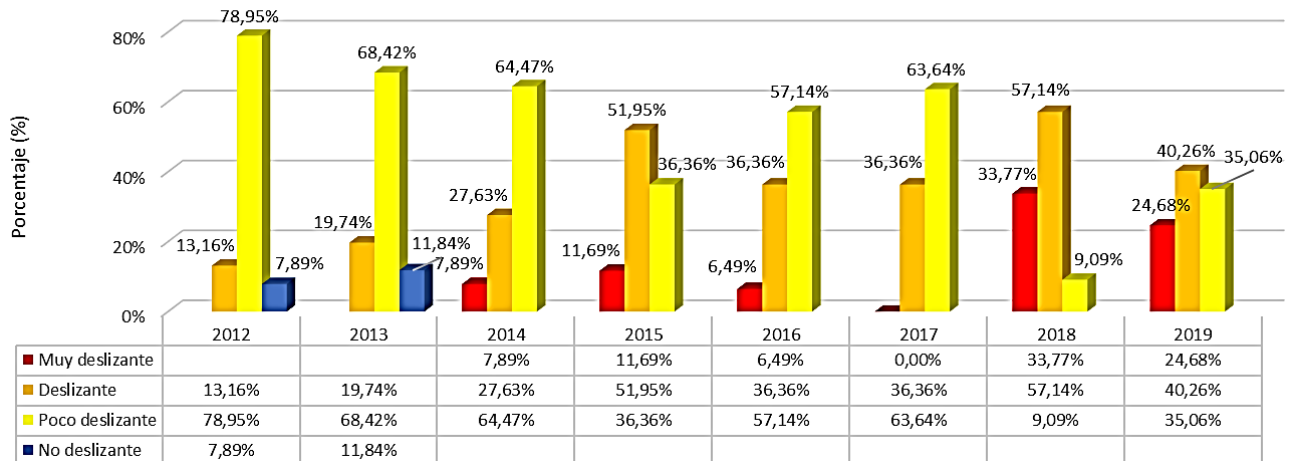


Figura 24. Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2012 al 2019, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27

Coeficiente Rozamiento GN Caldera - San José, 2012-2019

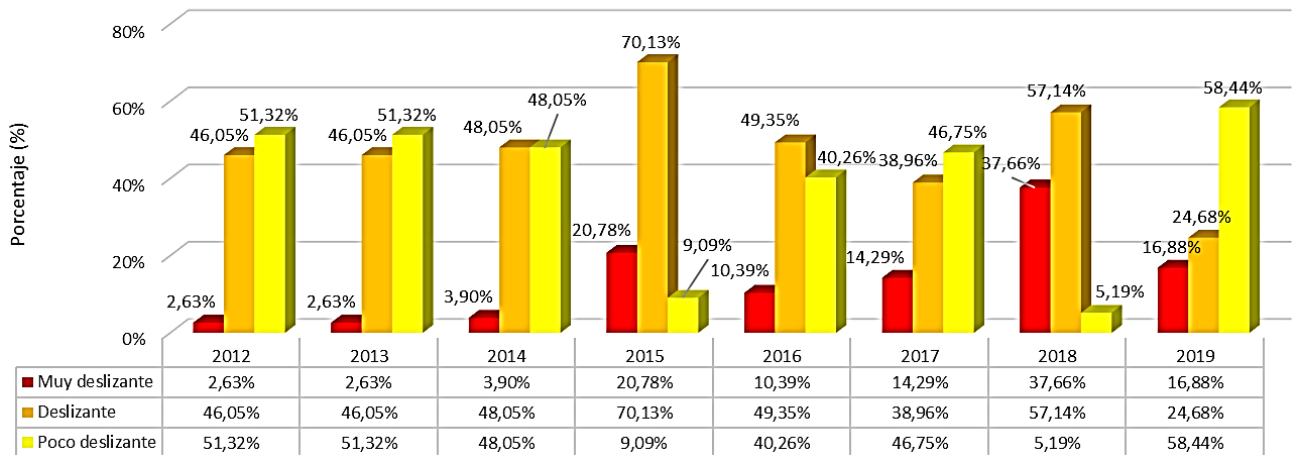


Figura 25. Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2012 al 2019, sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27

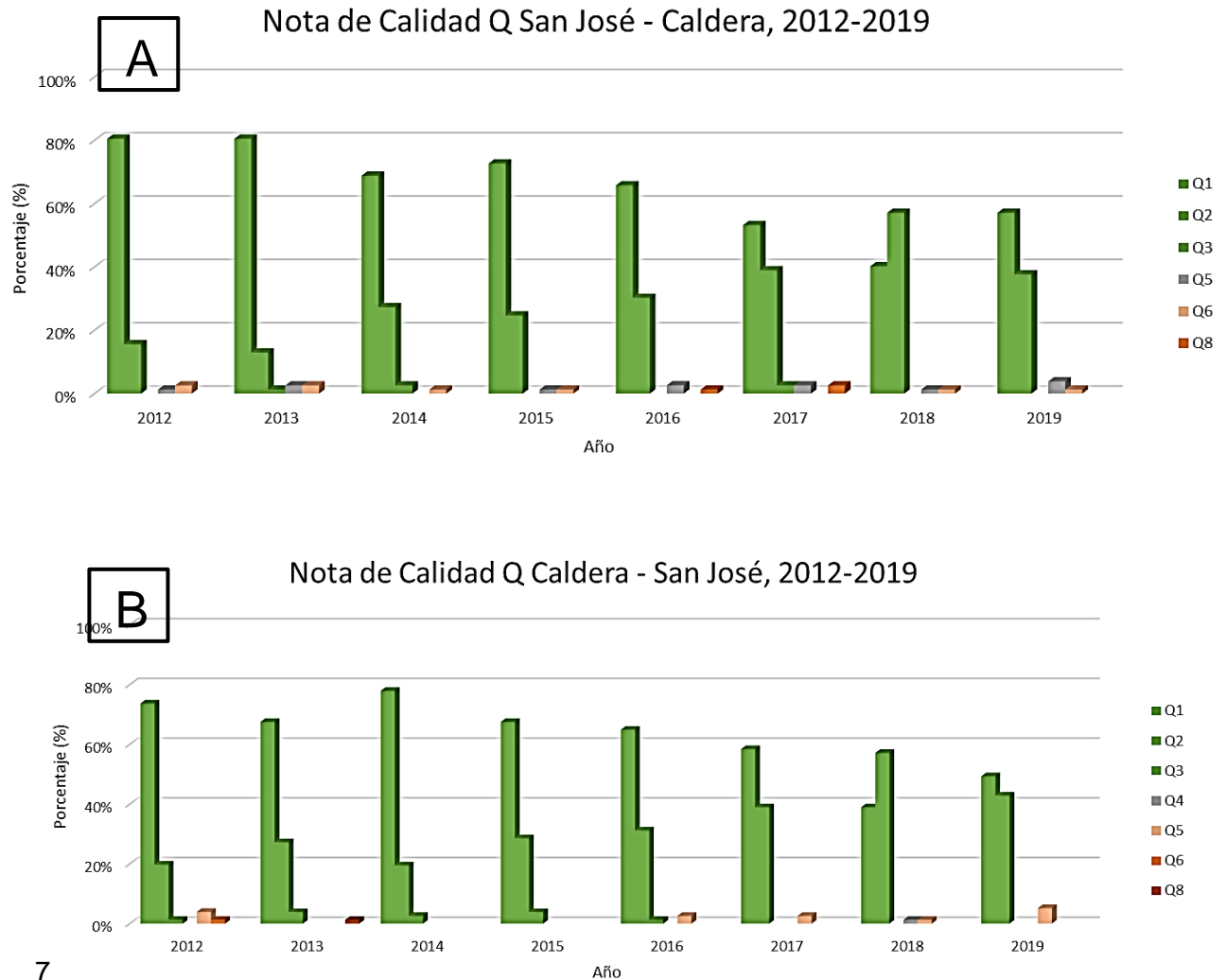
En la Figura 24 se muestra que en el sentido San José – Caldera se ha dado una desmejora constante en este parámetro, aumentando la longitud en la categoría “*deslizante*”), alcanzando una condición crítica en el 2018 cuando se registra un incremento y se determina 33,7% con *Muy deslizante* y 57,1% *Deslizante*, en el 2019 se bajan estas dos condiciones, pero siguen con porcentajes importante 24,68% y 40,26% respectivamente y además, se incrementa en un 26% la condición de “*Poco deslizante*”.

En la Figura 25 sentido Caldera – San José, los resultados indican desde el 2012 un porcentaje alto de condición *Deslizante* (46%) y *Poco deslizante* (51%) manteniendo estos valores, aproximadamente, hasta el 2014 presentando en el 2015 un incremento importante en *Muy deslizante* (20,7%) y *Deslizante* (70,1%), para los años 2016 al 2018 se presenta un incremento de un 27% en la condición *Muy Deslizante* y una reducción significativa en la condición *Poco Deslizante* (5,19%). Para el 2019 se da un aumento importante (más del 58%) en la longitud de la categoría “*Poco Deslizante*”.

3.6 Comparación de las notas Q obtenidas para la Ruta 27, años 2012 al 2019

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

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



7

Figura 26. Resultados obtenidos en la comparación de Notas Q para las campañas 2012 al 2019. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José

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

Con respecto a las estrategias de intervención, la comparación de resultados entre evaluaciones desde el año 2012 al 2019 se muestra en la Figura 27.

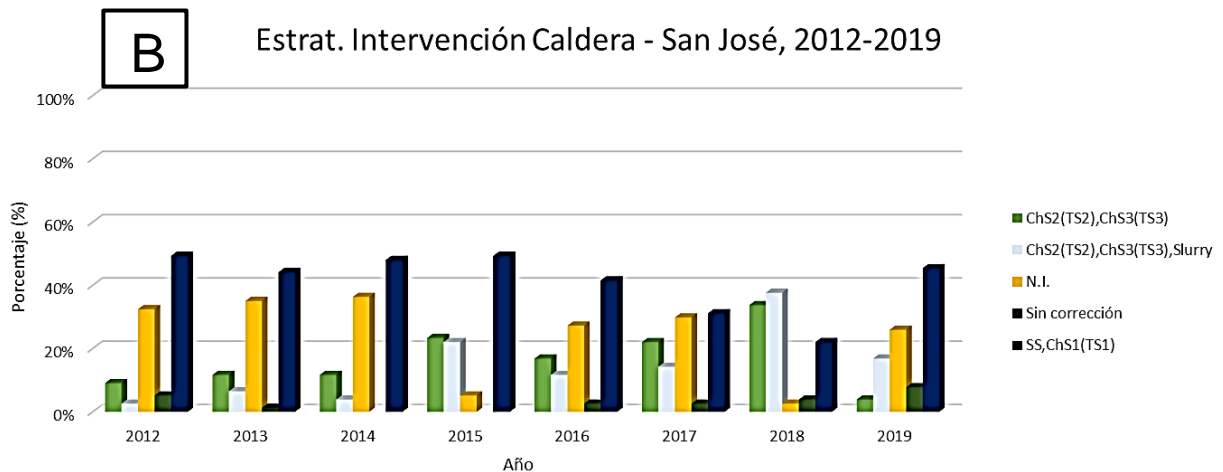
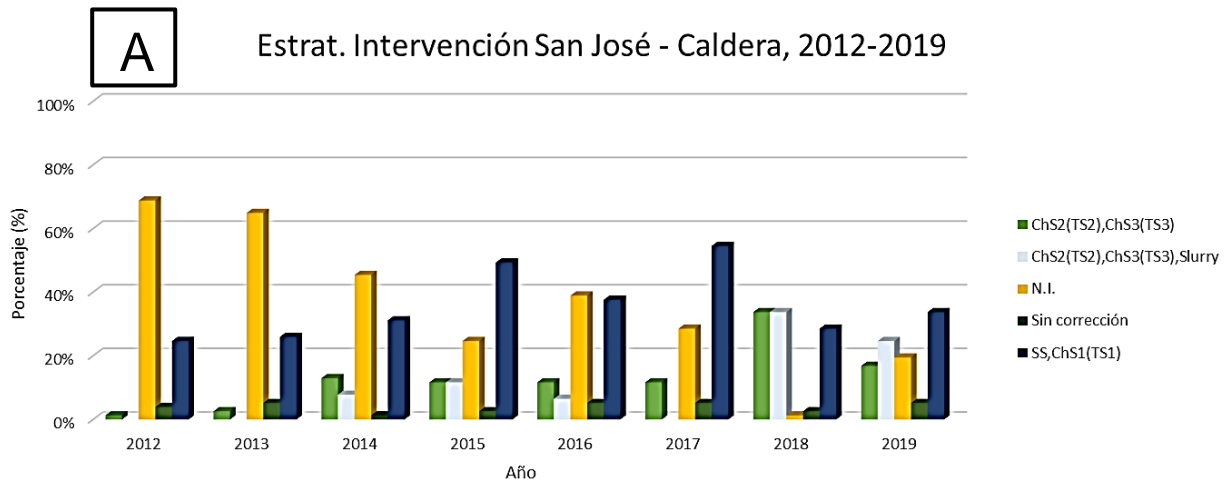


Figura 27.: Resultados obtenidos en la comparación de estrategias de intervención para las campañas 2012 al 2019. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José

Estas estrategias están definidas con el objeto de mejorar las condiciones generales de la ruta relacionados principalmente a la condición funcional y resistencia al deslizamiento. En la figura anterior se muestra que a lo largo de los años evaluados en el sentido San José – Caldera, la longitud de la ruta que no requería de alguna intervención (N.I.) ha disminuido considerablemente incrementando la categoría Sin Corrección, puesto que, como se observa en las secciones 3.5a, 3.5b y 3.5c, se ha aumentado el deterioro del pavimento, principalmente en la condición funcional y agarre superficial.



3.7 Análisis de la condición superficial. Evaluaciones realizadas en enero, febrero y abril del 2020

3.7.1 Equipo utilizado y criterios de clasificación⁷

Para esta campaña de evaluación se utilizó un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) conocidos también como *drones*, los cuales son una herramienta de alta tecnología que permite realizar la inspección o evaluación de diferentes elementos que pueden conformar un corredor vial, tales como: puentes, taludes, superficie de ruedo, geometría, entre otros.

Los VANT básicamente cuentan con un sistema de propulsión principal, el cual se conforma generalmente de cuatro hélices impulsadas por motores eléctricos que a su vez son alimentados por baterías internas, los cuales son operados por medio de un control remoto o cuarto de control a distancia.

Cabe destacar que la Universidad de Costa Rica ha sido pionera a nivel nacional en el uso de este tipo de tecnología, puesto que cuenta con 17 *drones* distribuidos entre instituciones y escuelas, el LanammeUCR cuenta con 5 de estos equipos, los cuales están a cargo de la UGERVN (Unidad de -indicar el nombre completo) que han sido utilizados regularmente para la evaluación de elementos geotécnicos, evaluación de estructuras de puentes, creación de modelos de elevación, entre otros en rutas nacionales, además de colaborar con otras unidades académicas y gubernamentales, tales como el MOPT, Conavi, entre otros.

Para esta evaluación se utilizó un sensor óptico de alta resolución y una rutina de vuelo mixta, lo que quiere decir que se programó un vuelo a una altura aproximada de 60 m y se realizó un vuelo manual a una altura aproximada de 30 m garantizando el mayor traslape posible entre las imágenes, lo que permite, por medio de técnicas de fotogrametría, generar un modelo más preciso y sin deformaciones.

Una vez que se obtienen las imágenes en campo, se inicia un post-proceso de edición el cual se compone de tres partes principalmente: limpieza de imágenes, generación del modelo, análisis de imágenes. La primera etapa tiene gran importancia y mayor dedicación, ya que en ésta se realiza la extracción de áreas en las que hay presencia de vehículos o elementos móviles que pueden estar cubriendo zonas del pavimento con algún deterioro, por lo que es necesario la revisión de cada imagen generada y la selección del área correspondiente. La segunda etapa consiste en la generación del modelo con todas las imágenes para la obtención de ortofotos, proceso que requiere de un ordenador con alta capacidad de procesamiento gráfico del que se obtiene en mayor medida la superficie de ruedo libre de obstáculos tales como los vehículos y otros elementos que fueron seleccionados en la primera etapa de este proceso. La tercer y última etapa es la del análisis de las ortofotos utilizando un programa de sistemas de información geográfico, con el que se realiza la selección del deterioro, clasificación y asignación de características que

⁷ Con base en *Boletín Técnico Volumen 8, N°4, noviembre 2017, "Vehículos aéreos no Tripulados del LanammeUCR: Una herramienta multidisciplinaria adaptada para todo tipo de condiciones al servicio del país"*



permiten posteriormente realizar el análisis del inventariado de deterioros para los tramos evaluados.

Cabe destacar que, para esta evaluación, no se realiza la comparación con evaluaciones de años anteriores, puesto que se utilizó una herramienta diferente a la que se ha venido utilizando, además de que las fechas en que se realizaron las evaluaciones son diferentes al periodo en que regularmente se ha realizado, por lo que en esta evaluación se enfocada en zonas que han presentado mayor área deteriorada en la campaña de evaluación anterior.

En la Tabla 8 se muestra la fecha en que se realizó la adquisición de las imágenes en los segmentos de kilómetros evaluados, los cuales se seleccionaron según su la condición que presentaban en la evaluación anterior

Tabla 8. Segmento de Kilómetros evaluados

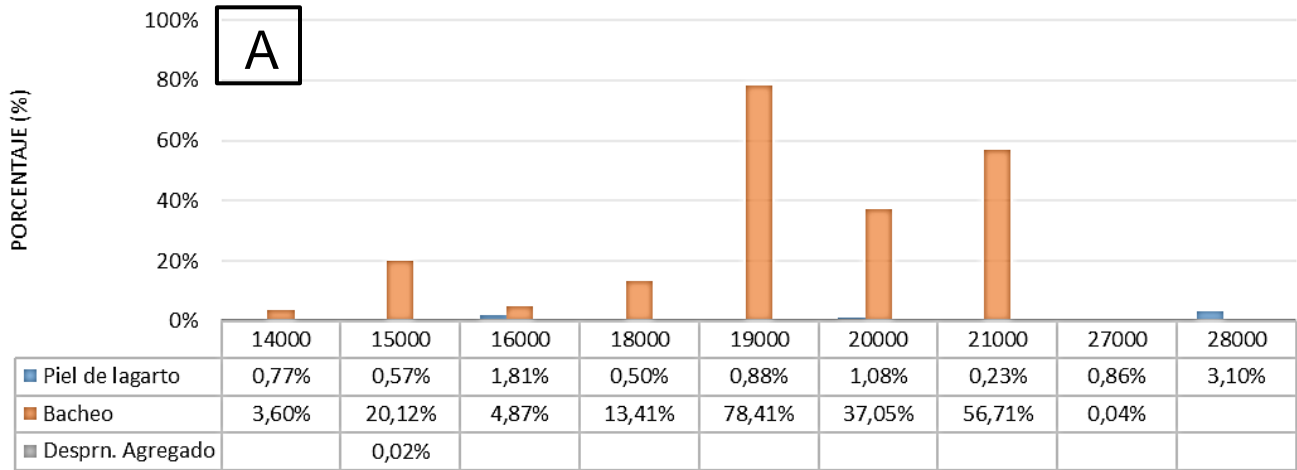
Segmento Kilómetro	Fecha
14 – 16	26/02/2020
18 – 19	28/04/2020
20 – 21	14/02/2020
27 – 28	22/01/2020

3.7.2 *Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales.*

En la Figura 28, se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de deterioros realizada en la troncal principal en ambos sentidos de circulación. En total, se registraron 18,194 m² afectados por deterioros tipo área (tipo piel de lagarto, bacheo y desprendimiento de agregado), que representa un 36% del área evaluada en la troncal principal.



Deterioro Superficial San José - Caldera



Deterioro Superficial Caldera - San José

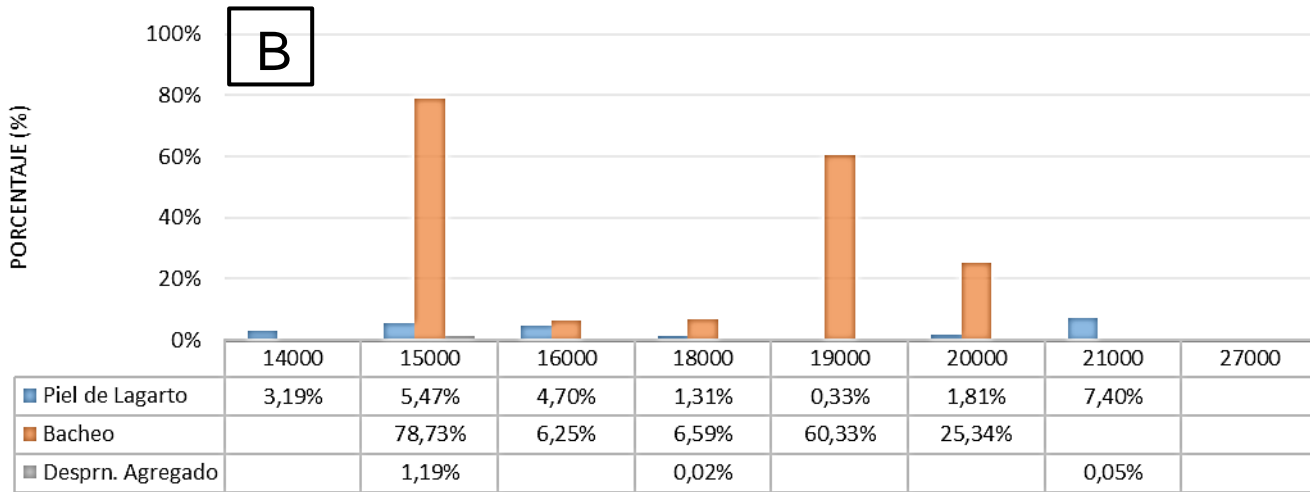


Figura 28-. Resultados de deterioro superficial, A) San José – Caldera, B) Caldera – San José

Como se observa, el deterioro tipo *Bacheo* representa en promedio el 70% del área deteriorada de cada segmento evaluado seguido por *piel de lagarto*. En la evaluación del año anterior en esos mismos kilómetros, los porcentajes de bacheo eran inferiores al 5% del área promedio por kilómetro, además con presencia de zonas con piel de lagarto, grietas longitudinales y grieta de borde. En la siguiente figura se muestra la ubicación geográfica y cómo se visualizaron los deterioros usando esta herramienta

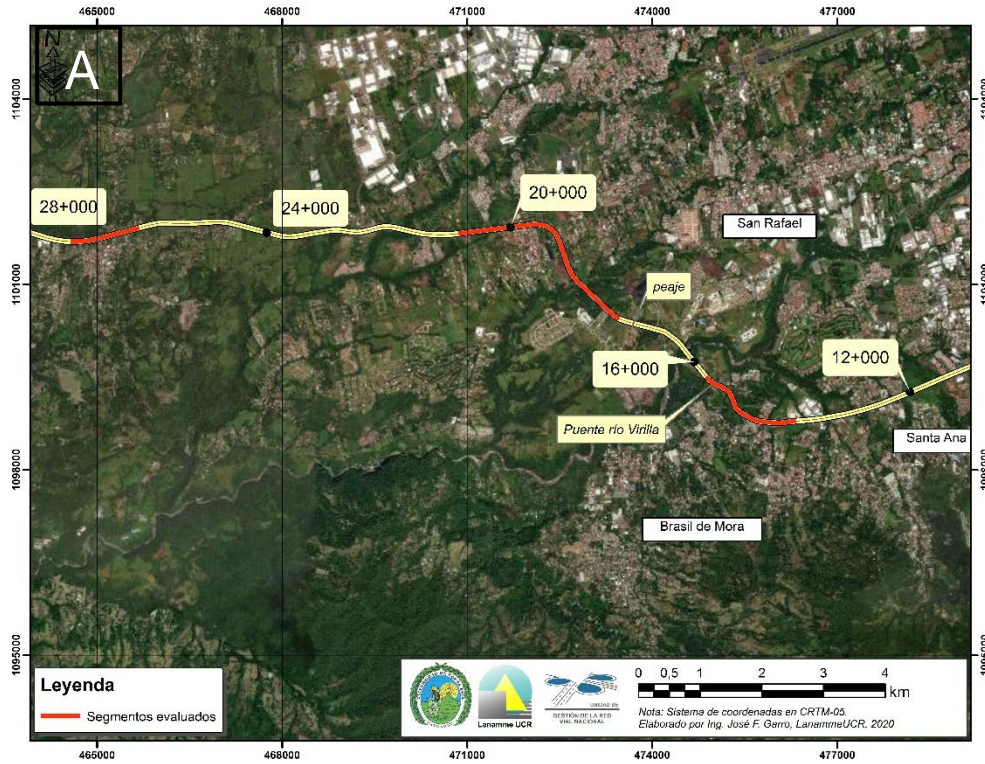


Figura 29 A) Ubicación de tramos evaluados, B) Visualización de superficie



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 Turrúcares:** conecta la Ruta 27 en el estacionamiento 26+350 con el poblado de Turrúcares de Alajuela. Es la radial más corta, con 200 metros de longitud.
- **Radial de Atenas:** cerca del peaje de Atenas (estacionamiento 31+560), conecta proyecto concesionado con el poblado de Atenas. Tiene una longitud de 3.300 metros.
- **Radial de Escobal:** permite la comunicación desde la Ruta 27 en el estacionamiento 42+150 al poblado de Escobal. Tiene una longitud de 400 metros.

La longitud indicada anteriormente es el recorrido principal de cada radial, sin incluir las rampas o rotondas de conexión. Todas las radiales presentan accesos desde la troncal principal, mediante carriles de aceleración / desaceleración, intersecciones e intercambios con rotondas; asimismo todas presentan un carril por sentido de circulación. La Figura 30 muestra la ubicación de estas radiales.

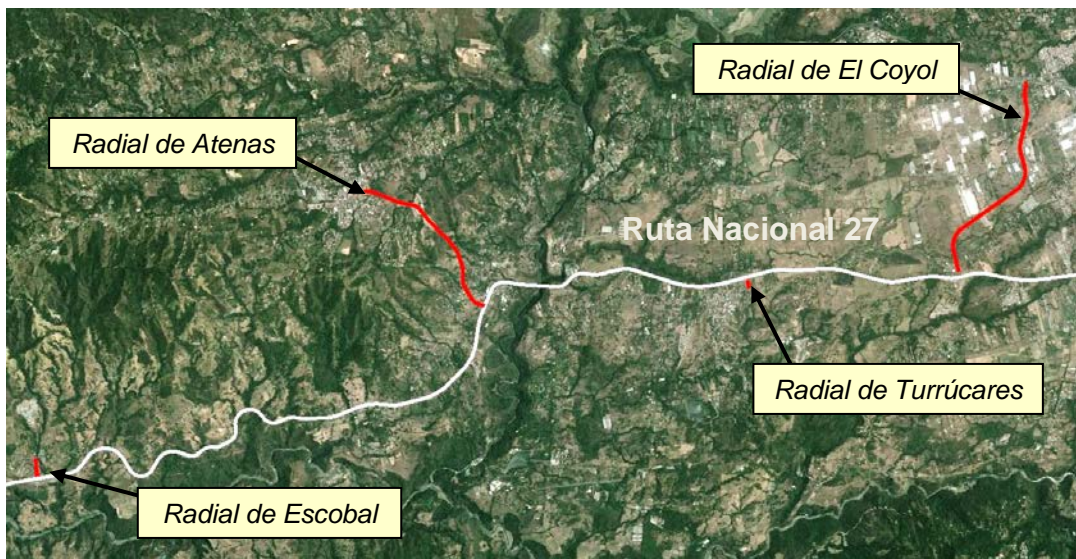


Figura 30. Ubicación de las radiales en la Ruta Nacional 27.



Como parte de la Campaña de Evaluación 2019 – 2020 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, ya que desde el 2010 se solicitó la configuración del paquete estructural y no se obtuvo respuesta, por lo que se considera un espesor de capa asfáltica igual a la estructura de la sección a la cual pertenecen: dado que todas las radiales se encuentran en la Sección 2 de la ruta, se asumirá su estructura para el cálculo de las deflexiones.

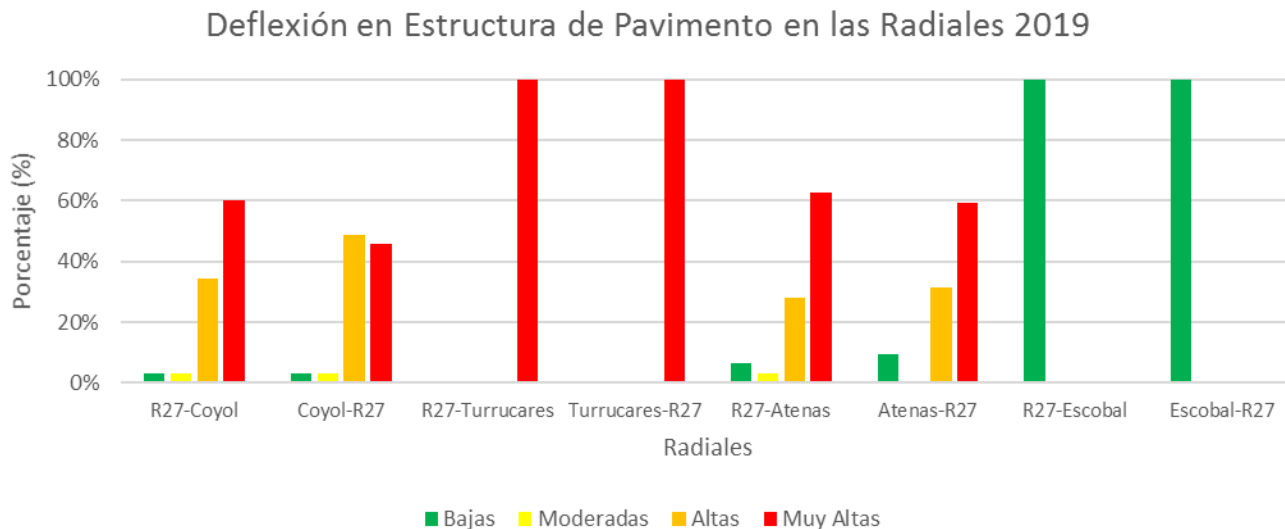


Figura 31. Resultados obtenidos con el Deflectómetro de Impacto, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada categoría.

Analizando la Figura 31, las dos radiales más largas del proyecto (Atenas y El Coyol), son las que presentan los valores más altos de deflexiones, lo que representa una capacidad estructural deficiente. No obstante, la Radial de Turrúcares presenta a todo lo



largo de tramo, en el sentido Turrucare-R17, altas deflexiones. Por su parte, la de Escobal cuenta con deflexiones que representan una muy buena condición estructural.

4.3 Resultados obtenidos: Condición Funcional

En la Figura 32 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.

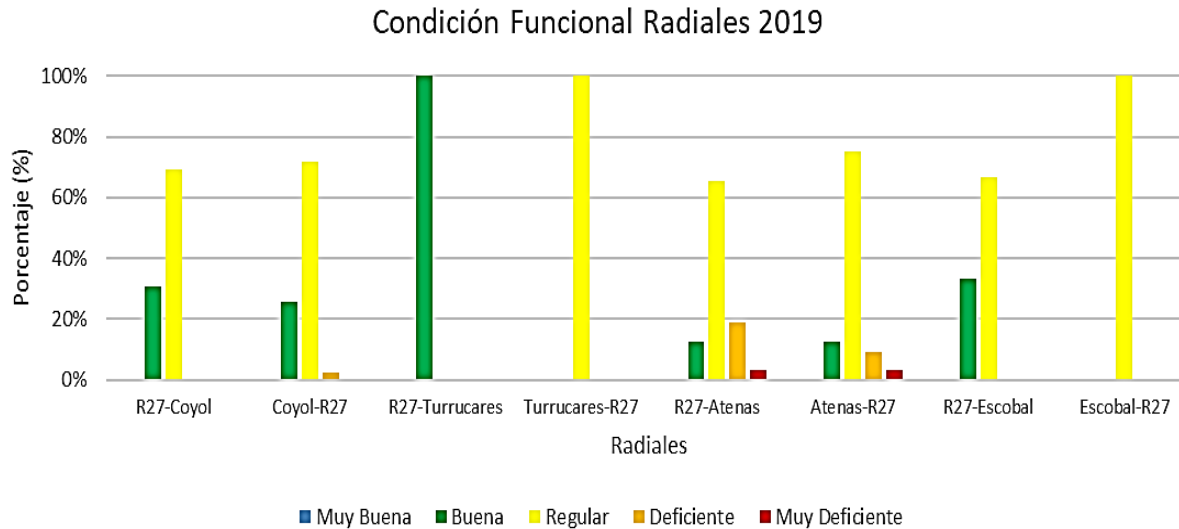


Figura 32. Resultados obtenidos con el Perfilómetro Láser, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.

Como se observa en la figura anterior, la mayor parte de la longitud de cada radial se encuentra en la categoría de *Regular*, excepto la Radial de Turrúcares que presenta a todo lo largo de tramo, en el sentido R17-Turrúcares, *Buena* condición. La radial de Atenas, presenta además una longitud importante dentro del rango *Deficiente*.

4.4 Resultados obtenidos: Coeficiente de Fricción

Las Figuras 33 y 34 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 la evaluación con el *MuMeter* (Figura 34) muestra que la radial a Turrúcares se encuentra, en su totalidad, con valores que sí cumplen con los parámetros establecidos en el contrato, además la radial a El Coyol presenta más de un 25% de su longitud que incumple con valores establecidos en el contrato.

En relación con los resultados obtenidos con el *GripTester*, se presenta en la Radial a Ruta 27 - Turrúcares 100% de su longitud en condición *Muy Deslizante* y en el sentido Turrúcares – Ruta 27 presenta el 100 de su longitud en condición *Deslizante*. Para la radial



El Coyol en el sentido El Coyol – Ruta 27, presenta valores muy similares para las tres condiciones (entre 30% y 40%), mientras que para el sentido Ruta 27 – El Coyol hay mayor presencia de la condición *Deslizante* (78% aproximadamente). En la Radial Atenas para el sentido Ruta 27 – Atenas, se presenta mayormente la condición de *Deslizante* (alrededor de 62%) y en el sentido Atenas – Ruta 27 mayormente cuenta con una condición *Poco Deslizante*. Finalmente, en la Radial a Escobal en el sentido Escobal – Ruta 27 cuenta con un 100% de su longitud en condición *Poco Deslizante*, mientras que en el sentido Ruta 27 – Escobal presenta cerca de un 64% en condición *Deslizante* y un 36% en condición *Poco Deslizante*.

Coeficiente de Fricción GN 2019

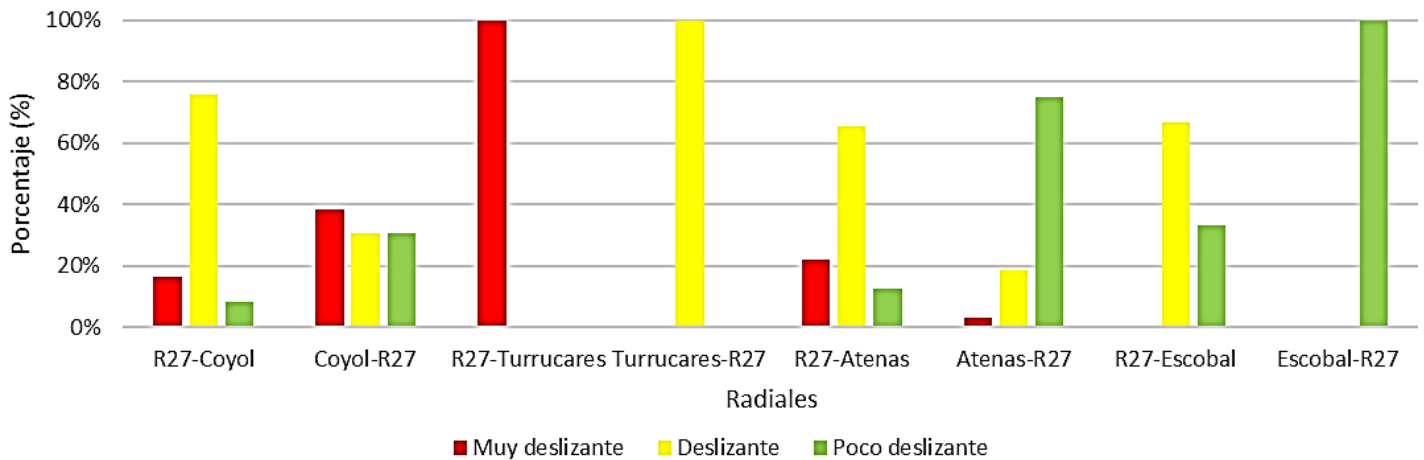


Figura 33. Resultados obtenidos con el Grip Tester, para las radiales del proyecto concesionado, en porcentajes para cada rango.

Coeficiente de Fricción Mu 2019

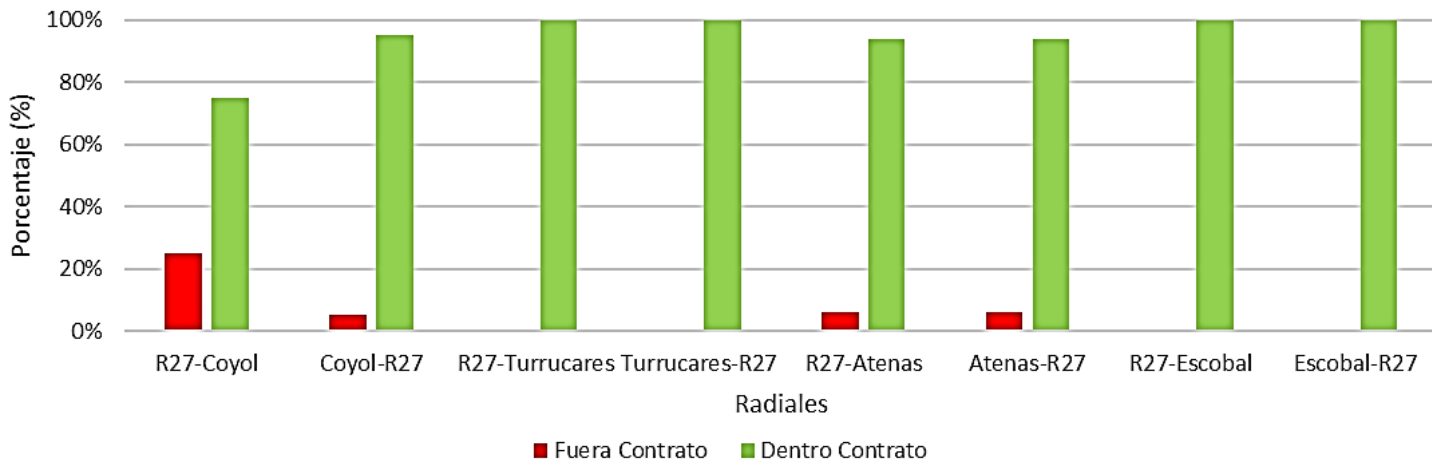


Figura 34. Resultados obtenidos con el Mu-Meter, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.



4.5 Notas de Calidad Q para las radiales

Con base en los resultados obtenidos en deflectometría y regularidad 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 35), muestran que, excepto por la radial a Escobal, las demás presentan porcentajes importantes de su longitud con Notas Q R1, R2 y R3 que presentan altos niveles de deterioro, desde el punto de vista estructural y funcional, lo que se traduce en que la alternativa de intervención recomendada es la reconstrucción del pavimento.

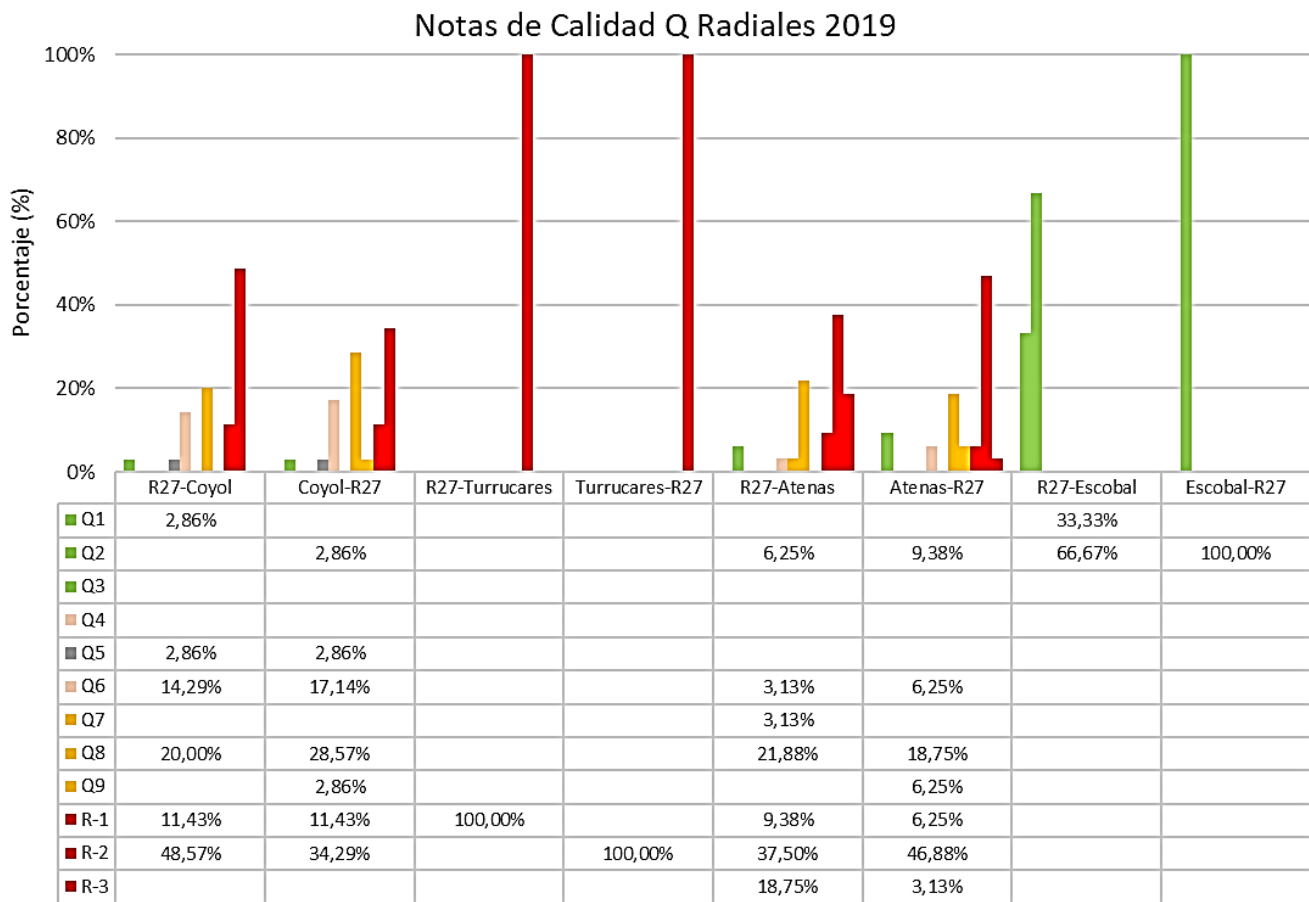


Figura 35. Notas Q para las Radiales.



4.6 Resultados obtenidos: análisis de deterioros superficiales

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

En la campaña de evaluación 2019 – 2020, se muestra que, al hacer una comparación relativa del área deteriorada versus el área total aproximada de cada radial (Figura 36), se puede notar que la radial a El Coyoil es la que presenta mayor porcentaje de área deteriorada. Además, se puede apreciar que los deterioros dominantes son Bacheo, Piel de Lagarto y Exudación, en donde para la Radial a El Coyoil el Bacheo representa alrededor de un 15% del área deteriorada.

Estos resultados concuerdan con los valores obtenidos en la sección 4.5 *Notas de Calidad Q para las radiales*, puesto 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.

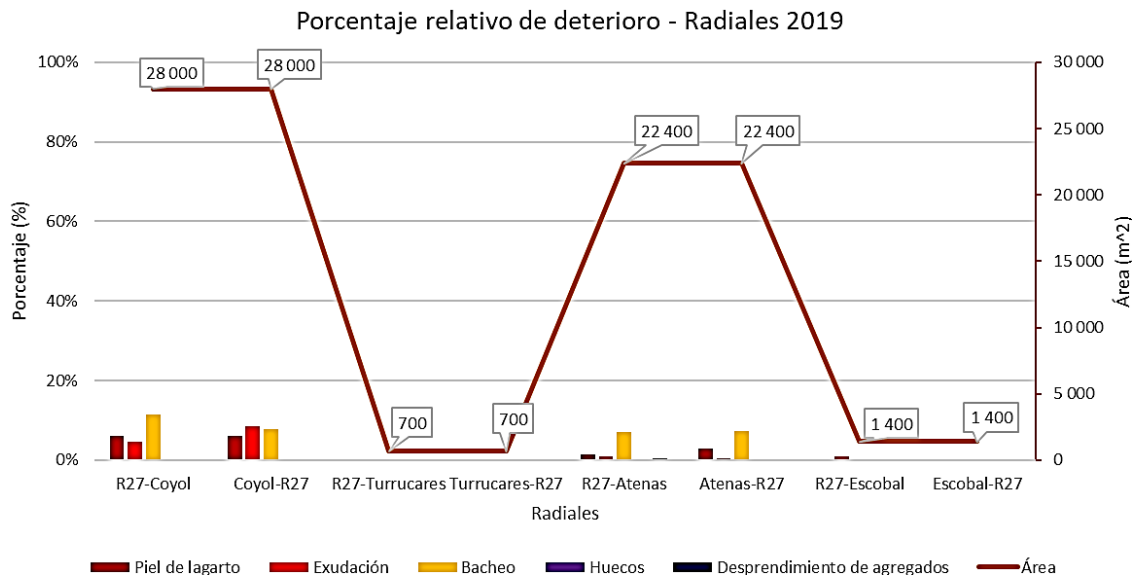


Figura 36. Distribución de deterioros en las radiales con área deteriorada por radial, Ruta Nacional 27



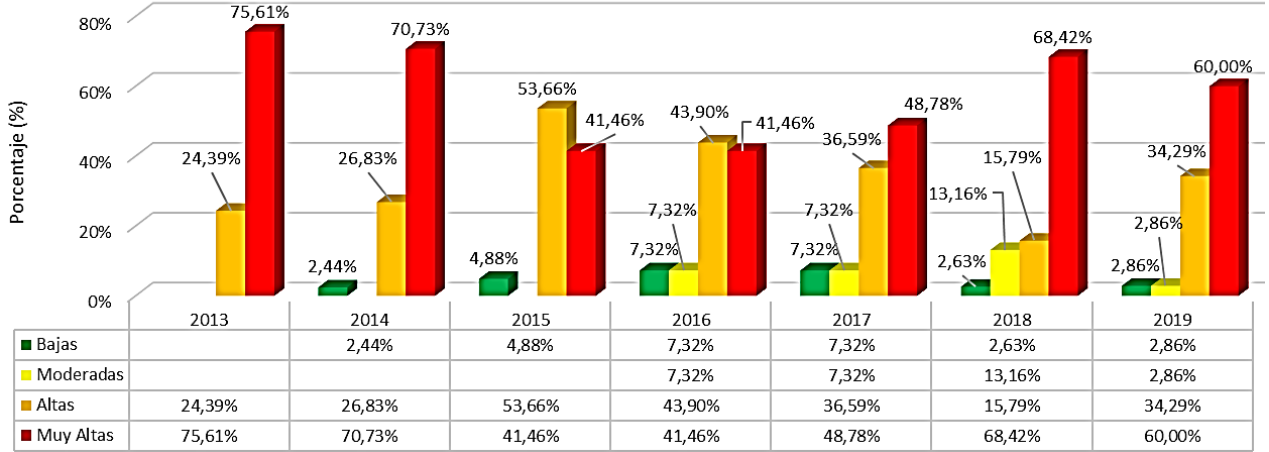
4.7 Comparación de la condición de las radiales, campañas 2013 – 2019

4.7.1 Evaluación con el deflectómetro de impacto

Las Figuras 37 a 40 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 2019. Del estudio de estas figuras, no se determina una tendencia clara hacia la mejora, pero lo que si resulta claro es que, al comparar el estado estructural de las radiales con la de la troncal principal, los resultados muestran que, a lo largo de las últimas campañas de evaluación, excepto la Radial de Escobal que mantiene buena capacidad estructural, no se evidencia un plan de intervenciones para su conservación.



