



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-INF-03-2015

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

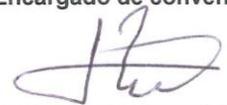
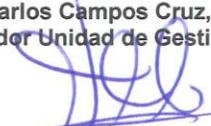
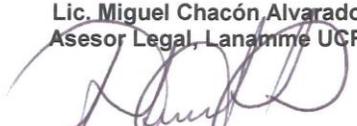
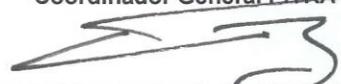
Preparado por:  
**Unidad de Gestión Municipal**

San José, Costa Rica  
Marzo, 2015



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-INF-03-2015		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE MORA: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE TRAMOS HOMOGÉNEOS		<b>4. Fecha del Informe:</b> Marzo, 2015
<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>Durante los primeros meses del año 2013 se realizaron pruebas al pavimento en aproximadamente 18,5 km de la red vial cantonal de Mora con el propósito de conocer su capacidad estructural y funcional. También desde ese año a la actualidad se han realizado conteos vehiculares en puntos estratégicos de la zona en estudio, además, durante el año 2014 se realizaron sondeos a cielo abierto para determinar las condiciones del suelo.</i> <i>A partir de la información recolectada en campo fue posible elaborar una propuesta de intervención aplicable a un total de 37 tramos homogéneos o secciones de carretera con condiciones de capacidad estructural similares entre sí.</i> <i>De acuerdo con los ensayos de deflectometría 9 km de la longitud total analizada presenta una "Buena" condición estructural, lo que permite una adecuada distribución de las cargas del tránsito al pavimento, mientras que un 44% de la longitud (correspondiente a 8,1 km) se considera deficiente en su desempeño, y el 7% restante presenta condiciones regulares.</i> <i>En relación a la condición funcional de la red, no se encontró tramos en la categoría de "Bueno", es decir, la evaluación mínima superó los 3,6 m/km; según estas evaluaciones el 63% de la red en estudio se encuentra en condición "Mala" (correspondiente a 11,6 km), 2,1 km se encuentran en condición "Muy mala" y únicamente un 4,7 km en estado "Regular".</i> <i>Uno de los productos más importantes que se incluye en este análisis es la propuesta del tipo de intervención general (mantenimiento, refuerzo estructural o reconstrucción) basada en el estado del pavimento al momento de la evaluación de cada uno de los tramos homogéneos. 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, Mora, Tramos	<b>9. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>10. Núm. de páginas</b> 69
<b>11. Preparado por:</b>  Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Gestión Municipal   Fecha: 12 / 03 / 2015	<b>12. Revisado por:</b>  Ing. Catalina Vargas Sobrado Unidad de Gestión Municipal   Fecha: 12 / 03 / 15	<b>12. Revisado por:</b>  Ing. Alonso Ulate Castillo Unidad de Gestión Municipal Encargado de convenio   Fecha: 13 / 03 / 15
<b>13. Revisado por:</b>  Carlos Campos Cruz, Mba Coordinador Unidad de Gestión Municipal   Fecha: 12 / 3 / 15	<b>14. Revisado por:</b>  Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal, Lanamme UCR   Fecha: 12 / 03 / 15	<b>15. Aprobado por:</b>  Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA   Fecha: 12 / 03 / 15

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>6</b>
1.1	ASESORÍA TÉCNICA .....	6
1.2	CAPACITACIÓN.....	7
1.3	MUESTREOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO.....	7
<b>2</b>	<b>PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL</b> .....	<b>7</b>
2.1	IMPORTANCIA .....	7
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP) .....	8
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL .....	10
2.4	ESQUEMA METODOLÓGICO.....	11
<b>3</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE MORA</b> .....	<b>12</b>
3.1	OBJETIVO .....	12
3.2	ACTIVIDADES .....	12
3.2.1	<i>TRÁNSITO VEHICULAR DIARIO</i> .....	13
3.2.2	<i>EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FUNCIONAL</i> .....	18
3.2.3	<i>EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL</i> .....	22
3.2.4	<i>CARACTERIZAR LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO</i> .....	26
3.2.5	<i>DEFINIR TRAMOS HOMOGÉNEOS</i> .....	37
3.2.6	<i>NOTAS CALIDAD</i> .....	49
3.3	TIPOS DE INTERVENCIÓN .....	57
3.4	DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	64
3.5	ESCENARIOS DE INVERSIÓN .....	65
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>66</b>
4.1	CONCLUSIONES .....	66
4.2	RECOMENDACIONES .....	68
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>69</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>TABLA 1.</b> CATEGORIZACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL .....	19
<b>TABLA 2.</b> CATEGORIZACIÓN DE LA DEFLECTOMETRÍA EN RUTAS CON PRESENCIA DE BASES ESTABILIZADAS. ....	23
<b>TABLA 3.</b> ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO SEGÚN LOS SONDEOS REALIZADOS.....	27
<b>TABLA 4.</b> GRUPOS DE SUELOS Y CARACTERÍSTICAS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN SUCS. ....	28
<b>TABLA 5.</b> CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO DE LA SUB-RASANTE EN LOS SONDEOS REALIZADOS.....	34
<b>TABLA 6.</b> CLASIFICACIÓN DEL CBR.....	35
<b>TABLA 7.</b> ÍNDICE DE RESISTENCIA CBR. ....	37
<b>TABLA 8.</b> LONGITUD DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN MORA. ....	41
<b>TABLA 9.</b> MATRIZ PARA DETERMINAR LAS NOTAS DE CALIDAD EN UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	50
<b>TABLA 10.</b> NOTA DE CALIDAD ASIGNADA A CADA TRAMO ANALIZADO EN LA LOCALIDAD DE MORA. ....	54
<b>TABLA 11.</b> TIPO DE INTERVENCIÓN REQUERIDO A NIVEL DE RED PARA CADA TRAMO EVALUADO DE LA RED VIAL CANTONAL DE MORA. ....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS.....	9
<b>FIGURA 2.</b> ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL. ....	10
<b>FIGURA 3.</b> ESQUEMA METODOLÓGICO. ....	11
<b>FIGURA 4.</b> RED VIAL CANTONAL DE MORA ANALIZADA EN ESTE INFORME. ....	13
<b>FIGURA 5.</b> CABLES Y CONTADORES AUTOMÁTICOS EN SITIO.....	14
<b>FIGURA 6.</b> CONFIGURACIÓN DE LOS CONTADORES.....	14
<b>FIGURA 7.</b> VOLUMEN VEHICULAR DIARIO EN LA LOCALIDAD DE MORA. ....	16
<b>FIGURA 8.</b> PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN LA LOCALIDAD DE MORA.....	17
<b>FIGURA 9.</b> REPRESENTACIÓN FÍSICA DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL.....	18
<b>FIGURA 10.</b> PERFILÓMETRO INERCIAL LÁSER.....	19
<b>FIGURA 11.</b> CONDICIÓN DEL IRI EN EL CANTÓN DE MORA, ZONA 1.....	20
<b>FIGURA 12.</b> CONDICIÓN DEL IRI EN EL CANTÓN DE MORA, ZONA 2.....	21
<b>FIGURA 13.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DEL IRI.....	21
<b>FIGURA 14.</b> DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO.....	22
<b>FIGURA 15.</b> CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.....	23
<b>FIGURA 16.</b> TRAMOS CON PRESENCIA DE BASE ESTABILIZADA EN SU ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	24
<b>FIGURA 17.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DE FWD.....	24
<b>FIGURA 18.</b> CONDICIÓN DEL FWD PARA LA LOCALIDAD DE MORA, ZONA 1.....	25



<b>FIGURA 19.</b> CONDICIÓN DEL FWD PARA LA LOCALIDAD DE MORA, ZONA 2.....	26
<b>FIGURA 20.</b> EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	27
<b>FIGURA 21.</b> CARACTERIZACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS EN MORA.....	29
<b>FIGURA 22.</b> CARACTERIZACIÓN SEGÚN AASHTO EN LA LOCALIDAD DE MORA.....	33
<b>FIGURA 23.</b> PRUEBA DE CBR EN SITIO.....	35
<b>FIGURA 24.</b> CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES.....	36
<b>FIGURA 25.</b> BACHES PRESENTES EN EL TRAMO <b>HOMOGÉNEO 34.</b> ....	38
<b>FIGURA 26.</b> CONTRASTE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL A AMBOS LADOS DE LA INTERSECCIÓN. ....	38
<b>FIGURA 27.</b> TRAMO HOMOGÉNEO NÚMERO 30, PRIMERA SECCIÓN.....	39
<b>FIGURA 28.</b> TRAMO HOMOGÉNEO NÚMERO 30, SEGUNDA SECCIÓN.....	39
<b>FIGURA 29.</b> TRANSICIÓN ENTRE EL TRAMO 30 Y TRAMO 36.....	39
<b>FIGURA 30.</b> TRAMO HOMOGÉNEO NÚMERO 36.....	39
<b>FIGURA 31.</b> TRAMO HOMOGÉNEO NÚMERO 37.....	40
<b>FIGURA 32.</b> UBICACIÓN DE TRAMOS HOMOGÉNEOS EN EL CANTÓN DE MORA.....	42
<b>FIGURA 33.</b> DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN MORA, ZONA 1.....	44
<b>FIGURA 34.</b> DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN MORA, ZONA 2.....	45
<b>FIGURA 35.</b> PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO.....	45
<b>FIGURA 36.</b> PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO.....	45
<b>FIGURA 37.</b> IRI PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN MORA, ZONA 1.....	47
<b>FIGURA 38.</b> IRI PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN MORA, ZONA 2.....	48
<b>FIGURA 39.</b> PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.....	48
<b>FIGURA 40.</b> PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.....	48
<b>FIGURA 41.</b> NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS A CADA TRAMO HOMOGÉNEO, ZONA 1.....	55
<b>FIGURA 42.</b> NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS A CADA TRAMO HOMOGÉNEO, ZONA 2.....	56
<b>FIGURA 43.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS A LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN MORA.....	56
<b>FIGURA 44.</b> TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA NOTA DE CALIDAD.....	59
<b>FIGURA 45.</b> TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE MORA, SEGÚN LONGITUD. .....	61
<b>FIGURA 46.</b> TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE MORA, SEGÚN CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS.....	61
<b>FIGURA 47.</b> TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO, ZONA 1.....	63
<b>FIGURA 48.</b> TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO, ZONA 2.....	64



## 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)”.

Acorde a lo establecido en este marco legal, la Municipalidad de Mora solicitó el apoyo técnico del LanammeUCR para realizar una evaluación de la RVC, que sirva de insumo principal para su gestión y planificación de su conservación.

Con el propósito de unir esfuerzos para lograr objetivos comunes, la Municipalidad de Mora y la Universidad de Costa Rica convinieron 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 Mora.
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 brindará 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

LanammeUCR realizará 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 Mora.

# 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 que 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 el uso adecuado 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. Por otro lado, la conservación y mejoramiento 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 vial cantonal de la Municipalidad de Mora, proporcionando políticas de inversión para la



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, mantenimiento o rehabilitación. De manera general, los pavimentos y carreteras deben ofrecer comodidad de viaje, 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, ya que las decisiones se basan en estudios técnicos que permiten guiar de una mejor manera las inversiones, y con ello obtener 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.

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

Por otra parte, la utilización de un adecuado sistema de gestión sobre los caminos permitirá obtener el óptimo rendimiento 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 incluya ciertos requerimientos esenciales:

- Capacidad de ser fácilmente utilizado, posibilitando agregar y actualizar datos que permitan modificarlo con nueva información de manera sencilla.
- 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.



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

Fuente: Modificado de Haas, 1993.

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, solicitaciones 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 manutención con el fin de poder hacer una apropiada gestión de pavimentos.

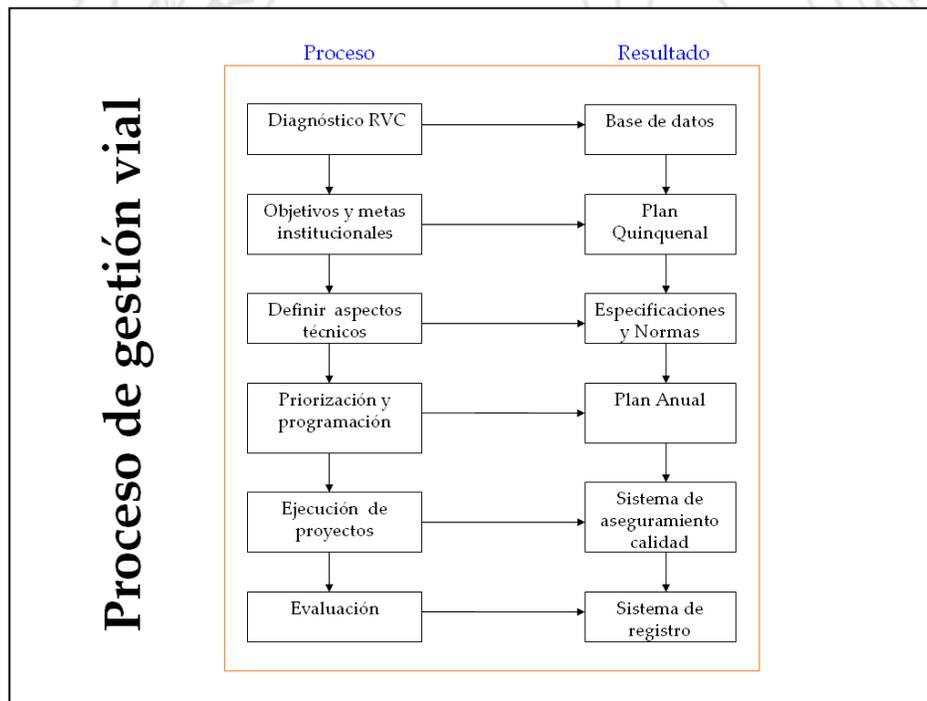
El crecimiento de la población, el aumento de la cantidad de vehículos y el incremento de actividad económica generan mayores cantidades de vehículos y camiones viajando por las carreteras, lo cual impone mayores pesos y cargas sobre las estructuras de pavimentos, por lo que la generación y aplicación del SAP se torna cada vez más importante. Cabe destacar

que el SAP no debe limitarse solamente a la conservación vial, sino que hay que definir proyectos de mejoramiento, refuerzo, rehabilitación y ampliación de carreteras.

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.



**Figura 2.** Esquema de proceso de gestión vial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Cuando se elabora el diagnóstico de la red vial cantonal, el producto principal es la base de datos, ya que permite determinar el estado actual de la red (insumo necesario para

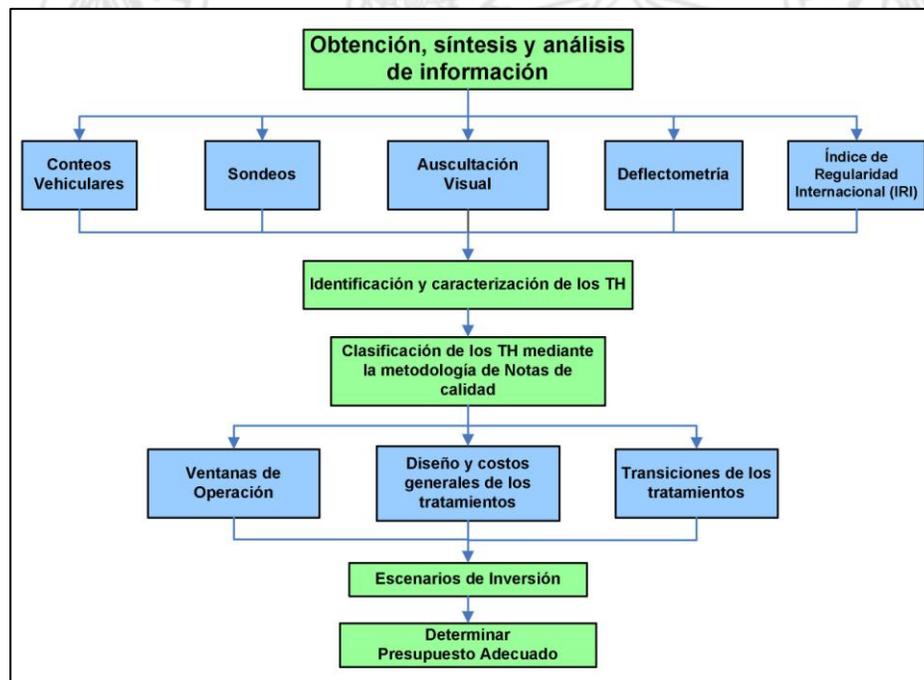
establecer políticas de priorización y planes de conservación y rehabilitación de las vías del cantón).

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

- Nivel estratégico: planes globales a realizarse a largo plazo (20 años). Permiten maximizar los recursos.
- Nivel táctico: planes que priorizan los proyectos por realizarse a mediano plazo (4 o 5 años).
- Nivel operativo: se enfoca en el diseño de los proyectos por ejecutarse 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 MORA

#### 3.1 Objetivo

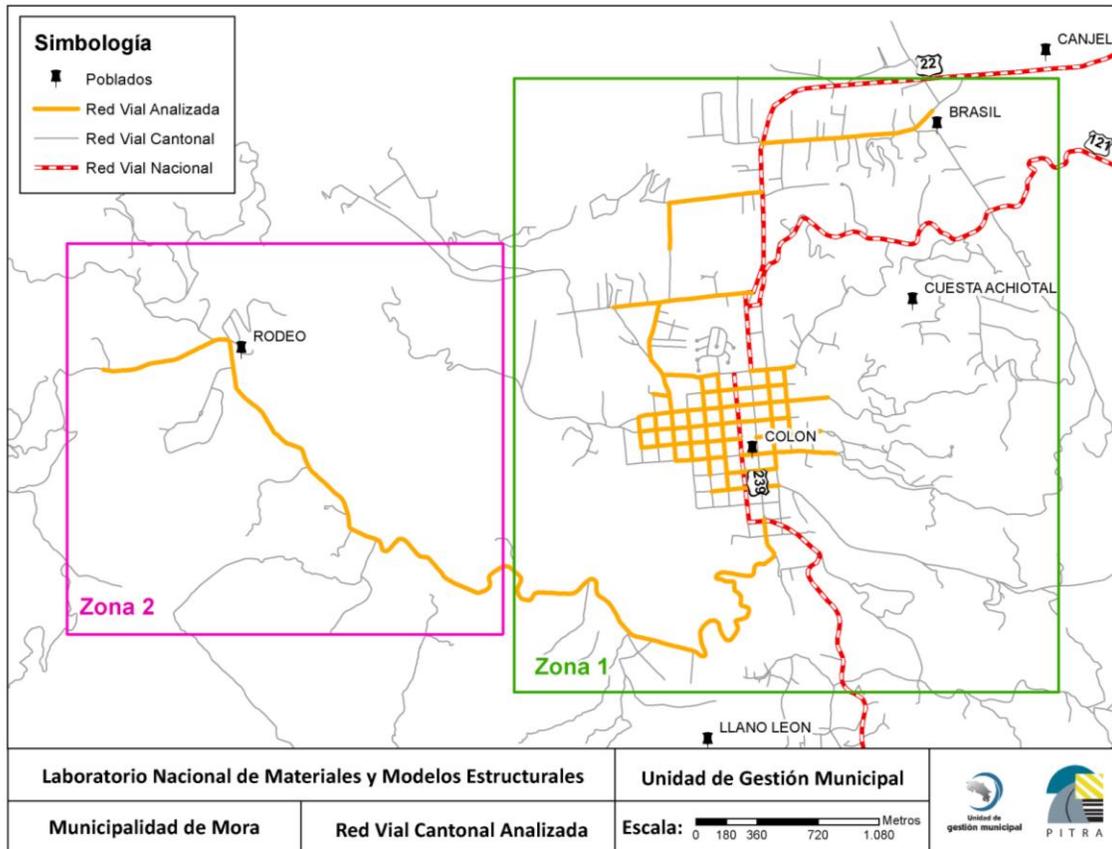
Realizar una evaluación de la red vial cantonal de Mora, con el fin de obtener una base de datos con diferentes características técnicas de la infraestructura vial que sirva de insumo principal para su gestión.

