



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-12-14

# **EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE TRAMOS HOMOGÉNEOS RED VIAL CANTONAL DE SAN CARLOS**

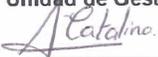
Preparado por:  
**Unidad de Gestión Municipal**

San José, Costa Rica  
Junio, 2014



Documento generado con base en el Art. 6, inciso j) de la ley 8114 según la reforma aprobada en la ley 8603. Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

Información técnica del documento

<b>1. Informe</b> LM-PI-GM-12-14		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE TRAMOS HOMÓGENEOS RED VIAL CANTONAL DE SAN CARLOS.		<b>4. Fecha del Informe:</b> Junio, 2014
<b>5. Organización y dirección</b> 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		
<b>6. Notas complementarias</b>		
<b>7. Resumen</b> <i>Se elaboró un diagnóstico de las condiciones del pavimento de la red vial cantonal de San Carlos, mediante pruebas con el perfilómetro inercial láser y el deflectómetro de impacto (realizadas en enero y abril del año 2011), sondeos a cielo abierto (realizados entre agosto y setiembre del año 2011) y conteos vehiculares (entre julio y diciembre del 2013). La extensión vial analizada consiste en un total de 43,8 km, y está distribuida en las localidades de Ciudad Quesada, Pital, Aguas Zarcas, La Fortuna y Santa Rosa. Para obtener un mejor análisis, esta distancia se dividió en 118 tramos homogéneos con los cuales se propuso soluciones a secciones de carretera que presentaran características estructurales similares. En el estudio se obtuvo que el 55% de la red vial cantonal de San Carlos presenta una buena capacidad estructural para soportar las cargas impartidas por el tránsito diario, mientras que un 28% ha perdido capacidad estructural y presenta deflexiones mayores. Con respecto a la condición funcional de la carretera solo 3 tramos homogéneos, equivalentes a 1,6 km, presentaron un buen nivel de confort; un 34% de la red presenta condiciones "Regulares" (con un IRI entre 3,6 y 6,4m/km), y un 58% (72 tramos homogéneos de 25,6 km en total) corresponden a valores de IRI mayores a 6,4 m/km, lo que se traduce en malos niveles de servicio. Uno de los productos más importantes que se incluye en el análisis es la propuesta del tipo de intervención general (mantenimiento, refuerzo estructural o reconstrucción) basada en el estado de cada uno de los tramos homogéneos durante su evaluación en el año 2011, las cuales deberían ser validadas en conjunto con la UTGV para poder emplearse actualmente. La información contenida en este informe es una herramienta útil para una eficiente y eficaz gestión de los recursos que dispone el municipio para el mantenimiento y la mejora de la red vial que administra.</i>		
<b>8. Palabras clave</b> Evaluación, Gestión, Tramos, Intervención	<b>9. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>10. Núm. de páginas</b> 87
<b>11. Preparado por:</b> Ing. Ana Catalina Vargas Sobrado Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 05 / 06 / 2014	<b>12. Revisado por:</b> Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 05 / 06 / 2014	<b>12. Revisado por:</b> Ing. Sharline López Ramírez Unidad de Gestión Municipal
<b>13. Revisado por:</b> Ing. Jaime Allen Monge, MSc Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 05 / 06 / 2014	<b>14. Revisado por:</b> Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Lanamme UGR  Fecha: / /	<b>15. Aprobado por:</b> Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: / /

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>7</b>
1.1	ASESORÍA TÉCNICA .....	7
1.2	CAPACITACIÓN .....	8
1.3	MUESTREOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO.....	8
1.4	RECURSOS FINANCIEROS .....	8
1.5	REGLAMENTO AL ARTÍCULO 5 INCISO B) DE LA LEY 8114: REGLAMENTO SOBRE EL MANEJO, NORMALIZACIÓN Y RESPONSABILIDAD PARA LA INVERSIÓN PÚBLICA EN LA RED VIAL CANTONAL .....	8
<b>2</b>	<b>PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL .....</b>	<b>9</b>
2.1	IMPORTANCIA .....	9
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP) .....	10
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL .....	12
2.4	ESQUEMA METODOLÓGICO .....	14
<b>3</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN CARLOS.....</b>	<b>15</b>
3.1	OBJETIVO .....	15
3.2	ACTIVIDADES.....	15
3.2.1	<i>TRÁNSITO VEHICULAR DIARIO.....</i>	<i>15</i>
3.2.2	<i>IDENTIFICAR CONDICIÓN FUNCIONAL.....</i>	<i>23</i>
3.2.3	<i>IDENTIFICAR CONDICIÓN ESTRUCTURAL .....</i>	<i>28</i>
3.2.4	<i>CARACTERIZAR LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO .....</i>	<i>33</i>
3.2.5	<i>DEFINIR TRAMOS HOMOGÉNEOS .....</i>	<i>50</i>
3.2.6	<i>NOTAS CALIDAD .....</i>	<i>61</i>
3.3	TIPOS DE INTERVENCIÓN .....	72
3.4	DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	82
3.5	ESCENARIOS DE INVERSIÓN.....	83
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>83</b>
4.1	CONCLUSIONES .....	83
4.2	RECOMENDACIONES.....	85
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>87</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>TABLA 1.</b> ESPEORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO SEGÚN LOS SONDEOS REALIZADOS.....	34
<b>TABLA 2.</b> CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO DE LA SUB-RASANTE EN LOS SONDEOS REALIZADOS.....	44
<b>TABLA 3.</b> CLASIFICACIÓN DEL CBR.....	46
<b>TABLA 4.</b> ÍNDICE DE RESISTENCIA CBR. ....	49
<b>TABLA 5.</b> LONGITUD DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN SAN CARLOS. ....	51
<b>TABLA 6.</b> NOTAS DE CALIDAD PARA UN TRÁNSITO INFERIOR A LOS 5000 VEHÍCULOS DIARIOS PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR. ....	61
<b>TABLA 7.</b> NOTAS DE CALIDAD PARA UN TRÁNSITO SUPERIOR A LOS 5000 VEHÍCULOS DIARIOS E INFERIOR A 15000 VEHÍCULOS DIARIOS PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.....	62
<b>TABLA 8.</b> NOTA DE CALIDAD ASIGNADA A CADA TRAMO ANALIZADO EN LA LOCALIDAD DE SAN CARLOS.....	66
<b>TABLA 9.</b> TIPO DE INTERVENCIÓN REQUERIDA A NIVEL DE RED PARA CADA TRAMO EVALUADO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN CARLOS.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS.....	11
<b>FIGURA 2.</b> ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL. ....	13
<b>FIGURA 3.</b> ESQUEMA METODOLÓGICO. ....	14
<b>FIGURA 4.</b> CABLES Y CONTADORES AUTOMÁTICOS EN SITIO.....	16
<b>FIGURA 5.</b> CONFIGURACIÓN DE LOS CONTADORES.....	17
<b>FIGURA 6.</b> TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO EN CIUDAD QUESADA. ....	18
<b>FIGURA 7.</b> TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO EN PITAL, AGUAS ZARCAS, SANTA ROSA Y LA FORTUNA. ....	19
<b>FIGURA 8.</b> PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN LA LOCALIDAD DE SAN CARLOS.....	21
<b>FIGURA 9.</b> PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN PITAL, AGUAS ZARCAS, SANTA ROSA Y LA FORTUNA.....	22
<b>FIGURA 10.</b> REPRESENTACIÓN FÍSICA DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL.....	23
<b>FIGURA 11.</b> PERFILÓMETRO INERCIAL LÁSER.....	24
<b>FIGURA 12.</b> CONDICIÓN DEL IRI PARA LA RED VIAL CANTONAL DE CIUDAD QUESADA. ....	26
<b>FIGURA 13.</b> CONDICIÓN DEL IRI EN PITAL, SANTA ROSA, LA FORTUNA Y AGUAS ZARCAS. ....	27
<b>FIGURA 14.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DEL IRI.....	28
<b>FIGURA 15.</b> EQUIPO DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO. ....	29



<b>FIGURA 16.</b> CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.....	30
<b>FIGURA 17.</b> CONDICIÓN DE FWD PARA CIUDAD QUESADA.....	31
<b>FIGURA 18.</b> CONDICIÓN DE FWD PARA LAS LOCALIDADES DE PITAL, SANTA ROSA, LA FORTUNA Y AGUAS ZARCAS .....	32
<b>FIGURA 19.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DE FWD.....	33
<b>FIGURA 20.</b> EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	33
<b>FIGURA 21.</b> CARACTERIZACIÓN SEGÚN SUCS EN CIUDAD QUESADA.....	37
<b>FIGURA 22.</b> CARACTERIZACIÓN SEGÚN SUCS EN EN PITAL, SANTA ROSA, LA FORTUNA Y AGUAS ZARCAS.....	38
<b>FIGURA 23.</b> CARACTERIZACIÓN SEGÚN AASHTO EN CIUDAD QUESADA.....	42
<b>FIGURA 24.</b> CARACTERIZACIÓN SEGÚN AASHTO EN PITAL, SANTA ROSA, LA FORTUNA Y AGUAS ZARCAS.....	43
<b>FIGURA 25.</b> PRUEBA DE CBR EN SITIO.....	45
<b>FIGURA 26.</b> CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES, EN CIUDAD QUESADA.....	47
<b>FIGURA 27.</b> CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES, EN PITAL, SANTA ROSA, LA FORTUNA Y AGUAS ZARCAS.....	48
<b>FIGURA 28.</b> UBICACIÓN DE DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS EN CIUDAD QUESADA.....	52
<b>FIGURA 29.</b> UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN PITAL, SANTA ROSA, LA FORTUNA Y AGUAS ZARCAS.....	53
<b>FIGURA 30.</b> DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN CIUDAD QUESADA.....	55
<b>FIGURA 31.</b> DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN PITAL, SANTA ROSA, LA FORTUNA Y AGUAS ZARCAS.....	56
<b>FIGURA 32.</b> PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO.....	57
<b>FIGURA 33.</b> PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD PROMEDIO.....	57
<b>FIGURA 34.</b> IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN CIUDAD QUESADA.....	58
<b>FIGURA 35.</b> IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN PITAL, SANTA ROSA, LA FORTUNA Y AGUAS ZARCAS.....	59
<b>FIGURA 36.</b> PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.....	60
<b>FIGURA 37.</b> PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.....	60
<b>FIGURA 38.</b> NOTAS DE CALIDAD PARA LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN CIUDAD QUESADA.....	69
<b>FIGURA 39.</b> NOTAS DE CALIDAD PARA LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN PITAL, SANTA ROSA, LA FORTUNA Y AGUAS ZARCAS.....	70
<b>FIGURA 40.</b> DISTRIBUCIÓN DE LAS NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS A CADA TRAMO HOMOGÉNEO.....	71
<b>FIGURA 41.</b> TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA NOTA DE CALIDAD.....	74

**FIGURA 42.** TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE SAN CARLOS, SEGÚN LONGITUD..... 78

**FIGURA 43.** TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE SAN CARLOS, SEGÚN CANTIDAD DE TRAMOS..... 79

**FIGURA 44.** TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO. .... 80

**FIGURA 45.** TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO..... 81





## 1 ANTECEDENTES

La ley No. 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria, asigna a la Universidad de Costa Rica, por intermedio del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), la responsabilidad de velar por la calidad y la eficiencia de la inversión pública destinada a conservar y desarrollar la red vial nacional. Con este propósito, el LanammeUCR realiza tareas de fiscalización, evaluación, investigación y transferencia de tecnología.

La ley No. 8603 reformó el artículo 6 de la ley No. 8114 con el siguiente texto: “Con la finalidad de garantizar la calidad de la red vial cantonal y en lo que razonablemente sea aplicable, las municipalidades y la Universidad de Costa Rica, por intermedio del Lanamme, podrán celebrar convenios que les permita realizar, en la circunscripción territorial municipal, tareas equivalentes a las establecidas en los incisos anteriores (La Gaceta 196, 2007).”

La Municipalidad de San Carlos solicitó el apoyo técnico del LanammeUCR para elaborar el Plan Quinquenal de Conservación de la Red Vial Cantonal.

Con el propósito de unir esfuerzos para lograr objetivos comunes, la Municipalidad de San Carlos y la Universidad de Costa Rica convienen en suscribir un Convenio Marco, que presenta las siguientes actividades principales.

### 1.1 Asesoría técnica

El LanammeUCR brindará asesoría técnica a la Municipalidad para realizar las siguientes actividades:

1. Evaluar la operación y uso de la red vial cantonal del casco central del cantón de San Carlos.
2. Evaluar la condición superficial y estructural de los pavimentos existentes.
3. Desarrollar e implementar una metodología para clasificar y priorizar la RVC.
4. Definir políticas y normas de ejecución para conservar la RVC.
5. Definir y diseñar las intervenciones técnicas de los proyectos a ejecutar.
6. Elaborar un plan de inversiones para implementar el plan de conservación.



7. Definir indicadores de evaluación del cumplimiento del plan de conservación.

## 1.2 Capacitación

LanammeUCR puede brindar capacitación a los funcionarios municipales y líderes comunales involucrados en el desarrollo e implementación del plan quinquenal de conservación de la Red Vial Cantonal.

## 1.3 Muestreos, ensayos de laboratorio y campo

Se realizaron sondeos a cielo abierto, recolección de muestras y ensayos de campo y laboratorio, para conocer y evaluar los pavimentos que conforman la Red Vial Cantonal del casco central de San Carlos.

## 1.4 Recursos financieros

La Municipalidad asignará un monto específico de recursos monetarios para realizar sondeos y ensayos de laboratorio y campo.

Para desarrollar las actividades específicas de Asesoría Técnica, Capacitación y Muestreo y ensayos de laboratorio y campo, las partes suscribirán Acuerdos de Implementación; en donde se especificarán las actividades a realizar, los productos a obtener, y los recursos humanos y financieros requeridos. Estos Acuerdos de Implementación serán aprobados por los responsables, asignados por las partes para la implementación de esta Carta de Entendimiento.

## 1.5 Reglamento al artículo 5 inciso b) de la Ley 8114: Reglamento sobre el Manejo, Normalización y Responsabilidad para la Inversión Pública en la Red Vial Cantonal

Este reglamento regula el uso de los fondos asignados por la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria en cuanto a la inversión pública en la red vial cantonal. El reglamento establece las distintas funciones que debe desempeñar la Unidad Técnica de Gestión Vial Cantonal (UTGVC).

En el artículo 14 se estipulan las funciones que debe cumplir la UTGVC. Una de las principales funciones con las que debe cumplir es el elaborar y ejecutar los planes y



programas de conservación y de desarrollo vial, dichos planes deben considerar criterios técnicos para priorizar los caminos a intervenir.

Además, debe realizar y actualizar el inventario de la red vial del cantón y elaborar un expediente de caminos en donde se detalle la fecha, el tipo y el costo de la intervención. Así mismo, debe establecer un programa de verificación de calidad que garantice el uso eficiente de los recursos, por lo que es necesario evaluar la condición de la red de manera periódica con el fin de verificar el desempeño de las intervenciones realizadas al transcurrir el tiempo.

## **2 PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL**

### **2.1 Importancia**

La infraestructura vial está conformada por todos aquellos elementos que facilitan el desplazamiento de los vehículos de un punto a otro de una manera segura y confortable. Entre los elementos que la conforman se encuentran los pavimentos, puentes, la señalización vertical y horizontal, taludes, terraplenes, túneles, dispositivos de seguridad tales como barreras de contención, drenajes, espaldón, entre otros. Todos estos elementos conforman la red vial, la cual debe ser capaz de permitir un servicio de transporte con un nivel adecuado, eficiente y eficaz para sus usuarios.

Un sistema de administración de infraestructura vial contempla la administración adecuada de los recursos económicos y humanos disponibles, de manera que estos sean optimizados para conservar y rehabilitar cada uno de sus componentes, procurando que funcionen como un conjunto armónico en función del usuario, lo cual propicia el desarrollo económico y social de la región en la que se encuentra.

La conservación de las vías se enfoca en dos objetivos fundamentales. El primero de ellos se relaciona con el servicio que se le brinda a los usuarios de la red, brindando una circulación confortable, segura y fluida, disminuyendo con esto los costos de transporte, así como los tiempos de viaje. El segundo objetivo es conservar y mejorar la calidad del patrimonio vial que forma parte de los activos públicos del Estado.

La importancia del tema se enfoca en maximizar los beneficios obtenidos al invertir en la red cantonal de la Municipalidad de San Carlos, proporcionando políticas de inversión para la

Informe LM-PI-GM-12-14	Fecha de emisión: Junio, 2014	Página 9 de 87
------------------------	-------------------------------	----------------



rehabilitación y el mantenimiento de sus rutas, basándose en fundamentos técnicos, de manera que se dé una recuperación sostenible a mediano plazo.

## 2.2 Sistema de administración de pavimentos (SAP)

Parte fundamental de un sistema de administración de infraestructura son los pavimentos, pues es sobre su capa de rodadura donde diversos medios de transporte se desplazan. A los pavimentos se les asocia la mayor parte de los costos de usuario y es uno de los elementos de la infraestructura que más recursos económicos y financieros demandan para su construcción, así como para su mantenimiento o rehabilitación. De manera general, los pavimentos y carreteras deben ofrecer comodidad de viaje a los vehículos, economía en su operación y seguridad ante accidentes, para lo cual la municipalidad debe establecer planes y desarrollar proyectos de conservación y mejoramiento de sus vías de forma preventiva y garantizando un nivel de servicio adecuado de forma continúa.

A través de la aplicación del SAP se disminuye la incertidumbre de la inversión, dado que las decisiones se basan en estudios técnicos que permiten guiar de una mejor manera las inversiones, con el fin de dar un mejor aprovechamiento y rentabilidad de los recursos disponibles.

Un sistema de gestión de pavimentos presenta una estructura general que se compone por cinco etapas bien definidas: planificación, diseño, construcción, mantenimiento y evaluación, las cuales son descritas en la figura 1.



**Figura 1.** Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos.

Fuente: Adaptado de Haas, 1993.

La gestión de pavimentos debe ser utilizada por el organismo a cargo de la conservación de caminos y contribuir a la toma de decisiones respecto de los proyectos individuales.

Asimismo, la utilización de un adecuado sistema de gestión sobre los caminos permitirá obtener el rendimiento óptimo de los recursos invertidos, valorando para tal efecto los diversos costos involucrados. Para aplicar de manera eficaz un sistema de gestión es necesario que el mismo cuente con ciertos requerimientos esenciales:

- Ser fácil de utilizar y que permita agregar, actualizar, y modificar el sistema con nueva información.
- Capacidad de considerar estrategias alternativas dentro de la evaluación.



- Capacidad de identificar la estrategia o alternativa óptima.
- Capacidad de basar sus decisiones en procedimientos racionales, con atributos, criterios y restricciones cuantificables.
- Capacidad de utilizar la información para la retroalimentación del sistema y llevar un control del cambio en las condiciones de la red.

Los pavimentos son estructuras complejas que se ven afectadas por diferentes variables: frecuencia (cantidad de vehículos que circulan en un periodo de tiempo determinado) y peso de los vehículos que los transitan, solicitudes de medio ambiente, materiales usados y formas de construcción, mantenimiento, etc. Es importante entender claramente los factores técnicos y económicos que involucran su construcción, explotación y mantenimiento; con el fin de poder hacer una apropiada gestión de pavimentos.

El crecimiento de la población, el aumento de la cantidad de vehículos y el incremento de la actividad económica generan mayor cantidad de vehículos livianos y de carga viajando por las carreteras, lo cual implica una mayor demanda sobre las estructuras de pavimentos, por lo que la generación y aplicación del SAP se torna cada vez más importante. Cabe destacar que el SAP no debe limitarse solamente a la conservación vial, sino que se deben definir proyectos de mejoramiento, refuerzo, rehabilitación, reconstrucción, ampliación de carreteras y nuevos proyectos carreteros.

El comienzo de una gestión integral de los elementos de la infraestructura vial puede iniciar con un elemento fundamental y de gran importancia, en este caso en particular: el pavimento, pero en forma progresiva deben aplicarse herramientas que permitan gestionar la conservación e incorporar los demás elementos (Ej. alcantarillado, puentes, señalización, etc.) que proveen al usuario de una operación segura y de bajo costo (De Solminihac, 1998).

### **2.3 Proceso de Gestión de Infraestructura Vial Municipal**

Para establecer un sistema de gestión vial es necesario delimitar todas sus fases y destacar de manera adecuada los productos asociados a cada una de ellas, la figura 2 muestra el flujograma para el proceso de gestión vial en el ámbito municipal.

# Proceso de gestión vial

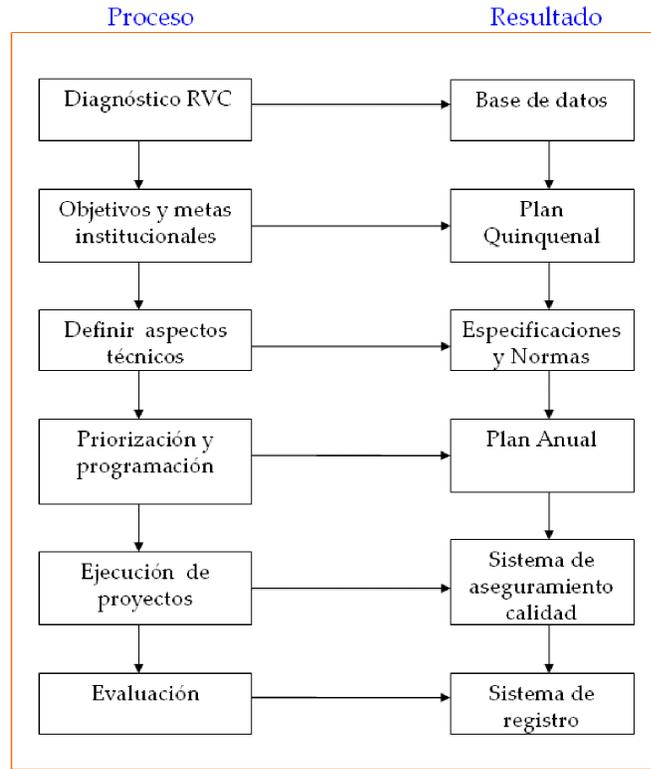


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Cuando se elabora el diagnóstico de la red vial cantonal (RVC), el producto principal es la base de datos del diagnóstico ya que permite determinar el estado actual de la red, insumo necesario para establecer políticas de priorización y planes de conservación y rehabilitación de las vías del cantón.

En los sistemas de gestión de infraestructura vial, también conocidos como sistemas de administración de pavimentos, existen distintos niveles dependiendo del detalle:

- Nivel estratégico: planes globales a realizarse a largo plazo (20-40 años). Permiten maximizar los recursos.
- Nivel táctico: planes que priorizan los proyectos por realizar a mediano plazo (4-8 años).

- Nivel operativo: se enfoca en el diseño de los proyectos por ejecutar en el año siguiente.

## 2.4 Esquema Metodológico

En la figura 3, se presenta el esquema metodológico implementado para determinar el diagnóstico de la RVC y obtener, a partir de los datos generados por el diagnóstico, diferentes escenarios de inversión, acorde con las posibilidades financieras del municipio.

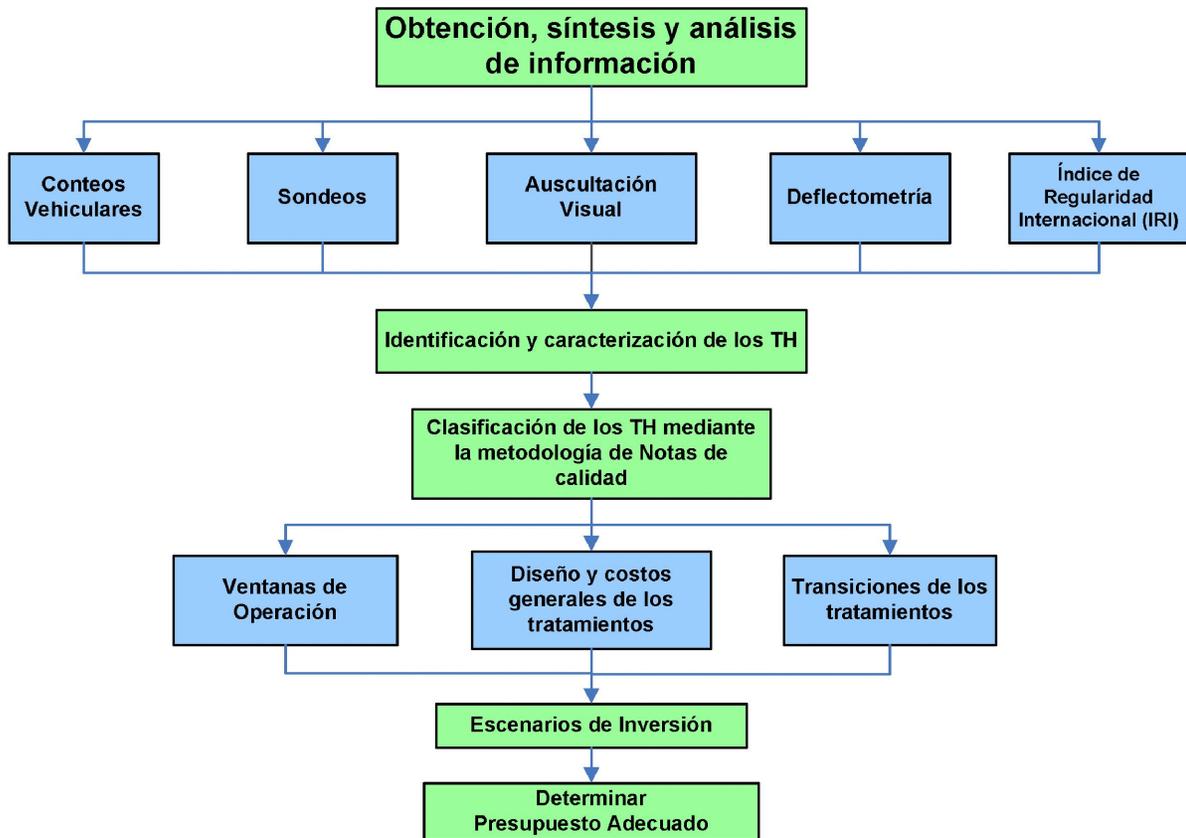


Figura 3. Esquema metodológico.