Deflexión en Estructura de Pavimento Ruta 27 - El Coyol, 2013-2019



Deflexión en Estructura de Pavimento El Coyol - Ruta 27 , 2013-2019

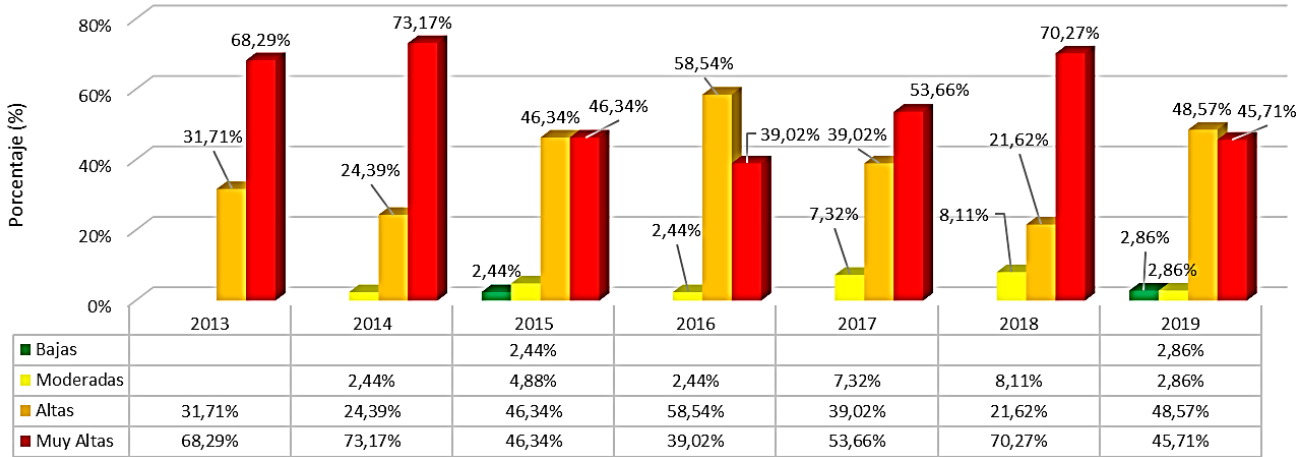
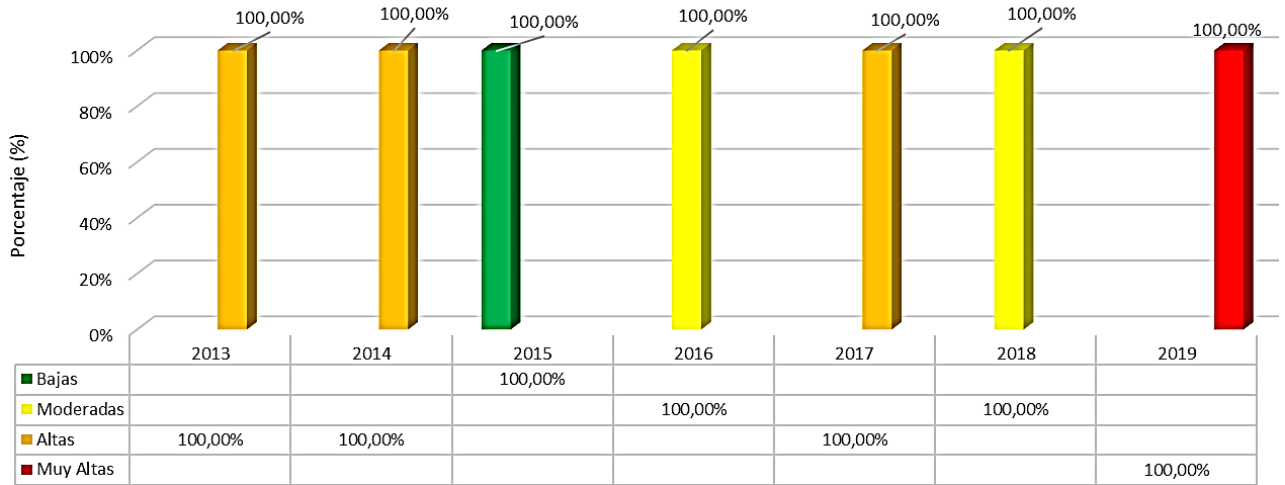


Figura 37. Comparativo Deflexiones de Radia El Coyol años 2013-2019



Deflexión en Estructura de Pavimento Ruta 27 - Turrucares, 2013-2019



Deflexión en Estructura de Pavimento Turrucares - Ruta 27, 2013-2019

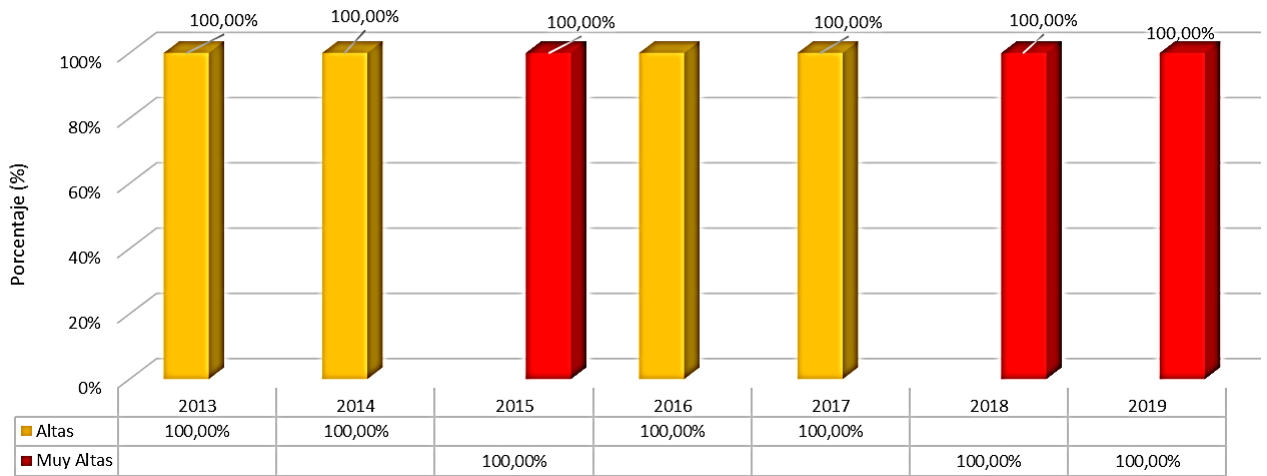
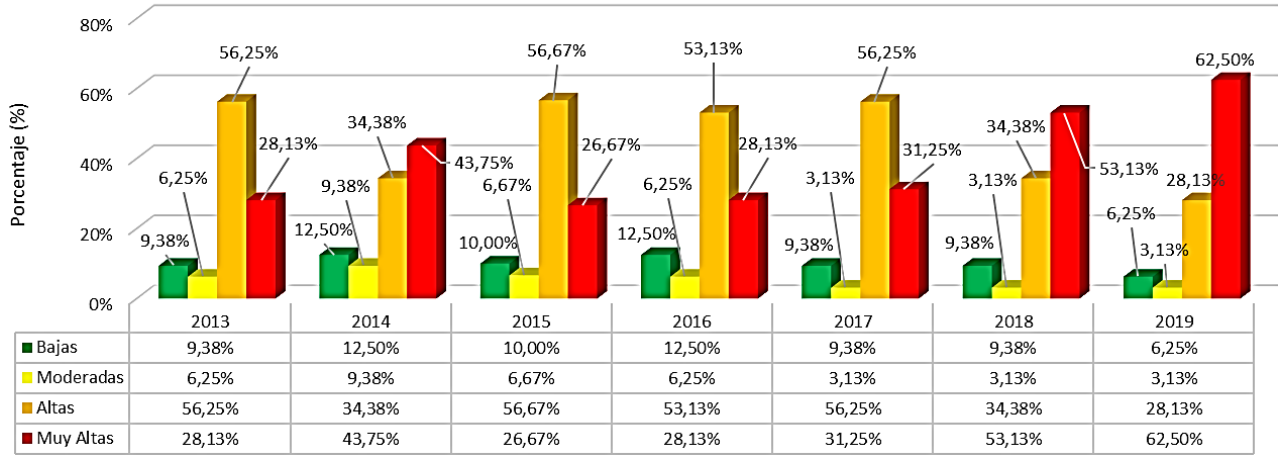


Figura 38. Comparativo Deflexiones de Radial Turrucares años 2013-2019



Deflexión en Estructura de Pavimento Ruta 27 - Atenas, 2013-2019



Deflexión en Estructura de Pavimento Atenas - Ruta 27, 2013-2019

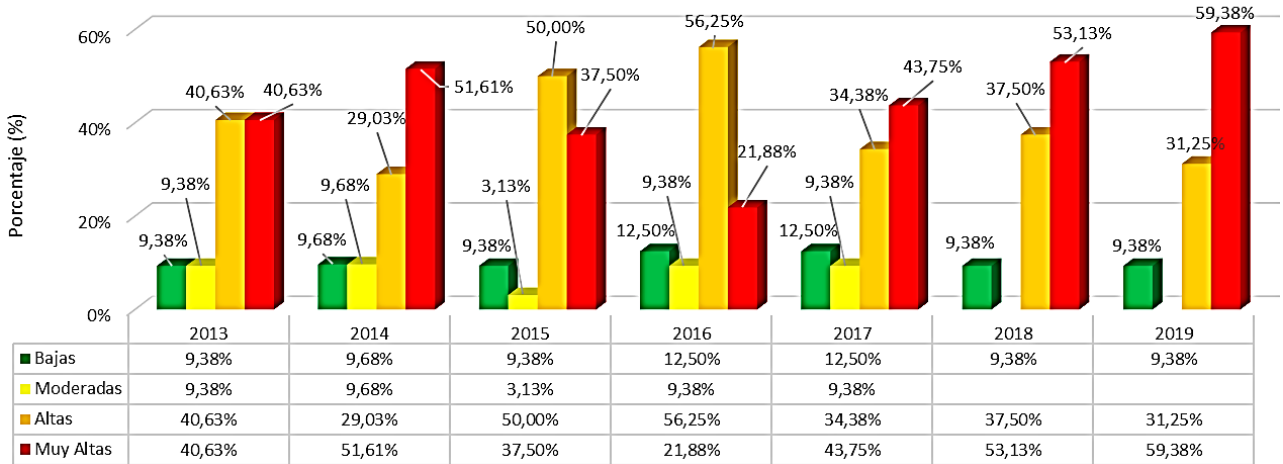
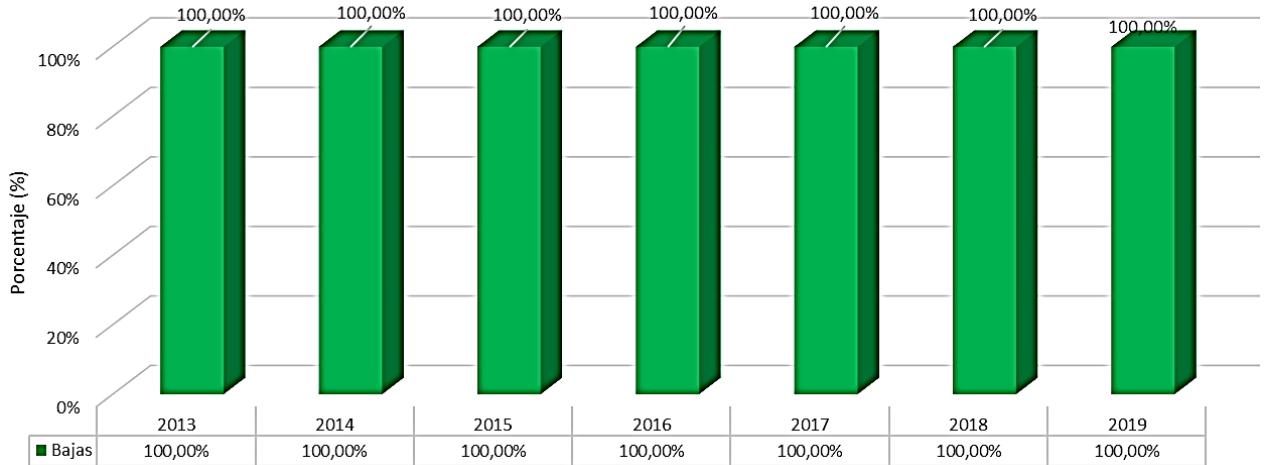


Figura 39. Comparativo Deflexiones de Radial Atenas años 2013-2019



Deflexión en Estructura de Pavimento Ruta 27 - Escobal, 2013-2019



Deflexión en Estructura de Pavimento Escobal - Ruta 27, 2013-2019

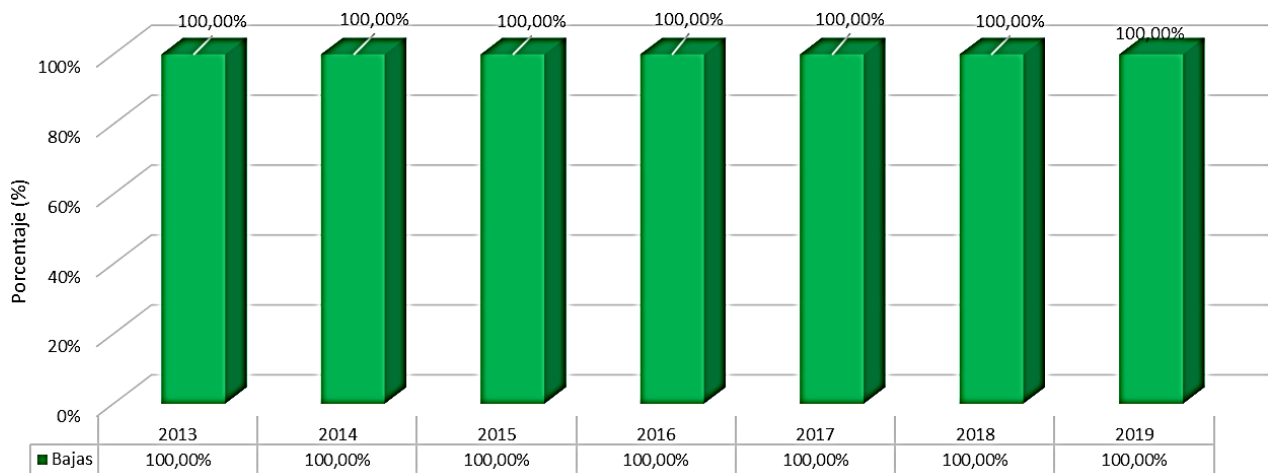


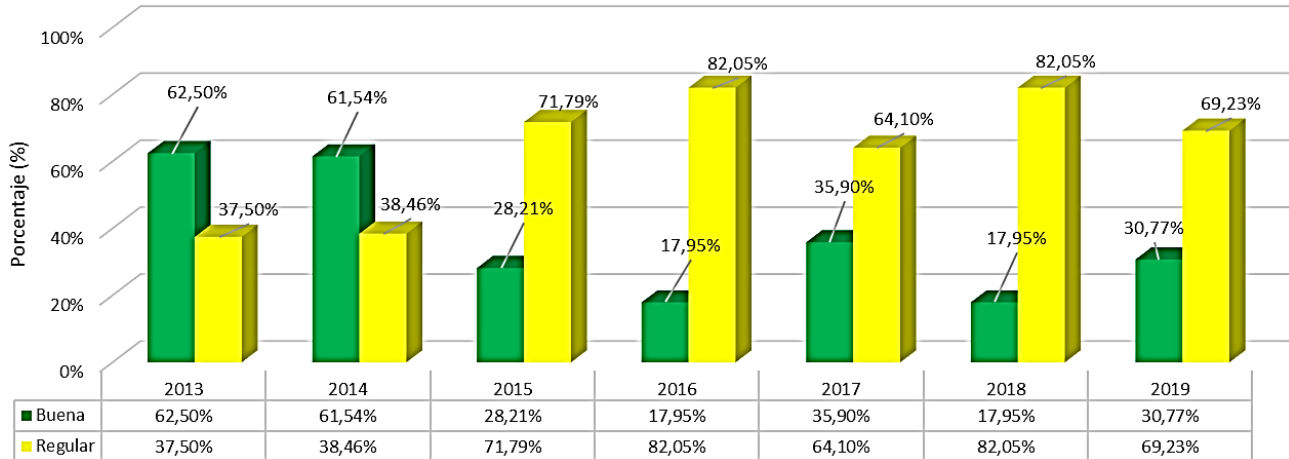
Figura 40. Comparativo Deflexiones de Radial Escobal años 2013-2019

4.7.2 Evaluación con el perfilómetro láser superficial

En las Figuras 41 a 44, se muestra la comparación de resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial, para las campañas 2013 a 2019. Se nota la tendencia, especialmente en las radiales de El Coyol y Atenas al deterioro en este parámetro, al haber un porcentaje cada vez mayor de la longitud en los rangos *regular* a *deficiente*. Lo anterior, con excepción de la Radial Turrúcares, en el sentido Turrúcares-R27, que inicia en el 2013 con una condición *Muy deficiente* se mantiene *Regular* del 2014 al 2018 y termina en una condición *Buena* en el 2019. También está el caso de la Radial Escobal en el sentido Escobal-Ruta 27, donde se mantiene la condición de Regular desde el 2013 hasta el 2019.



Capacidad Funcional Ruta 27 - El Coyol, 2013-2019



Capacidad Funcional El Coyol - Ruta 27, 2013-2019

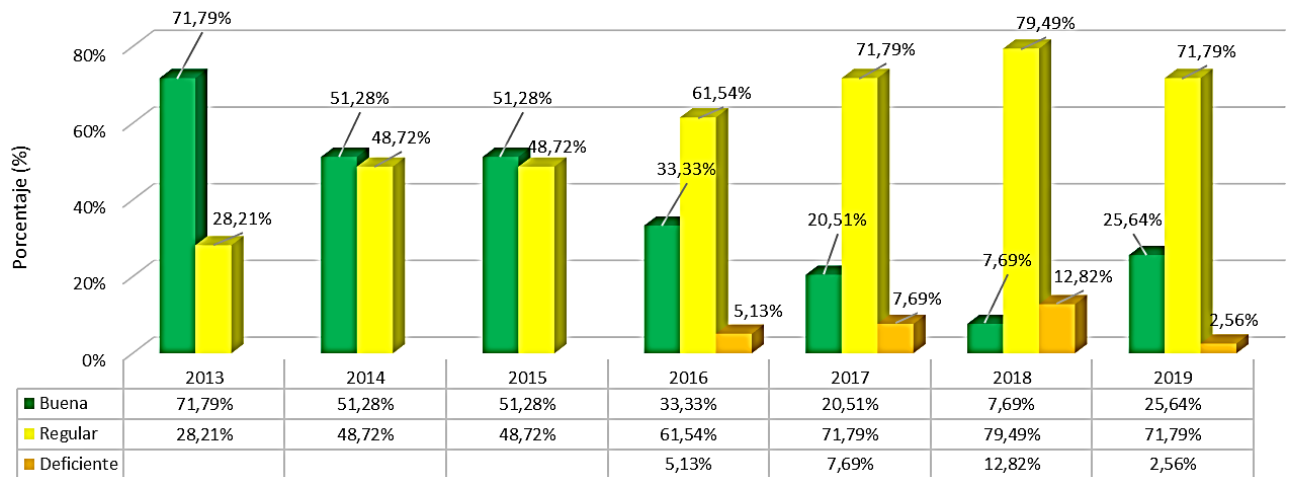
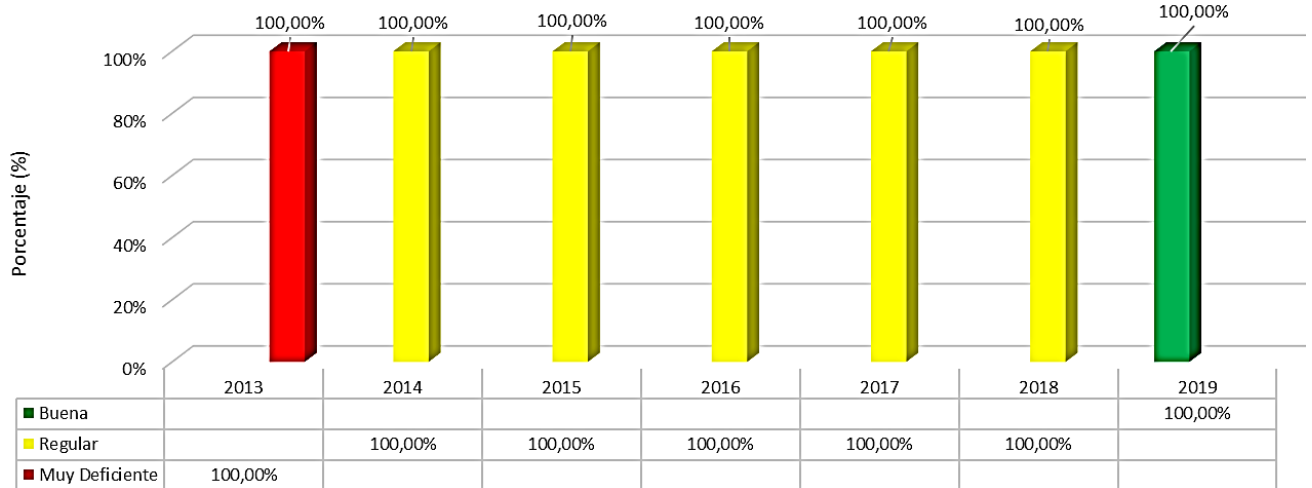


Figura 41. Comparativo Regularidad Superficial de Radial El Coyol años 2013-2019



Capacidad Funcional Ruta 27 - Turrucares, 2013-2019



Capacidad Funcional Turrucares - Ruta 27, 2013-2019

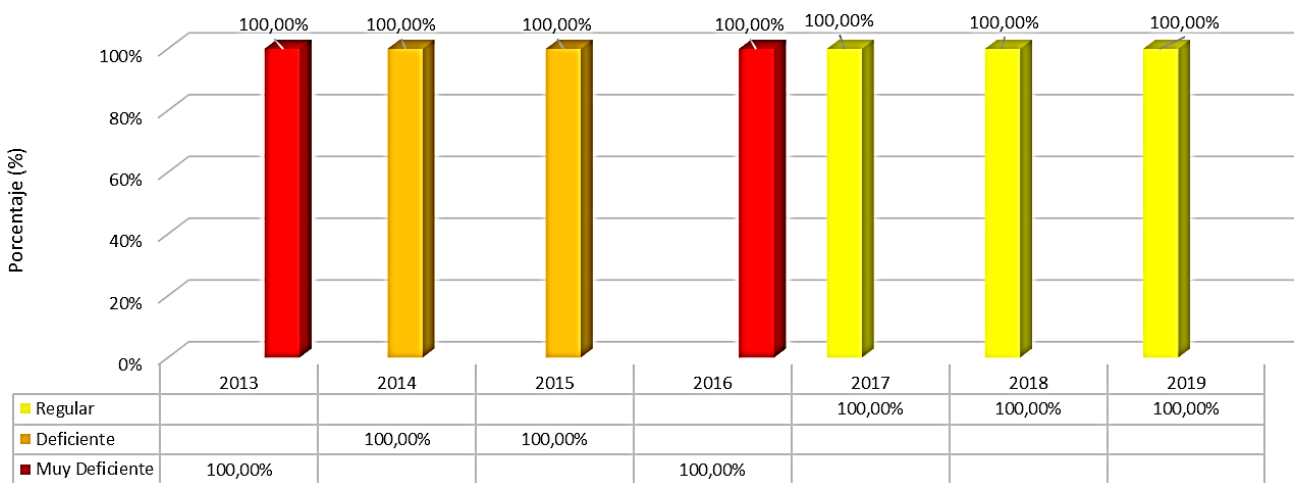
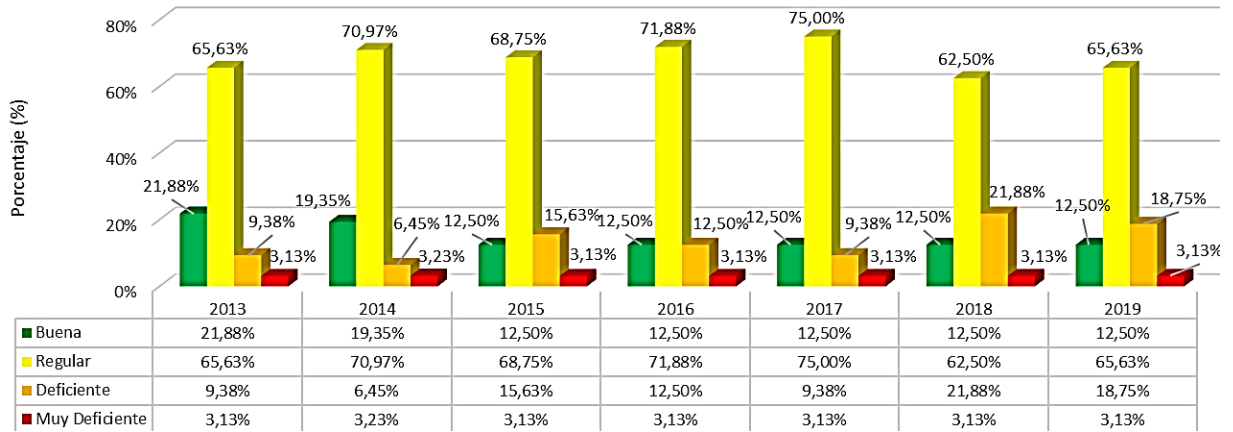


Figura 42. Comparativo Regularidad Superficial de Radial Turrúcares años 2013-2019



Capacidad Funcional Ruta 27 - Atenas, 2013-2019



Capacidad Funcional Atenas - Ruta 27, 2013-2019

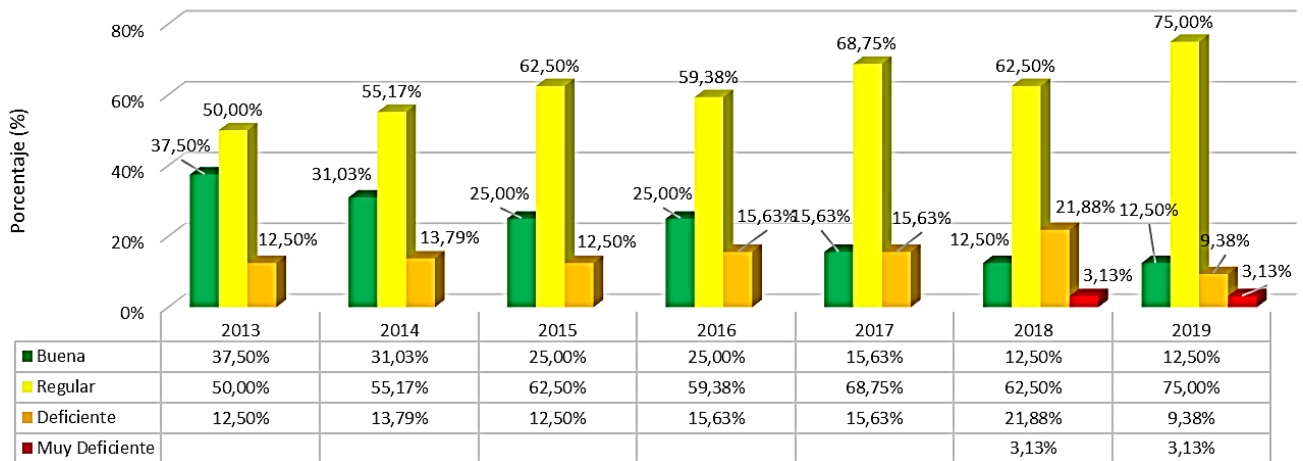
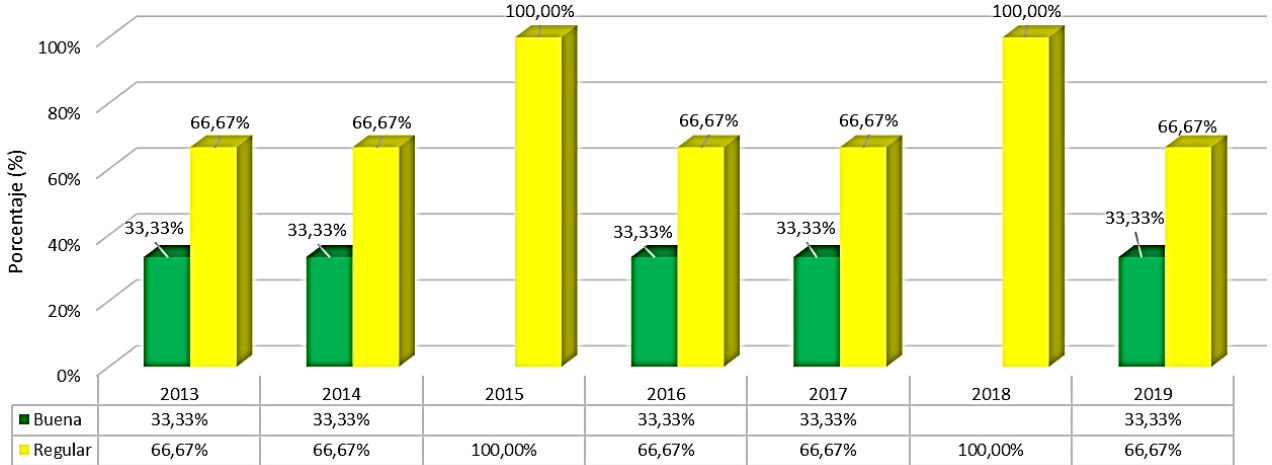


Figura 43. Comparativo Regularidad Superficial de Radial Atenas años 2013-2019



Capacidad Funcional Ruta 27 - Escobal, 2013-2019



Capacidad Funcional Escobal - Ruta 27, 2013-2019

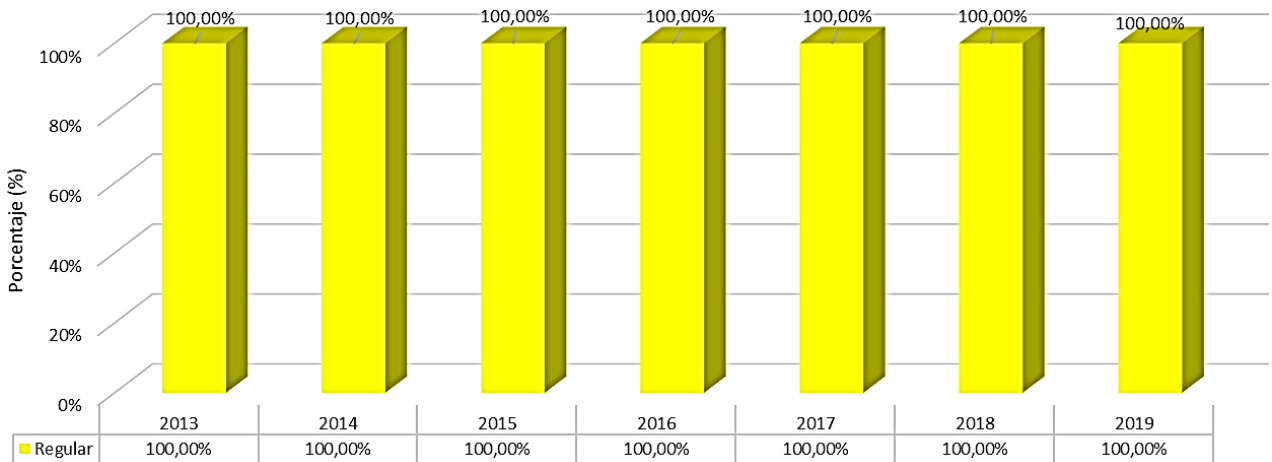


Figura 44. Comparativo Regularidad Superficial de Radial Escobal años 2013-2019



4.7.3 Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial.

En las Figuras 45 a 48, se muestra la comparación de los resultados del ensayo con el GripTester para las radiales en las campañas 2013 y 2019. Al respecto se tienen tendencias variadas, tal y como se analizan a continuación:

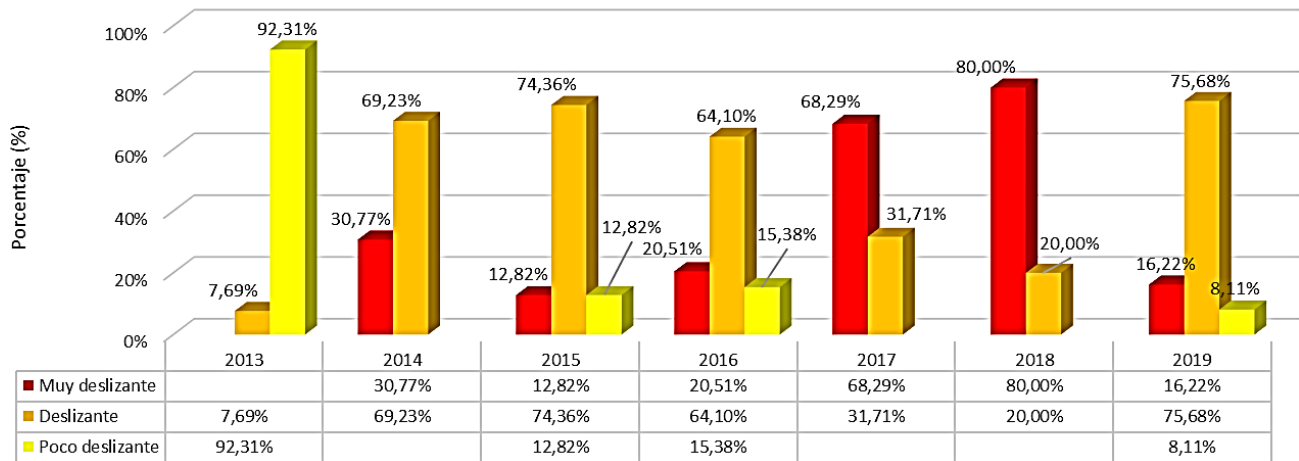
- **Radial El Coyol**
 - Sentido Ruta 27-El Coyol: en el 2013 *Poco deslizante*, luego predomina la condición *Deslizante* entre 2014 y 2016, a partir del 2017 se incrementa considerablemente la condición *Muy deslizante* llegando a un 80% en el 2018 para luego dominar *Deslizante* en el 2019.
 - Sentido El Coyol-Ruta 27: del 2013 al 2017 predomina la condición *Deslizante* y *Poco deslizante*, luego se incrementa considerablemente el *Deslizante* hasta el 2018 con 74%, termina en el 2019 con las tres condiciones, *Muy deslizante-Deslizante-Poco Deslizante*, con valores similares
- **Radial Turrúcares:**
 - Sentido Ruta 27-Turrúcares: no hay combinación de condiciones, sino que la condición identificada se presenta en la totalidad del tramo, 100%, en cada año. Lo anterior pues, en el 2013 es *Deslizante* y se mantiene constante durante el periodo que va del 2014 al 2017, terminando el 2018 y 2019 como *Muy deslizante*.
 - Sentido Turrúcares-Ruta 27: no hay combinación de condiciones, sino que la condición identificada se presenta en la totalidad del tramo, 100%, en cada año. Lo anterior dado que, en el 2013 es *Deslizante* y al año siguiente resulta *Muy deslizante* luego, en el 2016 se recupera y pasa *Poco deslizante* desmejora vuelve a desmejorar, pasa a *Deslizante* en el 2017 y cae a *Muy deslizante* en el 2018, finalmente se recupera un poco y termina en *Deslizante* en el 2019.
- **Radial Atenas:**
 - Sentido Ruta-27 Atenas: del 2013 al 2015 se presente una tendencia de *Poco deslizante* y algunos tramos *No deslizantes*. Cambia en el 2016 bruscamente a la condición *Deslizante* con 75%, en el 2016 baja y domina esta condición seguido de *Muy deslizante*.
 - Sentido Atenas-Ruta 27: domina la condición *Poco deslizante*, con valores altos en el 2013, 2017 y 2019. En el 2014 y 2015 presentó algunos sectores con la condición *No deslizante*.
- **Radial Escobal:**
 - Sentido Ruta 27-Escobal: en el 2013 domina la condición *No deslizante* con seguido de *Deslizante*. En el 2014 toda su longitud llega a la condición *Muy*



deslizante, al año siguiente mejora y toda su longitud cae en la condición de *Poco deslizante*. Desde el 2016 hasta el 2018 se mantiene como *Deslizante* y baja considerablemente en el 2019 pero, adicionalmente, surge de nuevo la condición de *Poco deslizante*

- Sentido Escobal-Ruta 27: en el 2013 toda su longitud resulta *Poco deslizante* al año siguiente es totalmente *Muy deslizante*. Vuelve a *Poco deslizante* en el 2015 y en el 2016 presenta en su totalidad condición *Deslizante* y en el 2017 pasa a ser *Muy deslizante*. En el 2018 mejora la condición baja su condición a *Muy deslizante* (33%) y el resto de la longitud pasa a *Deslizante* (67%), cierra el 2019 con una condición *Poco Deslizante*.

Coefficiente Rozamiento GN Ruta 27 - El Coyol, 2013-2019



Coefficiente Rozamiento GN El Coyol - Ruta 27, 2013-2019

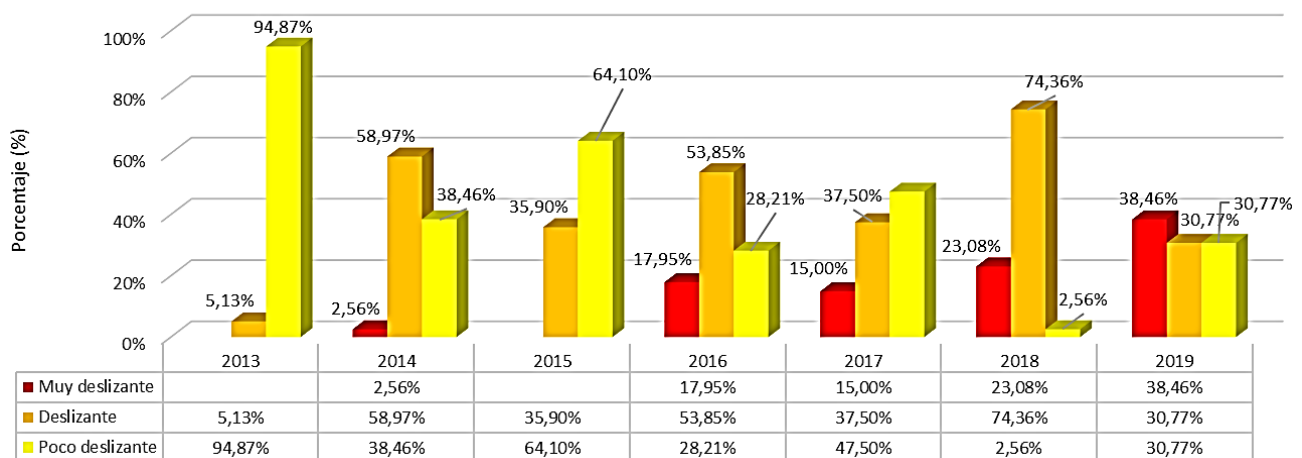
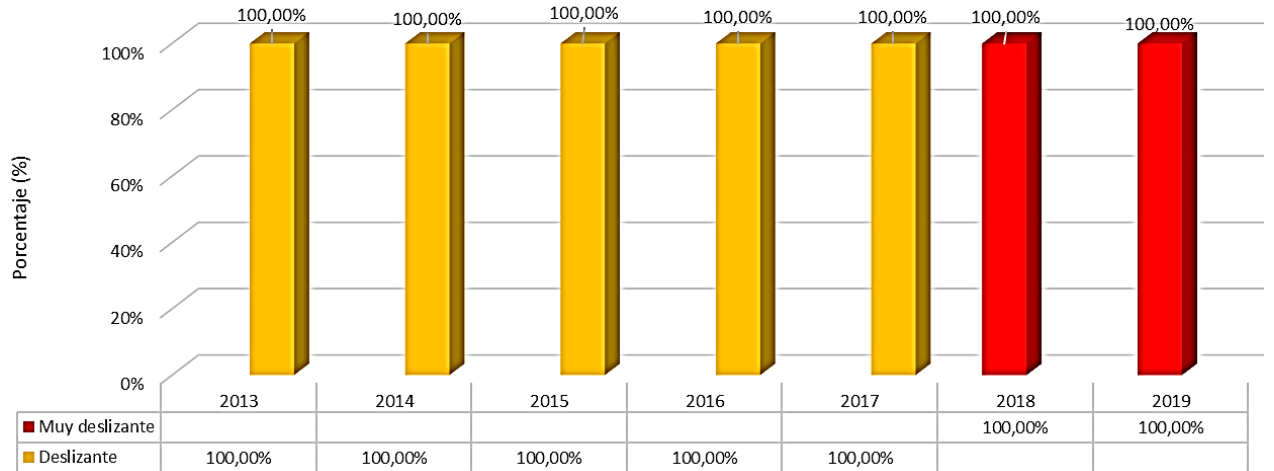


Figura 45. Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial El Coyol 2013-2019



Coeficiente Rozamiento GN Ruta 27 - Turrucares, 2013-2019



Coeficiente Rozamiento GN Turrucares - Ruta 27, 2013-2019

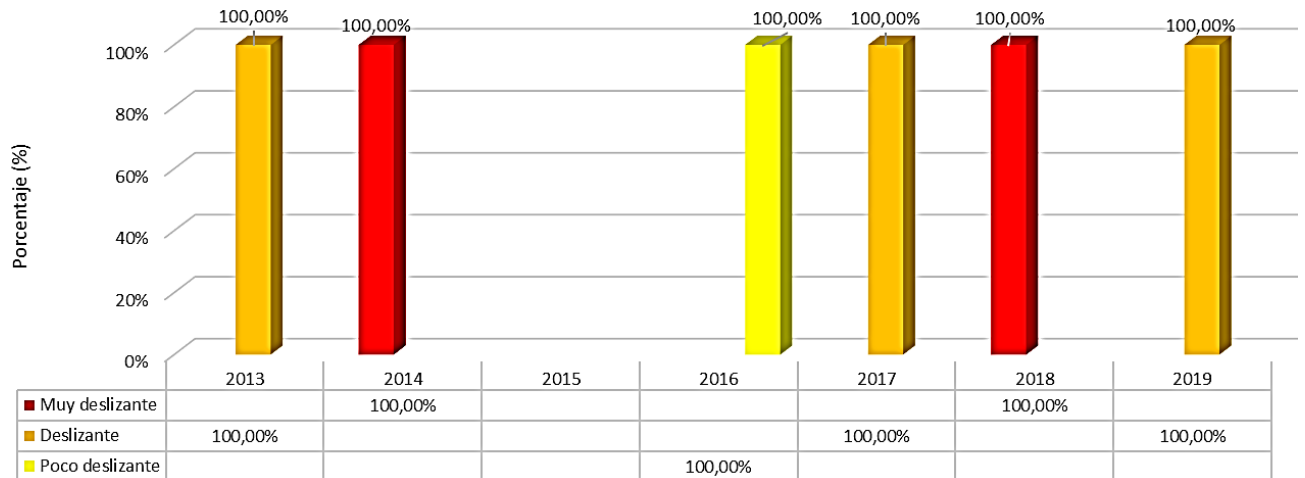
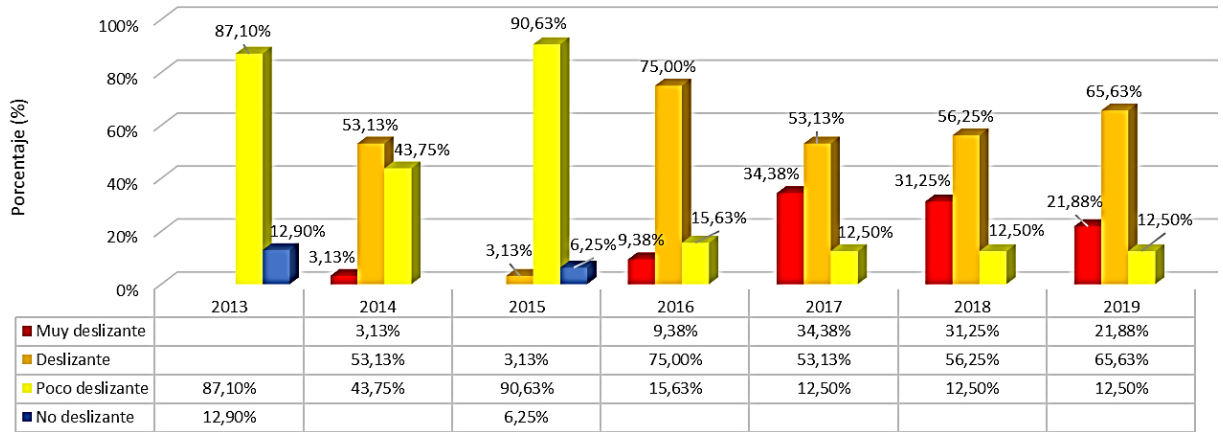


Figura 46. Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial Turrucares 2013-2019



Coeficiente Rozamiento GN Ruta 27 - Atenas, 2013-2019



Coeficiente Rozamiento GN Atenas - Ruta 27, 2013-2019

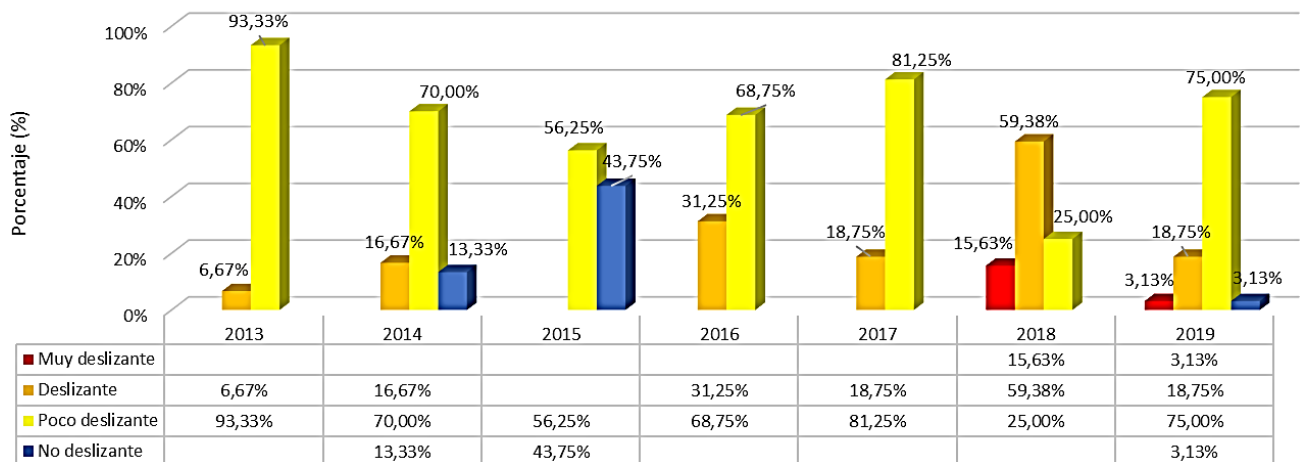
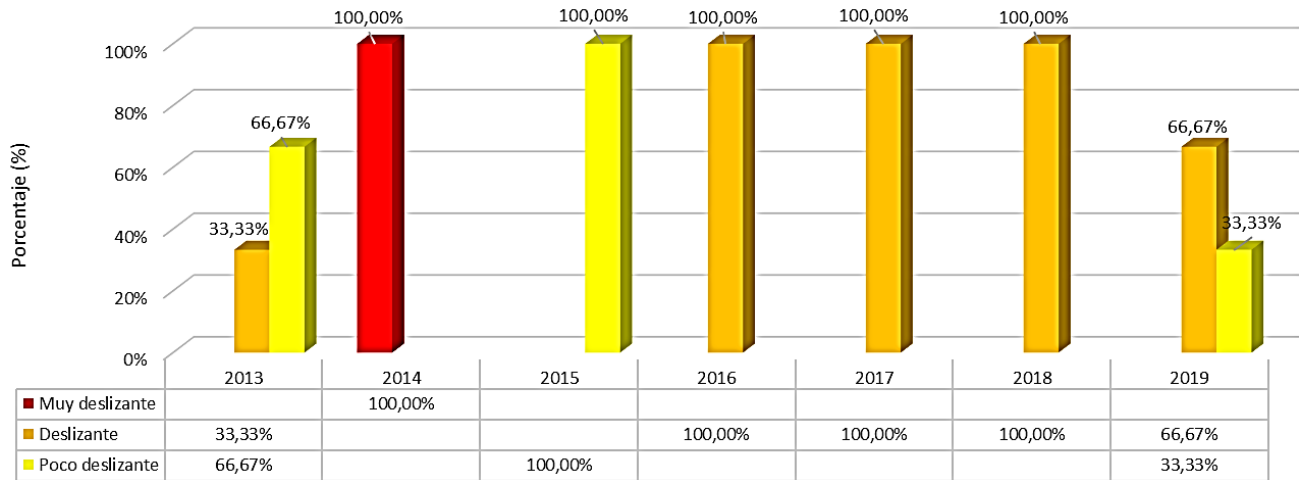


Figura 47. Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial Atenas 2013-2019



Coeficiente Rozamiento GN Ruta 27 - Escobal, 2013-2019



Coeficiente Rozamiento GN Escobal - Ruta 27, 2013-2019

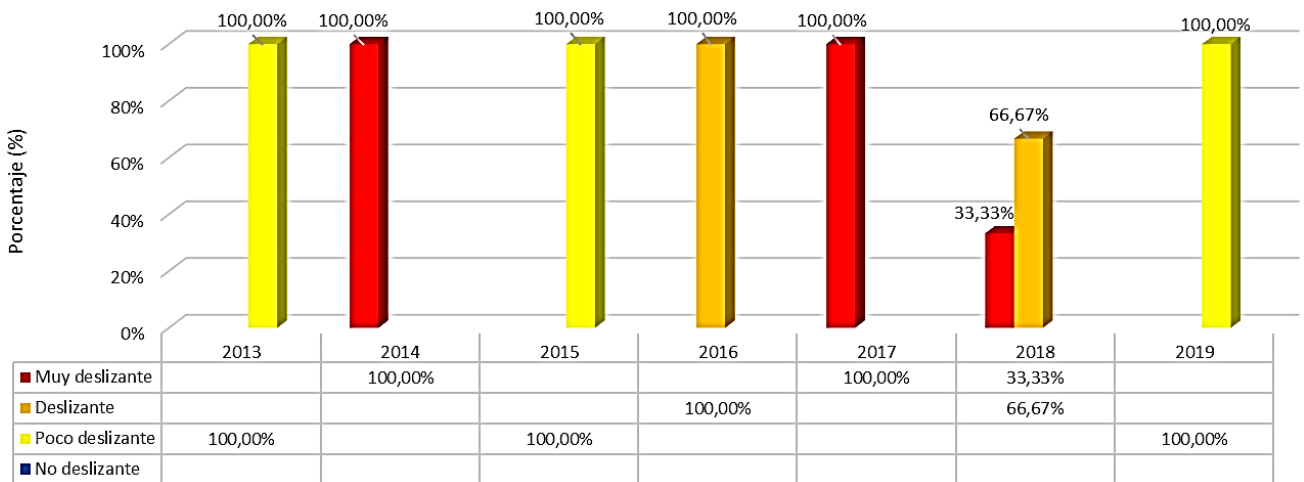


Figura 48. Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial Escobal 2013-2019

4.7.4 Evaluación visual de Deterioro Superficial.

Al desglosar los deterioros por tipo para el periodo de evaluación 2014 – 2019, el mayor porcentaje por área lo ocupa el conocido como *piel de lagarto*, seguido del *bacheo* (Figuras 49 a 54). Destaca el incremento importante en el área afectada por exudación, para el año 2017, en el sentido de la radial Ruta 27 – Atenas (Figura 51).