#### 3.2 Actividades

Las actividades para realizar el diagnóstico de la RVC asfaltada se compone de los siguientes procedimientos con productos asociados:

1. Determinar el tránsito promedio diario (TPD) y la clasificación de los vehículos que utilizan la RVC.
2. Evaluar la condición funcional mediante la medición del Índice de Regularidad Internacional -IRI-.
3. Evaluar la condición estructural de los pavimentos mediante la medición de sus deflexiones.
4. Caracterizar las estructuras de pavimentos existentes
5. Definir tramos homogéneos.

En la Figura 4 se muestra en líneas color anaranjado la ubicación de la red vial analizada, ésta fue dividida en dos zonas para efectos de mostrar los datos de una mejor forma en la imágenes que se presentarán a lo largo del informe: en el recuadro de color verde se encuentra la "Zona 1" que corresponde a Colón, el casco central del cantón; y el otro sector llamado "Zona 2" enmarcado en color rosado, presenta las evaluaciones realizadas en el Rodeo y localidades aledañas.



**Figura 4.** Red vial cantonal de Mora analizada en este informe.

### 3.2.1 Tránsito vehicular diario

La inversión en el mejoramiento de una red vial requiere del conocimiento de las principales características del tránsito, tanto la cantidad como el tipo de vehículos que circulan por ella diariamente, pues la demanda vehicular de una ruta está estrechamente relacionada con el diseño de la estructura del pavimento y la selección de tipos de intervención que mejoren o mantengan su condición actual. De ahí surge la importancia de realizar conteos vehiculares periódicamente (de preferencia cada año o máximo cada dos) que permitan conocer las condiciones del tránsito en una localidad.

En este informe se presenta un total de 18 conteos vehiculares realizados por la UTGV de la Municipalidad de Mora en un período comprendido entre el 2012 y 2014. Los mismos fueron realizados con contadores neumáticos facilitados por el LanammeUCR, en sitios representativos de la red vial, principalmente en las zonas de mayor tránsito.

Algunos aspectos que se deben considerar al realizar conteos vehiculares son:

Informe LM-PI-GM-INF-03-2015	Fecha de emisión: Marzo de 2015	Página 13 de 69
------------------------------	---------------------------------	-----------------

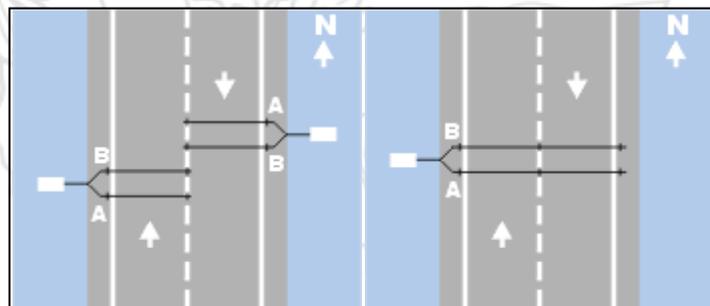
- Realizar los conteos durante periodos de tránsito normal, nunca en vacaciones o feriados.
- Deben realizarse en días laborales (lunes a viernes). Preferiblemente martes, miércoles o jueves para evitar el efecto del fin de semana.
- Realizar conteos de 25 horas, para tomar en cuenta ambos periodos de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

A continuación, se presenta dos figuras de distintas configuraciones en que se pueden colocar los contadores vehiculares en las vías (ver Figura 5 y Figura 6). La configuración de la izquierda en la Figura 6 muestra la disposición ideal, el de la derecha muestra una configuración más simple pero que resulta con pérdida de precisión.



**Figura 5.** Cables y contadores automáticos en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.



**Figura 6.** Configuración de los contadores.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

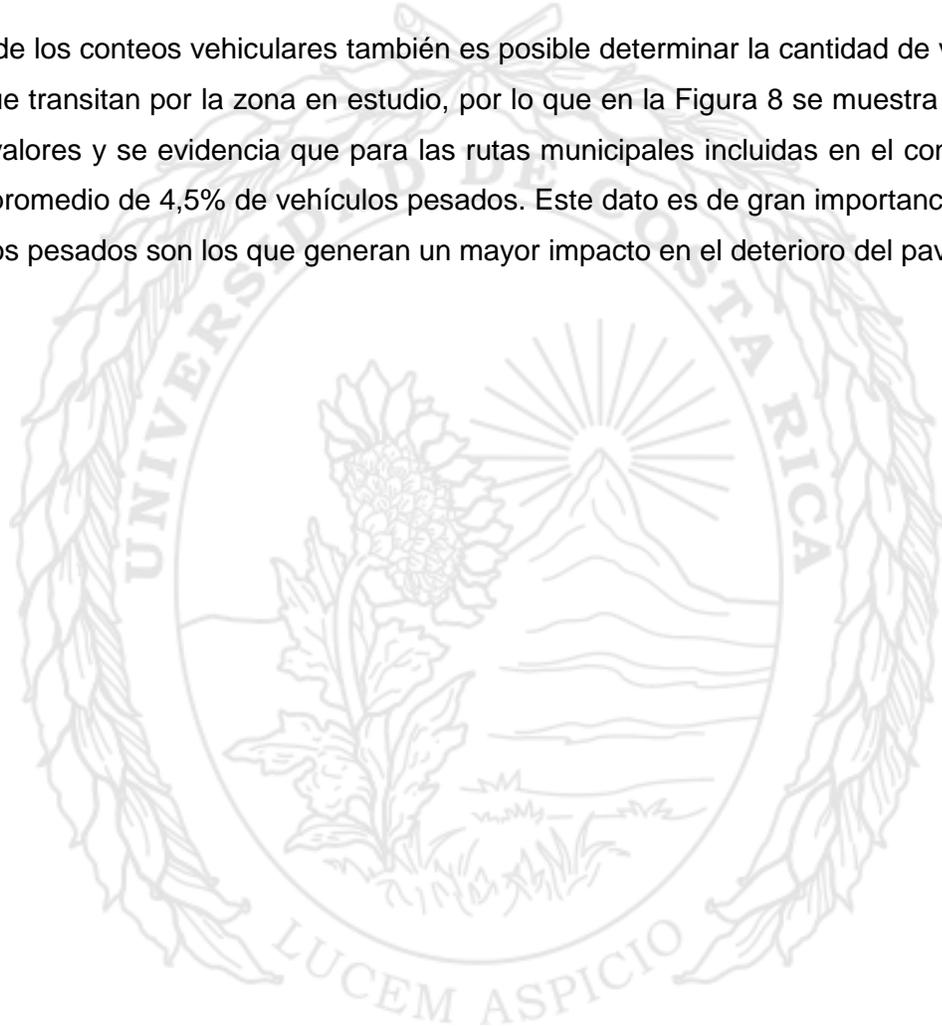
En la Figura 7 se presenta la ubicación de los conteos realizados y su respectivo valor de tránsito promedio diario (TPD), y tránsito promedio diario anual (TPDA). Como puede observarse, únicamente el conteo número 20 y número 7, presentan valores de TPD

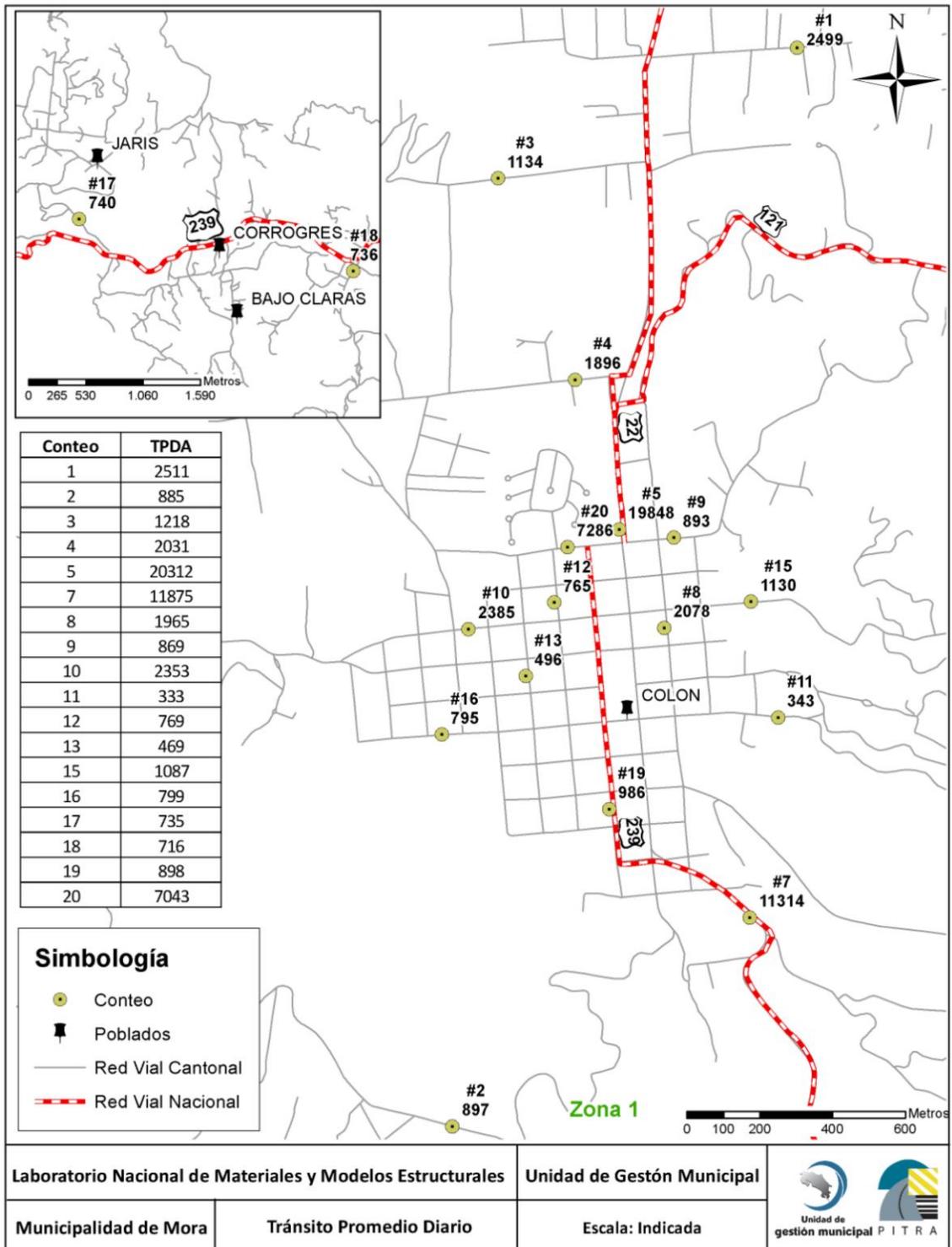


superiores a los 7 000 vehículos, lo cual es un aspecto importante de considerar al determinar el estado estructural del pavimento.

En el recuadro superior izquierdo de la Figura 7 se presentan dos conteos realizados en la localidad de Corrogres (Conteos 17 y 18), que forman parte de los conteos realizados para la red vial cantonal no pavimentada cuya evaluación final se presentará posteriormente, pero se incluyen en este informe como dato informativo general.

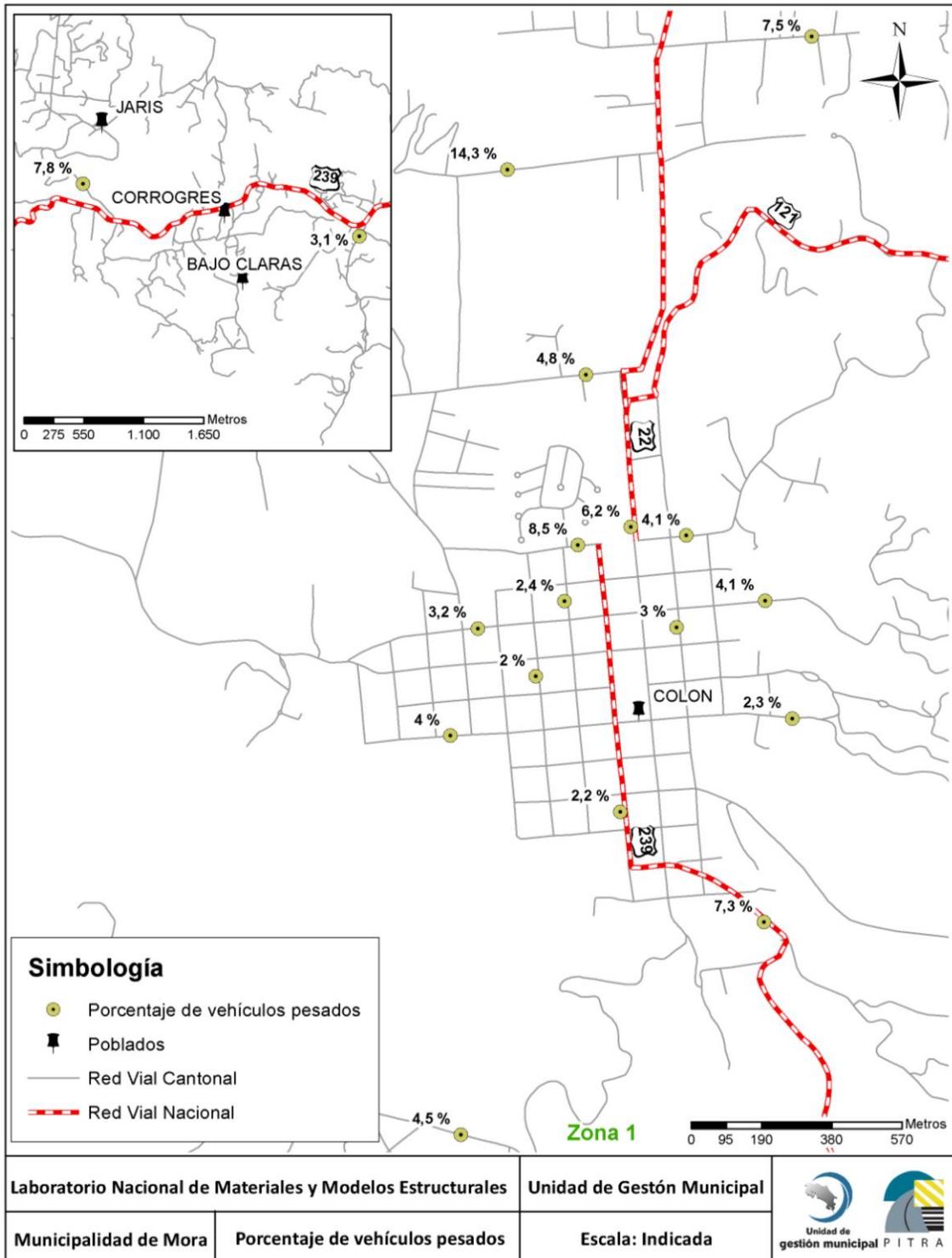
Por medio de los conteos vehiculares también es posible determinar la cantidad de vehículos pesados que transitan por la zona en estudio, por lo que en la Figura 8 se muestra un mapa con estos valores y se evidencia que para las rutas municipales incluidas en el convenio se obtuvo un promedio de 4,5% de vehículos pesados. Este dato es de gran importancia ya que los vehículos pesados son los que generan un mayor impacto en el deterioro del pavimento.





**Figura 7.** Volumen vehicular diario en la localidad de Mora.

Fuente: LanammeUCR, 2014 (Información recopilada por UTGV-Mora).



**Figura 8.** Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Mora.

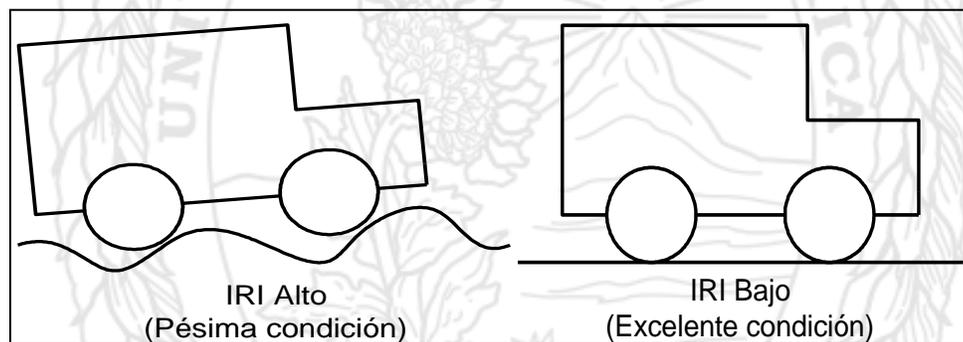
### 3.2.2 Evaluación de la condición funcional

La condición funcional se refiere a la habilidad de la vía para proporcionar servicio y confort a los usuarios, y es evaluada mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

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

El IRI es utilizado en muchos países como parámetro de aceptación de obras y en la gestión de pavimentos, pues se encuentra estrechamente 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 9.



**Figura 9.** Representación física del Índice de Regularidad Internacional.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino, sin embargo, para obtener un resultado preciso 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 las mediciones de IRI presentadas en este informe es del tipo Perfilómetro Inercial Láser, el cual corresponde a una clase de equipos de alto rendimiento que generan medidas automáticas y de alta calidad. Las mediciones son independientes de

cualquier variación en el peso y velocidad del vehículo, temperatura, color y textura del pavimento.

Este equipo, propiedad del LanammeUCR, mide la distancia del suelo al vehículo con un medidor láser ubicado en la parte delantera del vehículo; en la Figura 10, se muestra un esquema del funcionamiento del equipo y una imagen del equipo.