### 3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN CARLOS

#### 3.1 Objetivo

Realizar una evaluación de la RVC de San Carlos, con el fin de obtener una base de datos con diferentes características técnicas de la infraestructura vial.

#### 3.2 Actividades

Las actividades para realizar el diagnóstico de la RVC se compone de diferentes elementos con productos asociados:

1. Determinar tránsito promedio diario (TPD) y clasificación vehicular.
2. Identificar condición funcional.
3. Identificar condición estructural.
4. Caracterizar la estructura del pavimento.
5. Definir tramos homogéneos.

##### 3.2.1 Tránsito vehicular diario

Para el planeamiento de la inversión a realizar sobre las diferentes vías es fundamental conocer las principales características del tránsito, tanto en cantidad como tipo de vehículos que circulan sobre la red vial cantonal. Datos actualizados del tráfico permiten establecer la demanda vehicular de las diferentes rutas, la cual está estrechamente relacionada con el diseño de la estructura del pavimento necesaria o con la aplicación de medidas correctoras para aplicar el refuerzo o mantenimiento oportuno. Por ésta razón se recomienda medir el tránsito al menos cada año en puntos estratégicos de la red para una adecuada gestión vial.

Para determinar el TPD se realizaron conteos vehiculares que permiten conocer la cantidad y tipos de vehículos que transitan por la RVC. La información fue recopilada por técnicos del LanammeUCR y se concluyeron en Diciembre del 2013. Estos conteos vehiculares suministran información indispensable para la realización de un correcto diagnóstico de la red vial analizada.

Los conteos vehiculares se realizan sobre sitios representativos de la red vial, principalmente sobre los puntos de mayor tránsito en la zona de estudio. Algunos aspectos que se deben considerar al realizar conteos de tránsito son:

- Realizar los conteos durante períodos de tránsito normal, evitar el periodo de vacaciones o feriados.
- Deben realizarse en días laborales (lunes a viernes). Preferiblemente martes, miércoles o jueves para evitar el efecto de fin de semana.
- Realizar conteos de 25 horas o más, para tomar en cuenta ambos periodos de hora pico en los conteos, y facilitar el análisis para cálculos del TPD (Tránsito promedio diario).
- Realizar conteos semanales en los sitios más representativos para poder estimar el TPDA (Tránsito promedio diario anual).
- Escoger los sitios de mayor flujo vehicular de la calle o tramo a evaluar.

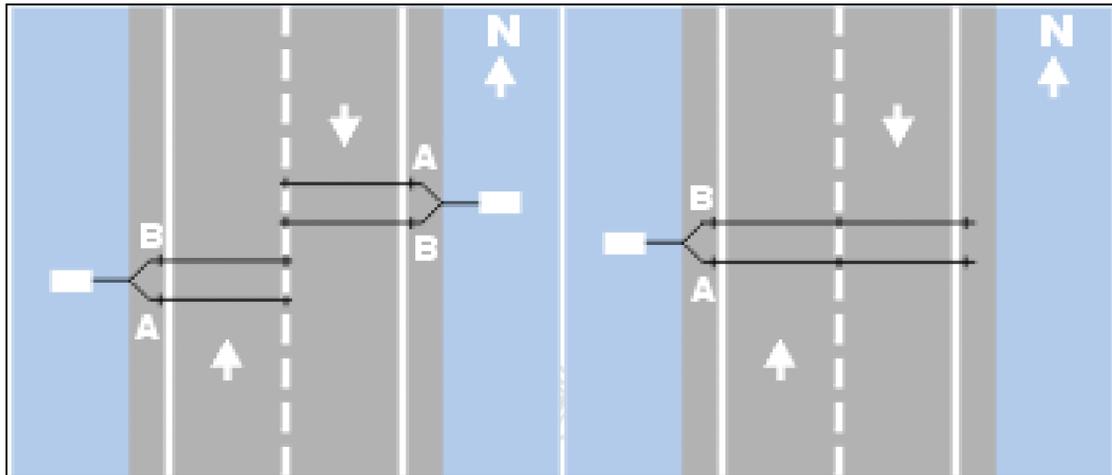
El volumen y tipo de tránsito cambian continuamente; por lo tanto, los conteos se deben actualizar de manera periódica, de preferencia cada año o máximo cada dos años. Además, esto permite identificar la tasa de cambio del flujo vehicular de la zona.

Se presentan dos figuras de los contadores automáticos colocados en las vías, y las configuraciones recomendadas en campo para la clasificación vehicular (ver figura 4 y figura 5).



**Figura 4.** Cables y contadores automáticos en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.



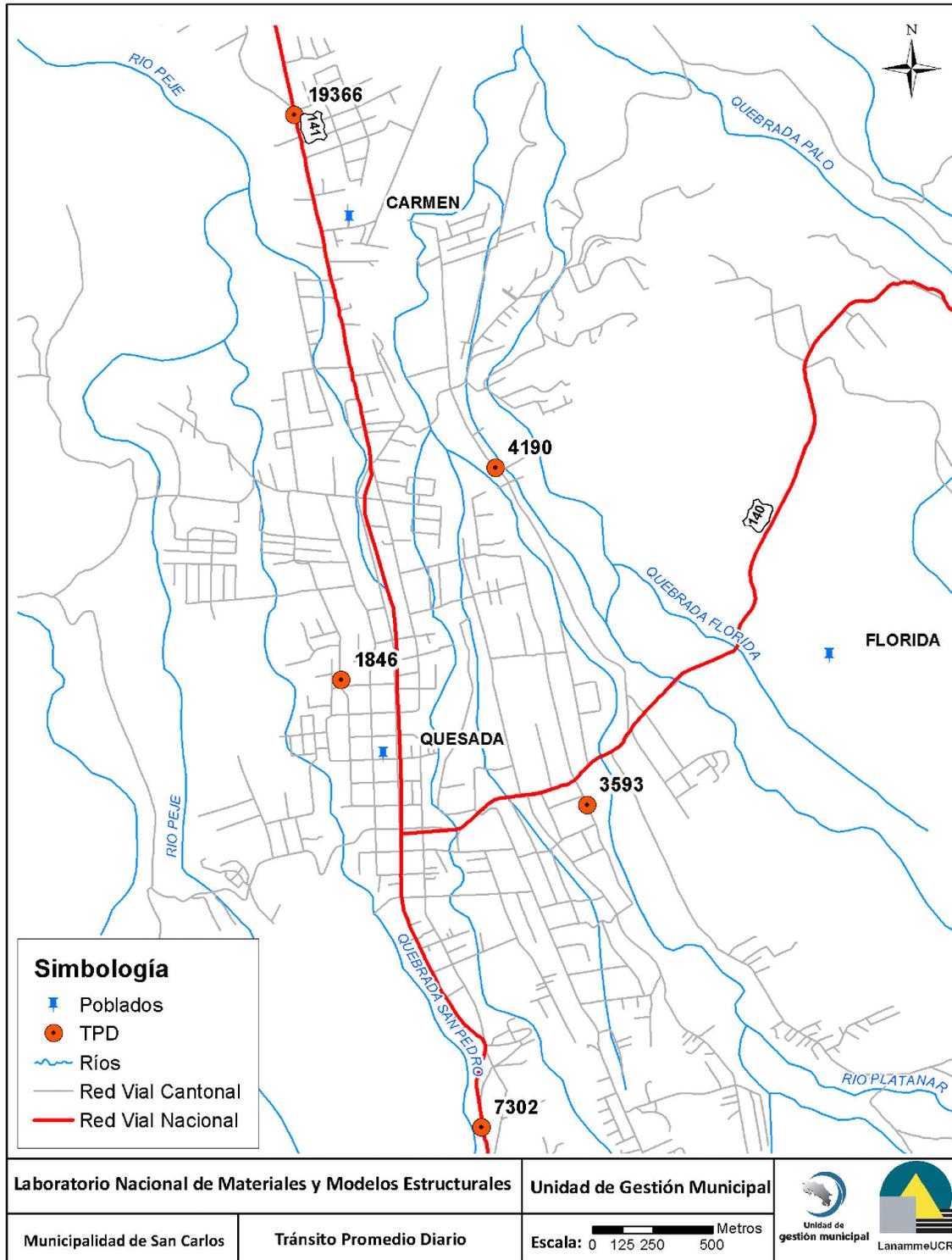
**Figura 5.** Configuración de los contadores.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

La configuración de la izquierda en la figura 5 muestra la disposición ideal, el de la derecha muestra una configuración más simple pero que resulta en pérdida de precisión.

En la figura 6, se presenta el tránsito promedio diario de cada uno de los conteos realizados en la localidad de Ciudad Quesada, durante el año 2013; y en la figura 7 se encuentran los resultados de los conteos realizados en otros poblados cercanos como: Pital, Aguas Zarcas, Santa Rosa y la Fortuna.

Se observa que únicamente dos de los conteos presentan un tránsito promedio diario con valores superiores a los 5 000 vehículos, y son aquellos que se encuentran sobre la Ruta Nacional 141; es decir, que no son considerados dentro de la evaluación que se realiza en este informe para la red vial cantonal (dato importante a considerar para el análisis de los resultados de las pruebas con el deflectómetro de impacto).



**Figura 6.** Tránsito promedio diario en Ciudad Quesada.

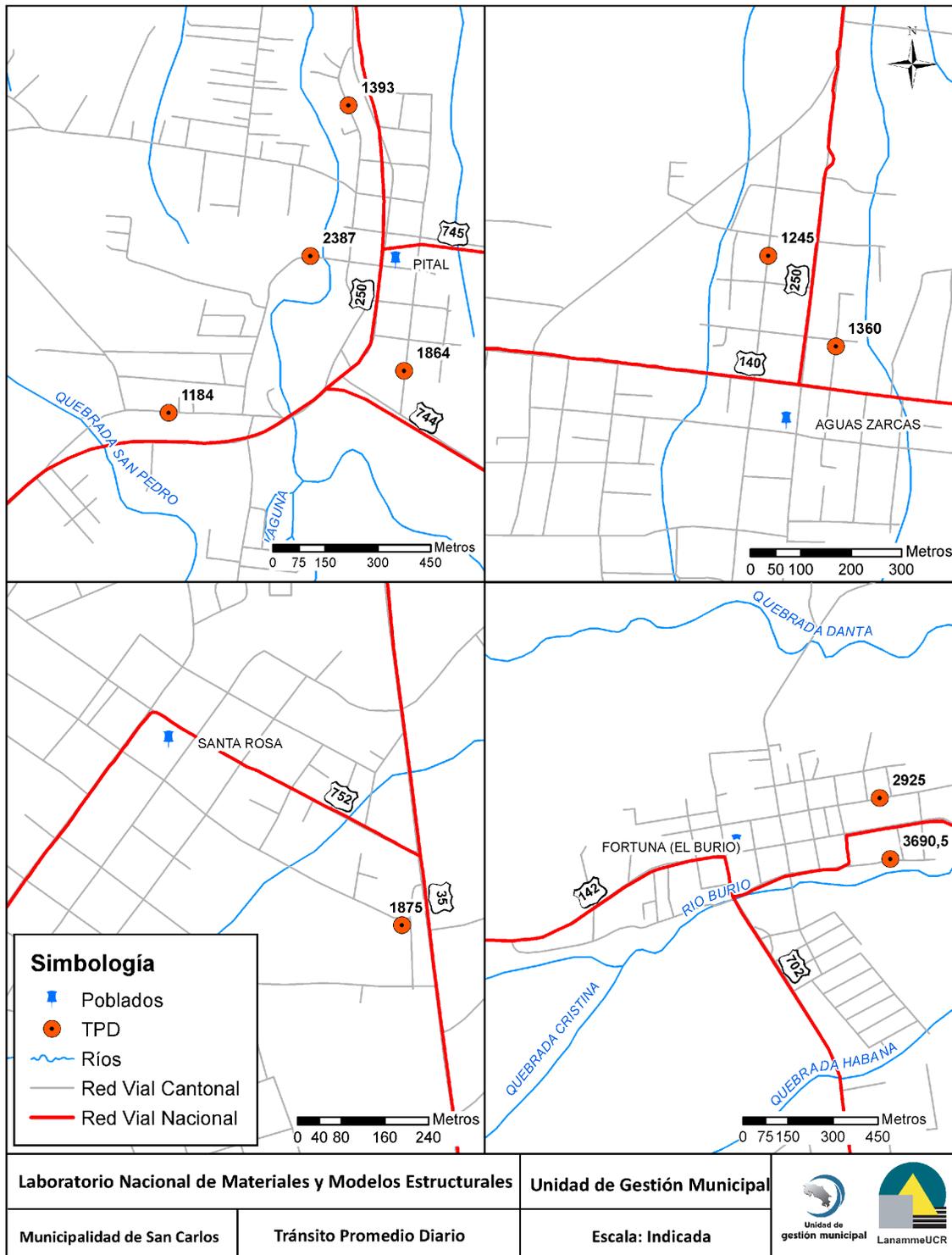
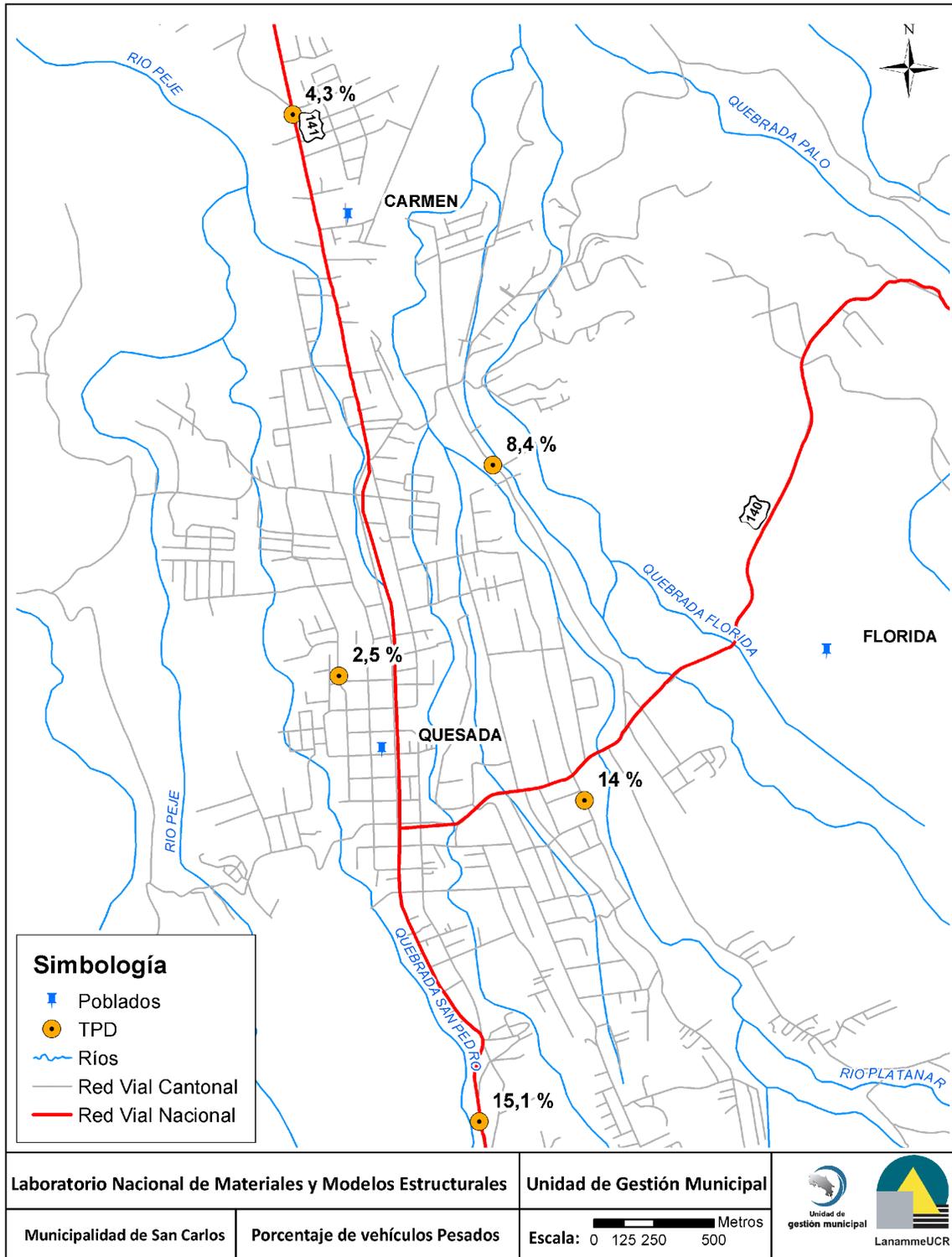


Figura 7. Tránsito promedio diario en Pital, Aguas Zarcas, Santa Rosa y la Fortuna.



Es importante identificar la cantidad de vehículos pesados que corresponden al tránsito promedio vehicular, ya que éstos ejercen un mayor desgaste del pavimento, con respecto a los vehículos livianos. En la figura 8, se presenta el porcentaje de vehículos pesados que transitan por la red vial cantonal de San Carlos, en los cuales se registra un promedio de 7,4% de vehículos pesados; sin embargo, se encuentran porcentajes elevados de hasta un 14%, como es el caso de uno de los conteos efectuados en el centro de Ciudad Quesada. Y en la figura 9 se muestran los mismos resultados pero para poblados cercanos de la localidad.





**Figura 8.** Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de San Carlos.

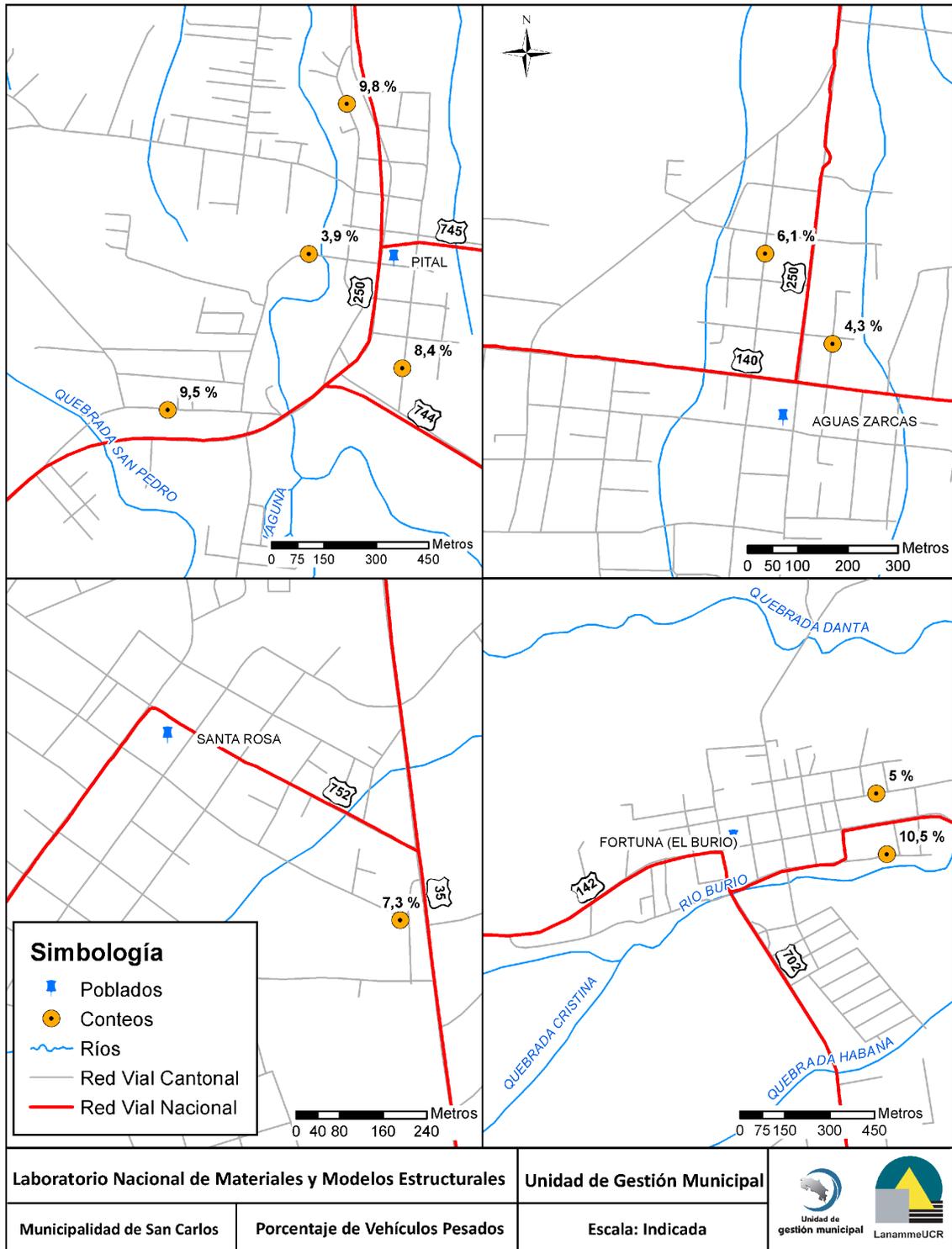


Figura 9. Porcentaje de vehículos pesados en Pital, Aguas Zarcas, Santa Rosa y la Fortuna.

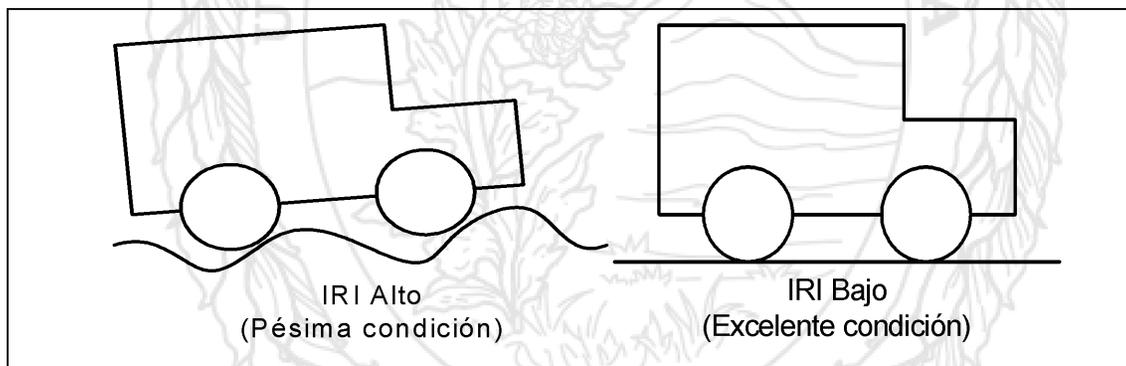
### 3.2.2 Identificar condición funcional

La parte funcional se refiere a la habilidad de la vía para cumplir la función de proporcionar servicio y confort a los usuarios; con respecto a la funcionalidad, se evalúa el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

#### 3.2.2.1 Índice de Regularidad Internacional (IRI).

El IRI es utilizado internacionalmente como parámetro de aceptación de obras así como para la gestión de pavimentos. Este índice está relacionado con los costos de operación de los vehículos y la vida útil de los pavimentos.

El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la regularidad de un camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h. El IRI aumenta conforme la rugosidad aumenta, como se presenta en la figura 10.



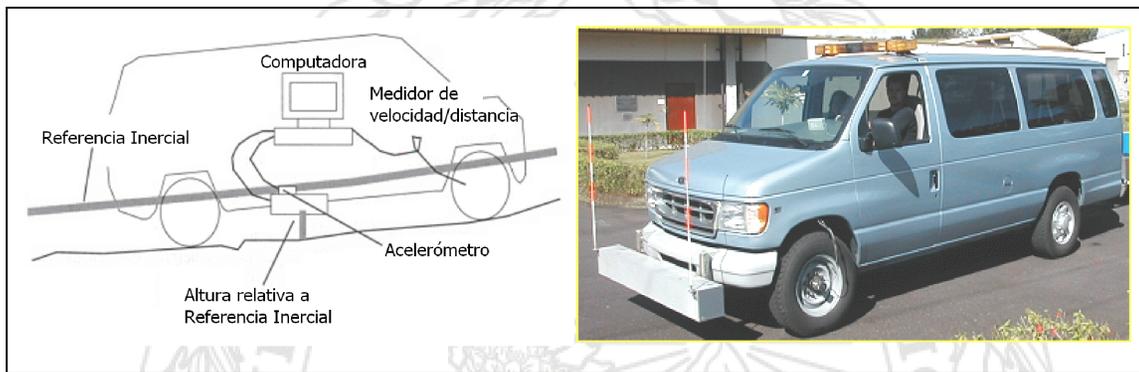
**Figura 10.** Representación física del Índice de Regularidad Internacional.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino. Para ser precisos se debe especificar la longitud para la cual se determina dicho valor, ya que el IRI es el valor medio de los IRI unitarios.

El equipo utilizado para la medición del IRI es del tipo Perfilómetro Inercial Laser. Estos son equipos de alto rendimiento que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino. Las mediciones son independientes de cualquier variación en el peso y velocidad del vehículo, temperatura, color y textura del pavimento.

El equipo Perfilómetro Inercial Láser, propiedad del LanammeUCR, mide la distancia del suelo al vehículo con un medidor láser ubicado en la parte delantera del vehículo. A continuación en la figura 11, se muestra un esquema del funcionamiento del equipo y una imagen del equipo.



**Figura 11.** Perfilómetro Inercial Láser.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Para la evaluación, el IRI se calculó sobre la red vial pavimentada a cada 25 metros, con el Perfilómetro Inercial Láser del LanammeUCR, en el mes de enero del 2011 abarcando todas las rutas contempladas en el convenio, sobre una longitud de 43,8 km; en la figura 12 y figura 13, se muestran estas mediciones para la localidad de San Carlos, Pital, Aguas Zarcas, Santa Rosa y la Fortuna. Con el fin de clasificar la RVC en función de IRI se utiliza la siguiente simbología: “Bueno” para un IRI menor a 3,6 m/km; una condición “Regular” implica valores de IRI entre 3,6 m/km y 6,4 m/km; “Malo” un IRI entre 6,4 m/km y 10 m/km, y “Muy malo” para un IRI mayor a 10 m/km.