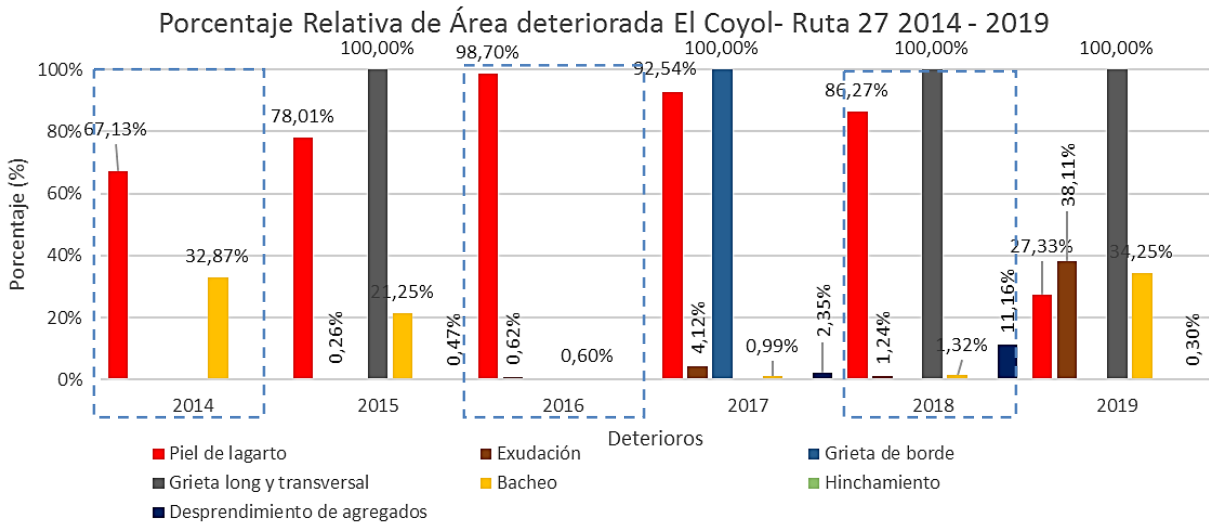
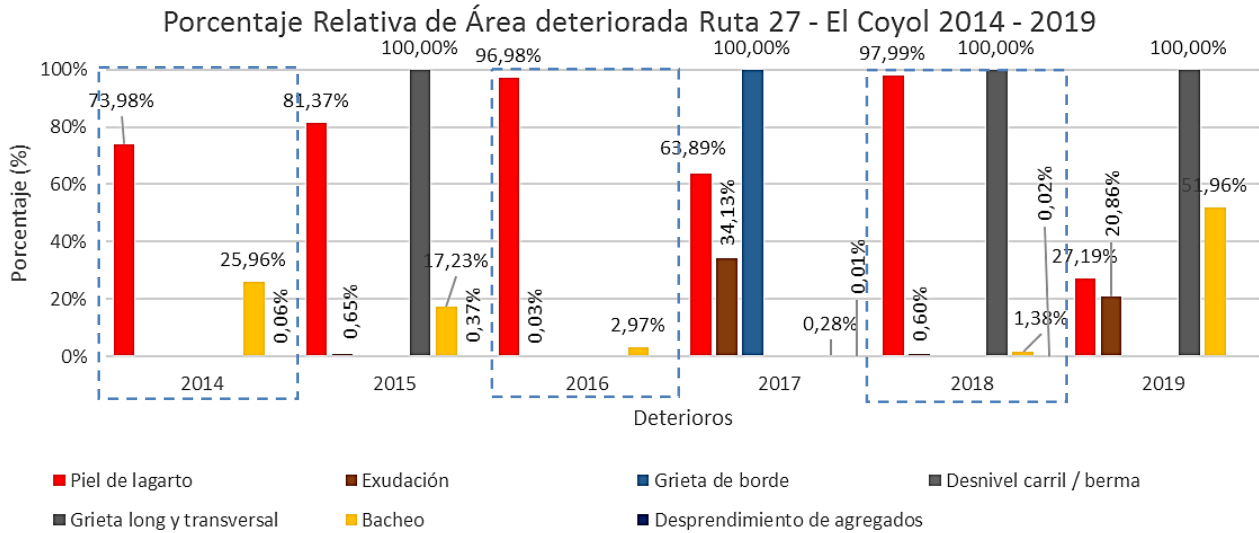


Figura 49. Condición superficial en Radial El Coyal

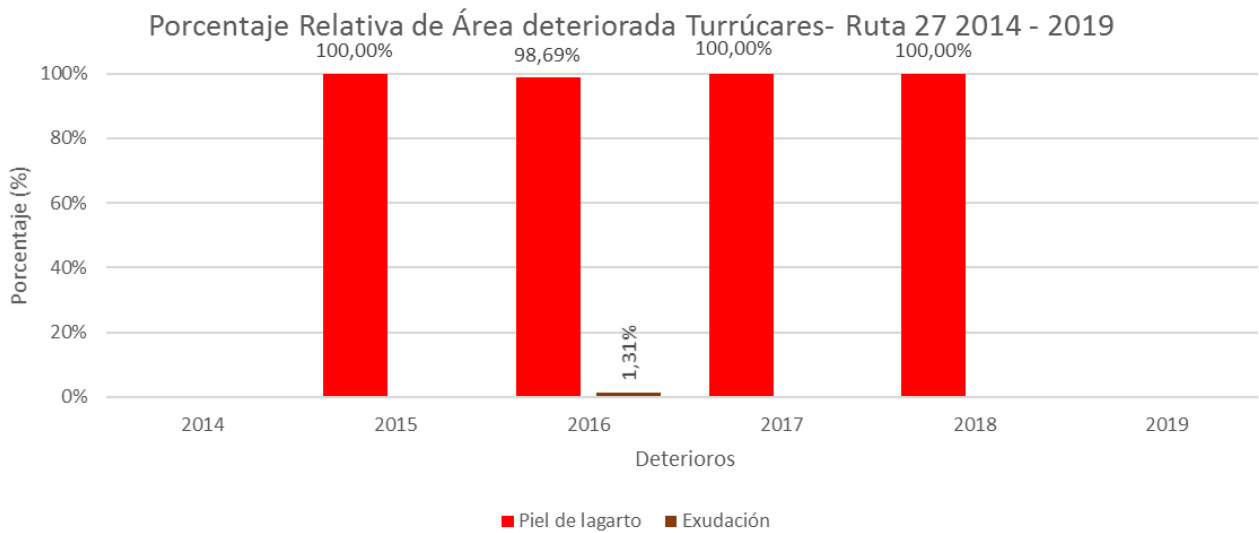
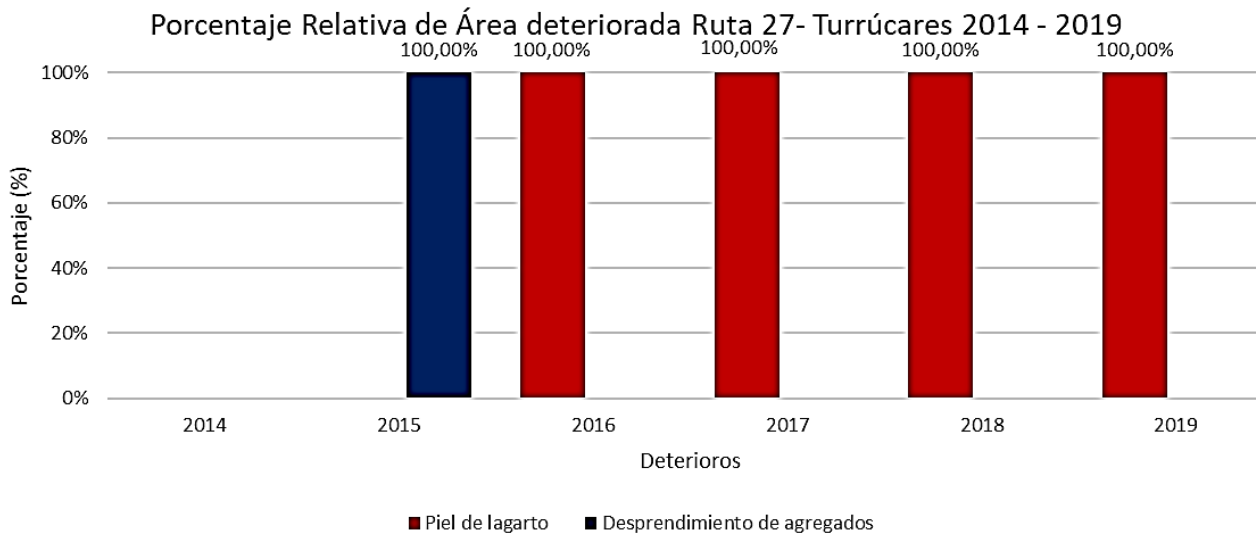


Figura 50. Condición superficial en Radial Turrúcares

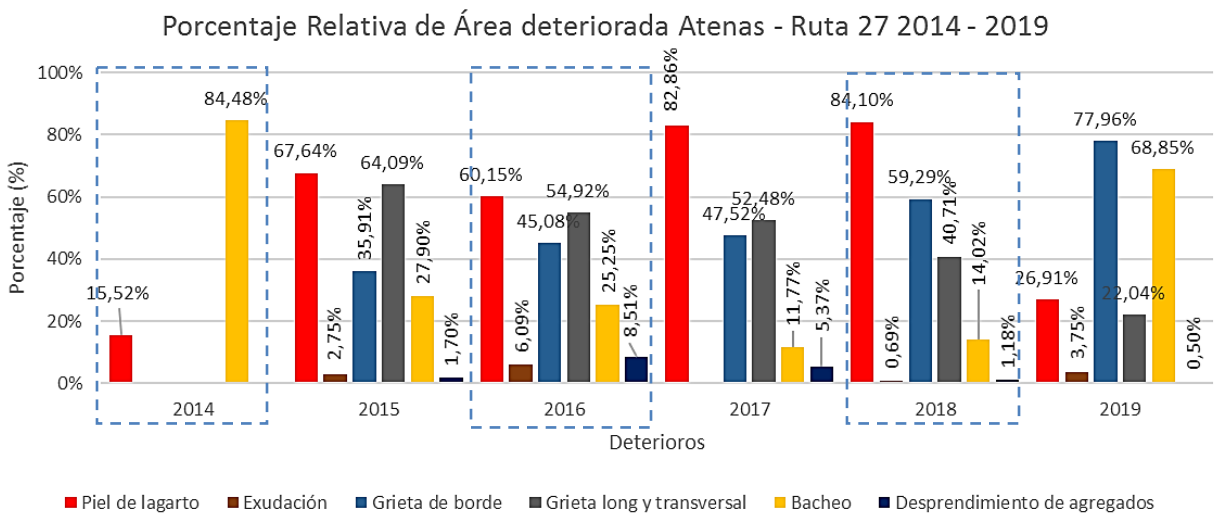
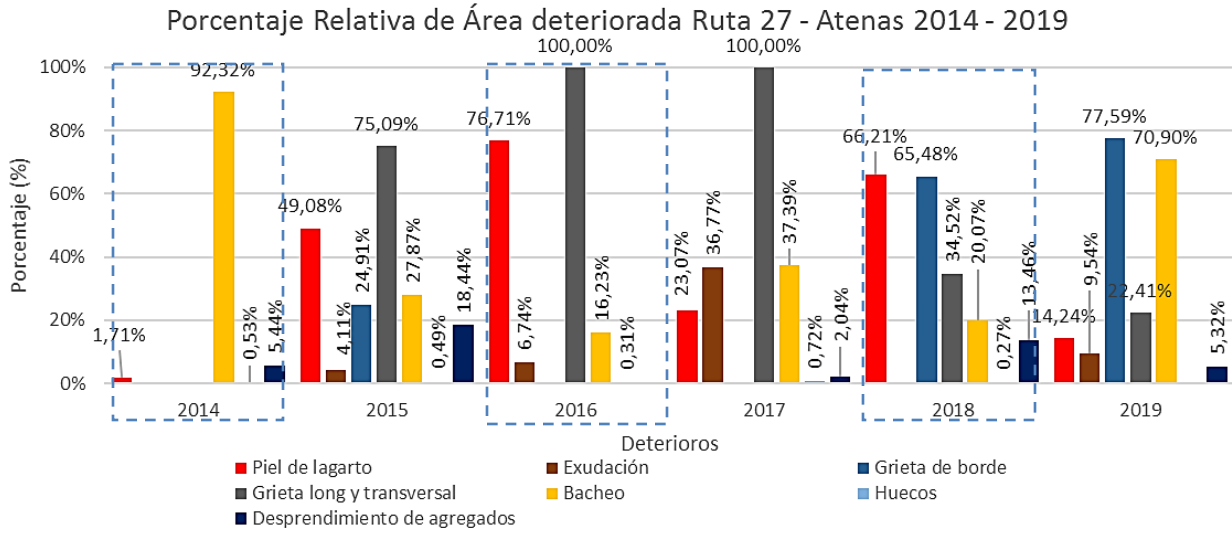


Figura 51. Condición superficial en Radial Atenas



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.

4.8 Aplicación del Modelo de Deterioro

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

Tabla 9. Rango de aplicación del Modelo para el cálculo del *PSI* Costa Rica

Modelo	Rango de Aplicación*
1. $PSI_{CR} = 0,015 * IRI^2 - 0,470 * IRI + 4,989$	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, solo para la troncal, se utilizaron los valores del *IRI* medidos a partir del año 2011 en ambos sentidos de la vía, con una frecuencia de cada 100 m, sin considerar las singularidades de la carretera que puedan alterar sus valores. Con base en la estructura presente, se segmentó la ruta en 4 secciones homogéneas, las cuales se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Secciones de control

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



Con los valores de IRI para cada tramo homogéneo de cada sentido de la ruta, se calculó el PSI según lo mostrado en la Tabla 9. 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 52.

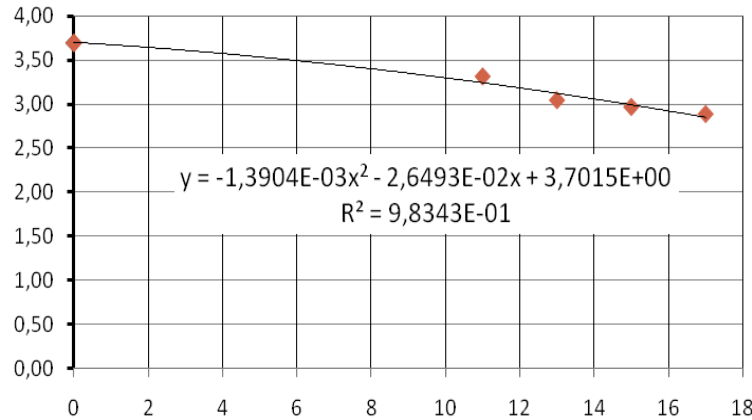


Figura 52. Ejemplo de curva obtenida a partir de los datos del PSI

En la Figura 53 se muestra como una ecuación cuadrática característica de un tramo evaluado, permite proyectar la condición funcional de una sección en años posteriores (línea verde).

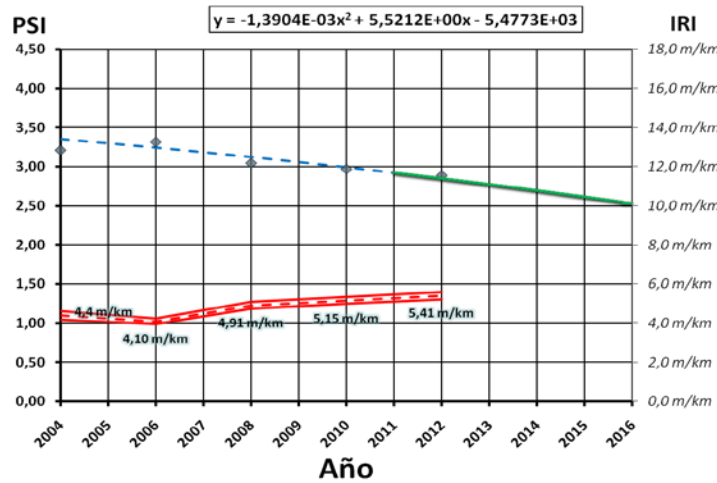


Figura 53. Gráfica ejemplo PSI vs Año, e IRI vs Año

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

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

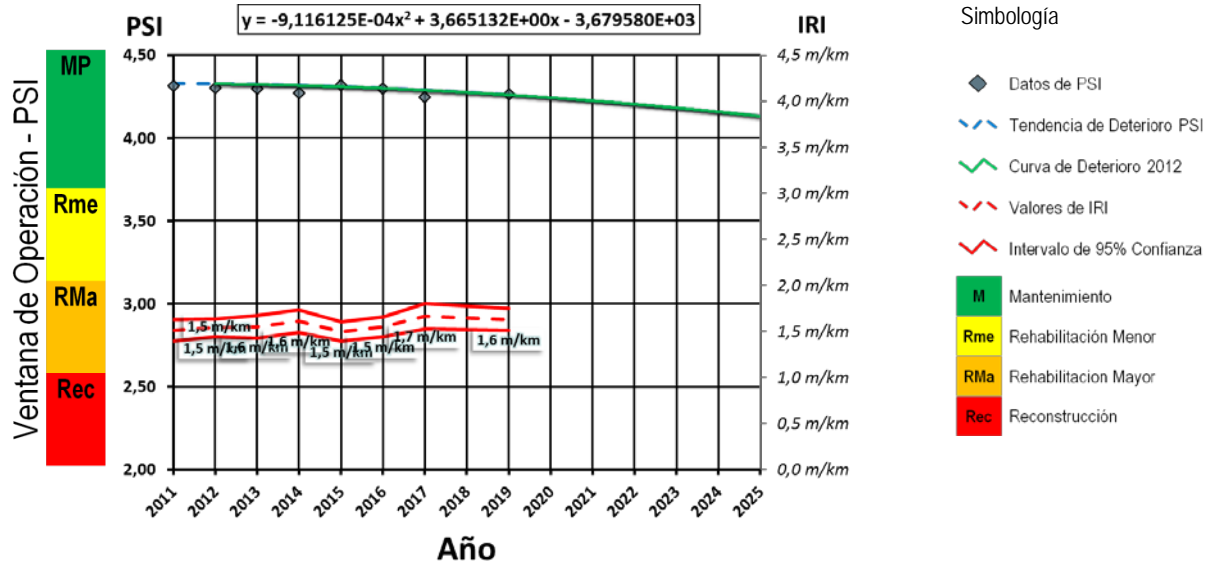
Los valores teóricos obtenidos del análisis están representados por \hat{y}_i , los valores reales (aquellos de la base de datos de las evaluaciones) están representados por y_i , y n representa el número de datos usados para determinar la envolvente de la curva de deterioro.

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 54 y 55.



Modelo de Deterioro – PSI CR

Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	1,1	Concesión	88000	3,61 km	100%	0%



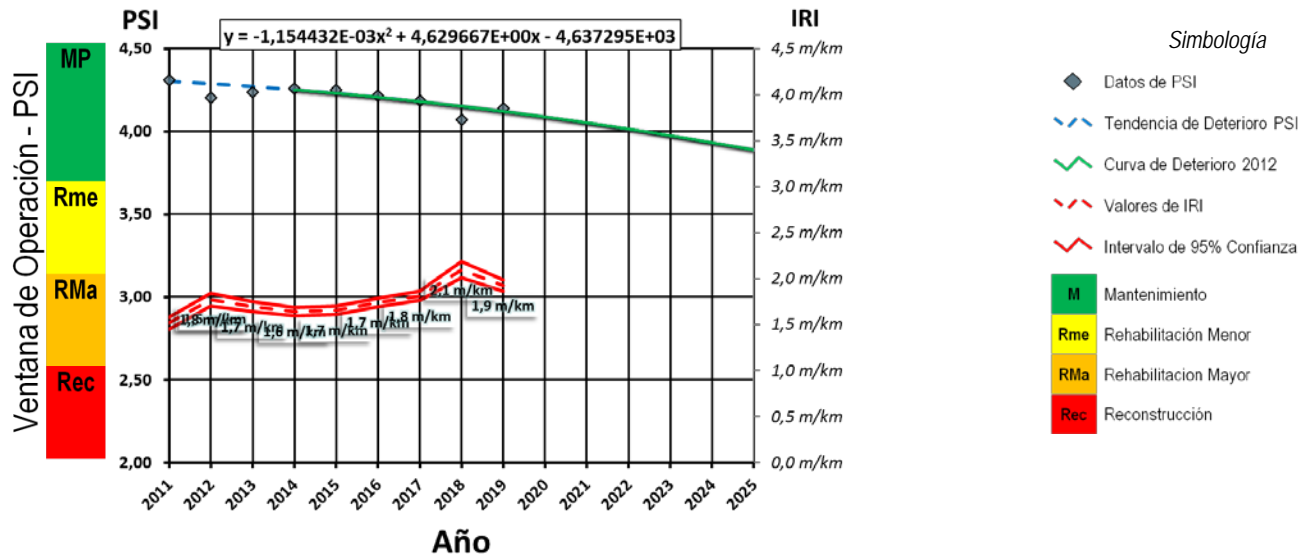
Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$	R ² :	A:	B:	C:	0
	0.9467	-9,1161250E-04	3,6651322E+00	-3,6795801E+03	

Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	29	0,32	-1,16	1,51	0,12	4,31	Q2	ChS3(TS3)
2012	35	0,30	-1,19	1,54	0,10	4,30	Q2	ChS3(TS3)
2013	34	0,36	3,48	1,55	0,12	4,30	Q1	ChS1(TS1)
2014	34	0,36	-1,15	1,61	0,12	4,27	Q2	ChS3(TS3)
2015	31	0,29	-0,85	1,50	0,10	4,32	Q1	ChS1(TS1)
2016	33	0,31	-1,10	1,55	0,11	4,30	0	0
2017	36	0,42	-0,22	1,67	0,14	4,25	Q1	SS,ChS1(TS1)
2018	36	0,36	-0,39	1,63	0,12	4,26	Q1	ChS2(TS2),ChS3(TS3),Slurry
2019	36	0,36	-0,39	1,63	0,12	4,26	Q1	ChS2(TS2),ChS3(TS3),Slurry

Ubicación		
Provincia	SAN JOSE	0+000 A 03+605
Cantón	ESCAZÚ	



Modelo de Deterioro – PSI CR						
Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	3,2	Concesión	3000	37,70 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{\text{año}})^2 + B \cdot (X_{\text{año}}) + C$	R ² :	A:	B:	C:	0
	0,9958	-1,1544320E-03	4,6296666E+00	-4,6372945E+03	

Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	374	0,65	14,47	1,52	0,07	4,31	Q2	ChS3(TS3)
2012	375	0,69	7,34	1,77	0,07	4,20	Q2	ChS3(TS3)
2013	374	0,53	11,29	1,69	0,05	4,24	Q1	ChS1(TS1)
2014	366	0,44	1,35	1,64	0,05	4,26	Q2	ChS3(TS3)
2015	355	0,45	1,10	1,66	0,05	4,25	Q1	ChS1(TS1)
2016	355	0,44	-0,19	1,74	0,05	4,22	0	0
2017	365	0,48	1,36	1,81	0,05	4,19	Q2	SS,ChS1(TS1)
2018	364	0,85	7,41	2,10	0,09	4,07	Q3	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2019	372	0,61	7,24	1,93	0,06	4,14	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)

Ubicación		
Provincia	ALAJUELA	14+025 A 51+720
Cantón	VARIOS	

Figura 55: Modelo de deterioro para el tramo 3, sentido Caldera - San José.

4.9 Análisis de Resultados

Partiendo de que un pavimento nuevo presenta un valor de PSI cercano a 4,5 y que 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 56).

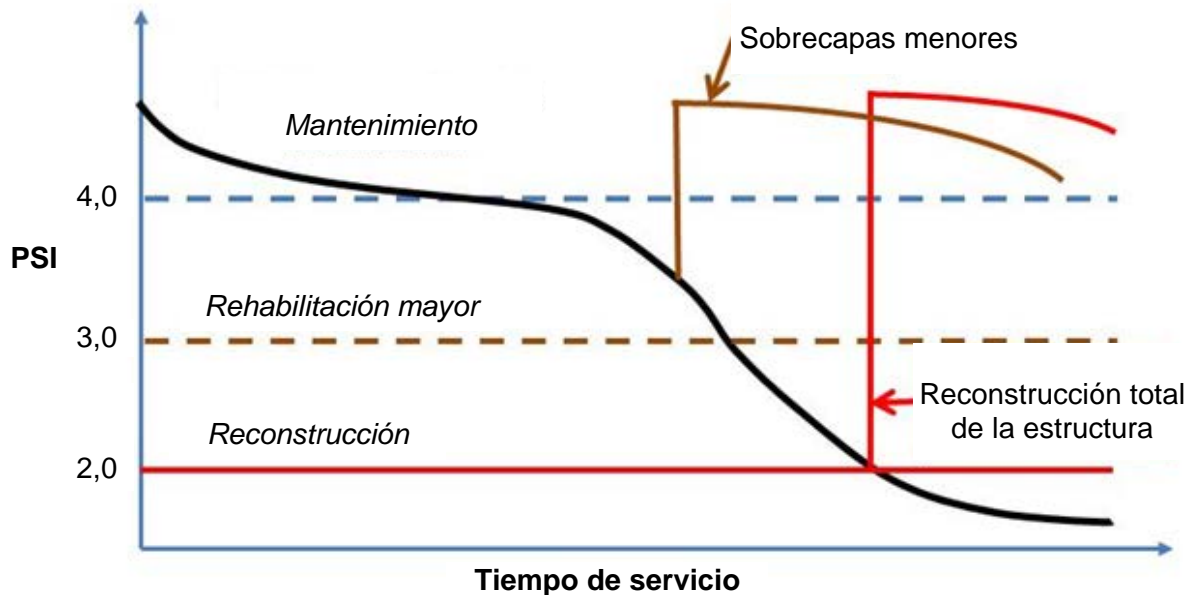


Figura 56. Concepto del PSI, y el respectivo cambio del valor con el tiempo para un pavimento (línea negra), contra valores umbral (líneas horizontales).

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 VII), la Tabla 11 muestra el resumen de resultados, con el valor PSI de la presente evaluación, así como el tiempo necesario en años, para alcanzar el valor de 3.

Tabla 11, Año en el que el PSI alcanza el valor de 3,0 (umbral de rehabilitación mayor)

Tramo	Sentido	Descripción	PSI-2019	PSI=3	PSI	Delta años
1,1	San José - Caldera	0+000 A 03+605	4,26	2035	3,77	16
2,1	San José - Caldera	03+605 A 14+025	4,32	2035	4,21	16
3,1	San José - Caldera	14+025 A 51+720	4,09	2032	3,02	13
4,1	San José - Caldera	51+720 A 76+310	4,11	2035	3,14	16
1,2	Caldera - San José	0+000 A 03+605	3,99	2025	2,94	6
2,2	Caldera - San José	03+605 A 14+025	4,04	2024	2,97	5
3,2	Caldera - San José	14+025 A 51+720	4,12	2035	3,31	16
4,4	Caldera - San José	51+720 A 76+310	4,18	2035	3,30	16

Con base en estos resultados, los tramos homogéneos seleccionados se pueden agrupar en 2 categorías:

- Tramos que alcanzarán un valor PSI igual a tres en el largo plazo: en esta categoría, existen seis tramos, cuatro en el sentido San José – Caldera, que corresponden a toda la longitud de ese sentido y dos tramos en el sentido Caldera – San José, que corresponden a Tramo 3 (14+025 a 51+720) y Tramo 4 (51+720 a 76+310). Si se mantiene las actividades de mantenimiento actuales, estos tramos alcanzarán el umbral de rehabilitación mayor dentro de 17 años o más.
- Tramos que alcanzarán un valor PSI 3 en el corto plazo: en esta categoría se encuentran dos tramos y corresponden al Tramo 1 (00+000 a 03+605) y Tramo 2 (03+605 a 14+025) en el sentido Caldera – San José. Si se mantiene las actividades de mantenimiento actuales, alcanzarán el umbral de rehabilitación en 6 y 5 años, respectivamente.



5 CONDICIONES GEOTÉNICAS Y SISTEMAS DE DRENAJE

Desde su construcción y posterior a su inauguración en el año 2010, la Ruta Nacional No.27 ha presentado en varios sitios problemas recurrentes de inestabilidad, los cuales han sido asociados con taludes de elevada pendiente, drenaje ácido de rocas y problemas en los sistemas de manejo de aguas superficiales, entre otras causas, para los cuales se generaron observaciones y recomendaciones en los informes ACG 2010; Porras et al., 2012; Informes INF-PITRA-001-2013, LM-PI-UGERVN-007-2013, INF-PI-UGERVN-005-2014, INF-PI-UGERVN-005-2016, INF-PI-UGERVN-004-2017, INF-PI-UGERVN-012-2018 e INF-PI-UGERVN-01-2019.

Tomando en consideración la evolución que estos aspectos han tenido en la carretera, la Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional, del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR, lleva a cabo evaluaciones permanentes de la condición de los principales activos geotécnicos en la Ruta Nacional No.27.

Durante este año de evaluación se ha intensificado el monitoreo geotécnico del deslizamiento que tiene lugar en el km 44+500 de la ruta en concesión. Esto obedece principalmente al comportamiento que ha presentado el deslizamiento durante la estación lluviosa del año 2019, en el que se han observado movimientos en el terreno y deterioros en las obras recientemente construidas por el concesionario.

El objetivo de la información que se presenta es generar insumos que permitan fortalecer la gestión de la Administración, tanto en la toma de decisiones como en el mantenimiento de los activos geotécnicos a lo largo de la ruta en concesión.

5.1 Registro histórico de precipitaciones

Según los datos precipitación mensual registrados por la estación termopluviométrica del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) ubicada en Balsa de Atenas y con el nombre: Universidad Técnica Nacional, durante el año 2019 las lluvias registradas muestran un comportamiento similar a los años anteriores con registros bajos o nulos durante los primeros cuatro meses del año. El mes de mayo del 2019, sin embargo, presentó el registro más alto del 2019 y el tercero más alto en los últimos cinco años en esa estación (Figura 57). El comportamiento de las lluvias entre junio y noviembre del 2019, fue normal con respecto a otros años anteriores, con registros superiores a los 100 mm de lluvia por mes y disminuyendo en diciembre.

Estos datos proporcionan información sobre la cantidad de lluvia registrada en la zona donde se encuentra el tramo 2 de la Ruta Nacional No. 27.

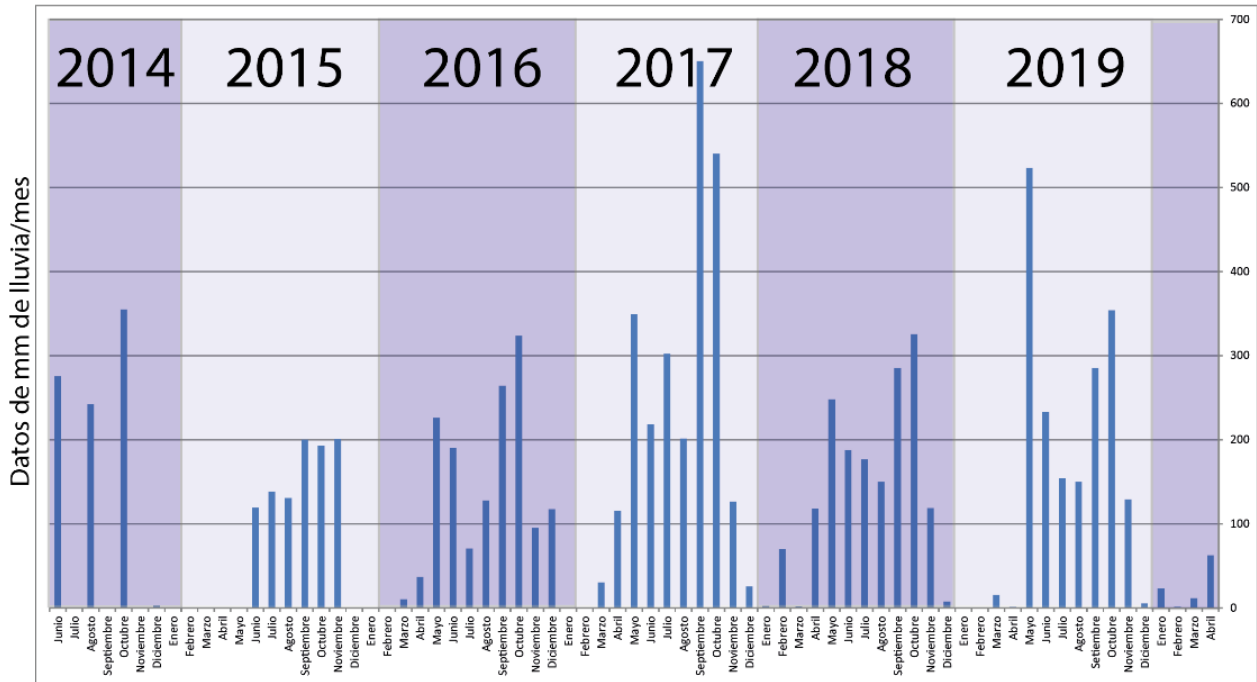


Figura 57. Registro de lluvia por mes en la estación de Balsa de Atenas 2014 – 2020.

5.2 Evaluación talud en PK 37+500

En este punto se localiza un talud de corte al costado derecho de la carretera, en sentido San José – Caldera.

Este talud está constituido por lavas y brechas. Hay gran heterogeneidad en los materiales ya que se observan zonas con mayor alteración y condiciones de meteorización intensas, mientras que, en otros sectores, los mismos materiales se presentan con poca alteración. En los sectores con materiales que son fáciles de desgranar se deben de considerar medidas de protección contra procesos de erosión y pérdida de soporte de bloques de tamaño considerable (métrico).

Las lluvias constituyen uno de los principales agentes erosivos y propician eventos de remoción de masa. La erosión puede disminuir en sitios protegidos por una cubierta vegetal, mientras que tiende a aumentar en lugares donde se ha removido la vegetación por deforestación, para hacer cortes en taludes. La precipitación se puede relacionar con la saturación de las laderas y mientras más saturadas estén serán sujetas a una mayor ocurrencia de deslizamientos. Por estas razones los trabajos de protección contra la erosión en los taludes de la RN-27 son muy importantes.

Además, durante un sismo es posible que los bloques de roca que están quedando sin sustento por la erosión puedan rodar pendiente abajo y generar alguna afectación a los usuarios de la ruta.



Este talud ha sido objeto de varias intervenciones por parte del Concesionario a través de los años. Durante el año 2019 se realizaron varios cortes de material en la parte alta del talud, también se removió una parte del material geosintético que había sido colocado años atrás para evitar la caída de rocas sobre la carretera.

Sin embargo, los trabajos antes mencionados quedaron inconclusos, únicamente se eliminó una parte del material en la mitad superior del talud, la parte media inferior no se intervino, a pesar de que existe mucho material suelto que representa un riesgo para la seguridad de los usuarios. El geosintético tampoco fue removido en su totalidad y debido al deterioro importante que presenta y a la falta de anclajes, en la condición que tiene actualmente no representa un elemento seguro de contención de caída de suelo y rocas en la carretera. Las divisorias tipo New Jersey se siguen utilizando como barreras de protección contra los materiales que se desprendan del talud. A criterio de este laboratorio, este tipo de soluciones no son apropiadas debido a que estas barreras no fueron diseñadas con el propósito de detener deslizamientos o material caído.

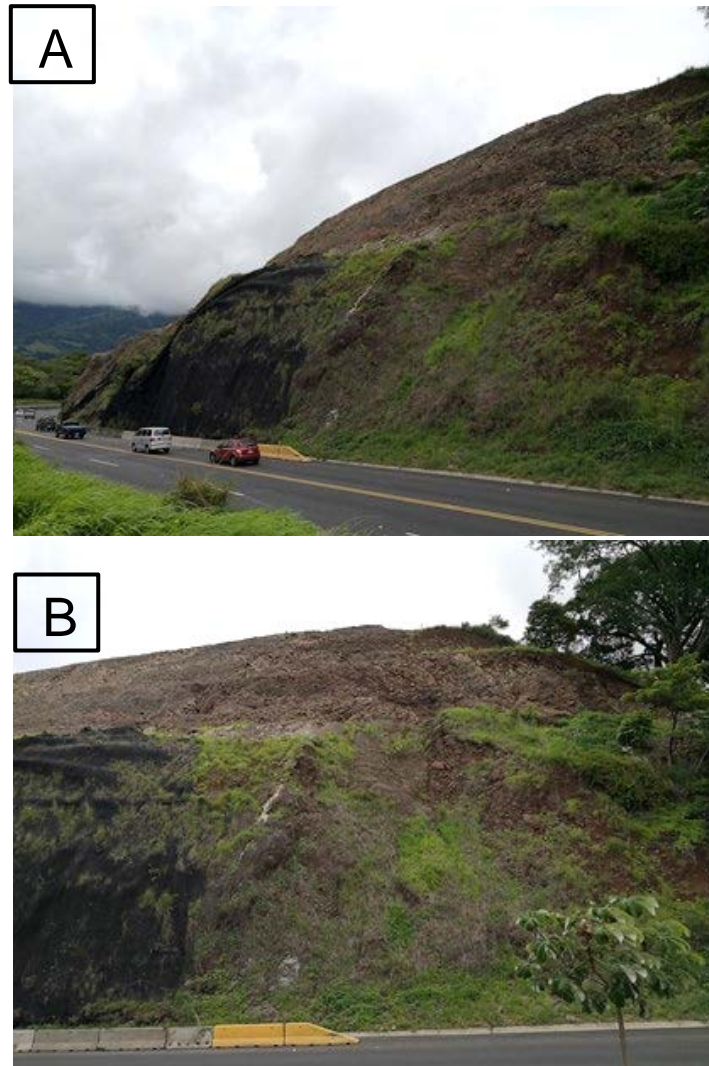


Figura 58. A) Condición actual del talud al costado derecho del kilómetro 37+500. B) Material meteorizado y fracturado en la parte alta del talud

En la Figura 58 se observan las barreras tipo New Jersey como medida de protección, este tipo de solución genera otro problema a los usuarios debido a que elimina el espacio del espaldón de la ruta en ese sector

En la condición actual el material del talud se desprende fácilmente por erosión de viento o agua. El material que se desprende se acumula en las cunetas que fueron construidas, tal como se observa en las siguientes figuras.



Figura 59. Condición actual del talud al costado derecho del kilómetro 37+500.

En caso de que no se hayan ejecutado, se recomienda realizar los diseños geotécnicos necesarios y suficientes para determinar la condición actual de estabilidad del talud y las intervenciones requeridas para mejorar su condición y disminuir el riesgo para los usuarios.

5.3 Evaluación talud en PK 38+600

En este sitio se localiza un talud de corte en el costado izquierdo de la carretera, en el sentido San José – Caldera. En este tramo de la carretera se presenta Drenaje Ácido de Rocas (DAR), el cual ha afectado desde el inicio las intervenciones que el Concesionario ha realizado en el talud.

El trabajo de Ruiz et al. (2015) demuestra la presencia de DAR en varios taludes de la RN-27 y Aguilar (2017) hace lo mismo en otros tres sitios de la ruta. Los sitios analizados en esos trabajos se ubican entre los estacionamientos de los kilómetros 38+000 y 48+400. Ambos trabajos siguieron la metodología de Sobek et al. (1978) que se basa en análisis de pH en pasta aplicado a suelos y rocas junto con análisis químicos a las aguas de escorrentía para demostrar la presencia de DAR.

Luego de un deslizamiento ocurrido en este sitio en agosto del 2015 que produjo el colapso de una sección del concreto lanzado que cubría el talud, por lo que funcionarios del LanammeUCR realizaron una caracterización detallada de estos materiales tal como se mostró en el informe LM-PI-UGERVN-008-2015 y de esta forma se comprobó que el concreto se deteriora aceleradamente por la presencia de aguas con un pH inferior a 5 y que puede llegar hasta 2,5. Las pendientes elevadas (>55°) en el talud LD (ver Figura 60) y el flujo de agua que recorre internamente los materiales propensos a generar DAR

generan un empuje hídrico sobre el concreto lanzado, las mallas y anclajes colocados en la zona.

En la siguiente Figura se observa el modelo de elevación realizado por medio de técnicas fotogramétricas, en los recuadros B y C, se muestran zonas que no han sido intervenidas y que presentan características críticas (pendientes negativas, salida de agua ácida y agrietamiento) que deberían de ser atendidos para evitar su colapso.

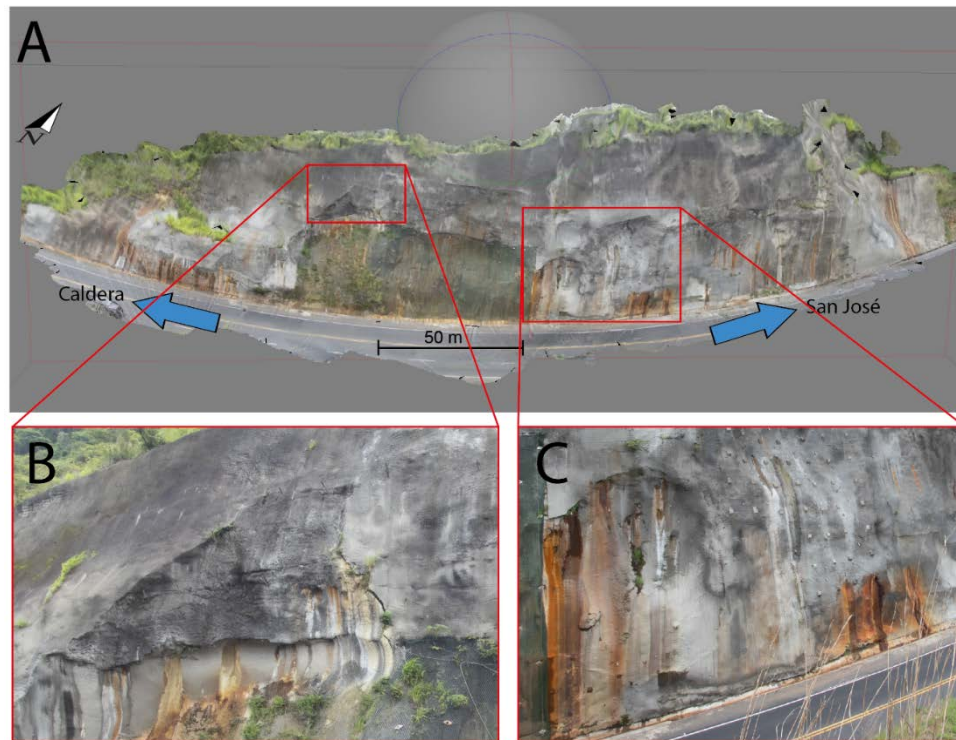


Figura 60. Modelo de elevación digital del talud en el km 38+600.

Durante años el ácido que se forma en el suelo y la roca de este macizo ha deteriorado de forma acelerada los materiales que el Concesionario ha colocado, tanto el concreto como el acero y los geosintéticos que han sido instalados sufren deterioro ante el medio ácido de este sector.

Las intervenciones han consistido en sustitución del concreto lanzado mediante la colocación de un geosintético compuesto de un manto para control de erosión con refuerzo de malla metálica. Estas intervenciones tienen una vida útil reducida, el ácido afecta tanto la malla como el manto y los pines de acero que se utilizan para anclar el manto al talud, tal y como se indicó en los informes LM-PI-UGERVN-008-2015. Este deterioro genera roturas en el geosintético y acumulación de material suelto que eventualmente cae sobre la carretera, tal como se observa en las siguientes figuras.

A



B



Figura 61, Talud intervenido, PK 38+600. A) Geosintético con refuerzo de malla metálica. B) Deterioro en el manto para control de erosión y en el concreto adyacente.

Se recomienda realizar un estudio geológico-geotécnico que permita caracterizar adecuadamente la condición de Drenaje Ácido de Rocas en este sitio, así como la definición de las medidas correctivas apropiadas para estas condiciones, ya que el concreto lanzado convencional, el acero y los mantos que se han venido utilizando han demostrado que no son aptos para un medio ácido como el de este sector.

Así mismo, resulta primordial remover el concreto lanzado que se encuentra más afectado, con el fin de prevenir la caída de este material en la carretera, con el consecuente peligro para los usuarios.

5.4 Evaluación talud en PK 44+500

Tal como fue informado al Consejo Nacional de Concesiones (CNC) en febrero del 2018, mediante el oficio LM-IC-D-0121-18, en el sitio que se muestra en la siguiente figura el LanammeUCR instaló tuberías para una sonda piezométrica y una sonda inclinométrica hasta una profundidad de 45 m, con el fin de medir los cambios en el nivel freático y los desplazamientos horizontales que se pudieran producir en este punto de la carretera (Figura 62)

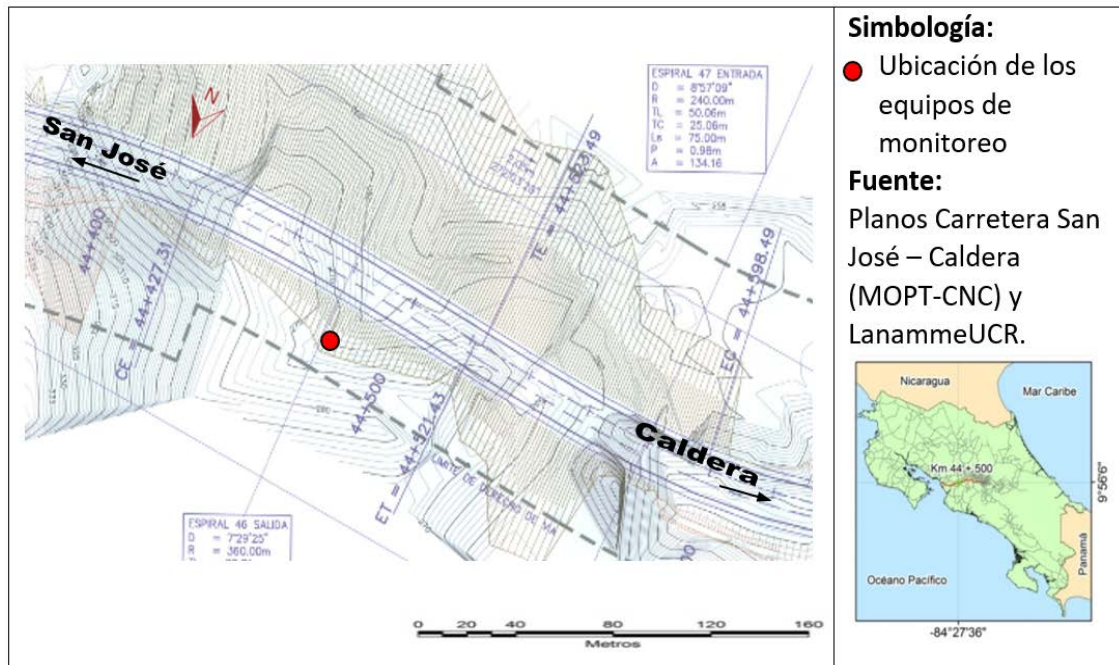


Figura 62. Localización de los equipos de monitoreo geotécnico en la Ruta Nacional No.27

En este sitio tiene lugar un deslizamiento que ha afectado durante años tanto al terraplén de la carretera como a las laderas adenañas a la misma. 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 los efectos observados se encuentran deformaciones de la carpeta asfáltica y del guardavía, así como grietas y asentamientos de variada magnitud a lo largo de aproximadamente 400 metros de carretera.

Durante las estaciones lluviosas de los años 2017 y 2018, los asentamientos en este sitio se hicieron más severos, obligando al Concesionario a intervenir nuevamente este sector.



El Concesionario construyó en este lugar un muro anclado y una pantalla de pilotes al pie del terraplén, con el fin de estabilizar el terreno que da soporte a la estructura del pavimento.

A raíz de esta situación, el LanammeUCR implementó un plan de monitoreo geotécnico en este sector de la carretera. El estudio del sitio incluyó el análisis de las condiciones geológicas y geotécnicas, la topografía actual y la topografía previa a la construcción de la carretera, ensayos geofísicos, entre otros.

En la siguiente figura se presenta la topografía de la zona de estudio, así como los perfiles transversales analizados y el sitio seleccionado para la instalación del equipo de monitoreo geotécnico.

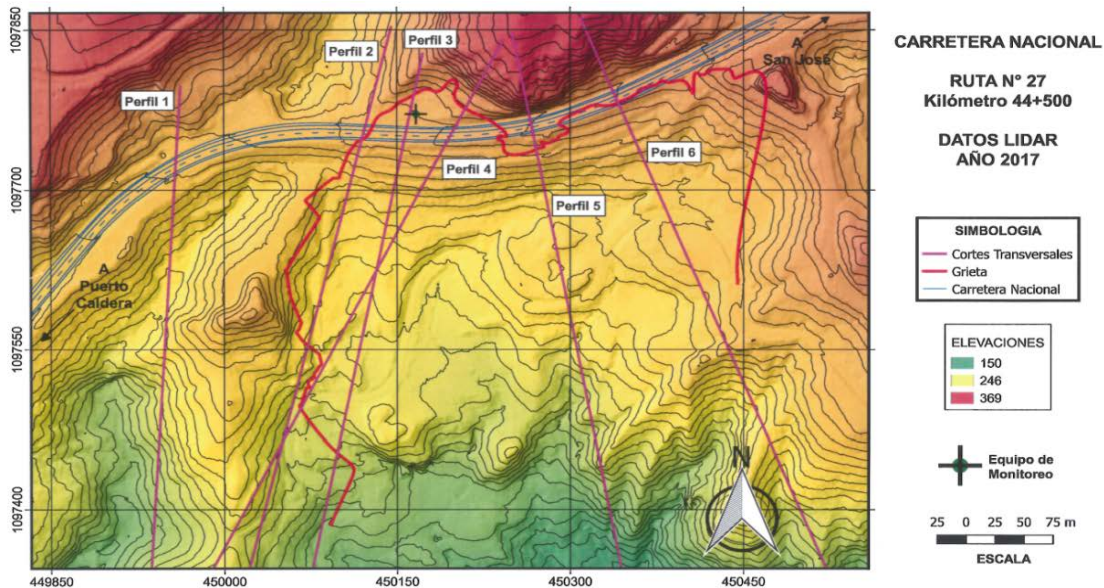


Figura 63. Topografía cercana al estacionamiento 44+500 de la Ruta Nacional No.27

En la figura 64 se muestra la grieta que ha sido identificada en la superficie mediante las visitas al sitio. Tal como se observa, esta grieta se extiende más allá del relleno de la carretera.



Figura 64: .PK 44+500. Las marcas amarillas muestran el recorrido de la grieta en la superficie. El punto rojo es la ubicación del monitoreo geotécnico..

Se realizó un estudio de la zona para establecer el sitio apropiado para la instalación de los equipos de monitoreo. La Figura 65 corresponde al estudio de las pendientes del terreno. La Figura 66 es parte del estudio de los cambios en la topografía producto de la construcción del terraplén para ese tramo de la carretera.