**Figura 10.** Perfilómetro Inercial Láser.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

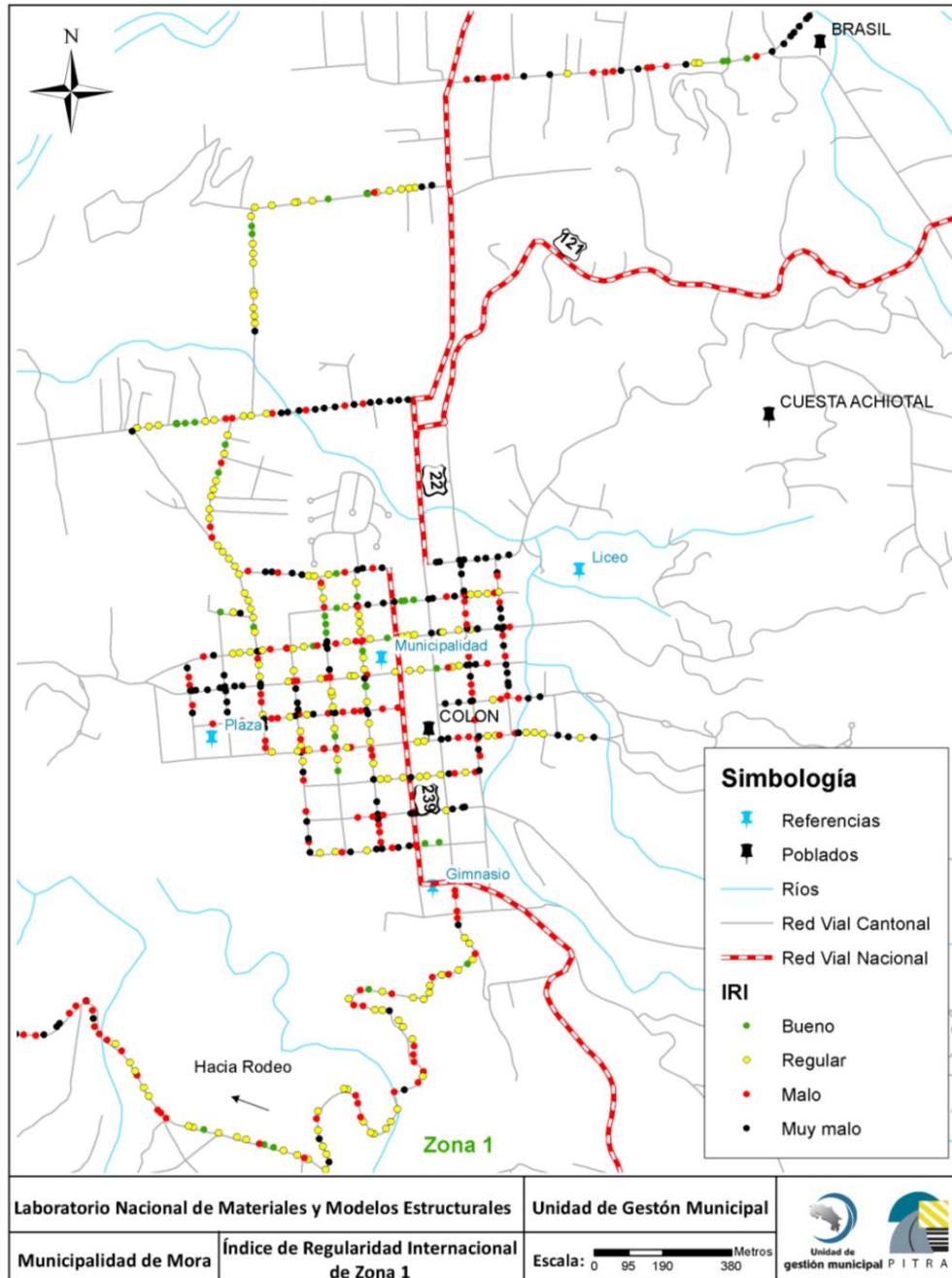
En las rutas incluidas en el convenio se evaluó el IRI durante el mes de febrero del año 2013, con una frecuencia de cada 25 metros; en la Figura 11 y Figura 12 se muestra un mapa con cada una de las mediciones realizadas, en el cual su color corresponde a las diferentes categorías de clasificación de la Tabla 1.

**Tabla 1.** Categorización del Índice de Regularidad Internacional.

Condición	IRI (m/km)
Bueno	< 3,6
Regular	3,6-6,4
Malo	6,4-10
Muy malo	>10

De acuerdo con el gráfico de la Figura 13, se observa que el 54% de las mediciones puntuales de IRI presentan valores superiores a 6,4 m/km, lo cual indica una superficie de ruedo con nivel medio o bajo de confort, y por ende un aumento en los gastos de operación de los vehículos que la transitan por la zona (únicamente un 9% de las mediciones se ubicaron en la categoría de "Bueno").

En la evaluación funcional de la red se determinó que la categoría "Regular" fue la que abarcó mayor número de mediciones al obtener un 37% de ellas; sin embargo, las categorías de "Malo" y "Muy malo", presentan valores similares con cifras de 29% y 25%, respectivamente.



**Figura 11.** Condición del IRI en el cantón de Mora, zona 1.

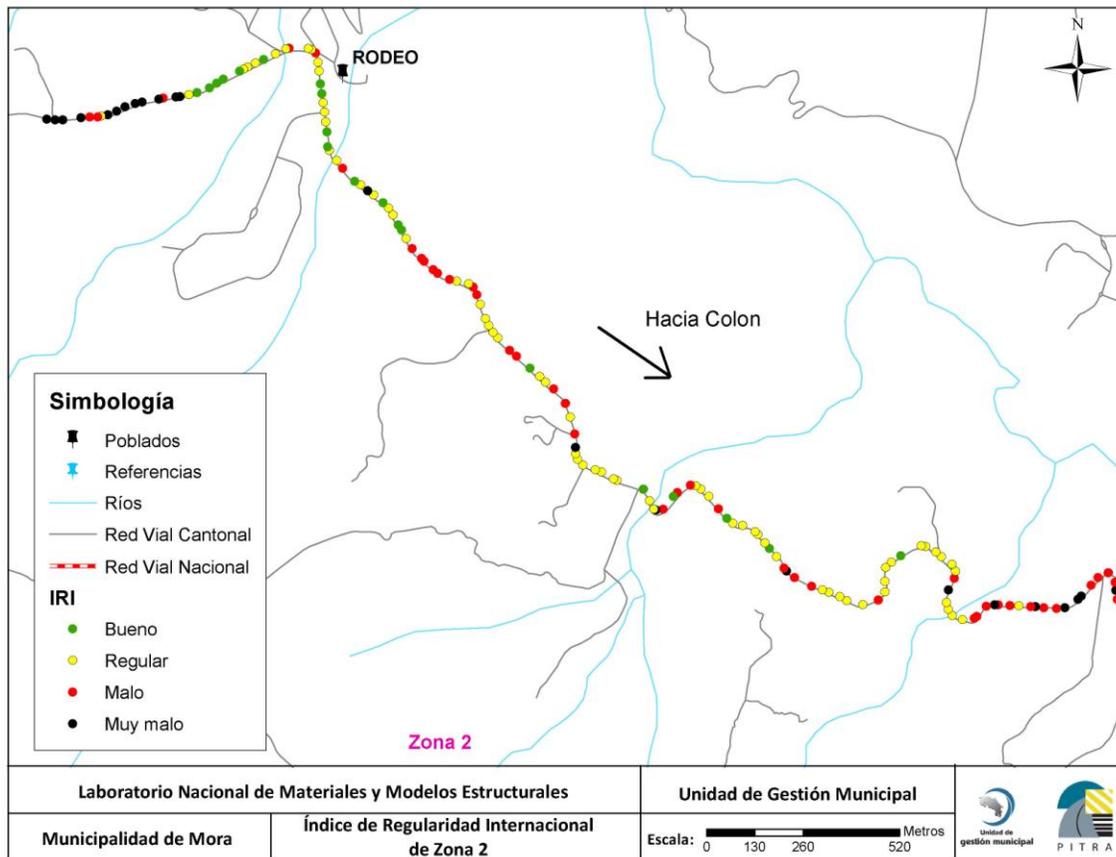


Figura 12. Condición del IRI en el cantón de Mora, zona 2.

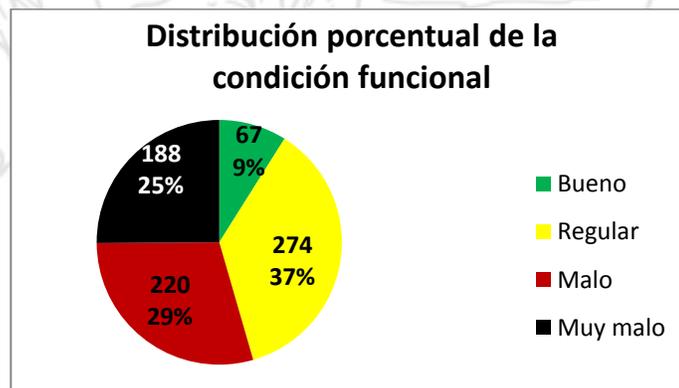
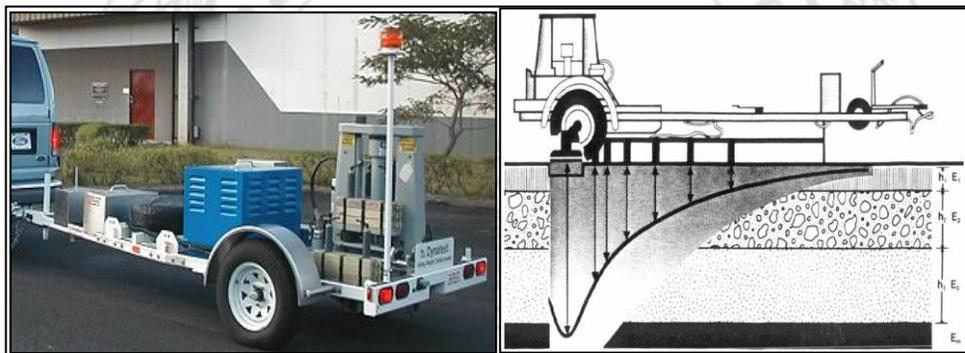


Figura 13. Distribución porcentual de la condición de la evaluación del IRI.

### 3.2.3 Evaluación de la condición estructural

La capacidad estructural de un pavimento está directamente relacionada con la respuesta ante las cargas a las que se ve expuesto, de manera que un pavimento con buena capacidad estructural presenta bajas deflexiones, y un pavimento con baja capacidad estructural presenta altas deflexiones.

La evaluación de la capacidad estructural se realizó con el equipo Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés), con frecuencia de cada 50 metros durante el mes de febrero del 2013. El procedimiento para utilizar este equipo 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; en la Figura 14 se muestra el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.



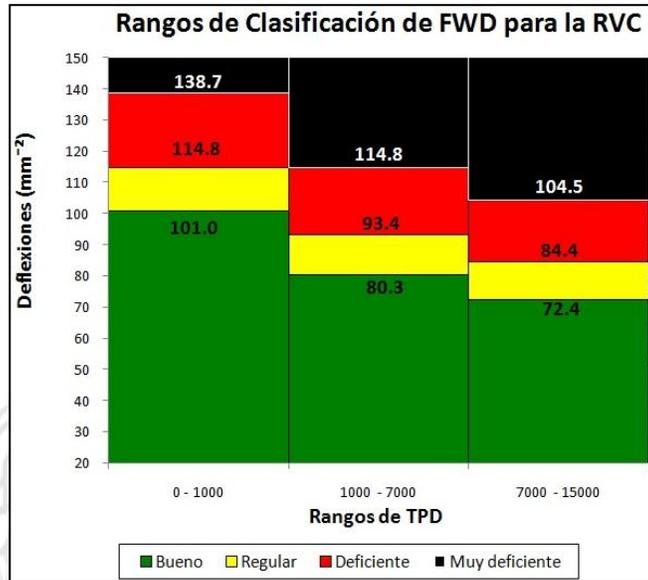
**Figura 14.** Deflectómetro de impacto.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Con el propósito de categorizar los resultados obtenidos de la evaluación estructural del pavimento, se utilizó un estudio realizado por el LanammeUCR en el cual se determinaron escalas de clasificación de valores de FWD, según categorías de TPD y tipo de base que compone la estructura del pavimento (granular o estabilizada con cemento). En la Figura 15, se presenta la clasificación de deflectometría para una estructura de pavimento con base granular.

En la Figura 18 y Figura 19 se muestra gráficamente los resultados obtenidos en la evaluación de acuerdo con la simbología y categorización presentada en la figura anterior. Posteriormente, en la Figura 17 se presenta una distribución porcentual de estos valores e indica que el 54% de las mediciones se encuentran en capacidad de resistir las cargas de

tránsito que le son aplicadas, pues corresponden a la categoría de “Bueno”; un 36% presenta condiciones deficientes, y el restante 10% mantiene condiciones "Regulares".



**Figura 15.** Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base granular.

Fuente: LanammeUCR, 2014.

En algunas rutas que se muestran en la Figura 16, se encontró la presencia de una base estabilizada por debajo de la carpeta asfáltica, para la cual se aplicó una escala de clasificación distinta a la utilizada para el pavimento flexible (carpeta asfáltica y base granular) presentada en la Figura 15, pues su capacidad de resistencia a las cargas se incrementa como consecuencia de la presencia de este material. Para los tramos mostrados en la Figura 16 en color anaranjado, se empleó la escala de clasificación que se muestra en la Tabla 2:

**Tabla 2.** Categorización de la deflectometría en rutas con presencia de bases estabilizadas.

Condición	FWD (mm-2)
Bueno	< 24,5
Regular	24,5 - 26,9
Malo	26,9 - 38
Muy malo	>38

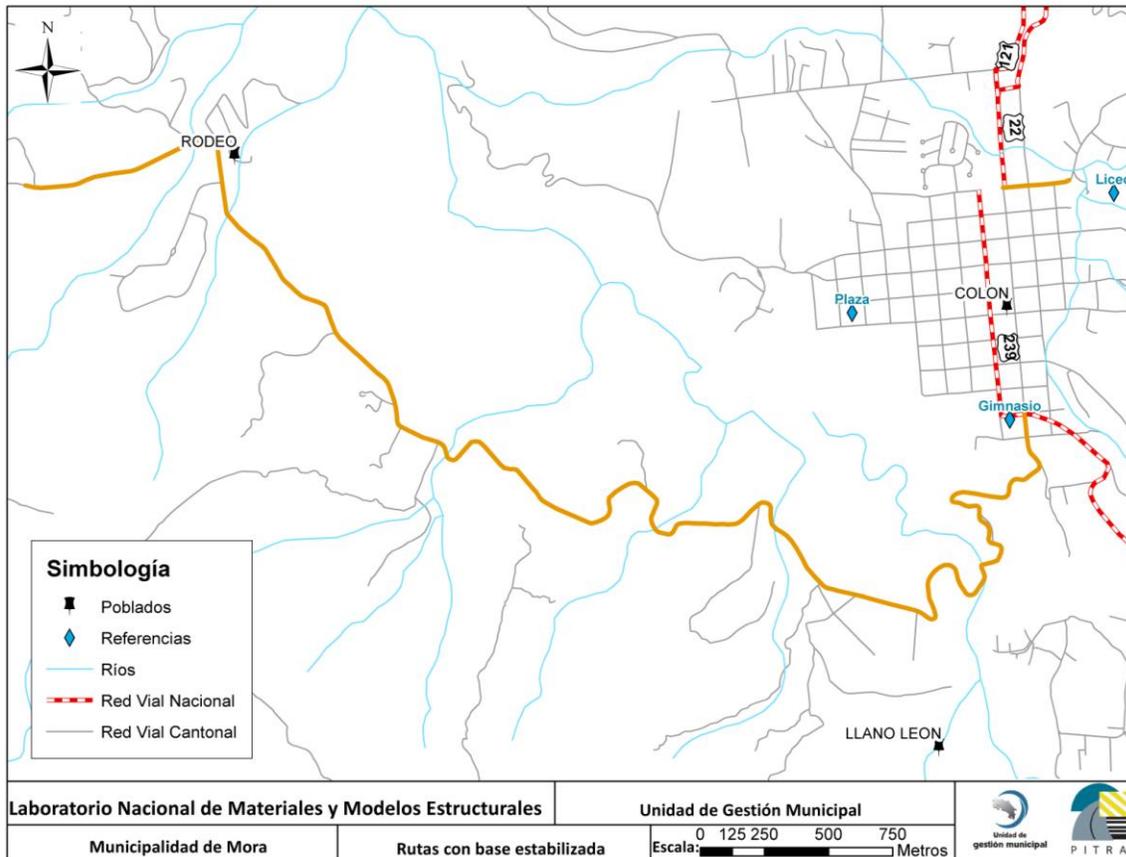


Figura 16. Tramos con presencia de base estabilizada en su estructura de pavimento.

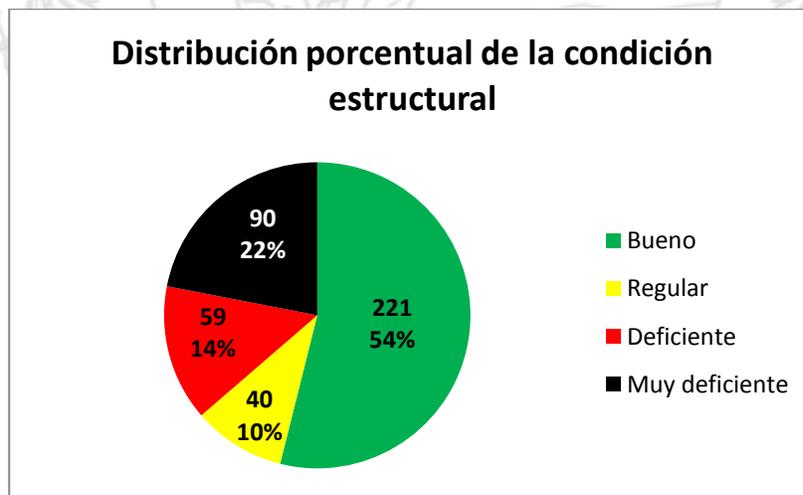


Figura 17. Distribución porcentual de la condición de FWD.