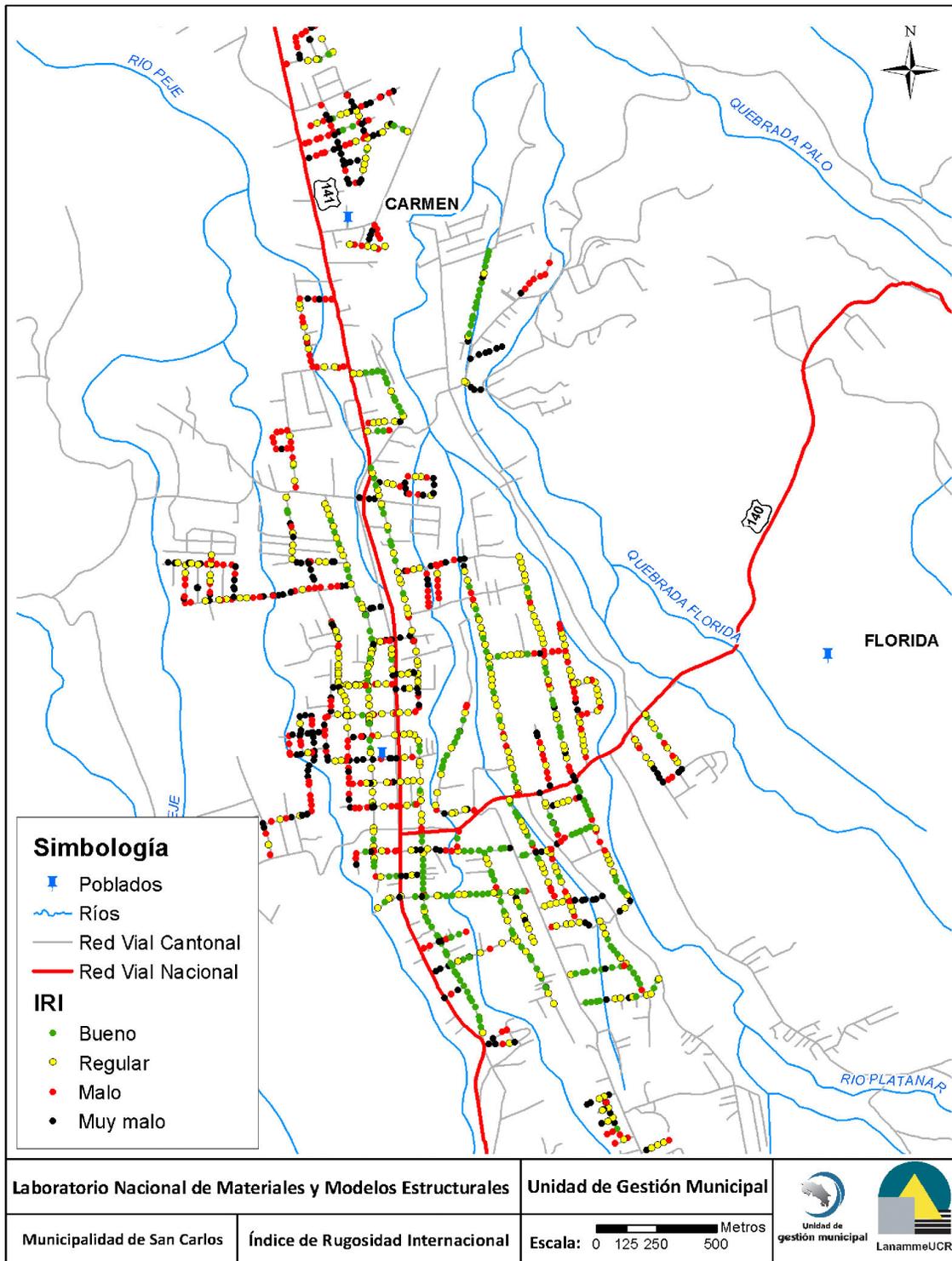
En la figura 14, se observan los porcentajes asociados a cada condición, según las mediciones de IRI realizadas en la localidad de San Carlos durante el año 2011. Como se muestra en el gráfico, un 44% de los resultados son valores mayores 6,4 m/km, lo cual indica



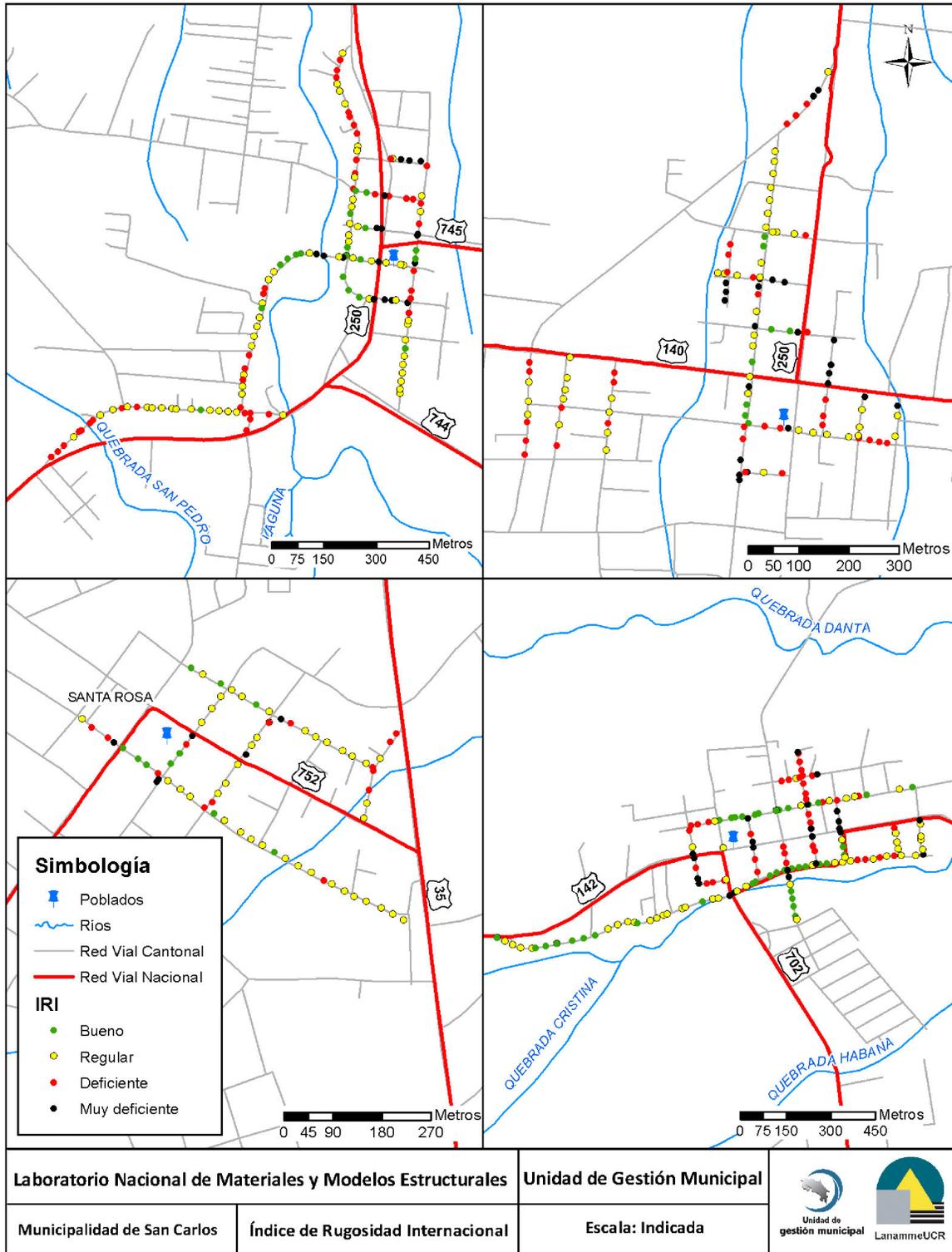
que la superficie de ruedo proporciona a los usuarios un bajo nivel de confort y altos gastos de operación para los vehículos que la transitan.

Un 36% de los puntos evaluados corresponden a una condición regular, y un 20% presenta una buena condición superficial.

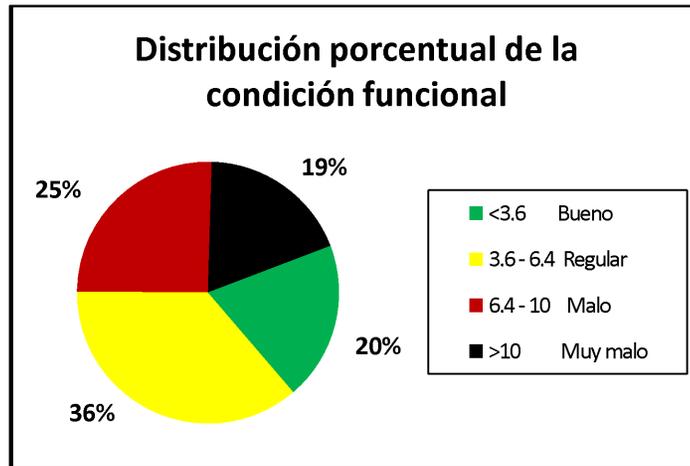




**Figura 12.** Condición del IRI para la red vial cantonal de Ciudad Quesada.



**Figura 13.** Condición del IRI en Pital, Santa Rosa, La Fortuna y Aguas Zarcas.

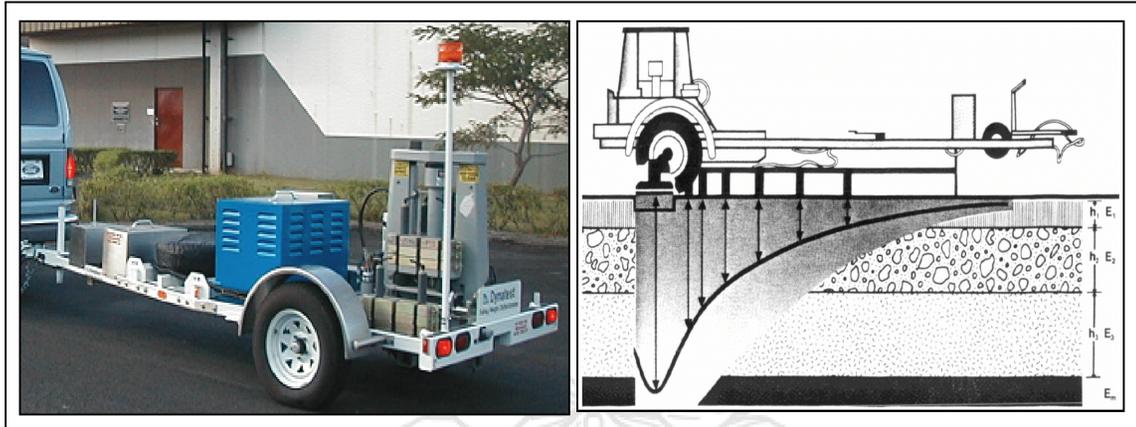


**Figura 14.** Distribución porcentual de la condición del IRI.

### 3.2.3 Identificar condición estructural

En ésta sección se mencionan los procedimientos necesarios para determinar la capacidad estructural de un pavimento. La misma está directamente relacionada con la respuesta ante las cargas a las que se ve expuesto el pavimento. Menores deflexiones implican mayor capacidad del pavimento para soportar las cargas del tránsito.

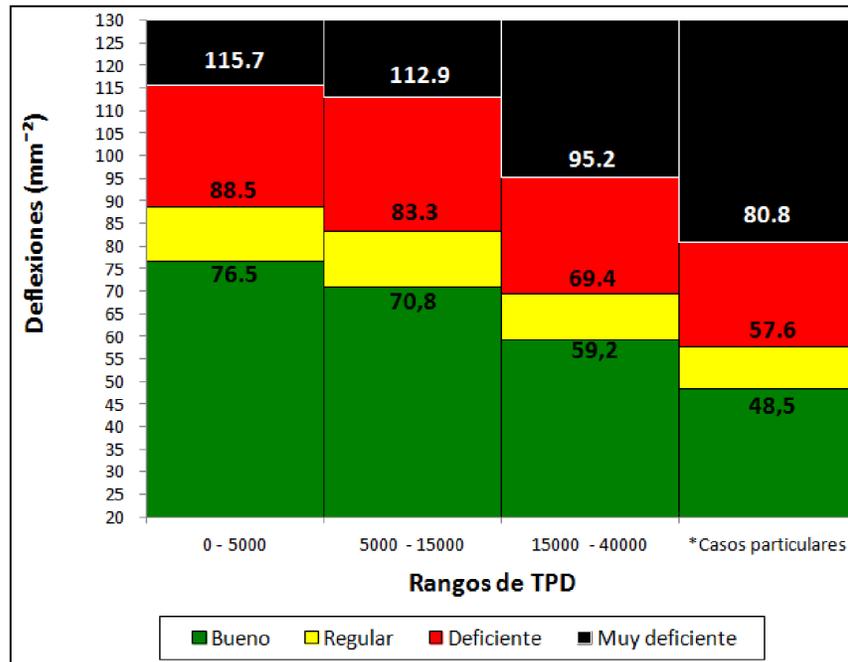
Las mediciones se realizaron con el equipo Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés), y con un espaciamiento de 50 metros durante los meses de abril y mayo del 2011. El procedimiento consiste en dejar caer una carga de impacto estándar sobre el pavimento y medir las deflexiones en nueve puntos, con diferentes distancias respecto al punto donde se aplicó la carga. A continuación, se muestran dos imágenes con el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.



**Figura 15.** Equipo de deflectometría de impacto.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Al igual que para la clasificación del estado de una vía según los valores de IRI, la clasificación utilizada para categorizar los resultados obtenidos de deflectometría son tomados a partir de un estudio realizado por el LanammeUCR, en el cual se determinaron rangos para las diferentes deflexiones asociadas a distintas categorías de TPD dependientes del tipo de base (granular o estabilizada con cemento) que compone la estructura del pavimento. En la figura 16, se presenta la clasificación de deflectometría para una estructura de pavimento con base granular.



**Figura 16.** Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base granular.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

De acuerdo con la simbología y los rangos de la figura 16, los resultados de las mediciones con el deflectómetro de impacto, realizadas en el cantón de San Carlos durante el año 2011, se muestran en la figura 17 y figura 18. En la figura 19, se muestra gráficamente que un 57% de estos resultados presentan una buena condición estructural, y un 8% se encuentran en condición "Regular". Además, se muestra que 35% de los datos reflejan que existe una condición avanzada del deterioro de la capacidad estructural.

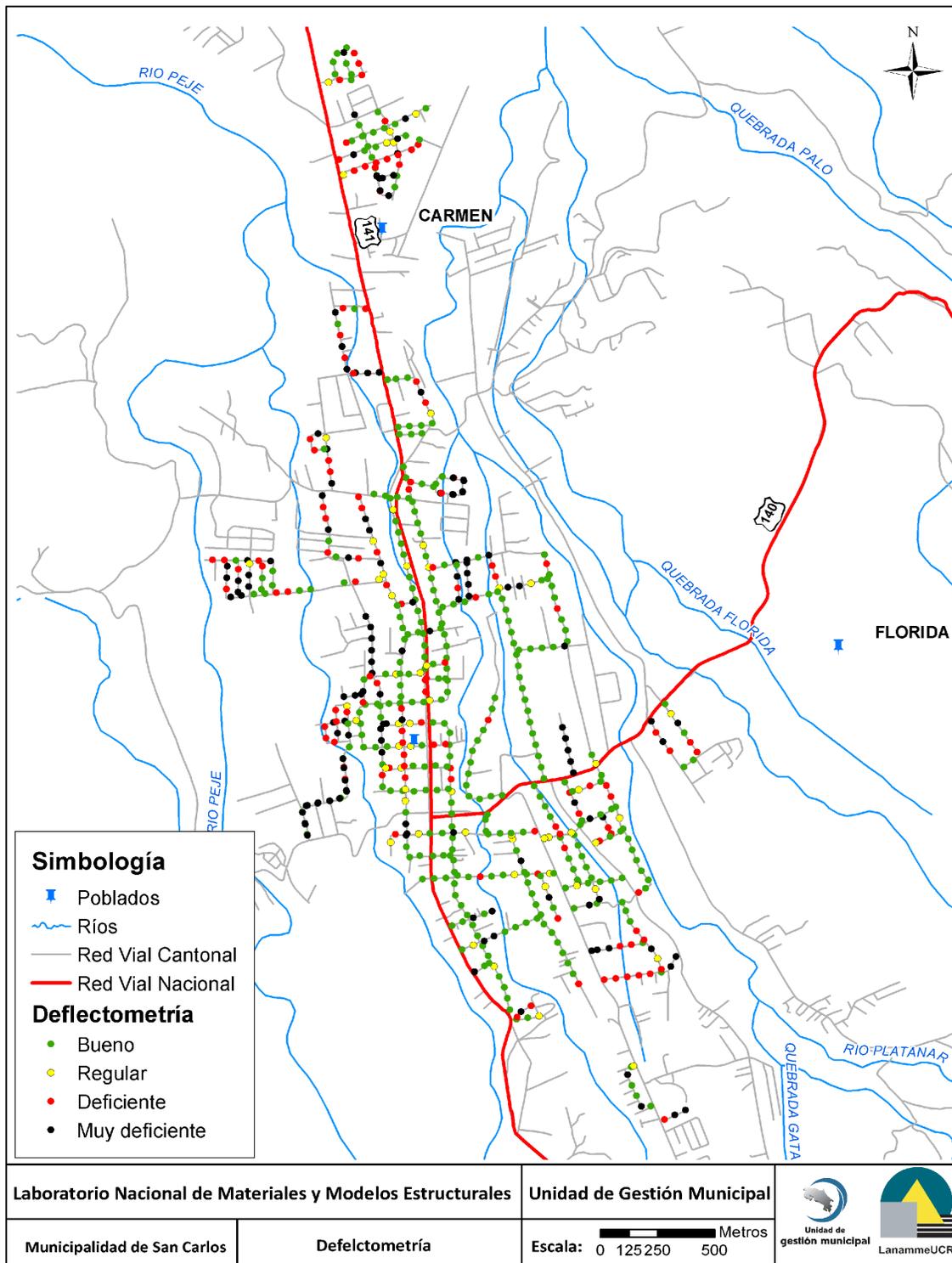


Figura 17. Condición de FWD para Ciudad Quesada.

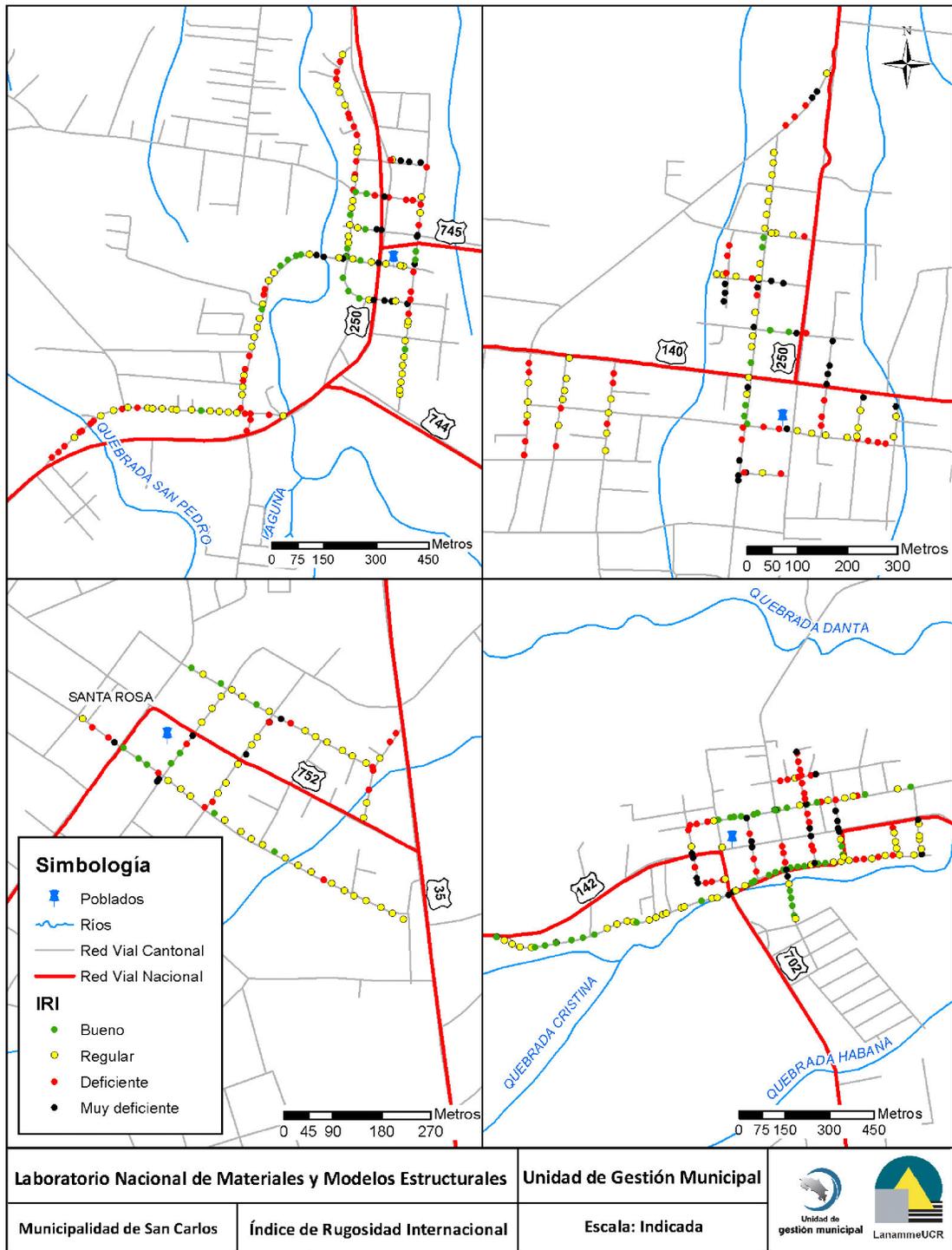
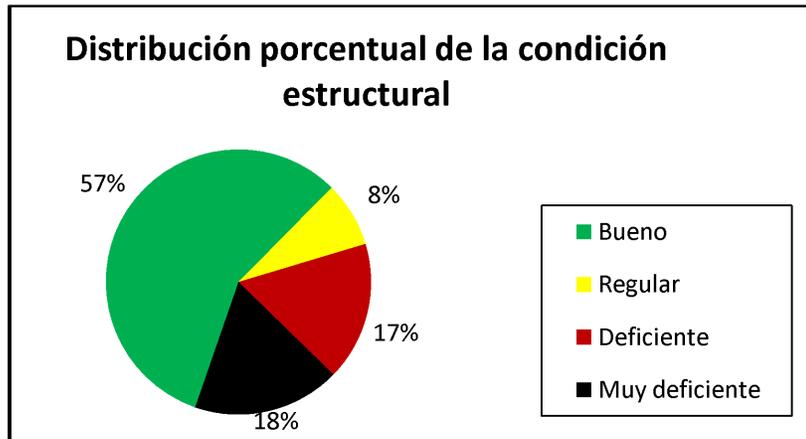


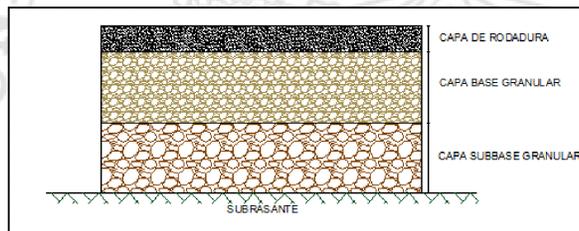
Figura 18. Condición de FWD para las localidades de Pital, Santa Rosa, La Fortuna y Aguas Zarcas.



**Figura 19.** Distribución porcentual de la condición de FWD.

### 3.2.4 Caracterizar la estructura del pavimento

En esta sección se determina la estructura y el tipo de materiales que componen el pavimento. En la figura 20, se muestra un ejemplo de dicha estructura, compuesta por la capa de rodadura, base granular y capa de sub-base.



**Figura 20.** Ejemplo de estructura de pavimento.

La caracterización consiste en diversos ensayos de laboratorio y ensayos en campo. Se dividen en tres grupos:

1. Estructura del pavimento.
2. Caracterización de la sub-rasante por tipo de suelo.
3. Clasificación de sub-rasante según CBR.

### 3.2.4.1 Estructura del pavimento

Se realizaron calicatas (sondeos) para determinar los espesores de las capas que componen el pavimento: superficie de rodadura, base granular o estabilizada, sub-base y sub-rasante.

Las calicatas se realizaron en puntos estratégicos tomando en consideración el nivel jerárquico, pruebas de deflectometría en las vías del cantón y los tramos homogéneos; de tal manera, que se obtuvo un total de 35 sondeos.

En la tabla 1, se muestran los espesores obtenidos para cada una de las capas que compone la estructura del pavimento en los puntos de análisis seleccionados.

**Tabla 1.** Espesores de las capas del pavimento según los sondeos realizados.

Sondeo	CA (cm)	BE (cm)	BG (cm)	SB (cm)
1	13,7	12,5	12,5	14,0
2	11,5	-	11,0	10,0
3	7,5	-	20,0	25,0
4	4,0	24	-	-
5	17,0	-	9,5	14,0
6	3,5	-	9,0	10,0
7	5,0	18	-	15,0
8	5,5	-	12,0	-
9	5,0	-	48,0	-
10	12,0	-	9,0	7,0
11	7,5	-	9,0	22,0
12	4,8	-	7,1	20,0
13	4,5	-	73,5	-
14	9,0	-	11,0	17,0
15	7,5	-	18,0	-
16	10,0	-	10,0	24,0
17	20,0	-	22,5	-
18	11,0	-	10,0	12,0
19	10,0	-	12,0	16,0
20	4,0	-	7,5	18,0
21	13,2	-	-	-
22	9,0	-	13,0	-
23	11,5	-	15,0	-

Sondeo	CA (cm)	BE (cm)	BG (cm)	SB (cm)
24	1,5	-	17,0	18,0
25	13,5	-	28,0	-
26	1,0	4,5	12,0	18,0
27	3,5	11,5	9,5	26,0
28	6,5	6	19,0	12,0
29	1,0	5	6,0	10,0
30	3,5	-	12,5	30,0
31	2,5	-	12,0	19,0
32	2,5	-	15,0	23,0
33	8,0	-	8,0	12,0
34	3,1	-	13,5	21,0
35	1,8	-	19,0	50,0

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

CA: Capa asfáltica, tratamiento superficial o carpeta asfáltica.