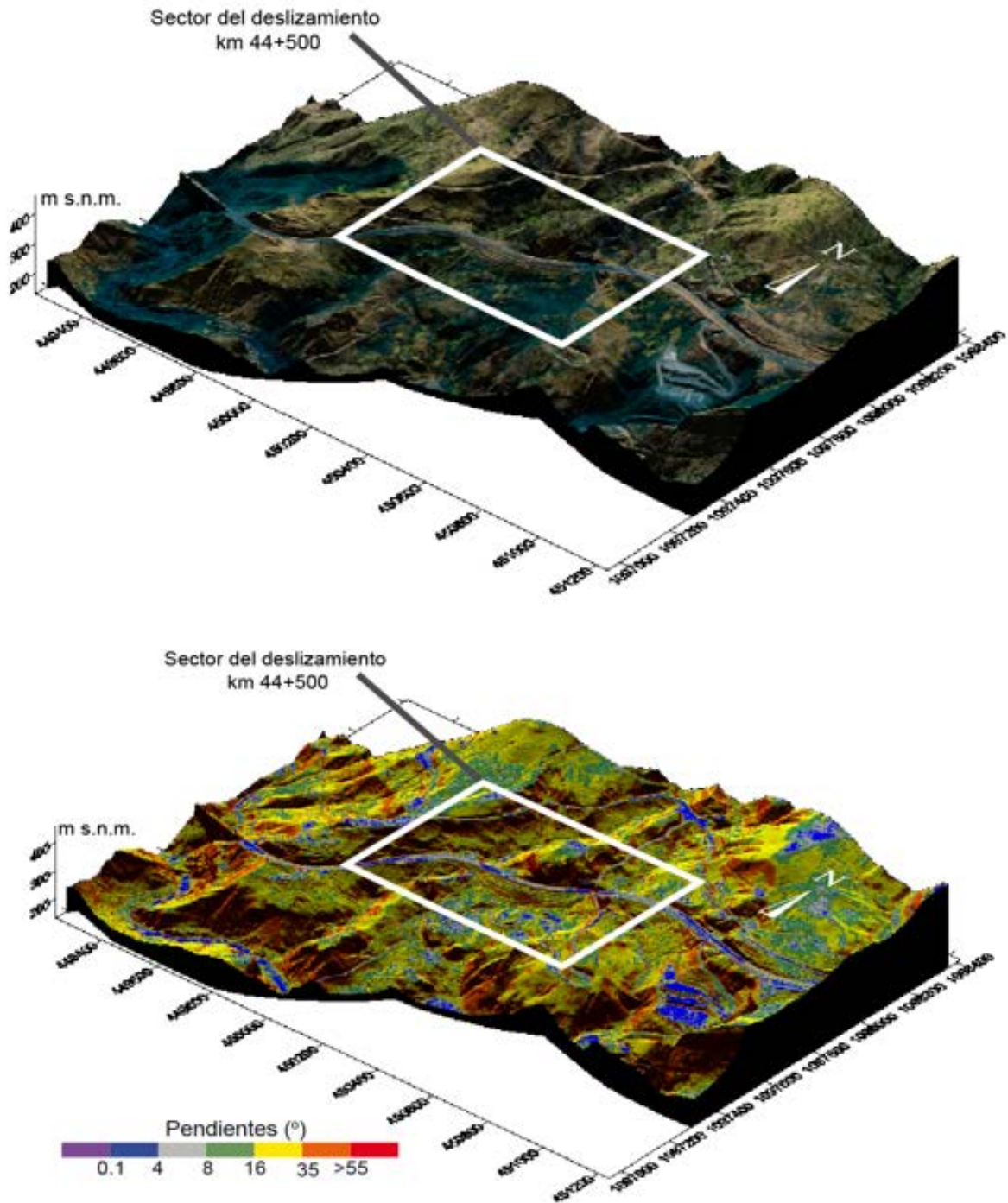


Figura 65. Modelo de elevación y estudio de pendientes en el sector del km 44+500 de la Ruta Nacional No. 27

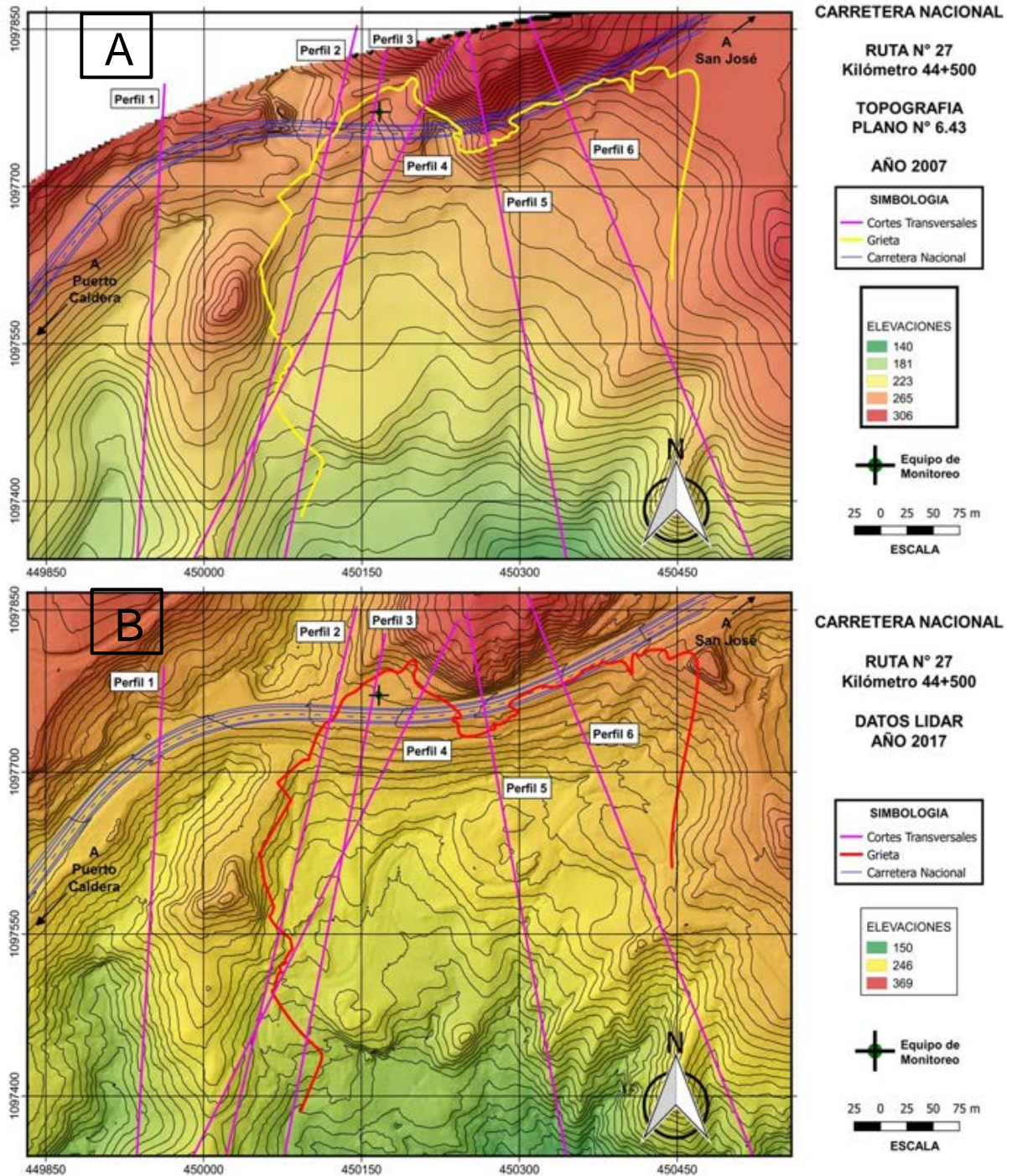


Figura 66. Cambios en la topografía del sector cercano al km 44+500, A) Curvas de nivel antes en el año 2007, B) Curvas de nivel después de la construcción de la carretera (2017).

El estudio de geofísica realizado tuvo como objetivo identificar estructuras en el subsuelo para estimar la profundidad de la superficie de falla. Se realizó una tomografía eléctrica de



100 m de longitud y se emplearon las metodologías Wenner, Schlumberger, dipolo-dipolo y gradiente.

En las siguientes figuras se observan la zona estudiada y los resultados obtenidos de la tomografía realizada en este sector.

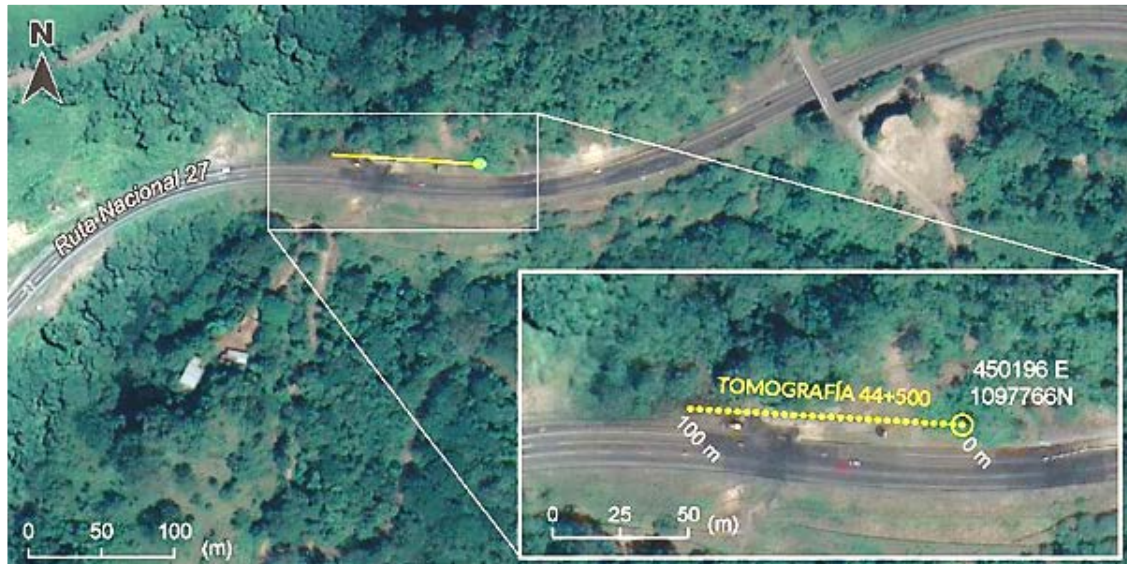


Figura 67. Vista general del sector estudiado mediante tomografía eléctrica

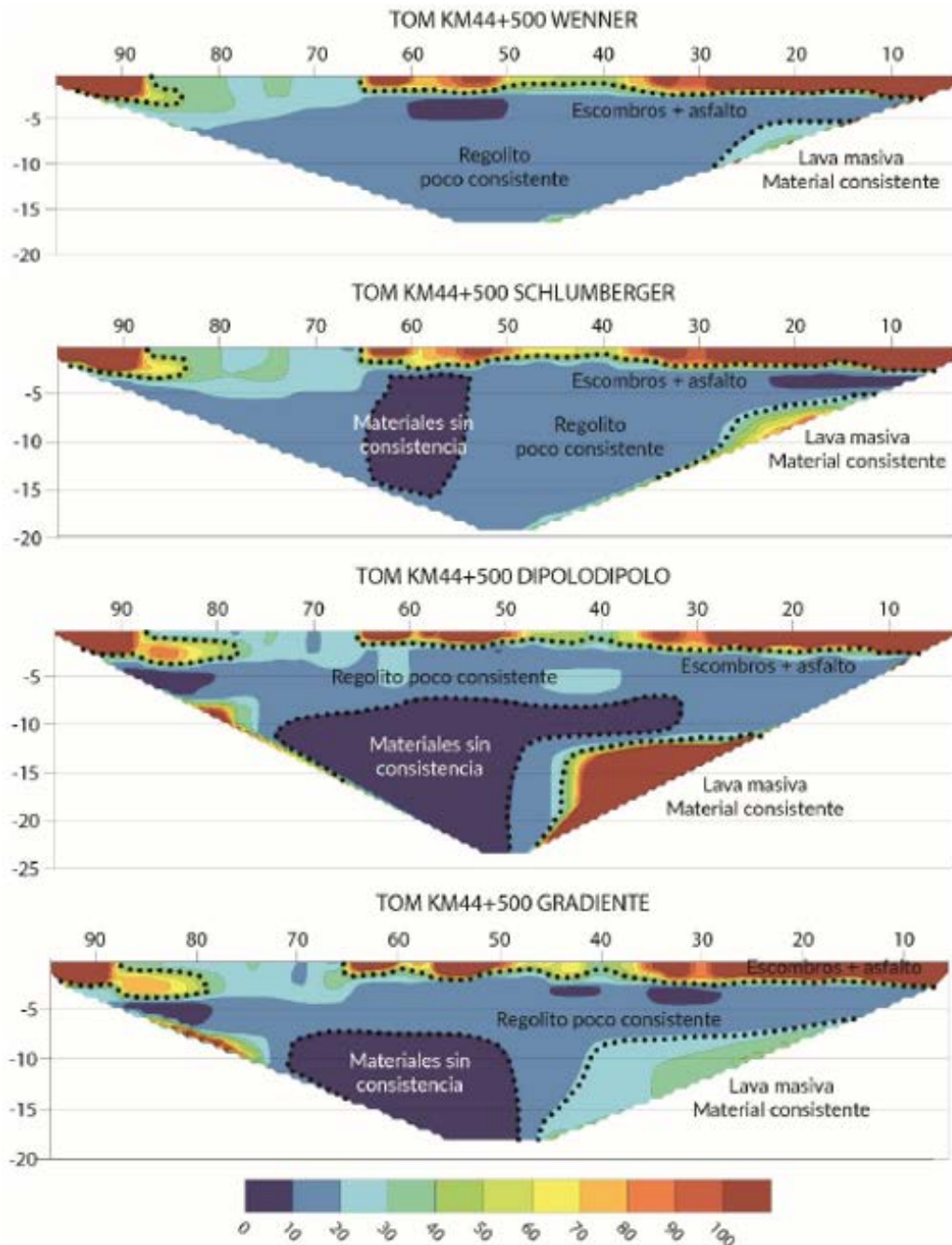


Figura 68. Resultados obtenidos de la geofísica realizada, se observan varias estructuras en el subsuelo con materiales diversos.

Luego de estudiar las condiciones en la zona del deslizamiento y establecer el sitio apto para el monitoreo se procedió a instalar el equipo de monitoreo geotécnico. Para la instalación de los equipos se realizaron dos perforaciones a rotación con recuperación de núcleo, en la siguiente figura se observa el perfil estratigráfico obtenido del análisis de las muestras recuperadas.

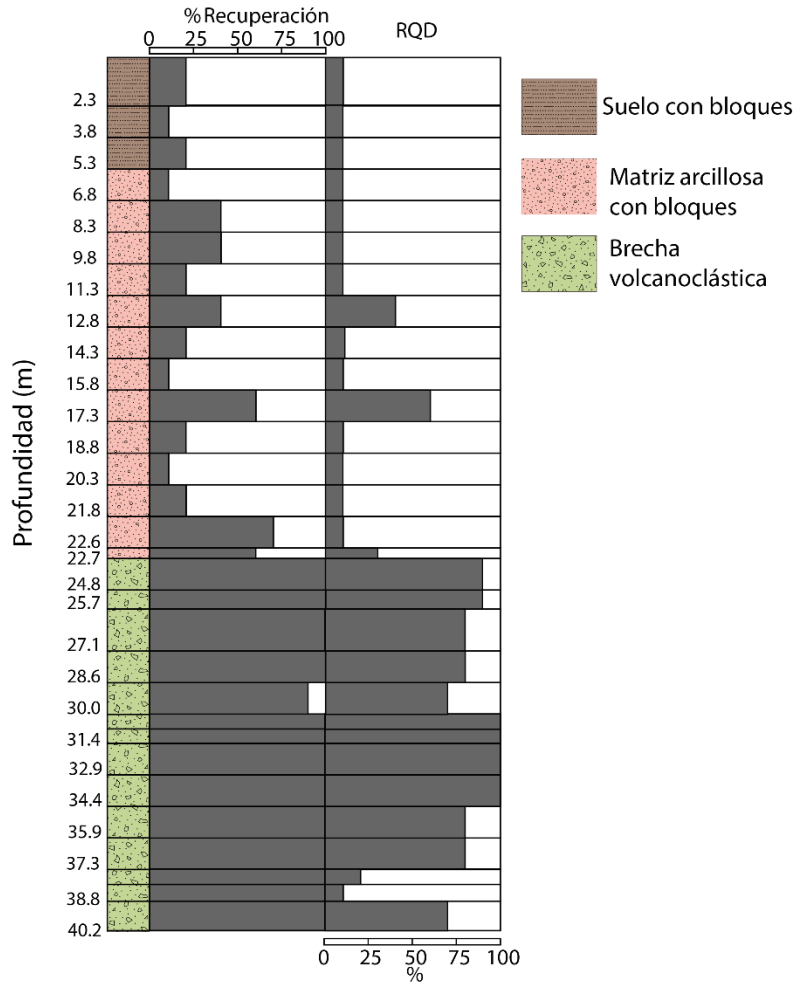


Figura 69. Perfil estratigráfico de la perforación en el km 44+500 de la Ruta Nacional No.27

La descripción general de los materiales encontrados en la perforación del inclinómetro se pueden agrupar en tres diferentes grupos. Estos grupos son claramente distintivos no solo por su litología sino por sus porcentajes de material recuperado y valores de RQD (ver la Figura 69).

Desde la parte superior de la perforación hasta los 5,3 m de profundidad, el primer nivel, los materiales recuperados indican la presencia de un suelo arcilloso con algunos bloques de lava de tamaño centimétricos. La recuperación del núcleo no superó el 20 % y el RQD fue menor de 10 %.

El segundo nivel va desde los 5,3 m de profundidad hasta los 22,76 m, los materiales presentes corresponden con una matriz arcillosa y bloques de lavas y brechas de tamaños que varían entre métricos y centimétricos. La recuperación que se dio en este nivel fue menor al 50 % y corresponden con bloques de lava de tamaño métrico. Los valores de RQD



también son muy bajos y solo en secciones con bloques más grandes aumentó su valor, pero, sin superar el 50 %.

El tercer nivel se ubica a partir de los 22,76 m de profundidad y llega hasta el final de la perforación que es a los 40,2 m de profundidad. Se trata de una brecha volcánoclastica cementada. Con una matriz media de coloración morada y con bloques de lava que varían de métricos a centimétricos. Esta brecha al estar cementada favoreció que se obtuvieran altos porcentajes de recuperación en los núcleos. La recuperación en este tercer tramo es casi de 100 % en todas sus secciones excepto por el tramo entre 28,6 y 30,0 m. Los valores de RQD también son muy altos y en casi todos los tramos superan o igualan el 75 %.

El contacto entre el segundo y tercer grupo está muy bien diferenciado, la sección entre 21,8 y 22,7 representa la fase de transición. Al ser el material inferior más homogéneo, masivo y estar cementado se esperaría que sirva como la superficie de deslizamiento del relleno arcilloso con bloques que se encuentran sobreyaciéndolo.

La descripción realizada de la litología, los porcentajes de recuperación y RQD sirven para correlacionar y explicar los datos obtenidos en las distintas mediciones que se han hecho en el inclinómetro. En la siguiente figura se muestra una sección transversal perpendicular a la carretera. Se aprecia la localización de la tubería inclinométrica con respecto a la grieta en la superficie y la carretera.

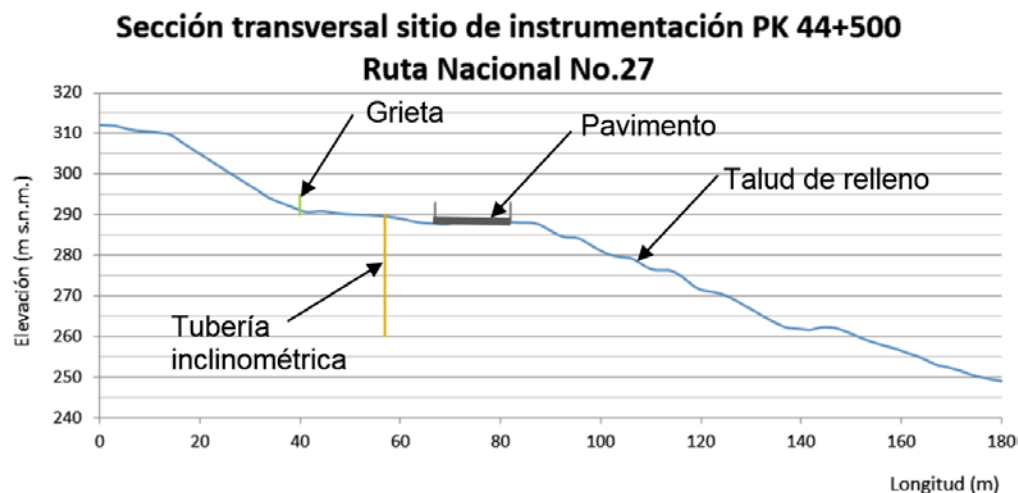


Figura 70. Sección transversal perpendicular a la Ruta Nacional No.27, topografía existente al inicio del monitoreo

El equipo instalado consiste en dos tuberías, una para la medición del nivel freático con la sonda piezométrica y otra tubería para la lectura de desplazamientos mediante una sonda inclinométrica. La primera lectura con estos equipos fue realizada el 31/10/2018.



A lo largo de un año funcionarios del LanammeUCR visitaron periódicamente el sitio para realizar mediciones, así como identificar y registrar los cambios que tuvieran lugar tanto en el terreno como en el pavimento y en las obras de estabilización que el Concesionario estuvo construyendo al costado del relleno durante el mismo periodo. Los resultados más relevantes del trabajo de monitoreo se presentan en las siguientes figuras. En la Figura 71 se muestra el cambio horizontal registrado en el perfil de la perforación, el cual fue obtenido mediante las lecturas con la sonda inclinométrica.

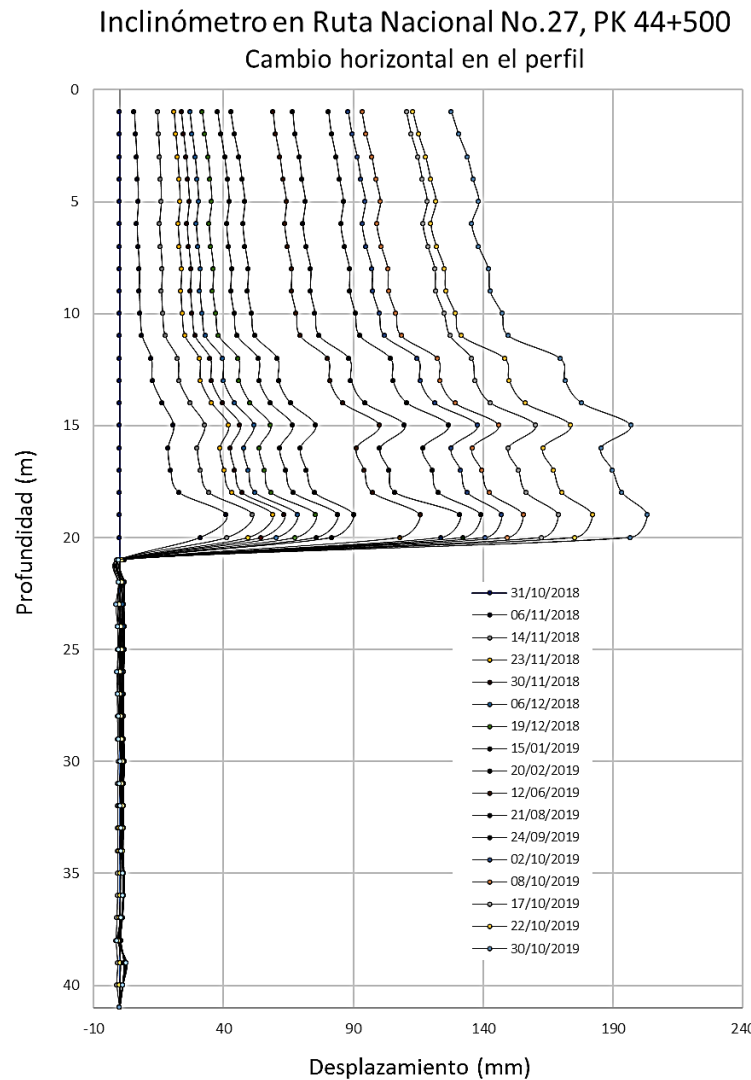


Figura 71. Sección transversal perpendicular a la Ruta Nacional No.27, topografía existente al inicio del monitoreo

En la figura anterior se observa que desde la superficie y hasta los 21 m de profundidad, se han presentado desplazamientos horizontales de diversa magnitud. El mayor desplazamiento se registra a los 19 m de profundidad con un desplazamiento total



de 18,2 cm. Mientras que, por debajo de los 21 m de profundidad, prácticamente no se registran movimientos.

En la Figura 72 se presenta la evolución de la velocidad de desplazamiento a diferentes profundidades. Al inicio del periodo de monitoreo a finales del año pasado se registraron velocidades que superaron los 45 mm/semana, para entonces el Concesionario iniciaba con los trabajos de estabilización del relleno. Las primeras lecturas registran las velocidades de desplazamiento más elevadas, registrando al inicio más de 6 mm/día en la zona de falla. Se debe tomar en cuenta que en las primeras lecturas el terreno experimenta reajustes producto de la perforación realizada para instalar las tuberías, hecho que puede influir en los desplazamientos iniciales detectados. Por otra parte, estas primeras lecturas fueron realizadas al final de la estación lluviosa del año 2018, por lo que los materiales tienen mayor cantidad de humedad, favoreciendo los movimientos de la masa de suelo y rocas sobre la zona de falla.

Posterior a esa etapa inicial la tendencia es una disminución en la velocidad de desplazamiento, alcanzando una zona de velocidad baja pero constante de aproximadamente 0,17 mm/día, luego de aproximadamente cuatro meses de monitoreo.

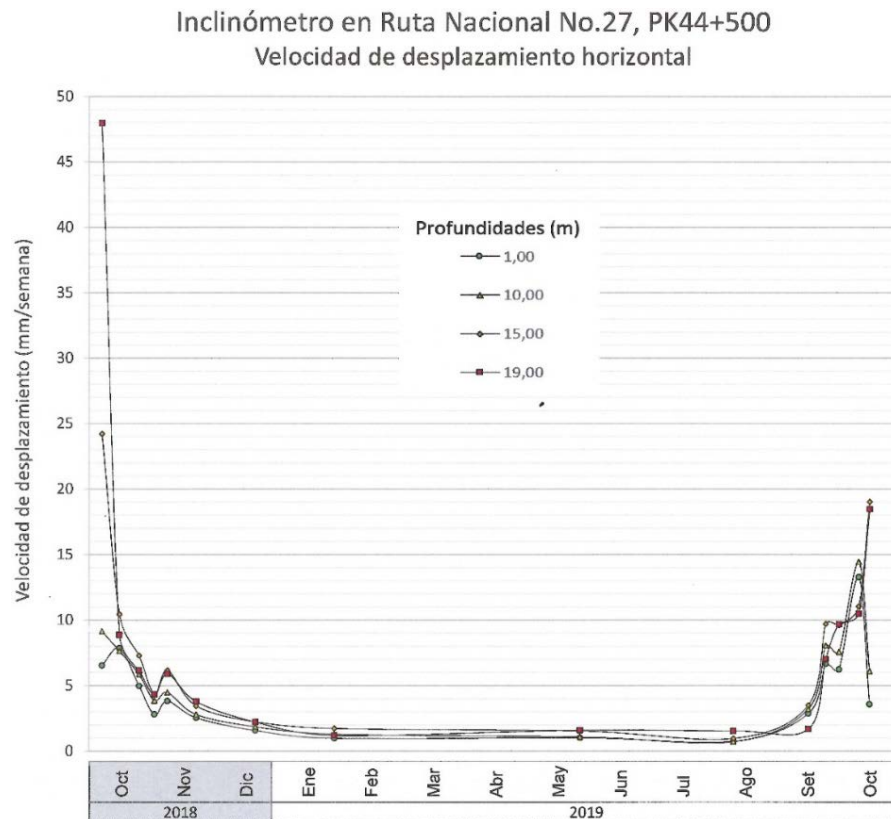


Figura 72. Velocidad de desplazamiento de la tubería de la sonda inclinométrica en el deslizamiento del PK 44+500



Al final de la estación lluviosa del 2018 y con el inicio de la estación seca posterior se observó una disminución en la velocidad de desplazamiento en todas las profundidades. Durante la estación seca del año 2019 (enero – mayo 2019) la velocidad disminuyó hasta el orden de los 2 mm/semana, sin embargo, según estos registros el movimiento nunca se detuvo, incluso con la disminución de las lluvias.

Con el incremento de las lluvias en el mes de setiembre del 2019 se observó un incremento importante en la velocidad de desplazamiento, alcanzando los 19 mm/semana en la última medición.

La información derivada del monitoreo coincide con el comportamiento de las grietas que se forman en el pavimento producto de la inestabilidad del relleno. Esta inestabilidad se confirma con los deterioros que se han presentado en la fachada del muro anclado y en la viga de coronación de la pantalla de pilotes que el Concesionario construyó en este sitio.

5.4.1 Monitoreo del nivel piezométrico

Durante las giras de campo realizadas en el 2019 y 2020 se han realizado mediciones en una perforación piezométrica ubicada en el sitio donde se encuentra la perforación del inclinómetro. La profundidad máxima de esa perforación es de 24 m.

Se registra también si se observa agua saliendo de los drenajes subhorizontales que se encuentran en la fachada del muro anclado.

En la tabla 12 se muestran los resultados de las mediciones realizadas hasta junio del 2020 en el piezómetro y el reporte de las observaciones en los drenajes subhorizontales del muro anclado.



Tabla 12. Comparación de datos de estación ubicada en Balsa y el nivel freático medido en la perforación en el estacionamiento 44+500.

Año	Mes	Estación Balsa (mm/lluvia)	Profundidad del nivel freático Perforación (m)	Observaciones en drenajes
2019	Enero	0,0	No se realizó medición	-
	Febrero	0,0	No se realizó medición	-
	Marzo	15,6	No se realizó medición	-
	Abril	1,0	No se realizó medición	-
	Mayo	523,2	No se realizó medición	-
	Junio	233,0	23,75	Se observa agua saliendo
	Julio	154,2	No se realizó medición	-
	Agosto	150,0	23,92	Se observa agua saliendo
	Septiembre	285,2	23,75	Se observa agua saliendo
	Octubre	354,0	23,74	Se observa agua saliendo
	Noviembre	129,0	23,80	Se observa agua saliendo
	Diciembre	5,4	25*	No hay agua
2020	Enero	23,2	25*	No hay agua
	Febrero	1,2	No se realizó medición	-
	Marzo	11,6	No se realizó medición	-
	Abril	62,6	25*	No hay agua
	Mayo	Sin dato	No se realizó medición	-
	Junio	Sin dato	25*	Se observa agua saliendo

Nota: *25 Se utiliza ese dato, asumiendo que el nivel freático está por debajo de 25 m de profundidad.

La perforación donde se realizan están mediciones tiene una profundidad de 24 m. Las primeras mediciones en este pozo se realizaron en el mes de junio del 2019. En la siguiente figura se presentan los datos de lluvia y nivel piezométrico obtenidos del monitoreo del km 44+500 de esta Ruta Nacional.

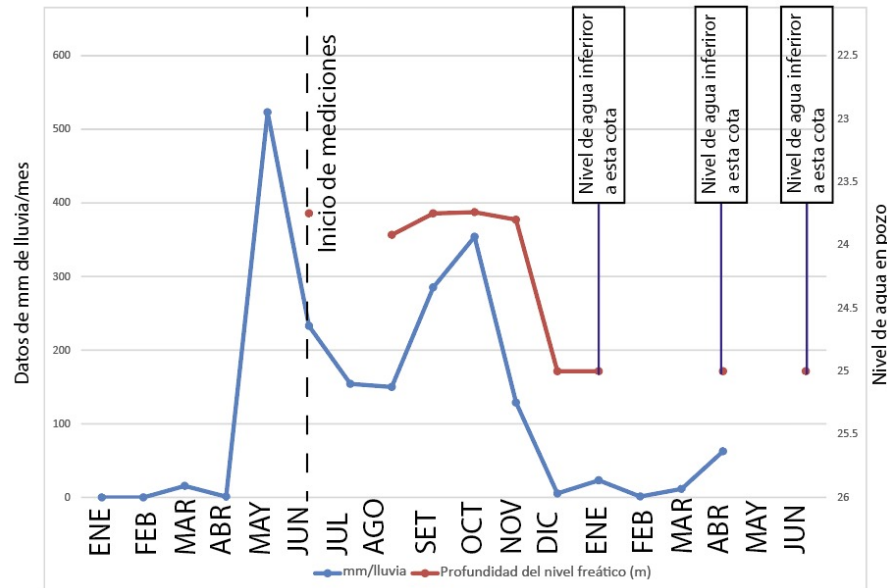


Figura 73. Lluvia y profundidad de nivel freático en perforación ubicada en estacionamiento 44+500

Aunque solamente se tienen unos pocos registros del piezómetro, se observa una relación entre los niveles de agua más superficiales con los meses de mayores precipitaciones registradas (entre agosto y noviembre del 2019). Con los datos que se puedan recolectar durante el 2020, se podrá determinar si se confirma este comportamiento.

5.4.2 Condición actual

En las giras de evaluación realizadas en este año 2020 se han identificado deterioros en el pavimento que evidencian movimiento en el terreno. Se observó que en el carril externo que va en sentido Caldera - San José el Concesionario ha realizado bacheos para nivelar la superficie de ruedo debido a los hundimientos que se continúan presentando en este sector, estos deterioros se presentan en las siguientes figuras.



Figura 74. Dentro del polígono de color amarillos se muestra el hundimiento principal en la ruta, se localiza en carril con sentido San José – Caldera.



Figura 75. Baches de asfalto colocados para nivelar los hundimientos en el carril externo en el sentido Caldera- San José.



Figura 76. Fotografías donde se observa agua saliendo de los drenajes en el frente del muro anclado.

El flujo de agua que se observa en la figura anterior evidencia que en el sitio hay humedad y flujos de agua en profundidad que pueden influir en el comportamiento del relleno y el muro anclado. En el sector sur del muro anclado se han observado grietas que se forman al pie del muro, tal como se aprecia en la siguiente figura, se observa la separación que hay entre la parte inferior del muro y la cuneta al pie del mismo.



Figura 77. Grieta al pie del muro anclado construido en el estacionamiento 44+500..



5.5 Evaluación talud en PK 47+000

En este estacionamiento se localiza una sección de corte cajón en los taludes de la carretera. Este es uno de los taludes donde hay presencia confirmada de drenaje ácidos de roca según los estudios de Ruiz et al., 2015 y Aguilar 2017. Este proceso provoca deterioro prematuro del concreto lanzado del talud del lado derecho y de las cunetas del lado izquierdo.

Los niveles de acidez del macizo rocoso en este sector han provocado durante años un deterioro acelerado del acero y del concreto lanzado que el Concesionario colocó en el talud al costado derecho en el sentido San José – Caldera.

En este talud el deterioro ha consistido en corrosión en el acero de la malla electro soldada y en los pines de varilla empleados para el anclaje de la malla, así mismo el concreto ha sufrido pérdida del componente calcáreo debido a la reacción con el ácido del talud. Estas reacciones afectan el concreto y provocan pérdida de ductilidad en el acero.

En las siguientes figuras se observa la condición actual del talud y algunos de los deterioros que se han logrado identificar.



Figura 78. PK 47+000 Algunos deterioros observados en el concreto lanzado



Figura 79. PK 47+000 Vista general de la condición actual del talud



Figura 80. PK 47+000 Deterioro en el acero que está en contacto con el medio ácido del talud



Figura 81. PK 47+000 Manchas amarillentas características de depósitos generados en medios ácidos, lo que genera deterioro acelerado del concreto

Según se pudo observar, el concreto y el acero continúan presentando daños por el deterioro acelerado debido al DAR. Algunas zonas han sido intervenidas por el Concesionario, sin embargo, en estas nuevas intervenciones continúan empleando los mismos materiales que han demostrado que no reúnen las condiciones para ser utilizados en medios ácidos, tal como sucede en este sector de la carretera (ver la siguiente Figura).



Figura 82. Sección intervenida recientemente, se sustituyó una parte del concreto lanzado en el talud



El acero que está en contacto directo con el suelo y la roca del talud presenta un alto grado de oxidación y corrosión con la correspondiente pérdida de sección transversal, el concreto por su parte presenta mayor porosidad y coloración naranja y amarillenta.

Es de esperar que al colocar los mismos materiales en el mismo medio ácido se produzca nuevamente un deterioro acelerado de las intervenciones que ha realizado recientemente el Concesionario.

El riesgo para los usuarios se deriva de la probabilidad de que bloques de concreto, roca y suelo caigan en la carretera, una vez que el deterioro produzca su caída, tal y como ha sucedido en el talud del estacionamiento 38+600 de esta misma carretera, sitio en el que se presenta también Drenaje Ácido de Rocas.

Se recomienda realizar un estudio integral que considere el medio ácido que existe en este tramo de carretera, así como sus efectos en la durabilidad de los materiales que son empleados en las soluciones geotécnicas. El fin último de estas soluciones es brindar seguridad a los usuarios y reducir lo máximo posible el riesgo de sufrir accidentes por caída de materiales en la carretera.



Figura 83. Grietas observadas en el concreto lanzado del talud en el estacionamiento 47+000

En el talud al costado izquierdo de la carretera (sentido San José – Caldera) se continúan presentando deterioros por erosión del terreno. En ese talud la cuneta de la



primera berma ha colapsado desde hace varios años sin que haya sido reparada. Actualmente el agua cae directamente a la zona baja del talud generando erosión en ese sitio, tal como se aprecia en la siguiente figura se observa el deterioro y la pérdida de continuidad en la cuneta colocada para el manejo del agua superficial en el talud.



Figura 84. Condición actual del talud al costado derecho del estacionamiento 47+000, sentido Caldera – San José.

5.6 Evaluación talud en PK 73+000

En este sitio se localiza un talud de corte al costado derecho de la carretera, sentido San José – Caldera. El grado de meteorización que presenta el macizo lo hace susceptible a la erosión eólica e hidráulica. Esta condición provoca la caída no solo de sedimentos finos al pie del talud, sino que algunos bloques de roca sufren socavación del material que los soporta, por lo que se genera también la caída de estos bloques de tamaños decimétricos y métricos.

No se observa en el sitio ningún sistema o material que prevenga la caída de estos bloques de roca, la única barrera existente son las barreras tipo New Jersey de concreto que el Concesionario ha colocado al pie del talud, con el fin de disminuir la probabilidad de que una roca que se desprenda del talud impacte a los usuarios en la carretera.



Figura 85. PK 73 +000. Barrera de concreto colocada al pie del talud a modo de barrera de control de caídos.

A pesar de la colocación de estas barreras, el riesgo para los usuarios continúa latente, ya que estas barreras no están diseñadas o fabricadas para contener un deslizamiento o la caída de bloques de roca. Adicionalmente, estas barreras son un mecanismo pasivo al pie del talud, no existe un mecanismo (malla u otro sistema) que atenúe la caída de las rocas, las cuales pueden eventualmente pasar por encima de la barrera y caer en la carretera.

Por otra parte, estos obstáculos han permanecido colocados por largos periodos de tiempo en la zona del pavimento que corresponde al espaldón, por lo tanto, reducen el ancho disponible para que los usuarios utilicen este espacio previsto en el diseño de la carretera para otros fines de seguridad. La caída de estos materiales produce socavación en los bloques de roca que se localizan en la parte alta del talud, estos bloques caen eventualmente en la carretera y representan un riesgo para la seguridad de los usuarios.



Figura 86. PK 73 +000. Acumulación de materiales finos al pie del talud.



6 EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL Y MOVILIDAD

6.1 Generalidades

La evaluación de seguridad vial y movilidad del periodo 2019-2020, en aras de ampliar las temáticas comprendidas en la evaluación 2018-2019, incorporó la componente de accidentabilidad, esto mediante la inspección de sitios de concentración de choques viales, identificados por Moya (2019) con modelos bayesianos multivariados para la vía principal.

De forma complementaria a la inspección de sitios de concentración de choques viales, se inspeccionaron las radiales, esto para identificar posibilidades de mejora en estos conectores. Las auscultaciones se realizaron mediante la generación de videos de las secciones transversales de la vía, recopilados el 16 de abril y 5 de junio del 2020.

Adicionalmente, se plantearon observaciones complementarias sobre condiciones generales de la ruta, las cuales permiten ampliar la visión de las posibilidades de mejora de la vía, tanto para su estado actual como para futuras ampliaciones.

6.2 Inspección de sitios de concentración de choques viales

La priorización de sitios de concentración de choques viales se enfocó en la selección de 2 tramos en sección tipo autopista y 2 tramos en vías de 1 carril por sentido, esto según la priorización realizada por Moya (2019). Esta priorización permitió identificar deficiencias generales en distintos entornos viales, que se repiten en todo el proyecto.

Tabla 13. *Tramos de concentración de choques viales inspeccionados*

ID	Estación inicial	Estación final	Ubicación inicial	Ubicación final
1	2+580	3+800	Conexión RN39-RN27	Peajes Escazú
2	10+740	11+120	Cercanías Radial Lindora	Cercanías Radial Lindora
3	30+800	31+860	Puente Río Grande	Peajes Radial Atenas
4	45+180	46+580	Puente Río Concepción	1,5 km Oeste Puente Río Concepción

Nota: Basado en Análisis de choques en la Ruta 27 usando modelos multivariados (Moya, 2019). El estudio de Moya (2019) se basó en una serie histórica de choques viales del periodo 2010 – 2014, sin embargo, al no presentarse cambios en la geometría de la vía desde su apertura, se asume que el patrón de accidentabilidad se mantiene similar a la fecha y que los riesgos se mantienen en el tiempo.

6.2.1 Tramo 1: Conexión RN39 – RN27 – Peaje Escazú, Estación 2+580 – 3+800

6.2.1.1 Generalidades

El tramo 1 presente en la Figura 87, se extiende desde la conexión entre la Ruta Nacional 39 y Ruta Nacional 27, hasta las cercanías del peaje de Escazú. Este presenta una configuración geométrica que, en general, consiste de 3 carriles por sentido, con una barrera de concreto como divisoria de los sentidos del flujo vehicular, con presencia de accesos a radiales, bahías de autobús, espaldones reducidos y cunetas con sección transversal triangular.

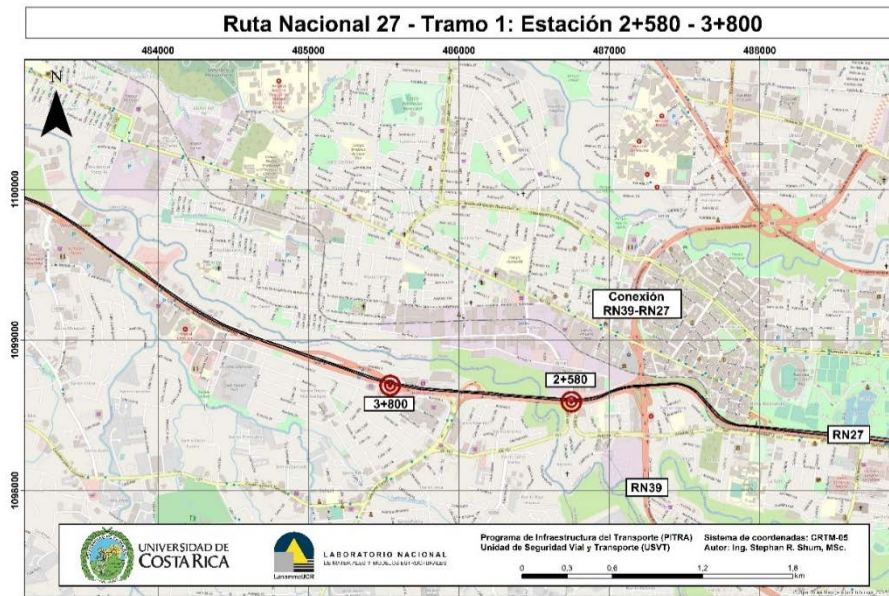


Figura 87. Tramo concentración de choques viales: Estación 2+580 – 3+800

6.2.1.2 Geometría

En la Figura 88 se aprecia la conexión entre RN39 – RN27, en sentido hacia el oeste. Este punto de convergencia de ambas rutas presenta deficiencias en la longitud de aceleración para transicionar de la RN39 hacia la RN27, aunado a la pendiente negativa que propicia altas velocidades de operación.



Figura 88. Conexión RN39 – RN27



Según el Manual Centroamericano de Normas y Diseño Geométrico de Carreteras de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA, 2011), la extensión de la longitud del carril de aceleración se rige por la Tabla 2. Al verificar la distancia necesaria para conectar una vía de 80 km/h (RN 27) y con una de 30 km/h (radial RN39), se requiere una extensión de 165 m.

La necesidad del carril de aceleración se observa en el comportamiento de los usuarios de la rampa, que deben detenerse en el CEDA para incorporarse a la vía, mientras los usuarios del carril externo de la ruta principal deben reducir la velocidad o cambiar de carril de forma abrupta, lo cual genera maniobras de alto riesgo a altas velocidades.

Tabla 14. Longitudes mínimas para carriles de aceleración

		Longitud de Aceleración, L_a , en metros Para la Velocidad de Diseño (km/h) de la Curva de Entrada							
Velocidad de Diseño de la Carretera, en km/h	Velocidad de Incorporación a la Carretera, en km/h V_a	0	20	30	40	50	60	70	80
		Velocidad en Inicio de Carril de Aceleración, $V'a$ km/h							
		0	20	28	35	42	51	63	70
50	37	60	50	30	-	-	-	-	-
60	45	95	80	65	45	-	-	-	-
70	53	150	130	110	90	65	-	-	-
80	60	200	180	165	145	115	65	-	-
90	67	260	245	225	205	175	125	35	-
100	74	345	325	305	285	255	205	110	40
110	81	430	410	390	370	340	290	200	125

Nota: Tomado de Manual Centroamericano de Normas y Diseño Geométrico de Carreteras. SIECA, 2011.

6.2.1.3 Bahías de autobús

El proyecto mezcla en general dos ambientes viales, una vía principal con características y velocidades de autopista, y una parada de autobús que genera una dinámica de movilidad urbana de usuarios donde se requieren bajas velocidades para disminuir el riesgo para las personas, condición que se observa en la Figura 89.



Figura 89. Bahía de autobús sobre vía principal tipo autopista

En condiciones ideales, una bahía de autobús no debe colindar directamente con una autopista, esta debería ubicarse en una vía marginal de baja velocidad o dotarla de una división física segura, con carriles de aceleración y desaceleración para que el autobús pueda salir de la autopista, detenerse para el abordaje y desabordaje de pasajeros y acelerar hasta la velocidad reglamentaria de la autopista para reincorporarse.

La ausencia de medidas seguras para canalizar a los autobuses, aumenta el riesgo de colisiones laterales y traseras ante los diferenciales de velocidades de los distintos usuarios, eventos que propiciaron la mayor cantidad de choques viales en la zona.

6.2.1.4 Márgenes y sistemas de contención vehicular

En general la Ruta Nacional 27 presenta sistemas de contención metálicos y de concreto, junto a cunetas de sección triangular, como se observa en la Figura 88.

Típicamente los sistemas de contención se ensayan en superficies de suelo granular –para elementos semirrígidos– y en superficies rígidas –como el concreto y pavimento– para los dispositivos rígidos. Por lo tanto, cada sistema debe ser anclado en un material que cumpla con las condiciones ensayadas o según certifique el fabricante para su correcto funcionamiento.

En las proximidades a puentes y pasos a desnivel se aprecian barreras semirrígidas con los apoyos cubiertos en concreto, condición de anclaje que se recomienda verificar. También se observan transiciones entre la barrera metálica y de concreto que, a pesar de contar con una conexión entre los dispositivos, no responde a los diseños típicos de transiciones entre sistemas de contención de distinta rigidez, condición que se observa en la Figura 90.

Al igual que los anclajes, la transición entre distintos dispositivos es de vital importancia para asegurar el comportamiento de los sistemas de contención y debe responder a un certificado de ensayo o a las recomendaciones que los fabricantes autoricen para su funcionamiento.



Figura 90. Sistema de contención vehicular semirrígido y conexión con barrera de concreto

La vía en general presenta discontinuidades en los sistemas de contención vehicular, tanto en medianas como en bordes externos. Estas discontinuidades son generadas por luminarias, pilas de puentes, placas metálicas o bases de señales, como se observa en la Figura 91.

Los sistemas de contención vehicular presentan un comportamiento de “sistema” al mantenerse unidos entre sí, por lo que, al presentarse elementos ajenos al dispositivo, no se tendrá certeza de que este funcione según se ensayó. Adicionalmente, al irrumpir en la continuidad de los sistemas de contención con objetos no diseñados para ser colisionados, se imponen obstáculos que aumentarán la severidad de un posible choque.

Adicionalmente, no se respetan las zonas libres necesarias para que se desarrollen las deflexiones dinámicas y anchos de trabajo de los sistemas de contención. En el caso de la deflexión dinámica para dispositivos semirrígidos, el parámetro puede rondar entre 0,6 m y 2,0, según el Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras, condición que en la Figura 91, se ve obstruida por la base de la señal tipo pórtico.

Otra deficiencia, visible en la Figura 91 y recurrente en el proyecto, consiste en la colocación del sistema de contención vehicular posterior a un riesgo. En este caso se observa la cuneta de previo a la barrera, por lo que un vehículo al salir de la vía, podría perder el control del vehículo en la cuneta y luego colisionar el sistema de contención vehicular en un ángulo que no garantiza su operación segura.



Figura 91. Discontinuidades en sistemas de contención vehicular

6.2.2 Tramo 2: Cercanías Radial Lindora, Estación 10+740 – 11+120

6.2.2.1 Generalidades

El tramo 2, presente en la Figura 92, comprende los alrededores de la Radial Lindora y presenta una configuración geométrica general de 2 carriles por sentido, con una mediana como divisoria de los sentidos del flujo vehicular, accesos a radiales, bahías de autobús, espaldones externos reducidos y cunetas con sección transversal triangular.



Figura 92. Tramo de concentración de choques viales: Estación 10+740 – 11+120

6.2.2.2 Márgenes y sistemas de contención vehicular

Las medianas con presencia de luminarias representan un riesgo a los usuarios de la vía cuando no se contemplan zonas libres disponibles suficientes para que, en caso de



que un vehículo pierda el control, pueda salir de la vía, detenerse y reincorporarse a la vía de forma segura.

Para identificar si un elemento en la margen de la vía se identifica como un obstáculo, se deben seguir los procedimientos planteados en el Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras (Valverde, 2011), sin embargo, en condición rectilínea, se puede utilizar como referencia la Tabla 15.

Tabla 15. *Distancias de zona libre mínima necesarias según velocidad, TPD y pendiente*

Velocidad (km/h)	TPD (veh/día)	ZLMN ₀ (m) según pendiente	
		Negativa	Positiva
<60	< 2000	3,5	3,5
	2000-10000	4,5	4,5
	> 10000	4,5	4,5
60-80	< 2000	5,0	5,0
	2000-10000	5,0	5,0
	> 10000	6,0	5,5
80-100	< 2000	6,5	5,0
	2000-10000	7,5	5,5
	> 10000	8,0	6,0

Nota: Tomado de Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras. Valverde, 2011.

La Figura 93 presenta una sección con luminarias en la mediana. Este tramo tiene una velocidad reglamentaria de 80 km/h, un TPD superior a 10000 veh/día y una pendiente negativa, por lo que requeriría de 8 m libres, según la Tabla 13, para considerar que la luminaria no represente riesgo alguno a los usuarios de la vía, condición que en la imagen evidencia una distancia significativamente inferior.

Ante la presencia de obstáculos fijos en las márgenes, se recomienda la aplicación del Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras (Valverde, 2011) para identificar las posibilidades de mejora en este ámbito.