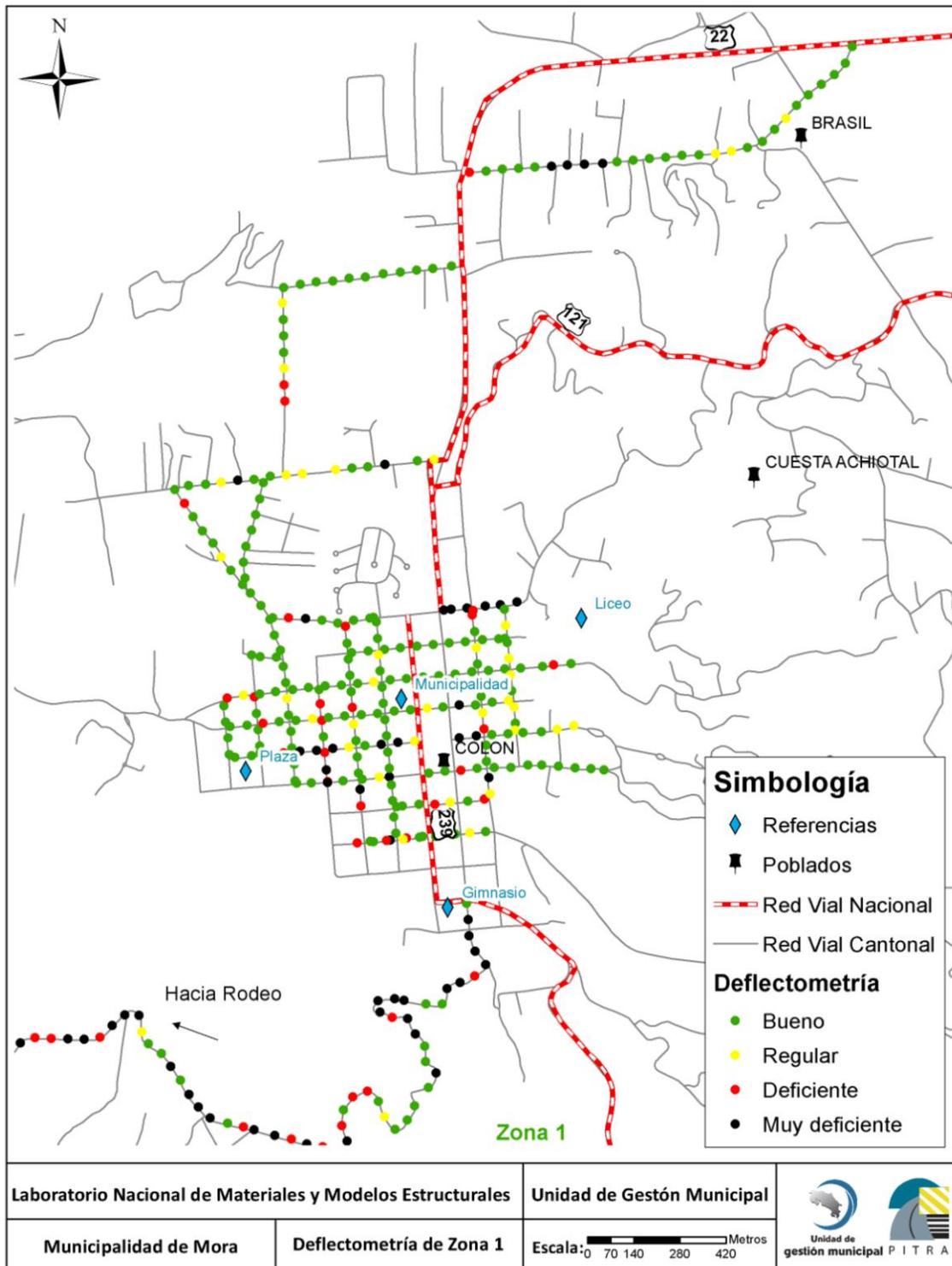
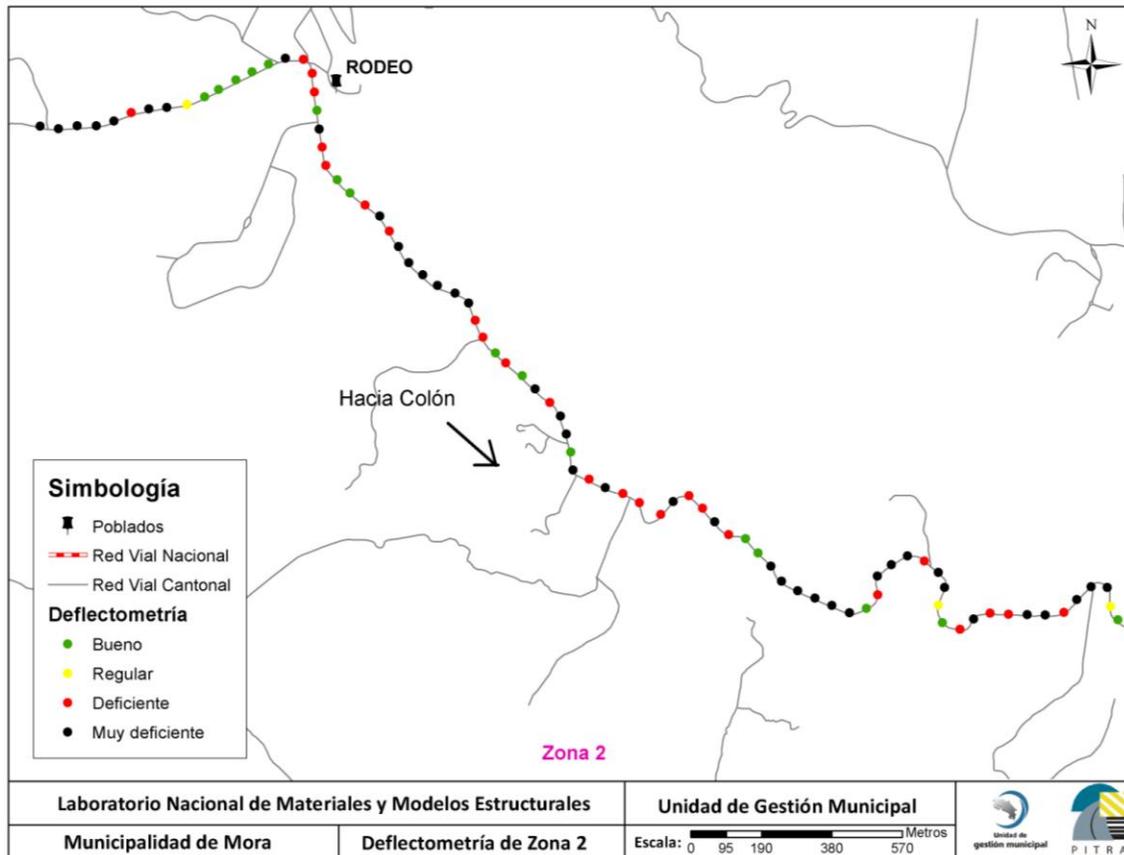


Figura 18. Condición del FWD para la localidad de Mora, zona 1.



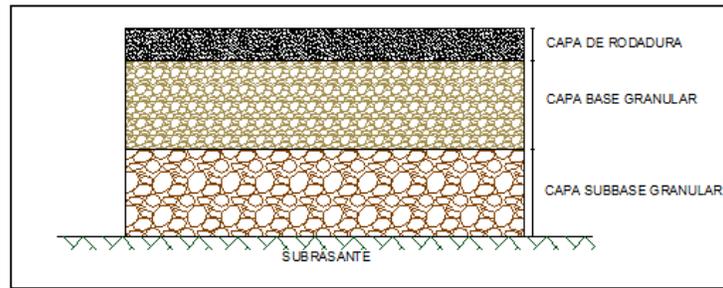
**Figura 19.** Condición del FWD para la localidad de Mora, zona 2.

### 3.2.4 Caracterizar la estructura de pavimento

La caracterización de un pavimento se desarrolla por medio de ensayos de laboratorio y campo, los cuales se dividen en tres grupos:

1. Sondeos a cielo abierto para identificar la estructura del pavimento existente.
2. Caracterización de la sub-rasante por tipo de suelo.
3. Clasificación de sub-rasante según CBR.

A continuación en la Figura 20 se muestra un ejemplo de las principales capas presentes en un pavimento (la capa de base granular se sustituiría por una capa de base estabilizada en el caso de pavimentos rígidos).



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

### 3.2.4.1 Estructura del pavimento

Se realizaron 17 sondeos a cielo abierto para determinar los espesores de las capas del pavimento en puntos estratégicos de la red en estudio, considerando la clasificación de las vías y la deflectometría evaluada. En la Tabla 3, se muestra los espesores obtenidos para cada una de las capas de estructura de pavimento encontradas; sin embargo, es importante aclarar que en el sondeo uno se encontró la existencia de un material de relleno granular contaminado.

**Tabla 3.** Espesores de las capas del pavimento según los sondeos realizados.

Sondeo	CA (cm)	BE (cm)	BG (cm)	SB (cm)	Relleno (cm)
1	7	0	0	0	0
2	2,5	15	25	30	0
3	0	14	15	25	0
4	0	10	14	0	0
5	0	10	14	0	0
6	9	0	43	0	0
7	9	0	23	0	30
8	7	0	40	0	20
9	6,5	0	10	0	85
10	3	0	4,5	0	0
11	3,5	0	30	10	30
12	5	0	37	0	0
13	9	0	26	0	0
14	6,5	0	10	12	0
15	6,5	0	0	14	0
16	6	13	0	0	0
17	3	0	25	0	40

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

CA: Carpeta asfáltica o tratamiento superficial.

BG: Base granular.

SB: Sub-base.

### 3.2.4.2 Caracterización de la sub-rasante

El objetivo de caracterizar la sub-rasante consiste en poder tomar decisiones a futuro sobre las intervenciones a nivel de proyecto en los diferentes tramos de la red vial cantonal. Para ello, en esta evaluación se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- 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 en la Tabla 4, 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):

**Tabla 4.** Grupos de suelos y características según la clasificación SUCS.

Tipos de suelo	Descripción
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.

Fuente: Instituto Colombiano de Geología y Minería, 2004.

A continuación en la Figura 21 se presenta un mapa con el suelo encontrado en cada uno de los sondeos a cielo abierto debidamente clasificados según SUCS. Se puede observar que un 65% de los sondeos (11 sondeos) están compuestos en su mayoría por material fino MH (limos de alta plasticidad).

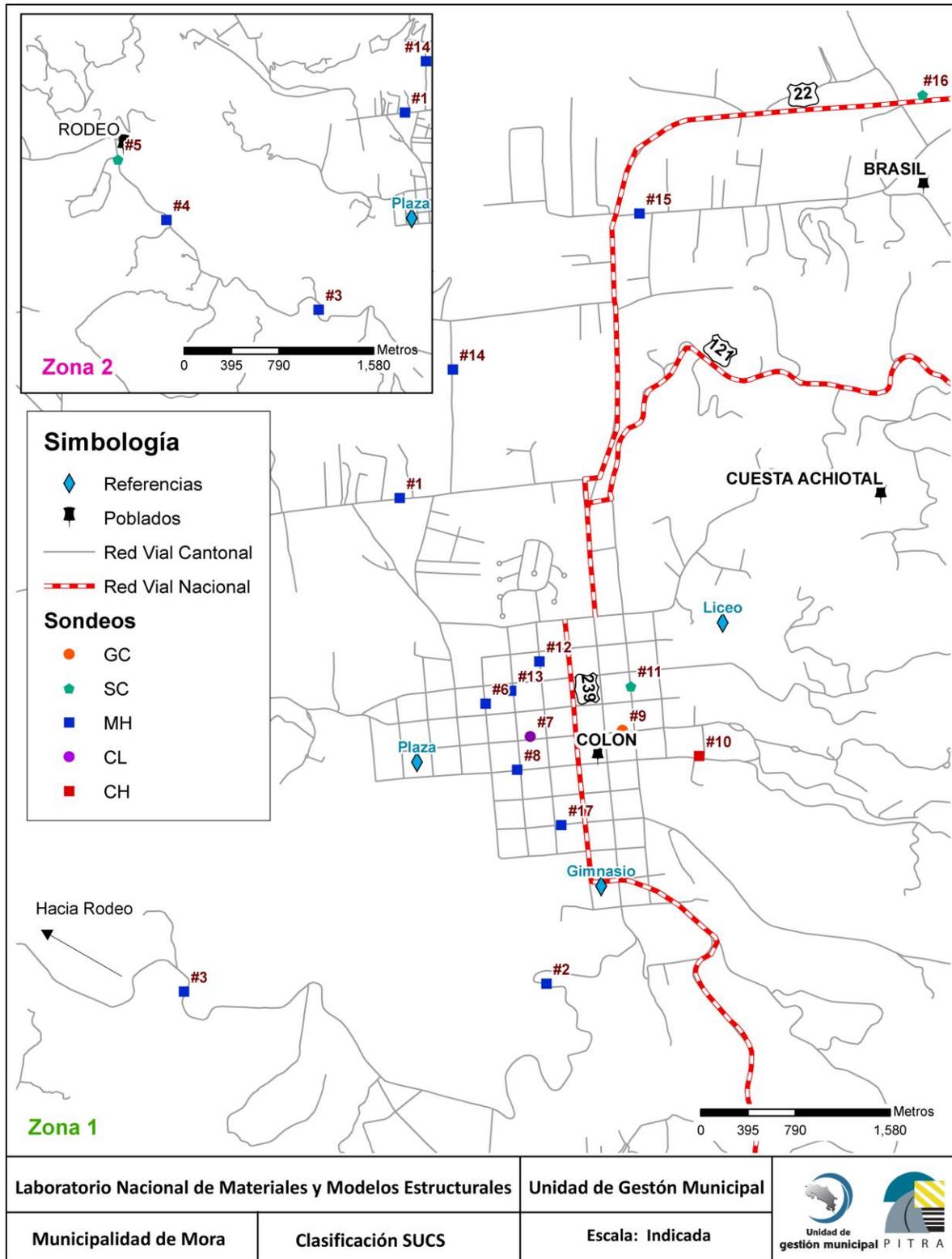


Figura 21. Caracterización de suelos según SUCS en Mora.



## 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 pasa 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).

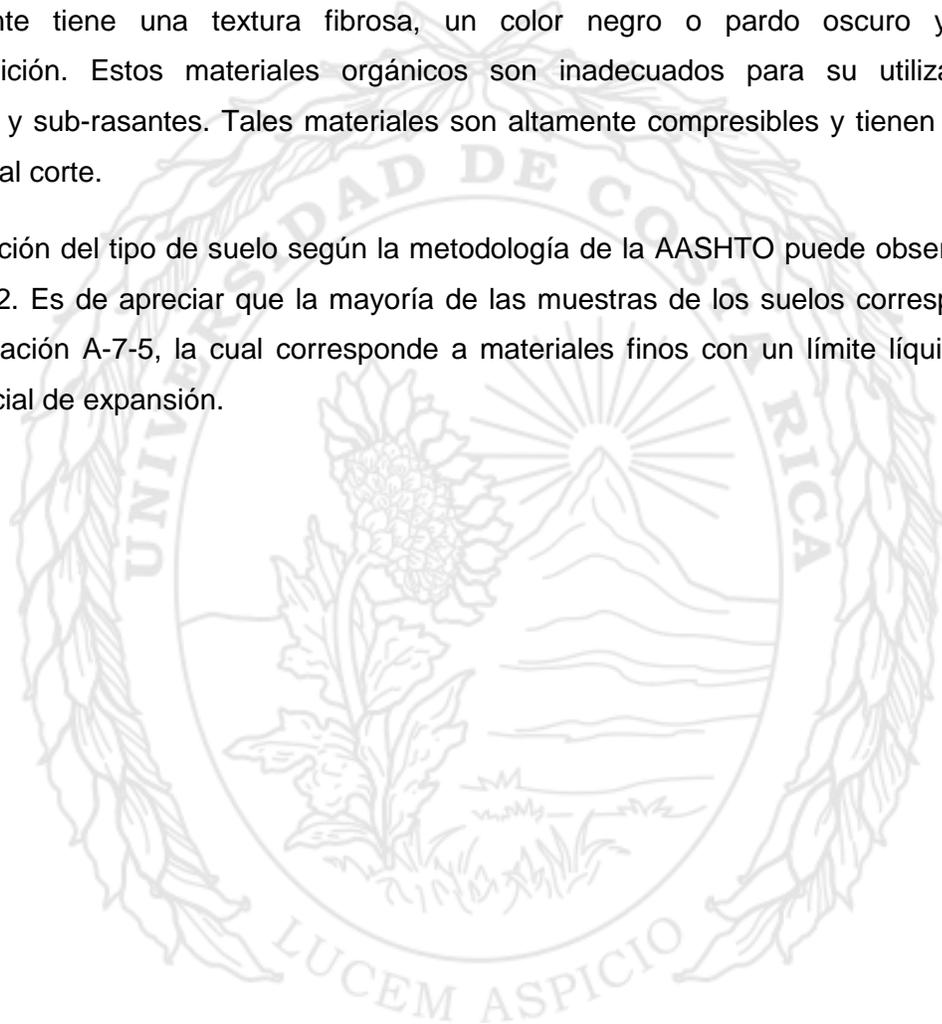
- Grupo A-4: El material típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene el 75% o más de material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200). Este grupo también incluye mezclas de suelo limoso fino y hasta 64% de arena y grava retenida sobre el 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.

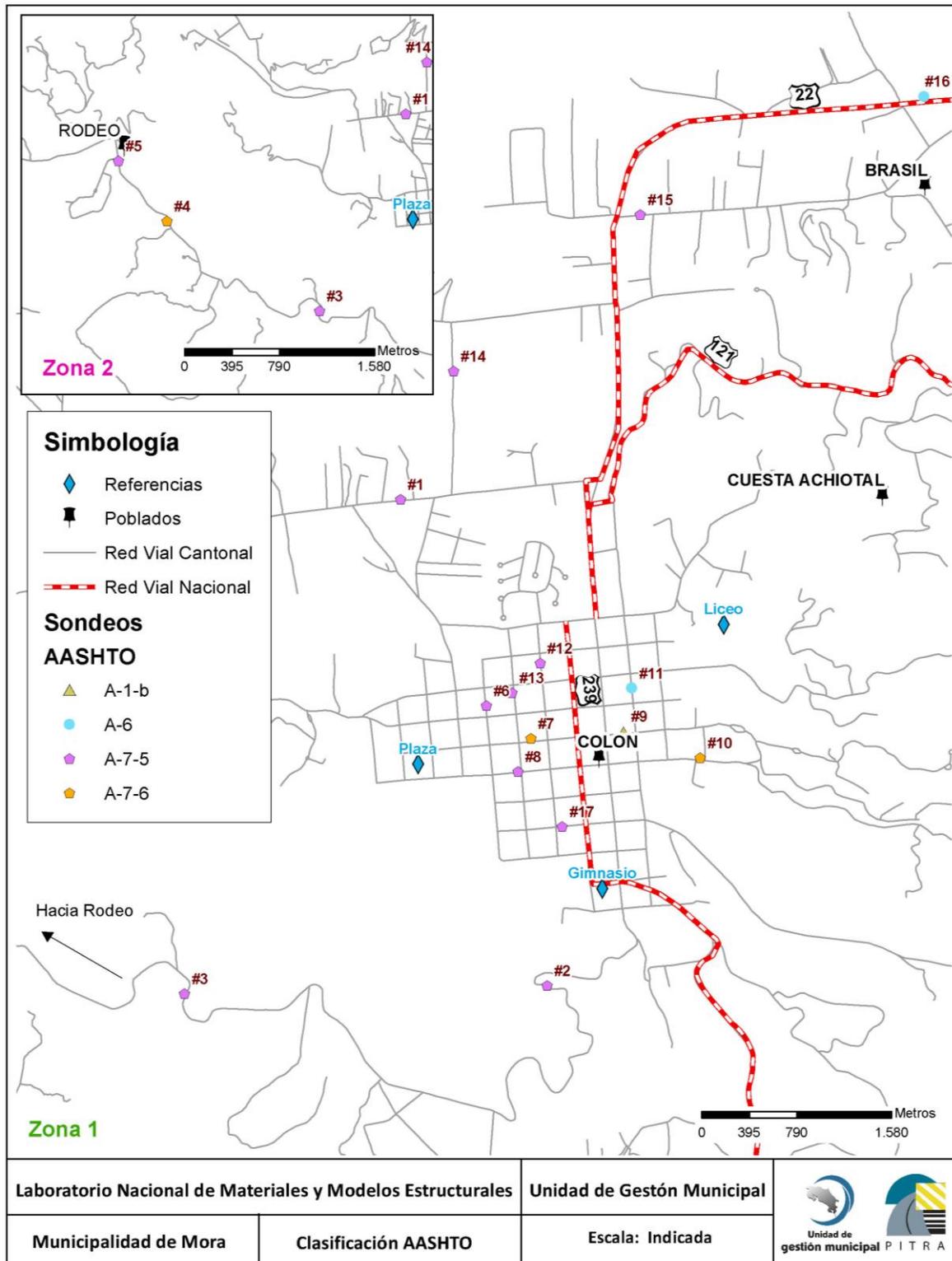


- Subgrupo A-7-6: Incluyen materiales con un alto IP en relación con el LL y presentan un alto potencial de expansión.

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 principalmente de materia orgánica parcialmente descompuesta; generalmente 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 sub-rasantes. Tales materiales son altamente compresibles y tienen una baja resistencia al corte.