BE: Base estabilizada.

BG: Base granular.

SB: Sub-base.

#### 3.2.4.2 Caracterización de la sub-rasante

El objetivo es caracterizar la sub-rasante que compone la estructura del pavimento con mayor detalle, con el fin de poder tomar decisiones a futuro sobre las intervenciones a nivel estratégico en los diferentes tramos de la red vial cantonal. Se realizaron ensayos de laboratorio para conocer las características de la sub-rasante que componen la estructura del pavimento.

Entre las pruebas realizadas a los materiales de las capas inferiores, se incluyen:

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Gravedad Específica

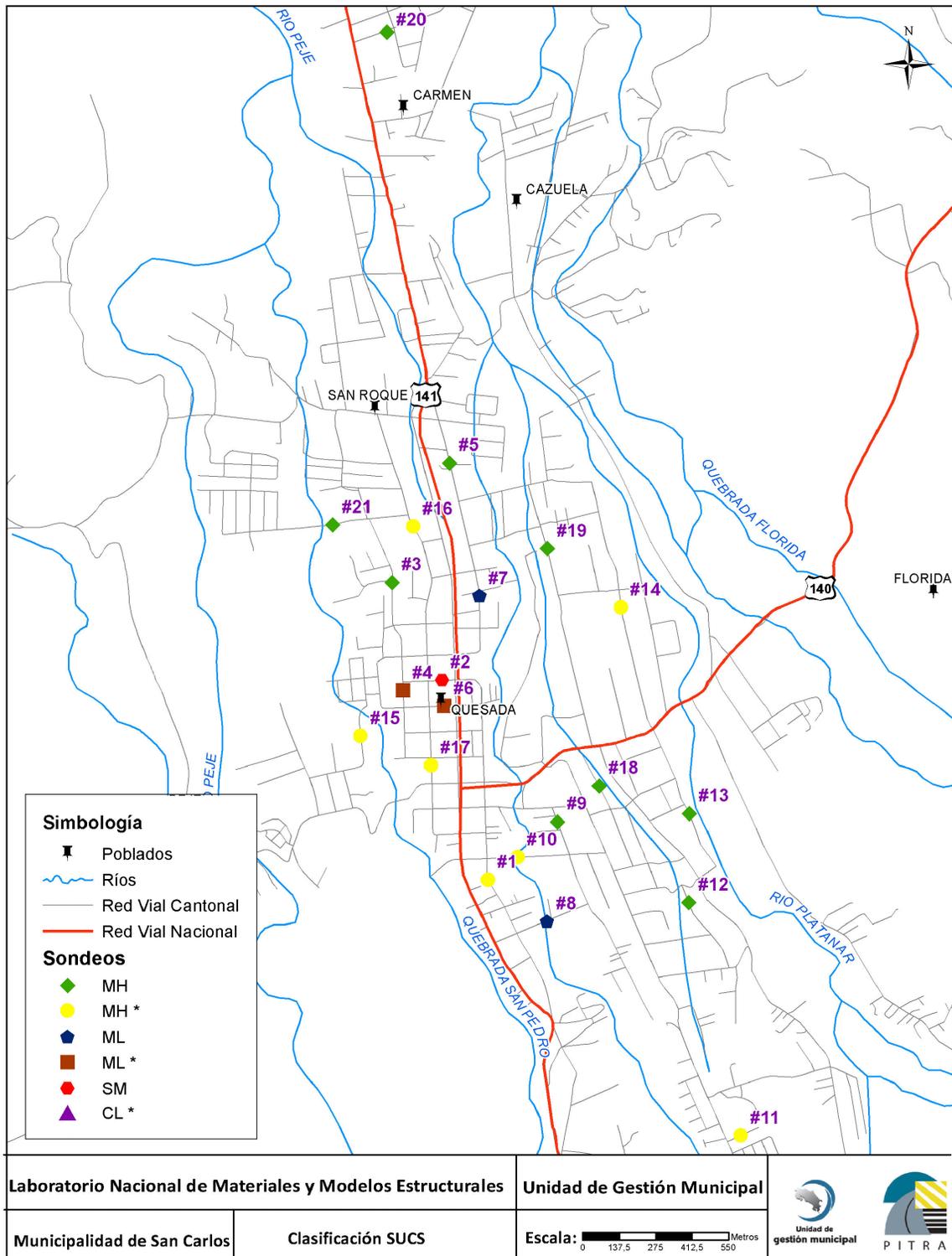


## Clasificación SUCS

A partir de los datos generados en el laboratorio, referentes a la granulometría y a los límites de consistencia, se clasificó la sub-rasante según el sistema de clasificación del SUCS. A continuación, se presenta la simbología utilizada y la descripción general de cada uno de los grupos de suelos, según el Instituto Colombiano de Geología y Minería (2004):

- CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad media a baja, arcillas con gravas, arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.
- CH: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.
- SC: Arenas arcillosas, mezcla de arena mal graduada y arcillas.
- SM: Arenas limosas, mezclas de arena mal graduada y limo.
- ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
- MH: Limo inorgánico, limo micáceos o diatomáceos, limos elásticos.
- SC-SM: posee características de suelos SC y SM, es decir, es una mezcla de arena con arcilla y limos.

La distribución geográfica del tipo del suelo en la localidad de San Carlos se presenta en la figura 21 y figura 22. Es posible apreciar que los suelos analizados están compuestos en su mayoría por material fino MH; el cual corresponde a un limo inorgánico de alta plasticidad, que tiene un pobre comportamiento mecánico, poco permeable y altamente compresible.



**Figura 21.** Caracterización según SUCS en Ciudad Quesada.

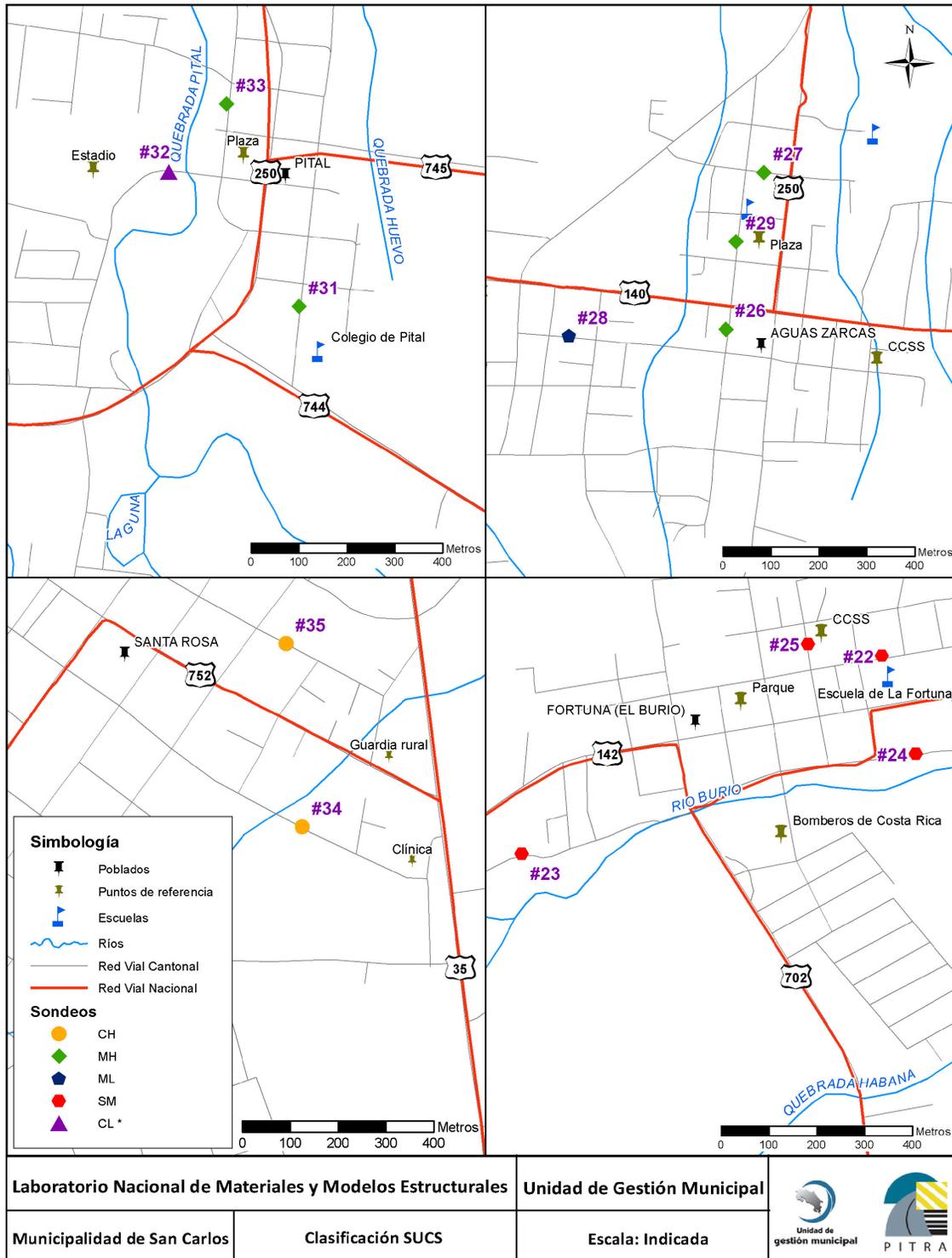


Figura 22. Caracterización según SUCS en Pital, Santa Rosa, La Fortuna y Aguas Zarcas.



## Clasificación AASHTO

Se realizó la clasificación del suelo según la metodología AASHTO, la cual analiza el suelo como material para carreteras. La descripción general del tipo de suelos, según esta clasificación, es tomada de las normas técnicas utilizadas para realizar ensayos de laboratorio en la Escuela de Ingeniería Civil de La Universidad Nacional de Colombia:

Materiales granulares: Contienen 35% o menos de material que pase el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200).

- Grupo A-1: El material típico de este grupo es una mezcla bien graduada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina, y un ligante de suelo no plástico o de baja plasticidad. Sin embargo, este grupo incluye también fragmentos de roca, grava, arena gruesa, cenizas volcánicas, etc., sin un ligante de suelo.
  - Subgrupo A-1-a: Incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de fragmentos de roca o grava con o sin un ligante bien graduado de material fino.
  - Subgrupo A-1-b: Incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de arena gruesa con o sin un ligante de suelo bien graduado.
- Grupo A-3: El material típico de este grupo es la arena fina de playa o la arena fina de desierto, sin finos de arcilla, limo o con una pequeña cantidad de limo no plástico. Este grupo también incluye las mezclas aluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa y grava.
- Grupo A-2: Este grupo incluye una amplia variedad de materiales granulares, que se encuentran en el límite entre los materiales que se clasifican en los grupos A-1 y A-3, y los materiales tipo limo y arcilla que se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Incluye todos los materiales que contienen 35% o menos de material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200) que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 o A-3, debido al contenido de finos o a los índices de plasticidad, o ambos, por encima de las limitaciones de estos grupos.

- Los subgrupos A-2-4 y A-2-5 incluyen varios materiales granulares que contienen 35% o menos de material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200) y con una porción que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (#40) que tiene las características de los grupos A-4 y A-5, respectivamente. Estos grupos comprenden materiales tales como grava y arena gruesa con contenidos de limo e IP por encima de las limitaciones del grupo A-1, y arena fina con un contenido de limo no plástico por encima de las limitaciones del grupo A-3.
- Los subgrupos A-2-6 y A-2-7 incluyen materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5 excepto en que la porción fina contiene arcilla plástica que tiene las características de los grupos A-6 y A-7, respectivamente.

Material limo-arcilloso: contiene más de 35% de material que pasa la malla de 75  $\mu\text{m}$  (#200).

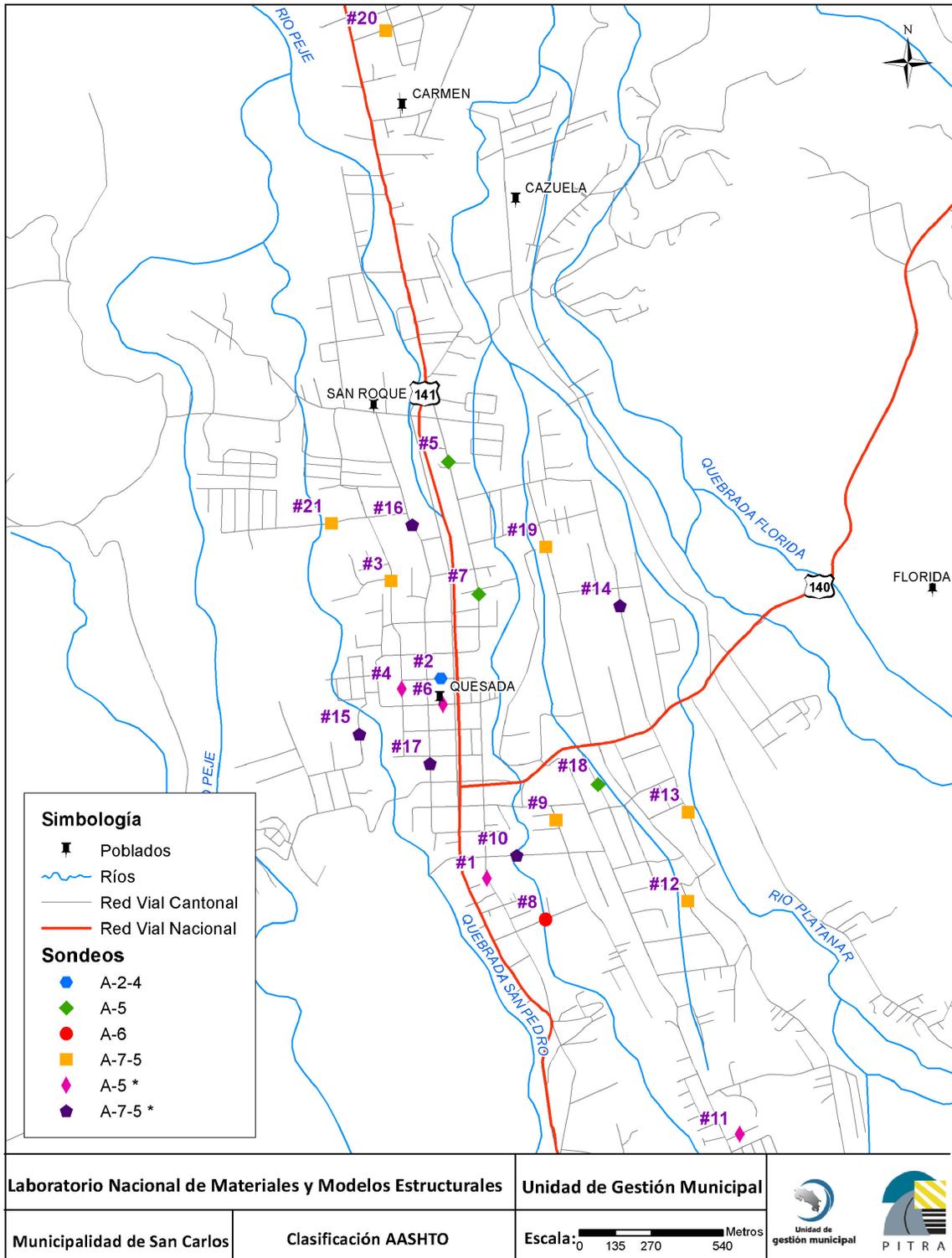
- Grupo A-4: El material típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene el 75% o más de material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200). Este grupo también incluye mezclas de suelo limoso fino y hasta 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200).
- Grupo A-5: El material típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que usualmente tiene un carácter diatomáceo o micáceo y puede ser muy elástico, como lo indica su alto LL.
- Grupo A-6: El material típico de este grupo es una arcilla plástica que usualmente tiene el 75% o más del material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200). Este grupo también incluye mezclas de suelo arcilloso y hasta el 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz #200. Los materiales de este grupo normalmente presentan grandes cambios de volúmenes entre los estados seco y húmedo.
- Grupo A-7: El material típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene el LL elevado, característico del grupo A-5, y puede presentar elasticidad o alto potencial de expansión.



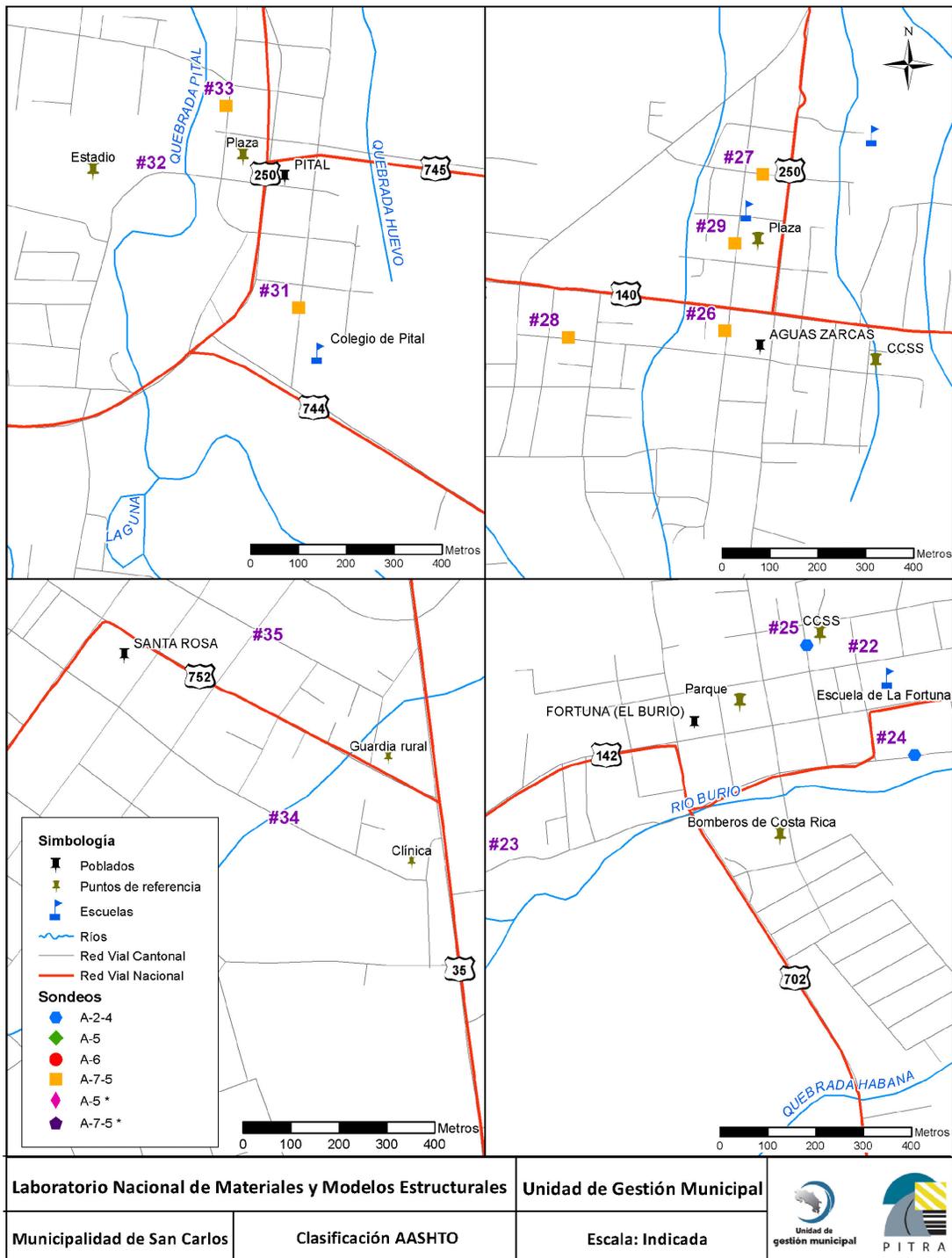
- Subgrupo A-7-5: Incluye materiales con IP moderados en relación con el LL y que pueden presentar un alto potencial de expansión.
- Subgrupo A-7-6: Incluyen materiales con un alto IP en relación con el LL y presentan un alto potencial de expansión.

Suelos orgánicos: como su nombre lo indica, son suelos orgánicos, incluida la turba, pueden clasificarse en el grupo A8. La clasificación de estos materiales se basa en la inspección visual y no depende del porcentaje que pasa por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200), el LI y el IP. El material se compone en su mayoría de materia orgánica parcialmente descompuesta; y por lo general tiene una textura fibrosa, un color negro o pardo oscuro y olor a descomposición. Estos materiales orgánicos son inadecuados para su utilización en terraplenes y subrasantes. Tales materiales son altamente compresibles y tienen una baja resistencia al corte.

La distribución de tipo de suelo según la clasificación de la AASHTO, puede observarse en la figura 23 y figura 24. Es de apreciar que la mitad de las muestras de los suelos corresponden a una clasificación A-7-5, que corresponde a materiales finos arcillosos con un límite líquido alto y gran potencial de expansión, y por ende de acuerdo a su calidad se encuentran ubicados en una categoría de aceptable a mala.



**Figura 23.** Caracterización según AASHTO en Ciudad Quesada.



**Figura 24.** Caracterización según AASHTO en Pital, Santa Rosa, La Fortuna y Aguas Zarcas.

En la tabla 2, puede observarse el detalle de la clasificación de suelos, según los ensayos de laboratorio realizados por el LanammeUCR en el año 2011, así como la información referente a la granulometría y los límites de Atterberg.

**Tabla 2.** Clasificación del tipo de suelo de la sub-rasante en los sondeos realizados.

Sondeo	Porcentaje Pasando				FG	FS	CF	LL	LP	SUCS	AASHTO
	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200							
1*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MH*	A-5(8)*
2	100	100	68,7	43,9	0	56,1	43,9	NP	NP	SM	A-2-4
3*	100	100	96,4	84,9	0	15,1	84,9	79,91	54,35	MH	A-7-5(31)
4	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	ML*	A-5(8)*
5	100	100	93,6	76,5	0	23,5	76,5	54,34	45,28	MH	A-5(11)
6*	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	ML*	A-5(8)*
7	100	100	91,2696	72,5	0	27,5	72,5	46,39	38,39	ML	A-5(8)
8	100	100	75,2	50,9	0	49,1	50,9	40,06	28,88	ML	A-6(4)
9	100	100	97,4	90,4	0	9,6	90,4	59,76	44,00	MH	A-7-5(21)
10*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MH*	A-7-5(25)*
11*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MH*	A-5(11)*
12	100	100	90,4	71,7	0	28,3	71,7	57,01	43,15	MH	A-7-5(13)
13	100	100	80,6	61,8	0	38,2	61,8	49,77	38,42	MH	A-7-5(7)
14*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MH*	A-7-5(12)*
15*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MH*	A-7-5(13)*
16*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MH*	A-7-5(25)*
17*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MH*	A-7-5(31)*
18	100	100	85,7	69,7	0	30,3	69,7	55,57	47,74	MH	A-5(8)
19	100	100	89	75,8	0	24,2	75,8	55,60	44,70	MH	A-7-5(12)
20	100	100	98,1	90,5	0	9,5	90,5	64,88	45,23	MH	A-7-5(25)
21	100	100	94,3	81,4	0	18,6	81,4	67,23	48,90	MH	A-7-5(21)
22	100	100	81,2	39,1	0	60,9	39,1	28,74	24,22	SM	A-4(0)
23	100	100	69,1	38,9	0	61,1	38,9	36,05	32,99	SM	A-4(0)
24	100	100	88,4	21,7	0	78,3	21,7	NP	NP	SM	A-2-4-
25	100	100	60,2	23	0	77	23	NP	NP	SM	A-2-4
26	100	100	88	74,2	0	25,8	74,2	67,78	49,86	MH	A-7-5(18)
27	100	100	94,9	83	0	17	83	67,10	51,38	MH	A-7-5(20)
28	100	100	85,6	65,8	0	34,2	65,8	46,81	32,40	ML	A-7-5(9)
29	100	100	92	74,4	0	25,6	74,4	76,57	52,90	MH	A-7-5(23)
30	100	100	86,2	72,2	0	27,8	72,2	40,97	23,52	CL	A-7-6(12)
31	100	100	97,4	92,7	0	7,3	92,7	65,54	38,20	MH	A-7-5(32)
32*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CL*	A-7-6(12)*
33	100	100	98,8	95,2	0	4,8	95,2	70,05	39,43	MH	A-7-5(38)
34	100	100	91,3	81,5	0	18,5	81,5	59,31	29,76	CH	A-7-6(27)
35	100	100	91,4	80,9	0	19,1	80,9	56,86	27,46	CH	A-7-6(26)

\*Sondeos asociados.

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

FG: Fracción gruesa.

FS: Fracción arena.

CF: Cantidad de finos.

Gs: Gravedad específica.

LL: Límite Líquido.

LP: Límite Plástico.

N°4: Tamiz N° 4, 750 mm de diámetro.

N°10: Tamiz N°10, 2.000 mm de diámetro.

N°40: Tamiz N°40, 0.425 mm de diámetro.

N°200: Tamiz N°200, 0.075 mm de diámetro.

Es posible identificar que tanto para la clasificación SUCS como para la clasificación AASHTO los suelos que componen la subrasante son materiales que se caracterizan por tener un comportamiento mecánico deficiente.

### 3.2.4.3 Clasificación de sub-rasante según CBR

En esta sección se analiza la red vial cantonal considerando el valor de CBR obtenido en sitio. El mismo proporciona un índice de la resistencia de la capa de la sub-rasante para resistir carga, en la figura 25 se muestra la prueba realizada en sitio.