Figura 93. Luminarias en mediana y vía de velocidad reglamentaria de 80 km/h

Respecto a las condiciones de bifurcaciones en la vía, ejemplificadas con la Figura 94, el Manual SCV (Valverde, 2011) indica el uso de atenuadores de impacto cuando no se disponga de un área plana y libre de obstáculos de 60 m a partir del punto de apertura. En el caso ejemplificado, se presenta una cuneta de sección triangular que, al agregar la componente de la alta velocidad permitida en la zona, aumenta la severidad de un choque ante su ocurrencia.



Figura 94. Bifurcación entre Radial y Ruta Nacional 27

Las transiciones entre dispositivos de contención vehicular presentan posibilidades de mejora en todo el proyecto, como se presenta en la Figura 95. Los puntos de cambio de sistema de contención vehicular deben ser diseñados y tienen que utilizar un dispositivo denominado transición, el cual permite reducir la severidad ante una posible colisión en esta zona de cambio de rigidez. A pesar de evidenciar un dispositivo de conexión entre la barrera metálica y el pretil de puente, este elemento no cuenta con las características típicas de un dispositivo de transición que cumpla los criterios del Manual SCV (Valverde, 2011) y de los criterios oficiales de los fabricantes de sistemas.



Figura 95. Conexión barrera semirrígida con pretil de puente y barrera rígida

6.2.2.3 Geometría

El registro de choques analizado por Moya (2019) identificó colisiones por alcance (choque por detrás), colisiones múltiples y atropellos a peatones en el Tramo 2. Esta condición se potencia al contar con deficiencias geométricas, como lo son la ausencia de carriles de aceleración y desaceleración y la presencia de bahías de autobús sobre la autopista, lo que supone faltó o bien no se realizó la actualización de estudios de movilidad peatonal.

La Figura 96 evidencia la unión de un carril de aceleración de longitud reducida con una bahía de autobús. Esta condición responde de forma errada a las necesidades de cada usuario, ya que, el usuario del carril de aceleración requiere aumentar su velocidad para incorporarse a la vía y el autobús, al incorporarse a la bahía, requiere detenerse para el abordaje y desabordaje de pasajeros.

Se recomienda canalizar las bahías de autobús mediante rutas marginales de baja velocidad o mediante bahías con división física de la autopista y suficiente distancia de desaceleración y aceleración para su transición segura hacia y desde la autopista. Adicionalmente, el carril de aceleración nunca debe traslaparse con accesos o bahías de autobús, ya que aumenta los conflictos entre los distintos usuarios.



A nivel de atropellos, se recomienda realizar un análisis de movilidad peatonal en el tramo, que permita identificar los flujos peatonales, trayectorias y los puntos de generación y atracción de viajes, y que se verifique la presencia de infraestructura peatonal acorde a sus requerimientos.



Figura 96. Puente peatonal, bahía de autobús y carril de aceleración

De forma complementaria, la Figura 96 también evidencia la ausencia de un sistema de contención vehicular en la mediana, donde existe la posibilidad de colisión a la base del puente peatonal y luminarias, por lo que es necesario colocar sistemas de contención para reducir la severidad de los posibles choques.

6.2.3 Tramo 3: Puente Río Grande – Radial Atenas, Estación 30+800 – 31+860

6.2.3.1 Generalidades

El tramo se extiende desde el puente Río Grande hasta la Radial Atenas, como se observa en la Figura 97. Se segmenta en un primer tramo con una configuración geométrica de 1 carril por sentido con espaldones externos reducidos y cunetas con sección transversal triangular. El segundo tramo corresponde a la sección de la Radial Atenas donde se presentan 2 carriles por sentido con una mediana como divisoria de los sentidos del flujo vehicular.



Figura 97. Tramo de concentración de choques viales: Estación 30+800 – 31+860

6.2.3.2 Márgenes y sistemas de contención vehicular

Como se comentó ampliamente en las Secciones 1.2.1 Tramo 1: Conexión RN39 – RN27 – Peaje Escazú, Estación 2+580 – 3+800 y 1.2.2 Tramo 2: Cercanías Radial Lindora, Estación 10+740 – 11+120, las deficiencias en las márgenes son repetitivas en la vía.

En particular la Figura 98 evidencia un elemento de conexión entre la barrera semirrígida y el pretil de puente con condiciones distintas a los diseños típicos de transiciones. Adicionalmente, se presenta un bordillo en el puente, que propicia el volcamiento de vehículos al aproximarse al escaso espacio de espaldón. Estos bordillos han sido vetados según las buenas prácticas de diseños seguros de puentes, ya que no cumplen ninguna función específica; más bien aumentan el riesgo ante un impacto por el efecto de volcamiento o desestabilidad del vehículo y reducen la altura efectiva al pretil o barrera del puente. Además, de haber peatones en la zona, estos suelen utilizarlo como si fuese una acera, aumentando así el riesgo de alta severidad ante un choque vial.



Figura 98. Conexión barrera semirrígida con pretil de puente

Adicionalmente, es recurrente la presencia de barreras de concreto aisladas y sin terminales adecuadas, elementos que, por su corta extensión en la vía, no es claro el riesgo que protegen, condición que se observa en la Figura 99. Cabe destacar que un sistema de contención vehicular de concreto, para que funcione como elemento rígido, con deflexiones menores a 0,6 m, debe anclarse a la vía, en caso contrario, este funcionará como un dispositivo semirrígido, con deflexiones superiores.



Figura 99. Barreras de concreto aisladas

Ante la presencia de barrera de concreto aisladas en toda la vía, se recomienda valorar su funcionalidad y retirarlas en caso necesario. Esta medida permitirá liberar el escaso ancho de espaldón disponible, así como evitar la colisión contra estos elementos, donde resalta como principal riesgo la ausencia de terminales adecuados en ambos extremos, condición que aumentaría la severidad de un posible choque en ambos sentidos de la barrera.

En una vía de alto estándar de seguridad vial es imperativo el uso de amortiguadores de impacto en puntos de alto riesgo, como el de la Figura 100, donde se presentan elementos de concreto que funcionan como terminales, pero que generan riesgos a los usuarios de la vía, ya que, por la geometría, podría funcionar como una rampa y aumentar la severidad de un posible choque. A pesar de que la Figura 100 es del año 2010, evidencia la ocurrencia de colisiones contra este elemento. El elemento retrorreflexivo, que fue colocado como medida correctiva, ayuda a que este elemento de concreto sea más visible para los usuarios, sobre todo en condición nocturna o condiciones climáticas adversas; sin



embargo, no protege a los usuarios ante un impacto, por lo que sigue siendo un sitio de alto riesgo.



Figura 100. Terminal de concreto en mediana

Nota: Imagen obtenida en gira a Ruta Nacional 27 el 27 de octubre del 2010.

Al ubicar elementos entre la barrera medianera o cercanos a los distintos dispositivos de contención vehicular, se invade el espacio necesario para que el sistema de contención vehicular desarrolle su deflexión dinámica y ancho de trabajo. Esta condición conlleva a afectaciones en el comportamiento del dispositivo, e inclusive, en aumentar la severidad de posibles choques viales.

En la Figura 101, a pesar de mostrar deficiencias en una sección fuera del Tramo 3, se replican los mismos riesgos, donde la barrera mediana se ve interrumpida por las bases de las señales tipo pórtico, por placas metálicas, luminarias y pilas de puentes, lo cual pone en riesgo a los usuarios de la vía y a las mismas estructuras.



Figura 101. Discontinuidades en barreras medianas

Nota: Generado a partir de levantamiento GEO-3D. UGERVN, 2018.



Sumado a las discontinuidades, se colocaron secciones cortas de barrera metálica para proteger las pilas de los puentes y algunas bases de las señales tipo pórtico, condición que no responde a un uso correcto del dispositivo.

Adicionalmente, elementos como las bases de concreto de las señales tipo pórtico, reducen el escaso espacio destinado al espaldón interno, por lo que se presenta una mayor proximidad entre los obstáculos y el flujo vehicular del carril interno, condición que aumenta la probabilidad de una colisión.

En general los peajes de la vía presentan elementos de concreto que protegen las casetas de peaje, como se observa en la Figura 102. Sin embargo, este obstáculo no es un elemento ensayado para ser colisionado de forma segura por un vehículo y aumenta el riesgo de choque frontal abrupto.

En una ruta tipo autopista, donde las velocidades de operación son altas, es recomendable el uso de amortiguadores de impacto, dispositivo que debe utilizarse en las aproximaciones a los peajes, o en el caso ideal, el uso de peajes automáticos que no requieran de casetas, de forma que se elimine el riesgo en la vía causado por estos elementos.



Figura 102. Peaje aledaño a Radial Atenas, inmediación a la estación 32+000
Nota: Generado a partir de levantamiento GEO-3D. UGERVN, 2018.

6.2.4 Tramo 4: Inmediaciones puente río Concepción, Estación 45+180 – 46+580

6.2.4.1 Generalidades

El Tramo 4, presente en la Figura 103, se ubica desde el puente río Concepción hasta aproximadamente 1,5 km hacia el oeste. Presenta una sección sinuosa, acompañada de secciones variables de 2 a 3 carriles en total y taludes rocosos en los márgenes con cunetas de sección triangular.



Figura 103. Tramo de concentración de choques viales: Estación 45+180 – 46+580

6.2.4.2 Márgenes y sistemas de contención vehicular

La Figura 104 evidencia la presencia de barreras de concreto de forma discontinua, algunas deterioradas y con terminales en forma de rampa, se desconocen las razones para colocar estos elementos de esta forma, condición que representa riesgos para los usuarios. Se recomienda realizar un análisis de márgenes que identifique la necesidad de estos elementos y realizar mantenimientos periódicos para sustituir los elementos deteriorados.

Adicionalmente, en este tramo se identificaron choques viales cuya causa fue la caída de objetos, donde se asume material del talud rocoso. Se recomienda realizar los especificado en la Sección “6. Condiciones Geotécnicas y Sistemas de drenaje”.



Figura 104. Barreras de concreto aisladas, deterioradas y con discontinuidades

Al igual que en las secciones previas, se recomienda verificar las transiciones entre los distintos sistemas de contención vehicular, en el caso específico de la Figura 105, la conexión entre el sistema de contención semirrígido y el pretil de puente. Este puente



también tiene un bordillo innecesario de ambos lados, lo cual va en detrimento de la seguridad vial ante un posible choque vial.



Figura 105. Conexión barrera semirrígida con pretil de puente y presencia de vehículos pesados

En el Tramo 4, se identificó la presencia de una barrera de concreto, frente a otra barrera de concreto, como se observa en la Figura 106. Esta condición aumenta la ocurrencia de posibles colisiones a la barrera, dado el escaso espaciamiento entre el elemento y el flujo vehicular.

No se conocen las razones técnicas para colocar una barrera de concreto frente a otra, sin embargo, en caso de que la barrera original este deteriorada, esta debe sustituirse, en vez de cubrirla con otro elemento.



Figura 106. Sistemas de contención vehicular de concreto



6.3 Inspección de radiales

Se realizó la auscultación visual de las radiales del proyecto en su totalidad, esto para identificar posibilidades de mejora en estos conectores.

6.3.1 Radial Coyol

La Radial El Coyol conecta la Ruta Nacional 27 con la Ruta Nacional 1 y cuenta con una extensión de 3800 m, donde el uso de suelo es principalmente industrial.

En la Figura 107 se evidencia la demarcación horizontal borrosa en la aproximación a una rotonda de la radial y la ausencia de captaluces, condición que se presenta en distintas secciones del tramo.



Figura 107. Demarcación horizontal borrosa y ausencia de captaluces

A nivel de señalamiento vertical, se identificaron deficiencias en el estado de los viniles, como se observa en la Figura 108. Estos elementos presentan un alto grado de deterioro (por efectos de la intemperie y por su antigüedad), lo cual reduce significativamente su visibilidad por parte de los usuarios, principalmente cuando se conduce en condición nocturna o condiciones climáticas adversas.



Figura 108. Señalamiento vertical deteriorado

De forma análoga a lo expuesto en la Sección 7.2 *Inspección de sitios de concentración de choques viales*, las radiales presentan deficiencias en materia de sistemas de contención vehicular. La Figura 109 evidencia conexiones entre barreras de

concreto y metálicas, sin embargo, estos elementos no presentan una estructura similar a los elementos típicos para transicionar sistemas de distinta rigidez de forma segura.



Figura 109. Conexión entre sistemas de contención de concreto y metálicos

A nivel de discontinuidades de las barreras, Valverde (2011) especifica que deben unirse los tramos de barrera que estén separados por menos de 50 m, condición que no se cumple en la Figura 110, donde la discontinuidad de las barreras aumenta el riesgo ante un posible evento de salida de vía, donde se podría presentar el volcamiento de un vehículo o la colisión de una luminaria.



Figura 110. Discontinuidades en sistemas de contención vehicular

6.3.2 Radial Turrúcares

La Radial Turrúcares conecta la Ruta Nacional 27 con el poblado de Turrúcares y cuenta con una extensión de 200 m.

Dentro de las deficiencias observadas, resalta la demarcación horizontal borrosa y la ausencia de captaluces, como se observó en la Sección 7.3.1 *Radial Coyol* y en las rotondas de la Radial Turrúcares, como se observa en la Figura 111.

Asociado a la demarcación horizontal, se recomienda realizar mantenimientos oportunos para evitar la ausencia de demarcación o la reducción de su visibilidad; y en el caso específico de los captaluces se recomienda identificar el motivo del desprendimiento de los dispositivos, sustituir aquellos que se identifiquen como dañados y realizar labores de mantenimiento para colocar los faltantes.



Figura 111. Demarcación horizontal borrosa

Las rotondas de la radial también presentan señalamiento vertical borroso. Por auscultación se percibe un alto grado de desgaste del vinil y pérdida de sus propiedades retrorreflectivas, motivo por el cual se recomienda valorar la vida útil del material retrorreflectivo para determinar si requiere de labores de mantenimiento, o bien, su sustitución inmediata, tal y como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 112. Señalamiento vertical deteriorado

6.3.3 Radial Atenas

La Radial Atenas conecta la Ruta Nacional 27 con el poblado de Atenas y cuenta con una extensión de 3300 m, donde los márgenes en general presentan vegetación algunos asentamientos o comercios.

De forma análoga a la Ruta Nacional 27, las aproximaciones a los peajes presentan elementos de concreto pintados de amarillo, como se observa en la Figura 113. Estos elementos aumentan la severidad ante un posible choque frontal y no necesariamente protegerán al personal del peaje.



Figura 113. Aproximaciones a peajes

Las deficiencias en la demarcación son recurrentes en las radiales, como se observó en las secciones previas, sin embargo, en el caso de la Radial Atenas, al momento de la evaluación en campo se presentaron secciones de vía que aún no habían sido demarcados, secciones donde la demarcación horizontal presenta deterioros y tramos sin captaluces, condición que se observa en la Figura 114.



Figura 114. Demarcación horizontal borrosa y ausencia de captaluces

6.3.4 Radial Escobal

La Radial Escobal conecta la Ruta Nacional 27 con el poblado de Escobal y cuenta con una extensión de 400 m, donde las márgenes en general presentan un uso de suelo residencial.



Como se observa en la Figura 115, se repite la deficiencia a nivel de demarcación horizontal en la radial, donde la demarcación es borrosa o inexistente, análogo a la ausencia de captaluces.



Figura 115. Demarcación horizontal borrosa y ausencia de captaluces

6.4 Observaciones complementarias

En aras de complementar oportunidades de mejora del proyecto existente y exponerlas para su consideración en las negociaciones de ampliación de la vía, se plantean observaciones generales del proyecto.

6.4.1 Movilidad

Las dinámicas de movilidad de los distintos usuarios deben atenderse de formas que permitan identificar sus necesidades específicas, por lo que se segmentan las observaciones según usuarios motorizados y no motorizados.

6.4.1.1 Usuarios no motorizados

El diseño de la actual Ruta Nacional 27 sugiere un entorno vial para el desplazamiento de vehículos automotores, de forma predominante; sin embargo, a lo largo de la ruta hay diferentes entornos urbanos y rurales, los cuales generan una necesidad de conectar con lados opuestos de esta vía principal. Es por ello que se requiere de estudios de movilidad de usuarios no motorizados para entender estas necesidades de desplazamiento y proveer la infraestructura y las facilidades adecuadas para su movilidad. Dentro de estos usuarios tenemos prioritariamente a peatones y ciclistas, entre otros medios no motorizados (scooters, patines, motobicis, etc.).

Los requerimientos de los usuarios no motorizados suelen omitirse en los estudios viales, ya que se tiene la concepción de que una carretera es de uso único de los vehículos automotores, lo que propicia conflictos entre los distintos usuarios al operar la vía.

Para evitar la invisibilización de los usuarios no motorizados, se deben realizar estudios de movilidad integrales, que contemplen a los peatones, ciclistas y otros usuarios no motorizados, donde se consideren parámetros como las trayectorias, los orígenes y destinos, características socioeconómicas y de género, percepción, entre otros parámetros



que permitirán una mejor concepción del entorno. De forma análoga, para entender mejor la necesidad de estos usuarios, es de vital importancia la participación ciudadana, de forma que los usuarios identifiquen sus necesidades propias y enriquezcan las propuestas.

El proyecto en términos generales canaliza a los usuarios no motorizados mediante puentes peatonales en diversos sectores de la vía, estos según Montero (2019) presentan algunas de las siguientes deficiencias:

- Ausencia de sistemas de contención vehicular laterales en accesos a puente
- Ausencia de malla de protección
- Ausencia de conexión a infraestructura ciclista o de transporte público
- Ausencia de iluminación en accesos

Estas deficiencias representan riesgos para los usuarios no motorizados, tanto a nivel de seguridad vial como de seguridad social, por lo que se insta a realizar los ajustes necesarios para proveer entornos seguros para los usuarios no motorizados.

En diversos sectores, se evidenció la presencia de bahías de autobús en ambos márgenes de la vía, pero no se presentan condiciones seguras desde el punto de vista vial o social para conectar las trayectorias de los usuarios, por lo que se evidencia falencias en esta área.

6.4.1.2 Usuarios motorizados

Para estimar con mayor certeza la capacidad de la vía para los usuarios motorizados, es indispensable el uso de modelos de demanda de transporte urbano actualizados que permitan identificar los patrones de movilidad y los flujos de los usuarios.

Posterior a la estimación de la demanda de usuarios motorizados, es necesaria la simulación del tránsito, con un programa que permita evaluar las condiciones del proyecto, como peajes, bahías de autobús, interacción de distintos tipos de usuarios, condiciones de congestión, radiales con rotondas, distintos niveles operativos de vías (autopista – entorno urbano), entre otros.

En caso necesario, la simulación debería alcanzar un nivel micro, modelo que permite analizar la interacción entre usuarios de forma detallada.

Estos análisis permitirán una mejor concepción de la vía, identificar la necesidad real de demanda, considerar la demanda latente y definir una geometría suficiente para operar con medidas de desempeño esperados de una autopista, sin requerir implementar medidas paliativas como los carriles reversibles, lo cual genera altos riesgos a nivel de seguridad vial, o alcanzar su capacidad en corto plazo.



6.4.2 Seguridad vial

Tanto para el proyecto vigente, como para su futura ampliación, es necesario realizar mejoras en la gestión de la seguridad vial del proyecto por parte de la Administración, para ello, se propone enfocar el problema de forma reactiva y proactiva.

El enfoque reactivo contempla el uso de datos de choques viales para identificar los sitios de concentración de choques viales, información que permite priorizar las zonas por analizar e intervenir.

De forma complementaria, el enfoque proactivo puede basarse en la aplicación de auditorías de seguridad vial en todas las etapas del proyecto, desde su concepción hasta su operación. Esta actividad permitirá identificar posibilidades de mejora previo a que sucedan choques viales. Adicionalmente, metodologías como el análisis de conflictos permiten identificar zonas conflictivas para los usuarios, sin que estén registradas en boletas de choques viales, por lo que amplía las posibilidades de análisis para resolver las deficiencias en materia de seguridad vial.

6.4.3 Geometría

A nivel geométrico se han evidenciado de forma recurrente las deficiencias en la ubicación de bahías de autobús, el escaso espaldón y las distancias reducidas de carriles de aceleración y desaceleración.

Adicionalmente, se presentan accesos a la vía principal que se realizan de forma directa, condición que se observa en la Figura 116. Esta condición propicia el ingreso y salida de vehículos a la vía, sin medida alguna de seguridad, donde el ángulo de las maniobras y los diferenciales de velocidad propician una alta severidad en los posibles choques viales.

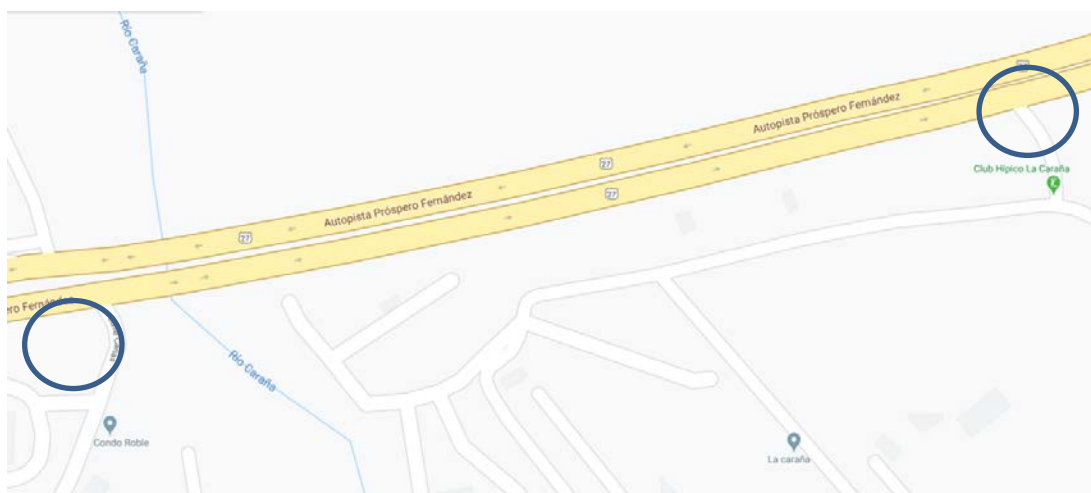


Figura 116. Accesos inseguros a autopista
Nota: Generado a partir de www.maps.google.co.cr. 2020.



En una vía con las condiciones de velocidad presentes en la Ruta Nacional 27, es inadmisibles la presencia de accesos no canalizados, por lo que deben clausurarse los accesos hasta que se pueda proveer de condiciones seguras para su operación.



7 CONCLUSIONES

7.1 Conclusión General

El presente es un informe técnico, reiteramos, se enmarca dentro de las funciones de ente fiscalizador que la 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. Todos estos aspectos no son independientes entre sí, dado que existe una estrecha correlación entre cada uno de ellos y deben ser ponderados dentro del ámbito de un proyecto en concesión de obra pública.

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 42% de la longitud del proyecto, se encuentra en la categoría “Buena”, el 58% restante se clasifica como “Regular”, lo que representa una disminución de esta última categoría en casi 9% con relación a la evaluación anterior (año 2018-2019). 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 ruedo en carretera, dio resultados que señalan que un porcentaje importante (25% de la longitud en el sentido San José - Caldera y un 17% en el sentido contrario) presenta valores ubicados en la categoría de “Muy Deslizante”; y en el sentido San José - Caldera, un 40% se encuentra en la categoría de “Deslizante”. Por su parte, la prueba con el “*MuMeter*”⁸ dio como resultado que un 5% y 7% de la longitud de la troncal principal en cada sentido se encuentra por fuera de los valores estipulados en el contrato.

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

⁸ 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.



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 campaña de evaluación 2018-2019, con una disminución relativa 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 bache y 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. 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 2 tramos críticos, los tramos uno y dos en el sentido Caldera – San José, los cuales alcanzarán un nivel de serviciabilidad límite en el corto plazo (6 y 5 años).

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 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.

Por último, en materia de seguridad vial, el proyecto cuenta con deficiencias generalizadas tanto en la vía principal, como en sus radiales. Las deficiencias presentan posibilidades de mejoras en el diseño geométrico, señalamiento vial y el diseño de los márgenes de carretera y los sistemas de contención vehicular.



7.2 Conclusiones Específicas

7.2.1 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. En comparación con la evaluación del año 2018 - 2019, se detecta una ligera tendencia al deterioro en este parámetro, dado que el porcentaje obtenido de la longitud con deflexiones bajas disminuyó un 5% aproximadamente.

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.

7.2.2 Sobre la condición funcional

En este parámetro, alrededor de un 58% de la longitud de la troncal principal presenta regularidades en el rango de Buena, el restante 42% corresponde a una condición 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 75% de la longitud de cada radial en esta categoría.

7.2.3 Sobre la resistencia al deslizamiento como parámetro de seguridad vial

En el sentido San José – Caldera presenta aproximadamente un 65% entre condición Muy Deslizante y Deslizante según los datos obtenidos con el GripTester, lo que se puede relacionar con niveles bajos de seguridad vial al momento de transitar los usuarios por la superficie de la carretera. El sentido Caldera – San José presenta en términos generales una mejor condición, con un porcentaje aproximado de 40% entre las condiciones *Muy Deslizante* y *Deslizante*.

En lo que respecta a los datos obtenidos con el *MuMeter*, alrededor del 5% y 7% de la longitud de la ruta en cada sentido de circulación, presenta valores fuera de los rangos estipulados en el contrato.

En comparación con la campaña anterior (2018-2019), los valores obtenidos con el Grip Tester han experimentado una disminución en relación con los valores que se clasifican como Muy Deslizante. En el sentido San José – Caldera, la mejor condición superficial de coeficiente de rozamiento se presentó en el periodo 2012-2014, condición que ha sido difícil de mantener en los últimos 5 años.

Queda demostrado con ambos métodos que la ruta muestra un grado importante de incumplimiento en este parámetro.



7.2.4 Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica

Gracias a la información obtenida con el *Equipo de Imágenes Georeferenciadas (Geo3D)* y el uso de *Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT)*, fue posible realizar una evaluación detallada de la totalidad de los deterioros superficiales por medio del Geo3D en las radiales y la evaluación de nueve kilómetros de la troncal principal usando el VANT. La evaluación de los años 2015 – 2018, 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 (2019-2020), dicha tendencia al aumento se mantiene en las radiales.

En la evaluación realizada con VANT se pudo detectar que un alto porcentaje del área de los nueve kilómetros evaluados tienen presencia de Bacheos, lo cual puede llevar a generar puntos de falla para la generación de otros deterioros tales como grietas.

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

7.2.5 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 para la nota Q5. Esto en general refuerza el concepto de que el proyecto presenta una buena condición estructural y funcional, en un porcentaje importante de su longitud. Sin embargo, al comparar las notas obtenidas en campañas de evaluación anteriores, tanto por distribución como por la aparición de nuevas notas (tramos con notas Q5 y Q8 empezaron a aparecer en la evaluación 2015-2016), lo que muestra 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 rueda 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.

7.2.6 Sobre los Modelos de Deterioro

Con la ruta dividida en tramos homogéneos para cada uno de los sentidos y con el modelo de *PSI* desarrollado por el *LanammeUCR* para Costa Rica, el cual utilizada como información de entrada los datos calculados de *IRI* con el perfilómetro láser, se crearon los modelos de deterioro para la troncal principal. Para esta evaluación se obtuvo que los tramos uno y dos en el sentido Caldera – San José, presentarían un valor de *PSI* inferior a 3 en los próximos 6 y 5 años respectivamente si se continúan aplicando las estrategias de mantenimiento que hasta ahora se han venido aplicando, lo que implicaría que para los



años 2025 y 2026 debiera de realizarse labores de rehabilitación mayor para que estos tramos cuenten con un valor de PCI superior a 4

7.2.7 *Sobre las condiciones geotécnicas y sistemas de drenaje*

Como resultado del análisis de los sitios más críticos desde el punto de vista geológico y geotécnico se puede determinar que se sigue evidenciando un mal manejo de del deterioro presentado en los taludes de corte y relleno, obras de estabilización, protección superficial de taludes y sistemas de drenaje para el manejo del agua de escorrentía, lo que ha generado que la condición en los puntos analizados haya presentado deterioro constante a lo largo de los años en que se han estado evaluando y monitoreando.

7.2.8 *Sobre condiciones geométricas de los taludes*

7.2.8.1 *Talud PK 37+500*

En la condición actual, este talud continúa representando un riesgo para los usuarios por caída de suelo y rocas en la carretera, se debe tomar en cuenta la cercanía del talud con la carretera y la altura importante que tiene.

7.2.8.2 *Talud PK 38+600*

El mayor peligro para los usuarios lo representa el concreto lanzado que continúa deteriorándose y que cada cierto tiempo cae sobre la carretera, representando un gran peligro para los usuarios

7.2.8.3 *Talud PK 44+500*

Del análisis de la información recabada sobre el comportamiento del deslizamiento del km 44+500 se desprenden las siguientes conclusiones:

- A lo largo de un año de monitoreo geotécnico (octubre 2018 – octubre 2019), el relleno del km 44+500 en el sitio que se indica en la Figura 65 no ha detenido su tasa de desplazamiento horizontal, incluso durante la temporada seca del año 2019 el movimiento se ha mantenido.
- Durante el final de la estación lluviosa del año 2018 y durante el inicio de la estación lluviosa del año 2019, se observó un incremento significativo en la velocidad de desplazamiento horizontal del relleno que está siendo monitoreado.
- En el sitio de monitoreo, el máximo desplazamiento registrado desde octubre 2018 a octubre 2019 es de 20 cm, y se presenta a los 19 m de profundidad. La profundidad de 19 m corresponde con la parte inferior de la zona de falla en el punto monitoreado, esto concuerda con lo observado en el sitio y con el perfil estratigráfico obtenido de las perforaciones.
- Las grietas que cada cierto tiempo se observan en el pavimento de la Ruta Nacional en este sector, así como las que se han observado en la fachada de concreto del



muro anclado y en la viga de coronación de la pantalla de pilotes al costado del relleno, confirman que el relleno continúa presentando condiciones de inestabilidad.

En la superficie del pavimento y en la fachada del muro anclado se continúan presentando agrietamientos y hundimientos que, junto con los desplazamientos detectados con el inclinómetro, confirman que hasta la última fecha de evaluación se continúa presentando movimiento en el terreno en este sector de la Ruta Nacional.

7.2.9 Sobre los márgenes y sistemas de contención vehicular

En términos generales los sistemas de contención semirrígidos fueron anclados en los márgenes y la superficie fue cubierta de concreto o pavimento, condición que no permite evidenciar si el anclaje se realizó según las condiciones típicas en las que se ensayan estos dispositivos.

Las barreras semirrígidas y barreras de concreto presentan elementos que irrumpen la continuidad del dispositivo, condición que limita su funcionamiento como sistema y podría aumentar la severidad de un choque vial.

Sumado a las discontinuidades de las barreras, las bases de señales tipo pórtico y las pilas de puentes invaden el escaso espacio de espaldón, condición que propicia la colisión contra estos elementos, por lo que pone en riesgo a los usuarios y a las mismas estructuras.

Las aproximaciones a las casetas de peajes cuentan con elementos monolíticos de concreto que, en caso de ser colisionados, podrían desprender trozos de concreto, aumentar la severidad de los daños a los usuarios y personal del peaje.

Las cunetas en general presentan una sección transversal triangular, que, acompañada del escaso ancho de los espaldones y las bifurcaciones, representa un riesgo continuo a través de toda la vía. En algunas secciones se identificaron sistemas de contención vehicular colocados posteriores a una cuneta triangular, por lo que el dispositivo de seguridad se convierte en un obstáculo más en la vía.

Se identificaron elementos que conectan las barreras metálicas con las de concreto, sin embargo, estas no son similares a los diseños típicos para estos elementos de transición, por lo que no se tiene certeza si son dispositivos apropiados para la función.

7.2.10 Sobre la demarcación horizontal y señalamiento vertical

Las radiales presentaron deficiencias generales en el estado del señalamiento vertical, donde se identificaron dispositivos que se asumen deteriorados por la intemperie, ya que presentan decoloramiento en los viniles.



De forma análoga, la demarcación horizontal y los captaluces de las radiales presentan zonas con deterioro o ausencia de dispositivos, condición que sobresale en la Radial Atenas.

7.2.11 Sobre la movilidad de usuarios no motorizados

Según Montero (2019) el proyecto presenta deficiencias en los cruces peatonales como la ausencia de sistemas de contención vehicular laterales en accesos a puente, mallas de protección, conexiones con infraestructura ciclista y transporte público, ausencia de iluminación en accesos, entre otros.

Adicionalmente, se evidenció la ausencia de condiciones seguras de cruce en algunos sectores, donde se presentan bahías de autobús en ambas márgenes, pero se presentan deficiencias de cruce a nivel de seguridad vial o de seguridad ciudadana.



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:

8.1.1 Sobre la evaluación funcional, estructural, resistencia al deslizamiento y de deterioro superficial del proyecto

- Realizar intervenciones tempranas del tipo sellos de lechadas asfálticas o similares (*slurry seals, fog seals, chip seals, microsurfacing* u otras técnicas) en aquellas zonas con deterioros de tipo funcional 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 deterioro acelerado. 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 la concesión.

8.1.2 Sobre la evaluación de las radiales

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

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

- Realizar levantamiento detallado de las condiciones geológicas en el PK 37+500 con una adecuada caracterización de la condición de los materiales, alteraciones, fracturas entre otros, con el fin de valorar la necesidad de implementar medidas de protección superficial que eviten tanto la erosión superficial como la caída de rocas en la carretera, además de diseñar y construir las obras necesarias para garantizar un manejo adecuado del agua de escorrentía en este sector. Se recomienda realizar un estudio geológico-geotécnico que permita caracterizar adecuadamente la condición de Drenaje Ácido de Rocas en este sitio, así como la definición de las medidas correctivas apropiadas para estas condiciones, ya que el concreto lanzado convencional, el acero y los mantos que se han venido utilizando han demostrado que no son aptos para un medio ácido como el de este sector.
- Realizar intervenciones en el PK 38+600 con soluciones integrales y duraderas que consideren el Drenaje Ácido de Rocas acordes al estado del arte de la ingeniería y la geología. Se recomienda realizar un estudio geológico-geotécnico que permita caracterizar adecuadamente la condición de Drenaje Ácido de Rocas en este sitio, así como la definición de las medidas correctivas apropiadas para estas



condiciones, ya que el concreto lanzado convencional, el acero y los mantos que se han venido utilizando han demostrado que no son aptos para un medio ácido como el de este sector. Así mismo, resulta primordial remover el concreto lanzado que se encuentra más afectado, con el fin de prevenir la caída de este material en la carretera, con el consecuente peligro para los usuarios.

- Valorar la condición actual del concreto y el acero en el PK 47+000 que se ven afectadas por las condiciones geológicas y geotécnicas que provocan la generación del Drenaje Ácido de Rocas en este tramo de carretera. Se recomienda realizar un estudio integral que considere el medio ácido que existe en este tramo de carretera, así como sus efectos en la durabilidad de los materiales que son empleados en las soluciones geotécnicas. El fin último de estas soluciones es brindar seguridad a los usuarios y reducir lo máximo posible el riesgo de sufrir accidentes por caída de materiales en la carretera
- Es necesario que los taludes del PK 73+000 estén cubiertos y protegidos con vegetación adecuada para evitar que durante las lluvias el suelo sea removido y generen socavación en zonas donde hay rocas y puedan colapsarse al perder el soporte del suelo acción de la lluvia.

8.1.4 *Sobre condiciones geométricas del trazado del proyecto*

- Se recomienda revalorar el diseño geométrico de la vía, en especial ante los planes de la Administración de realizar la ampliación de la vía, donde se incorporen las condiciones de diseño planteadas en el Manual Centroamericano de Normas y Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011).
- De forma específica deben atenderse las bahías de autobús, éstas deben canalizarse mediante vías de baja velocidad, denominadas marginales. En caso de que el derecho de vía no permita generarlas, se recomienda generar bahías con separación física de la autopista y dotarlas de carriles de aceleración y desaceleración.
- En todas las radiales y conexiones, deben dotarse de longitudes de carriles de aceleración y desaceleración suficientes, y evitar traslapar estos carriles con bahías de autobús o accesos, ya que aumentan la probabilidad de colisiones.
- En términos generales el espaldón del proyecto es reducido, estado que aumenta la proximidad entre el flujo vehicular y los elementos instalados en los márgenes. Esta condición favorece la colisión de las señales, postes, luminarias y sistemas de contención vehicular, por lo que es recomendable contar con un espacio de espaldón más amplio que permita a los usuarios detenerse ante imprevistos o pérdidas de control del vehículo de forma segura. Para alcanzar las condiciones antes descritas, mínimo deben cumplirse los anchos de espaldón interno y externo planteados por la SIECA (2011), según la clasificación de vía y sus velocidades.
- En caso de que no sea viable ampliar el espaldón en un corto plazo, es recomendable implementar medidas como bandas sonoras en espaldón, conocidas como “shoulder rumble strips”. Las bandas sonoras en el espaldón permiten alertar



a los vehículos ante posibles salidas de vía, tanto en la margen interna como externa, ya que generan vibraciones y sonido que permiten prevenir una colisión.

8.1.5 Sobre los márgenes y sistemas de contención vehicular

- Se recomienda realizar un análisis de las márgenes de la vía, esto para la condición actual y futuras ampliaciones, donde se consideren los criterios presentes en el Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras (Valverde, 2011). Dicho análisis permitirá identificar los riesgos presentes en la vía, seleccionar la mejor alternativa para atenderlos y en caso de requerir un sistema de contención vehicular, el Manual SCV (Valverde, 2011) especifica los criterios para su diseño.
- A lo largo del proyecto se presentan obstáculos como luminarias, pilas de puentes, placas metálicas o bases de señales que irrumpen la continuidad de los sistemas de contención, se recomienda utilizar dispositivos que permitan la incorporación de las luminarias en el sistema de contención de forma segura, o la reubicación de estos elementos.
- Los postes de las barreras semirrígidas se colocaron sobre una superficie cubierta de concreto o pavimento, por lo que se recomienda verificar las condiciones de instalación según fichas técnicas del fabricante y recomendaciones de los proveedores, en aras de asegurar el correcto funcionamiento de los dispositivos.
- Las terminales de concreto en medianas en forma de rampa, propician el volcamiento de vehículos, motivo por el que es indispensable el uso de amortiguadores de impacto para estas condiciones, en aras de proveer seguridad a los usuarios. Adicionalmente, el amortiguador de impacto también es necesario en las proximidades de las casetas de peajes, ya que el elemento monolítico de concreto no es un dispositivo ensayado para contener y redireccionar vehículos de forma segura.
- En las bifurcaciones entre la Ruta Nacional 27, radiales y rutas aledañas, se identificaron cunetas con sección triangular que, ante la salida de vía de un vehículo, aumentarían la severidad de un choque. Se recomienda con base en el Manual SCV (Valverde, 2011), el uso de atenuadores de impacto cuando no se disponga de un área plana y libre de obstáculos de 60 m a partir del punto de apertura. De forma análoga, en caso de disponer de zonas planas y libres de obstáculos en las bifurcaciones, la norma INTE W82:2019 recomienda el uso de hitos de vértice para canalizar más apropiadamente a los conductores.
- El uso de barreras de concreto como dispositivos de control temporal es válido, siempre y cuando se cumpla con las condiciones de instalación de los dispositivos y se cuente con la suficiente zona libre disponible para que estos desarrollen su deflexión máxima y ancho de trabajo. Se recomienda valorar la presencia de las barreras de concreto para uso temporales en el proyecto, retirar los dispositivos que no sean necesarios y realizar mantenimiento o sustitución de los dispositivos necesarios.



- Ante la presencia de cunetas con sección triangular a lo largo del proyecto, se recomienda el uso de una cuneta con sección transversal traspasable y recuperable, esto según lo especificado por Valverde (2011). En caso de que el derecho de vía no permita una cuneta de sección amplia, se recomienda el uso de rejillas que permitan el tránsito sobre la cuneta, o en caso de que el análisis de márgenes lo justifique, el uso de sistemas de contención vehicular diseñados para el espacio que se suministre.
- Las márgenes que presenten taludes con deficiencias de estabilidad, deberán ser atendidos según las recomendaciones de la Sección 6. *Condiciones Geotécnicas y Sistemas de Drenaje*

8.1.6 *Sobre la demarcación horizontal y señalamiento vertical*

- Tanto las radiales, como la vía principal, deben contar con demarcación horizontal y señalamiento vertical en buen estado, estos elementos permiten alertar, prevenir e informar a los usuarios ante cambios en la vía y mejoran la seguridad vial de los usuarios en toda la vía. Por ello, se recomienda la evaluación de la retrorreflectividad de la demarcación horizontal y señalamiento vertical, en especial en las secciones donde se identifiquen deterioros, y en caso necesario, gestionar su sustitución.

8.1.7 *Sobre la movilidad en general*

- En materia de movilidad, toda acción que se realice permitirá mejorar las condiciones de la vía, por lo que se insta a valorarlas tanto para la condición actual, como para la ampliación de la vía. Se recomiendan las siguientes consideraciones en materia de movilidad:
 - Realizar estudios de movilidad de usuarios no motorizados, esto para la condición actual y ampliaciones del proyecto, de forma que se identifiquen los sitios de mayor interacción de usuarios vulnerables con la vía y se dote de la infraestructura necesaria.
 - Verificar las observaciones realizadas por Montero (2019) a los cruces peatonales del proyecto y realizar las mejoras pertinentes en pro de una movilidad más segura e inclusiva.
 - Utilizar un modelo de demanda de transporte urbano actualizado que permita identificar los patrones de movilidad y los flujos de los usuarios, herramienta que permitirá identificar la cantidad de usuarios que utilizarían la infraestructura e identificar la cantidad de carriles necesarias por sección de la vía.
 - Realizar un análisis a nivel de simulación del tránsito, con un programa que permita la simulación de las condiciones del proyecto, como peajes, bahías de autobús, interacción de distintos tipos de usuarios, condiciones de



- congestión, radiales con rotondas, entre otros. En caso necesario, la simulación debería alcanzar un nivel micro, modelo que permite analizar la interacción entre usuarios de forma detallada.
- Realizar un análisis de accidentabilidad, basado en modelos que identifiquen las zonas de concentración de choques viales y/o la aplicación de metodologías proactivas como el “Análisis de conflictos”, que permita identificar zonas conflictivas para los usuarios, sin que estén registradas en boletas de choques viales.
 - Aplicar una auditoría de seguridad vial en todas las etapas del proyecto, en aras de propiciar una movilidad segura e identificar las posibilidades de mejora del proyecto en etapas previas a su finalización.



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 Solminihac, H., Salsilli, R., Kohler, E. & Bengoa, E. (2003). *Analysis of Pavement Serviceability for the AASHTO Design Method: The Chilean Case*. Santiago, Chile.



- Dold, B., 2010: Gestión de residuos y minería sostenible. Basic concepts in environmental geochemistry of sulfidic mine-waste management.- 37 pp. Universidad Internacional de Andalucía.
- Dujisin, D. & Arroyo, A. (1995). *Desarrollo de una Relación Índice de Serviciabilidad - Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Comisión de Diseño y Evaluación De Pavimentos*, Corporación de Desarrollo Técnico (CDT), Cámara Chilena de la Construcción. Santiago, Chile.
- Grandia, F., Salas, J., Arcos, D., Archambault, A. & Cottard, F., 2009: Impacto del drenaje ácido de explotaciones mineras en la cuenca del Río Margarita y Embalse de Hatillo (República Dominicana).- Bol. Geol. Minero, 120(4): 595-606.
- Hall, K. T. & Correa Muñoz, C. E. (2007). *Estimation of present serviceability index from International Roughness Index*. Transportation Research Record 1655, TRB. Consejo de Investigación Nacional. Paper No. 99-1508 Washington, D. C, Estados Unidos de América.
- 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
- INTECO. (2019). *INTE W82: 2019. Dispositivos de señalización temporal para el control del tránsito en obras. Hitos de vértice. Requisitos y métodos de ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2010, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2011, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2012, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2013, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2014-2015, PITRA
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2015-2016, PITRA
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2016-2017, PITRA
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2017-2018, PITRA
- LanammeUCR, Informe 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.

- Montero, M. (2019). *Diagnóstico de utilización de puentes peatonales en la Gran Área Metropolitana* (Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica). San José, Costa Rica.
- Moya, L. (2019). *Análisis de choques en la Ruta 27 usando modelos multivariados* (Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica). San José, Costa Rica.
- Palacios, C. (2011). *Análisis sobre la Guía Mecánico Empírica AASHTO 2011*. Laboratorio GEOLAB & VialTech. Ecuador.
- Paterson, W. (1986). *Road Deterioration and Maintenance Effects*. Banco Mundial. Washington, D.C., Estados Unidos de America.
- Piedra Rodríguez, Jonathan. *Coefficiente 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.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2011). *Manual Centroamericano de Normas y Diseño Geométrico de Carreteras*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: SIECA.
- Sobek, A., Schuller, W., Freeman, J & Smith, R., 1978: *Field and Laboratory Methods Applicable to Overburden and Minesoils*. – 203 págs. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Cincinnati, Ohio.
- Suarez, C. 2017. Metodología para la Caracterización del Efecto del Drenaje Ácido en las rocas y el concreto lanzado en los taludes de la Ruta Nacional No. 27 (San José - Caldera), tesis, Lic. Escuela Centroamericana de Geología.
- Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional. (2011). *Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica LM-PI-UE-05-2011*. LanammeUCR.
- UMTRI Research Review. *The Shape of Roads to Come: Measuring and Interpreting Road Roughness Profiles*. Volúmen 33. Número 1, 2002.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA) Office Of Solid Waste Special Waste Branch. 1994: *Technical Document Acid Mine Drainage Prediction*. Epa530-R94-036 Ntis Pb94-201829. 52 pp.