La clasificación del tipo de suelo según la metodología de la AASHTO puede observarse en la Figura 22. Es de apreciar que la mayoría de las muestras de los suelos corresponden a una clasificación A-7-5, la cual corresponde a materiales finos con un límite líquido alto y gran potencial de expansión.





**Figura 22.** Caracterización según AASHTO en la localidad de Mora.

En la Tabla 5 se muestra los resultados de los ensayos de laboratorio de granulometría y límites de Atterberg (LL y LP).

**Tabla 5.** Clasificación del tipo de suelo de la sub-rasante en los sondeos realizados.

Sondeo	Porcentaje Pasando				FG	FS	CF	LL	LP	SUCS	AASHTO	AASHTO
	N°4	N°10	N°40	N°200								
1	95,6	92,3	84,2	69,3	4,4	26,3	69,3	82	66	MH	A-7-5	A-7-5(17)
2	99,5	99,2	97,8	92,4	0,5	7,1	92,4	66	40	MH	A-7-5	A-7-5(31)
3	95,9	91,9	86,3	79,1	4,1	16,8	79,1	54	31	MH	A-7-5	A-7-5(21)
4	95,4	92,5	90,2	80,8	4,6	14,6	80,8	52	29	MH	A-7-6	A-7-6(20)
5	91,8	81,7	65,4	49,6	8,2	42,2	49,6	42	30	SC	A-7-5	A-7-5(3)
6	99,4	97,8	93,7	66,2	0,6	33,2	66,2	77	61	MH	A-7-5	A-7-5(15)
7	96,3	91,4	79,0	63,4	3,7	32,9	63,4	43	24	CL	A-7-6	A-7-6(10)
8	98,6	97,7	94,2	85,7	1,4	12,9	85,7	83	60	MH	A-7-5	A-7-5(30)
9	33,6	28,5	22,9	19,0	66,4	14,6	19,0	44	28	GC	A-1-b	A-1-b(-3)
10	95,6	89,9	82,4	72,3	4,4	23,3	72,3	51	27	CH	A-7-6	A-7-6(18)
11	75,5	69,8	57,5	46,4	24,5	29,1	46,4	37	26	SC	A-6	A-6(2)
12	95,5	90,6	81,1	61,4	4,5	34,1	61,4	72	54	MH	A-7-5	A-7-5(13)
13	96,6	93,8	90,5	80,4	3,4	16,2	80,4	59	33	MH	A-7-5	A-7-5(24)
14	95,0	93,0	87,7	72,5	5,0	22,5	72,5	57	39	MH	A-7-5	A-7-5(15)
15	97,8	96,1	93,2	87,6	2,2	10,2	87,6	58	33	MH	A-7-5	A-7-5(26)
16	73,0	60,0	46,3	36,4	27,0	36,6	36,4	35	24	SC	A-6	A-6(0)
17	92,8	87,0	80,6	73,2	7,2	19,6	73,2	57	30	MH	A-7-5	A-7-5(20)

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

FG: Fracción gruesa.

FS: Fracción arena.

CF: Cantidad de finos.

LL: Límite Líquido.

LP: Límite Plástico.

N°4: Tamiz N° 4, 750 mm de diámetro.

N°10: Tamiz N°10, 2.0 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 subrasante según CBR

El valor de CBR en sitio proporciona un índice de la resistencia de la capa de la sub-rasante para resistir carga, en la Figura 23 se muestra la prueba realizada en sitio.



**Figura 23.** Prueba de CBR en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El CBR es una medida indirecta obtenida a partir del penetrómetro (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.

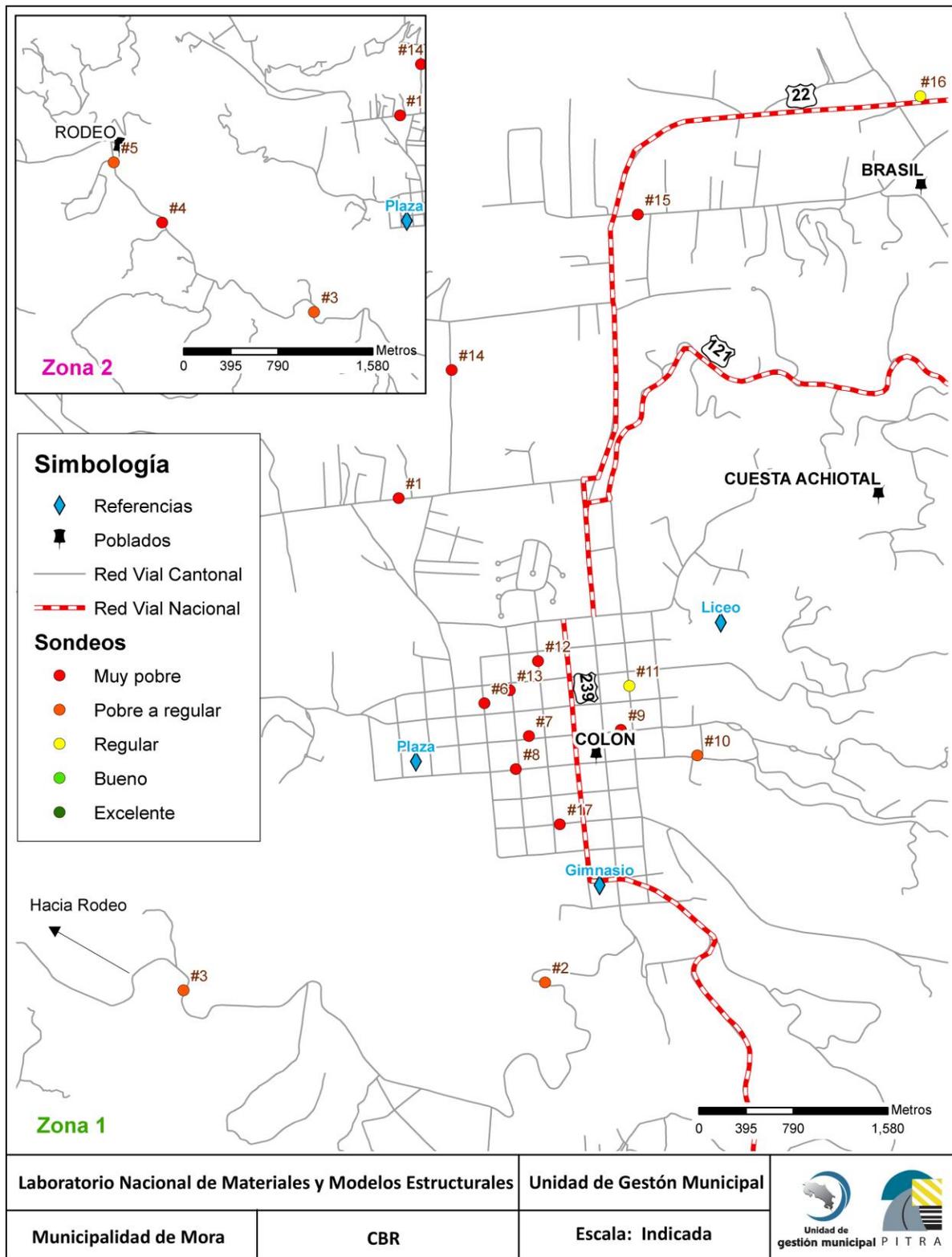
La clasificación utilizada para categorizar los valores de CBR es establecida por J. Bowles (1981), y se presenta en el Tabla 6.

**Tabla 6.** Clasificación del CBR.

CBR	Clasificación General	Usos
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 el mapa de la Figura 24 se muestra los resultados de CBR obtenidos para cada sondeo; sin embargo, es importante mencionar que en el sondeo nueve no se obtuvo valor de Índice de cono, y por ende tampoco valor de CBR.



**Figura 24.** Clasificación del CBR según Bowles.

En la Tabla 7, se muestra el índice de cono y los parámetros seleccionados para el cálculo de CBR de acuerdo con el tipo de suelo.

**Tabla 7.** Índice de resistencia CBR.

Sondeo	CI	a	b	CBR
1	119.5	0.0820	0.7174	2.5
2	217.5	0.0820	0.7174	3.9
3	184.4	0.0820	0.7174	3.5
4	103.7	0.0820	0.7174	2.3
5	373.8	0.0820	0.7174	5.7
6	113.4	0.0820	0.7174	2.4
7	90.3	0.1266	0.6986	2.9
8	90.1	0.0820	0.7174	2.1
9	-	-	-	*
10	186.9	0.1264	0.6979	4.9
11	143.9	1.1392	0.4896	13.0
12	101.9	0.0820	0.7174	2.3
13	122.4	0.0820	0.7174	2.6
14	123.6	0.0820	0.7174	2.6
15	128.4	0.0820	0.7174	2.7
16	128.2	1.1392	0.4896	12.3
17	130.1	0.0820	0.7174	2.7

\* No se realiza ensayo CBR en sitio por presencia de relleno granular a 1m profundidad.

### 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 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.

Para determinar los tramos homogéneos se utilizaron los siguientes criterios:

- Longitud mínima de cada tramo de 300 m (podría ser un tramo más corto si existiese alta variación en las mediciones de FWD).
- Tramos con una relación de la desviación estándar y la media (s/m) mayor que 0,45 en los valores de FWD se considerarán como *tramos no uniformes*.

Los tramos homogéneos fueron obtenidos por medio del método de diferencias acumuladas establecido por AASHTO 93, a partir de la información de deflectometría. Sin embargo, se

definió tramos homogéneos con relaciones entre la desviación estándar y la media superiores a 0.45 para evitar seccionar excesivamente la red vial evaluada.

Adicionalmente, una vez definidos los tramos homogéneos mediante el método de diferencias acumuladas se procedió a realizar una inspección visual y se identificó la necesidad de reformar algunos de los tramos ya que presentaban condiciones heterogéneas.

Uno de los casos anteriores corresponde al tramo homogéneo número 34, pues tiene una longitud de 98,6 m, mas no puede ser unido con los tramos de sus extremos (tramo 35 o 25), ya que presenta una condición superficial bastante distinta. En la Figura 25 se puede observar la presencia de baches en el tramo 34, y en la Figura 26 se presenta el contraste de IRI entre los tramos (entre ambos lados de la intersección).



**Figura 25.** Baches presentes en el tramo homogéneo 34.



**Figura 26.** Contraste de la condición superficial a ambos lados de la intersección.

Otra situación similar se presentó en una de las rutas al sur del casco central el cantón, ya que un tramo debió ser dividido en los tres tramos homogéneos 30, 36 y 37, con distancias de 100 m, 195 m y 100m, respectivamente, a razón de sus diferencias de capacidad funcional principalmente. Como se muestra en la Figura 27, el tramo 30 presenta dos secciones, la primera en la que carece de carpeta asfáltica en varias partes de la vía por lo que no fue posible realizar la evaluación con el perfilómetro inercial láser, y la segunda sección mostrada en la Figura 28, en la cual la ruta presenta valores de IRI promedio superiores a los 10 m/km.



**Figura 27.** Tramo homogéneo número 30,  
primera sección.



**Figura 28.** Tramo homogéneo número 30,  
segunda sección.

Luego de la intersección posterior al tramo 30, la condición de la carretera varía por aproximadamente 200 m, y se obtienen mejoras en la capacidad estructural de la estructura de pavimento y una leve mejoría en la capacidad funcional (ver el contraste en la Figura 29), por lo que se define un nuevo tramo identificado con la numeración 36, que se muestra en la Figura 30. Más adelante, luego de la intersección la capacidad funcional de la carretera decae considerablemente por lo que se identifica el nuevo tramo 37 (ver Figura 31).



**Figura 29.** Transición entre el tramo 30 y  
tramo 36.



**Figura 30.** Tramo homogéneo número 36.



**Figura 31.** Tramo homogéneo número 37.

De igual manera, los tramos homogéneos 16 y 21 debieron ser seccionados ya que presentan condiciones estructurales incluidas en la categoría de “Bueno”, pero que han perdido capacidad funcional en uno de sus extremos, lo cual induce a la generación de dos nuevos tramos, el tramo 32 y 33 respectivamente (se muestran gráficamente en la Figura 32).

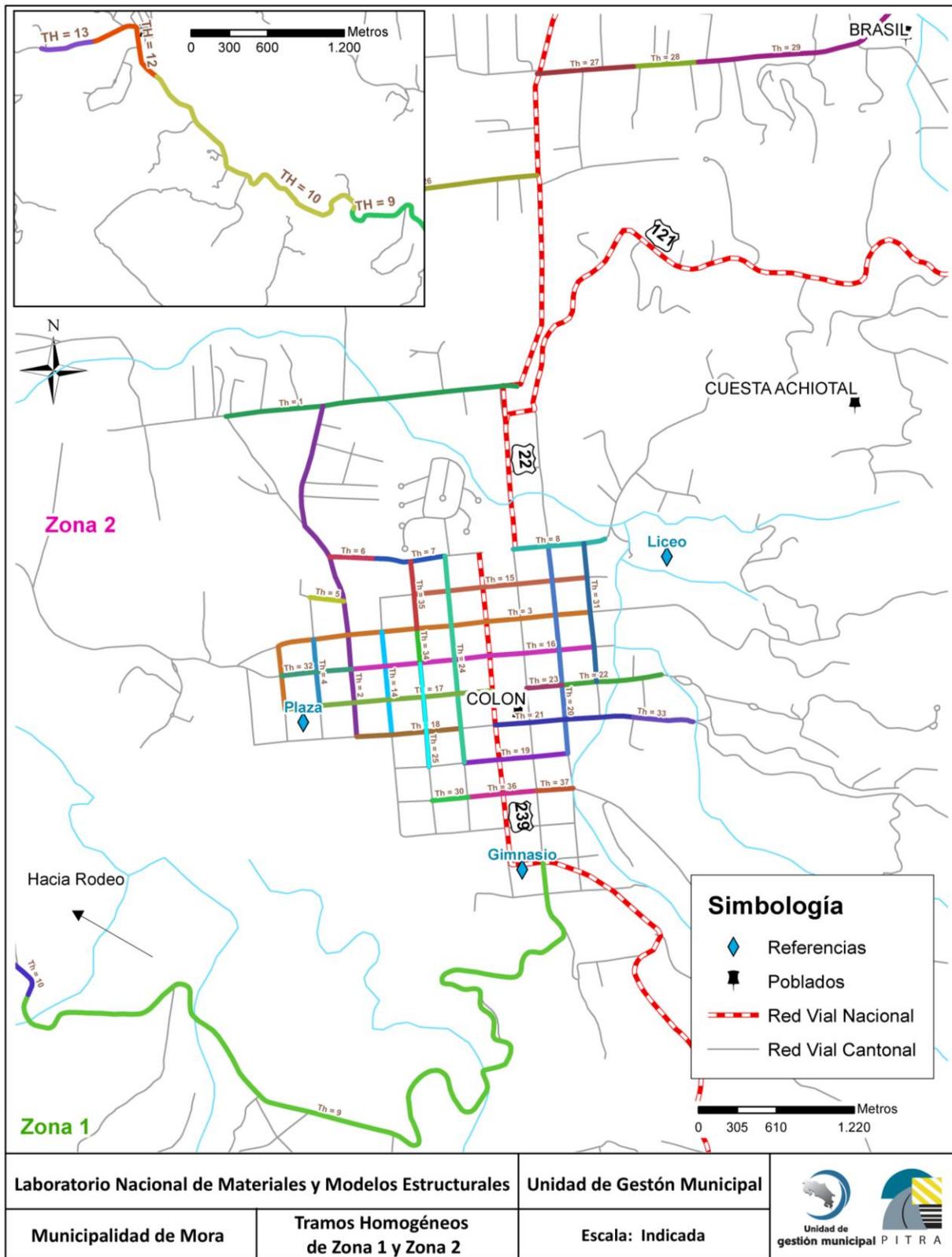
Por lo tanto, con base en la evaluación realizada a las rutas del cantón de Mora se obtuvo un total de 37 tramos homogéneos a partir de aproximadamente 18,5 km; a continuación en la Tabla 8, se presenta el número de tramos y su longitud aproximada en metros; además, en la Figura 32 se muestra su ubicación (una imagen ampliada de la Figura 32 se muestra en el Anexo 1).

Los tramos homogéneos número 8, 9, 10, 12 y 13 fueron analizados con una escala de rangos de deflectometría especial (según se detalló en el apartado 3.2.3 *Identificar condición estructural*), ya que de acuerdo con la información presentada en la Tabla 3, en su estructura se encontró la presencia de una base estabilizada (ver que la ubicación de los sondeos 2, 3, 4 y 5 coincide con estos tramos).

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

**Tabla 8.** Longitud de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Mora.

TH	Longitud (m)	TH	Longitud (m)
1	820,5	20	586,6
2	973,1	21	388,2
3	1059,9	22	280,2
4	187,3	23	99,2
5	95,6	24	584,0
6	131,6	25	291,7
7	194,3	26	816,7
8	259,9	27	270,2
9	3079,4	28	182,2
10	2309,1	29	602,9
12	829,6	30	100,4
13	398,4	31	390,8
14	291,9	32	197,2
15	487,3	33	167,9
16	683,0	34	98,6
17	583,2	35	189,9
18	292,3	36	195,3
19	291,5	37	100,5



**Figura 32.** Ubicación de tramos homogéneos en el cantón de Mora.



### 3.2.5.1 Deflexión Promedio

Para categorizar el estado estructural de cada tramo homogéneo se utiliza las clasificaciones presentadas anteriormente para bases granulares o estabilizadas según corresponda, de acuerdo con los valores de TPD y deflectometría.

En la Figura 33 y Figura 34 se presenta un mapa con los valores obtenidos en el ensayo de deflectometría, y en la Figura 35 y Figura 36 se analiza mediante gráficos la información obtenida según el número de metros lineales y tramos homogéneos por categoría.

De acuerdo con los datos obtenidos se obtiene que 22 tramos homogéneos, representativos del 49% de la longitud evaluada, se encuentran en la categoría de “buena” condición estructural, y son capaces de resistir las cargas que le son transmitidas.

En su contraparte se tiene que aproximadamente 8 km (44% de la longitud evaluada, correspondiente a 10 tramos homogéneos) presenta una estructura de pavimento en condiciones deficientes. Sin embargo, es importante mencionar que los cinco tramos homogéneos en los cuales se encontró presencia de una base estabilizada en su estructura de pavimento, correspondiente a 6,9 km de estos 8 km que presentan condiciones deficientes. Es decir, los valores de deflectometría más elevados donde existe base estabilizada se presentan fuera de la parte central del cantón, y se ubican en la ruta evaluada que se dirige hacia la localidad de Rodeo.

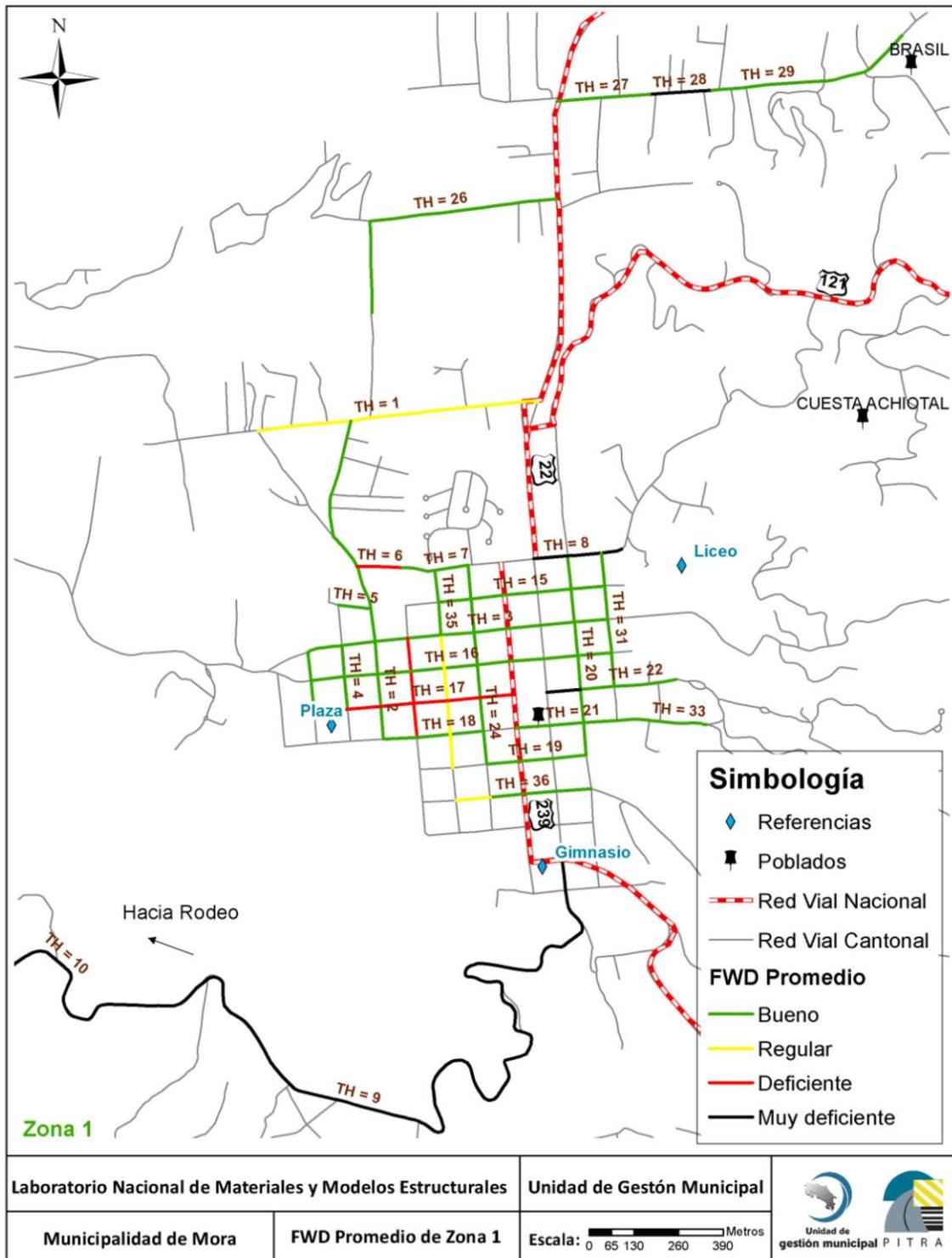


Figura 33. Deflectometría promedio de las vías analizadas en Mora, Zona 1.

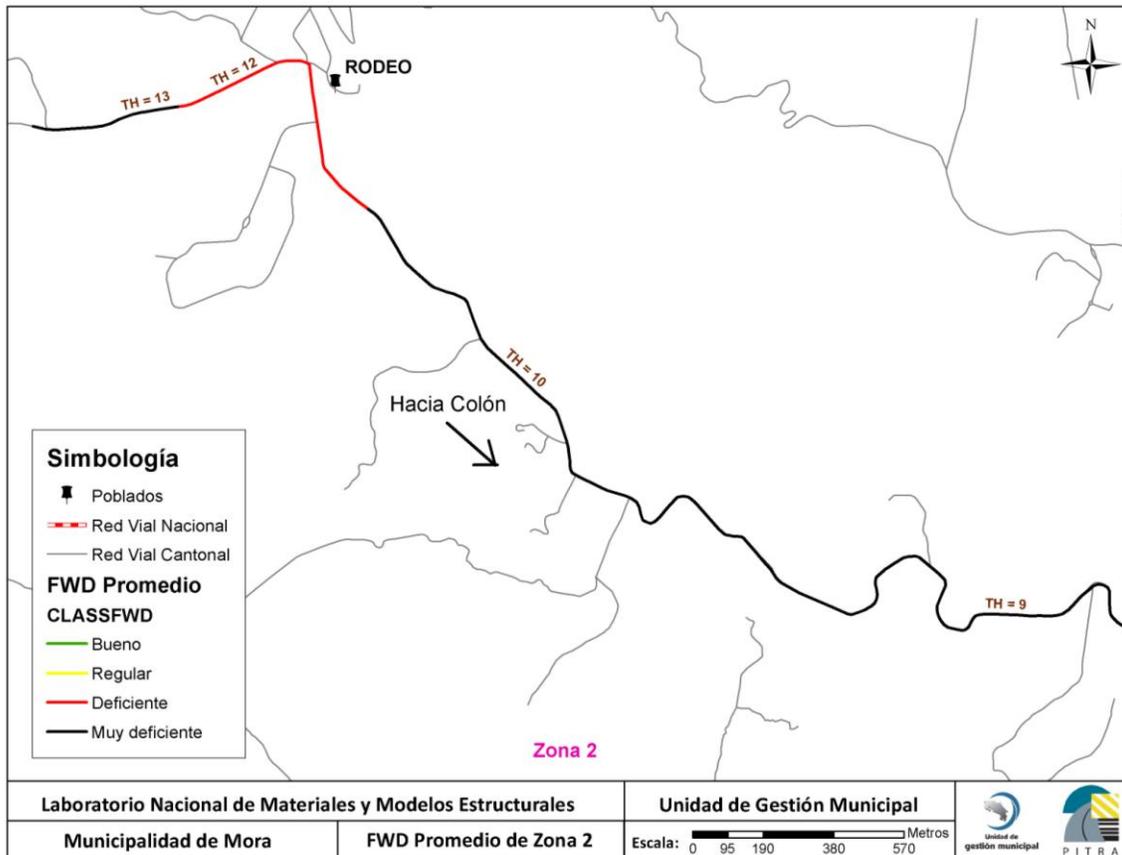


Figura 34. Deflectometría promedio de las vías analizadas en Mora, Zona 2.

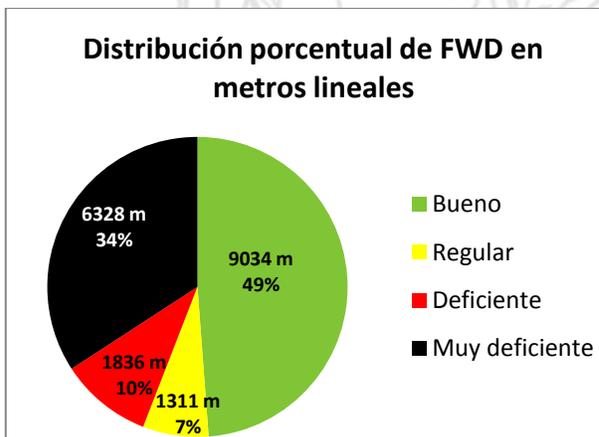


Figura 35. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio.

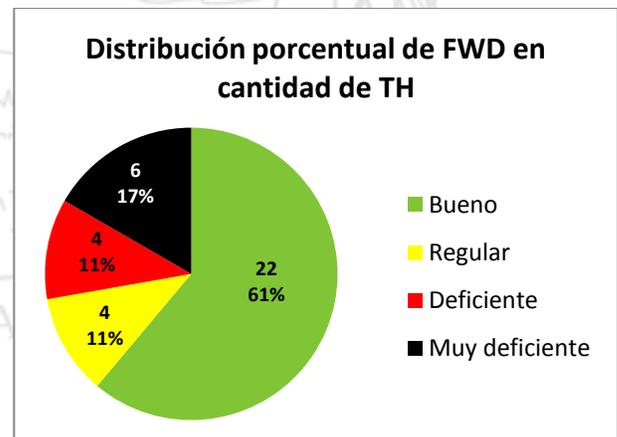


Figura 36. Porcentaje de tramos clasificados según FWD promedio.

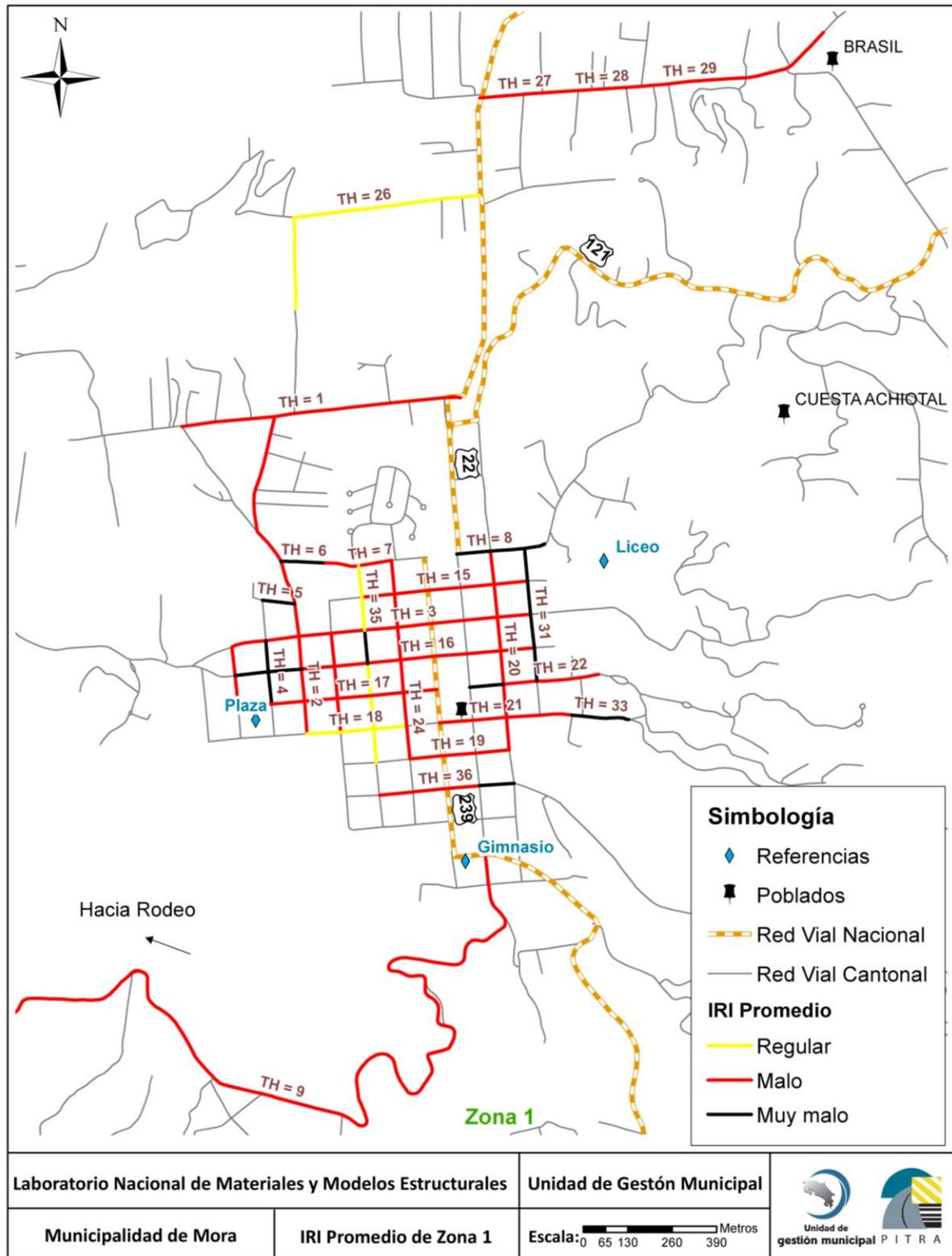


### 3.2.5.2 IRI promedio

De la misma forma como se clasificó el IRI en la sección 3.2.2.1, se realizó una caracterización a cada tramo por medio de los valores promedio ( $IRI_{promedio}$ ) obtenidos de las evaluaciones puntuales realizadas a lo largo de la red vial del cantón, y son mostrados gráficamente en la Figura 37 y Figura 38.

En los gráficos de la Figura 39 y Figura 40 se presenta la distribución porcentual de los resultados obtenidos de IRI según la cantidad de tramos homogéneos y la cantidad de metros lineales evaluados. En ellos, es posible observar que en ninguna de las mediciones se obtuvo un valor menor a 3,6 m/km, y por lo tanto, no se encuentra ningún tramo en la categoría de “Buena” condición funcional.

Por otra parte, aproximadamente un 74% (13,8 km) de la red evaluada se encuentra en malas condiciones funcionales, pues presenta un IRI superior a 6,4 m/km. Estas irregularidades en la superficie de ruedo representan un costo de operación mayor, aumento en el tiempo de viaje, y un desplazamiento poco confortable. Además, como consecuencia de las cargas dinámicas generadas por el golpeteo que le generan los vehículos a la calzada al movilizarse sobre ella, se ocasiona un deterioro acelerado de la estructura de pavimento. Únicamente 6 tramos homogéneos fueron clasificados en la categoría “Regular”, con valores de IRI entre 3,6 y 6,4 m/km.



**Figura 37.** IRI promedio de las vías analizadas en Mora, zona 1.

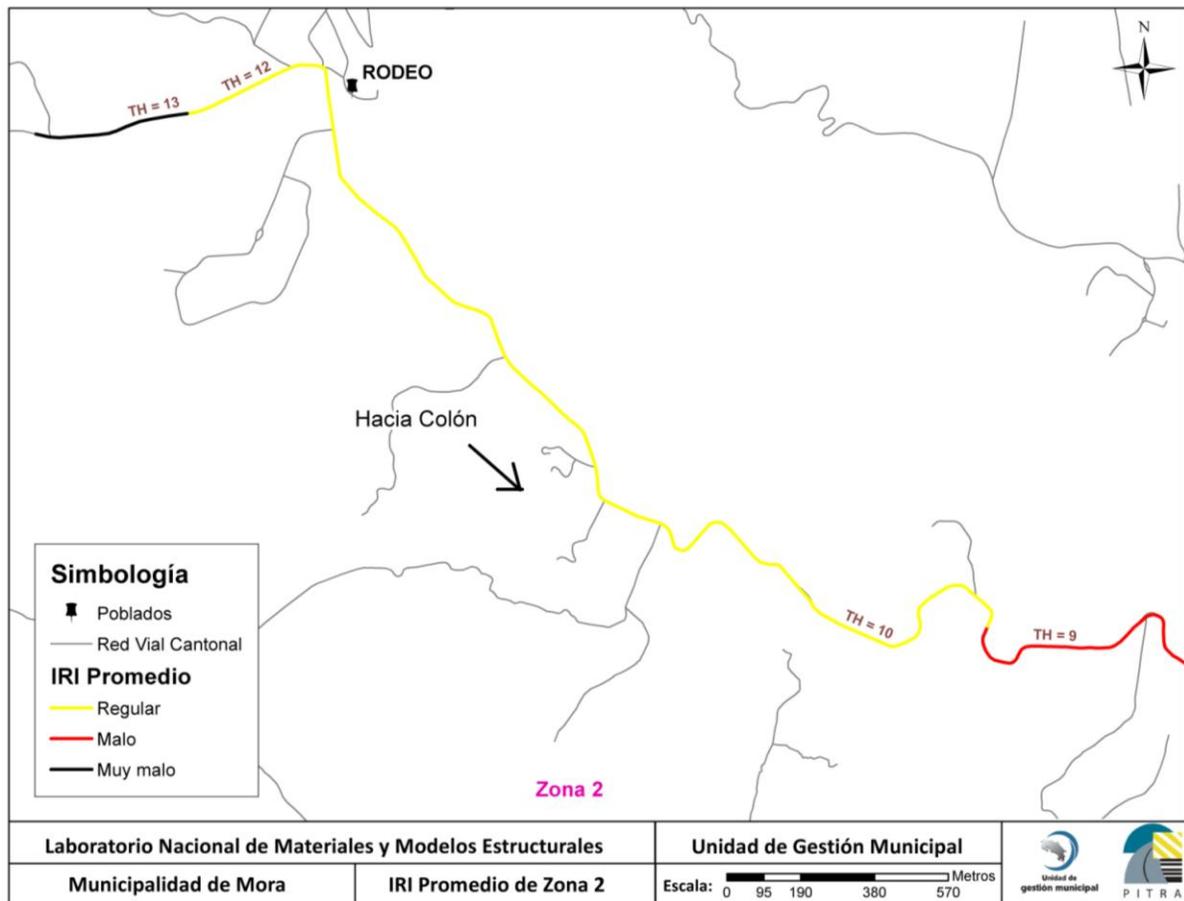


Figura 38. IRI promedio de las vías analizadas en Mora, zona 2.

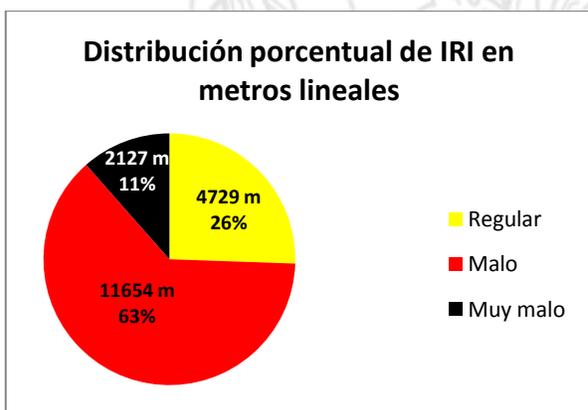


Figura 39. Porcentaje de metros lineales clasificados según el IRI promedio.

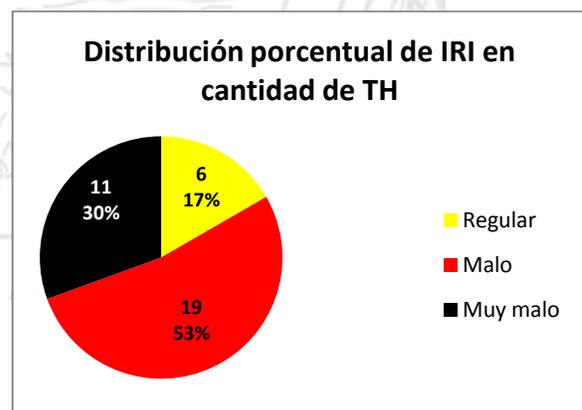


Figura 40. Porcentaje de tramos clasificados según el IRI promedio.



### 3.2.6 Notas Calidad

La condición de los tramos homogéneos es analizada funcional y estructuralmente, y mediante la unión de estos dos aspectos se determina el estado del tramo por medio de un indicador denominado **Nota de calidad**, la cual permitirá definir la estrategia de intervención más adecuada a nivel de gestión.

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 se encuentra en 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 9 se presenta la matriz que establece las notas de calidad en función de los valores de IRI y FWD obtenidos en los ensayos. Es importante mencionar que la matriz se encuentra compuesta de cuatro filas y cuatro columnas, según cada una de las categorías de IRI y FWD, respectivamente.

Se debe rescatar que los rangos de IRI en cada una de las 4 filas de matriz se mantienen constantes y son independientes del tipo de estructura que se esté analizando; sin embargo, los rangos numéricos de FWD en cada una de las columnas variará según: el tipo de base de la estructura que se analiza y el TPD de la ruta. Pues si bien, siempre se mantiene el orden de las categorías, sus rangos son cambiantes según las variables mencionadas anteriormente.

**Tabla 9.** Matriz para determinar las notas de calidad en una estructura de pavimento.

FWD ( $10^{-2}$ mm)	Bueno	Regular	Deficiente	Muy deficiente
Bueno (0-3,6)	Q1	Q3	Q6	R-1
Regular (3,6-6,4)	Q2	Q5	Q8	R-2
Malo (6,4-10,0)	Q4	Q7	Q9	R-3
Muy malo (mayor 10,0)	M-RF	RH-RF	R-3	NP

El uso de colores en la Tabla 9 refleja, 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 muestra en la Tabla 9 está asociada a una descripción que caracteriza las condiciones generales en las que se encuentran los tramos en estudio, así como la intervención que se recomienda a nivel de red. Esta descripción, al igual que la Tabla 9, es 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 ruedo estos pavimentos pasarán a las categorías M-RF o Q7 en el mediano plazo. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de mediano costo que 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 en la red vial evaluada

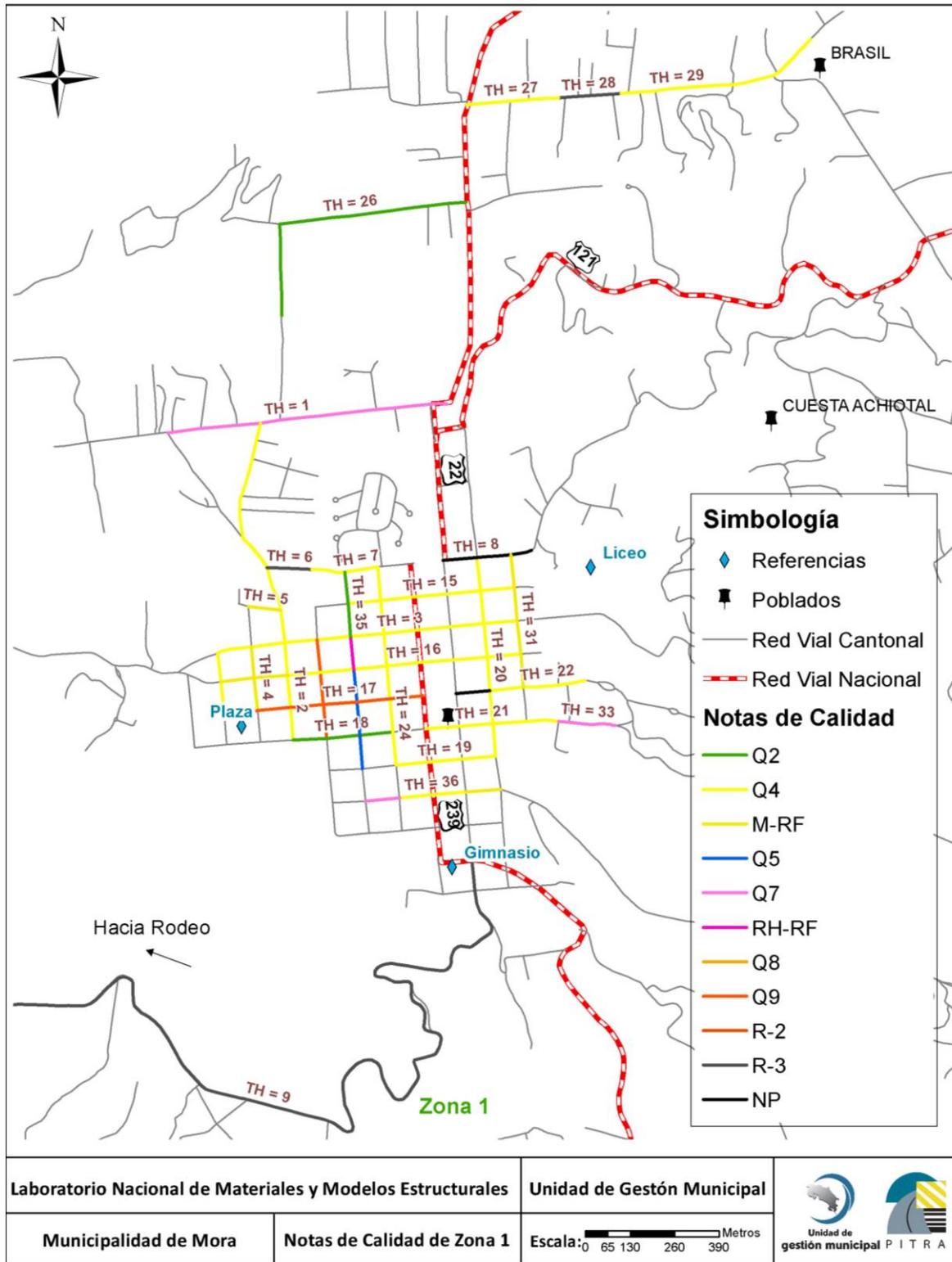
Las notas de calidad se asignaron según el procedimiento descrito en la sección 3.2.6 utilizando la Tabla 9, donde los parámetros utilizados para la asignación de cada nota de calidad son el IRI promedio y la deflectometría promedio caracterizada según el tipo de base de la estructura de pavimento y el flujo vehicular.

En la Tabla 10 se puede observar el detalle de los valores promedio de IRI y FWD, la longitud y la nota de calidad asociada para cada tramo homogéneo. En la Figura 41 y Figura 42 se muestra mediante una simbología de colores la nota de calidad de cada tramo.

En el gráfico de la Figura 43 se puede observar porcentualmente la cantidad de tramos pertenecientes a cada categoría. Las notas de calidad Q4 y M-RF son las que mayor cantidad de tramos incluyen, con un 36% y 17%, respectivamente. Únicamente tres tramos obtuvieron una nota Q2 que demuestre un buen estado al momento de la evaluación; y por el contrario, un 16% de los tramos obtuvo notas de R-3 y NP, correspondientes a procesos de reconstrucción.

**Tabla 10.** Nota de calidad asignada a cada tramo analizado en la localidad de Mora.

TH	Longitud (m)	FWD promedio	IRI promedio	Nota Q
1	820,5	84,6	9,5	Q7
2	973,1	53,4	6,4	Q4
3	1059,9	59,7	8,4	Q4
4	187,3	71,4	13,1	M-RF
5	95,6	53,6	10,8	M-RF
6	131,6	94,7	10,3	R-3
7	194,3	45,2	6,8	Q4
8	259,9	76,0	11,9	NP
9	3079,4	40,0	6,9	R-3
10	2309,1	50,2	5,6	R-2
12	829,6	27,7	4,5	Q8
13	398,4	71,7	11,0	NP
14	291,9	95,2	8,1	Q9
15	487,3	64,5	8,7	Q4
16	683,0	68,4	7,2	Q4
17	583,2	106,6	9,0	Q9
18	292,3	99,4	5,8	Q2
19	291,5	74,7	8,4	Q4
20	586,6	80,1	9,3	Q4
21	388,2	64,7	8,3	Q4
22	280,2	69,3	8,1	Q4
23	99,2	144,4	11,6	NP
24	584,0	76,6	7,8	Q4
25	291,7	110,3	6,3	Q5
26	816,7	60,3	5,3	Q2
27	270,2	67,4	8,8	Q4
28	182,2	154,7	8,8	R-3
29	602,9	66,2	9,7	Q4
30	100,4	88,2	7,9	Q7
31	390,8	70,8	10,2	M-RF
32	197,2	71,6	14,9	M-RF
33	167,9	71,8	12,1	M-RF
34	98,6	107,4	11,0	RH-RF
35	189,9	82,8	4,6	Q2
36	195,3	60,0	8,8	Q4
37	100,5	76,7	14,1	M-RF



**Figura 41.** Notas de calidad asignadas a cada tramo homogéneo, zona 1.

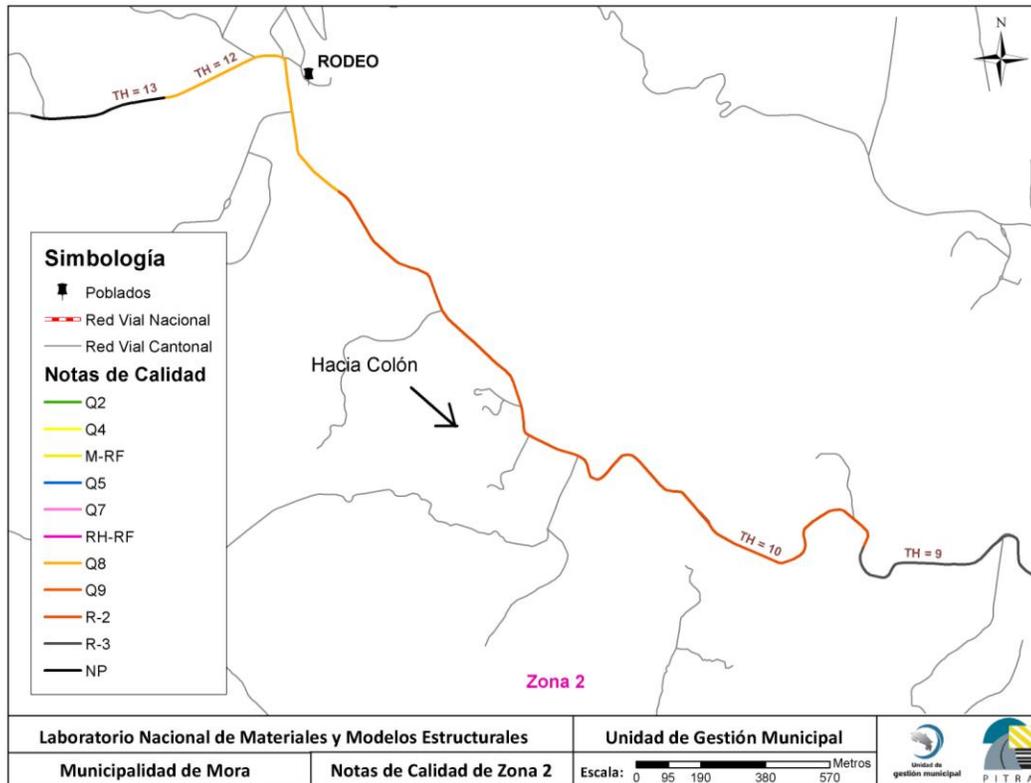


Figura 42. Notas de calidad asignadas a cada tramo homogéneo, zona 2.

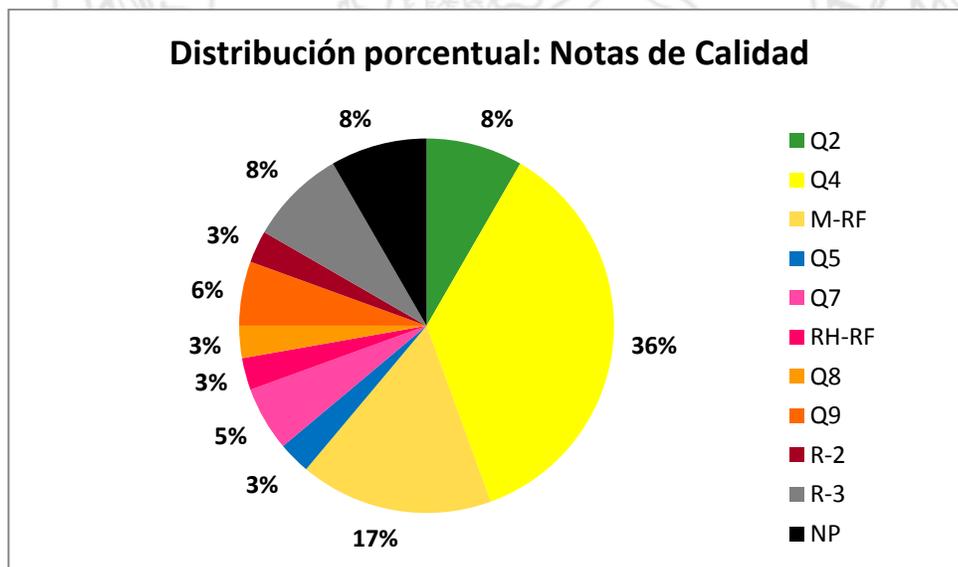


Figura 43. Distribución porcentual de las notas de calidad asignadas a los tramos homogéneos analizados en Mora.

### 3.3 Tipos de intervención

La elaboración de tramos homogéneos y su posterior análisis por medio de notas de calidad que involucran la condición estructural y funcional del pavimento al momento de la evaluación, permite definir diferentes tipos de intervención a nivel de gestión que sean acordes con las deficiencias que presentan.

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 planteadas a nivel de red sean ajustadas, y así se puedan aplicar a un nivel táctico-operativo, con el objetivo de generar el diseño de las intervenciones a nivel de proyecto y, posteriormente, determinar 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 se presentan a continuación, y han sido adaptadas a aquellas utilizadas en el informe LM-PI-UE-05-11 del LanammeUCR para evaluar la condición de la red vial nacional:

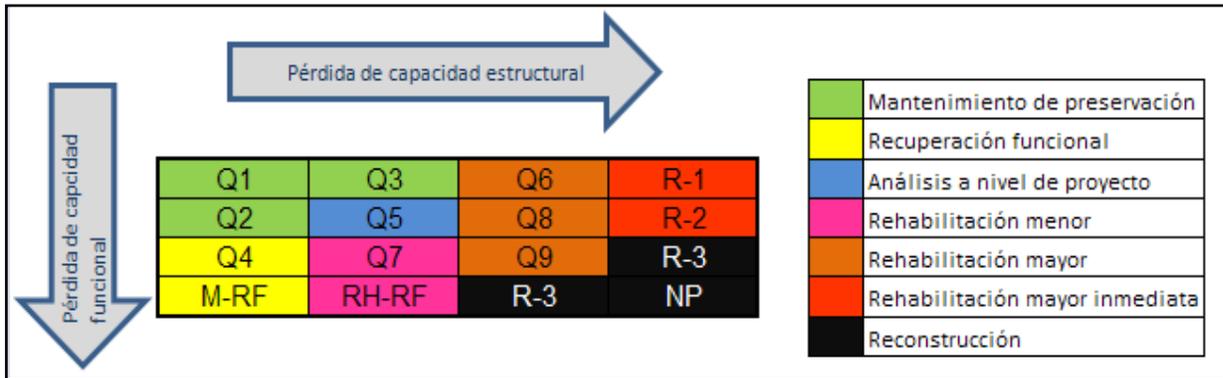
- **Mantenimiento de Preservación:** Son aplicables a estructuras que se encuentran en buen estado (funcional y estructural), son intervenciones de bajo costo relativo. Existen diferentes tipos de intervenciones de este tipo, entre ellos: *sand seal*, *slurry seals*, *fog seal*, *chip seals*, sellados 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 a la capacidad estructural. 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 44 se presenta el tipo de intervención que corresponde a nivel de red de acuerdo con las notas de calidad obtenidas por los tramos homogéneos según su capacidad funcional y estructural. Es necesario hacer énfasis en la diferencia entre el tipo de intervención identificada en color anaranjado y la de color 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 se deteriorarán rápidamente siendo requerida una reconstrucción del pavimento.



**Figura 44.** Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la Tabla 11 puede observarse el tipo de intervención (a nivel de red) propuesto para cada tramo homogéneo en la localidad de Mora, con base en las mediciones y evaluaciones realizadas durante los años 2013 y 2014 por el personal del LanammeUCR y la UTGV de Mora.

**Tabla 11.** Tipo de intervención requerido a nivel de red para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de Mora.

TH	Notas Q	Tipo de Intervención
1	Q7	Rehabilitación menor
2	Q4	Recuperación funcional
3	Q4	Recuperación funcional
4	M-RF	Recuperación funcional
5	M-RF	Recuperación funcional
6	R-3	Reconstrucción
7	Q4	Recuperación funcional
8	NP	Reconstrucción
9	R-3	Reconstrucción
10	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
12	Q8	Rehabilitación mayor
13	NP	Reconstrucción
14	Q9	Rehabilitación mayor
15	Q4	Recuperación funcional
16	Q4	Recuperación funcional
17	Q9	Rehabilitación mayor
18	Q2	Mantenimiento de preservación
19	Q4	Recuperación funcional
20	Q4	Recuperación funcional
21	Q4	Recuperación funcional
22	Q4	Recuperación funcional
23	NP	Reconstrucción

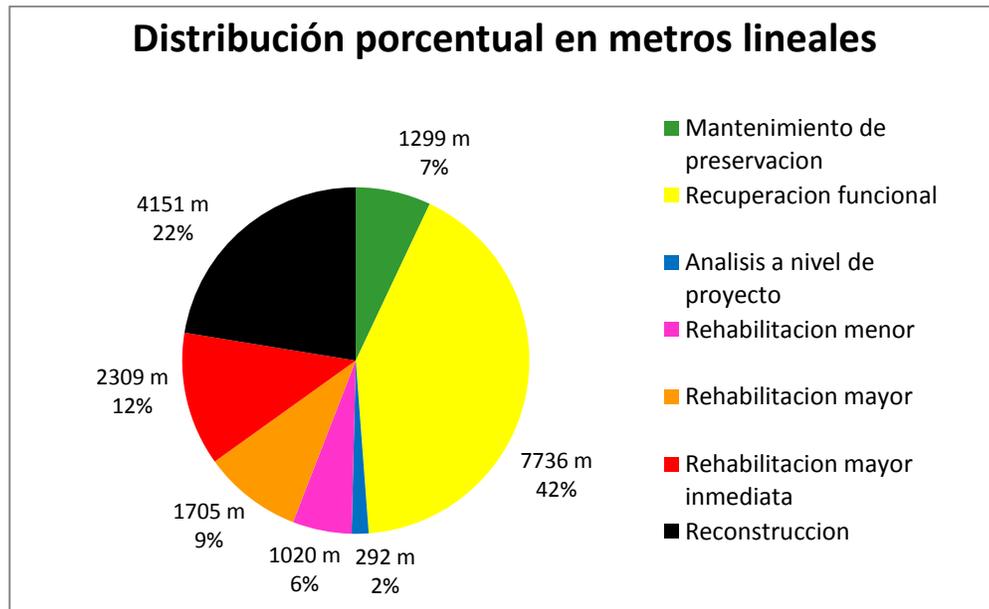
TH	Notas Q	Tipo de Intervención
24	Q4	Recuperación funcional
25	Q5	Análisis a nivel de proyecto
26	Q2	Mantenimiento de preservación
27	Q4	Recuperación funcional
28	R-3	Reconstrucción
29	Q4	Recuperación funcional
30	Q7	Rehabilitación menor
31	M-RF	Recuperación funcional
32	M-RF	Recuperación funcional
33	M-RF	Recuperación funcional
34	RH-RF	Rehabilitación menor
35	Q2	Mantenimiento de preservación
36	Q4	Recuperación funcional
37	M-RF	Recuperación funcional

En la Figura 45 y Figura 46 se muestra la distribución porcentual de los tipos de intervención que se obtuvo a partir de los ensayos de IRI y deflectometría según la metodología planteada en la Figura 44; estos tipos de intervención fueron corroborados mediante una gira de campo realizada en el mes de enero del año 2015, de manera que estos indicadores determinados con la metodología expuesta en capítulos anteriores coinciden de manera general con la condición actual de la ruta.

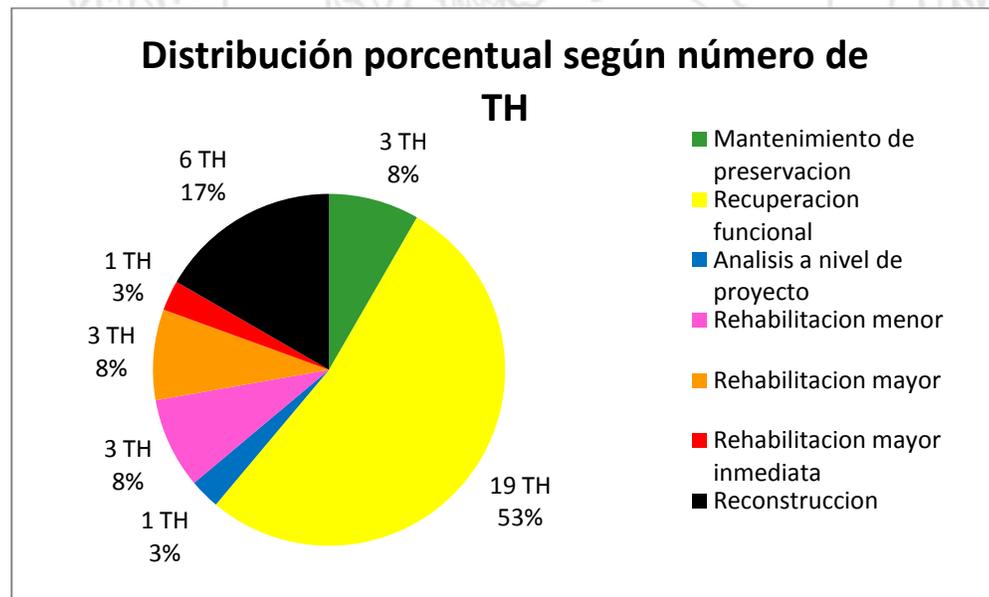
En estos gráficos se observa que el tipo de intervención predominante corresponde a una recuperación funcional de la estructura de pavimento para 19 tramos homogéneos representantes de aproximadamente un 42% de la red vial evaluada (7,7 km), ya que presentan valores de IRI elevados. Únicamente 1,3 km (3 tramos homogéneos) requieren un mantenimiento de preservación para evitar que su capacidad estructural y funcional disminuya en consecuencia del actuar de ciertos factores externos sobre su superficie.

Un tramo homogéneo presenta condiciones intermedias de su capacidad funcional y estructural, por lo que es necesario realizar una valoración a nivel de proyecto que permita determinar el mejor tipo de intervención. Por otra parte, aproximadamente 4 km requieren de un tipo de rehabilitación mayor en consecuencia de que su capacidad estructural ha disminuido considerablemente, sin embargo, de esta longitud es importante que 2,3 km sean intervenidos de manera inmediata, pues en poco tiempo se podrían deteriorar sus condiciones y pasar a la categoría de reconstrucción, etapa en la cual los costos de intervención se elevarían.

Finalmente, se determinó que un 22% de la **longitud evaluada**, perteneciente a seis tramos homogéneos de 4,1 km, requieren ser reconstruidos parcial o totalmente a causa de que se ha alcanzado el límite de su vida útil y presenta daños severos.



**Figura 45.** Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de Mora, según longitud.



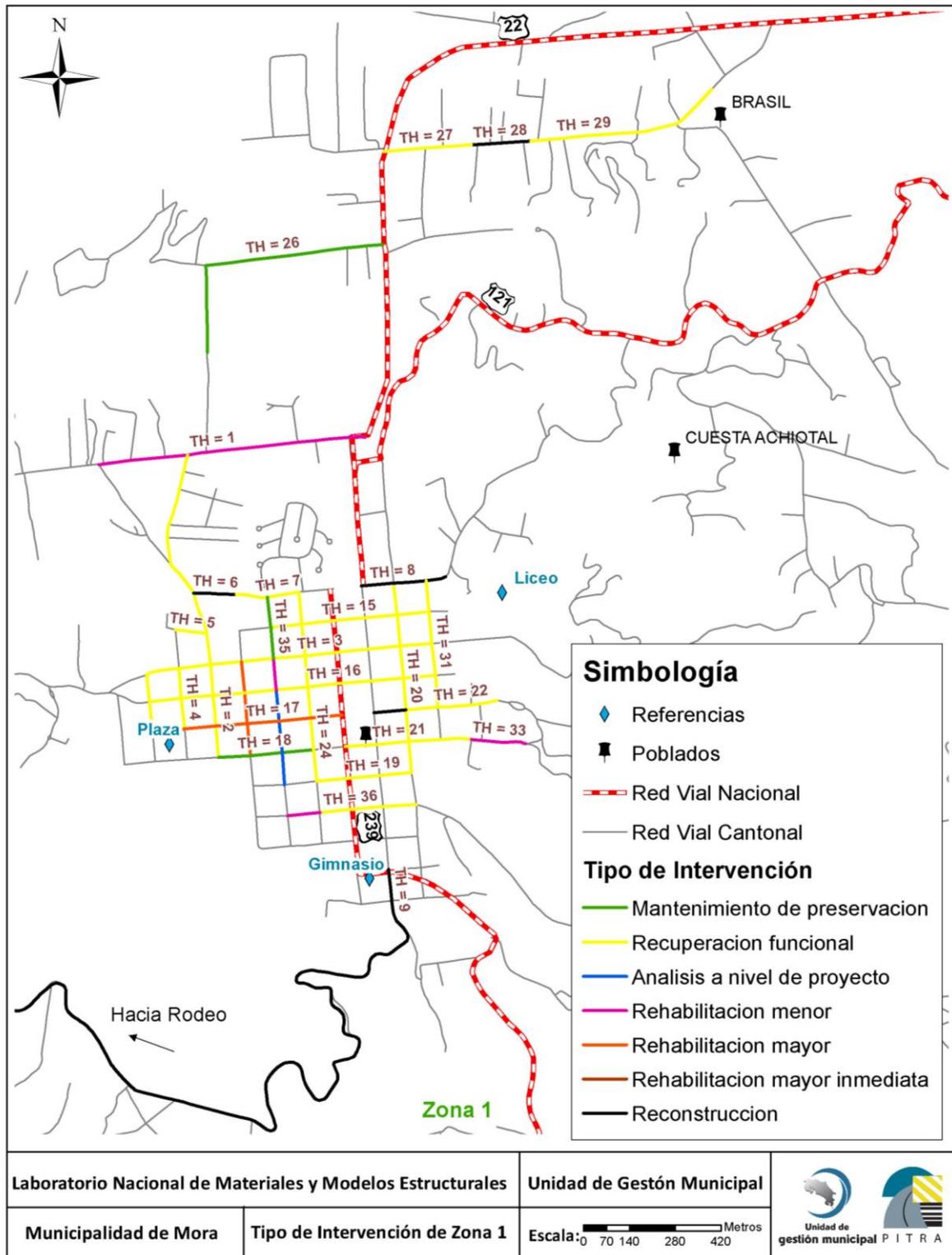
**Figura 46.** Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de Mora, según cantidad de tramos homogéneos.



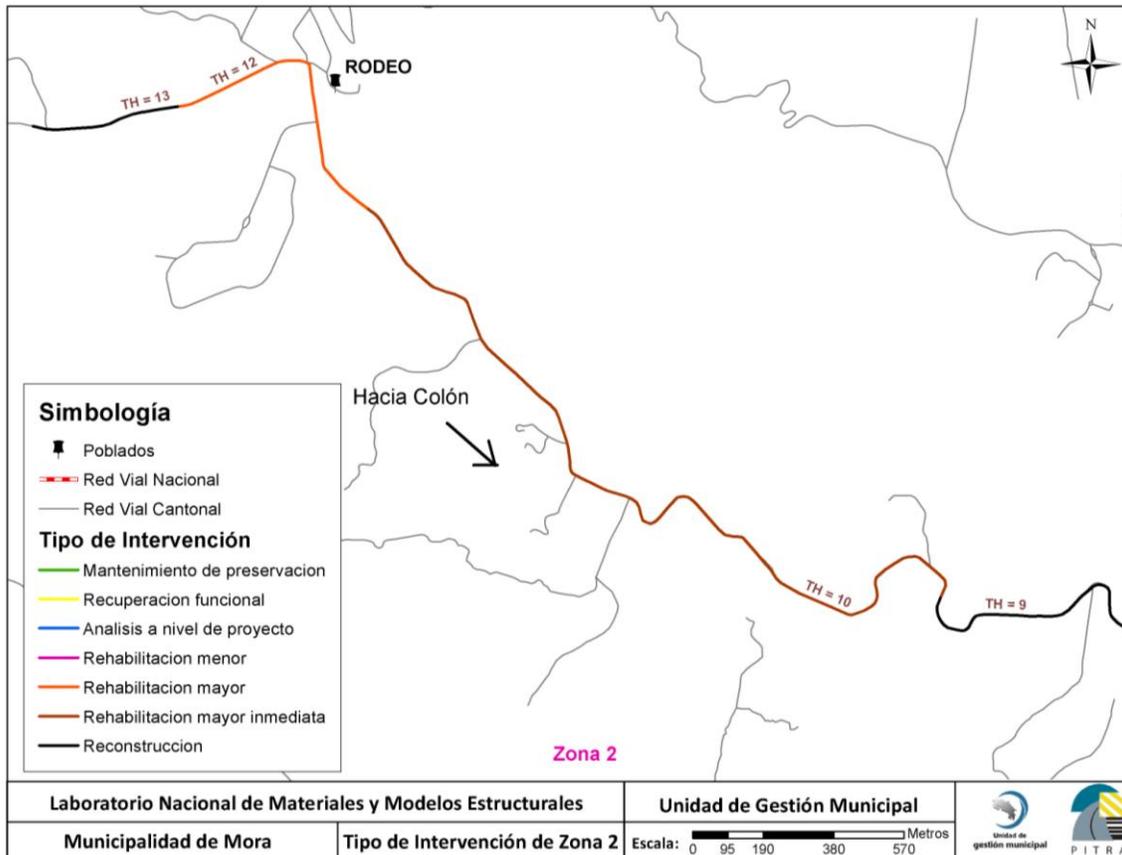
En la Figura 47 y Figura 48, se observa de manera gráfica el tipo de intervención propuesto para cada uno de los tramos homogéneos, según el estado estructural del pavimento y las mediciones del IRI.

En ambas figuras se puede observar que los tipos de intervención aplicados a pavimentos con daños más severos se encuentran en las rutas que se ubican fuera del casco central del cantón, específicamente en la carretera que sale de la ruta nacional 239 hacia el Rodeo.





**Figura 47.** Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo, zona 1.



**Figura 48.** Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo, zona 2.

### 3.4 Diseño y Costos de los Tratamientos

Como se mencionó anteriormente se consideran diferentes tipos de intervención según el estado actual en el que se encuentre cada uno de los tramos analizados:

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

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 del municipio para el avance del desarrollo del plan quinquenal.

Es importante recalcar que los costos deben ser generados para un análisis a nivel estratégico en estructuras características de las rutas municipales de Mora; por lo tanto, para presupuestar o definir con exactitud el costo específico de 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 cinco años, así como las políticas que se pretenden aplicar para priorizar las rutas o tramos homogéneos que se pretenden intervenir, es decir, los que serán incorporados al plan quinquenal del gobierno local.

Es posible realizar varios escenarios de intervención en los cuales se considere diferentes presupuestos y 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 propósito de que la municipalidad seleccione el presupuesto y la estrategia que más se adapta a sus recursos disponibles y metas institucionales.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

A partir de estos ensayos de IRI y FWD realizados en aproximadamente 18,5 km de la red vial cantonal de Mora, se analizó la condición del pavimento por medio de la elaboración de 37 tramos homogéneos o unidades discretas para facilitar la gestión municipal relacionada al mantenimiento y mejoramiento de la red, los cuales fueron obtenidos con una metodología de diferencias acumuladas.

La red analizada está constituida en su mayoría por vías con estructura de pavimento flexible (carpeta asfáltica y base granular), pero se encontraron algunas secciones de pavimento semirrígido (carpeta asfáltica y base estabilizada), por lo que se utilizó escalas de clasificación de deflectometría distintas para cada caso.

La presencia de base estabilizada en estos tramos se dedujo por medio de las diferencias en los resultados obtenidos por medio del deflectómetro de impacto (presenta deflexiones mucho menores que en el resto de las mediciones), las cuales fueron observadas directamente durante las inspecciones de campo que se realizaron, y se corroboró de acuerdo con la información obtenida a partir de los sondeos a cierto abierto que se realizaron.

En relación con condición estructural se obtuvo que aproximadamente 9 km evaluados (un 49% de la red en estudio) se encuentran en la categoría de “Bueno”, es decir, corresponden a estructuras de pavimento con capacidad de soportar adecuadamente las cargas que el tránsito vehicular le transmite, mientras que un 44% presenta deficiencias y un 7% se ubica en una condición “Regular”.

En relación con la capacidad funcional de la red evaluada no se obtuvo ningún tramo en la categoría de “Bueno”, pues el 74% de las rutas presentan condiciones “Deficientes” (13,7 km), y el restante 26% califica con valores promedio entre los 3,6 y 6,4 m/km en la categoría de “Regular”.



Los tipos de intervención aplicables a cada tramo se definieron con base en su propia condición estructural y funcional. Se obtuvo que 19 tramos homogéneos de una extensión total de 7,7 km requiere de procedimientos que permitan recuperar su capacidad funcional; así como 1,3 km deben ser intervenidos con un mantenimiento de preservación, pues actualmente se encuentran en buenas condiciones.

Se recomienda que solo un tramo de 290 m sea analizado a nivel de proyecto y que 1 km sea intervenido con trabajos de rehabilitación menor. Por el contrario, cuatro tramos de aproximadamente 4 km requieren de una rehabilitación mayor ya que presentan deficiencias estructurales, y de ellos un tramo de 2,3 km debe ser intervenido de manera inmediata para evitar que pase en poco tiempo a la categoría de Reconstrucción.

Finalmente, se obtuvo que seis tramos homogéneos de 4,1 km en total requieren ser reconstruidos parcial o totalmente pues presentan daños severos que impiden brindar buenas condiciones funcionales y estructurales a la estructura de pavimento.

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 mostradas en este informe son basadas en los ensayos de laboratorio y campo realizados durante los años 2013 y 2014, por lo que se considera pertinente comparar los resultados de este informe con la situación actual de la carretera, al momento de definirse las diferentes estrategias de intervención.**

Además, estas recomendaciones se proponen como soluciones óptimas generales a cada tramo homogéneo, 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, es decir, un plan quinquenal que defina los tramos homogéneos que se intervendrán cada año, de acuerdo con el presupuesto disponible, los tipos de intervención sugeridos y los costos de ejecución del municipio. Así mismo, se recomienda intervenir tramos que se encuentren dentro de la categoría de rehabilitación mayor (aproximadamente, un 21% de los 18,5 km evaluados) para evitar intervenciones mayores en un corto plazo, pues tramos en esta condición se deterioran con rapidez y pasan a notas de calidad R2-R3 con facilidad, lo cual implica procesos de reconstrucción e 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, 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 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.

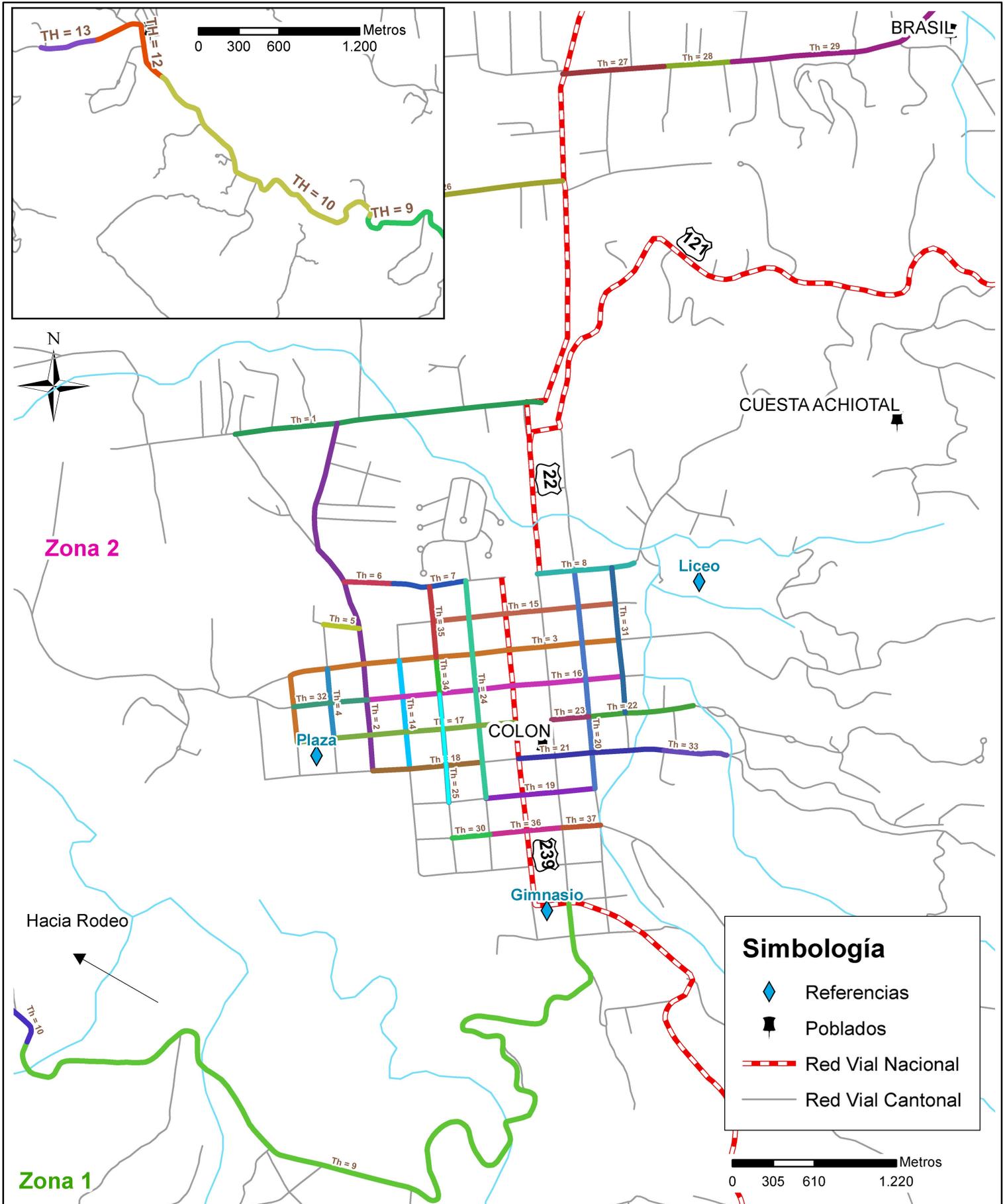
-----UL-----



## 5 REFERENCIAS

- 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.
- Wave; Department of Transportation of New Brunswick. (2005). Appendix Document, Asset Management Business Framework, New Brunswick Department of Transportation.

# Anexo 1



**Simbología**

- ◆ Referencias
- ♣ Poblados
- Red Vial Nacional
- Red Vial Cantonal