**Figura 25.** Prueba de CBR en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El CBR obtenido es una medida indirecta obtenida a partir del penetrómetro, el cual registra la resistencia a la penetración, también llamado, Índice del cono (CI) en unidades de (psi) libras por pulgada cuadrada. El valor de CBR se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$CBR = a * (CI)^b$$

Donde:

- a y b son coeficientes asociados al tipo de suelo según la clasificación del suelo SUCS.
- CI es el índice del cono.

La clasificación utilizada para categorizar los valores de CBR es establecida por J. Bowles (1981), y se presenta en el tabla 3.

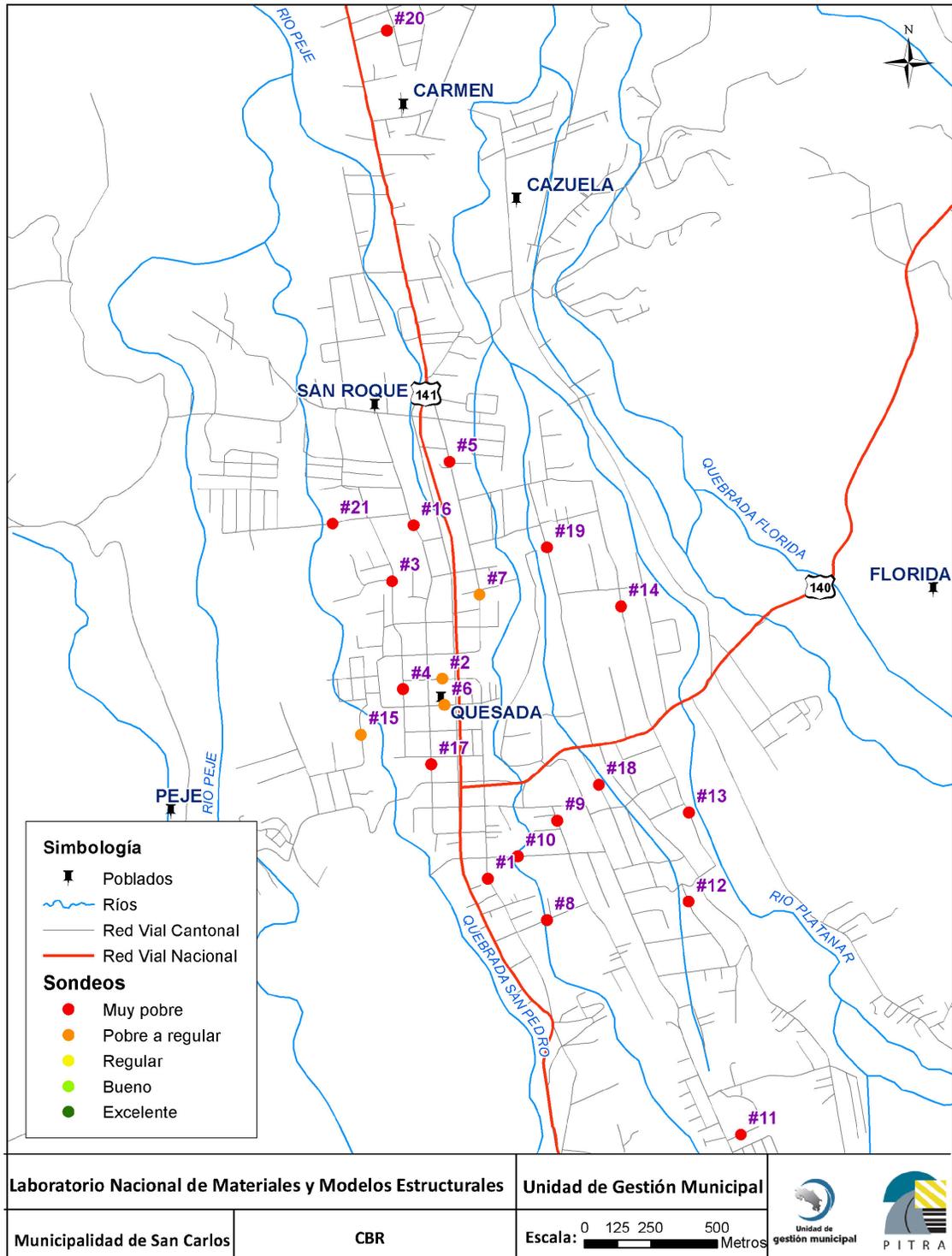
**Tabla 3. Clasificación del CBR.**

<b>CBR</b>	<b>Clasificación General</b>	<b>Usos</b>
0%-3%	Muy Pobre	Subrasante
3%-7%	Pobre a Regular	Subrasante
7%-20%	Regular	Sub-base
20%-50%	Bueno	Base-Sub-base
Mayor a 50%	Excelente	Base

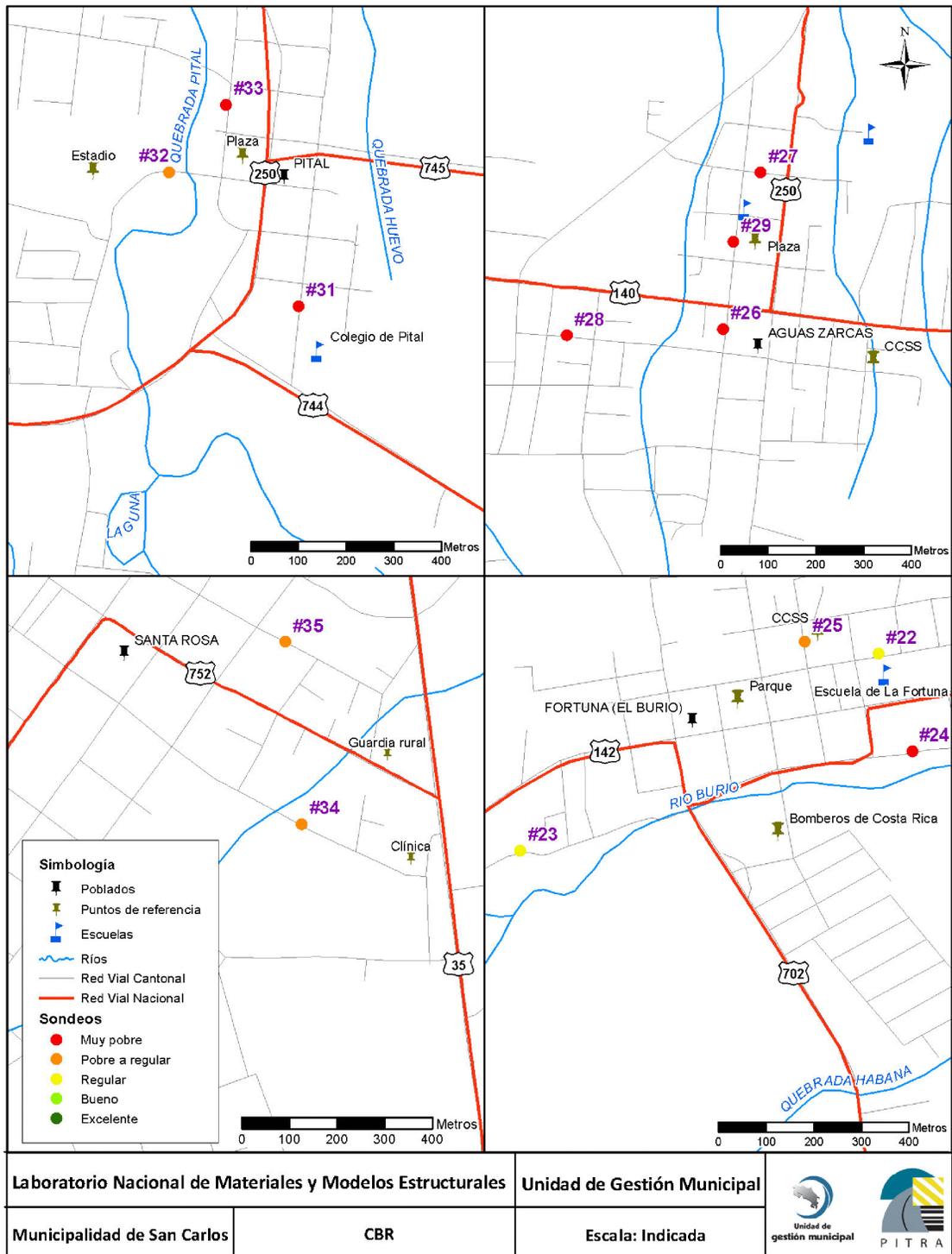
Fuente: Bowles, J. 1981.

En la figura 26 y figura 27 puede observarse la distribución de los CBR obtenidos en los diferentes sitios de sondeo. Es importante mencionar que en seis de los 35 sondeos (sondeos #8, #13, #14, #24, #28 y #30) no se tiene el valor de CBR ya que no se dispone del índice de cono.

Además, como se muestran en la figura 26 y figura 27, un 54% de los suelos de subrasantes en las que se analizó el CBR en sitio, son clasificados en la categoría de "Muy pobre", y un 23% corresponde a CBR clasificados como "Pobre a regular". Únicamente en La Fortuna se encontraron valores de CBR superiores a 7%, clasificados dentro de la categoría "Regular".



**Figura 26.** Clasificación del CBR según Bowles, en Ciudad Quesada.



**Figura 27.** Clasificación del CBR según Bowles, en Pital, Santa Rosa, La Fortuna y Aguas Zarcas.

En la tabla 4, se puede observar en detalle las pruebas de CBR en sitio, así como los diferentes parámetros utilizados para estimar el valor de CBR.

**Tabla 4.** Índice de resistencia CBR.

Sondeo	CI	a	b	CBR
1	55,9	0,0820	0,7174	1,4706
2	150,5	0,1305	0,6776	3,9011
3	38,5	0,0820	0,7174	1,1244
4	67,4	0,1111	0,7390	2,4954
5	60,9	0,0820	0,7174	1,5636
6	97,6	0,1111	0,7390	3,2808
7	94,5	0,1111	0,7390	3,2036
8	-	0,1111	0,7390	-
9	83,2	0,0820	0,7174	1,9551
10	95,8	0,0820	0,7174	2,1646
11	110,9	0,0820	0,7174	2,4041
12	110,2	0,0820	0,7174	2,3924
13	-	0,0820	0,7174	-
14	-	0,0820	0,7174	-
15	153,0	0,0820	0,7174	3,0277
16	92,4	0,0820	0,7174	2,1078
17	35,8	0,0820	0,7174	1,0676
18	116,2	0,0820	0,7174	2,4846
19	84,0	0,0820	0,7174	1,9687
20	45,0	0,0820	0,7174	1,2588
21	71,6	0,0820	0,7174	1,7562
22	61,5	1,1392	0,4896	8,5566
23	67,8	1,1392	0,4896	8,9768
24	-	0,1305	0,6776	-
25	103,7	0,1305	0,6776	3,0309
26	90,4	0,0820	0,7174	2,0760
27	56,3	0,0820	0,7174	1,4772
28	-	0,1111	0,7390	-
29	56,0	0,0820	0,7174	1,4714
30	-	0,1266	0,6986	-
31	125,3	0,0820	0,7174	2,6228
32	124,1	0,1266	0,6986	3,6750

Sondeo	CI	a	b	CBR
33	118,4	0,0820	0,7174	2,5188
34	235,8	0,1264	0,6979	5,7226
35	116,3	0,1264	0,6979	3,4936

### 3.2.5 Definir tramos homogéneos

Los tramos homogéneos son secciones de la vía que poseen características similares, y se definen con el objetivo de seccionar las calles para aplicar una solución única por tramo, ya que a nivel operativo no es funcional que el tipo o diseño de la intervención requerida varíe en pocos metros.

Los siguientes criterios se utilizaron para determinar los tramos homogéneos, y se basan en los valores de las deflexiones obtenidas en la evaluación de la red vial.

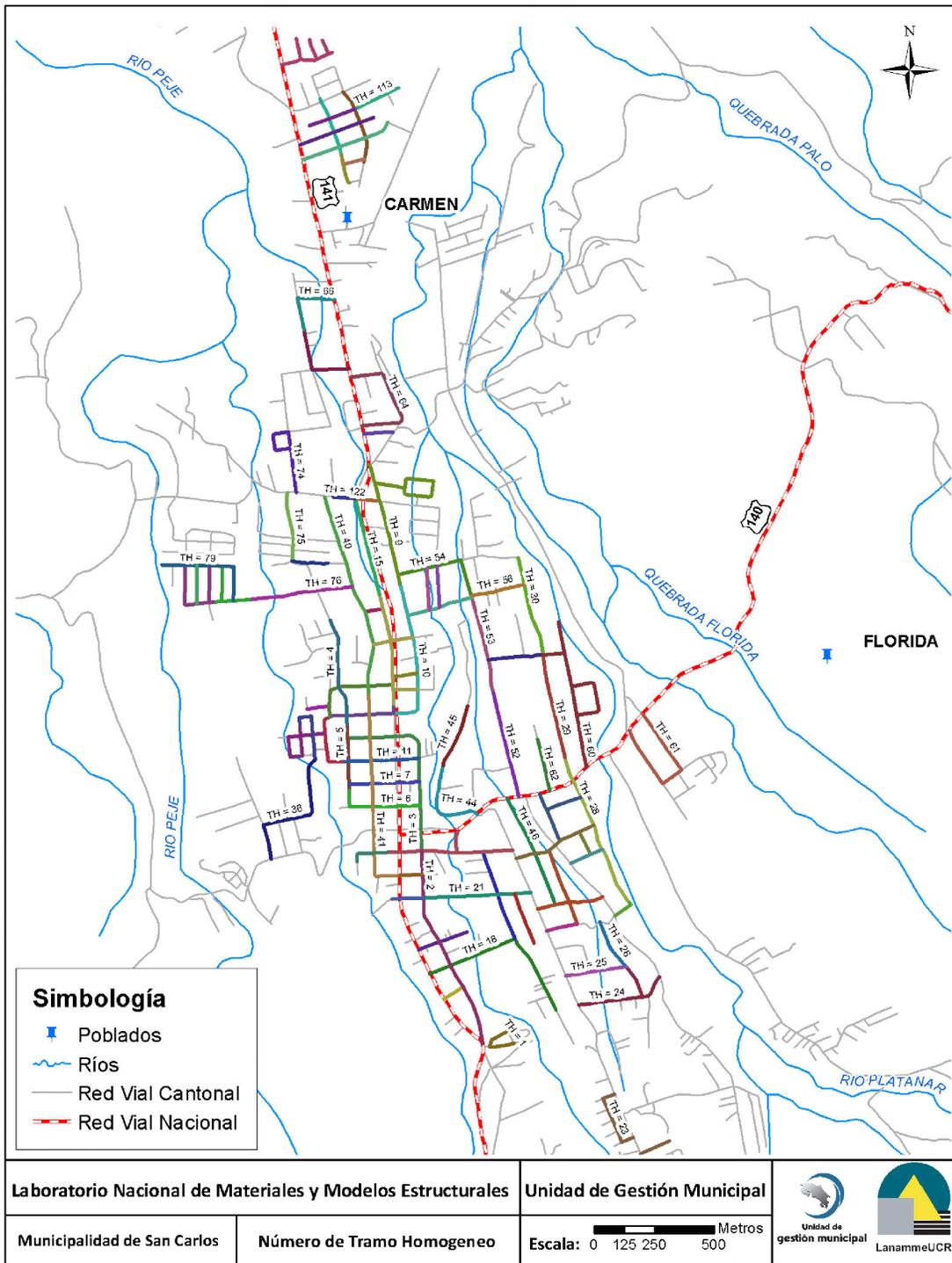
- La longitud mínima de cada tramo es de 300 m.
- Los tramos con una relación de la desviación estándar y la media (s/m) mayor que 0,45 se considerará como tramo no uniforme.

Los tramos homogéneos finales se obtuvieron por medio del método de diferencias acumuladas establecido por el AASHTO 93, a partir de la información de deflectometría. Existen vías con relaciones entre la desviación estándar y la media superiores a 0,45; esto con el fin de no seccionar más el tramo homogéneo determinado y tratar de mantener tramos con una longitud mínima de 300 m.

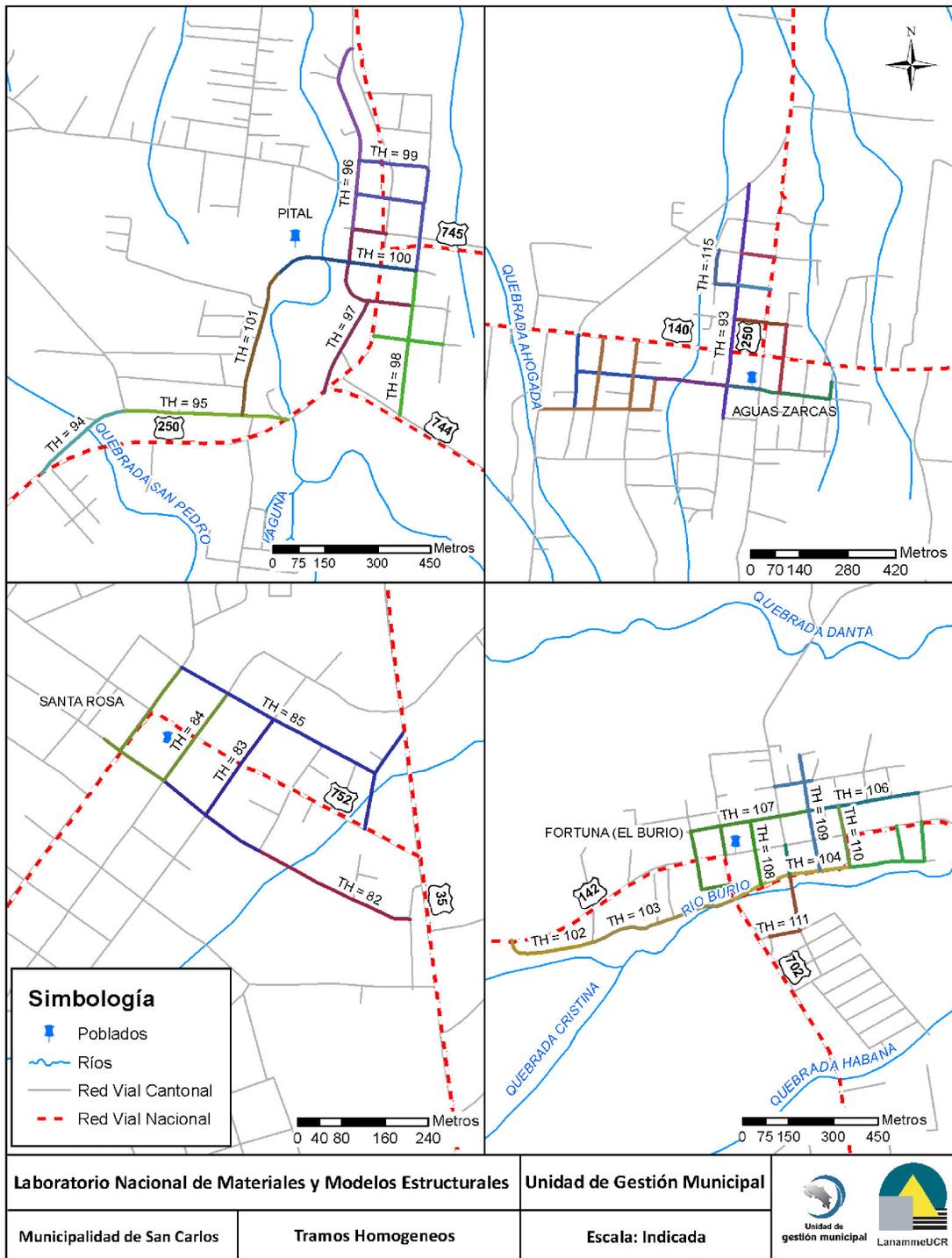
En el estudio realizado para la Municipalidad de San Carlos se obtuvo 118 tramos homogéneos a partir de aproximadamente 43,8 km evaluados; a continuación en la tabla 5, se presenta el número de tramo y la longitud aproximada en metros para los tramos ubicados en la zona; además, en la figura 28 y figura 29 se muestra su ubicación en la red vial cantonal.

**Tabla 5.** Longitud de los diferentes tramos homogéneos ubicados en San Carlos.

TH	Long (m)	TH	Long (m)	TH	Long (m)
1	204	43	153	82	306
2	859	44	375	83	433
3	761	45	271	84	523
4	450	46	486	85	598
5	281	47	607	86	444
6	364	48	367	87	825
7	293	49	105	88	254
8	94	50	145	90	199
9	997	51	358	91	154
10	634	52	465	92	97
11	321	53	401	93	684
12	256	54	426	94	306
13	311	55	278	95	466
14	719	56	226	96	542
15	414	57	174	97	764
16	101	58	176	98	616
17	96	59	230	99	688
18	729	60	1013	100	410
19	387	61	638	101	425
20	215	62	222	102	301
21	448	63	122	103	501
22	223	64	514	104	405
23	435	65	326	105	503
24	544	66	289	106	371
25	253	67	317	107	791
26	210	68	125	108	216
27	130	69	251	109	519
28	658	70	90	110	207
29	439	71	392	111	294
30	422	72	327	112	132
32	103	73	200	113	204
33	376	74	445	114	100
34	423	75	292	115	166
35	259	76	434	116	96
36	589	77	300	117	208
38	75	78	439	118	95
40	865	79	444	119	91
41	853	80	161	120	98
42	621	81	459	121	150
				122	92



**Figura 28.** Ubicación de diferentes tramos homogéneos en Ciudad Quesada.



**Figura 29.** Ubicación de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Pital, Santa Rosa, La Fortuna y Aguas Zarcas.



Es importante aclarar que los valores promedio asociados a cada tramo ofrecen una idea de la condición general del mismo para el año 2011, ya que a cada tramo se le asocia cierta dispersión producto de la variabilidad de la evaluación del IRI o la deflectometría.

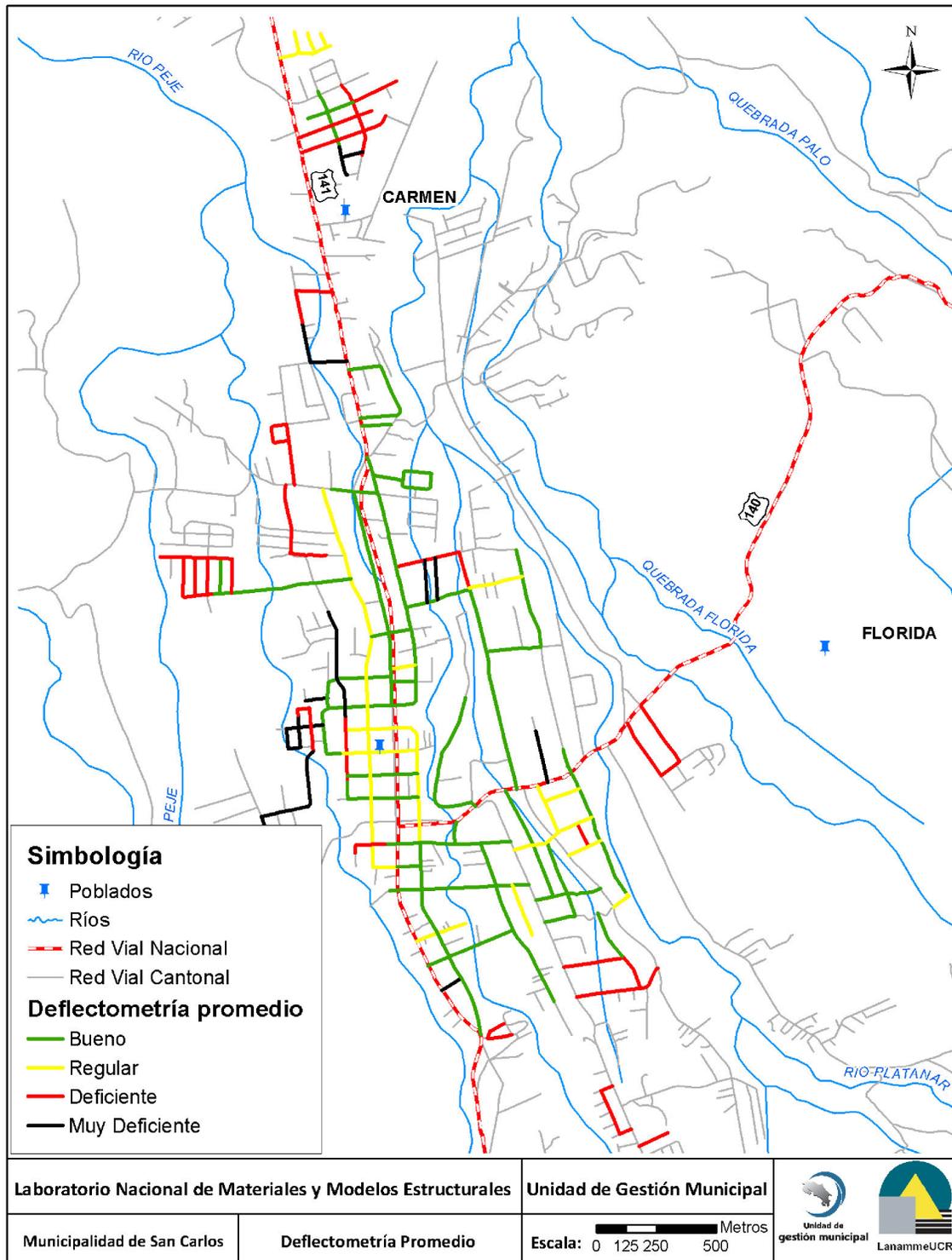
### 3.2.5.1 Deflexión Promedio

Para categorizar el estado estructural de cada tramo homogéneo también se utiliza la clasificación que se presenta en la figura 16, donde se consideran diferentes intervalos para clasificar la deflectometría según el TPD de las vías y el tipo de estructura (pavimento con base granular o estabilizada).

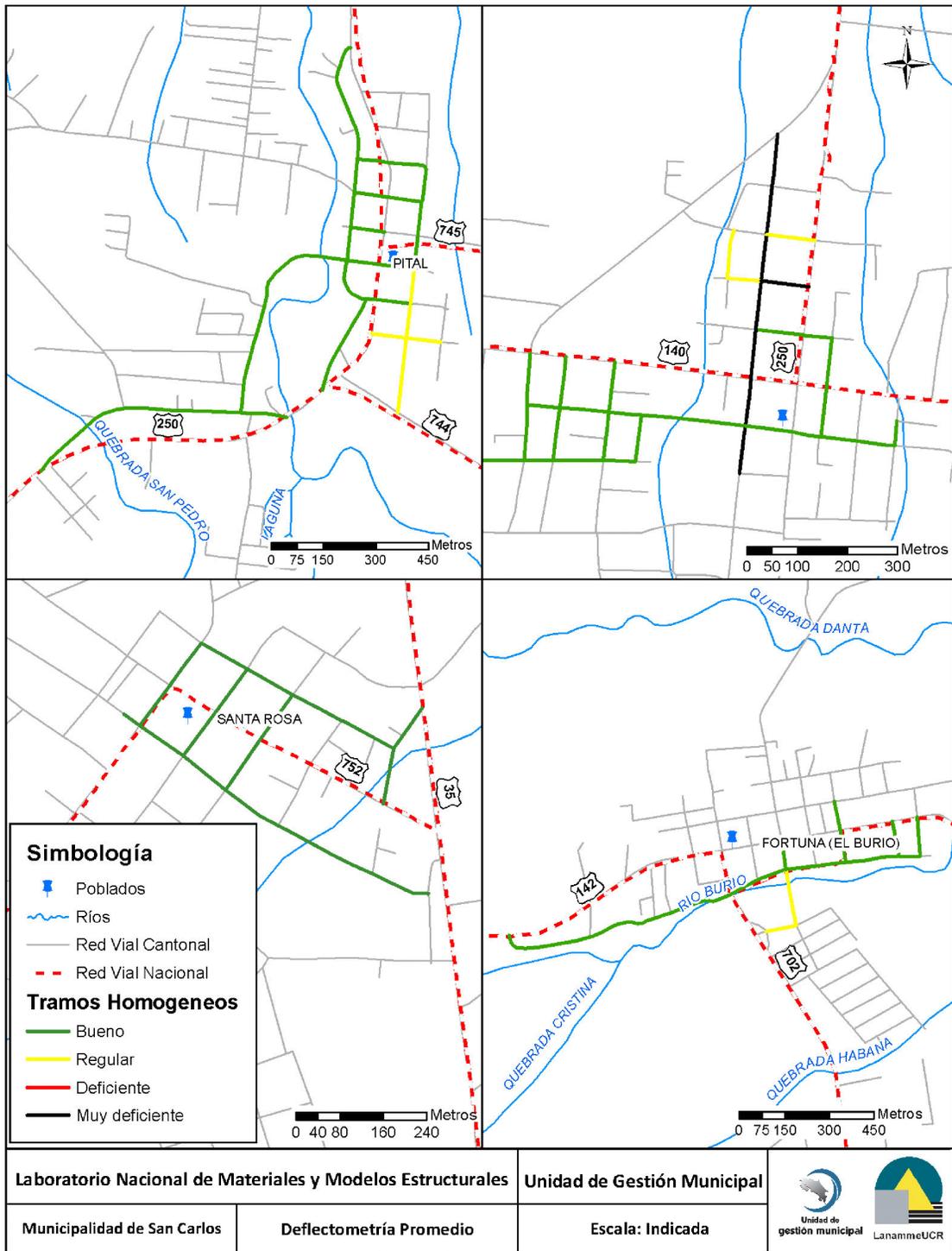
En la figura 30 y figura 31 se muestra de manera gráfica la caracterización de la red evaluada, según los valores promedio de las deflexiones medidas en el año 2011.

Para cada categoría de condición estructural se realiza un análisis en el que se determina la cantidad de metros lineales y la cantidad de tramos homogéneos asociados, los cuales se sintetizan en la figura 32 y figura 33. La sección del gráfico mostrada en color morado, corresponde a aquellos tramos homogéneos elaborados en adoquines o mezclas de concreto y asfalto, por lo que no fue posible incluirlos en la clasificación típica de deflectometría.

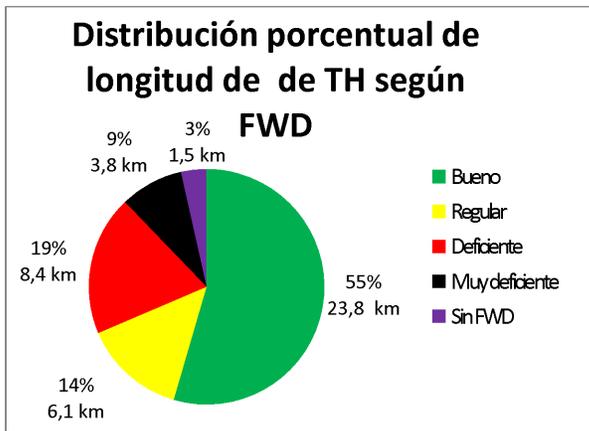
De acuerdo con la información mostrada en estos gráficos de la evaluación realizada en el año 2011, se observa que el 55% de la longitud evaluada (60 tramos en total) presenta una adecuada condición estructural; mientras que 38 tramos homogéneos equivalentes a 12,2 km, poseen una estructura del pavimento con un nivel de deterioro importante (pertenecientes a las categorías "deficiente" y "muy deficiente") y por lo consiguiente una baja capacidad para soportar las cargas de tránsito a las que se ve sometida. Aproximadamente, 6 km distribuidos en 17 tramos homogéneos, se encuentran en la categoría de "Regular".



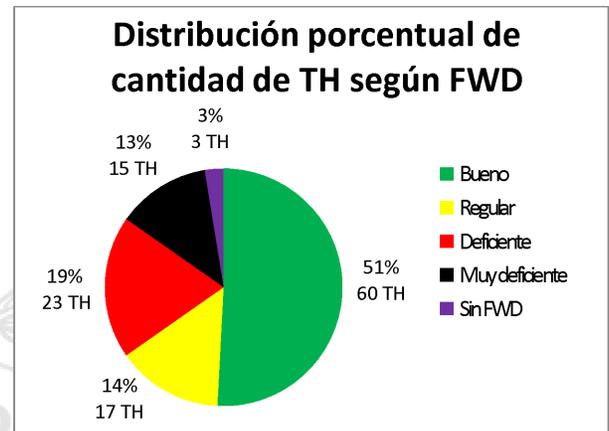
**Figura 30.** Deflectometría promedio de las vías analizadas en Ciudad Quesada.



**Figura 31.** Deflectometría promedio de las vías analizadas en Pital, Santa Rosa, La Fortuna y Aguas Zarcas.



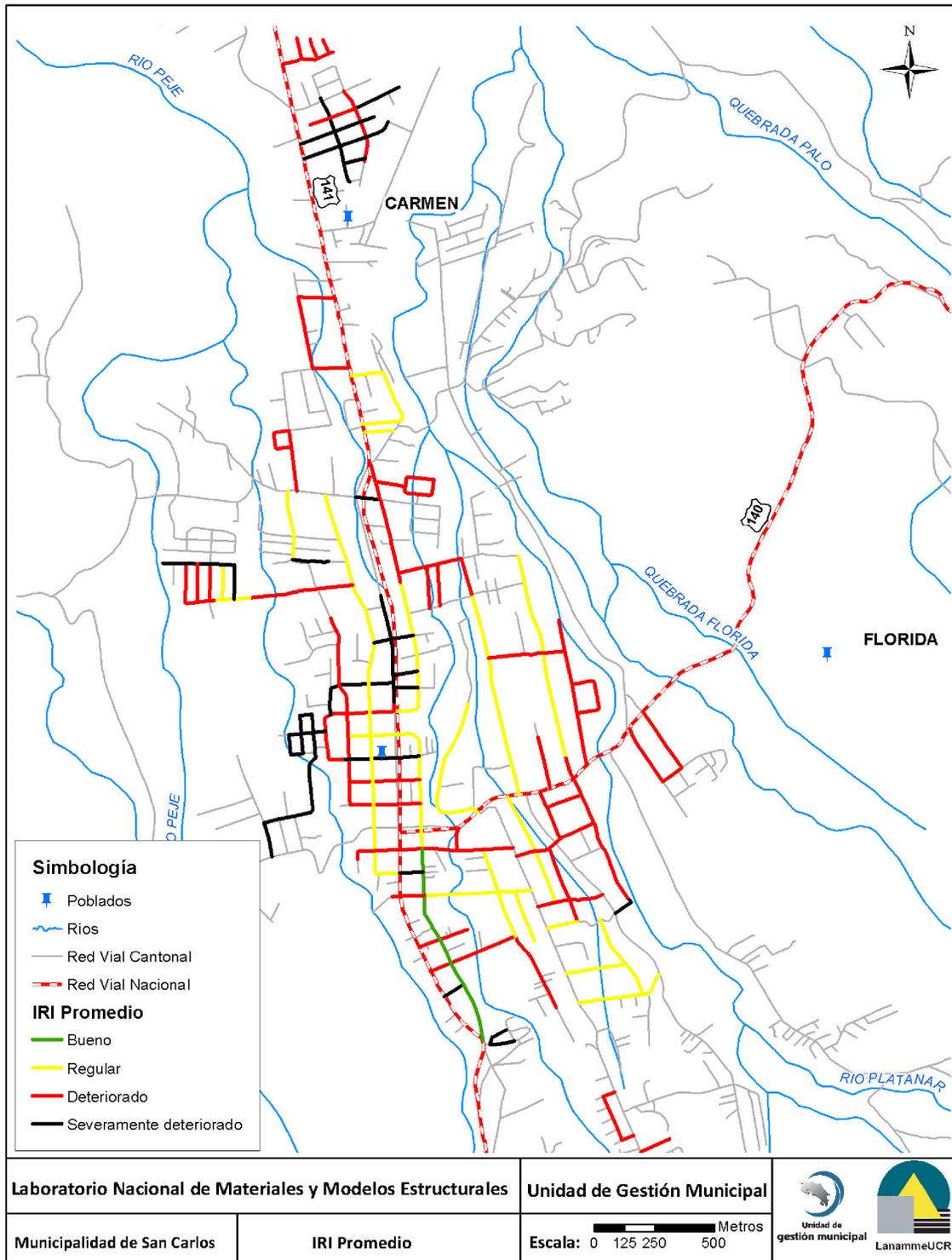
**Figura 32.** Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio.



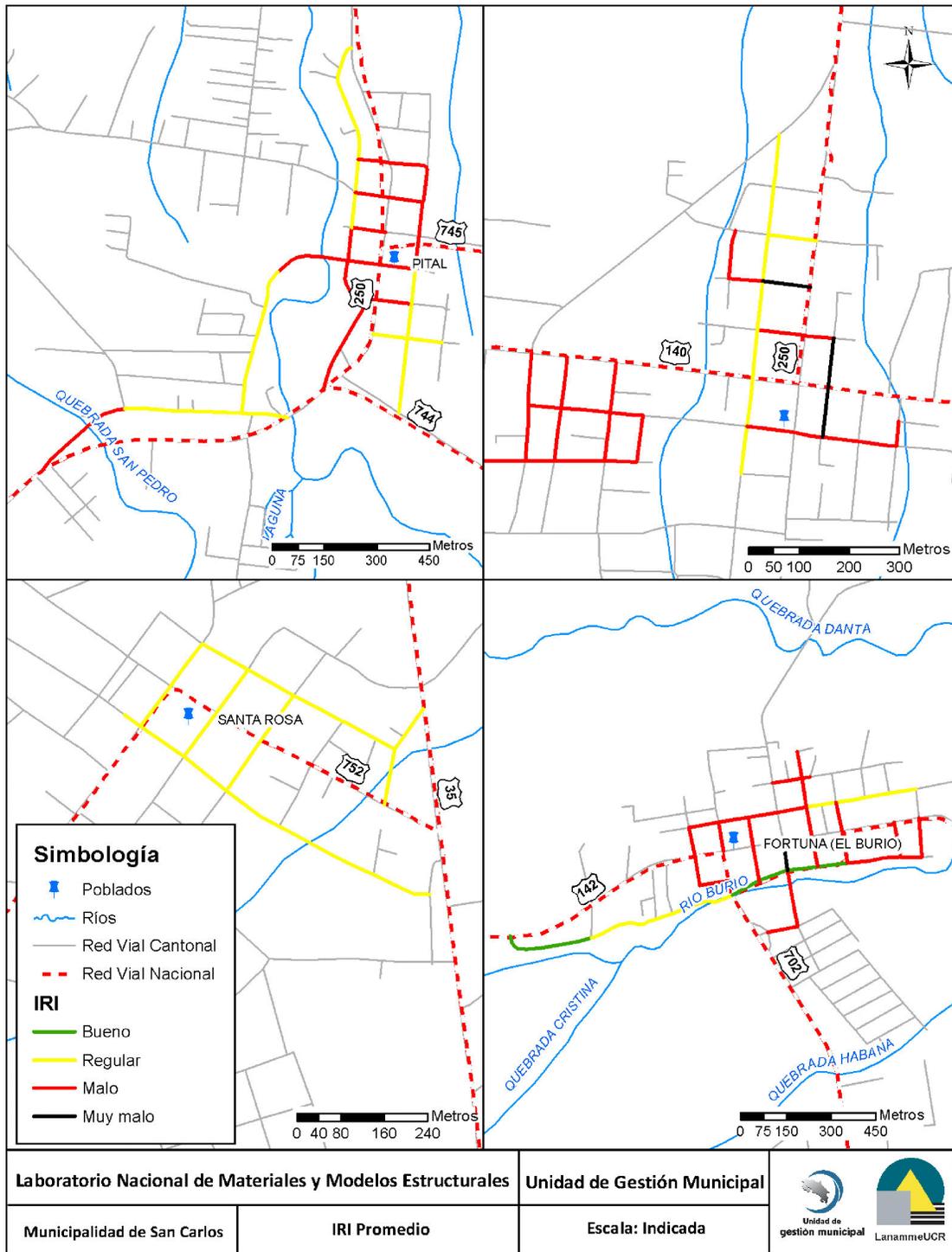
**Figura 33.** Porcentaje de tramos clasificados según el FWD promedio.

### 3.2.5.2 IRI promedio

De la misma forma como se clasificó el IRI en la sección 3.2.2.1, se realiza una caracterización mediante los valores promedio de cada tramo ( $IRI_{promedio}$ ) con el fin de identificar la variación en el tramo y el valor más representativo del mismo. El análisis por  $IRI_{promedio}$  indica que las rutas en este estudio presentan bastante deterioro en la condición superficial. En la figura 34 y figura 35, es posible visualizar la condición del IRI promedio para los diferentes tramos.



**Figura 34.** IRI promedio para las vías analizadas en Ciudad Quesada.

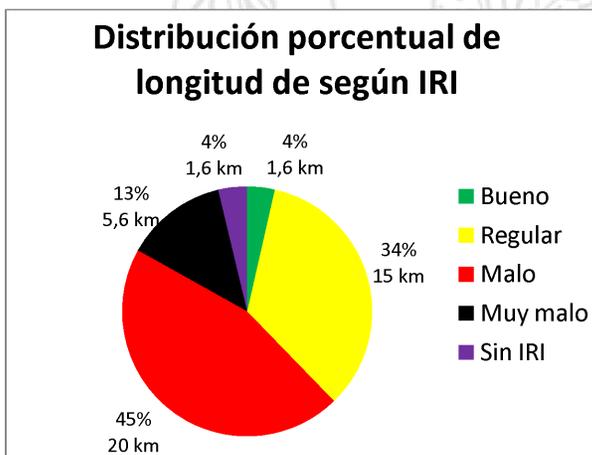


**Figura 35.** IRI promedio para las vías analizadas en Pital, Santa Rosa, La Fortuna y Aguas Zarcas.

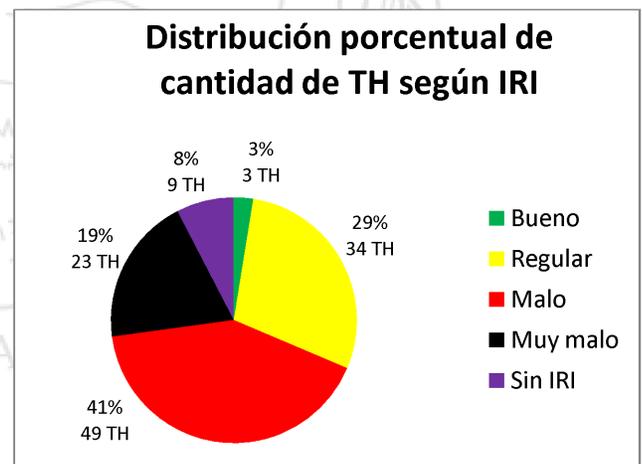
La distribución de la cantidad de tramos homogéneos y de los metros lineales asociados a cada categoría de IRI de acuerdo con las mediciones del año 2011, se muestra porcentualmente en la figura 36 y figura 37. Las secciones de los gráficos en color morado, representan secciones de carreteras en los cuales no se efectuaron mediciones con el Perfilómetro Inercial Laser.

Según la información que se muestra en las siguientes dos figuras, únicamente 3 tramos homogéneos, con una longitud total de 1,6 km, se encuentran en una buena condición funcional; a diferencia de 15 km distribuidos en 34 tramos, que presentan condiciones "Regulares" de IRI. De tal manera que un 38% de la longitud evaluada posee un IRI promedio inferior a 6,4 m/km, lo cual se asocia a una condición superficial aceptable para las velocidades de operación en una ruta cantonal.

Sin embargo, se debe destacar que el 60% de los tramos analizados (correspondientes a 25,6 km, es decir, 58% de la longitud total evaluada) poseen un IRI superior a 6,4 m/km, correspondiente a una vía con irregularidades importantes. La irregularidad en la superficie de rueda implica un mayor costo de operación para los usuarios, mayor tiempo en el traslado y un viaje poco confortable sobre estos tramos. Estas irregularidades también ocasionan un deterioro acelerado de la estructura, debido a las cargas dinámicas a las que se ve sometida, ocasionado por el golpeteo de los vehículos al transitar por una ruta irregular.



**Figura 36.** Porcentaje de metros lineales clasificados según el IRI promedio.



**Figura 37.** Porcentaje de tramos clasificados según el IRI promedio.

### 3.2.6 Notas Calidad

El estado de cada uno de los tramos es analizado funcional y estructuralmente, y mediante la unión de estos dos aspectos se puede determinar la condición en el que se encuentra un tramo en el momento de su evaluación; a este nuevo indicador se le denominará **Nota de Calidad**, la cual permitirá definir la estrategia de intervención más adecuada a nivel de gestión para cada tramo.

La metodología plantea matrices que relacionan la capacidad estructural (valores de deflectometría) con la capacidad funcional (valores de IRI) evaluada, de manera que se genera una “nota” según el estado general en el que se encuentra un tramo. Hay diferentes matrices según el nivel de flujo vehicular asociado a una ruta, pues la caracterización de la capacidad estructural de una ruta es función del tránsito vehicular: una ruta de alto tránsito requiere una mayor capacidad (menor deflexión) para soportar las cargas que una ruta de bajo tránsito.

La metodología utilizada para la evaluación de la red vial municipal es una adaptación de la metodología utilizada para analizar la red vial nacional 2010-2011, la cual se presenta en el informe LM-PI-UE-05-11, emitido por el LanammeUCR.

En la tabla 6 y tabla 7, se presentan dos matrices que establecen notas de calidad en función de los valores de IRI y deflectometría medidos al momento de la evaluación.

**Tabla 6.** Notas de calidad para un tránsito inferior a los 5000 vehículos diarios para una estructura con base granular.

IRI m/km	Deflexión 10 <sup>-2</sup> mm			
	<76,5	76,5-88,5	88,5-115,7	>115,7
Bueno (0-3,6 m/km)	Q1	Q3	Q6	R-1
Regular (3,6-6,4 m/km)	Q2	Q5	Q8	R-2
Malo (6,4-10,0 m/km)	Q4	Q7	Q9	R-3
Muy malo (mayor 10,0 m/km)	M-RF	RH-RF	R-3	NP

Fuente: LanammeUCR, 2012.

**Tabla 7.** Notas de calidad para un tránsito superior a los 5000 vehículos diarios e inferior a 15000 vehículos diarios para una estructura con base granular.

IRI m/km	Deflexión 10 <sup>-2</sup> mm			
	<70,8	70,8-83,3	83,3-112,9	>112,9
Bueno (0-3,6 m/km)	Q1	Q3	Q6	R-1
Regular (3,6-6,4 m/km)	Q2	Q5	Q8	R-2
Malo (6,4-10,0 m/km)	Q4	Q7	Q9	R-3
Muy malo (mayor 10,0 m/km)	M-RF	RH-RF	R-3	NP

Fuente: LanammeUCR, 2012.

El uso de colores en la tablas 6 y 7 reflejan de manera general, el tipo de intervención (a nivel de gestión) que requiere cada una de las categorías. Los colores verdes representan actividades relacionadas con el mantenimiento, el amarillo se refiere a tramos que requieren recuperación de la capacidad funcional, el azul requiere un proceso de análisis a nivel de proyecto ya que se encuentra en una condición intermedia, los colores rosados representan tramos que requieren rehabilitación menor, los colores naranjas y rojos representan una rehabilitación mayor y los negros requieren reconstrucción, en la siguiente sección se amplía la descripción de los diferentes tipos de intervenciones.

Cada una de las categorías que se muestran en la tabla 6 y la tabla 7 están asociadas a una descripción que caracteriza las condiciones generales en las que se encuentran los tramos en estudio, así como la intervención que se recomienda. Esta descripción, al igual que la tabla 6 y la tabla 7, son una adaptación a las condiciones municipales de las notas de calidad expuestas en el informe LM-PI-UE-05-11.

### 3.2.6.1 Definición de las notas de calidad

- Q1: Es la condición ideal de un pavimento desde el punto de vista funcional y estructural. Son estructuras que brindan un buen servicio al usuario, disminuyendo los costos de operación. A pesar de esto, pueden presentar deterioros que no son percibidos por la deflectometría de campo y la evaluación realizada con el perfilómetro (IRI), tales como: desprendimientos leves, desnudamiento o



exudaciones. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones del tipo mantenimiento de preservación de bajo costo.

- Q2: Son pavimentos con muy buena capacidad estructural, sin embargo, poseen una capacidad funcional regular. En pavimentos flexibles los defectos superficiales que se pueden presentar son deformaciones en la mezcla asfáltica, baches reparados y agrietamientos de baja severidad. Estas estructuras son candidatas a mantenimientos de preservación de bajo costo, enfocadas a corregir la pérdida de capacidad funcional.
- Q3: En estos pavimentos se presenta una pérdida de la capacidad estructural, sin embargo, se mantiene una condición funcional buena. Por lo que los deterioros funcionales no percibidos por el deflectómetro o el perfilómetro (IRI) en el campo pueden tener un mayor nivel de extensión o severidad. Los pavimentos que califican con esta nota son candidatos a mantenimientos de preservación de bajo costo, enfocadas a atender la pérdida de capacidad estructural, con el objetivo de detener o retardar su avance.
- Q4: Existe un deterioro en el pavimento que puede afectar la velocidad del tránsito. En pavimentos flexibles pueden presentarse grandes baches o grietas profundas, entre los deterioros se incluye pérdida de agregados y ahuellamiento, los cuales se encuentran en más del 50% de la superficie. Aunque la condición estructural es buena, la condición funcional presenta un deterioro importante que afecta la durabilidad del pavimento, aumentando la tasa de deterioro estructural de forma elevada. Debido al deterioro de la capa de rueda 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 se enfoquen a atender la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo.
- M-RF: En esta categoría se encuentran estructuras con un deterioro funcional extremo que afecta significativamente la velocidad del tránsito. Presentan grandes baches y grietas profundas en la carpeta asfáltica. El deterioro se presenta en más de la mitad de la superficie, comprometiendo la capacidad estructural del pavimento.



Debido al deterioro en la capa de ruedo, en el corto plazo estos pavimentos pasarán a la categoría RH-RF. Los tramos que presentan esta categoría son candidatos a intervenciones de tipo de mantenimiento de alto costo, enfocadas en recuperar la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo para evitar un mayor deterioro de la capacidad estructural.

- Q5: Estas estructuras se encuentran en una condición de capacidad estructural y funcional intermedia por lo que es necesario realizar un análisis más detallado a nivel de proyecto.
- Q7: Los pavimentos en esta categoría tienen una condición de ruedo similar a los que se encuentran en la categoría Q4, sin embargo, presentan una peor condición estructural, por lo que deterioros como ahuellamientos, agrietamientos por fatiga o agrietamientos transversales y longitudinales son mayores. En estos pavimentos la velocidad del deterioro estructural y funcional se intensifica, por lo que se encuentran propensos a pasar a las categorías RH-RF o Q9 en el mediano plazo. Estos tramos son candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación menor, enfocadas a la recuperación de la pérdida de capacidad funcional en el mediano plazo con el fin de retardar o evitar un mayor deterioro de la capacidad estructural.
- RH-RF: Los pavimentos es esta categoría poseen una condición de ruedo similar a M-RF, sin embargo, presentan una peor condición estructural, por lo que la presencia de deterioros es mayor. En estos tramos la velocidad de deterioro se intensifica por lo que son propensos a pasar a la categoría R3 a corto plazo. Estas estructuras son candidatas a intervenciones de tipo rehabilitación menor, enfocadas a recuperar la pérdida de capacidad funcional y estructural en el corto plazo para evitar o retardar un mayor deterioro.
- Q6, Q8 y Q9: Estos tramos presentan una condición estructural muy deficiente, en el caso de que presenten una buena condición funcional en el momento de su evaluación, normalmente se debe a recapados o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido a dar aporte estructural significativo, por lo tanto son trabajos de poca durabilidad. La condición de pérdida acelerada de la capacidad



estructural y funcional de estos pavimentos los convierte en candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida a corto plazo.

- R-1, R-2: Estos pavimentos presentan una condición estructural muy deficiente. Los tramos que se encuentran categorizados en esta condición y poseen una buena condición de la capa de ruedo se debe, principalmente, a la presencia de sobrecapas o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido, de manera significativa, a nivel estructural, por lo tanto, son trabajos de poca durabilidad y existe una rápida migración a notas como R-3 y NP, donde la alternativa de intervención es una reconstrucción del pavimento. Estos tramos son candidatos a intervenciones del tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida de forma inmediata.
- R-3, NP: Estos pavimentos presentan un altísimo nivel de deterioro. Donde la transitabilidad y la capacidad estructural son inferiores a los niveles aceptables para una carretera pavimentada. Estos tramos son candidatos a las inversiones de más alto costo, siendo tramos candidatos a una reconstrucción.

#### 3.2.6.2 Notas de calidad de la red vial analizada

Las notas de calidad se asignaron según el procedimiento descrito en la sección 3.2.6 utilizando la tabla 6 y la tabla 7, donde los parámetros utilizados para la asignación de cada nota de calidad son el IRI promedio y la deflectometría promedio caracterizada según el tipo de base asociada y flujo vehicular característico.

En la tabla 8, se puede observar el detalle de los valores promedio de IRI y deflectometría para cada tramo homogéneo correspondientes a las condiciones de la infraestructura para el año 2011, además, se indica la nota de calidad asociada a los valores obtenidos.

**Tabla 8.** Nota de calidad asignada a cada tramo analizado en la localidad de San Carlos.

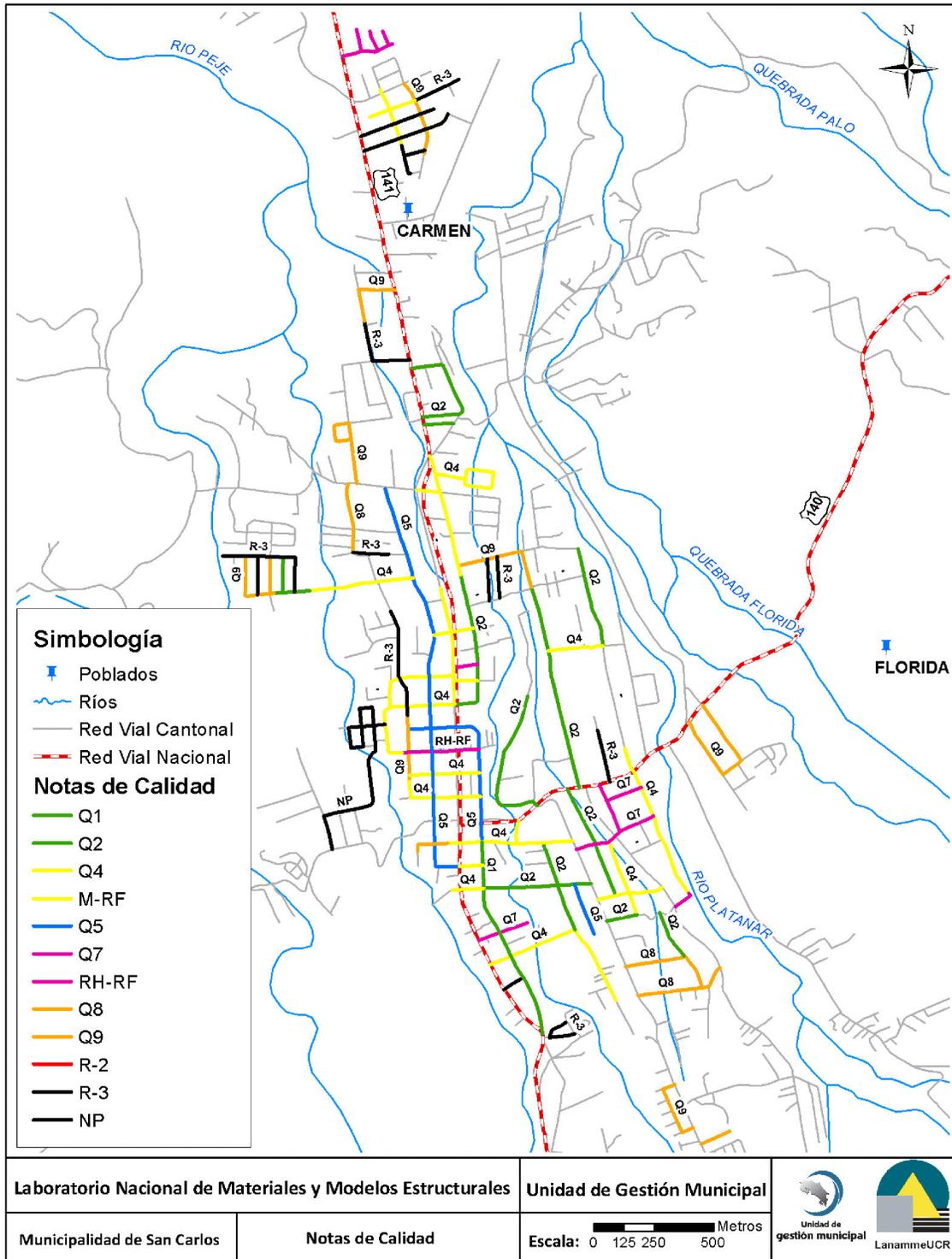
<b>N_TH</b>	<b>Long (m)</b>	<b>FWD_prom</b>	<b>IRI_Prom</b>	<b>Nota de calidad</b>
1	204	40,29	10,91	R-3
2	859	43,08	2,59	Q1
3	761	77,37	6,30	Q5
4	450	132,79	6,59	R-3
5	281	115,27	8,36	Q9
6	364	64,06	8,90	Q4
7	293	66,53	7,71	Q4
8	94	212,00	-	Sin Nota Q
9	997	57,85	7,15	Q4
10	634	46,74	6,01	Q2
11	321	84,06	11,50	RH-RF
12	256	39,30	8,73	Q4
13	311	64,31	7,48	Q4
14	719	59,41	11,46	M-RF
15	414	57,35	-	Sin Nota Q
16	101	58,73	21,28	M-RF
17	96	135,13	10,13	NP
18	729	74,98	7,27	Q4
19	387	58,90	4,58	Q2
20	215	81,74	9,35	Q7
21	448	60,89	3,64	Q2
22	223	79,59	6,10	Q5
23	435	97,45	7,43	Q9
24	544	114,38	5,16	Q8
25	253	105,38	3,72	Q8
26	210	66,33	3,67	Q2
27	130	39,00	6,08	Q2
28	658	60,41	6,56	Q4
29	439	-	5,23	Sin Nota Q
30	422	65,06	4,74	Q2
32	103	78,36	14,88	RH-RF
33	376	75,28	10,66	M-RF
34	423	127,09	10,92	NP
35	259	95,40	16,08	R-3
36	589	72,97	10,52	NP
38	75	-	13,50	Sin Nota Q
40	865	82,57	4,03	Q5
41	853	81,75	3,88	Q5
42	621	56,41	6,63	Q4
43	153	106,99	8,69	Q9
44	375	36,78	5,86	Q2



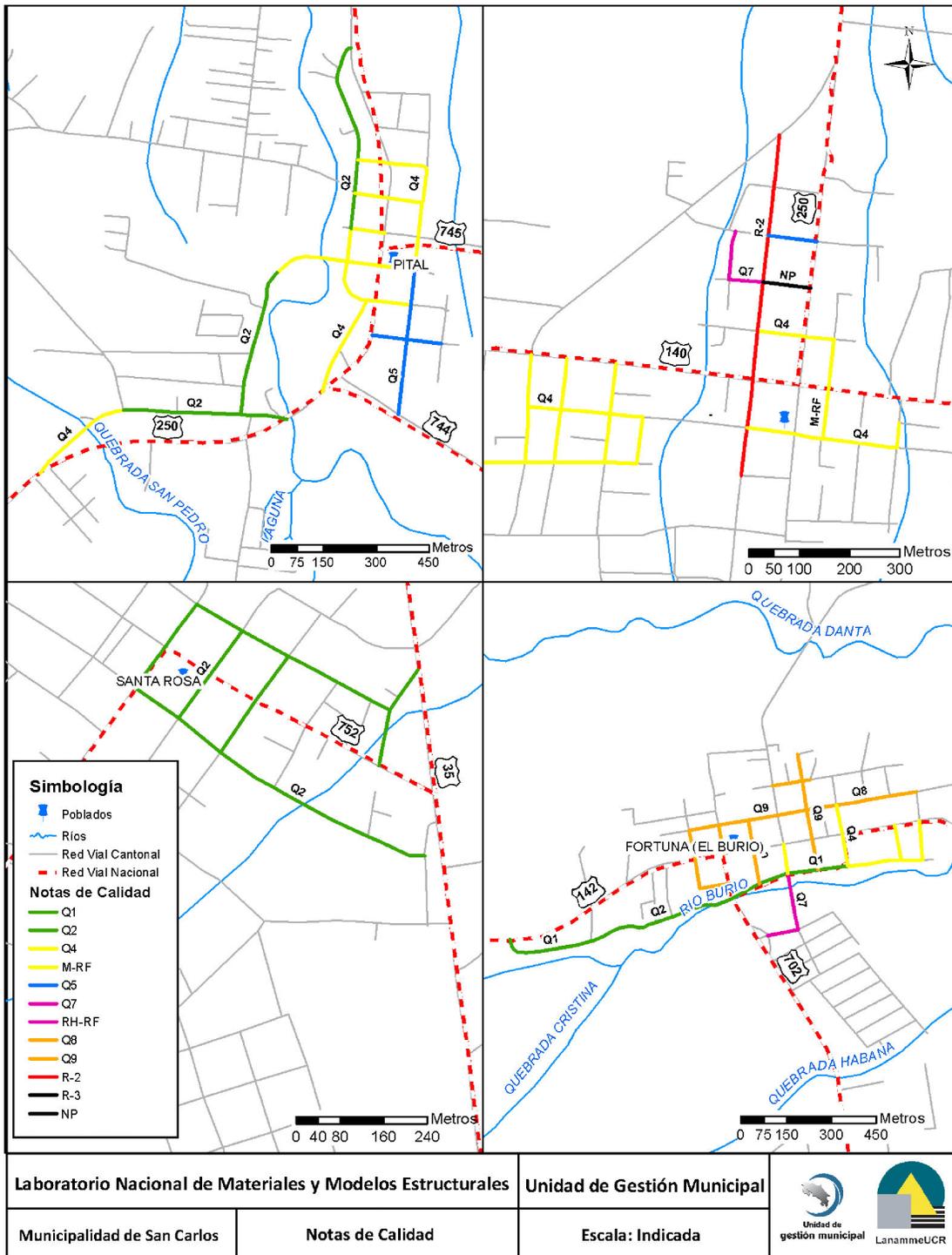
<b>N_TH</b>	<b>Long (m)</b>	<b>FWD_prom</b>	<b>IRI_Prom</b>	<b>Nota de calidad</b>
45	271	58,35	4,09	Q2
46	486	56,95	4,78	Q2
47	607	39,46	9,46	Q4
48	367	87,14	6,98	Q7
49	105	107,75	-	Sin Nota Q
50	145	78,79	-	Sin Nota Q
51	358	77,84	6,84	Q7
52	465	41,60	4,71	Q2
53	401	48,38	3,92	Q2
54	426	105,17	9,21	Q9
55	278	55,00	-	Sin Nota Q
56	226	84,43	-	Sin Nota Q
57	174	227,60	7,82	R-3
58	176	117,04	9,44	R-3
59	230	70,86	6,94	Q4
60	1013	-	6,60	Sin Nota Q
61	638	89,68	7,71	Q9
62	222	95,27	9,40	R-3
63	122	63,43	4,73	Q2
64	514	74,08	4,74	Q2
65	326	76,69	7,60	R-3
66	289	45,76	8,28	Q9
67	317	93,24	7,79	Q9
68	125	71,68	11,90	NP
69	251	75,46	15,57	M-RF
70	90	118,28	16,08	NP
71	392	95,22	10,40	R-3
72	327	91,46	13,20	R-3
73	200	64,14	9,78	Q4
74	445	106,60	7,39	Q9
75	292	111,95	5,76	Q8
76	434	33,30	9,39	Q4
77	300	35,47	6,38	Q2
78	439	54,81	8,42	Q9
79	444	45,75	11,12	R-3
80	161	97,78	7,72	R-3
81	459	80,18	7,86	Q7
82	306	39,38	5,07	Q2
83	433	40,23	6,38	Q2
84	523	44,49	6,12	Q2
85	598	39,32	5,54	Q2
86	444	22,80	6,56	Q4
87	825	18,70	6,63	Q4

<b>N_TH</b>	<b>Long (m)</b>	<b>FWD_prom</b>	<b>IRI_Prom</b>	<b>Nota de calidad</b>
88	254	18,62	7,66	Q4
90	199	32,33	10,48	M-RF
91	154	64,48	7,76	Q4
92	97	76,85	6,04	Q5
93	684	58,52	6,35	R-2
94	306	45,16	7,21	Q4
95	466	46,54	5,69	Q2
96	542	54,29	6,21	Q2
97	764	68,03	7,36	Q4
98	616	82,63	5,63	Q5
99	688	56,23	9,79	Q4
100	410	55,75	8,19	Q4
101	425	56,80	5,83	Q2
102	301	20,53	3,50	Q1
103	501	14,35	4,44	Q2
104	405	53,24	3,48	Q1
105	503	69,92	6,98	Q4
106	371	113,88	4,10	Q8
107	791	90,06	6,66	Q9
108	216	111,42	9,33	Q9
109	519	113,21	9,90	Q9
110	207	71,11	9,20	Q4
111	294	38,07	6,89	Q7
112	132	47,32	8,96	Q4
113	204	42,49	11,48	R-3
114	100	49,86	10,45	M-RF
115	166	83,63	8,20	Q7
116	96	58,03	21,42	NP
117	208	13,92	-	Sin Nota Q
118	95	48,16	8,06	Q4
119	91	87,73	10,33	RH-RF
120	98	43,66	14,66	M-RF
121	150	54,34	10,45	R-3
122	92	51,5009321	-	Sin Nota Q

En la figura 38 y figura 39 puede observarse cada tramo homogéneo clasificado según la metodología de notas de calidad.



**Figura 38.** Notas de Calidad para los tramos homogéneos analizados en Ciudad Quesada.

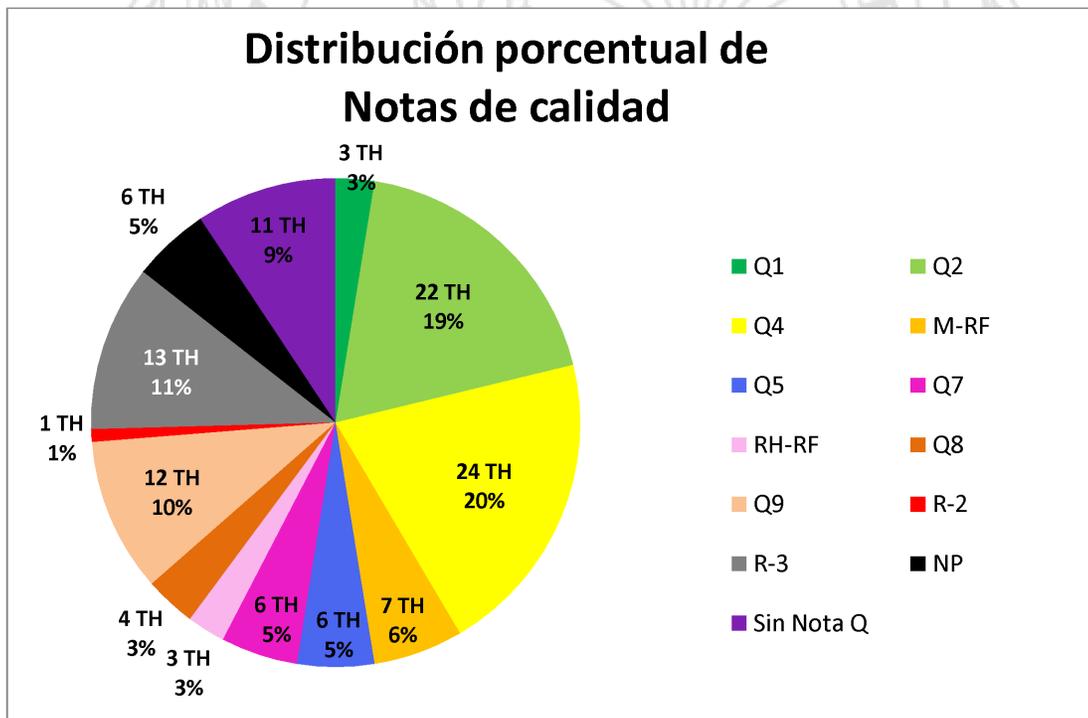


**Figura 39.** Notas de Calidad para los tramos homogéneos analizados en Pital, Santa Rosa, La Fortuna y Aguas Zarcas.

En la figura 40, puede observarse la distribución porcentual de las diferentes notas de calidad de los tramos homogéneos, en las cuales las notas de calidad Q2 y Q4 son aquellas con porcentajes mayores (19% y 20%, respectivamente).

Por otra parte, se muestra también que un 21% de los tramos homogéneos requiere alguna clase de rehabilitación, mas únicamente un 1% se requiere implementar de manera inmediata. Así como 6 TH, equivalentes a un 5% del total, necesitan una reconstrucción de la estructura del pavimento.

Es importante mencionar que 11 tramos homogéneos no pudieron ser clasificados con notas de calidad, ya que algunas de estas rutas carecen de la evaluación del IRI; sin embargo, en otros tramos fue debido a que las mediciones obtenidas con el deflectómetro de impacto no pudieron ser clasificadas según los rangos de la figura 16, en consecuencia de que la superficie de rodamiento estaba constituida por adoquines, o bien de secciones mixtas de concreto con asfalto.



**Figura 40.** Distribución de las notas de calidad asignadas a cada tramo homogéneo.

### 3.3 Tipos de intervención

La nota de calidad asignada a cada tramo es producto de la caracterización de la capacidad estructural y funcional de la red en estudio. El análisis realizado a los tramos homogéneos permite recomendar para cada uno de ellos, el tipo de estrategia de intervención que se requiere (a nivel de gestión).

Las intervenciones recomendadas son generales y se enfocan en el análisis a nivel de red, por lo que son una herramienta útil para la gestión y la definición de estrategias de intervención en un determinado periodo de tiempo (plan de inversiones), con el objetivo fundamental de mejorar el estado de la red vial de manera paulatina y sostenida.

Es necesario que las estrategias presentadas a nivel de red sean ajustadas para ser aplicadas a un nivel táctico-operativo, con el objetivo de generar el diseño de las intervenciones a nivel de proyecto y determinar así el presupuesto específico necesario para ejecutar cada uno de los proyectos que se definen como prioritarios por el municipio.

Los tipos de intervención a los que se hace referencia en cada una de las notas de calidad son una adaptación de las utilizadas en el informe LM-PI-UE-05-11 del LanammeUCR para evaluar la condición de la red vial nacional y se mencionan a continuación:

- **Mantenimiento de Preservación:** Son aplicables a estructuras que se encuentran en buen estado (funcional y estructural), son intervenciones de bajo costo relativo. Existen diferentes tipos de intervenciones de este tipo, entre ellos: *sand seal*, *slurry seals*, *fog seal*, *chip seals*, sellados de grietas y microcarpetas, entre otros. El objetivo fundamental de este tipo de intervenciones es prolongar la vida útil del pavimento y corregir deterioros funcionales de leve intensidad.
- **Mantenimiento de recuperación funcional (IRI):** Su objetivo es mejorar la condición funcional del tramo, por lo que no necesariamente aportan estructuralmente. En estos casos se puede considerar labores de sustitución de la superficie de ruedo, recuperando los espesores existentes con material nuevo, o el uso de geotextiles para retardar el reflejo de grietas y una labor de perfilado o recuperación de la calzada. Este tipo de intervenciones deberían ser ejecutadas con prioridad alta, para

evitar que la gran irregularidad superficial provoque un daño en la capacidad estructural.

- Análisis a nivel de proyecto: Se requiere de una evaluación detallada del tramo con el fin de definir mejor el tipo de intervención adecuada.
- Rehabilitación Menor: Permite recuperar la capacidad estructural en niveles intermedios así como la capacidad funcional en niveles críticos. En estos tramos se podría aplicar un perfilado y una sobrecarpeta.
- Rehabilitación Mayor: Los tramos que califican para este tipo de intervención requieren una recuperación importante de la capacidad estructural. Por lo que se recomienda un perfilado y la colocación de una nueva sobrecarpeta que responda a un diseño estructural que considere la capacidad estructural remanente de la sección existente para un período de diseño determinado.
- Reconstrucción: Renovación de la estructura del camino, con previa demolición parcial o total de la estructura del pavimento. Este tipo de intervención es la de más alto costo y requiere de un diseño estructural formal.

En la figura 41, se muestra de manera sencilla la categorización de cada nota de calidad según el tipo de intervención que se recomienda a nivel de red. Es necesario hacer la diferencia entre el tipo de intervención identificada con color naranja y rojo, ya que a pesar de que ambos tipos de intervenciones se refieren a una rehabilitación mayor, las notas de calidad representadas con el color rojo requieren que la intervención se realice de forma inmediata, ya que de no ser así estos tenderán a deteriorarse rápidamente siendo requerida una reconstrucción del pavimento, este punto es muy importante de considerar y revisar, dado que las mediciones se realizaron en el año 2011.



**Figura 41.** Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la tabla 9, puede observarse el tipo de intervención (a nivel de red) propuesto para cada tramo homogéneo en la localidad de San Carlos, con base en las mediciones y evaluaciones realizadas en el 2011 por el personal del LanammeUCR y la UTGV de San Carlos.

**Tabla 9.** Tipo de intervención requerida a nivel de red para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de San Carlos.

Tramo	Long (m)	Nota de calidad	Tipo de intervención
1	204	R-3	Reconstrucción
2	859	Q1	Mantenimiento de preservación
3	761	Q5	Análisis a nivel del proyecto
4	450	R-3	Reconstrucción
5	281	Q9	Rehabilitación mayor
6	364	Q4	Recuperación funcional
7	293	Q4	Recuperación funcional
8	94	Sin Nota Q	Sin tipo intervención
9	997	Q4	Mantenimiento de preservación
10	634	Q2	Mantenimiento de preservación
11	321	RH-RF	Rehabilitación menor
12	256	Q4	Recuperación funcional
13	311	Q4	Recuperación funcional
14	719	M-RF	Mantenimiento de preservación
15	414	Sin Nota Q	Sin tipo intervención
16	101	M-RF	Recuperación funcional
17	96	NP	Reconstrucción
18	729	Q4	Recuperación funcional
19	387	Q2	Mantenimiento de preservación
20	215	Q7	Recuperación funcional



<b>Tramo</b>	<b>Long (m)</b>	<b>Nota de calidad</b>	<b>Tipo de intervención</b>
21	448	Q2	Mantenimiento de preservación
22	223	Q5	Mantenimiento de preservación
23	435	Q9	Rehabilitación mayor
24	544	Q8	Rehabilitación mayor
25	253	Q8	Rehabilitación mayor
26	210	Q2	Mantenimiento de preservación
27	130	Q2	Mantenimiento de preservación
28	658	Q4	Recuperación funcional
29	439	Sin Nota Q	Sin tipo intervención
30	422	Q2	Mantenimiento de preservación
32	103	RH-RF	Recuperación funcional
33	376	M-RF	Recuperación funcional
34	423	NP	Reconstrucción
35	259	R-3	Rehabilitación menor
36	589	NP	Reconstrucción
38	75	Sin Nota Q	Sin tipo intervención
40	865	Q5	Análisis a nivel del proyecto
41	853	Q5	Análisis a nivel del proyecto
42	621	Q4	Recuperación funcional
43	153	Q9	Rehabilitación mayor
44	375	Q2	Mantenimiento de preservación
45	271	Q2	Mantenimiento de preservación
46	486	Q2	Mantenimiento de preservación
47	607	Q4	Recuperación funcional
48	367	Q7	Rehabilitación menor
49	105	Sin Nota Q	Sin tipo intervención
50	145	Sin Nota Q	Sin tipo intervención
51	358	Q7	Recuperación funcional
52	465	Q2	Mantenimiento de preservación
53	401	Q2	Mantenimiento de preservación
54	426	Q9	Rehabilitación mayor
55	278	Sin Nota Q	Sin tipo intervención
56	226	Sin Nota Q	Sin tipo intervención
57	174	R-3	Reconstrucción
58	176	R-3	Rehabilitación mayor
59	230	Q4	Recuperación funcional
60	1013	Sin Nota Q	Sin tipo intervención
61	638	Q9	Rehabilitación menor
62	222	R-3	Reconstrucción
63	122	Q2	Mantenimiento de preservación
64	514	Q2	Mantenimiento de preservación
65	326	R-3	Reconstrucción
66	289	Q9	Rehabilitación mayor



<b>Tramo</b>	<b>Long (m)</b>	<b>Nota de calidad</b>	<b>Tipo de intervención</b>
67	317	Q9	Rehabilitación menor
68	125	NP	Reconstrucción
69	251	M-RF	Recuperación funcional
70	90	NP	Reconstrucción
71	392	R-3	Rehabilitación menor
72	327	R-3	Rehabilitación menor
73	200	Q4	Recuperación funcional
74	445	Q9	Rehabilitación mayor
75	292	Q8	Rehabilitación mayor
76	434	Q4	Recuperación funcional
77	300	Q2	Mantenimiento de preservación
78	439	Q9	Rehabilitación mayor
79	444	R-3	Reconstrucción
80	161	R-3	Reconstrucción
81	459	Q7	Recuperación funcional
82	306	Q2	Mantenimiento de preservación
83	433	Q2	Mantenimiento de preservación
84	523	Q2	Mantenimiento de preservación
85	598	Q2	Mantenimiento de preservación
86	444	Q4	Recuperación funcional
87	825	Q4	Recuperación funcional
88	254	Q4	Recuperación funcional
90	199	M-RF	Recuperación funcional
91	154	Q4	Recuperación funcional
92	97	Q5	Mantenimiento de preservación
93	684	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
94	306	Q4	Recuperación funcional
95	466	Q2	Mantenimiento de preservación
96	542	Q2	Mantenimiento de preservación
97	764	Q4	Recuperación funcional
98	616	Q5	Análisis a nivel del proyecto
99	688	Q4	Recuperación funcional
100	410	Q4	Recuperación funcional
101	425	Q2	Mantenimiento de preservación
102	301	Q1	Mantenimiento de preservación
103	501	Q2	Mantenimiento de preservación
104	405	Q1	Mantenimiento de preservación
105	503	Q4	Recuperación funcional
106	371	Q8	Rehabilitación mayor
107	791	Q9	Rehabilitación menor
108	216	Q9	Rehabilitación mayor
109	519	Q9	Rehabilitación mayor
110	207	Q4	Recuperación funcional



Tramo	Long (m)	Nota de calidad	Tipo de intervención
111	294	Q7	Rehabilitación mayor
112	132	Q4	Recuperación funcional
113	204	R-3	Reconstrucción
114	100	M-RF	Recuperación funcional
115	166	Q7	Rehabilitación menor
116	96	NP	Reconstrucción
117	208	Sin Nota Q	Sin tipo intervención
118	95	Q4	Recuperación funcional
119	91	RH-RF	Rehabilitación menor
120	98	M-RF	Recuperación funcional
121	150	R-3	Reconstrucción
122	92	Sin Nota Q	Sin tipo intervención

Fuente: LanammeUCR, 2014.

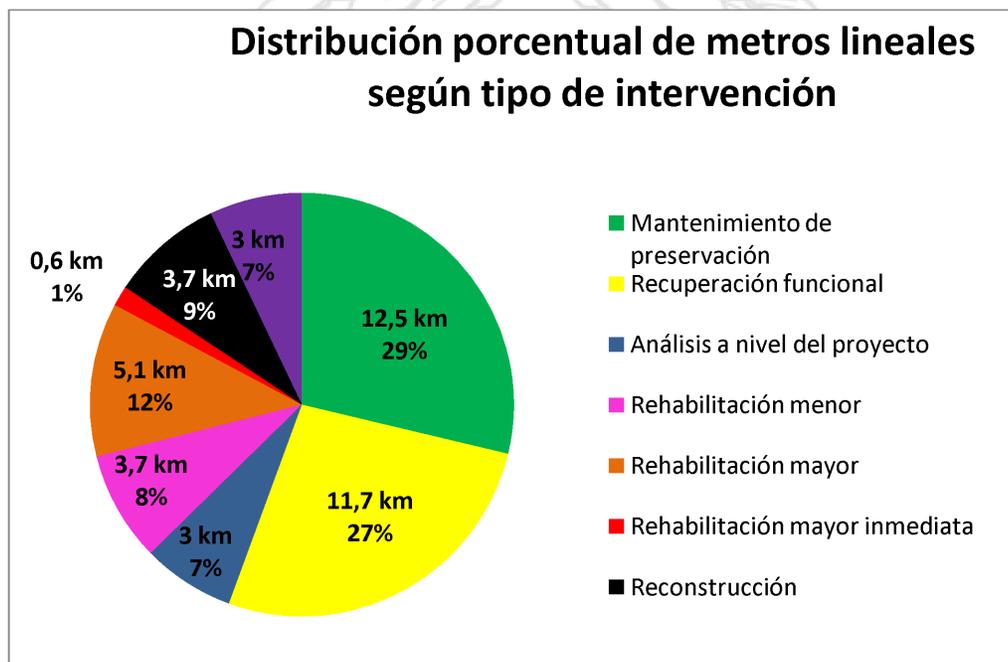
Es importante hacer énfasis en que estos resultados son válidos al momento de la evaluación (año 2011), por lo tanto para planificar las diferentes intervenciones es importante hacer una revisión de los datos con un mayor nivel de detalle y contrastar esos resultados con lo observado en sitio al momento de los trabajos.

En la figura 42 y figura 43, puede observarse la distribución porcentual de los tipos de intervención requeridos según la cantidad de kilómetros analizados (43,8 km); es de apreciar que un 29% (12,5 km) de la longitud evaluada necesita de un mantenimiento de preservación si se desea mantener en óptimas condiciones la capacidad estructural y funcional; un 7% necesita una valoración a nivel de proyecto para determinar cuál sería el mejor tipo de intervención que podría aplicársele. De igual manera, se determinó que un total de 33 tramos homogéneos, requieren una recuperación de su capacidad funcional que permita mejorar la regularidad superficial del pavimento, ya que este se encuentra con una buena condición estructural pero existen daños en la superficie de ruedo.

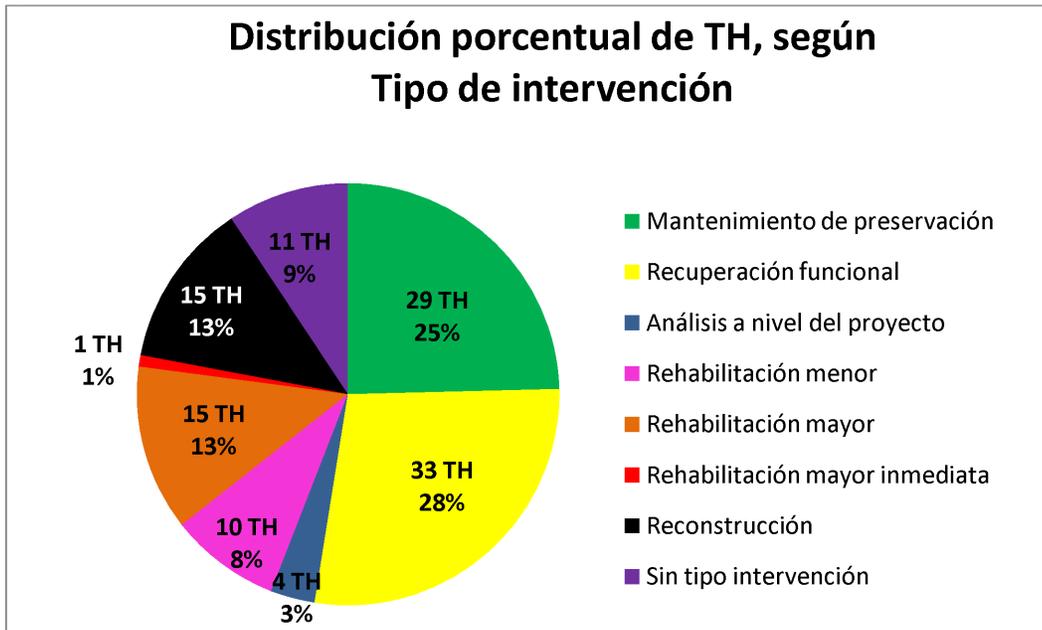
En 3,7 km se deben realizar rehabilitaciones menores; mientras que en 16 tramos homogéneos, equivalentes a 5,7 km, se requiere realizar intervenciones de rehabilitación mayor, de los cuales para 600 metros se requiere aplicarlos de manera inmediata o de lo contrario en poco tiempo podría cambiar de condición y necesitar de trabajos de reconstrucción.

Además, a un 9% de la longitud evaluada en San Carlos debe aplicársele una reconstrucción parcial o total del pavimento ya que este ha llegado al final de su vida útil y presenta daños severos.

Finalmente, se menciona que la sección de los gráficos en color morado representa aquellos tramos en los que no fue posible clasificarlos con notas de calidad, es decir, que no disponen de evaluaciones de índice de regularidad internacional, o bien su superficie de rodamiento no cumple con las características típicas de un estructura de pavimento, por lo que de igual forma no es posible incluirlos en la metodología que se aplica en este informe.

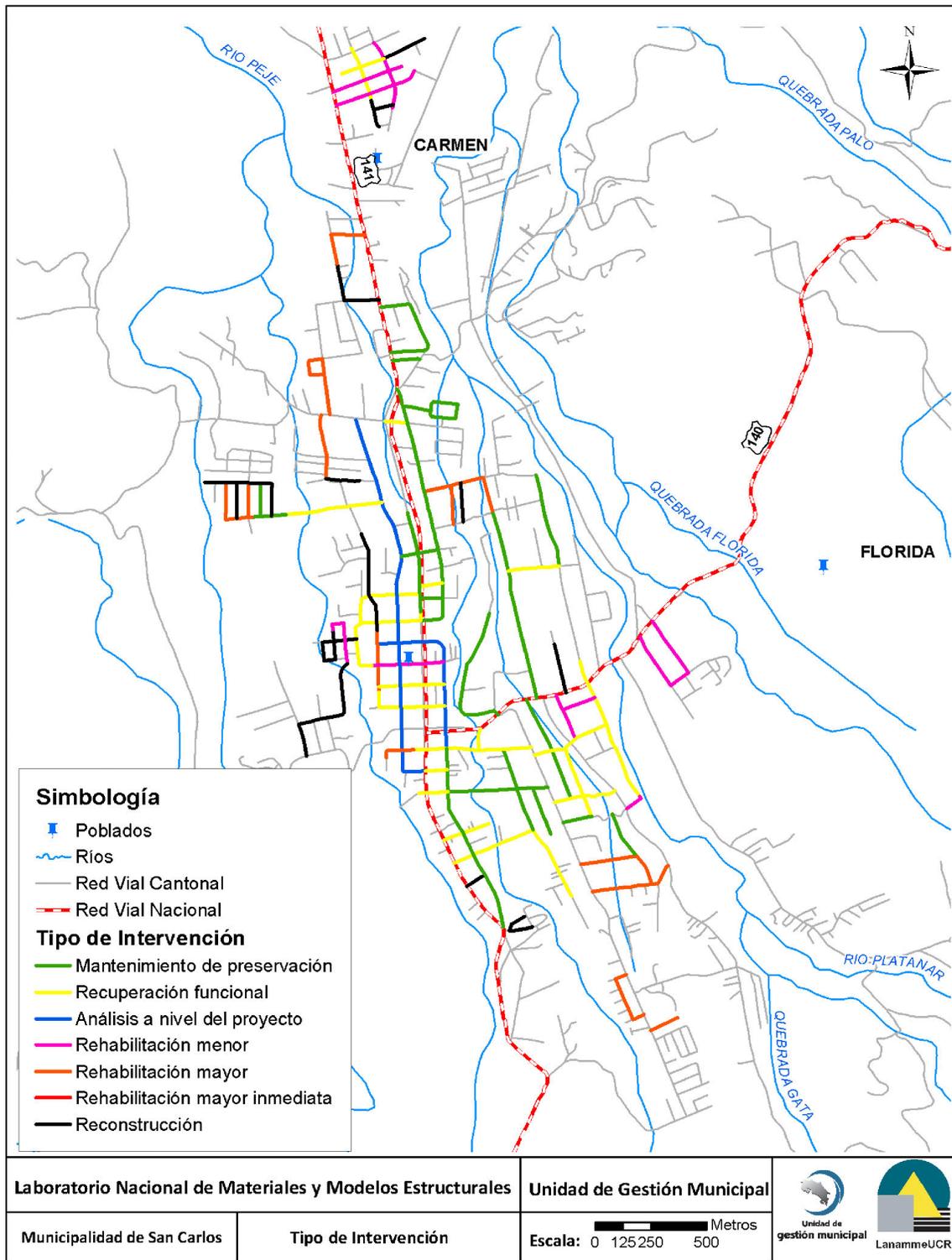


**Figura 42.** Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de San Carlos, según longitud.

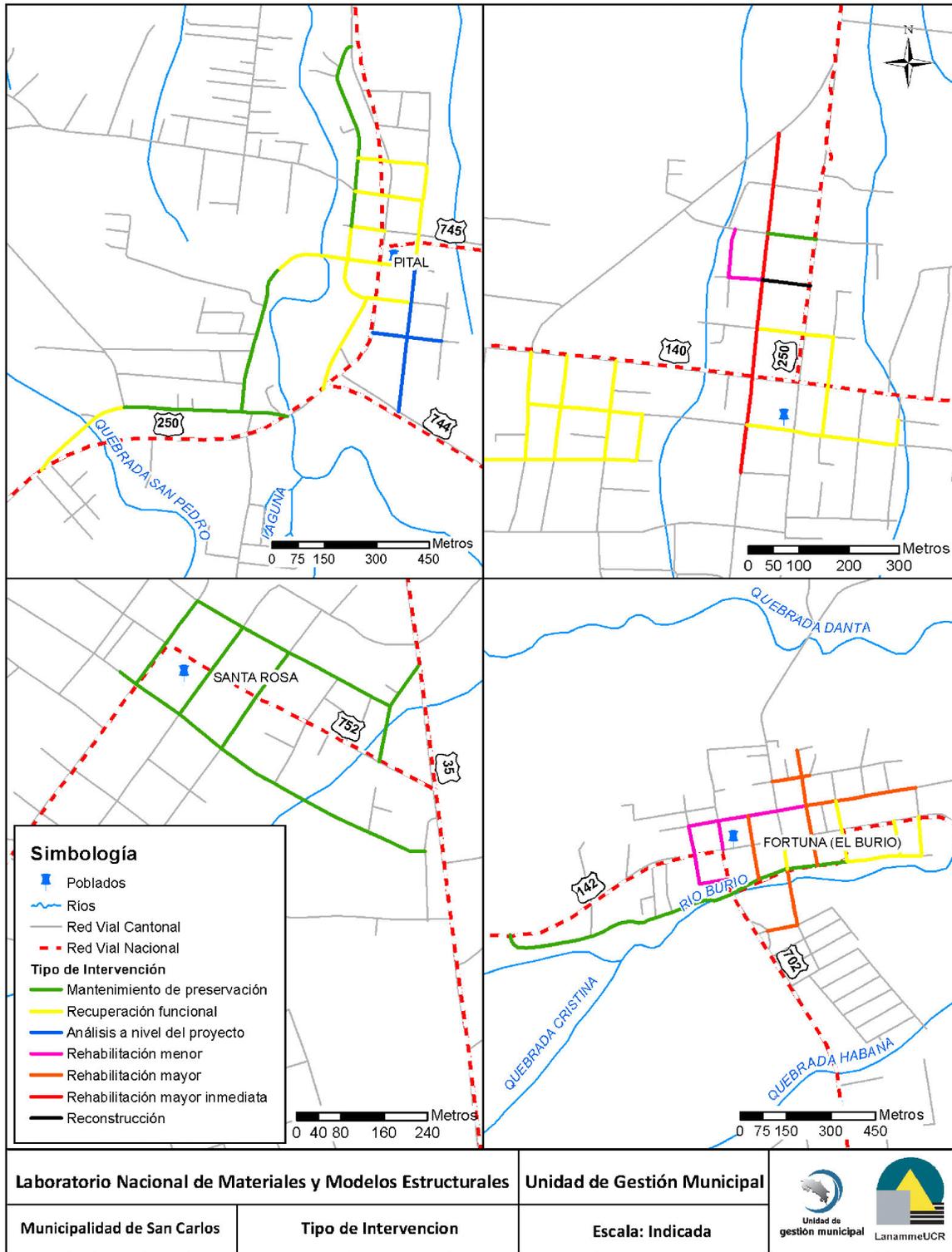


**Figura 43.** Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de San Carlos, según cantidad de tramos.

En la figura 44 y figura 45, se observa de manera gráfica el tipo de intervención propuesta para cada uno de los tramos homogéneos, según el estado estructural y las mediciones del IRI durante el año 2011.



**Figura 44.** Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo.



**Figura 45.** Tipo de intervención recomendada para cada tramo.



### 3.4 Diseño y Costos de los Tratamientos

Como se mencionó anteriormente, se consideraron diferentes tipos de intervenciones según el estado actual en el que se encuentra cada uno de los tramos analizados:

- Mantenimiento de preservación.
- Recuperación funcional (IRI).
- Análisis a nivel de proyecto.
- Rehabilitación menor.
- Rehabilitación mayor.
- Reconstrucción.

Para diseñar las diferentes intervenciones es necesario realizar un retrocálculo de los módulos resilientes de los materiales que conforman la estructura actual del pavimento. El retrocálculo se realiza considerando datos de deflectometría y utilizando los espesores de las diferentes capas, por medio de la información generada a partir de los sondeos. El objetivo de realizarlo es estimar el valor del módulo para cada una de las capas que componen la estructura, y utilizarlo como dato al diseñar las diferentes intervenciones que requieran los tramos, ya que se requiere realizar el diseño para diferentes “estructuras tipo” de la red vial cantonal de San Carlos.

Los costos generales de cada tipo de tratamiento se obtienen realizando una investigación del costo que representa para la municipalidad aplicar cada una de las intervenciones. Los costos totales de cada intervención se estiman al determinar los costos de intervenciones realizadas con anterioridad, ya sea por administración o por contrato. Si la municipalidad no cuenta con registros de costos suficientes para determinar la inversión necesaria para cada tipo de intervención, entonces podrá considerar costos de intervenciones realizadas sobre vías nacionales, por medio de investigación de licitaciones realizadas por el estado: CONAVI y MOPT. La investigación interna de costos y ajuste de los mismos al año actual debe realizarse como parte de las labores con las que el municipio debe apoyar para el avance del desarrollo del plan quinquenal.

Es importante recalcar que los costos son generados para estructuras características de las rutas municipales de San Carlos para un análisis a nivel estratégico; por lo tanto, para



presupuestar o definir con exactitud el costo específico para un proyecto, se debe realizar un análisis y diseño formal del tipo de intervención para cada proyecto, es decir, realizar un análisis a nivel de proyecto.

### **3.5 Escenarios de inversión**

Una vez que se cuente con la información actualizada de los costos según el tipo de intervención, es necesario que la municipalidad defina el presupuesto que se va a invertir en carreteras durante los próximos 5 años, así como las políticas que se pretenden aplicar para priorizar las rutas o tramos homogéneos que se pretenden intervenir, los cuales se incorporarán al plan quinquenal del gobierno local.

Es posible realizar diferentes escenarios de intervención, en los cuales se pueden considerar tanto diferentes presupuestos como estrategias de intervención, tales como intervenir las vías de mayor tránsito, con un mayor deterioro o intervenir las carreteras antes de que cambien de tipo de intervención (intervenir un tramo que se encuentra en el límite de rehabilitación, para evitar que pase a reconstrucción), lo que maximiza los recursos disponibles. Esto se realiza con el objetivo de que la administración determine el presupuesto y la estrategia que más se adapta a los recursos disponibles y las metas institucionales que posee la municipalidad.

## **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Conclusiones**

Durante los meses de enero y abril del año 2011, se realizaron pruebas de IRI y deflectometría en 43,8 km de la red vial cantonal de San Carlos, y se obtuvo que un 57% de las mediciones puntuales de deflectometría poseían una buena condición estructural, mientras que por otra parte un 35% de éstas presentaron deflexiones elevadas (mayores a  $88,5 \text{ mm} \times 10^{-2}$  para bases granulares y  $39,7 \text{ mm} \times 10^{-2}$  para bases estabilizadas), indicando deficiencias para soportar las cargas transmitidas por el tránsito promedio diario.

De igual modo, con las mediciones del IRI, se obtuvo que el 20% de las mediciones brindan un nivel de confort aceptable para los usuarios de la red, sin embargo la categoría de



"Regular" fue la que mayor cantidad de mediciones obtuvo (un 36%). Y en condiciones de mal nivel de servicio se obtuvo un 44% de las mediciones realizadas en la evaluación.

Con el objetivo de definir unidades discretas que faciliten la gestión municipal en cuanto al mejoramiento y mantenimiento de la red, se generaron 118 tramos homogéneos en las cinco localidades analizadas en San Carlos: Ciudad Quesada, Santa Rosa, Aguas Zarcas, Pital y la Fortuna, pero los mismos pueden agruparse por tipo de intervención para simplificar un análisis futuro.

Por lo tanto, de acuerdo con las pruebas y mediciones realizadas en estos tramos homogéneos de la red vial cantonal, se concluye que el 55% de la longitud evaluada (correspondiente a 23,8 km) presenta una buena condición estructural; mientras que aproximadamente, un 28% sí presenta deficiencias, pues presenta deflexiones elevadas (mayores a  $88,5 \text{ mm} \times 10^{-2}$  para bases granulares y de  $53,3 \text{ mm} \times 10^{-2}$  para bases estabilizadas), lo cual implica que la estructura del pavimento no posee la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas a la que se encuentra expuesta. Además, hubo 1,5 km de la red en convenio que no se pudo evaluar como consecuencia de que su superficie de rodamiento se encuentra elaborada en adoquines o por ser secciones mixtas de asfalto y concreto, por lo que la metodología no es aplicable.

Con respecto al estado funcional de la red únicamente 3 tramos homogéneos con 1,5 km en total se encuentran en buenas condiciones; 15 km (34% del total evaluado) presentan una condición "Regular" con valores de IRI entre 3,6 y 6,4 m/km, lo que implica una irregularidad superficial moderadamente alta, y provoca costos de operación (desgaste de llantas, combustible, etc.) elevados para los usuarios y mayores tiempos de viaje; además, la irregularidad en una superficie provoca un desgaste acelerado en la estructura de pavimento al generarse un impacto dinámico de las llantas de los vehículos sobre la superficie asfáltica.

Entre los resultados más relevantes de este análisis de la red vial cantonal de San Carlos, se obtiene que el 25% de los tramos homogéneos, 12,5 km, requieren de un mantenimiento preventivo o correctivo para mantener buenas condiciones en su capacidad estructural y funcional; y solo 3,7 km requieren de una reconstrucción completa que implica intervenir parte o todas las capas granulares de la estructura.



La condición estructural se encuentra en mejor estado que la funcional, por lo que 27% de la red analizada requiere tipos de intervención que se enfoquen en recuperar su regularidad superficial.

Además, para 11 tramos homogéneos (3 km en total) no fue posible determinar la Nota de calidad, y por ende tampoco se pudo proponer un tipo de intervención, pues en algunos de ellos no se realizaron mediciones del índice de regularidad internacional, y en otros la superficie del rodamiento no estaba compuesta por una estructura típica de pavimento (base, subbase, subrasante), si no que estaba constituida por adoquines o secciones mixtas de concreto y asfalto, por lo que la metodología general empleada en este análisis no fue posible de aplicar.

Es importante recalcar que los diferentes tipos de intervenciones sugeridos en este informe son generales y se enfocan en un nivel de análisis estratégico, por lo que pueden ser utilizadas como una herramienta de gestión por el municipio; sin embargo, es necesario realizar un diseño específico que considere los diferentes parámetros requeridos para un diseño a nivel de proyecto antes de la planeación y la ejecución de la obra.

**Las recomendaciones de intervención se establecen basadas en la condición del pavimento en el momento de ejecutar los ensayos de laboratorio y campo (año 2011), por lo que deben ser analizadas y determinar si es necesario realizar algún ajuste en los resultados.**

Además, estas recomendaciones se proponen como soluciones óptimas generales a la condición de cada tramo homogéneo al realizar la evaluación, es decir, si un tramo homogéneo requiere reconstrucción y se aplica un bacheo o una rehabilitación se solucionará el problema temporalmente, sin embargo, a corto o mediano plazo presentará deficiencias, por lo que no se estarían optimizando los recursos disponibles.

## 4.2 Recomendaciones

Se recomienda al municipio generar un plan de inversiones a mediano plazo, un plan quinquenal, en donde se definan los tramos homogéneos que se intervendrán cada año, el cual se base en el presupuesto disponible, los tipos de intervención necesarios y los costos

Informe LM-PI-GM-12-14	Fecha de emisión: Junio, 2014	Página 85 de 87
------------------------	-------------------------------	-----------------



de ejecución del municipio. Así mismo, se recomienda intervenir tramos que se encuentren dentro de la categoría de rehabilitación mayor, para evitar tener que hacer mayores intervenciones a un corto plazo, ya que tramos con esta condición se deterioran con rapidez, pasando a notas de calidad R2-R3, donde lo que se requeriría es una reconstrucción y por lo tanto inversiones mayores, de igual forma deberían tener prioridad los tramos en la condición de preservación, para prolongar la vida útil de los mismos y maximizar la inversión realizada.

Es necesario que en el municipio se realice un diagnóstico interno de la organización, funciones desempeñadas y las responsabilidades de los diferentes miembros de la Unidad Técnica de Gestión Municipal, con el objetivo de identificar los aspectos que se requieren fortalecer, para realizar una gestión más eficiente y eficaz del mantenimiento y mejora de la red vial cantonal que administra.

Antes de definir un plan quinquenal es adecuado que institucionalmente se definan las metas a alcanzar y las políticas que se ejecutarán, las cuales deberían estar basadas en el diagnóstico de la condición actual, de manera que se encuentren acordes a la realidad de la red en cuestión y los recursos disponibles.

-----UL-----



## 5 REFERENCIAS

- Autret P, Brousse J. (1996). VIZIR Método con ayuda de computador para la estimación de necesidades en el mantenimiento de una red carretera; Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
- Badilla V., G. "Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)" Infraestructura Vial, N°21 (Febrero 2009).
- Hass, R.; Hudson, W.R.; Zaniewski, J. (1993). Modern Pavement Management. R.E. Krieger Publishing Company, Florida.
- Informe LM-PI-PM-04-09, Informe de Avance: Desarrollo de un sistema para la conservación vial en la municipalidad de La Unión. Proyecto Municipal, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José, Costa Rica. Agosto, 2009.
- López Ramírez, Sharline. Sistema piloto de administración de pavimentos en la Municipalidad de La Unión, Heredia. Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica – San José, Costa Rica. Febrero, 2009.
- Orozco Santoyo R. V. Evaluación de Pavimentos con Métodos no Destructivos. Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 2005.
- Proyecto N° UI-PC-03-08, Variaciones a los Rangos para la Clasificación Estructural de la Red Vial Nacional de Costa Rica. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial (UIIVI), Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José Costa Rica. Agosto, 2008.
- Proyecto N° UI-PC-04-08, Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices de red vial nacional, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José Costa Rica. Noviembre, 2008.
- Solminihac H. (1998). Gestión de Infraestructura Vial; Editorial Universidad Católica de Chile, Chile.