- Valverde, G. (2011). *Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras*. Vicerrectoría de Investigación. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- 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.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

LanammeUCR

Anexo I: Resultados obtenidos con el Deflectómetro de Impacto



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

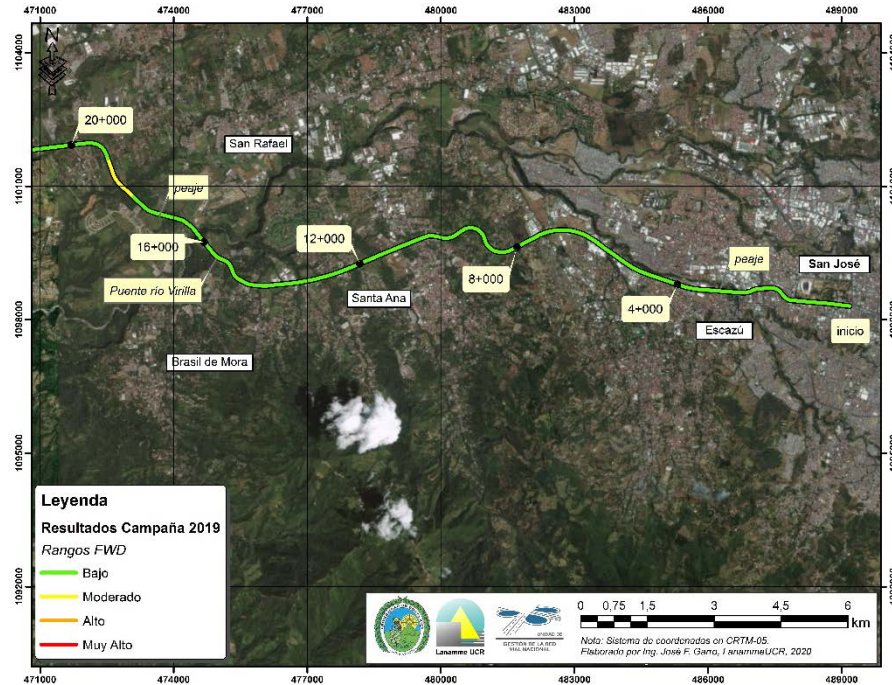


Figura A1 1. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 - 20+000

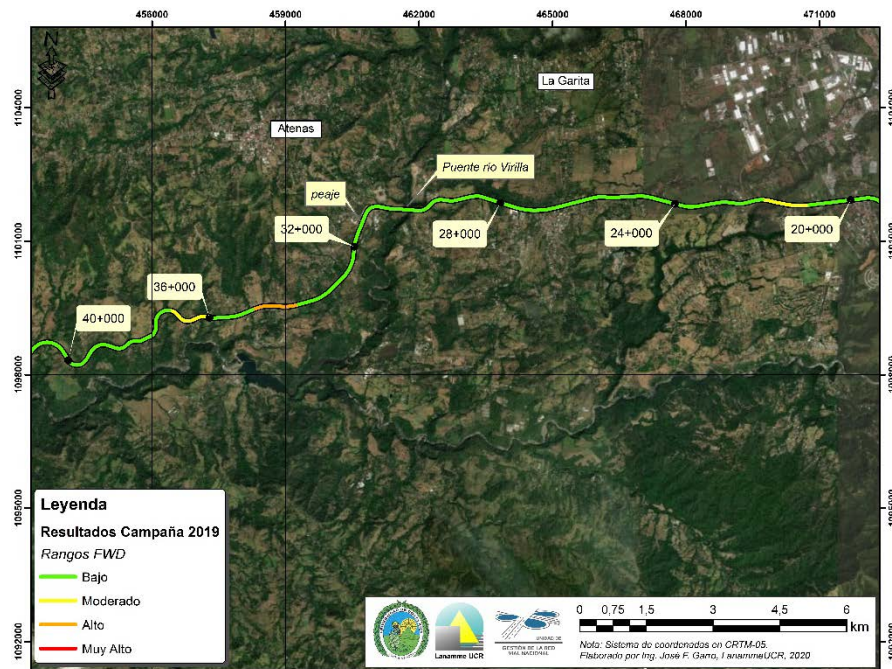


Figura A1 2. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000

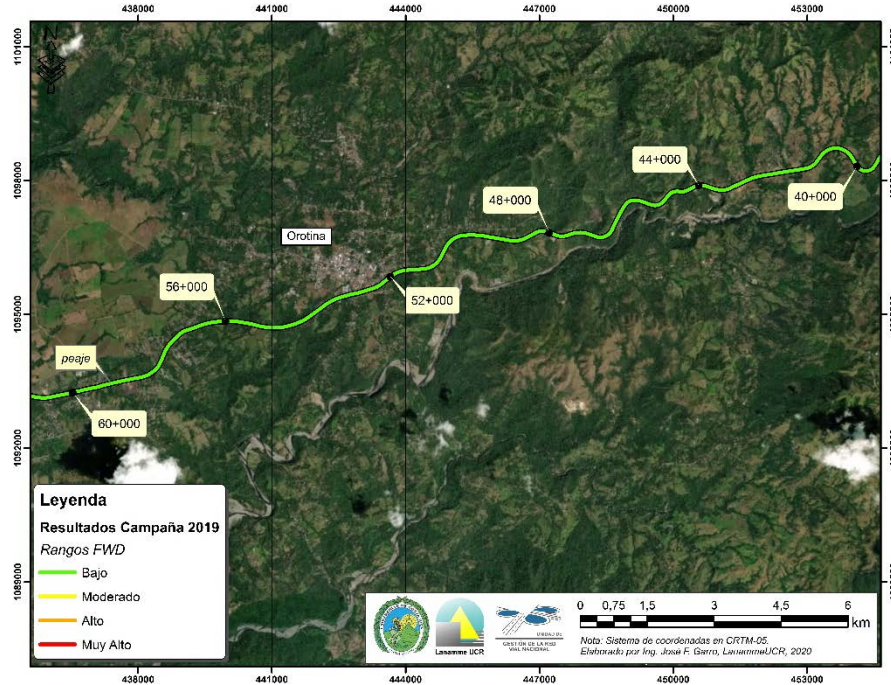


Figura A1 3. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

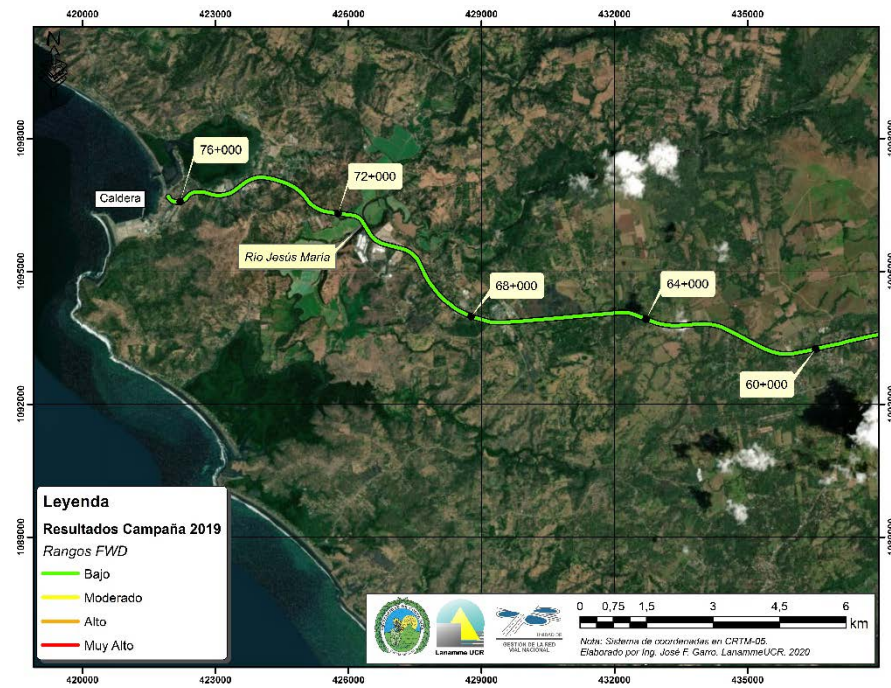


Figura A1 4. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000

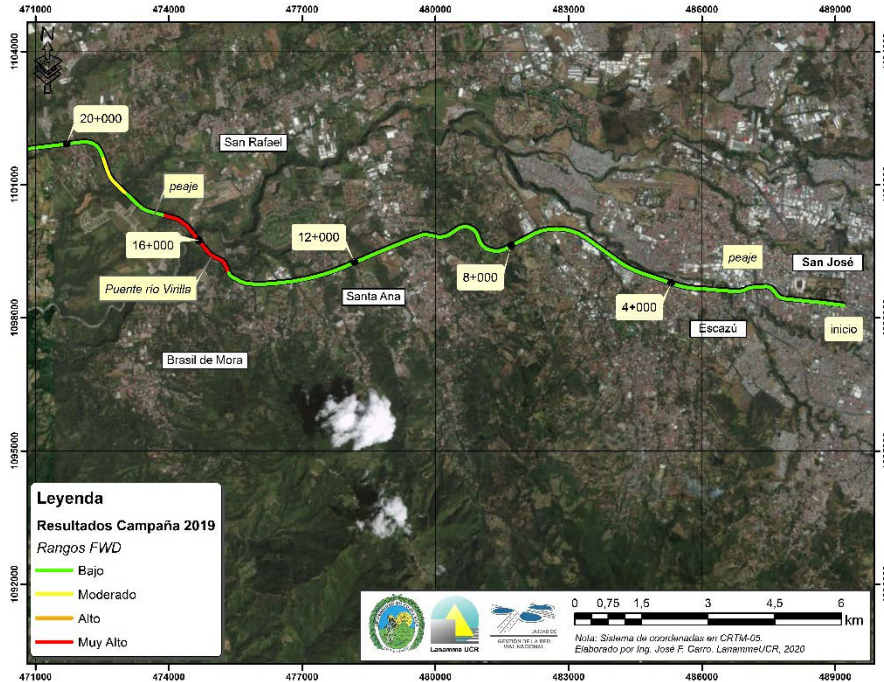


Figura A1 5. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

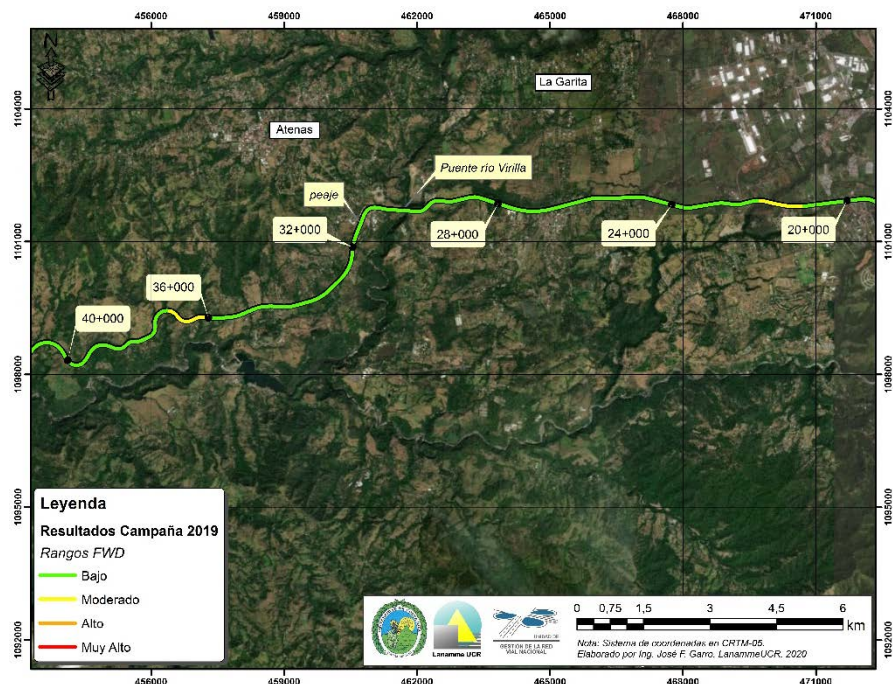


Figura A1 6. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 – 40+000

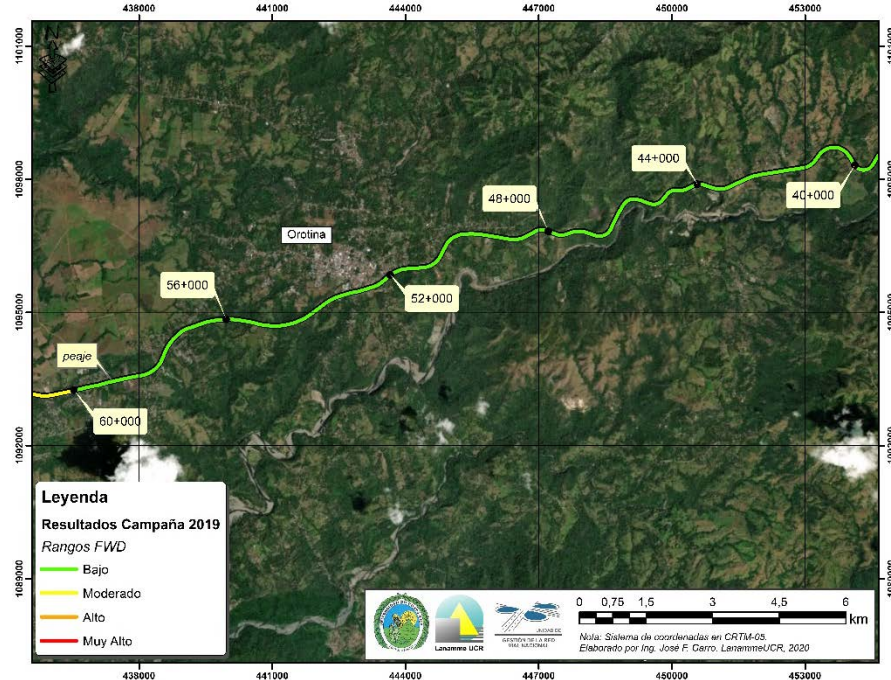


Figura A1 7. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

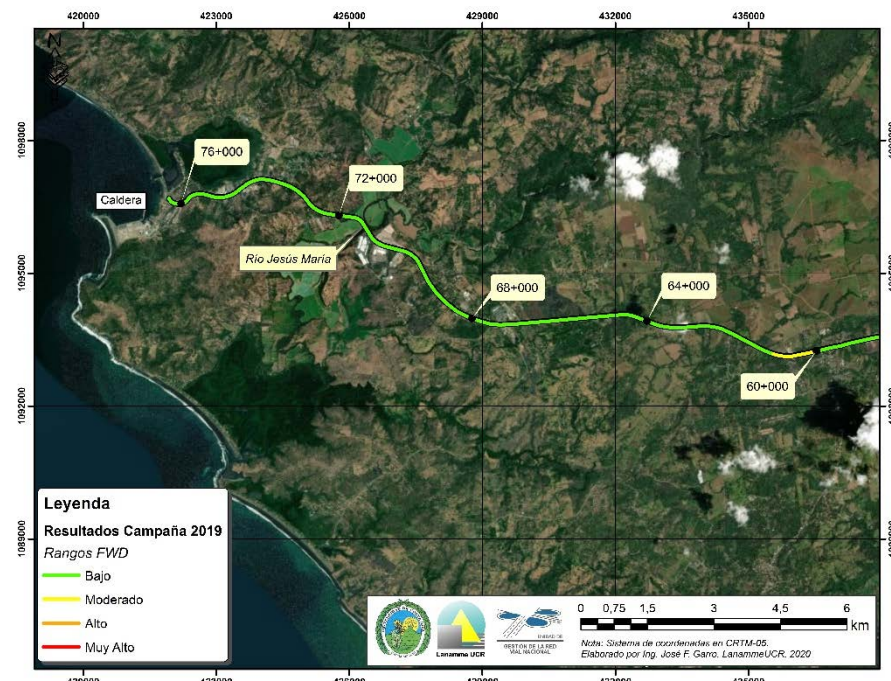


Figura A1 8. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

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.

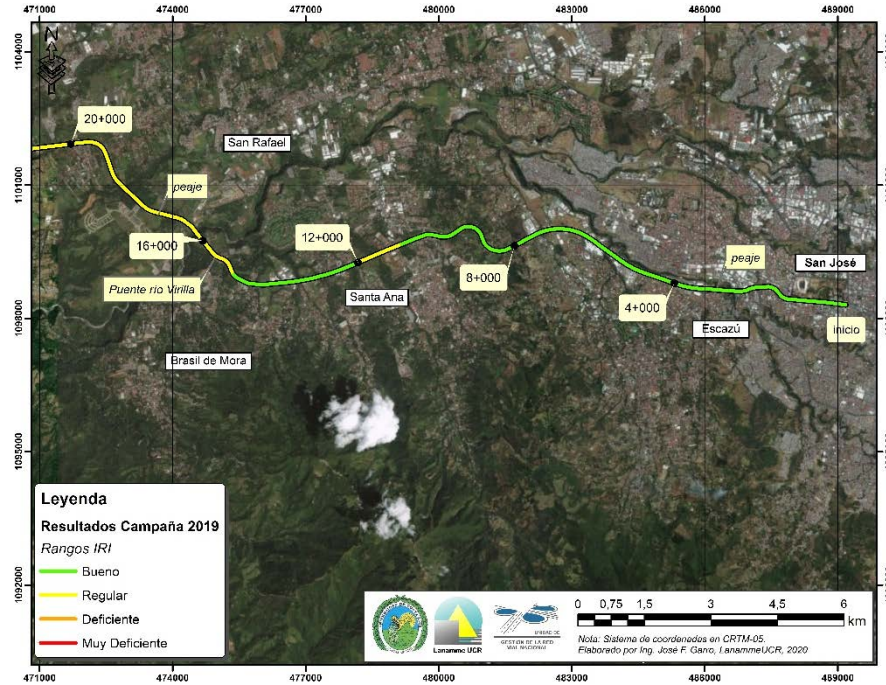


Figura A2 1. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 - 20+000

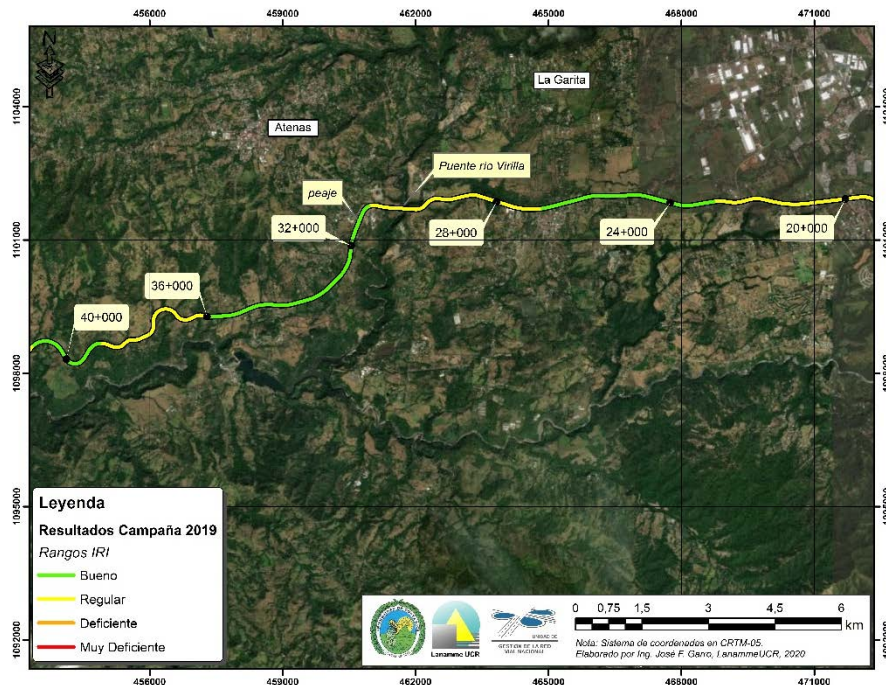


Figura A2 2. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000

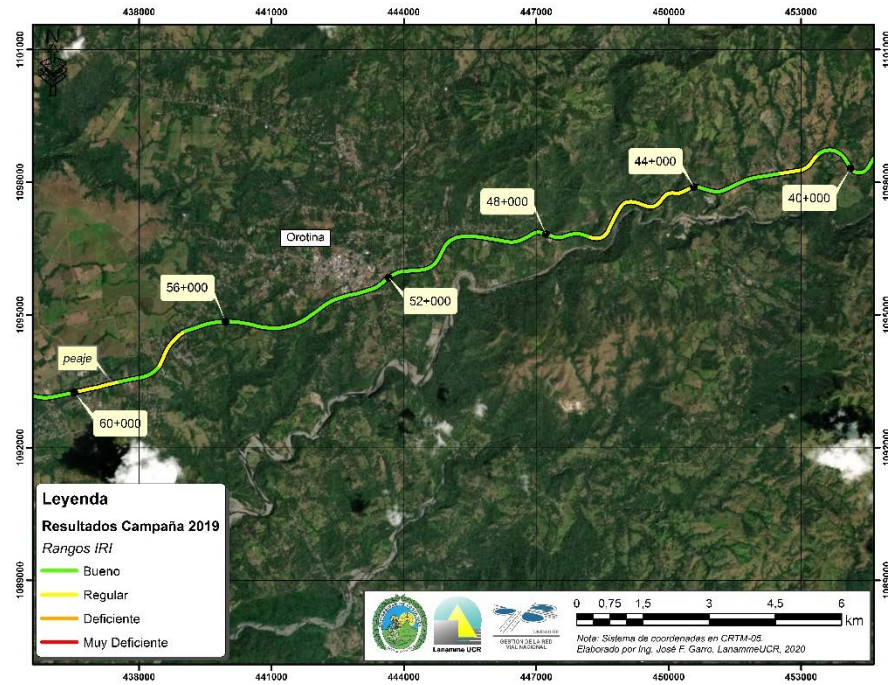


Figura A2 3. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

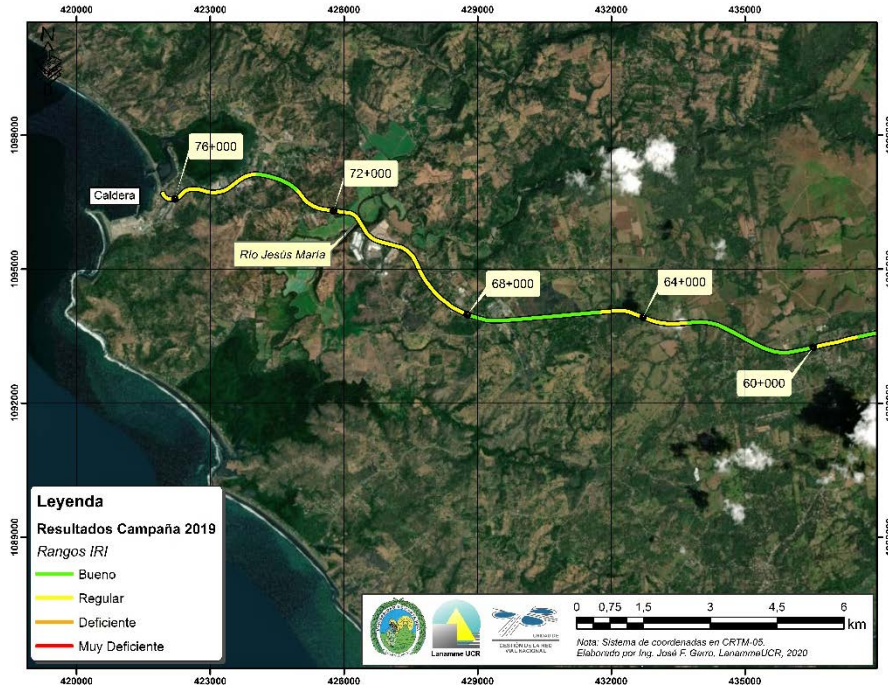


Figura A2 4. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000

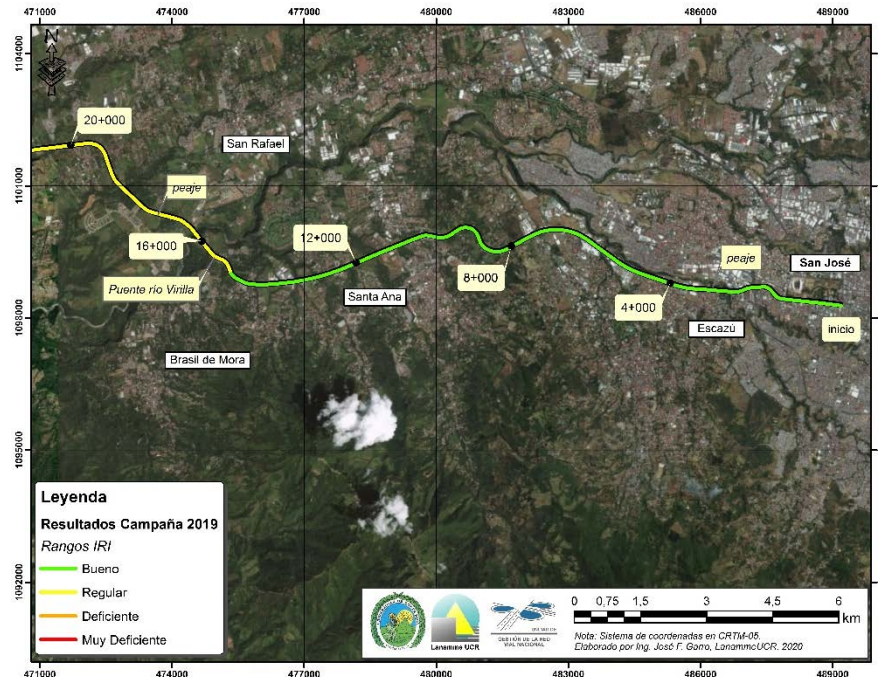


Figura A2 5. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

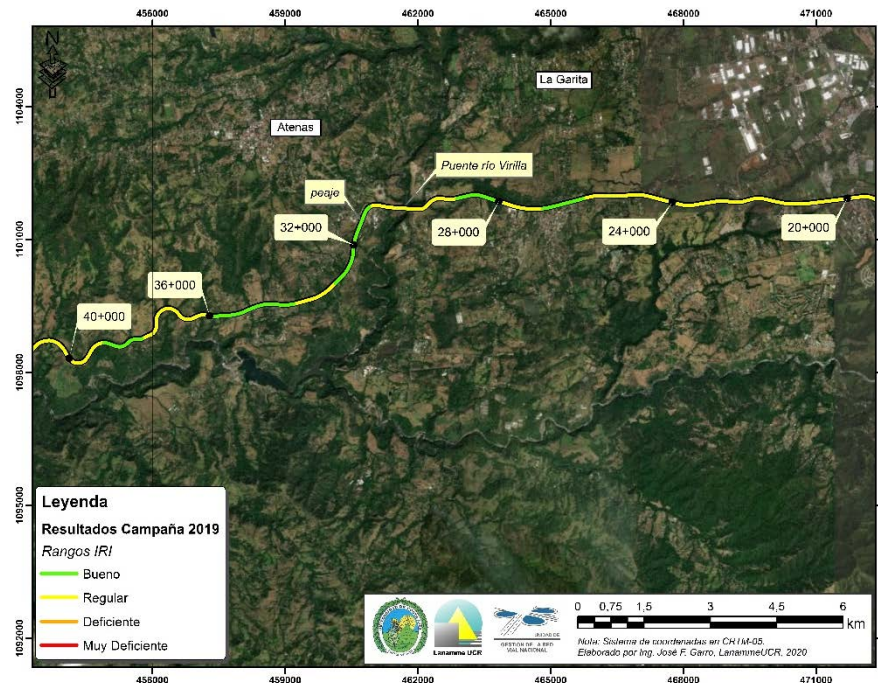


Figura A2 6. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000

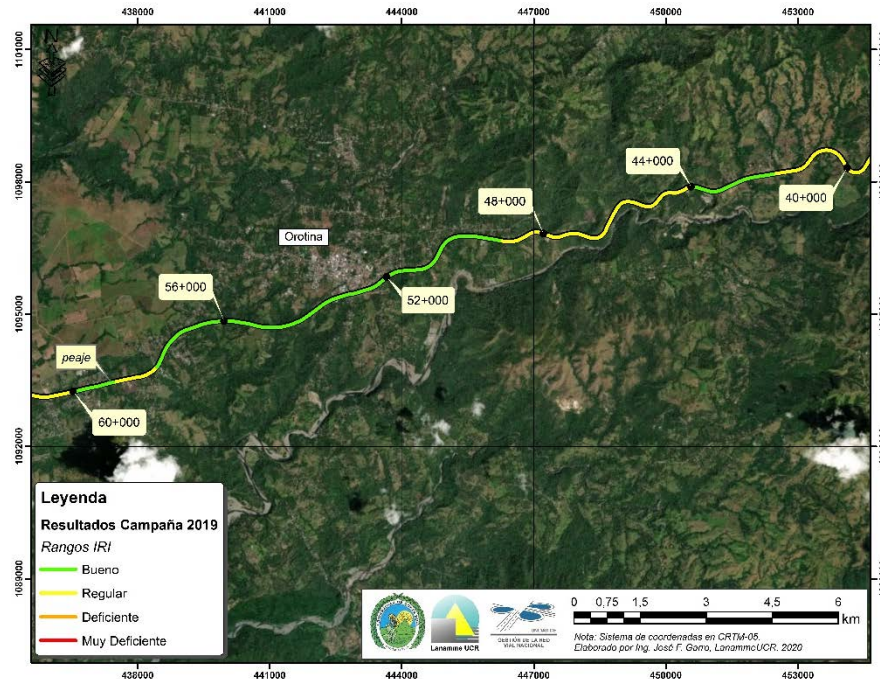


Figura A2 7. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

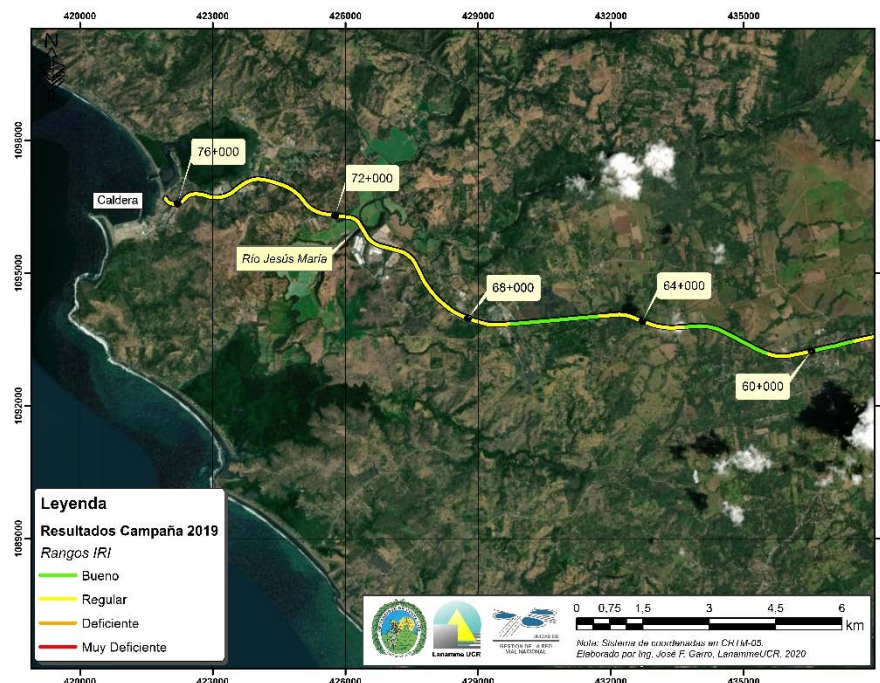


Figura A2 8. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo III: Resultados obtenidos Medidor de Agarre Superficial

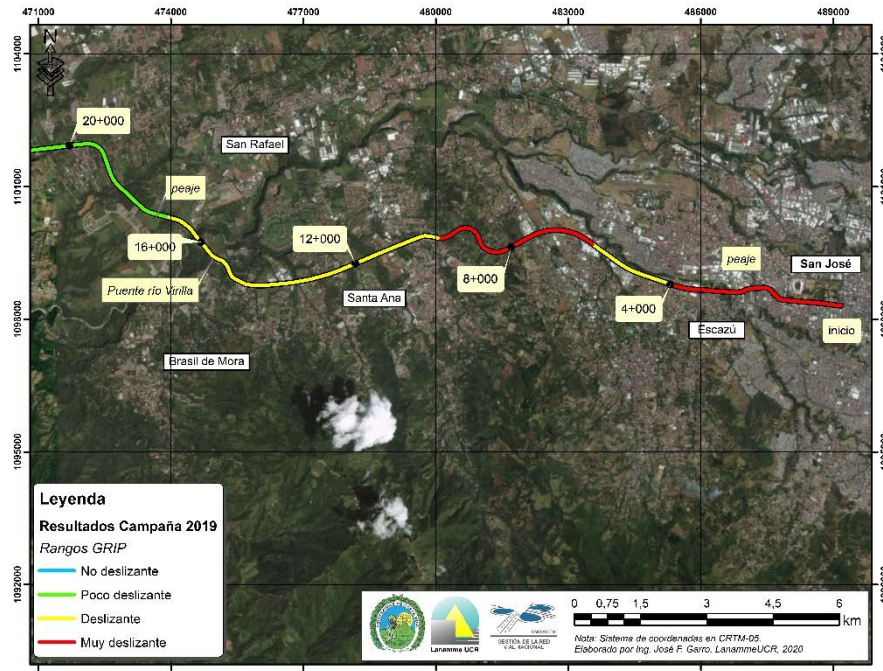


Figura A3 1. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 -20+000

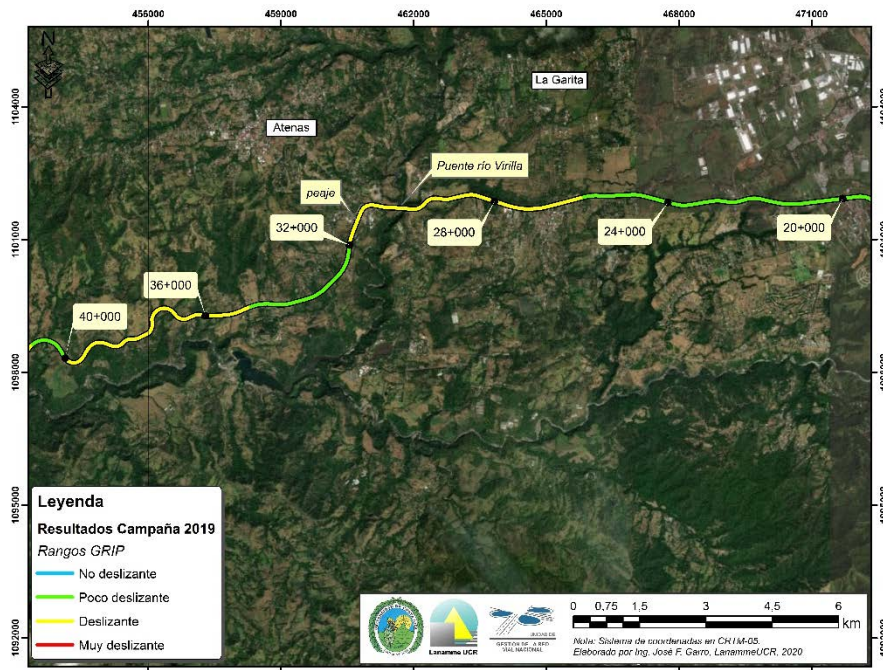


Figura A3 2. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000

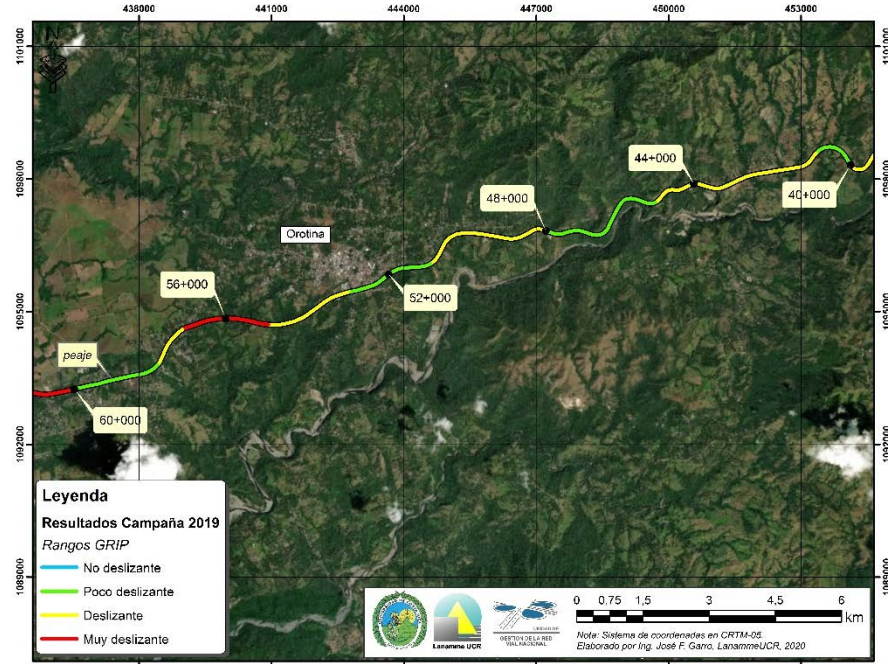


Figura A3 3. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

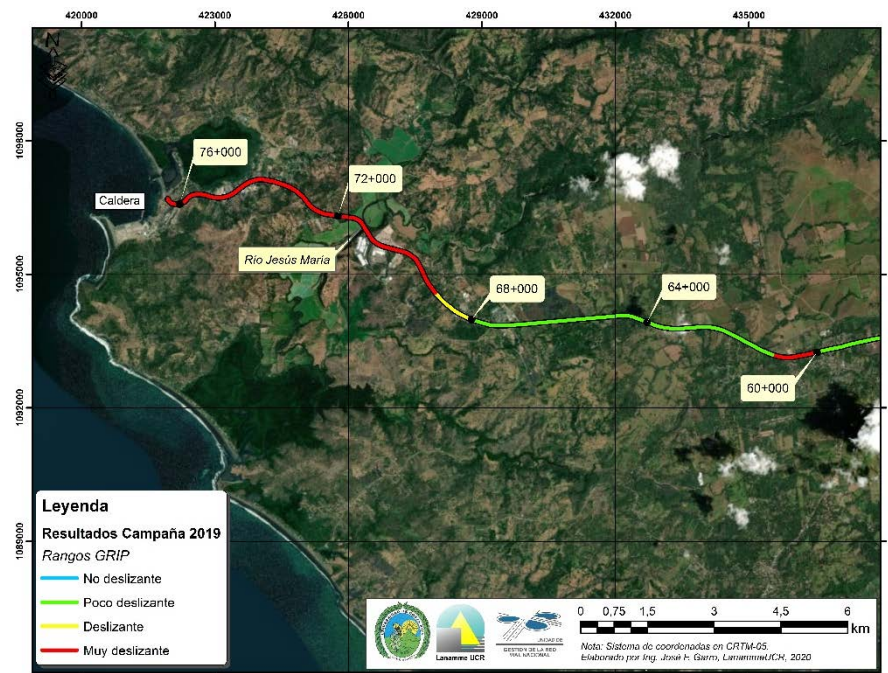


Figura A3 4. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000

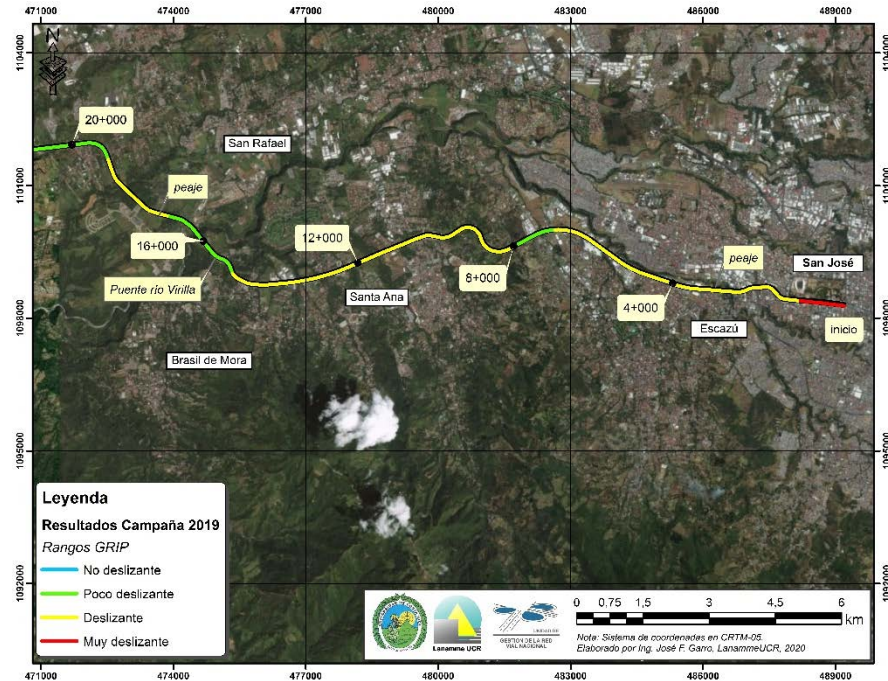


Figura A3 5. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

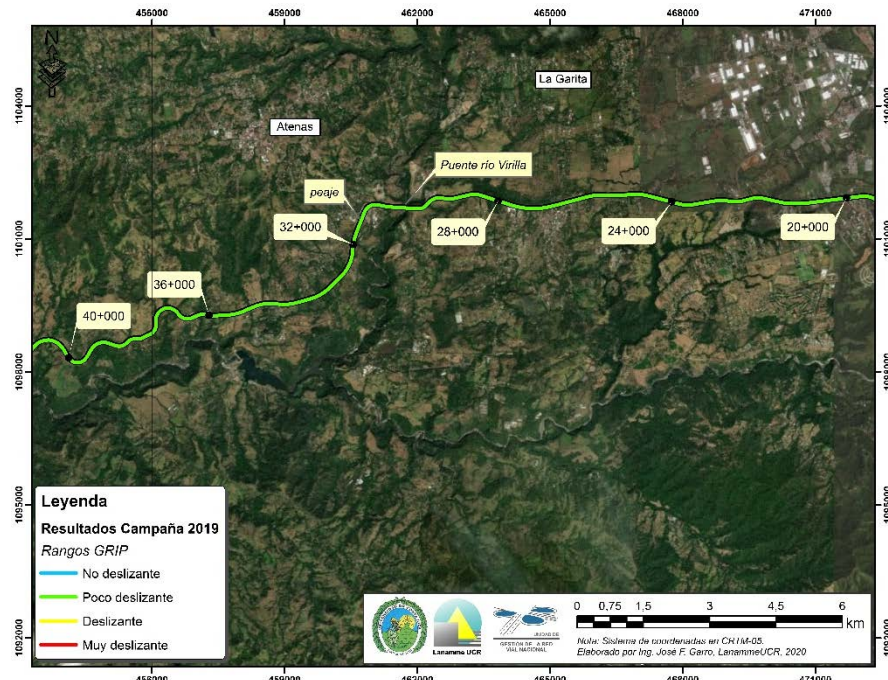


Figura A3 6. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000

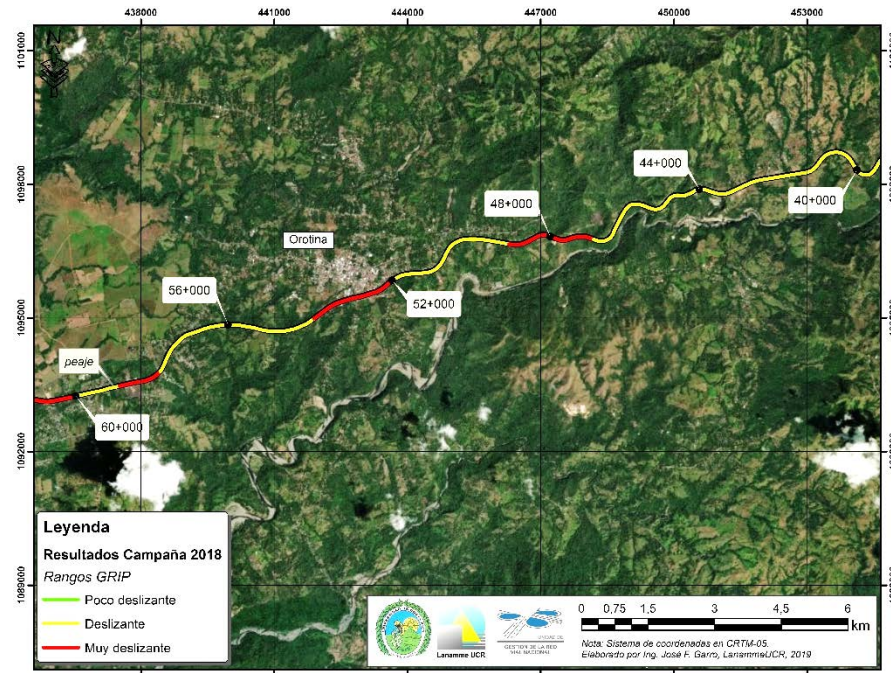


Figura A3 7. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

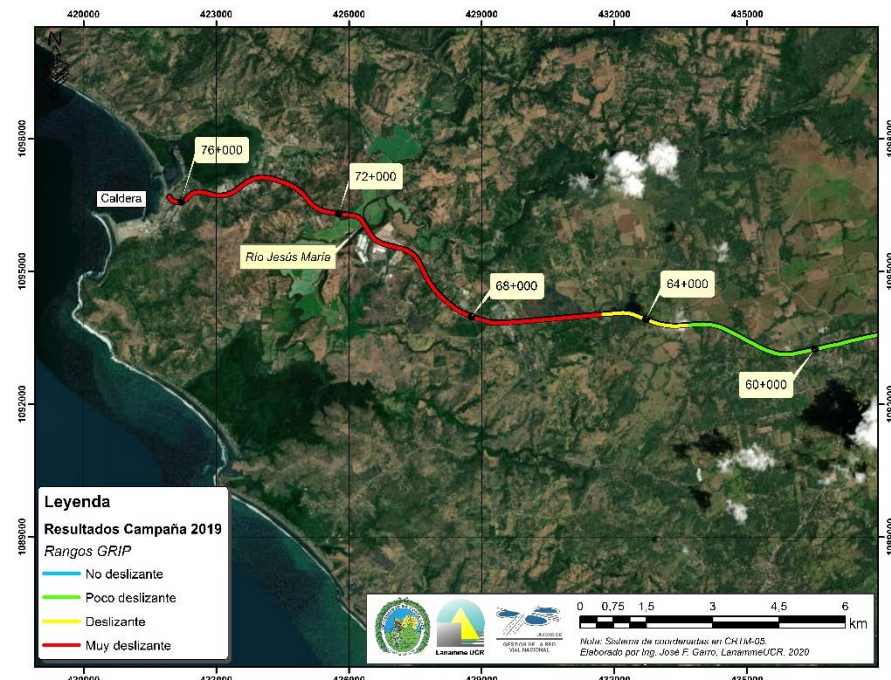


Figura A3 8. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000

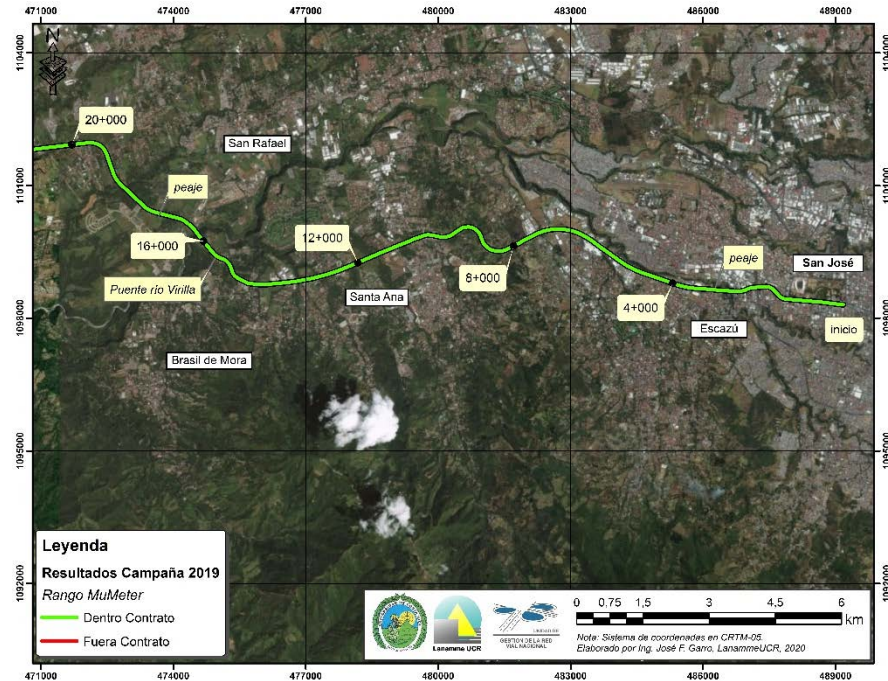


Figura A3 9. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 - 20+000

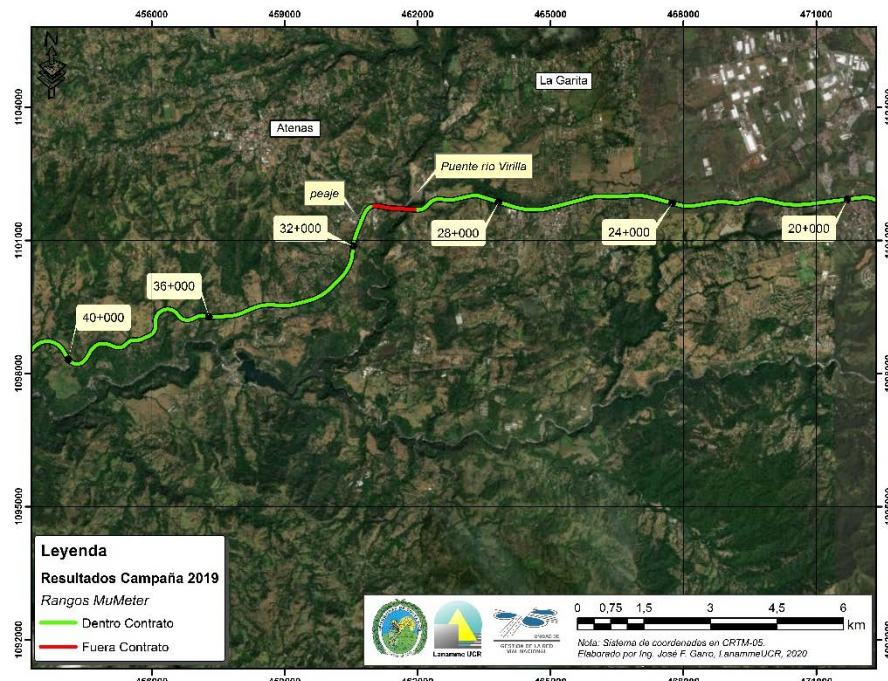


Figura A3 10. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000

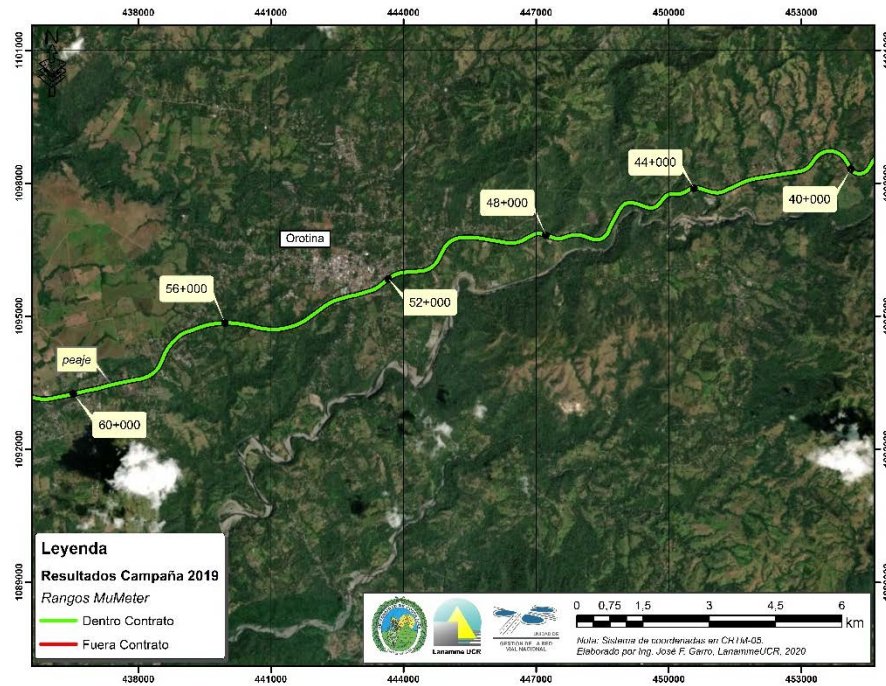


Figura A3 11. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

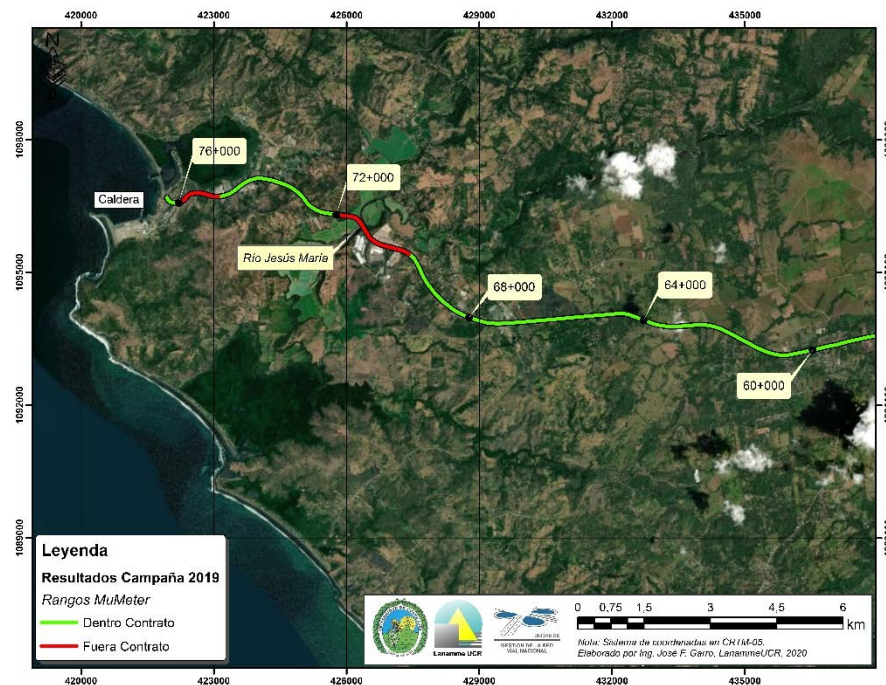


Figura A3 12. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000

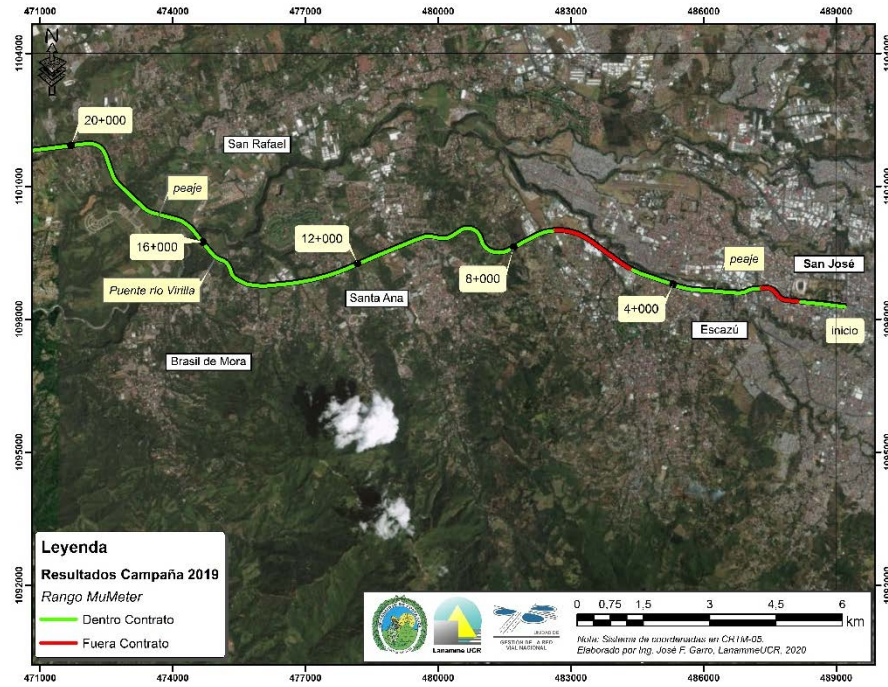


Figura A3 13. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

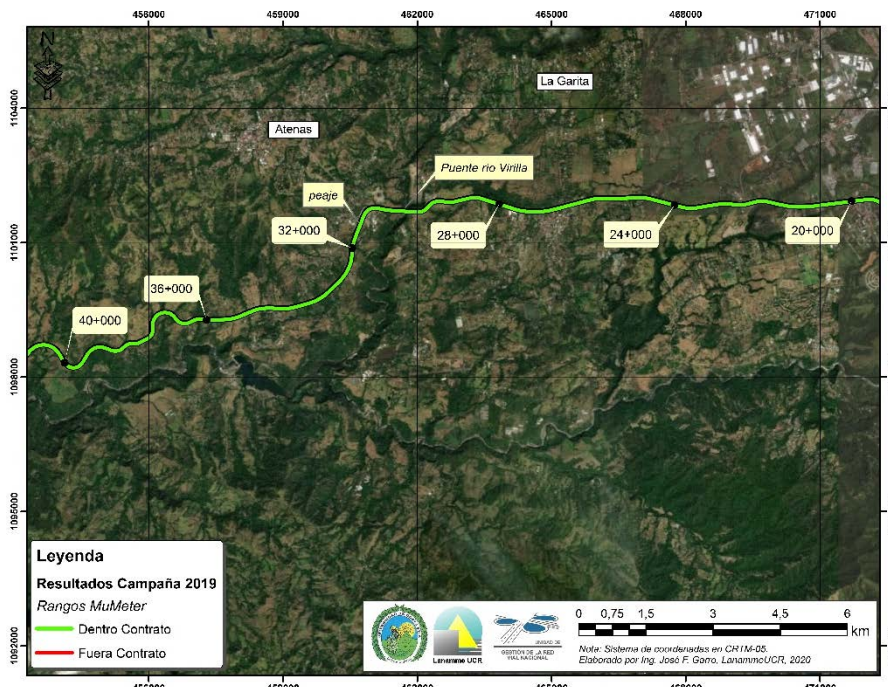


Figura A3 14. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000

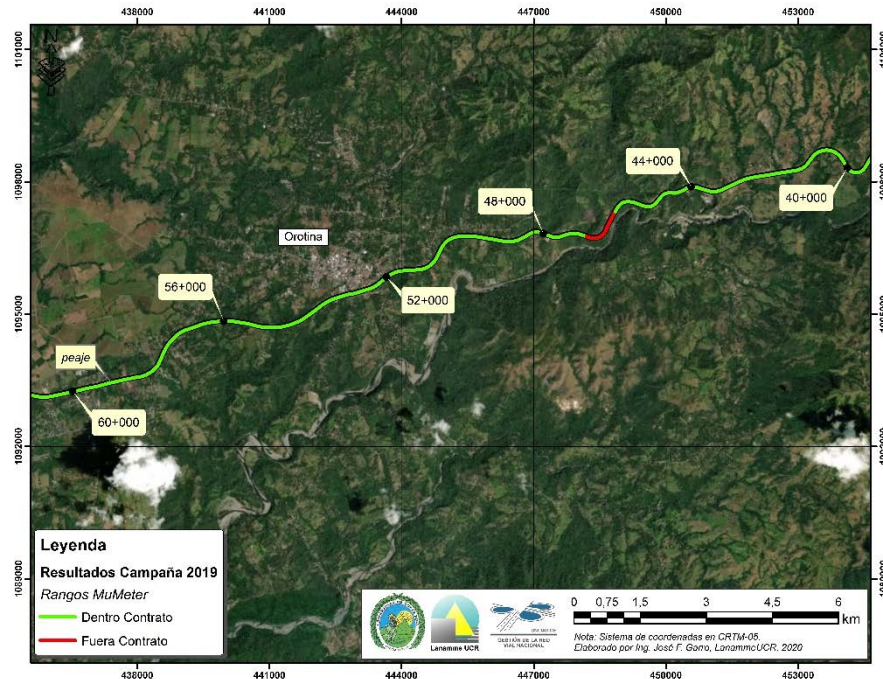


Figura A3 15. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000



Figura A3 16. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Anexo IV: Resultados Obtenidos Notas de Calidad Q

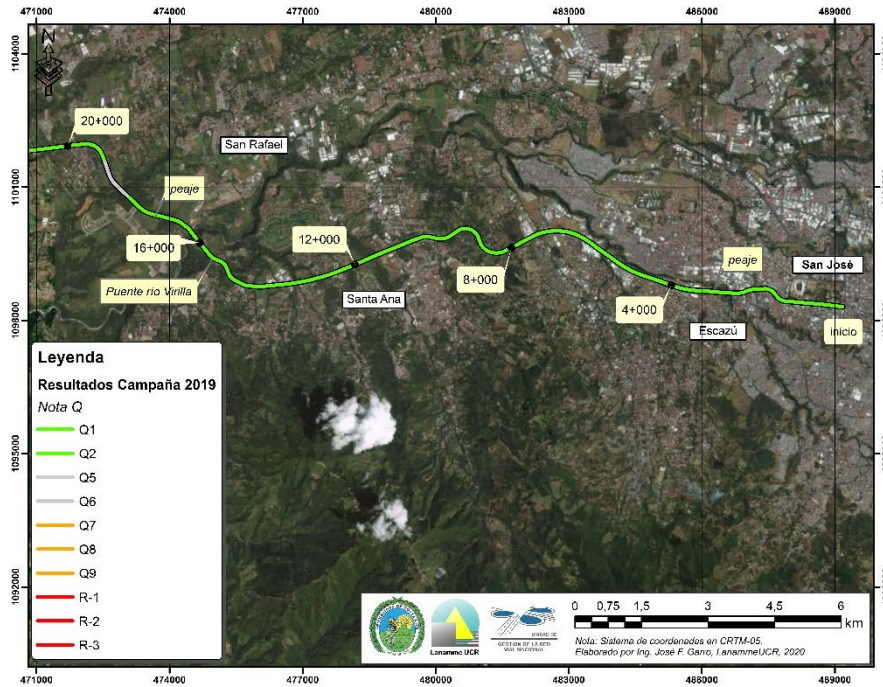


Figura A4 1. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 0+000 - 20+000

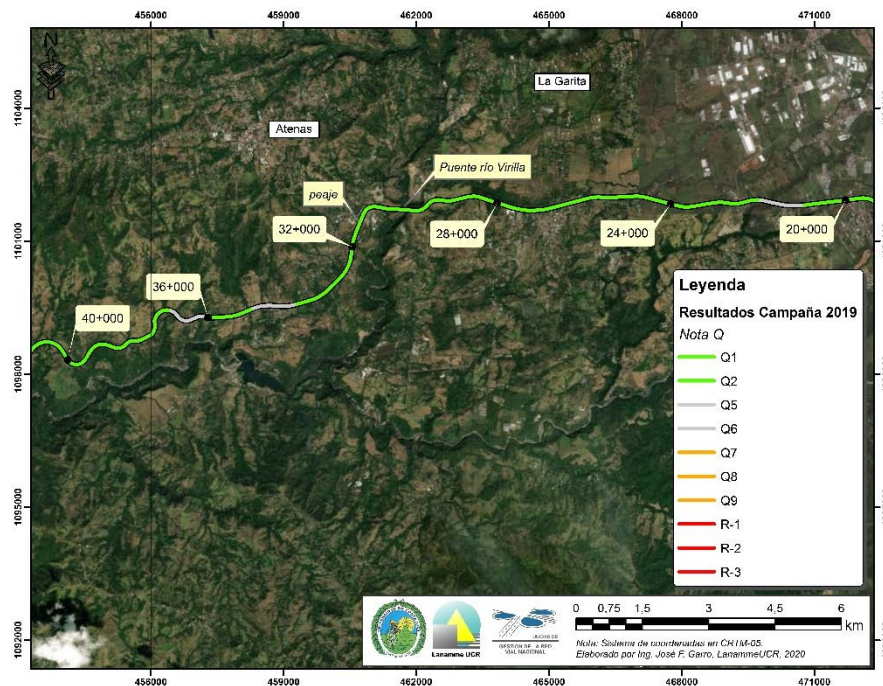


Figura A4 2. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 20+000 - 40+000

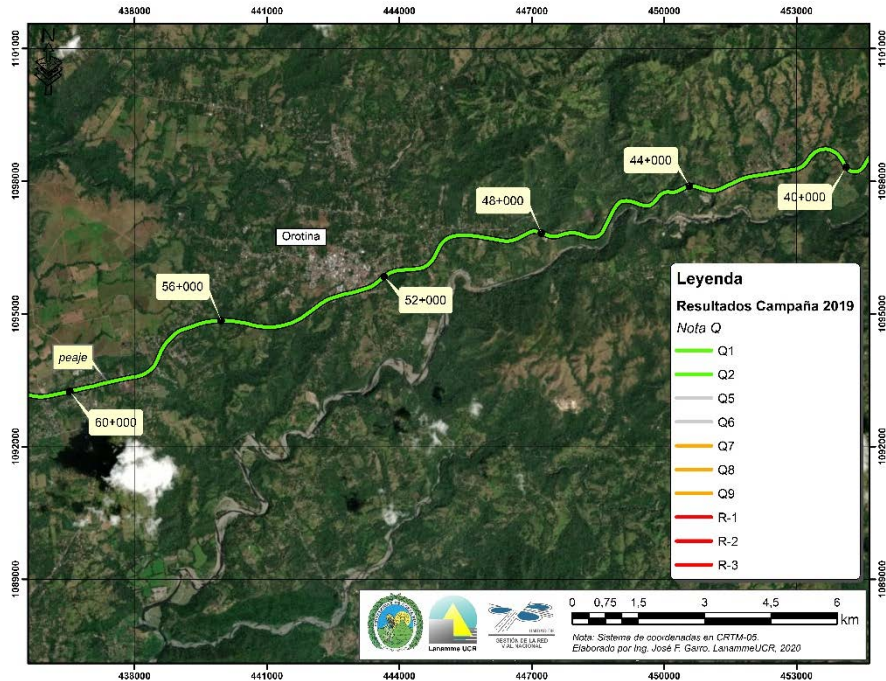


Figura A4 3. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 40+000 - 60+000

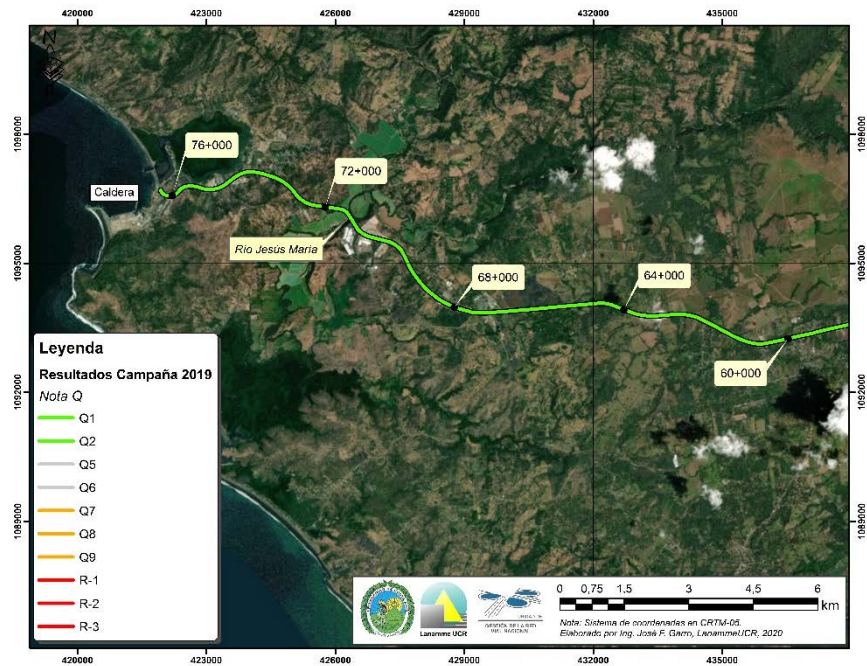


Figura A4 4. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 60+000 - 76+000

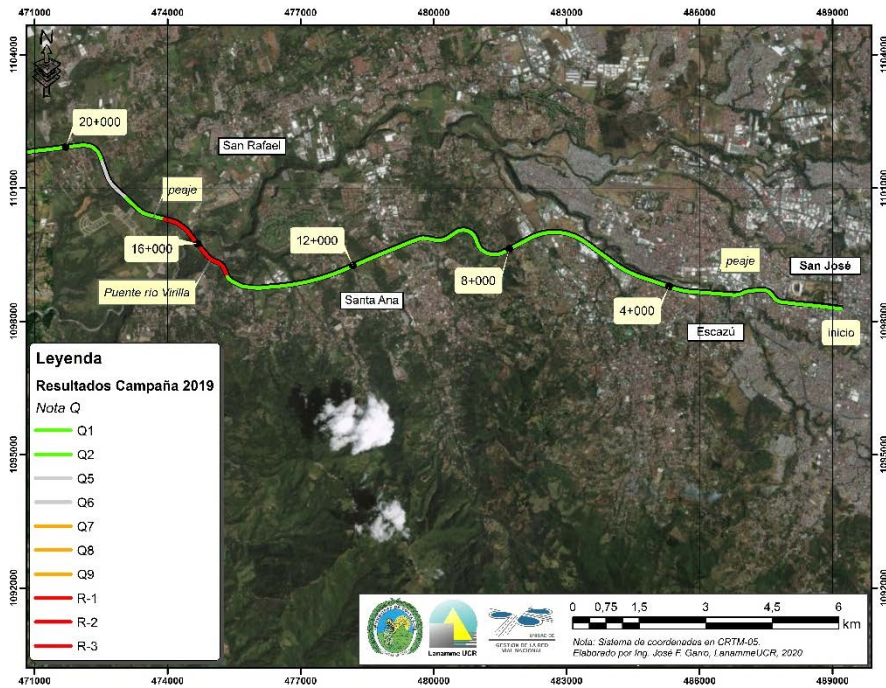


Figura A4 5. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

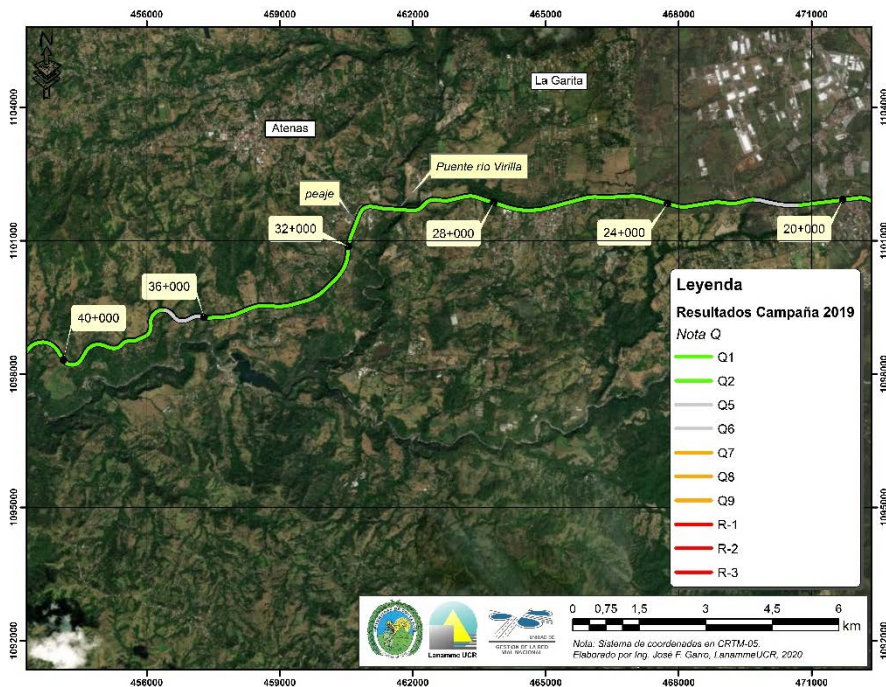


Figura A4 6. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000

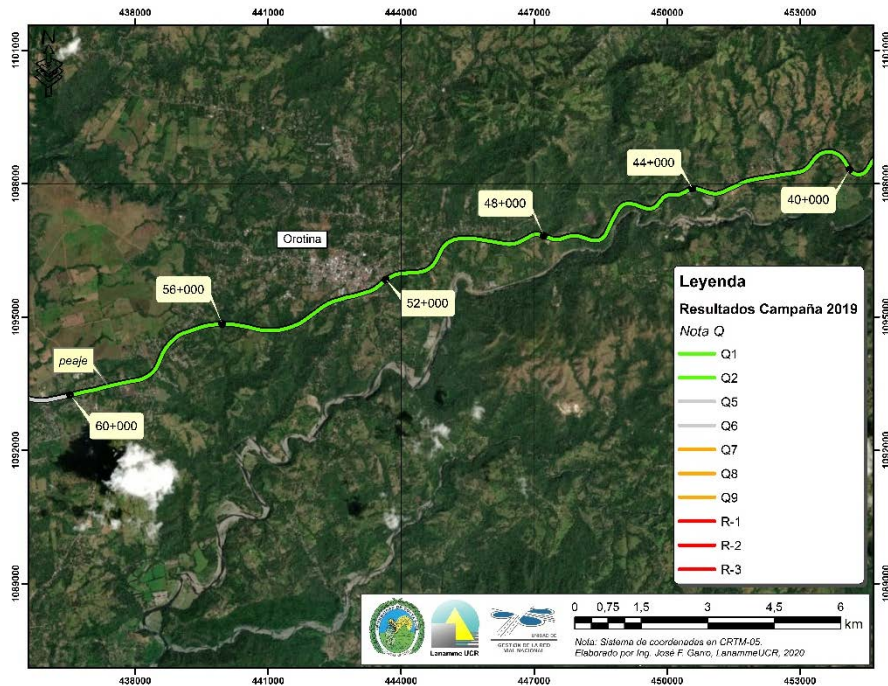


Figura A4 7. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

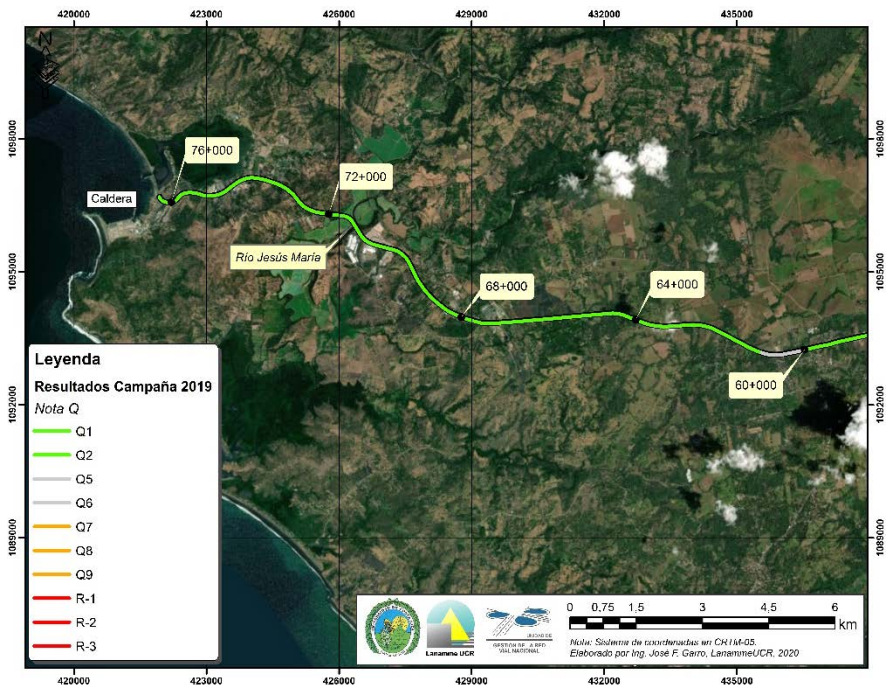


Figura A4 8. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

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

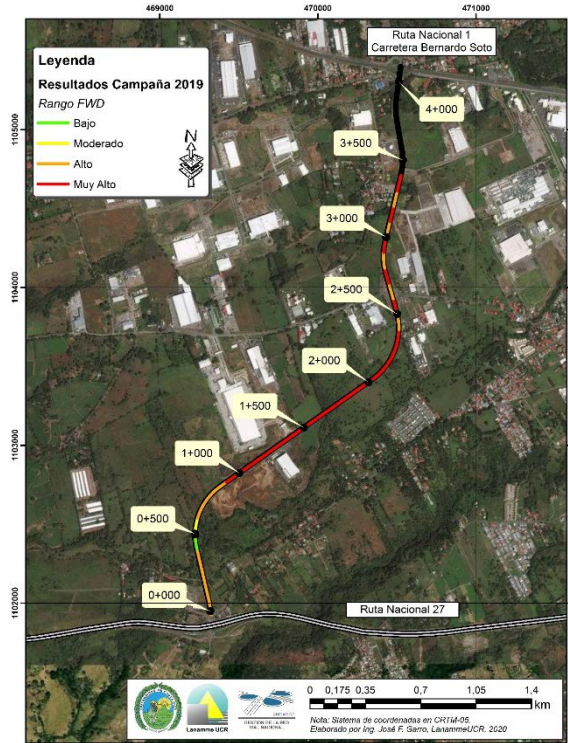


Figura A5 1. Resultados FWD, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyol

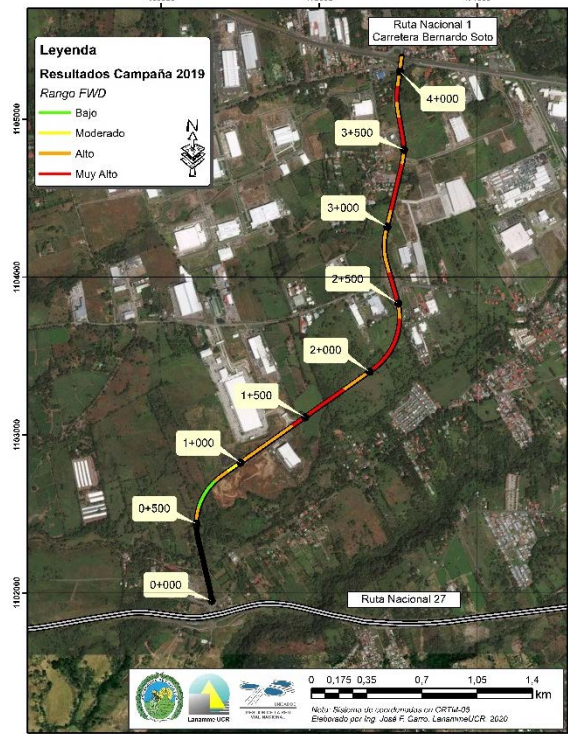


Figura A5 2. Resultados FWD, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27

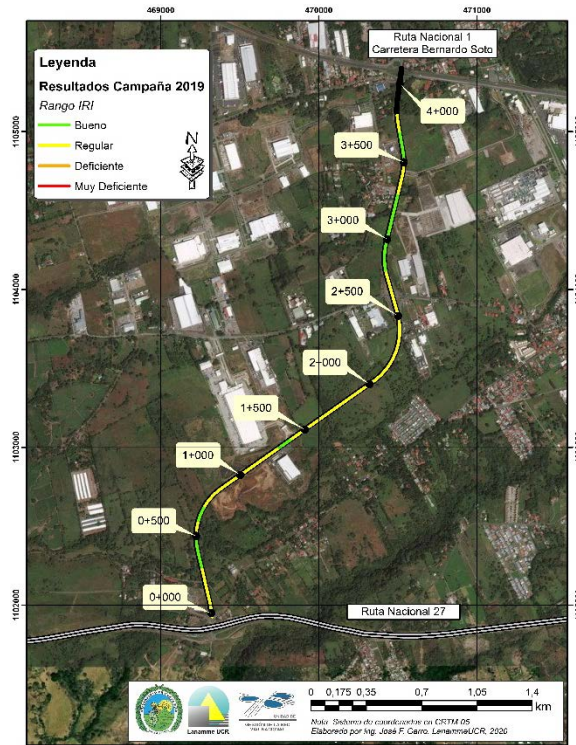


Figura A5 3. Resultados IRI, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyol

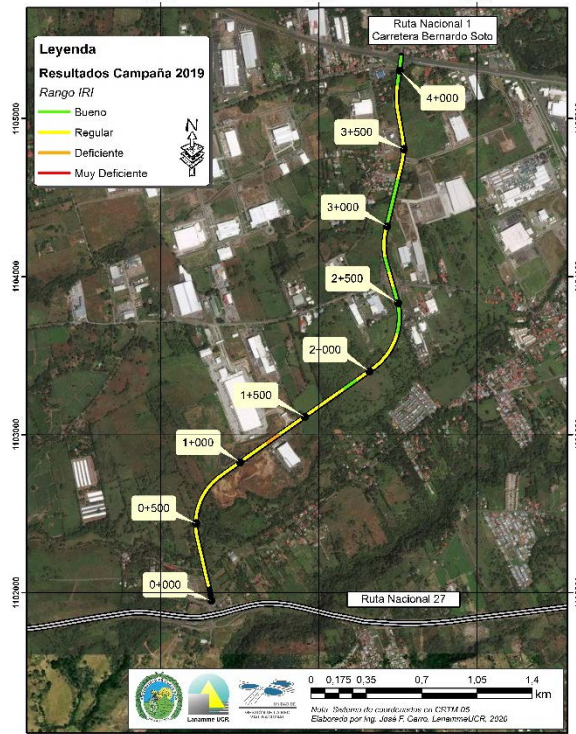


Figura A5 4. Resultados IRI, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27

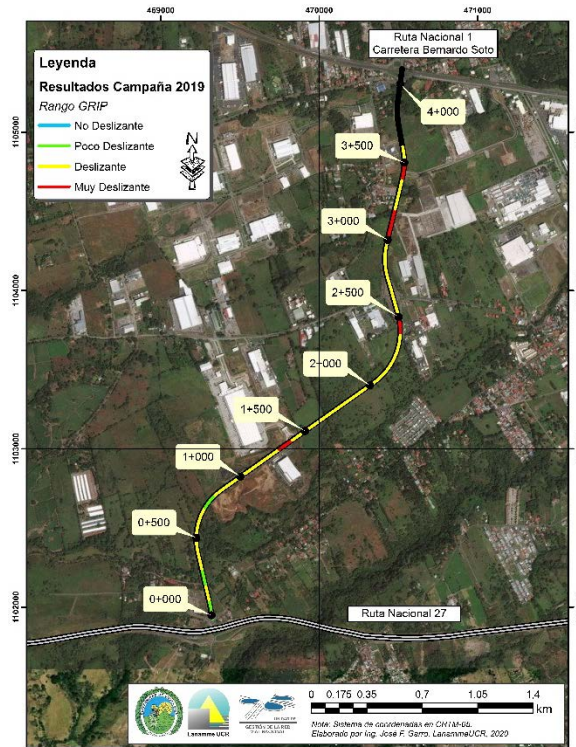


Figura A5 5. Resultados GRIP, Radial El Coyal, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyal

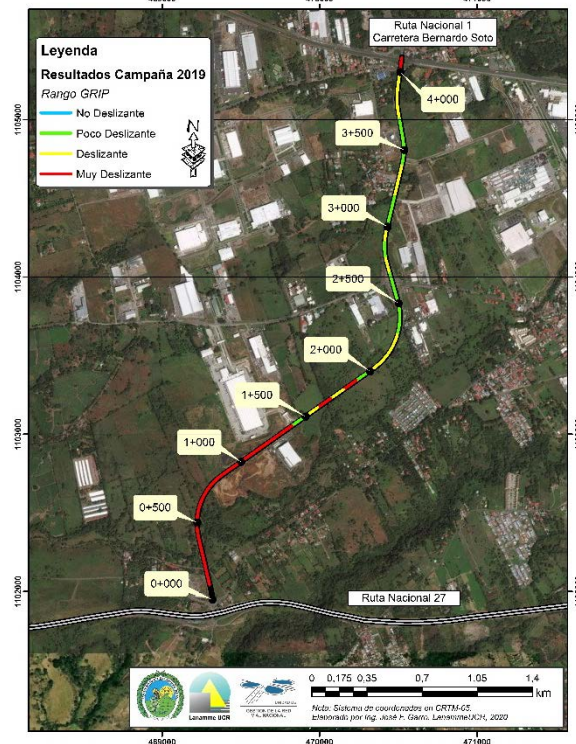


Figura A5 6. Resultados GRIP, Radial El Coyal, sentido El Coyal - Ruta Nacional 27

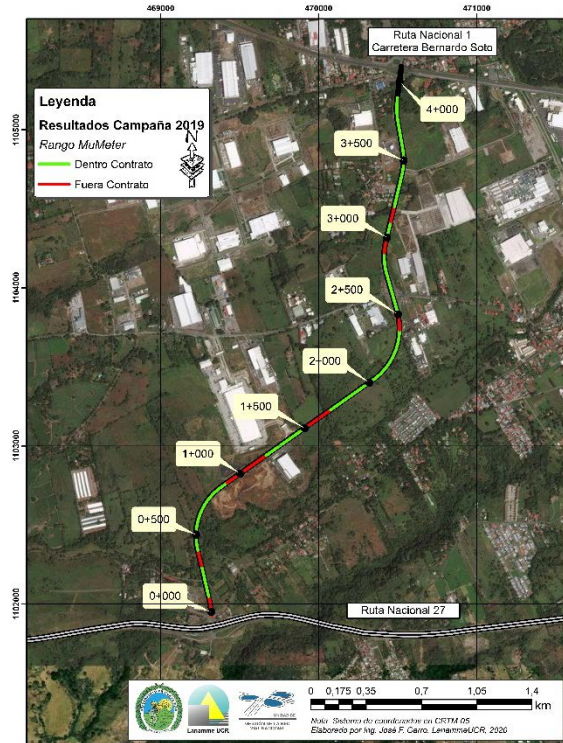


Figura A5 7. Resultados MuMeter, Radial El Coyal, sentido Ruta Nacional 27 – El Coyal

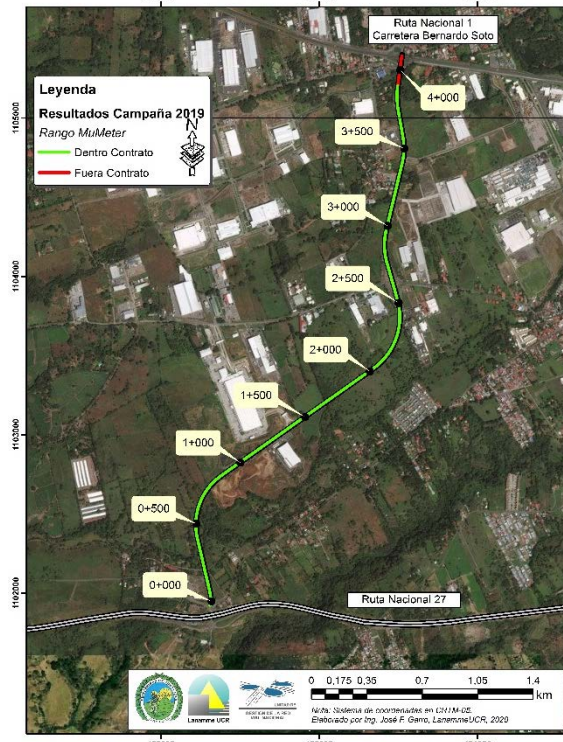


Figura A5 8. Resultados MuMeter, Radial El Coyal, sentido El Coyal - Ruta Nacional 27

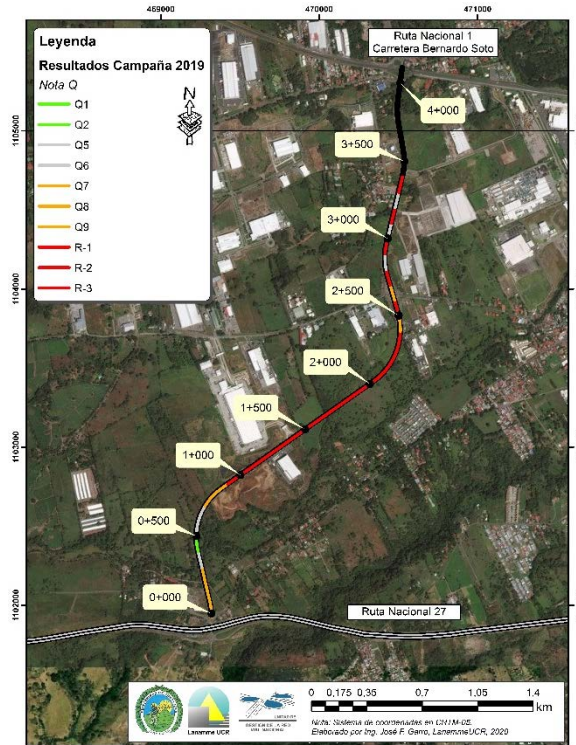


Figura A5 9. Resultados Notas Q, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyol

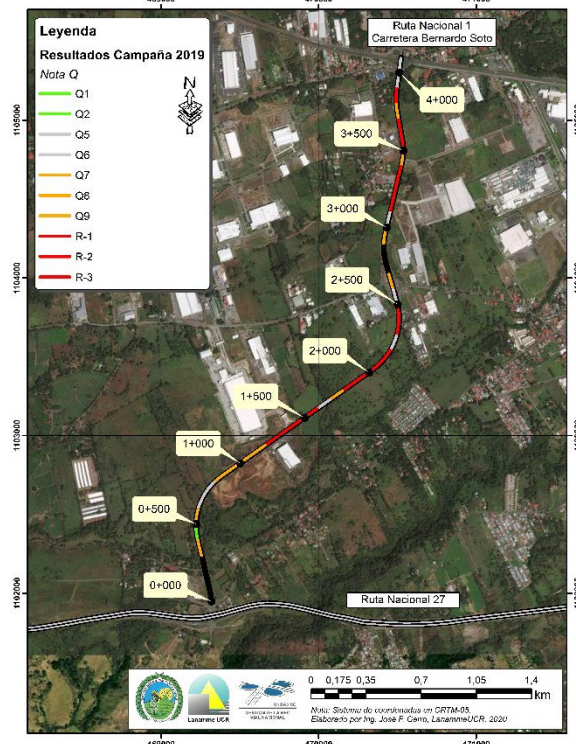


Figura A5 10. Resultados Notas Q, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27

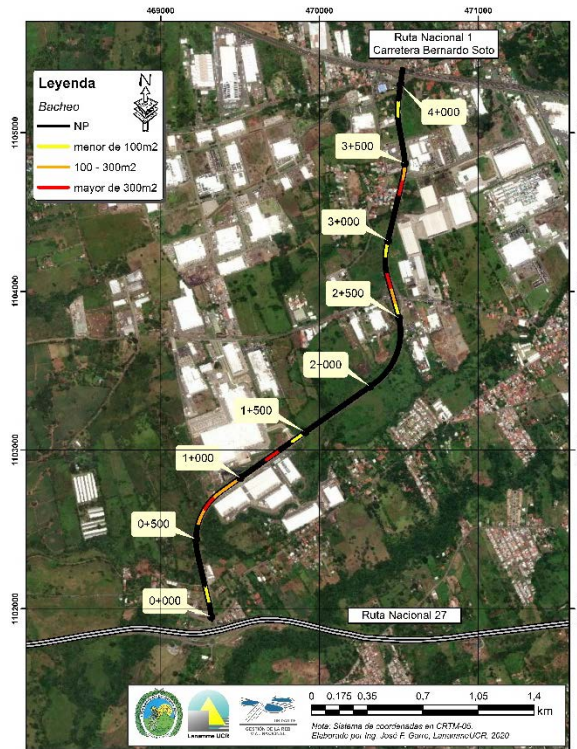


Figura A5 11. Resultados Bacheo, Radial El Coyal, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyal

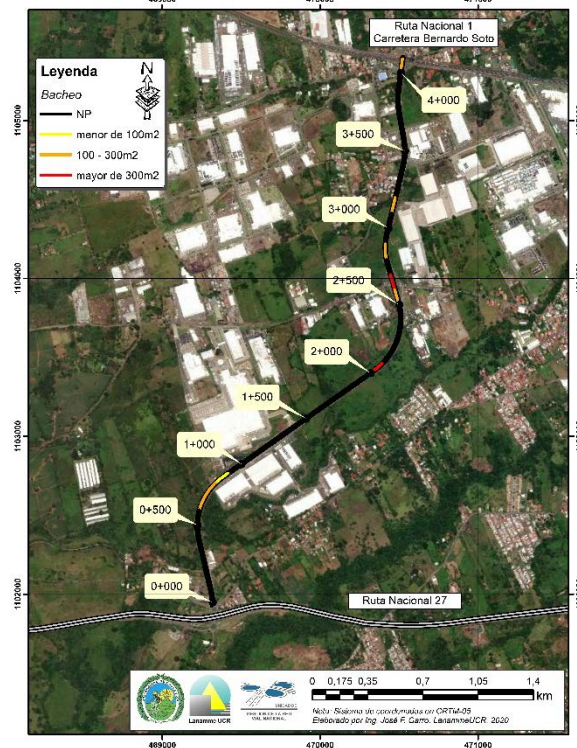


Figura A5 12. Resultados Bacheo, Radial El Coyal, sentido El Coyal - Ruta Nacional 27

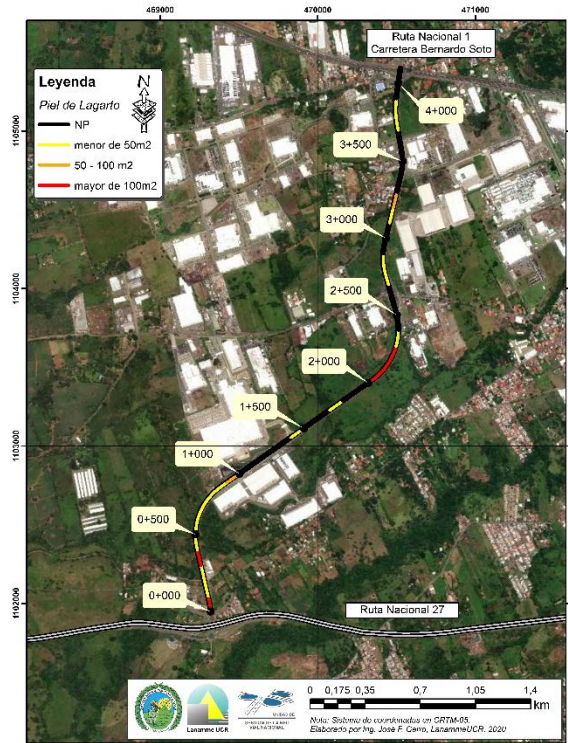


Figura A5 13. Resultados Piel de Lagarto, Radial El Coyal, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyal

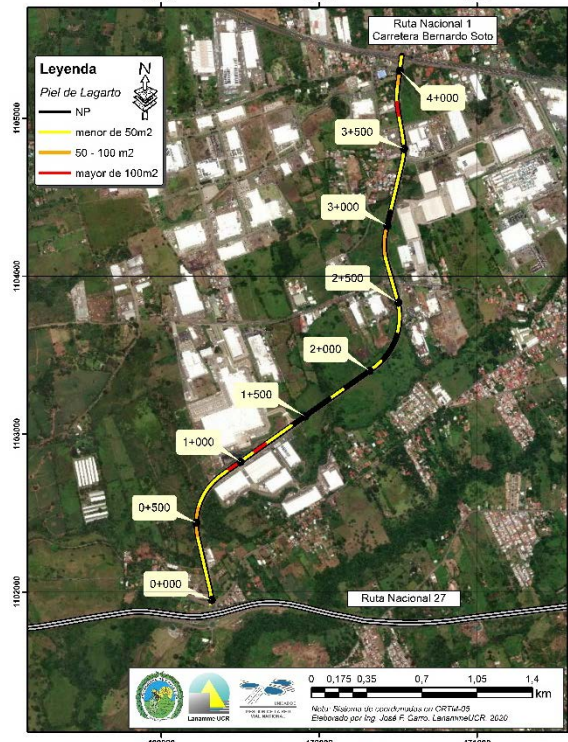


Figura A5 14. Resultados Piel de Lagarto, Radial El Coyal, sentido El Coyal - Ruta Nacional 27

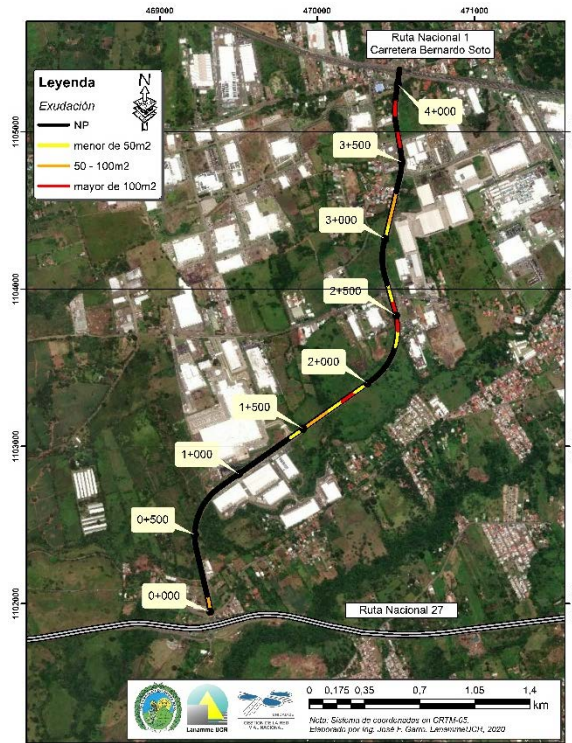


Figura A5 15. Resultados Exudación, Radial El Coyal, sentido Ruta Nacional 27 – El Coyal

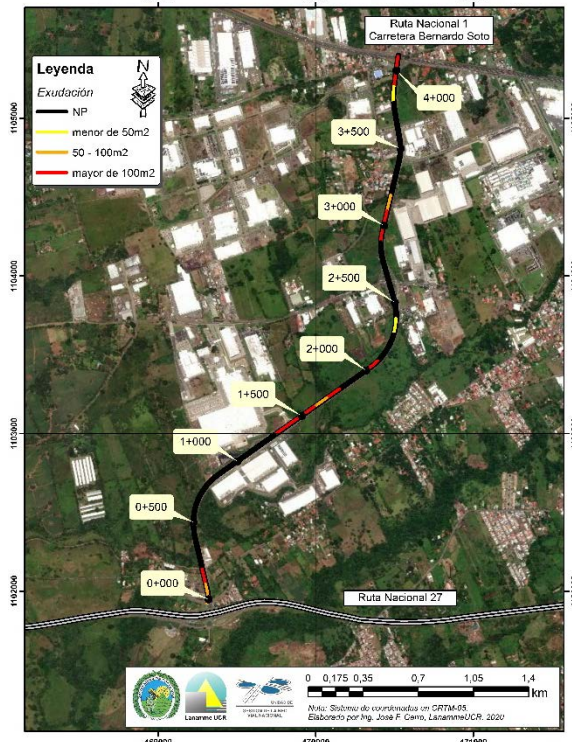


Figura A5 16. Resultados Exudación, Radial El Coyal, sentido El Coyal – Ruta Nacional 27

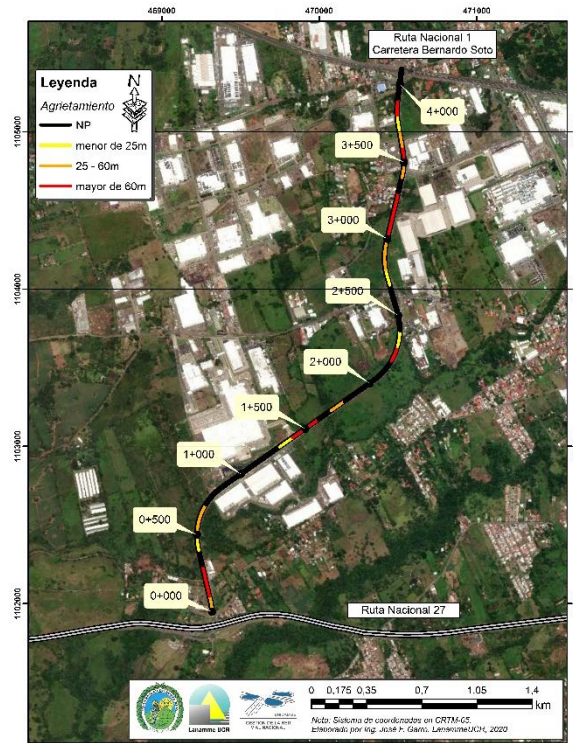


Figura A5 17. Resultados Agrietamiento, Radial El Coyo, sentido El Coyo – Ruta Nacional 27

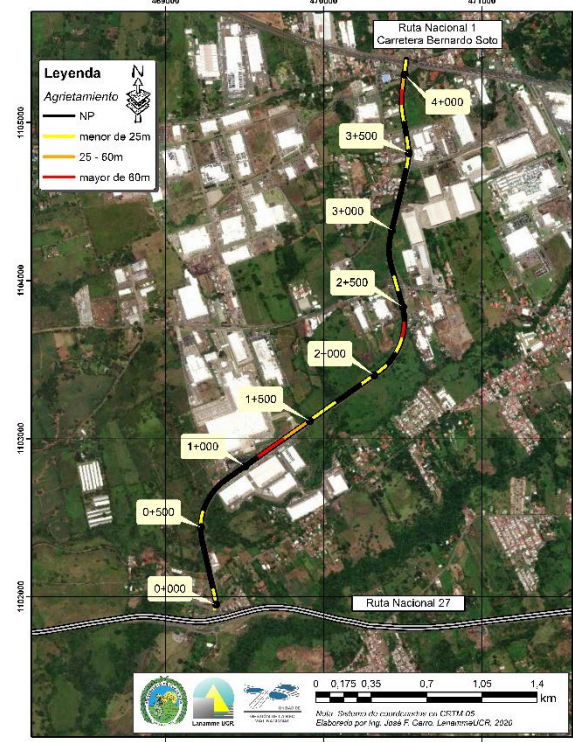


Figura A5 18. Resultados Agrietamiento, Radial El Coyo, sentido Ruta Nacional 27 – El Coyo

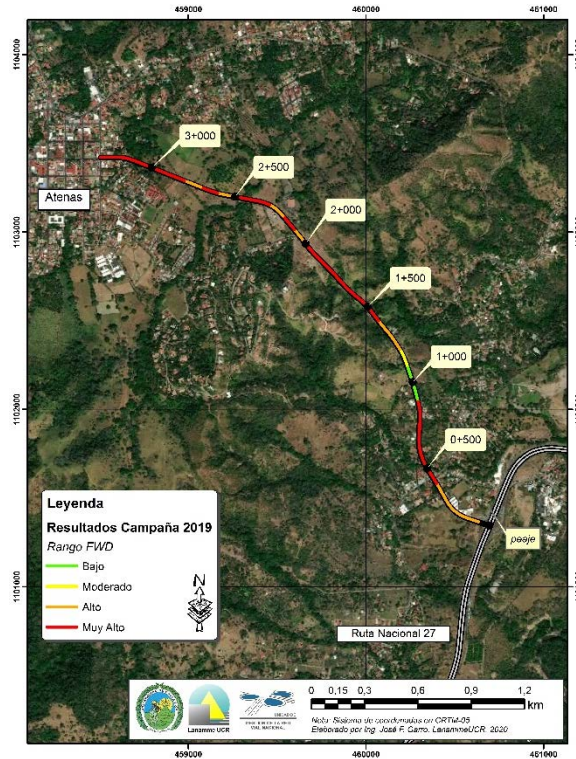


Figura A5 19. Resultados FWD, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

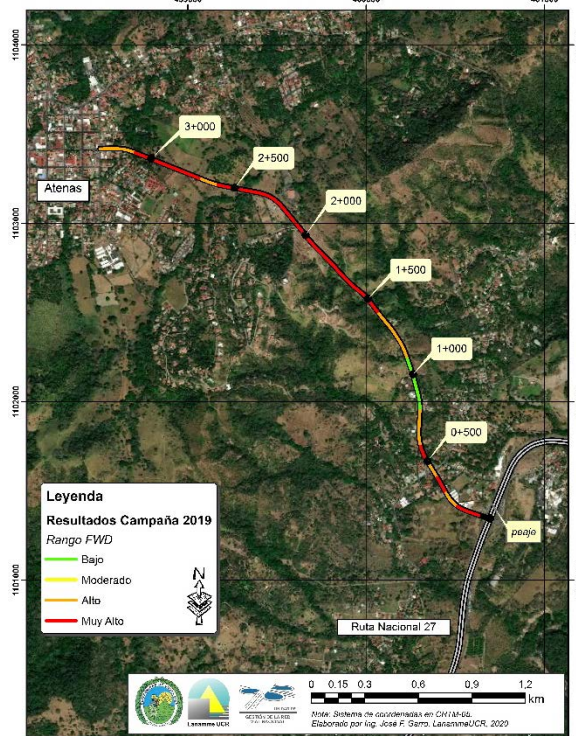


Figura A5 20. Resultados FWD, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

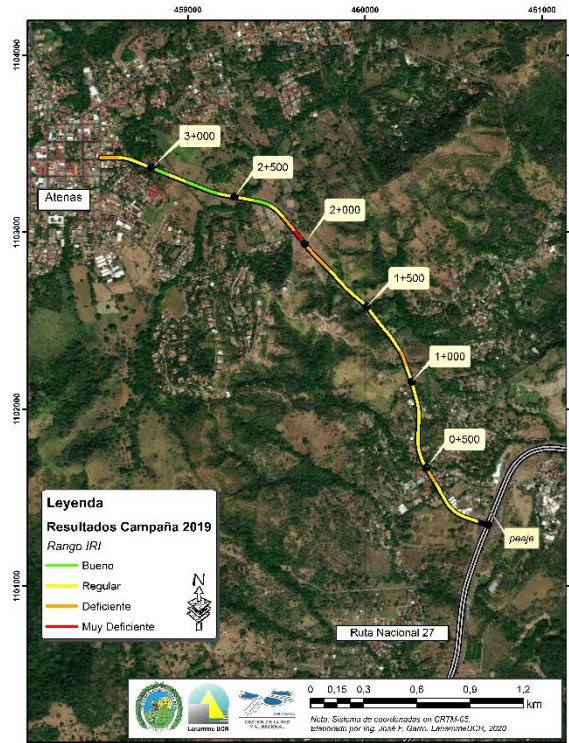


Figura A5 21. Resultados IRI, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

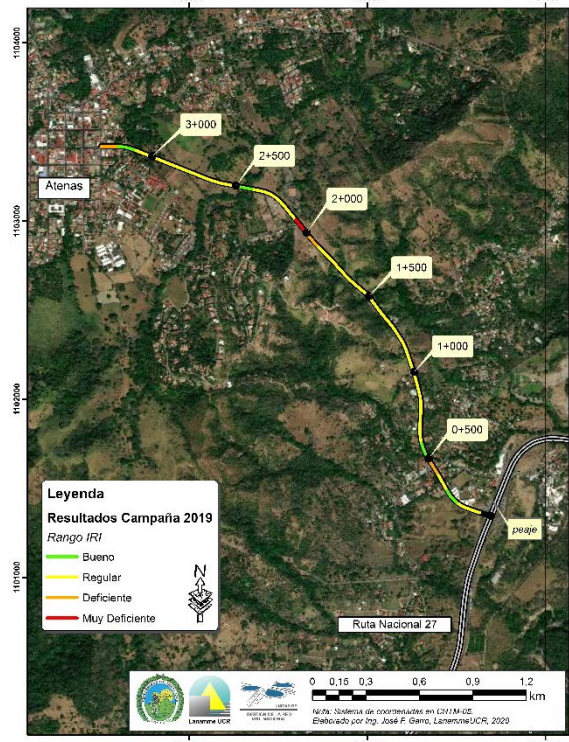


Figura A5 22 Resultados IRI, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

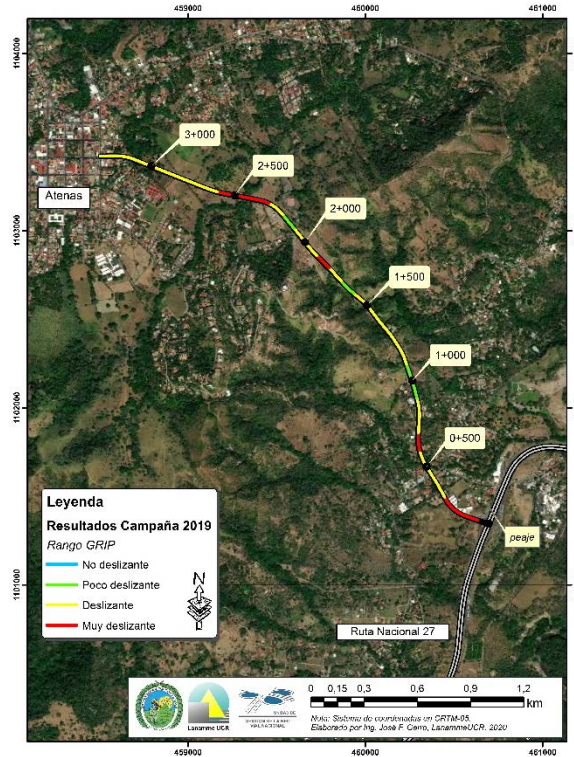


Figura A5 23. Resultados GRIP, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

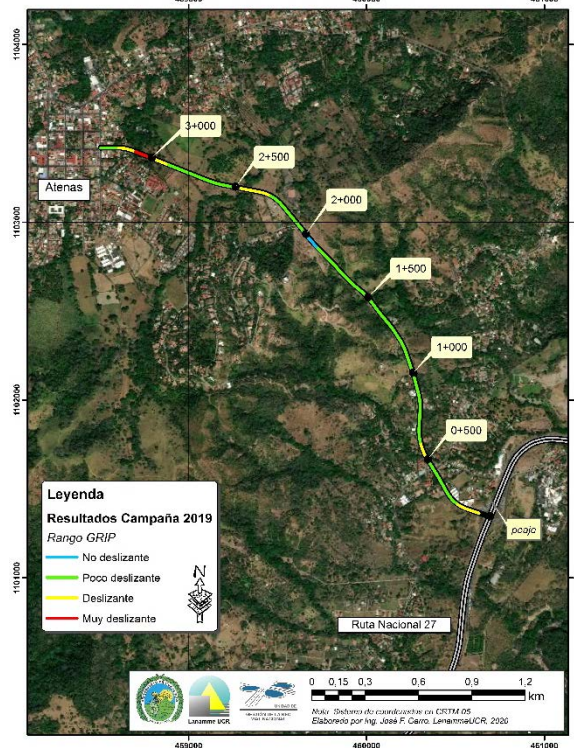


Figura A5 24. Resultados GRIP, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

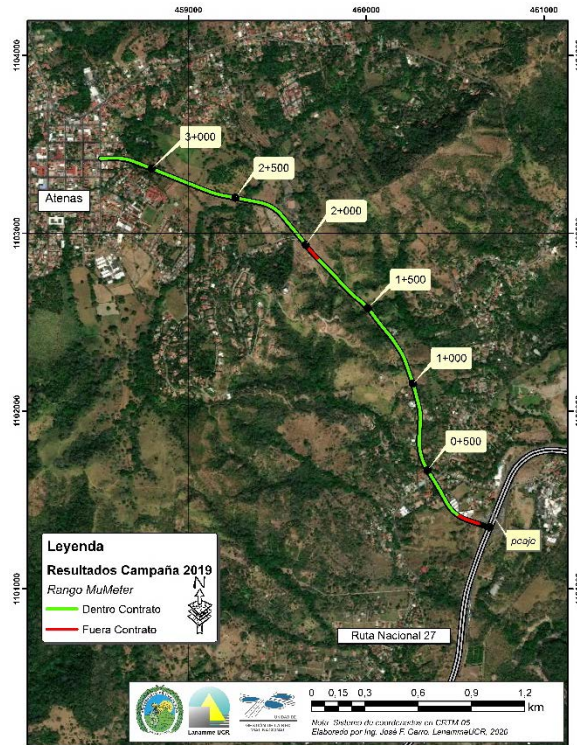


Figura A5 25. Resultados MuMeter, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

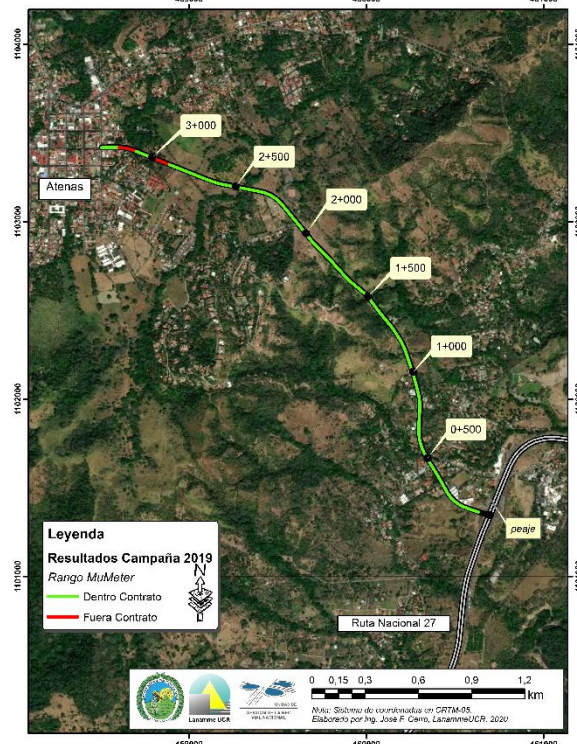


Figura A5 26. Resultados MuMeter, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

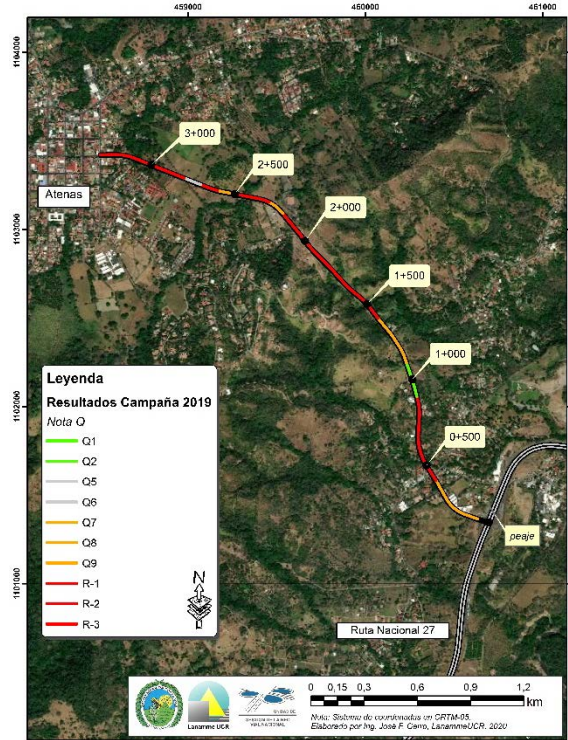


Figura A5 27. Resultados Notas Q, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

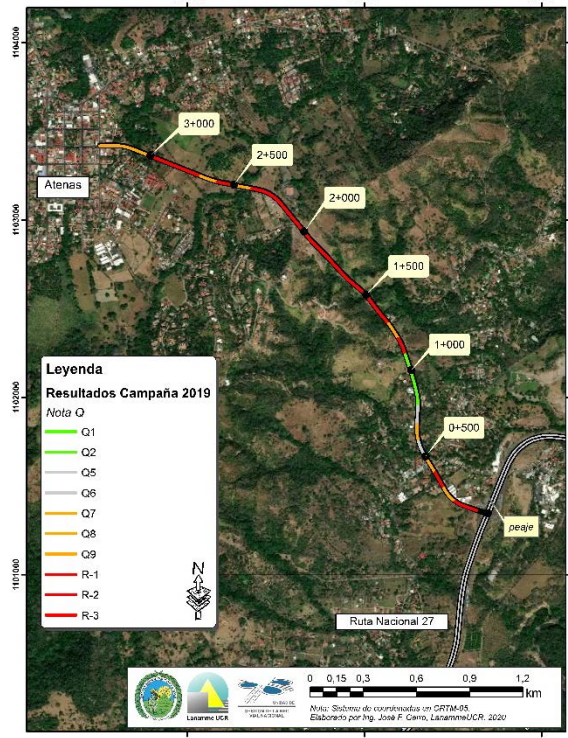


Figura A5 28. Resultados Notas Q, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

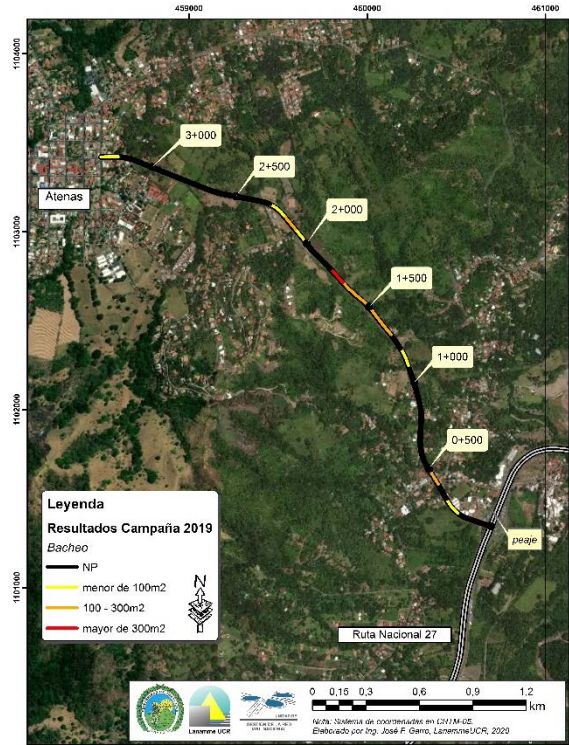


Figura A5 29. Resultados Bacheo, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

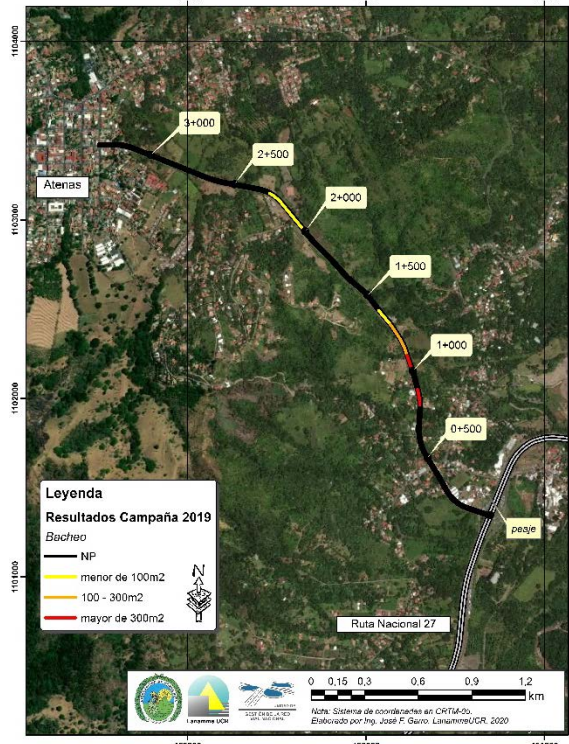


Figura A5 30. Resultados Bacheo, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

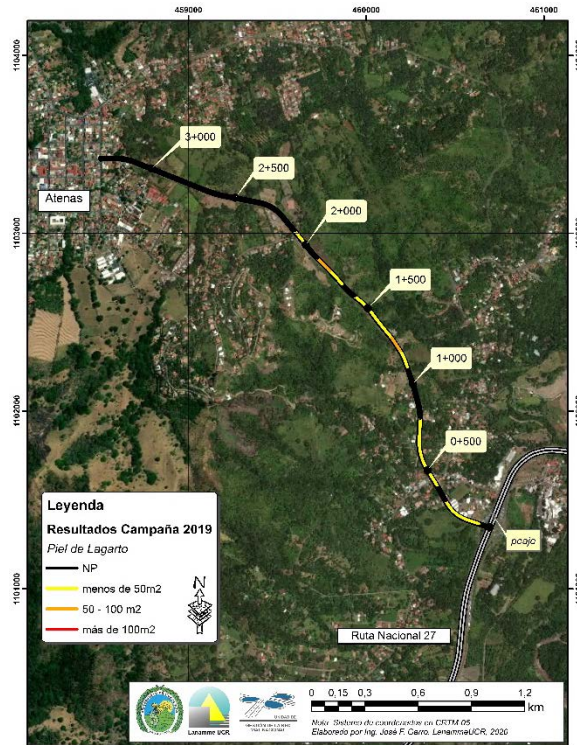


Figura A5 31. Resultados Piel de Lagarto, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

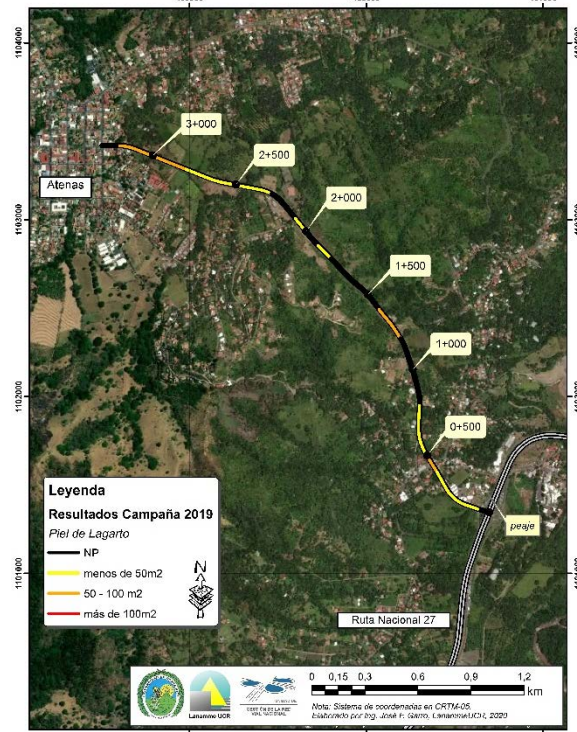


Figura A5 32. Resultados Piel de Lagarto, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

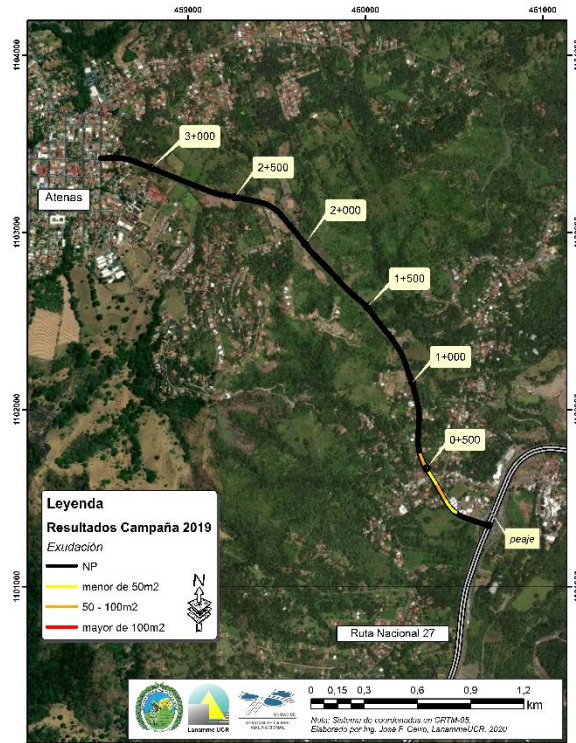


Figura A5 33. Resultados Exudación, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 – Atenas

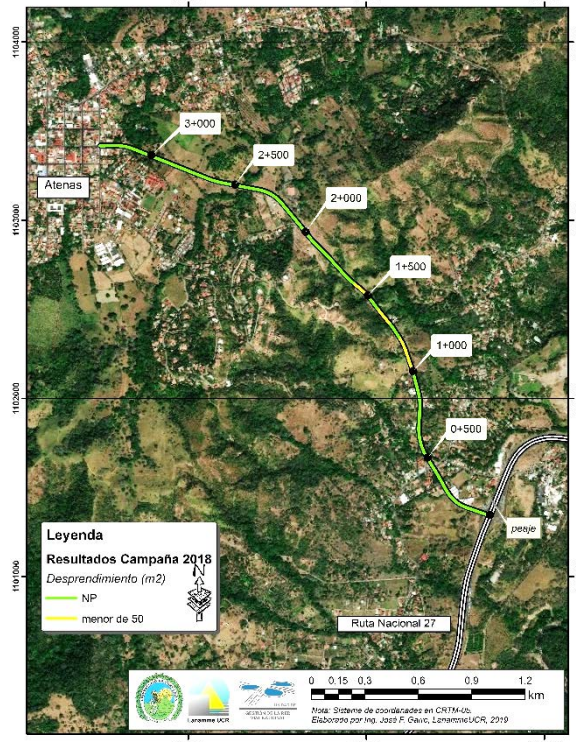


Figura A5 34. Resultados Desprendimiento, Radial Atenas, sentido Atenas – Ruta Nacional 27

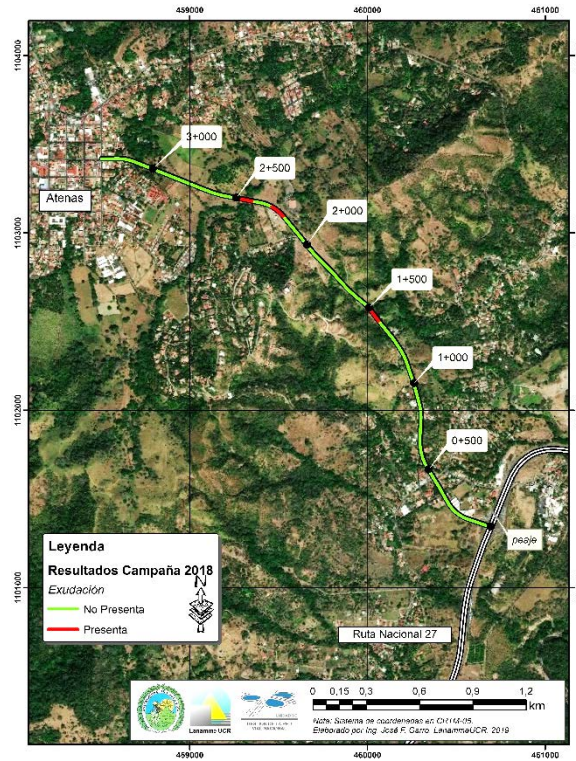


Figura A5 35. Resultados Exudación, Radial Atenas, sentido Atenas – Ruta Nacional 27

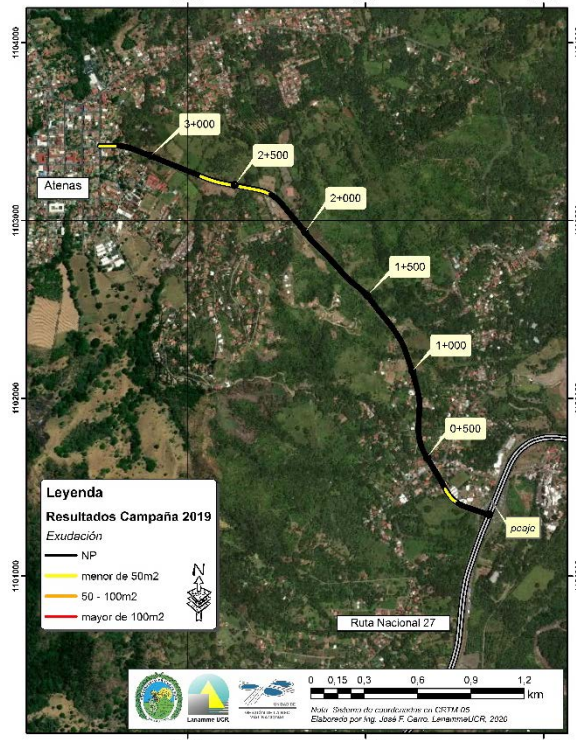


Figura A5 36. Resultados Exudación, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 – Atenas

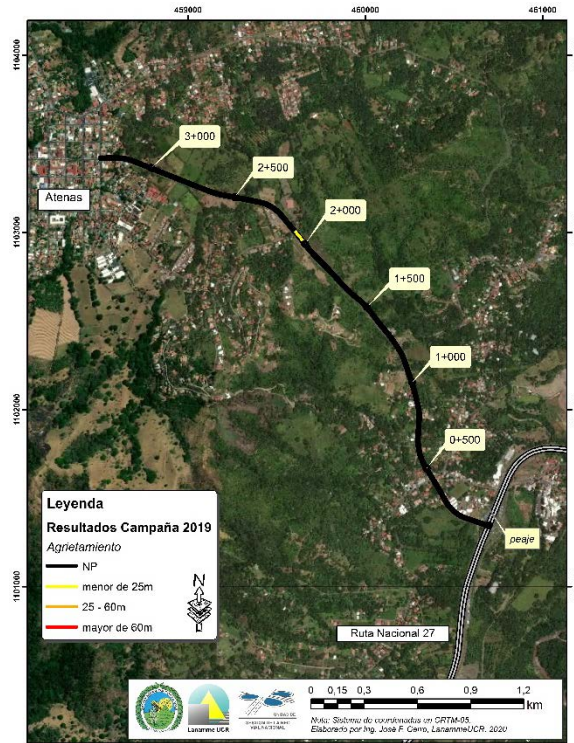


Figura A5 37. Resultados Agrietamiento, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 – Atenas

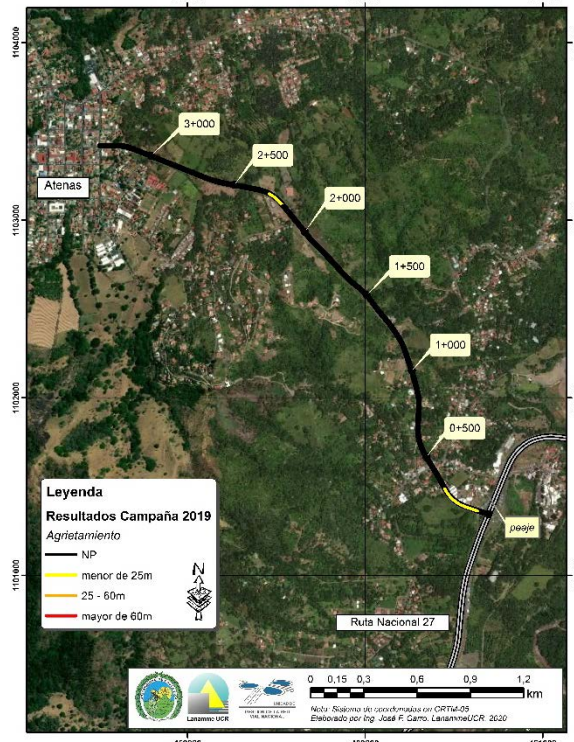


Figura A5 38. Resultados Agrietamiento, Radial Atenas, sentido Atenas – Ruta Nacional 27



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



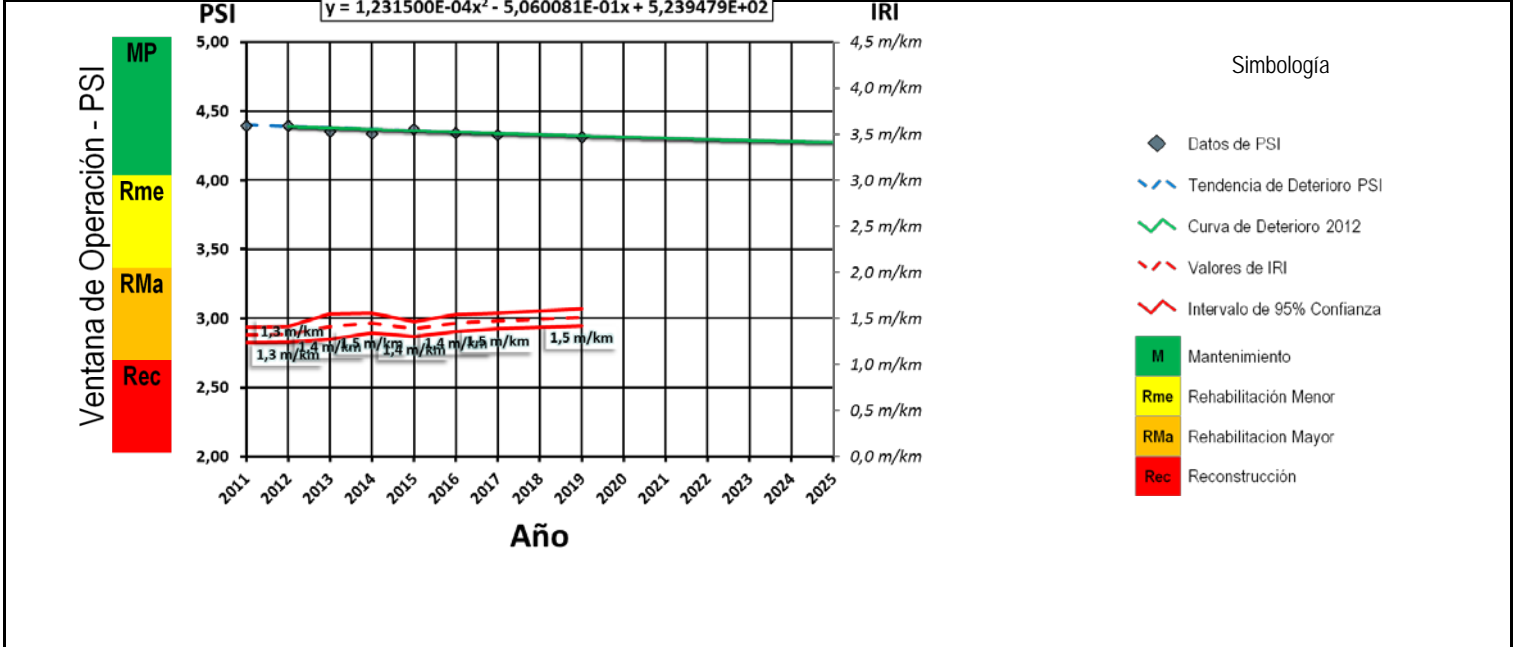
LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

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



Modelo de Deterioro - PSI CR

Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	2,1	Concesión	16000	10,42 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{ano})^2 + B \cdot (X_{ano}) + C$	R ² : 0,9514	A: 1,2315000E-04	B: -5,0600806E-01	C: 5,2394789E+02	0

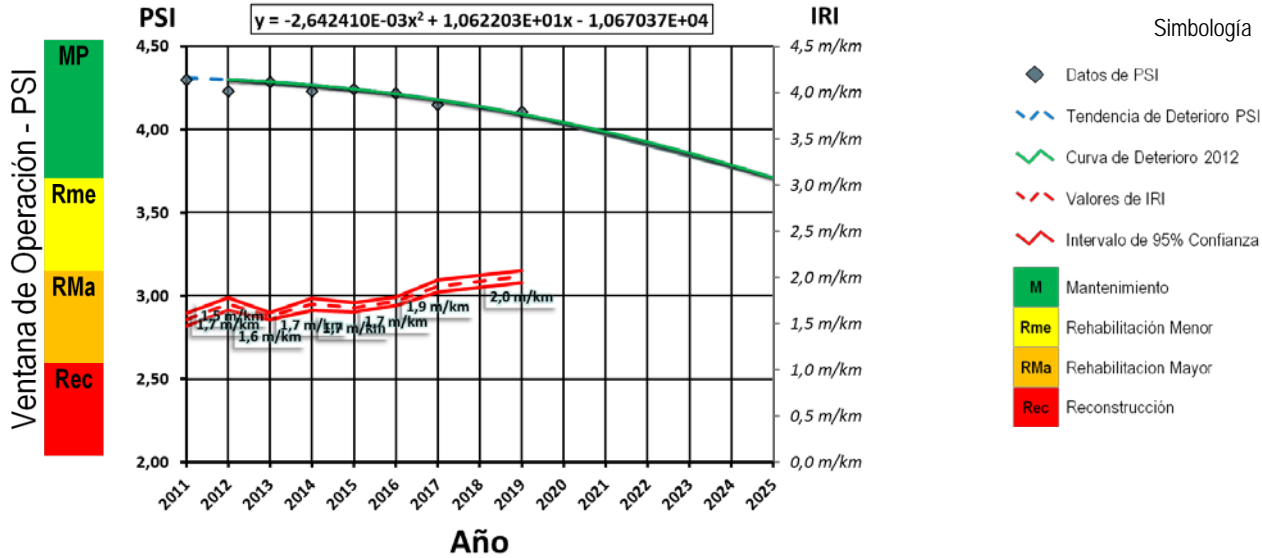
Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	107	0,45	0,92	1,32	0,08	4,40	Q2	ChS3(TS3)
2012	100	0,43	2,96	1,33	0,08	4,39	Q2	ChS3(TS3)
2013	105	0,72	22,07	1,41	0,14	4,36	Q1	ChS1(TS1)
2014	101	0,55	6,12	1,45	0,11	4,34	Q2	ChS3(TS3)
2015	96	0,40	-0,47	1,39	0,08	4,37	Q1	ChS1(TS1)
2016	100	0,47	1,25	1,45	0,09	4,34	0	0
2017	100	0,42	2,95	1,47	0,08	4,33	Q1	SS,ChS1(TS1)
2018	100	0,48	0,47	1,51	0,09	4,31	Q1	ChS2(TS2),ChS3(TS3),Slurry
2019	100	0,48	0,47	1,51	0,09	4,31	Q1	ChS2(TS2),ChS3(TS3),Slurry

Ubicación		
Provincia	SAN JOSE	03+605 A 14+025
Cantón	CIUDAD COLON	



Modelo de Deterioro - PSI CR

Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	3,1	Concesión	3000	37,70 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$	R ² :	A:	B:	C:	0
	0,9861	2,6424100E-03	1,0622029E+01	-1,0670367E+04	

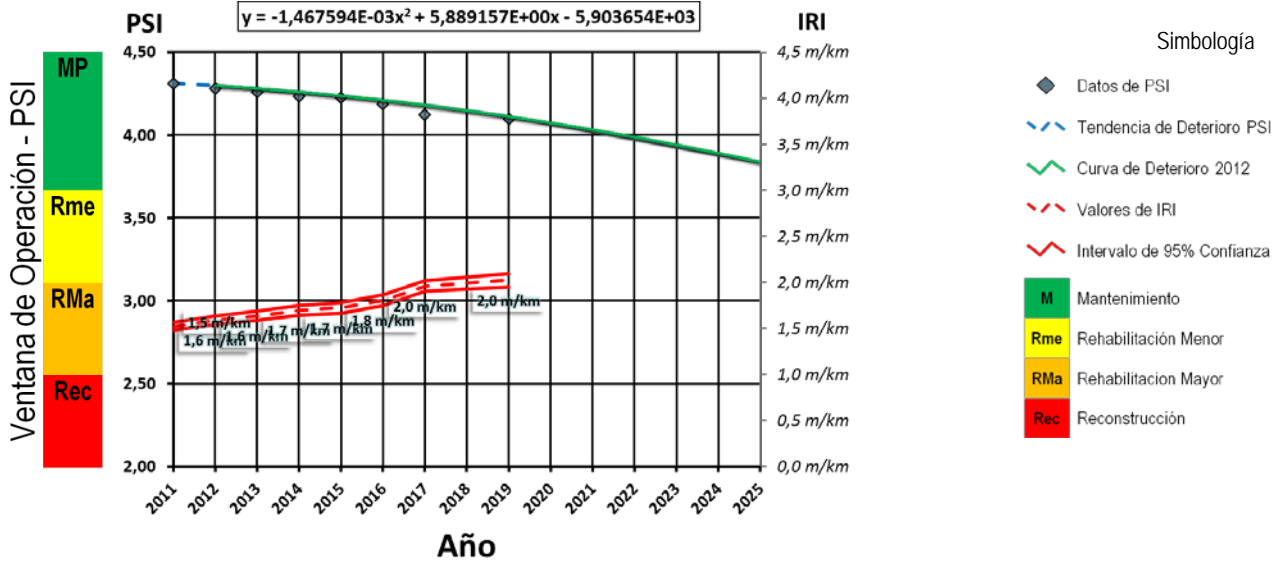
Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	368	0,65	12,50	1,54	0,07	4,30	Q2	ChS3(TS3)
2012	362	0,69	12,00	1,71	0,07	4,23	Q2	ChS3(TS3)
2013	361	0,39	1,22	1,58	0,04	4,28	Q1	ChS1(TS1)
2014	362	0,63	10,68	1,71	0,06	4,23	Q2	ChS3(TS3)
2015	360	0,49	1,56	1,68	0,05	4,24	Q1	ChS1(TS1)
2016	357	0,44	0,24	1,74	0,05	4,22	0	0
2017	364	0,62	10,14	1,91	0,06	4,15	Q2	ChS3(TS3)
2018	368	0,63	7,62	2,01	0,06	4,11	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2019	368	0,63	7,62	2,01	0,06	4,11	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)

Ubicación		
Provincia	ALAJUELA	14+025 A 51+720
Cantón	VARIOS	



Modelo de Deterioro - PSI CR

Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	4,1	Concesión	15300	24,91 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$	R ² :	A:	B:	C:	0
	0,9937	1,4675940E-03	5,8891571E+00	-5,9036537E+03	

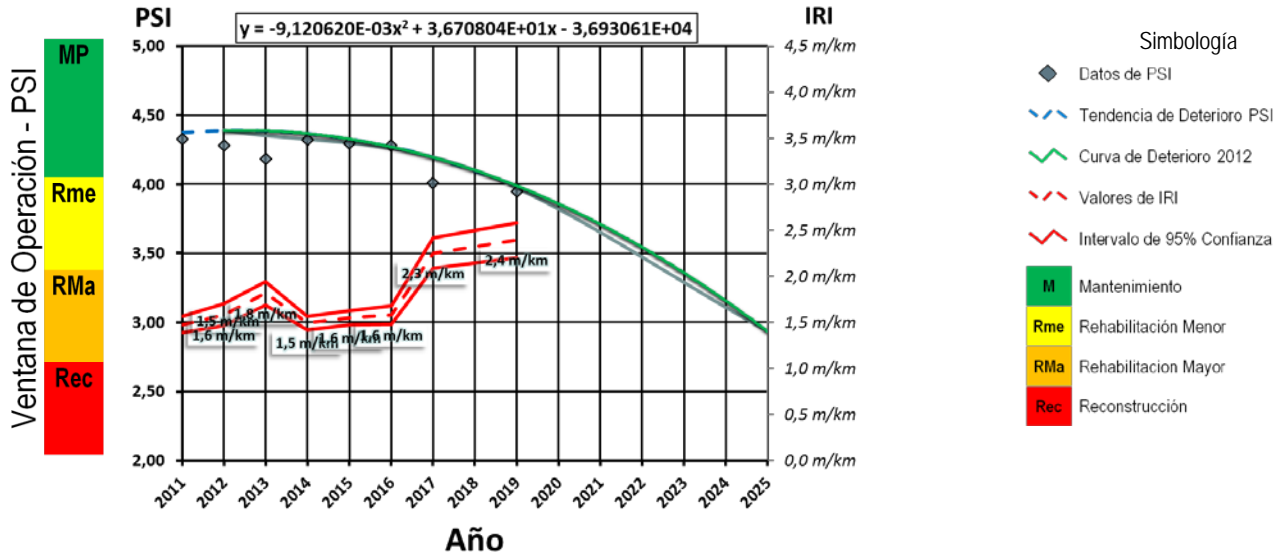
Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	243	0,34	0,79	1,52	0,04	4,31	Q2	ChS3(TS3)
2012	251	0,37	0,36	1,59	0,05	4,28	Q2	ChS3(TS3)
2013	242	0,38	0,50	1,64	0,05	4,26	Q1	ChS1(TS1)
2014	244	0,43	0,66	1,70	0,05	4,23	Q2	ChS3(TS3)
2015	243	0,46	0,50	1,72	0,06	4,22	Q1	ChS1(TS1)
2016	237	0,45	-0,33	1,81	0,06	4,19	0	0
2017	243	0,48	0,00	1,96	0,06	4,13	Q2	ChS3(TS3)
2018	248	0,58	0,41	2,02	0,07	4,10	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2019	248	0,58	0,41	2,02	0,07	4,10	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)

Ubicación		
Provincia	ALAJUELA	51+720 A 76+310
Cantón	OROTINA	



Modelo de Deterioro - PSI CR

Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	1,2	Concesión	88000	3,61 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$	R ² :	A:	B:	C:	0
	0,9643	9,1206200E-03	3,6708044E+01	-3,6930612E+04	

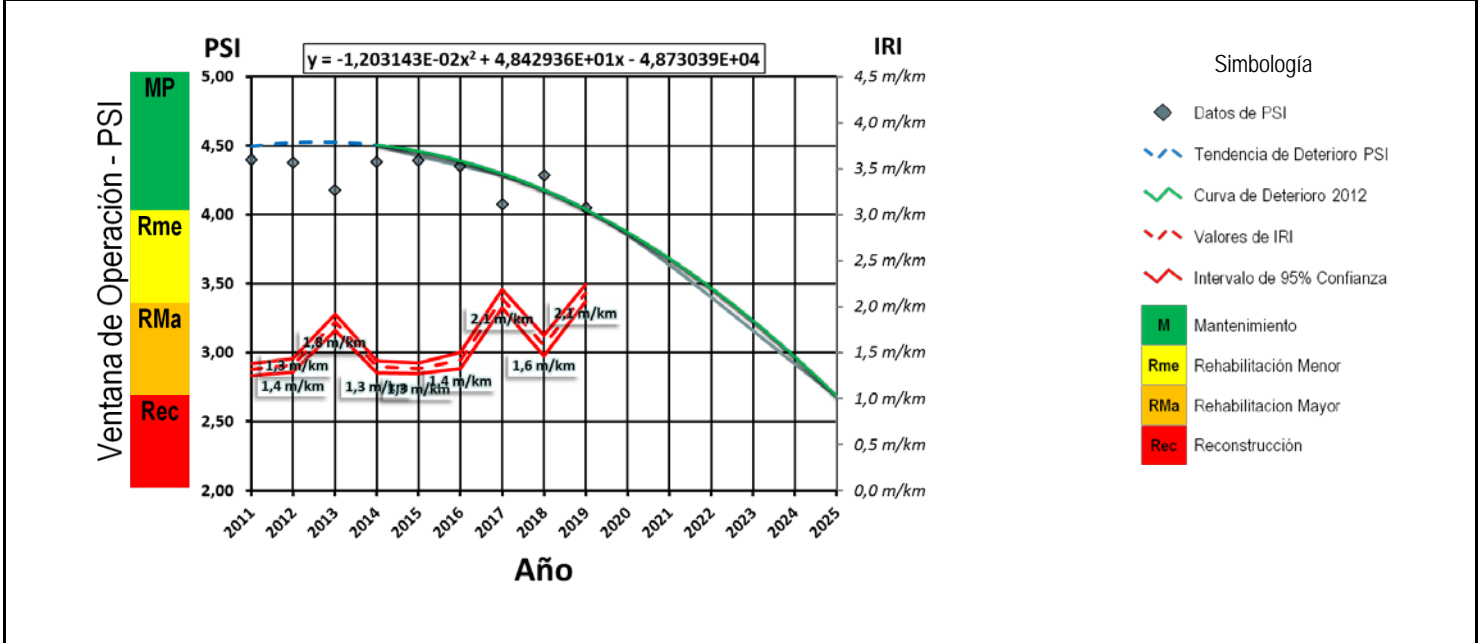
Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	34	0,26	-0,40	1,47	0,09	4,33	Q2	ChS3(TS3)
2012	34	0,35	0,51	1,58	0,12	4,28	Q2	ChS3(TS3)
2013	33	0,38	-1,00	1,82	0,13	4,19	Q1	ChS1(TS1)
2014	31	0,20	-0,16	1,49	0,07	4,32	Q2	ChS3(TS3)
2015	29	0,21	-0,24	1,55	0,08	4,30	Q1	ChS1(TS1)
2016	35	0,29	0,43	1,58	0,10	4,28	0	0
2017	37	0,51	-0,13	2,25	0,17	4,01	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2018	36	0,58	-0,18	2,39	0,19	3,95	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2019	36	0,58	-0,18	2,39	0,19	3,95	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)

Ubicación		
Provincia	SAN JOSE	
Cantón	ESCAZÚ	
0+000 A 03+605		



Modelo de Deterioro - PSI CR

Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	2,2	Concesión	16000	10,42 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$	R ² :	A:	B:	C:	0
	0,8165	1,2031430E-02	4,842936E+01	-4,8730392E+04	

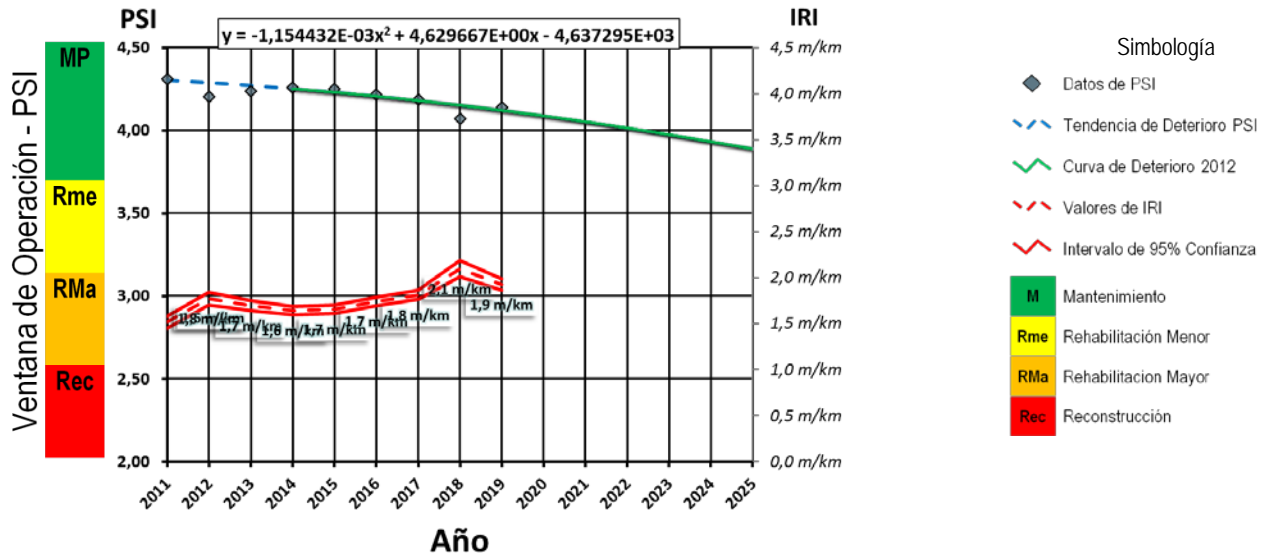
Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	103	0,34	3,40	1,31	0,07	4,40	Q2	ChS3(TS3)
2012	104	0,37	0,44	1,36	0,07	4,38	Q2	ChS3(TS3)
2013	100	0,45	0,17	1,83	0,09	4,18	Q1	ChS1(TS1)
2014	105	0,34	-0,15	1,35	0,06	4,38	Q2	ChS3(TS3)
2015	95	0,29	-0,18	1,33	0,06	4,39	Q1	ChS1(TS1)
2016	100	0,45	5,37	1,41	0,09	4,35	0	0
2017	103	0,51	4,00	2,09	0,10	4,07	Q2	SS,ChS1(TS1)
2018	102	0,58	13,11	1,58	0,11	4,28	Q1	ChS2(TS2),ChS3(TS3),Slurry
2019	103	0,46	-0,16	2,15	0,09	4,05	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)

Ubicación		
Provincia	SAN JOSE	
Cantón	CIUDAD COLON	
03+605 A 14+025		



Modelo de Deterioro - PSI CR

Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	3,2	Concesión	3000	37,70 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$	R ² :	A:	B:	C:	0
	0,9958	1,1544320E-03	4,6296666E+00	-4,6372945E+03	

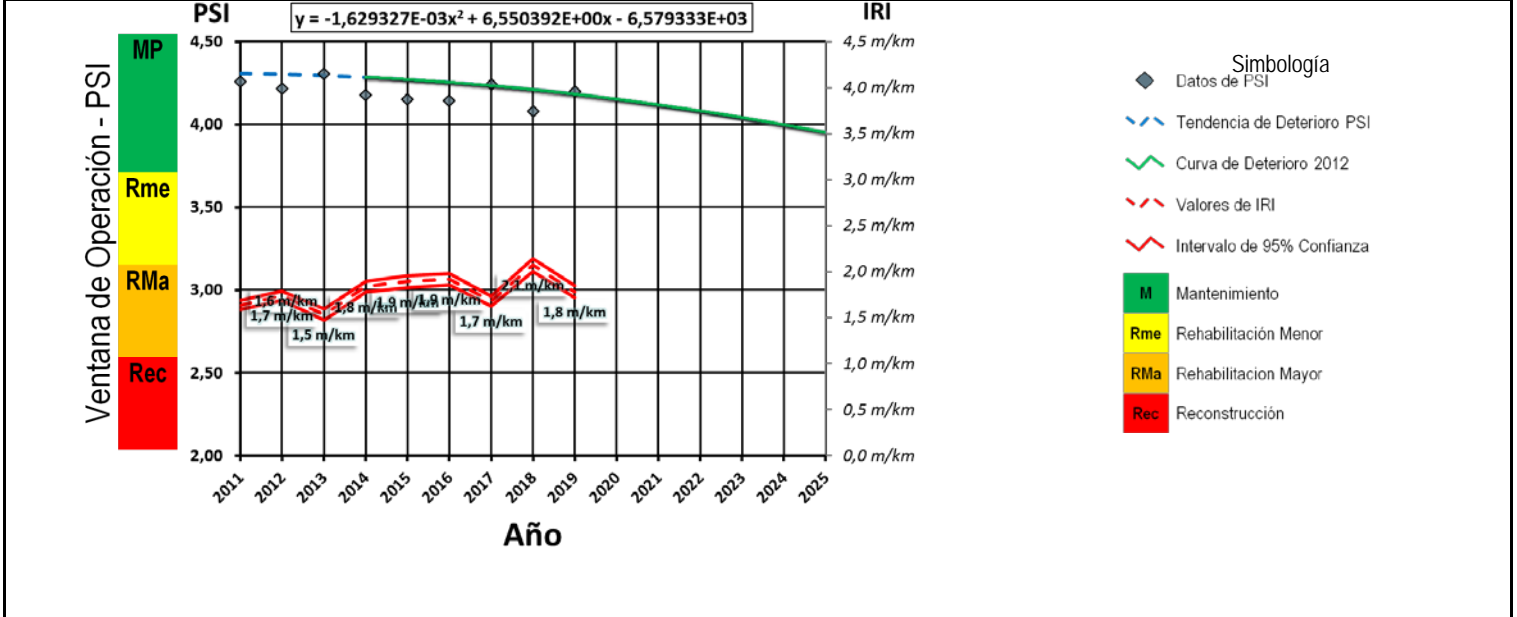
Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	374	0,65	14,47	1,52	0,07	4,31	Q2	ChS3(TS3)
2012	375	0,69	7,34	1,77	0,07	4,20	Q2	ChS3(TS3)
2013	374	0,53	11,29	1,69	0,05	4,24	Q1	ChS1(TS1)
2014	366	0,44	1,35	1,64	0,05	4,26	Q2	ChS3(TS3)
2015	355	0,45	1,10	1,66	0,05	4,25	Q1	ChS1(TS1)
2016	355	0,44	-0,19	1,74	0,05	4,22	0	0
2017	365	0,48	1,36	1,81	0,05	4,19	Q2	SS,ChS1(TS1)
2018	364	0,85	7,41	2,10	0,09	4,07	Q3	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2019	372	0,61	7,24	1,93	0,06	4,14	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)

Ubicación		
Provincia	ALAJUELA	14+025 A 51+720
Cantón	VARIOS	



Modelo de Deterioro - PSI CR

Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	4,2	Concesión	15300	24,91 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{ano})^2 + B \cdot (X_{ano}) + C$	R ² :	A:	B:	C:	0
	0,9972	1,6293270E-03	6,5503917E+00	-6,5793327E+03	

Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	244	0,39	2,03	1,64	0,05	4,26	Q2	ChS3(TS3)
2012	243	0,40	0,78	1,74	0,05	4,22	Q2	ChS3(TS3)
2013	236	0,48	1,88	1,53	0,06	4,30	Q1	ChS1(TS1)
2014	245	0,45	0,12	1,84	0,06	4,18	Q2	ChS3(TS3)
2015	244	0,51	-0,50	1,89	0,06	4,15	Q1	ChS1(TS1)
2016	244	0,51	0,18	1,92	0,06	4,14	0	0
2017	235	0,44	-0,21	1,68	0,06	4,24	Q1	ChS2(TS2),ChS3(TS3),Slurry
2018	244	0,57	6,21	2,07	0,07	4,08	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2019	246	0,54	0,20	1,78	0,07	4,20	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)

Ubicación		
Provincia	ALAJUELA	51+720 A 76+310
Cantón	OROTINA	



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES