



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-INF-25-14

INFORME DE DIAGNÓSTICO: EVALUACIÓN RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA

Preparado por:
Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica
Diciembre, 2014



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

Información técnica del documento

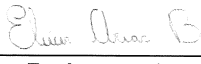
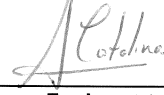
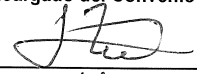
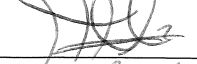
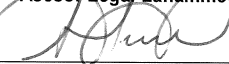

1. Informe LM-PI-GM-INF-25-14		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: INFORME DE DIAGNÓSTICO: EVALUACIÓN RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA		4. Fecha del Informe: Diciembre, 2014
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias		
7. Resumen <i>En los meses de mayo y junio del año 2013 se realizaron ensayos de IRI y FWD en las principales rutas asfaltadas de la red vial cantonal de Santa Ana, con el propósito de obtener un diagnóstico de la condición funcional y estructural del pavimento.</i> <i>Además, a la fecha se han realizado 18 conteos vehiculares distribuidos estratégicamente en las zonas de Pozos, Salitral, Chimba y en el casco central del cantón; también se han realizado 36 sondeos la mayoría con su respectiva información de granulometría, límites de Atterberg, CBR y medición del espesor de cada una de las capas que componen la estructura de pavimento.</i> <i>La red vial en estudio fue analizada de acuerdo con su condición funcional por medio del Perfilómetro Inercial Láser con mediciones cada 25 metros, y se encontró que únicamente un 11% de éstas se consideran en condición "Buena", mientras que en contraparte, un 49% presentaron índices mayores a los 6,4 m/km, lo que corresponde a "Malas" condiciones de servicio para los usuarios. El 40% restante de las evaluaciones se ubicaron en una categoría de "Regular".</i> <i>La evaluación de la capacidad estructural presentó mejores condiciones, pues un 51% de las deflexiones medidas cada 50 metros fueron menores a los 80,3 mm², es decir, que tienen una adecuada resistencia a las cargas aplicadas por el flujo vehicular de la zona. Un 10% de las mediciones se categorizó como "Regular", mientras que el otro 39% mostró una capacidad "Deficiente" para distribuir las cargas adecuadamente sobre la estructura de pavimento.</i> <i>En este documento se hace entrega de un informe de diagnóstico de la evaluación de la red vial cantonal incluida en el convenio, pues finalizados los sondeos a cielo abierto y los conteos, se procederá a definir tramos homogéneos con el propósito de brindar propuestas de intervención a nivel de red para las estructuras de pavimento de acuerdo con sus necesidades actuales, ya sean estructurales, funcionales o ambas.</i>		
8. Palabras clave Diagnóstico, evaluación, RVC, Santa Ana	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas: 52
11. Preparado por: Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Gestión Municipal  Fecha: / /	12. Revisado por: Ing. Catalina Vargas Sobrado Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 19 / 12 / 14	12. Revisado por: Ing. Alonso Ulate Castillo Unidad de Gestión Municipal Encargado del Convenio  Fecha: 19 / 12 / 14
13. Revisado por: Carlos Campos Cruz, Mba Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 19 / 12 / 14	14. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR  Fecha: / /	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: / /



TABLA DE CONTENIDO

1 ANTECEDENTES	6
1.1 Asesoría técnica	6
1.2 Capacitación.....	7
2 PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL	7
2.1 Importancia.....	7
2.2 Sistema de administración de pavimentos (SAP)	7
2.3 Proceso de Gestión de Infraestructura Vial Municipal.....	10
2.4 Esquema Metodológico	11
3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA	12
3.1 Objetivo	12
3.2 Alcance.....	12
3.2.1 Tránsito promedio diario (TPD).....	14
3.2.2 Identificar la condición funcional	21
3.2.3 Identificar condición estructural	26
3.2.4 Caracterizar la estructura de pavimento.	31
3.2.5 Caracterización de la estructura del pavimento y definición de tramos homogéneos.....	49
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
4.1 Conclusiones	49
4.2 Recomendaciones	51
5 REFERENCIAS	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos.....	8
Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.....	10
Figura 3. Esquema metodológico.....	11
Figura 4. Zonificación de la red vial cantonal analizada en Santa Ana.....	13
Figura 5. Mangueras y contadores automáticos en sitio.....	15
Figura 6. Configuración de los contadores.....	15
Figura 7. Ubicación de los conteos en la localidad de Santa Ana, Zona 1.....	16
Figura 8. Ubicación de los conteos en la localidad de Santa Ana, Zona 2.....	17
Figura 9. Ubicación de los conteos en la localidad de Santa Ana, Zona 3.....	18
Figura 10. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Santa Ana, Zona 1.....	19
Figura 11. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Santa Ana, Zona 2.....	20
Figura 12. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Santa Ana, Zona 3.....	21
Figura 13. Representación física del Índice de Regularidad Internacional.....	22
Figura 14. Perfilómetro Inercial Láser.....	22
Figura 15. Condición del IRI para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 1.....	23
Figura 16. Condición del IRI para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 2.....	24
Figura 17. Condición del IRI para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 3 y 4.....	25
Figura 18. Distribución porcentual de la condición según el IRI.....	25
Figura 19. Equipo de deflectometría de impacto.....	26
Figura 20. Condición del pavimento para una estructura con base granular.....	27
Figura 21. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 1.....	28
Figura 22. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 2.....	29
Figura 23. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 3 y 4.....	30
Figura 24. Distribución porcentual de la condición según FWD.....	30
Figura 25. Ejemplo de estructura de pavimento.....	31
Figura 26. Caracterización según SUCS en Santa Ana, zona 1.....	35
Figura 27. Caracterización según SUCS en Santa Ana, zona 2.....	36
Figura 28. Caracterización según SUCS en Santa Ana, zonas 3 y 4.....	37
Figura 29. Caracterización según AASHTO en la localidad de Santa Ana, zona 1.....	40
Figura 30. Caracterización según AASHTO en la localidad de Santa Ana, zona 2.....	41

Figura 31. Caracterización según AASHTO en la localidad de Santa Ana, zonas 3 y 4. 42

Figura 32. Prueba de CBR en sitio..... 44

Figura 33. Clasificación del CBR según Bowles, en la localidad de Santa Ana, zona 1. 45

Figura 34. Clasificación del CBR según Bowles, en la localidad de Santa Ana, zona 2. 46

Figura 35. Clasificación del CBR según Bowles, en la localidad de Santa Ana, zonas 3 y 4.47

INDICE DE CUADROS

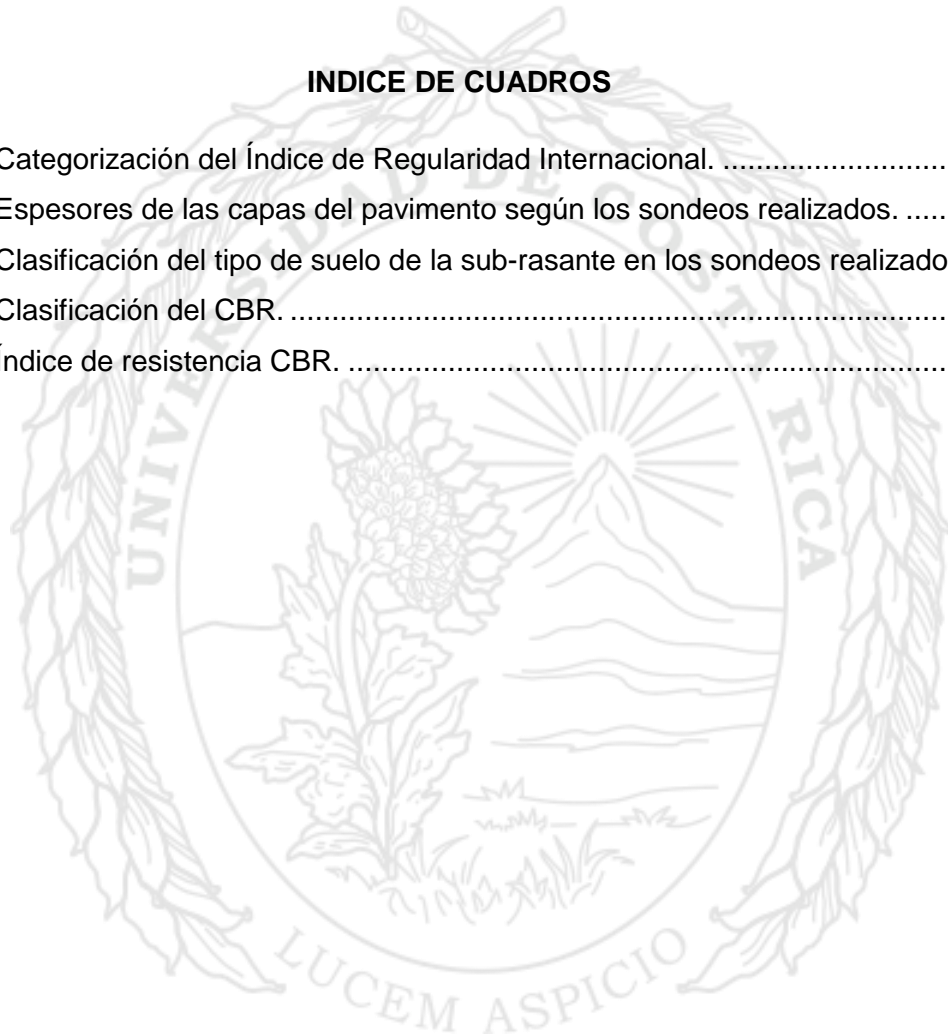
Cuadro 1. Categorización del Índice de Regularidad Internacional. 23

Cuadro 2. Espesores de las capas del pavimento según los sondeos realizados. 32

Cuadro 3. Clasificación del tipo de suelo de la sub-rasante en los sondeos realizados..... 43

Cuadro 4. Clasificación del CBR. 45

Cuadro 5. Índice de resistencia CBR. 48





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 (RVC) y en lo que razonablemente sea aplicable, las municipalidades y la Universidad de Costa Rica, por intermedio del Lanamme, podrán celebrar convenios que les permita realizar, en la circunscripción territorial municipal, tareas equivalentes a las establecidas en los incisos anteriores (La Gaceta 196, 2007).”

La Municipalidad de Santa Ana solicitó apoyo del LanammeUCR para realizar una evaluación de la condición de la Red Vial Cantonal para obtener información técnica a emplear en la elaboración del Plan Quinquenal de Conservación de la Red Vial Cantonal.

Con el propósito de unir esfuerzos para lograr objetivos comunes, la Municipalidad de Santa Ana y la Universidad de Costa Rica firmaron 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 Santa Ana.
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.

Informe LM-PI-GM-INF-25-14	Fecha de emisión: Diciembre, 2014	Página 6 de 52
----------------------------	-----------------------------------	----------------



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.

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, señalización vertical y horizontal, taludes, terraplenes, dispositivos de seguridad tales como barreras de contención, drenajes, espaldón, entre otros. La red vial debe ser capaz de permitir un servicio de transporte con un nivel adecuado, eficiente y eficaz para sus usuarios.

Un sistema de administración de infraestructura vial contempla la administración adecuada de los recursos económicos y humanos disponibles, de manera que sean optimizados para conservar y rehabilitar cada uno de sus componentes, procurando que funcionen como un conjunto armónico en función del usuario, que propicie 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 y tiempos de viaje; y como segundo objetivo, debe encargarse de 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 cantonal de la Municipalidad de Santa Ana, por medio de 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

Informe LM-PI-GM-INF-25-14	Fecha de emisión: Diciembre, 2014	Página 7 de 52
----------------------------	-----------------------------------	----------------

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 y/o rehabilitación. De manera general, los pavimentos y carreteras deben ofrecer comodidad de viaje a los usuarios, 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 continua.

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, con el fin de dar un mejor aprovechamiento y rentabilidad de los recursos disponibles.

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



Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos.
Fuente: Modificado de Haas, 1993.



La gestión de pavimentos debe ser fácil de utilizar 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 involucre requerimientos esenciales como:

- Ser fácil de utilizar y con la capacidad de agregar, actualizar y modificar el sistema con nuevos datos de entrada.
- Capacidad de considerar estrategias alternativas dentro de la evaluación.
- Capacidad de identificar la estrategia o alternativa óptima.
- Capacidad de basar sus decisiones en procedimientos racionales, con atributos, criterios y restricciones cuantificables.
- Capacidad de utilizar la información para la retroalimentación del sistema y llevar un control del cambio en las condiciones de la red.

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

La generación y aplicación del SAP se torna cada vez más importante en consecuencia del crecimiento de la población, el incremento de la flota vehicular y de la actividad económica que por ende generan un mayor tránsito en las carreteras, es decir, mayores pesos y cargas que afectan la estructura de los pavimentos. 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 particular importancia: *el pavimento*, sin embargo, en forma progresiva deben aplicarse herramientas que permitan gestionar la conservación e

incorporación de 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; en la figura 2 se muestra el flujograma para el proceso de gestión vial en el ámbito municipal.

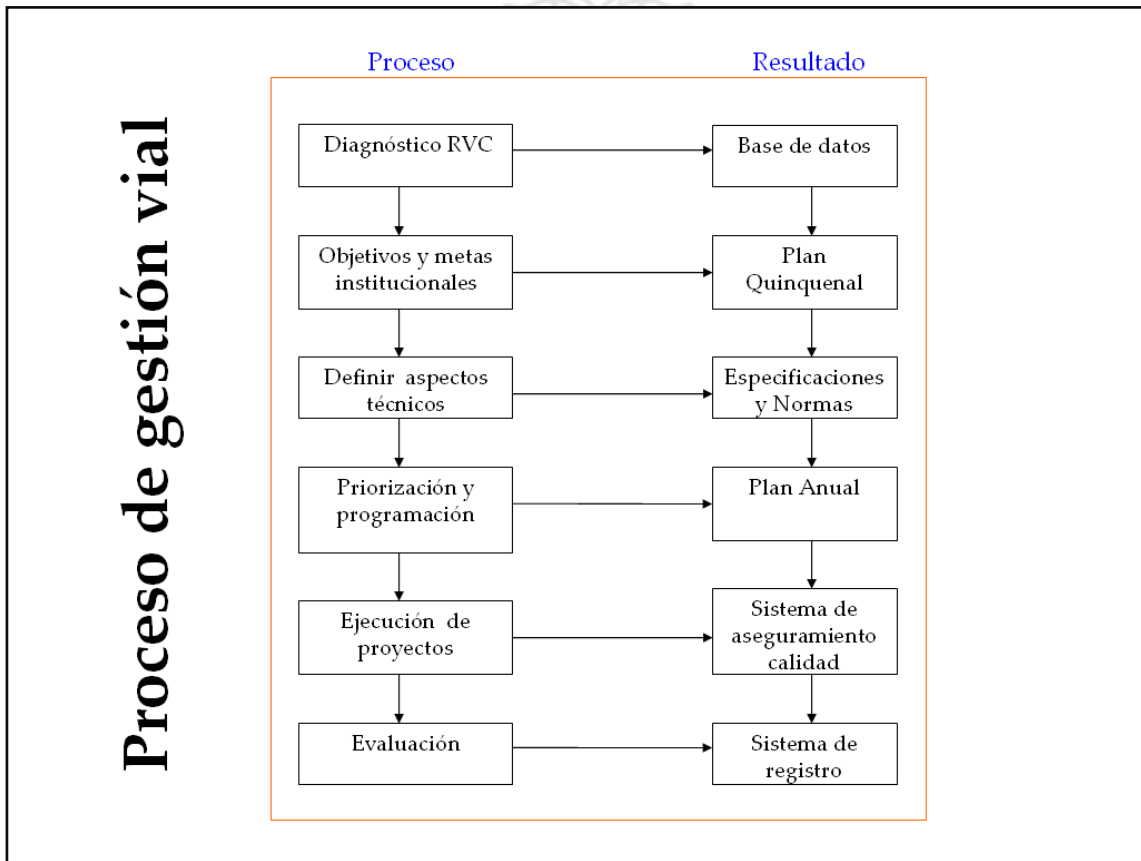


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Se elabora el diagnóstico de la red vial cantonal (RVC), del cual el producto principal es la generación de una base de datos que permite determinar el estado actual de la red, convirtiéndose en un 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) que permiten maximizar los recursos.
- Nivel táctico: planes que priorizan los proyectos por realizar a mediano plazo (4 ó 5 años).
- Nivel operativo: se enfoca en el diseño de los proyectos por ejecutar en el año siguiente.

2.4 Esquema Metodológico

En la figura 3 se presenta el esquema metodológico general para desarrollar el diagnóstico de la RVC, en el cual a partir de los datos generados por el diagnóstico se pueden obtener diferentes escenarios de inversión, según las posibilidades financieras del municipio. Actualmente, en la Municipalidad de Santa Ana se realizan cuatro de los elementos disponibles: conteos vehiculares, sondeos a cielo abierto, índice de regularidad internacional y deflectometría.

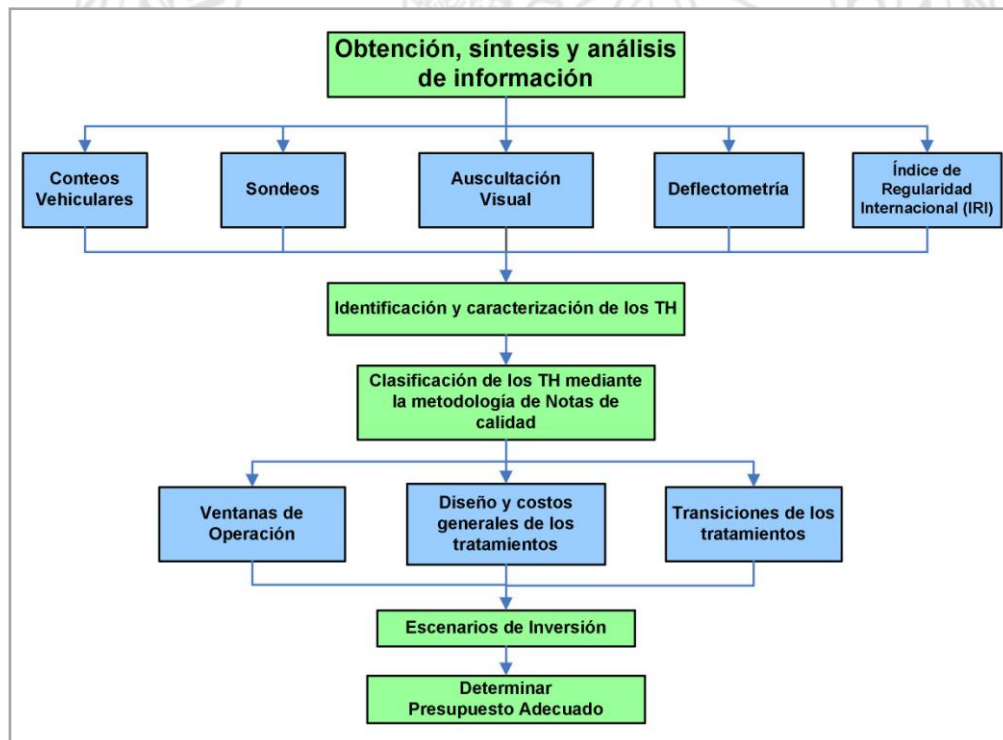


Figura 3. Esquema metodológico.



3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA

3.1 Objetivo

Realizar una evaluación en la RVC de Santa Ana con el fin de obtener una base de datos que reúna las diferentes características técnicas de la infraestructura vial.

3.2 Alcance

En este informe se presenta un diagnóstico de la evaluación que se realiza en la RVC de Santa Ana por medio de las actividades que se enumeran a continuación; sin embargo, posteriormente se entregará un Informe Final que utilice la información de este documento como insumo, con el propósito de definir tramos homogéneos que ayuden a determinar posibles tipos de intervención a la estructura de pavimento a nivel de red.

1. Determinación del tránsito promedio diario (TPD) y su respectiva clasificación vehicular.
2. Identificación de la condición funcional.
3. Identificación de la condición estructural.
4. Caracterización de la estructura del pavimento.

En la Figura 4 se muestra en líneas color verde la red vial cantonal analizada en este informe; sin embargo, fue dividida en 4 zonas para presentar gráficamente los resultados de una mejor manera. La zona 1 (enmarcada en color azul) corresponde a la localidad de Pozos y Forum I y II, en la zona 2 (enmarcada en color morado) se ubican las localidades de Concepción y Santa Ana centro, en la zona 3 (enmarcada en color verde) se encuentra la comunidad de Brasil y Piedades, y en la zona 4 (enmarcada en color anaranjado) Salitral.

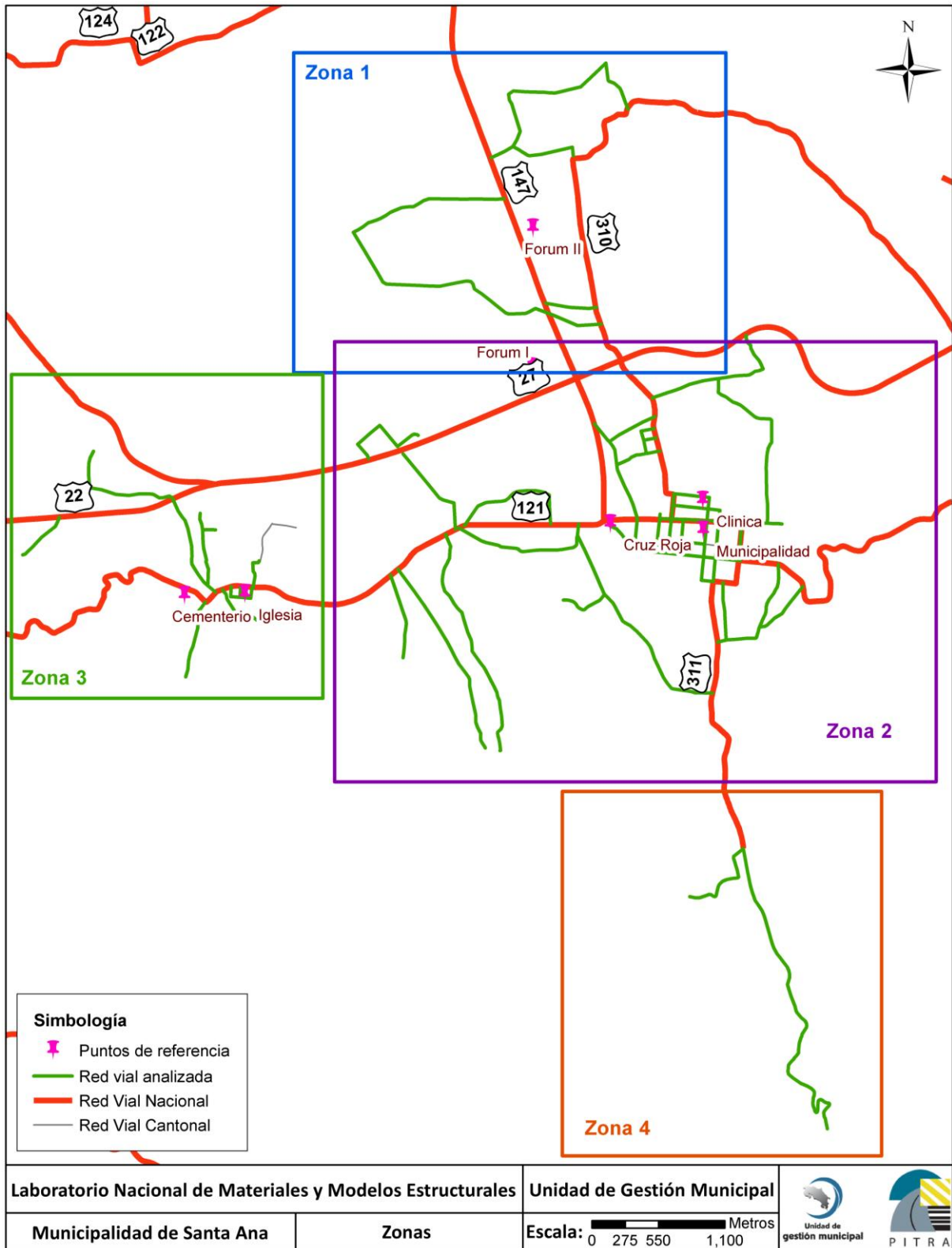


Figura 4. Zonificación de la red vial cantonal analizada en Santa Ana.



3.2.1 Tránsito promedio diario (TPD)

Para realizar un adecuado planeamiento de la inversión en la infraestructura vial es fundamental conocer las características del tránsito que circula sobre la estructura del pavimento, tanto en cantidad como tipo de vehículos. Los datos actualizados del tráfico permiten identificar la demanda vehicular de la zona, el cual es un dato básico para diseñar una estructura del pavimento que se adapte a las necesidades del sitio, o bien para implementar medidas correctivas como un refuerzo o mantenimiento oportuno.

Por esto, la UTGVM de la Municipalidad de Santa Ana realizó conteos vehiculares sobre sitios representativos de la red vial del cantón por medio de un contador neumático facilitado por el LanammeUCR, después de que los responsables de la UTGVM recibieran la respectiva capacitación.

Algunos aspectos que se deben considerar al realizar conteos de tránsito son:

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

Dado que el volumen y tipo de tránsito cambian constantemente, se recomienda realizar los conteos de manera periódica, aproximadamente cada año o máximo cada dos años. Además, de esta manera se identifica la tasa de crecimiento del tránsito vehicular para la red.

A continuación, se presentan dos configuraciones recomendadas para la colocación de los contadores vehiculares en campo (ver figura 5 y Ffigura 6).

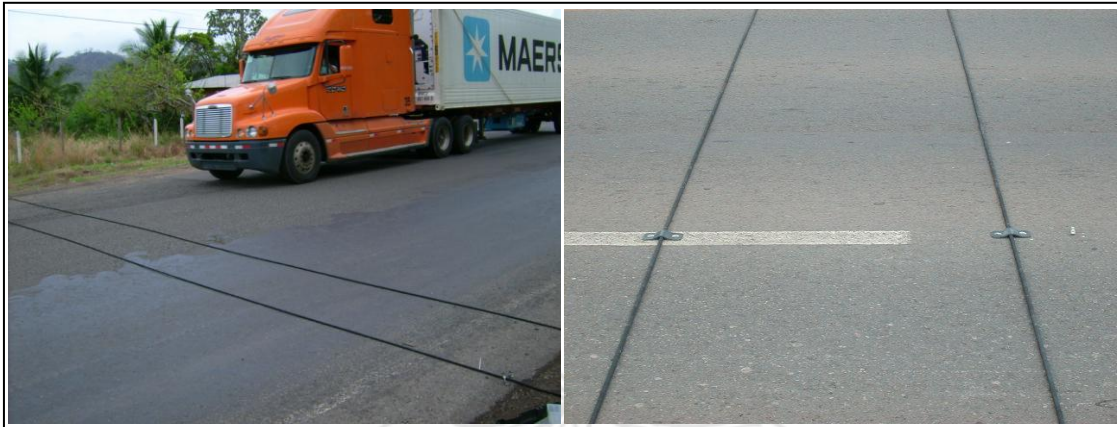


Figura 5. Mangueras y contadores automáticos en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

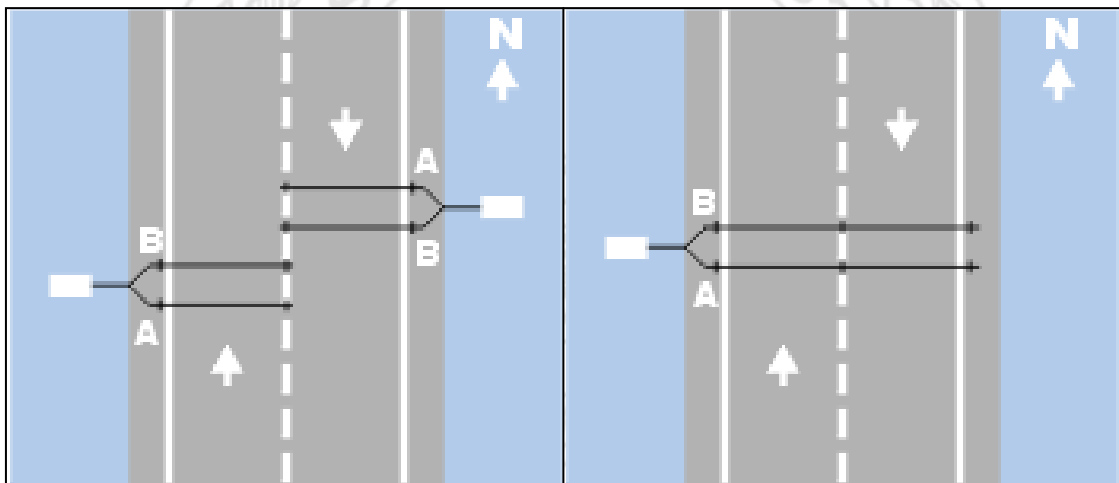


Figura 6. Configuración de los contadores.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

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 en pérdida de precisión.

Durante los años 2013 y 2014, la Municipalidad de Santa Ana ha realizado un total de 18 conteos vehiculares en calles representativas del cantón, con el propósito de caracterizar la flota vehicular y conocer el tipo de cargas a las cuales está sometida la estructura de pavimento. Se espera que esta cantidad aumente a un total de 34 conteos dado que actualmente se están realizando y procesando los conteos faltantes (16 conteos), por lo tanto

la base de datos y los resultados completos serán presentados en el informe final. En la Figura 7, Figura 8 y Figura 9 se muestra la ubicación exacta y el TPDA de los conteos realizados.

Es importante mencionar que los conteos 9 y 26 fueron realizados sobre rutas de la Red Vial Nacional, por lo que no serán considerados en el análisis de tramos homogéneos que se desarrollará más adelante cuando se disponga de la información de los sondeos a cielo abierto, y que será entregado en el informe final.

En consecuencia de que son los vehículos pesados los que ejercen un mayor desgaste del pavimento, en la Figura 10, Figura 11 y Figura 12 se muestra el porcentaje de vehículos pesados que transitan sobre las vías en estudio; se puede observar que el promedio corresponde a un valor de 5,7%, con valores mínimos y máximos de 1,9% y 11,2%, respectivamente, los cuales corresponden a valores relativamente bajos.

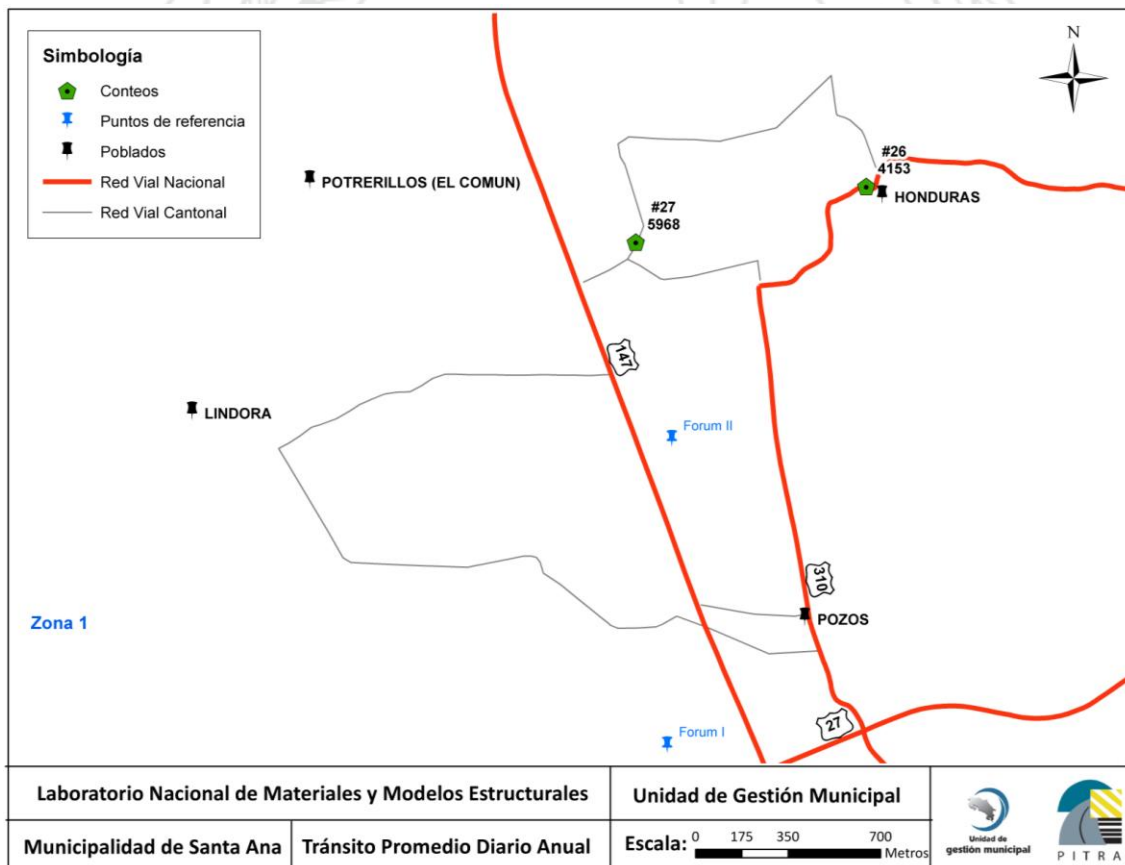


Figura 7. Ubicación de los conteos en la localidad de Santa Ana, Zona 1.

Fuente: LanammeUCR, 2014 (Información recopilada por UTGVM-Santa Ana).

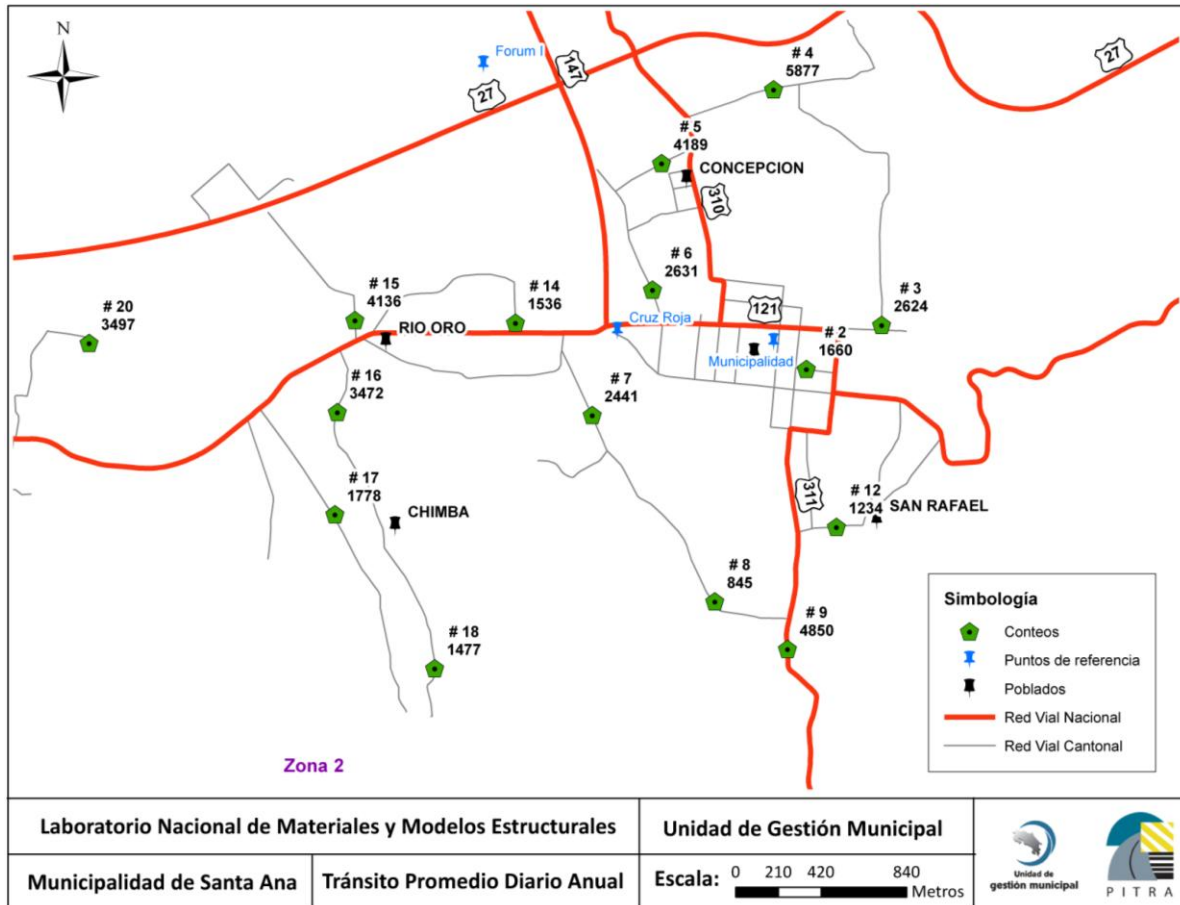


Figura 8. Ubicación de los conteos en la localidad de Santa Ana, Zona 2.

Fuente: LanammeUCR, 2014 (Información recopilada por UTGVM-Santa Ana).

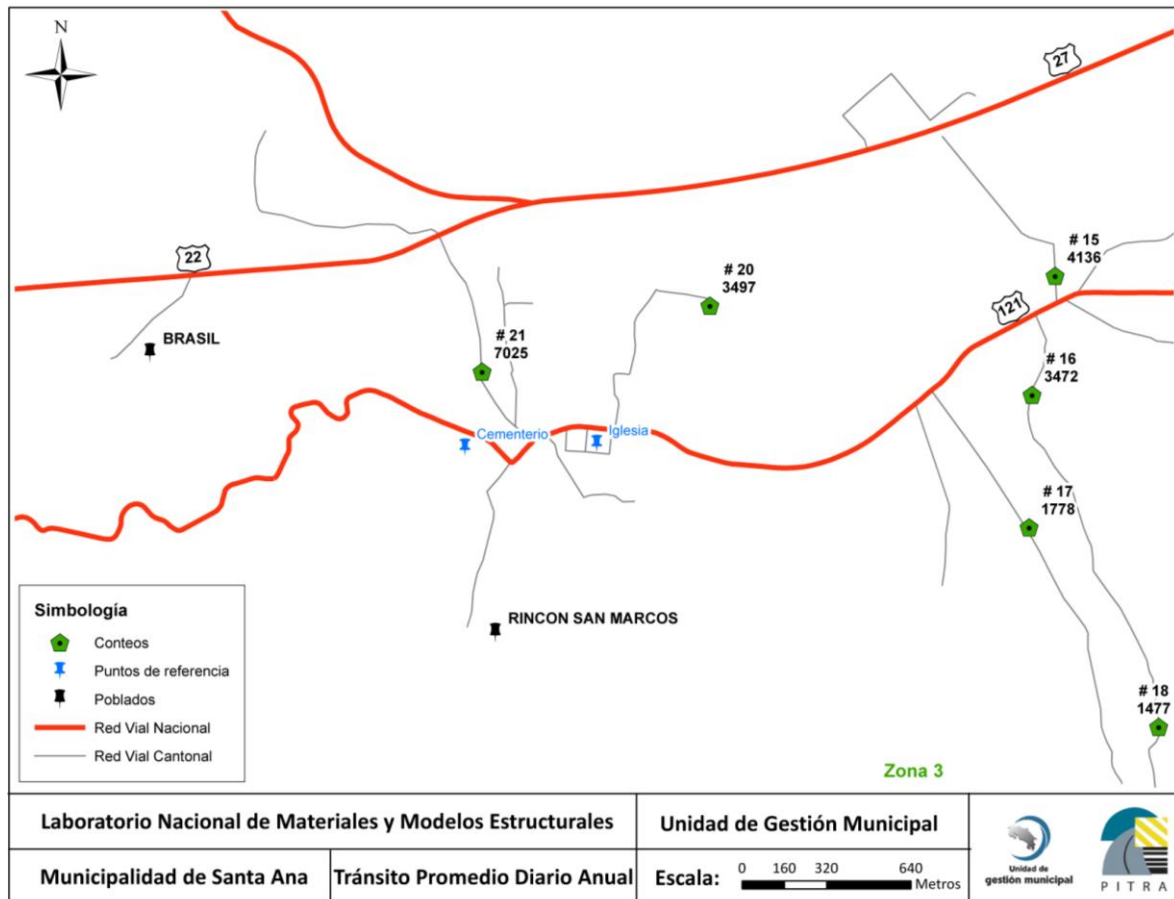


Figura 9. Ubicación de los conteos en la localidad de Santa Ana, Zona 3.

Fuente: LanammeUCR, 2014 (Información recopilada por UTGVM-Santa Ana).

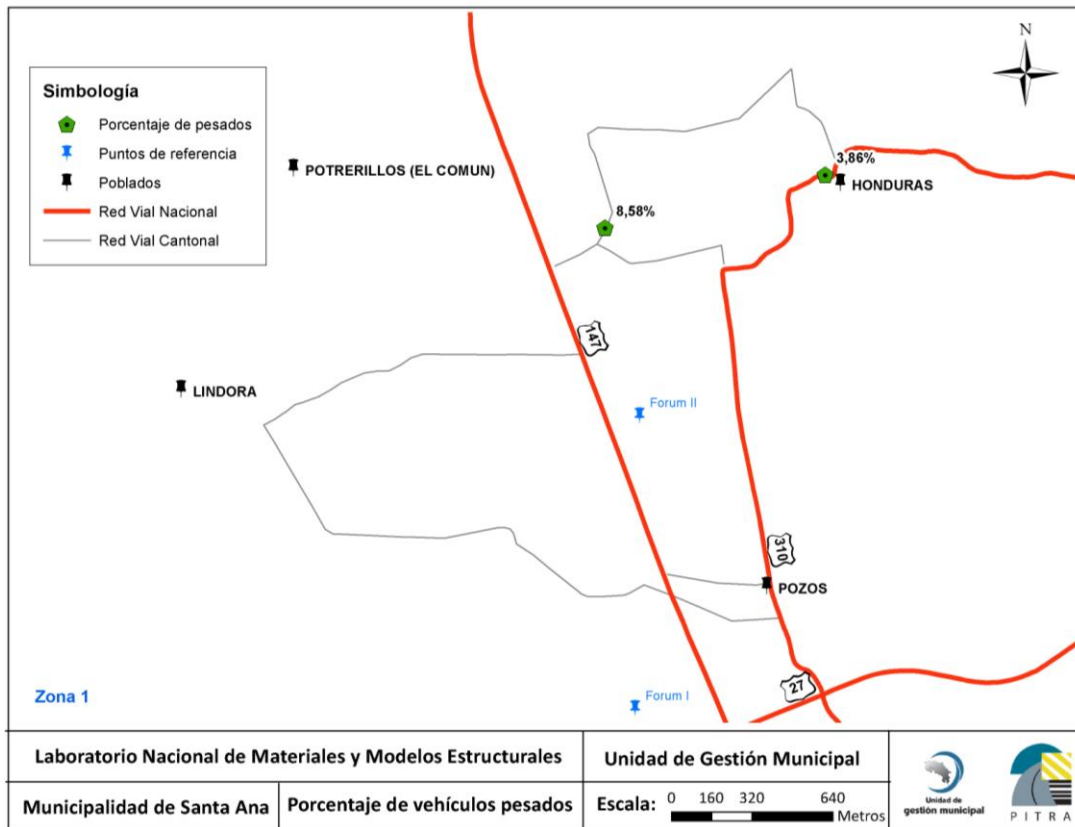


Figura 10. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Santa Ana, Zona 1.
Fuente: LanammeUCR, 2014 (Información recopilada por UTGVM-Santa Ana).

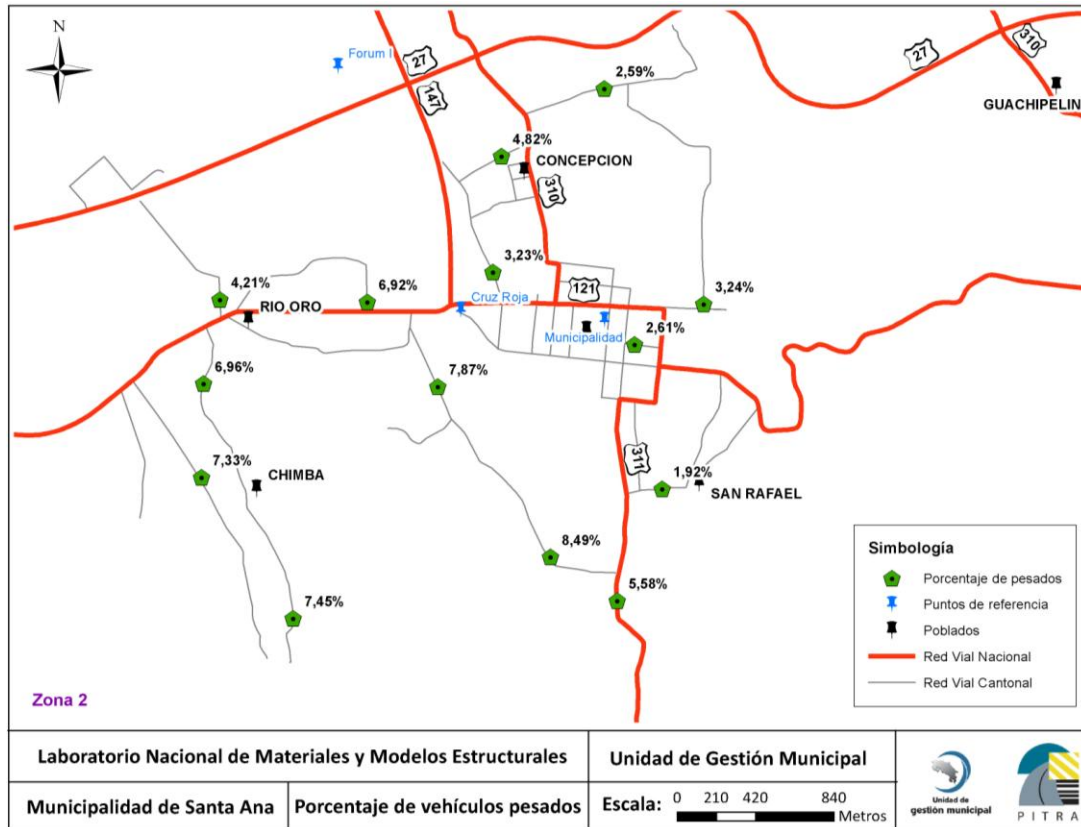


Figura 11. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Santa Ana, Zona 2.

Fuente: LanammeUCR, 2014 (Información recopilada por UTGVM-Santa Ana).

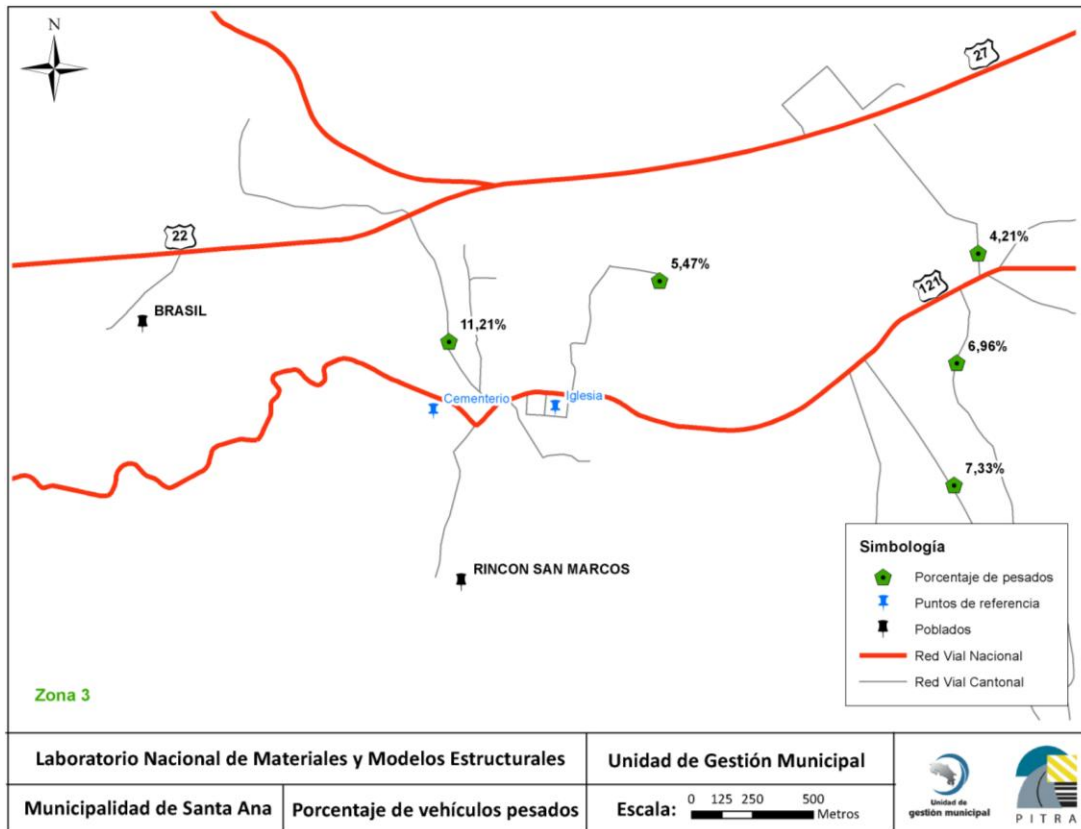


Figura 12. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Santa Ana, Zona 3.

Fuente: LanammeUCR, 2014 (Información recopilada por UTGVM-Santa Ana).

3.2.2 Identificar la condición funcional

La condición funcional de una carretera corresponde a la habilidad de la vía para proporcionar servicio y confort a los usuarios, y es estimada 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 gestión de pavimentos, pues se encuentra relacionado con los costos de operación de los vehículos y la vida útil de los pavimentos.

Este parámetro 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; además, está definido por el valor de referencia de la pendiente

promedio rectificada (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 13.

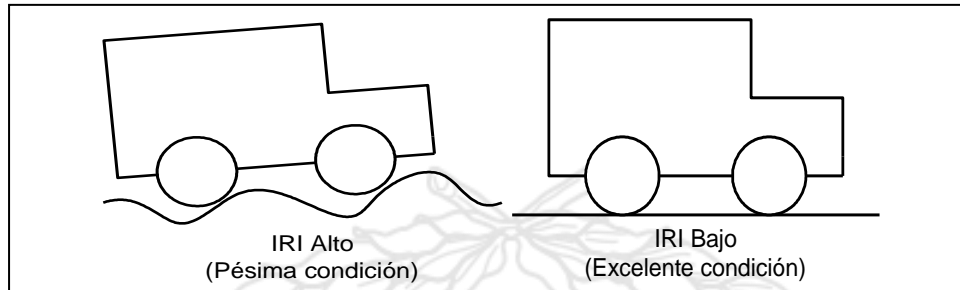


Figura 13. Representación física del Índice de Regularidad Internacional.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino; sin embargo, puesto que el IRI es el valor medio de los IRI unitarios, para ser preciso se debe especificar la longitud para la cual se determina dicho valor.

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

El equipo Perfilómetro Inercial Láser, propiedad del LanammeUCR, mide la distancia del suelo al vehículo con un medidor láser ubicado en la parte delantera del vehículo, como se muestra en el esquema de funcionamiento del equipo de la figura 14.

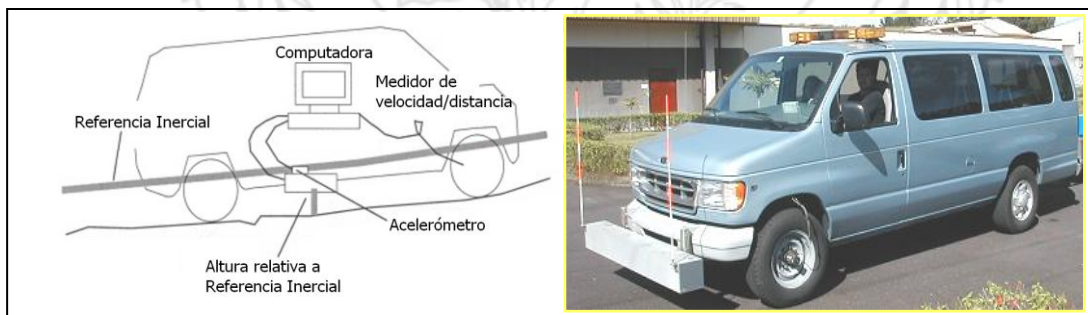


Figura 14. Perfilómetro Inercial Láser.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El IRI se calculó sobre la red vial pavimentada cada 25 metros durante el mes de junio del año 2013 abarcando todas las rutas contempladas en el convenio; es decir, se cubrió una longitud aproximada de 35 km. En la Figura 15, Figura 16 y Figura 17 se muestran gráficamente los resultados de estas mediciones, las cuales se clasificaron según la calidad funcional en cuatro rangos como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 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

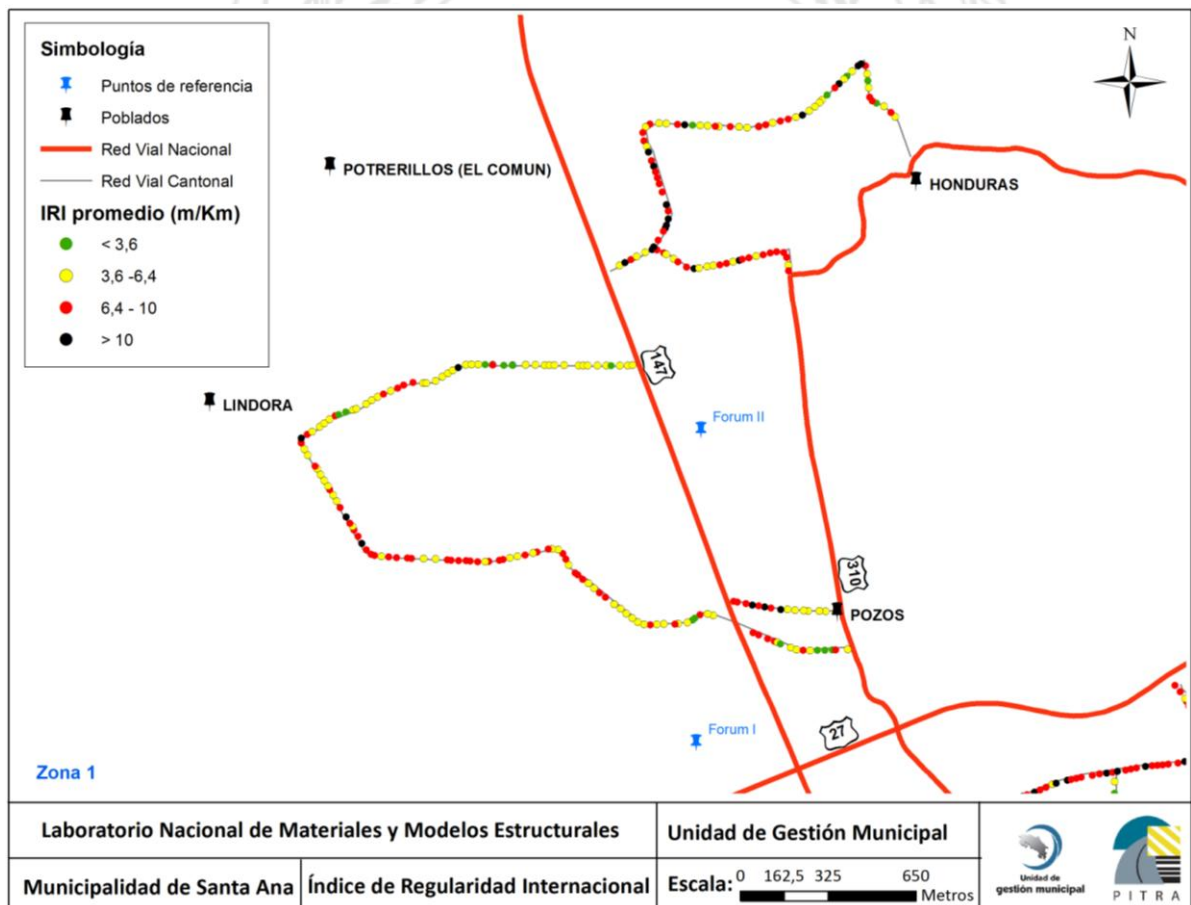


Figura 15. Condición del IRI para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 1.

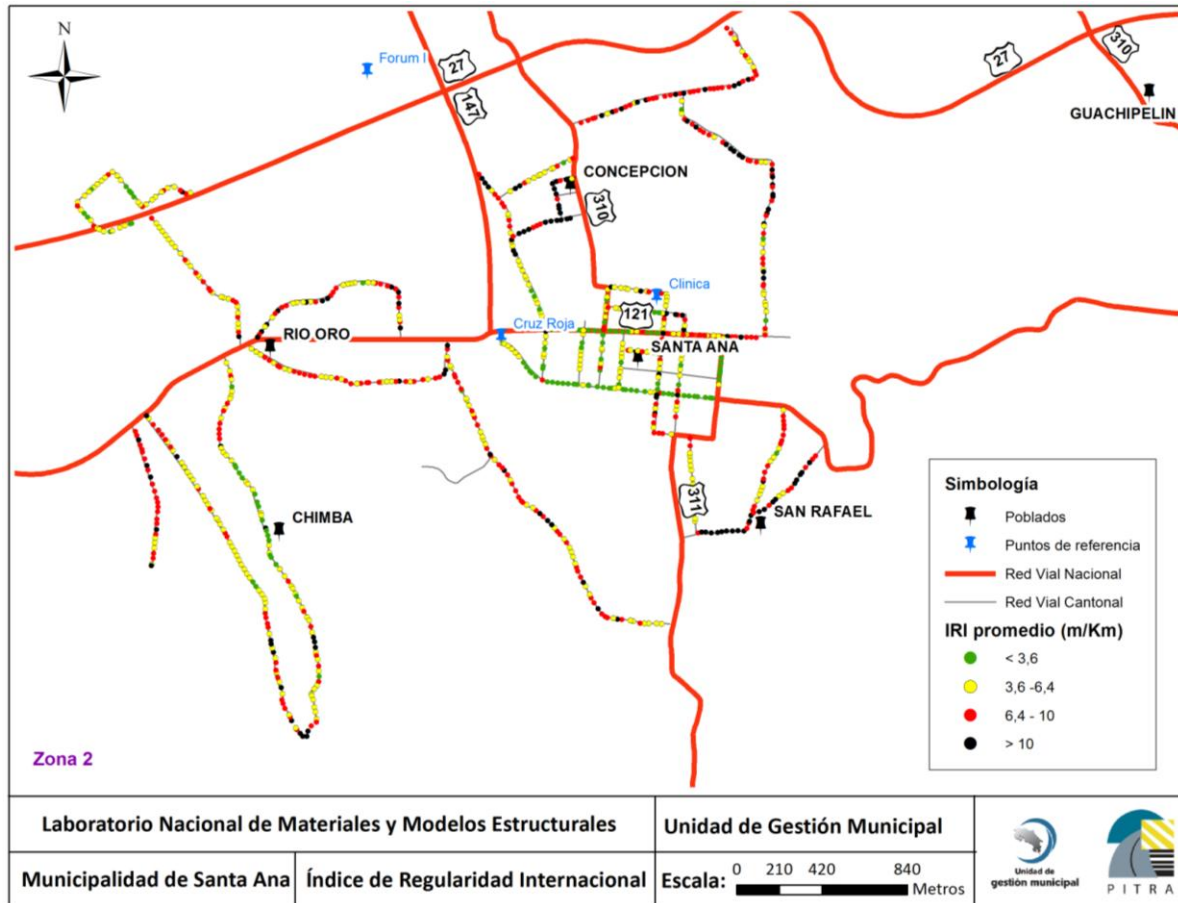


Figura 16. Condición del IRI para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 2.

En la figura 18 se presenta la distribución porcentual de cada una de las mediciones de IRI en las cuatro categorías definidas. Se determinó que la más amplia es la categoría "Regular" con un 40% de las mediciones, seguida de la categoría "Malo" con un 33% y "Muy malo" de 16%; es decir, un 49% de la evaluación presenta valores mayores a 3,6 m/km lo cual caracteriza a una superficie de rudo con bajo nivel de confort y altos gastos de operación para los vehículos que la transitan. Únicamente 11% de las mediciones presenta una "Buena" condición funcional.

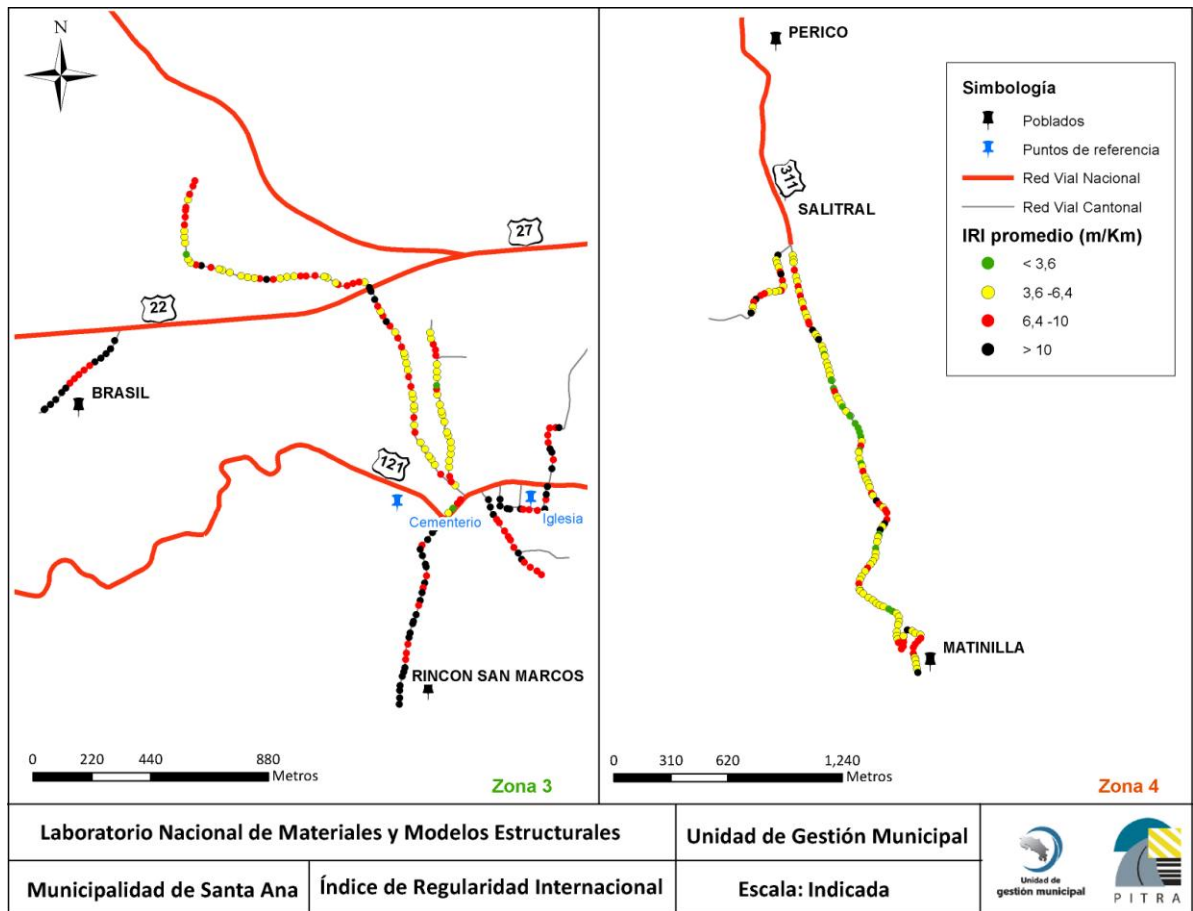


Figura 17. Condición del IRI para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 3 y 4.

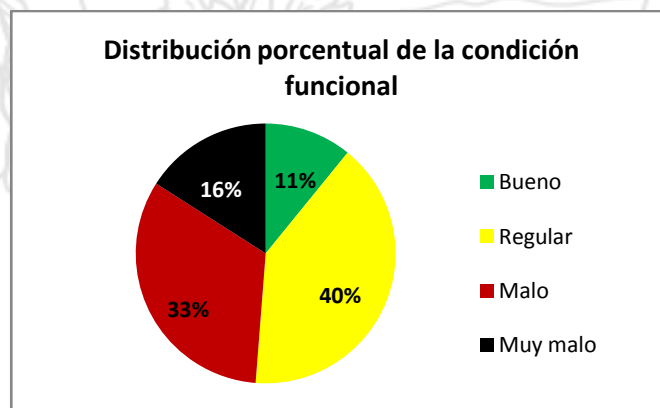


Figura 18. Distribución porcentual de la condición según el IRI.

3.2.3 Identificar condición estructural

Conocer la capacidad estructural de un pavimento permite determinar la respuesta que éste tendrá ante las cargas de tránsito a las que se encuentra expuesto, y es posible determinarla mediante la utilización de equipos como el Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés).

El procedimiento para la aplicación de este equipo consiste en dejar caer una carga de impacto estándar sobre el pavimento y medir las deflexiones en nueve puntos a diferentes distancias respecto al punto exacto donde se aplicó la carga. A continuación en la Figura 19 se muestra el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.

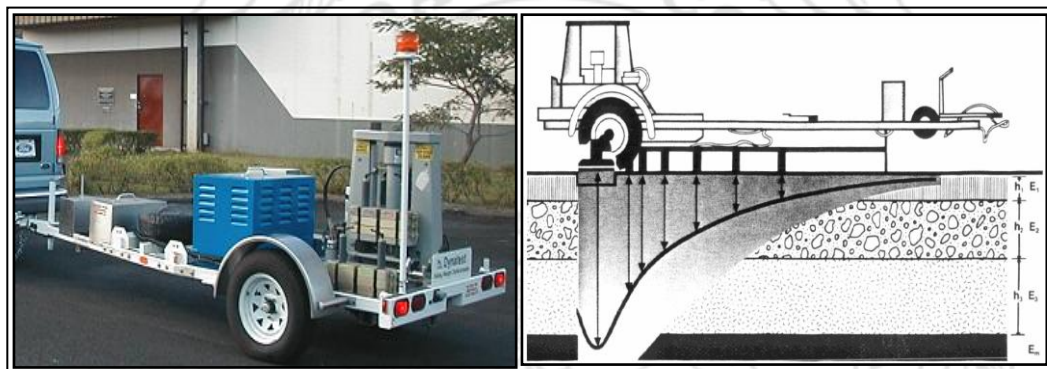


Figura 19. Equipo de deflectometría de impacto.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Al igual que para la clasificación del estado de una vía según los valores de IRI, la clasificación utilizada para los valores de deflectometría son tomados a partir de un estudio realizado por el LanammeUCR (Proyecto LM-PI-GM-03-2014, LanammeUCR), en el cual se determinaron rangos según las distintas categorías de TPD. En la figura 20 se presenta la clasificación de deflectometría para una estructura de pavimento con base granular.

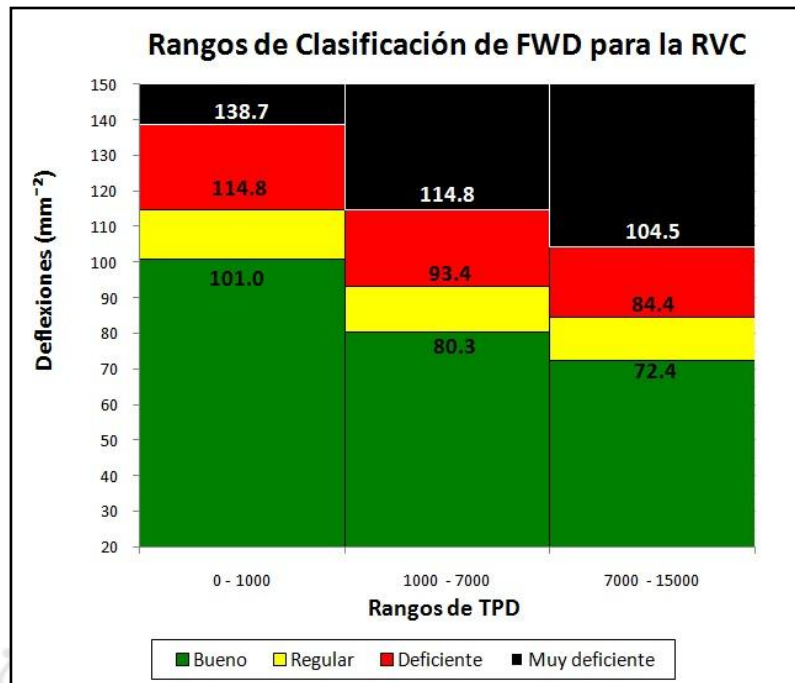


Figura 20. Condición del pavimento para una estructura con base granular.

Fuente: LanammeUCR, 2014.

Para la red vial de Santa Ana estas mediciones se realizaron con el equipo Deflectómetro de Impacto cada 50 metros a lo largo de la red considerada en el convenio, durante el mes de mayo del 2013. A continuación en la Figura 21, Figura 22 y Figura 23, se muestra gráficamente la evaluación realizada. En la localidad de Salitral (ver Figura 23) se identifica la mayor cantidad de mediciones en categoría "Buena", y se observa que únicamente dos mediciones superaron los 114,8 mm⁻² siendo catalogados en condición "Muy deficiente" para un flujo vehicular entre 1000 y 7000 vehículos diarios.

En el gráfico de la figura 24 se muestra que un 51% de todas las mediciones realizadas presentan una buena condición estructural, es decir, soportan adecuadamente las cargas que le generan los vehículos. Sin embargo, un 39% de las mediciones del pavimento presentan un desempeño deficiente, por lo que requiere de acciones de mejora o reconstrucción para trabajar de manera óptima

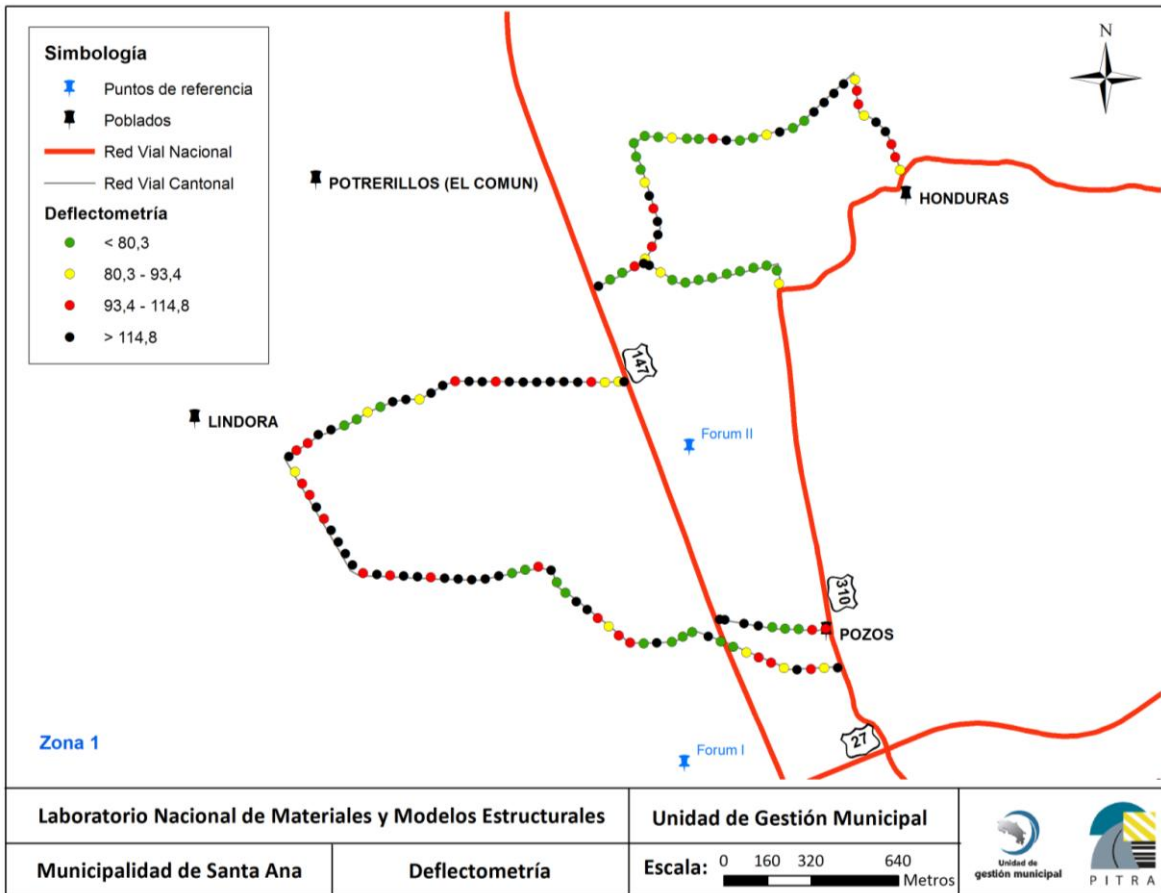


Figura 21. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 1.

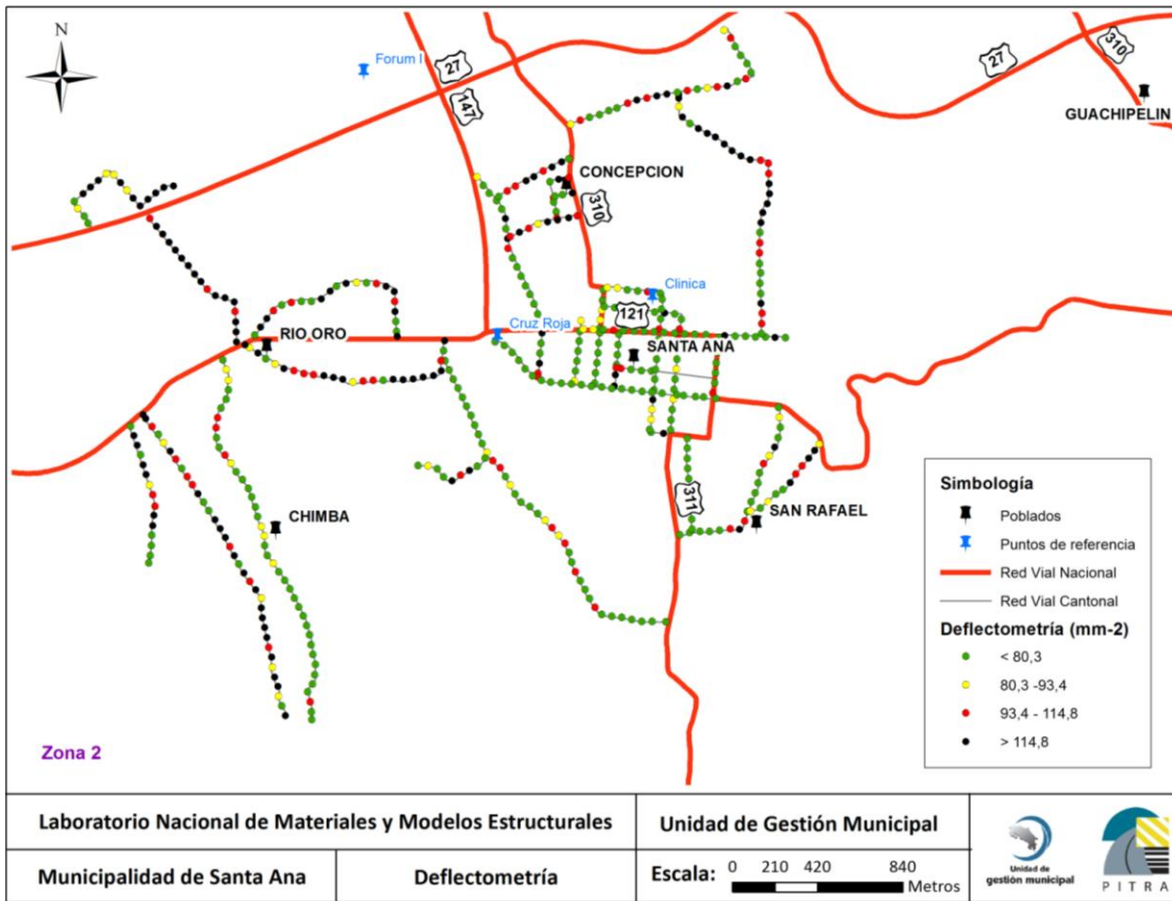


Figura 22. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 2.

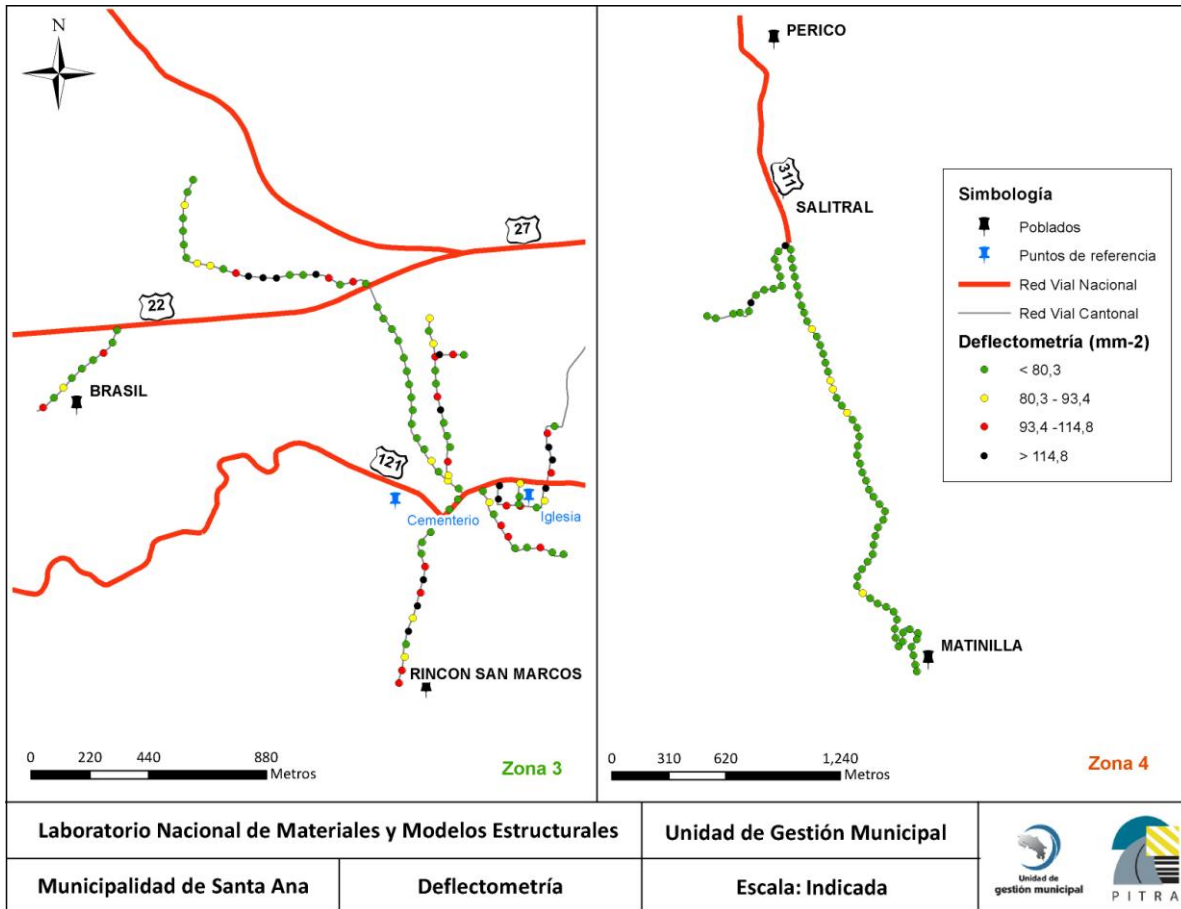


Figura 23. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Santa Ana, Zona 3 y 4.

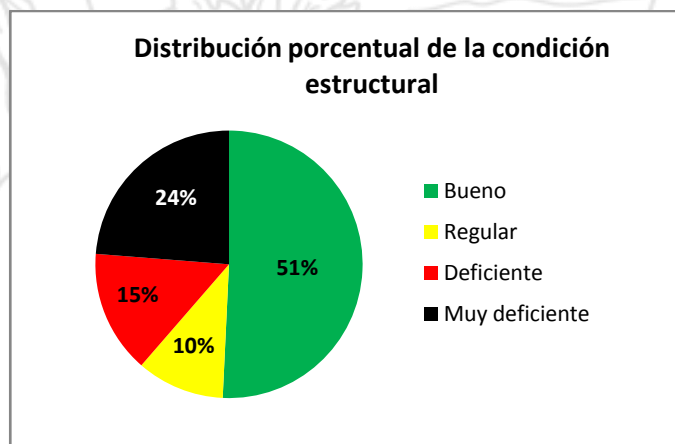


Figura 24. Distribución porcentual de la condición según FWD.

3.2.4 Caracterizar la estructura de pavimento.

En esta sección se determina la estructura y el tipo de materiales que componen el pavimento. En la Figura 25, se muestra un ejemplo de dicha estructura, compuesta por la capa de rodadura, base granular y capa de sub-base.

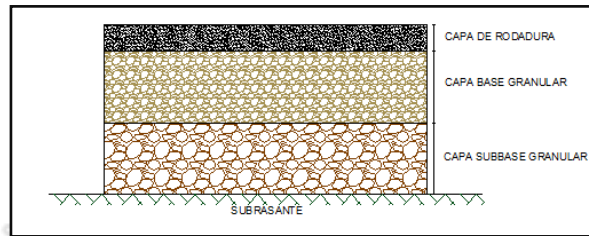


Figura 25. Ejemplo de estructura de pavimento.

La caracterización consiste en diversos ensayos de laboratorio y ensayos en campo; se divide en tres grupos:

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

3.2.4.1 Estructura del pavimento

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

Las excavaciones se realizaron en puntos estratégicos tomando en cuenta la clasificación de las vías del cantón, la deflectometría y tramos homogéneos; a la fecha de entrega de este informe parcial se dispone de la información procedente de un total de 36 sondeos.

En el Cuadro 2, se muestran los espesores obtenidos para cada una de las capas que compone la estructura del pavimento en los puntos de análisis seleccionados.

Cuadro 2. Espesores de las capas del pavimento según los sondeos realizados.

Sondeo	CA (cm)	Otro (cm)	BE (cm)	BG (cm)	SB (cm)	Relleno (cm)	Otro (cm)	Total (cm)
1	5	0	0	15	0	30	0	50
2	3	4	0	0	0	20	0	27
3	5	0	0	12	0	15	15	47
4	5,5	0	0	30	0	0	0	35,5
5	3	0	0	40	0	25	0	68
6	4,5	0	0	0	0	4	3	11,5
7	5	0	0	15	0	15	0	35
8	11	0	0	0	0	36	0	47
9	9	0	0	30	0	0	0	39
10	5	0	0	20	0	0	0	25
11	6	0	0	20	0	40	0	66
12	5	0	0	20	0	30	0	55
13	7	0	0	20	0	50	0	77
14	6	0	0	10	0	17	0	33
15	7,5	0	0	20	40	0	0	67,5
16	6	0	0	20	74	0	0	100
17	20	0	0	15	0	30	0	65
18	3,5	0	0	28	50	0	0	81,5
19	3,5	0	0	14	23	0	0	40,5
20	9,5	0	0	8	60	0	0	77,5
21	7	0	0	23	26	0	0	56
22	8	0	0	0	0	40	0	48
23	3,5	0	0	30	20	0	0	53,5
24	9	0	0	0	0	30	30	69
25	6	0	0	10	0	30	0	46
26	5	0	0	25	0	0	0	30
27	3	0	20	0	35	0	0	58
28	3	0	0	29	36	0	0	68
29	8,5	0	0	0	0	28	0	36,5
30	5	0	0	20	0	20	0	45
31	12	0	0	0	0	35	0	47
32	6	0	0	0	0	24	0	30
33	5	0	0	40	0	0	0	45
34	3,5	0	0	20	6	0	0	29,5
45	7	0	0	13	50	0	0	70
46	10	0	0	48	35	0	0	93

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

CA: Carpeta asfáltica o tratamiento superficial bituminoso.

BE: Base estabilizada.

BG: Base granular.

SB: Sub-base.

3.2.4.2 Caracterización de la sub-rasante

A continuación se caracteriza detalladamente la sub-rasante que compone la estructura del pavimento, con el fin de obtener información que ayude a seleccionar intervenciones a nivel de proyecto en los diferentes tramos de la red vial cantonal. Se realizaron ensayos de laboratorio para analizar los materiales de las capas inferiores, que incluyen las pruebas de:

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Gravedad Específica

Clasificación SUCS

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

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

La distribución geográfica del tipo del suelo en la localidad de Santa Ana se presenta en la

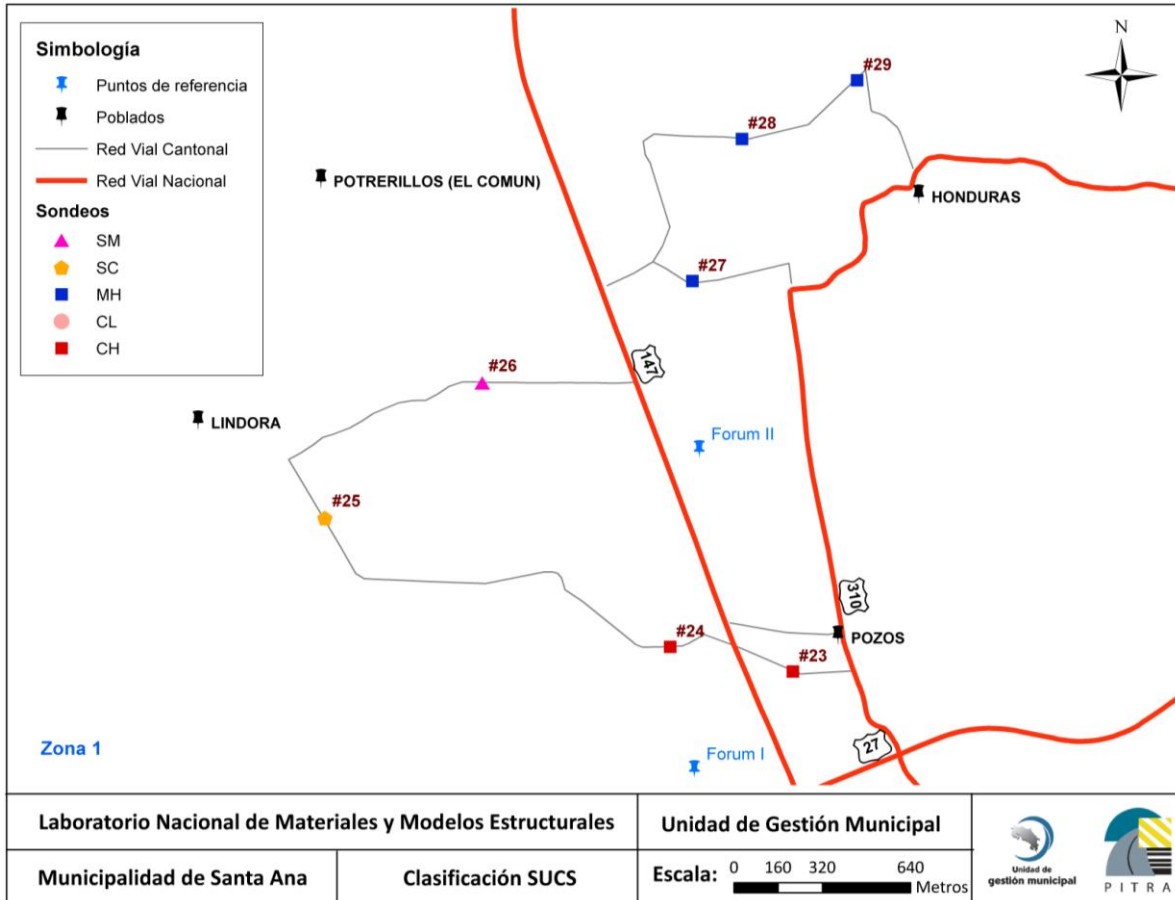


Figura 26, Figura 27 y Figura 28. Es posible apreciar que los suelos analizados están compuestos en su mayoría por material fino tipo CH y SC, es decir, arcillas de alta plasticidad y arenas arcillosas que poseen un pobre comportamiento mecánico y de baja capacidad de drenaje.

Es importante aclarar, que en los sondeos 3, 16, 17 y 20 únicamente se determinó el espesor de las capas que conforman el pavimento, por lo que no se obtuvo ninguna muestra con la cual se pudiese conocer su perfil granulométrico ni clasificaciones SUCS o AASHTO.

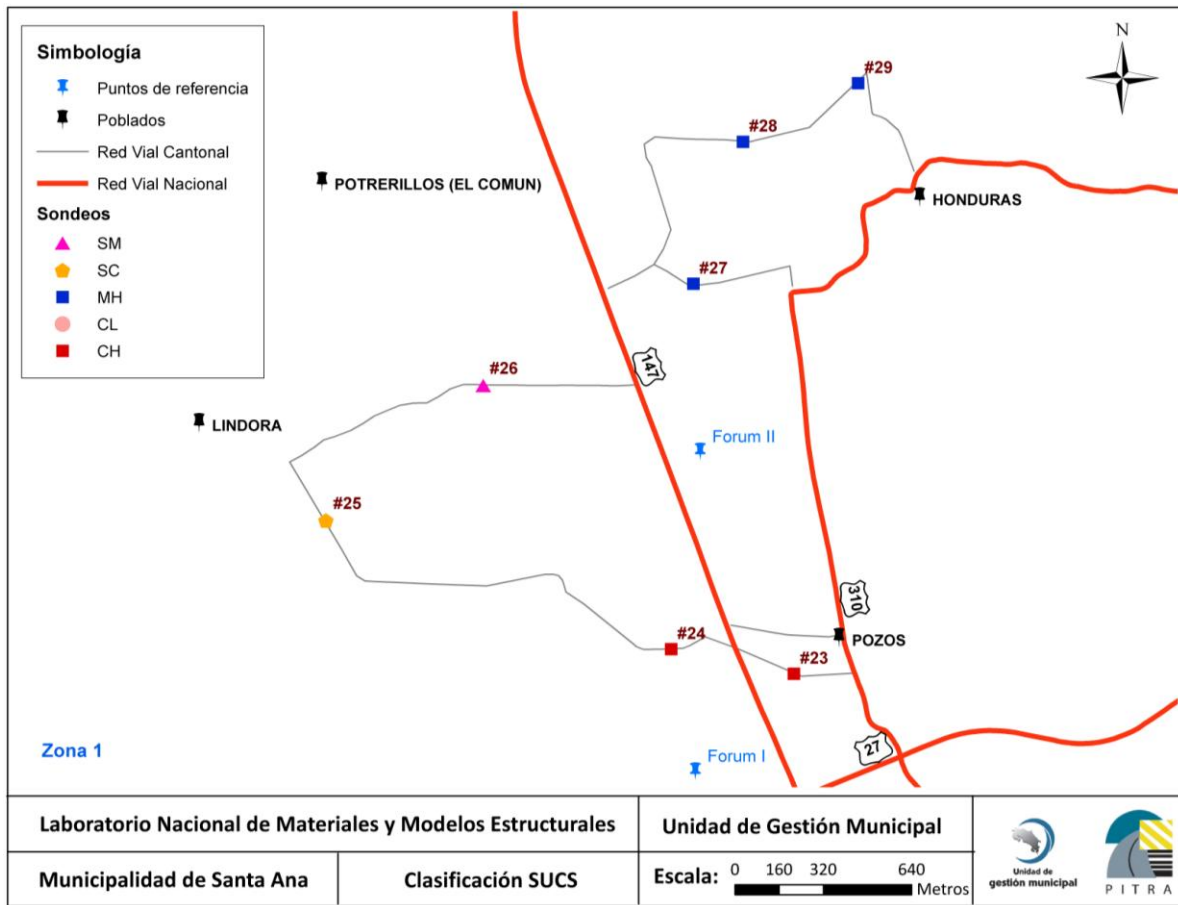


Figura 26. Caracterización según SUCS en Santa Ana, zona 1.

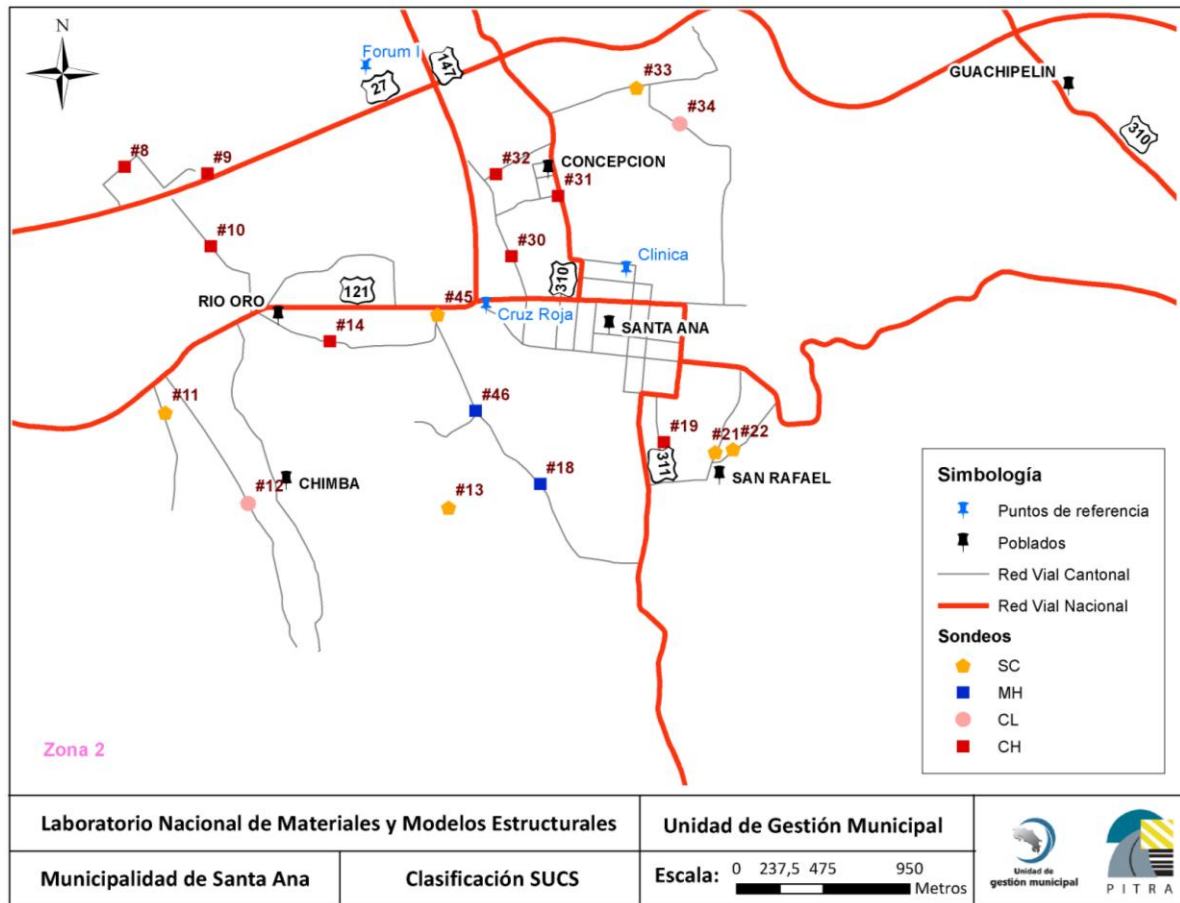


Figura 27. Caracterización según SUCS en Santa Ana, zona 2.

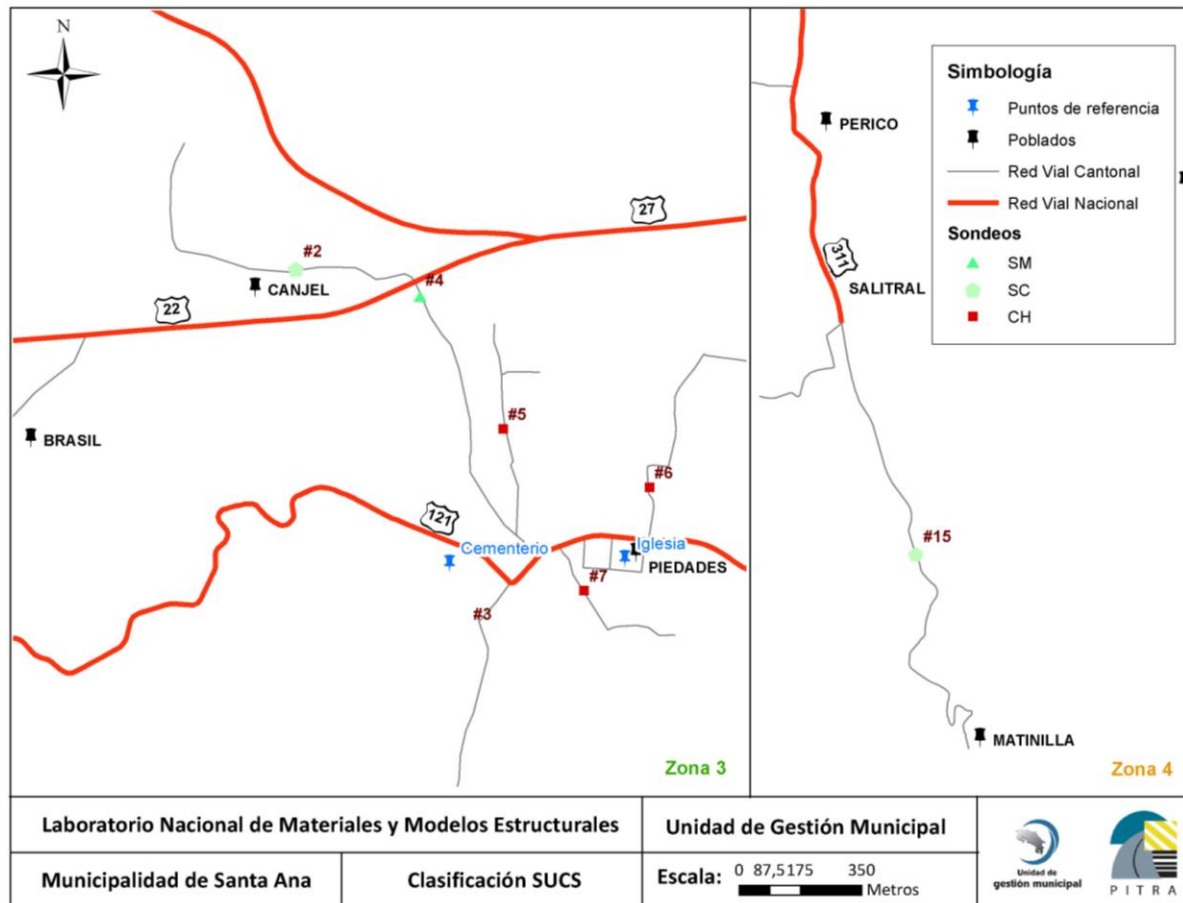


Figura 28. Caracterización según SUCS en Santa Ana, zonas 3 y 4.

Clasificación AASHTO

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

Materiales granulares: Contienen 35% o menos de material que pase el tamiz de 75 μm (#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 μm (#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 μm (#200) y con una porción que pasa el tamiz de 425 μm (#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 μm (#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 μm (#200). Este grupo también incluye mezclas de suelo limoso fino y hasta 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz de 75 μm (#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 μm (#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 A-8. La clasificación de estos materiales se basa en la inspección visual y no depende del porcentaje que pasa por el tamiz de 75 μm (#200), el LI y el IP. El material se compone en su mayoría de materia orgánica parcialmente descompuesta; y por lo general tiene una textura fibrosa, un color negro o pardo oscuro y olor a descomposición. Estos materiales orgánicos son inadecuados para su utilización en terraplenes y subrasantes. Tales materiales son altamente compresibles y tienen una baja resistencia al corte.

La distribución de tipo de suelo según la clasificación de la AASHTO, puede observarse en la Figura 29, Figura 30 y Figura 31. Es de apreciar que un 40% de las muestras de los suelos corresponden a una clasificación A-7-6, que corresponde a materiales finos limo-arcillosos

con un límite líquido alto y gran potencial de expansión, y por ende de acuerdo a su calidad se encuentran ubicados en una categoría de aceptable a mala para la infraestructura vial.

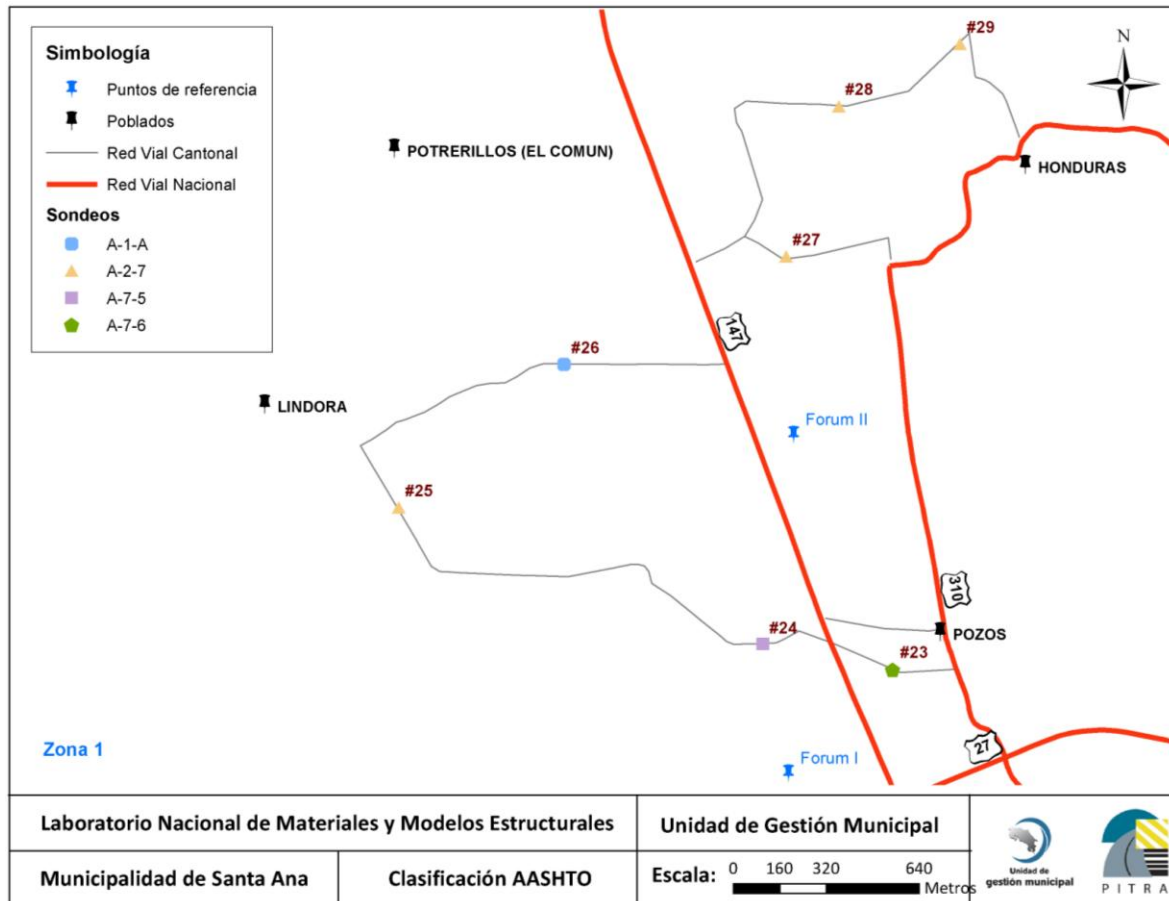


Figura 29. Caracterización según AASHTO en la localidad de Santa Ana, zona 1.

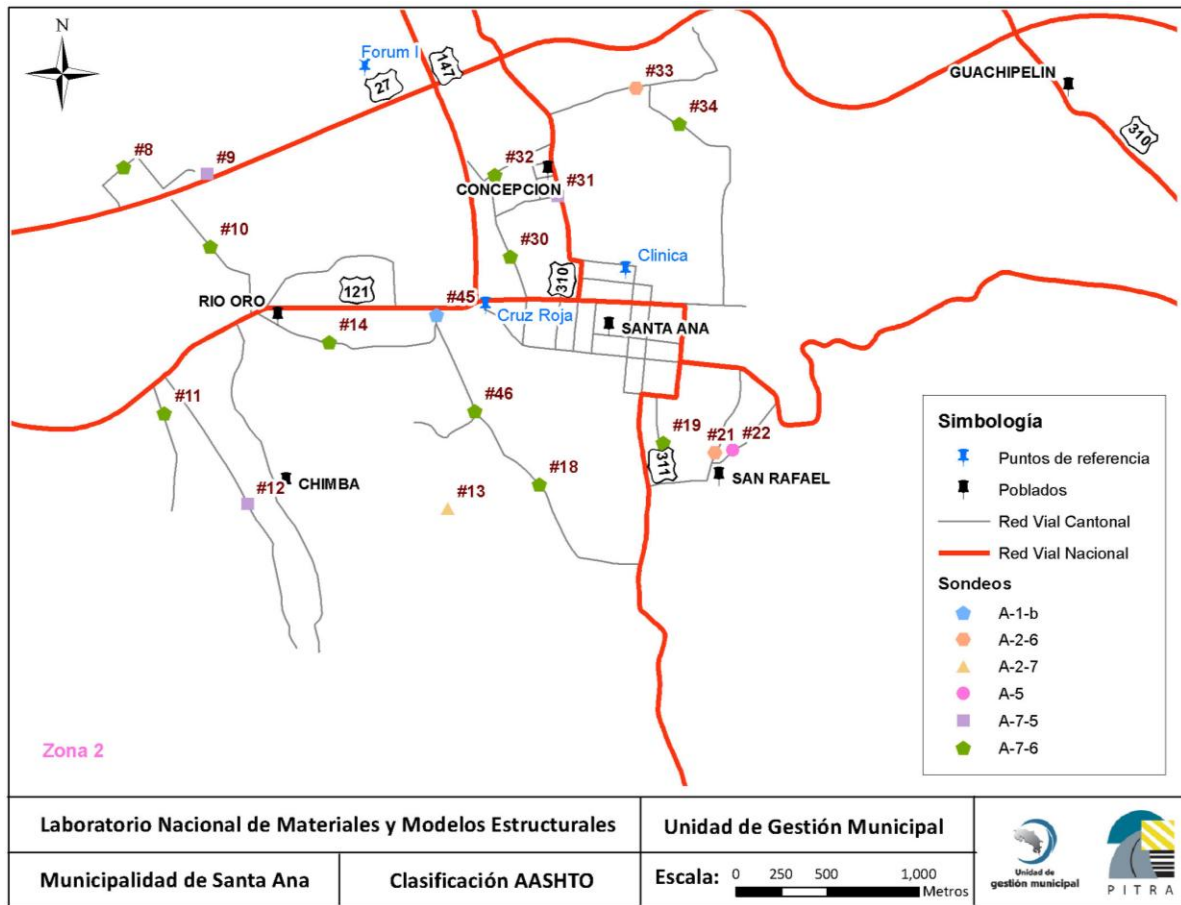


Figura 30. Caracterización según AASHTO en la localidad de Santa Ana, zona 2.

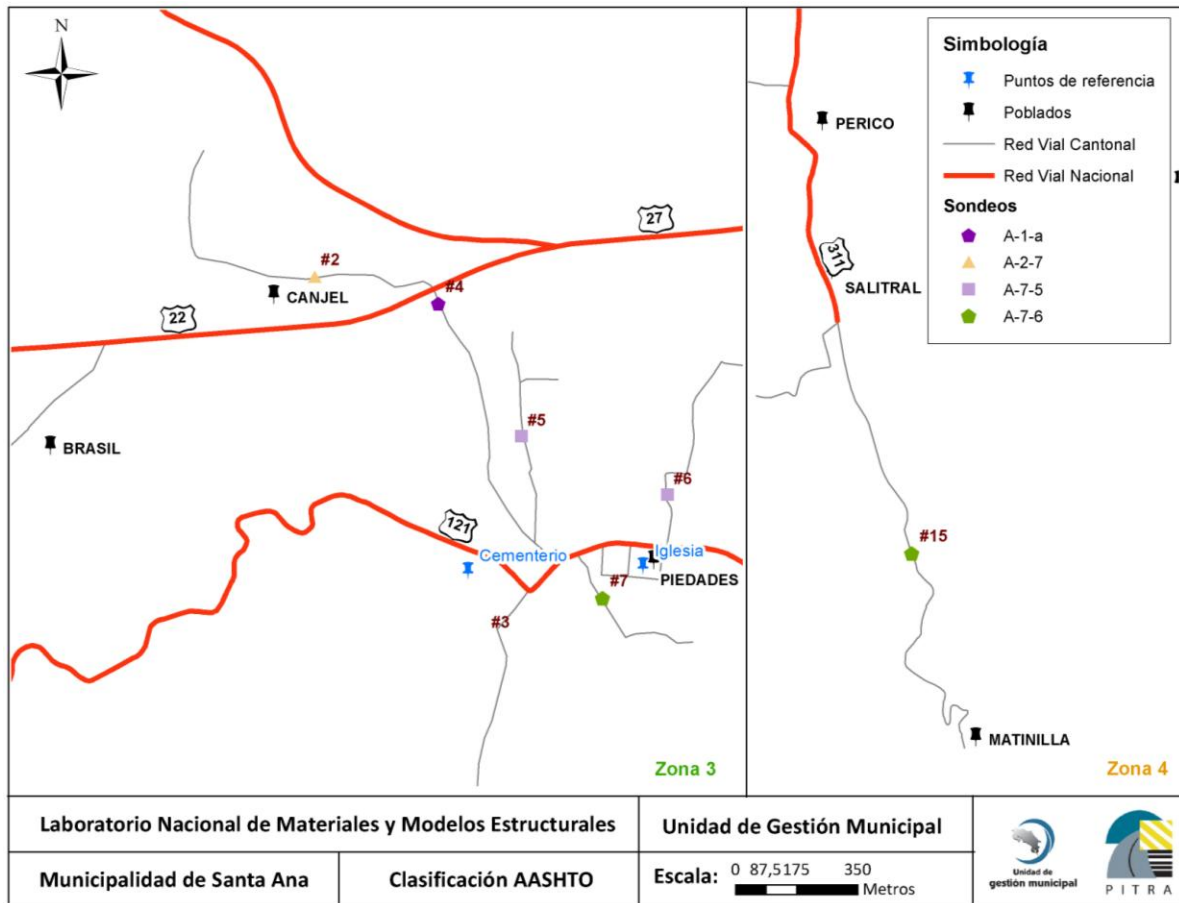


Figura 31. Caracterización según AASHTO en la localidad de Santa Ana, zonas 3 y 4.

En el Cuadro 3, puede observarse el detalle de la clasificación de suelos, según los ensayos de laboratorio realizados por el LanammeUCR en el año 2014, así como la información referente a la granulometría y los límites de Atterberg.

Cuadro 3. 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	72,3	62,1	49,9	36,9	27,7	35,4	36,9	49	31	SC	A-7-5	A-7-5(2)
2	55,9	44,8	33,3	25,6	44,1	30,3	25,6	41	21	SC	A-2-7	A-2-7(0)
3*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	60,9	44,2	26,8	15,1	39,1	45,8	15,1	49	38	SM	A-1-a	A-1-a(0)
5	89,1	86,2	81,6	74,5	10,9	14,6	74,5	68	32	CH	A-7-5	A-7-5(29)
6	98,1	96,7	94,6	89,6	1,9	8,5	89,6	102	34	CH	A-7-5	A-7-5(71)
7	89,8	78,4	63,8	50,6	10,2	39,2	50,6	51	26	CH	A-7-6	A-7-6(10)
8	100	99,4	98,4	90,5	0	9,5	90,5	73	24	CH	A-7-6	A-7-6(50)
9	99	98,3	96,4	88,2	1	10,8	88,2	67	37	CH	A-7-5	A-7-5(33)
10	98,1	97,3	96,1	88	1,9	10,1	88	82	26	CH	A-7-6	A-7-6(55)
11	63,9	57,1	47,5	37,2	36,1	26,7	37,2	46	29	SC	A-7-6	A-7-6(2)
12	93,6	87,9	79	57,1	6,4	36,5	57,1	47	30	CL	A-7-5	A-7-5(8)
13	71	58,5	44,1	32	29	39	32	44	26	SC	A-2-7	A-2-7(1)
14	97,3	95,4	89,9	73,1	2,7	24,2	73,1	51	26	CH	A-7-6	A-7-6(18)
15	72,1	68,2	59,2	45,9	27,9	26,2	45,9	45	24	SC	A-7-6	A-7-6(6)
16*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	89,8	85,5	80,5	63,4	10,2	26,4	63,4	64	45	MH	A-7-6	A-7-6(14)
19	96,7	95	92,7	86,2	3,3	10,5	86,2	99	36	CH	A-7-6	A-7-6(63)
20*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	71,7	54,1	34,6	23,9	28,3	47,8	23,9	32	20	SC	A-2-6	A-2-6(0)
22	70,2	61,4	51,1	38,6	29,8	31,6	38,6	32	19	SC	A-5	A-5(2)
23	99	97,7	94,1	82	1	17	82	72	30	CH	A-7-6	A-7-6(38)
24	92,6	85,9	78,1	65,6	7,4	27	65,6	63	38	CH	A-7-5	A-7-5(17)
25	70,5	58,5	42,4	30	29,5	40,5	30	49	38	SC	A-2-7	A-2-7(0)
26	50,8	41,9	27,8	14,9	49,2	35,9	14,9	30	26	SM	A-1-A	A-1-A(0)
27	93,3	90,8	86,6	76,6	6,7	16,7	76,6	59	32	MH	A-2-7	A-2-7(23)
28	96,2	93,2	85,9	71,8	3,8	24,4	71,8	50	31	MH	A-2-7	A-2-7(14)
29	95,2	93,5	88,7	67,3	4,8	27,9	67,3	54	33	MH	A-2-7	A-2-7(14)
30	92,9	87,9	82,3	68,4	7,1	24,5	68,4	58	23	CH	A-7-6	A-7-6(23)
31	99,5	98,5	97,4	90,3	0,5	9,2	90,3	80	31	CH	A-7-5	A-7-5(51)
32	86	81,7	76,8	65,3	14	20,7	65,3	58	28	CH	A-7-6	A-7-6(19)
33	74,8	64,7	48,6	32,6	25,2	42,2	32,6	40	24	SC	A-2-6	A-2-6(1)
34	98	92,8	81,7	64,8	2	33,2	64,8	48	28	CL	A-7-6	A-7-6(12)
45	64,1	52,7	42	22,6	35,9	41,5	22,6	58	45	SC	A-1-b	A-1-b(0)
46	90,7	87,3	82,7	63,8	9,3	26,9	63,8	60	41	MH	A-7-6	A-7-6(13)

* Sondeos en los cuales no se obtuvo muestra de suelo.

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

N°4: Tamiz N° 4, 750 mm de diámetro.

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

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

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

FG: Fracción gruesa.

FS: Fracción arena.

CF: Cantidad de finos.

LL: Límite Líquido.

LP: Límite Plástico.

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

3.2.4.3 Clasificación de sub-rasante según CBR

En esta sección se analiza la red vial cantonal considerando el valor de CBR obtenido en sitio. El mismo proporciona un índice de la resistencia de la capa de la sub-rasante para resistir carga, en la Figura 32 se muestra la prueba realizada en sitio.



Figura 32. Prueba de CBR en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

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

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

Donde:

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

La clasificación utilizada para categorizar los valores de CBR es establecida por J. Bowles (1981), y se presenta en la Cuadro 4.

Cuadro 4. 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 la Figura 33, Figura 34 y Figura 35 se presenta gráficamente los valores de CBR obtenidos en los 32 sondeos a cielo abierto realizados hasta el momento en los cuales se obtuvo muestra, pues como se mencionó anteriormente, en cuatro sondeos no fue posible determinar el Índice de cono y por lo tanto su valor de CBR no pudo ser determinado.

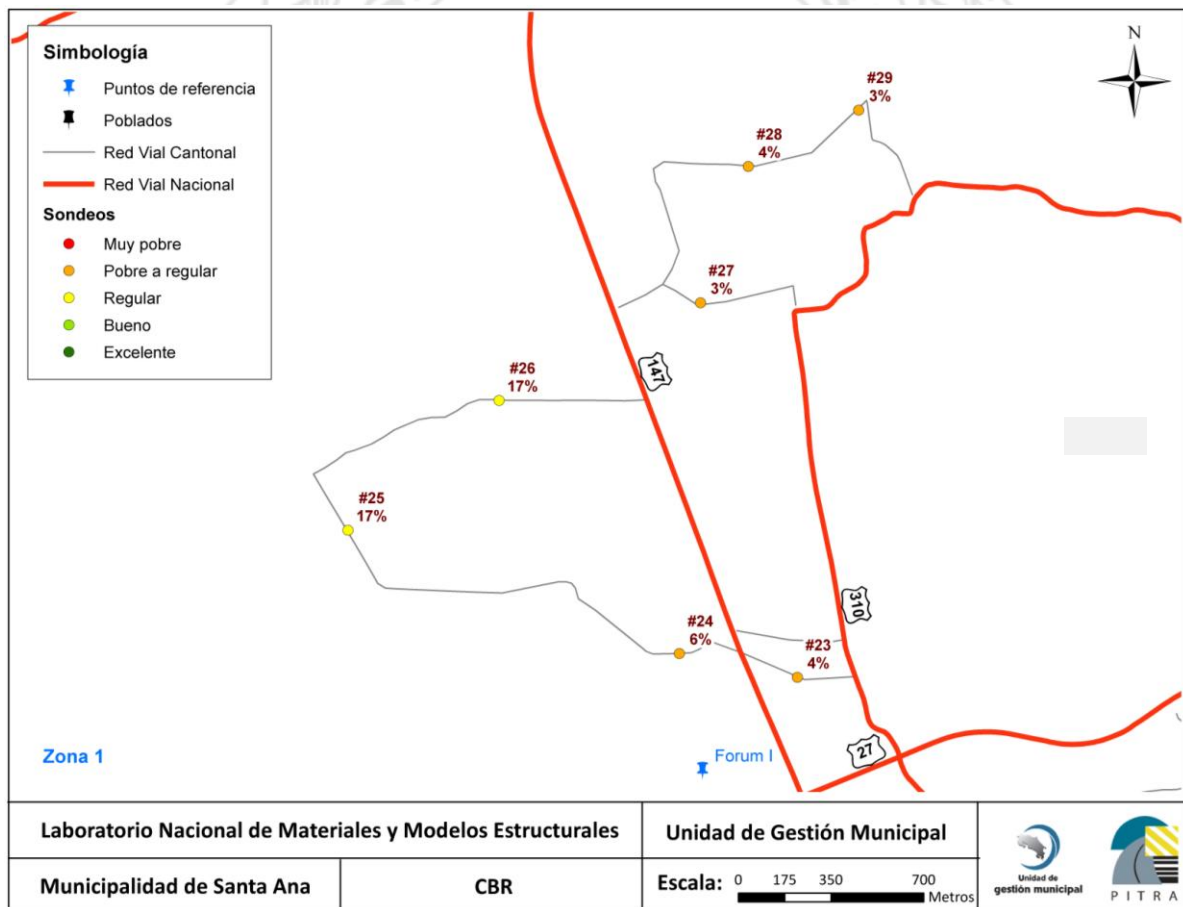


Figura 33. Clasificación del CBR según Bowles, en la localidad de Santa Ana, zona 1.

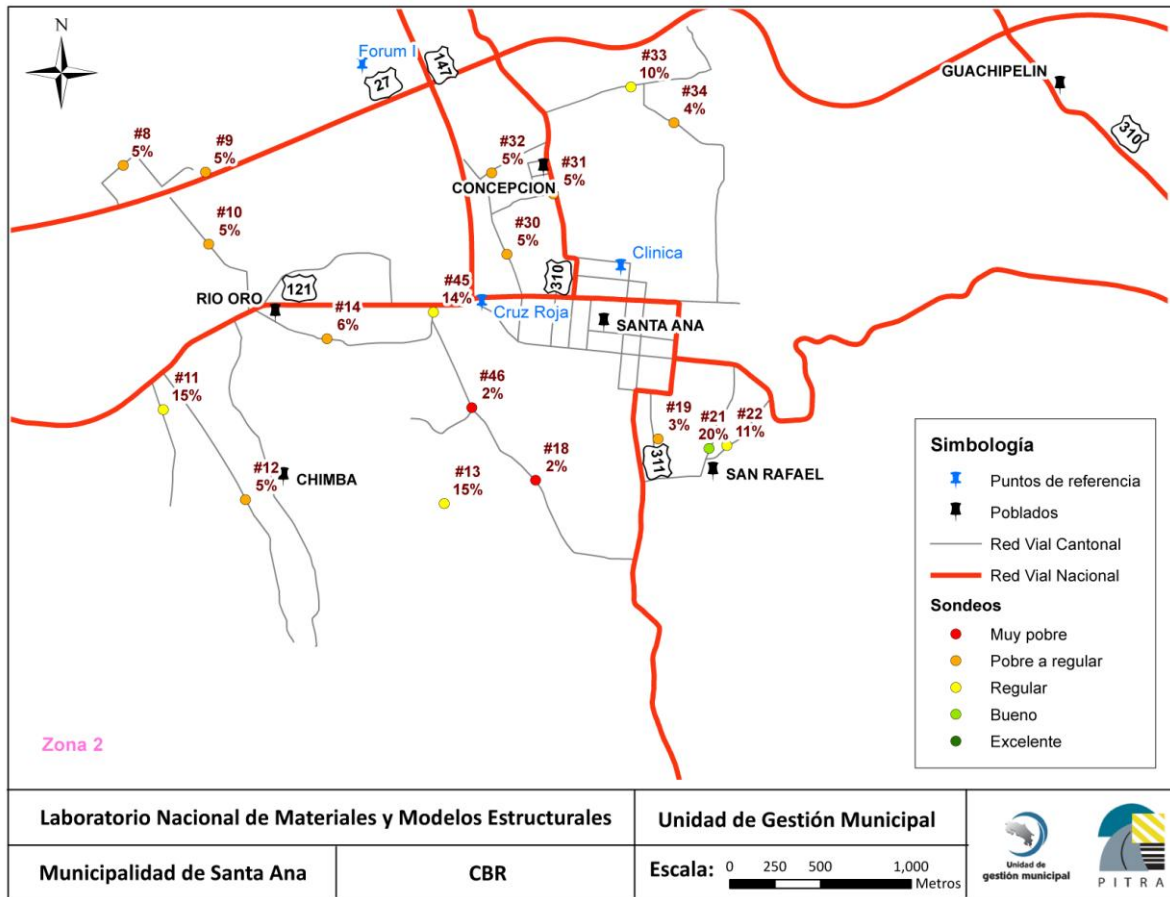


Figura 34. Clasificación del CBR según Bowles, en la localidad de Santa Ana, zona 2.

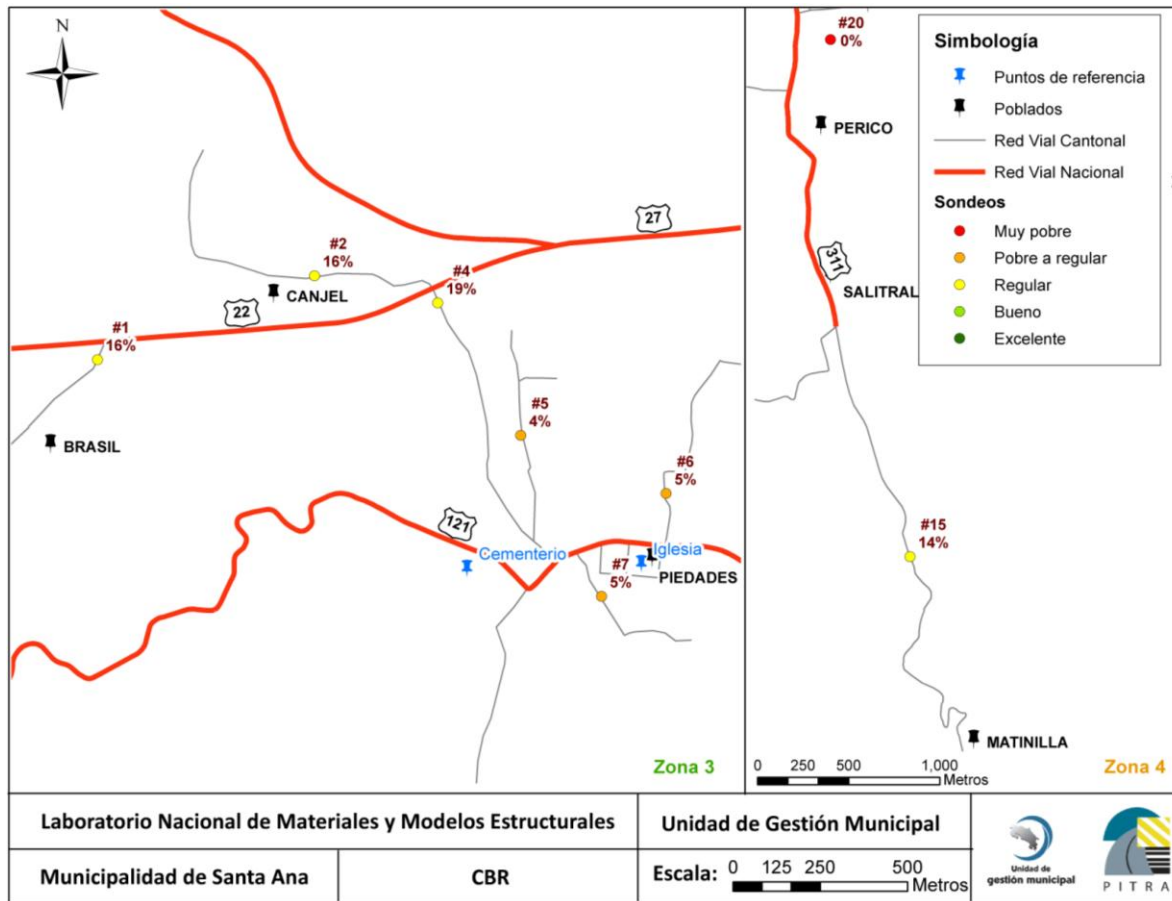


Figura 35. Clasificación del CBR según Bowles, en la localidad de Santa Ana, zonas 3 y 4.

En la Cuadro 5, se puede observar en detalle las pruebas de CBR en sitio, así como los diferentes parámetros utilizados para estimar el valor de CBR; sin embargo, es importante aclarar que al momento de realizar algunos de los ensayos con el anillo de carga se obtuvo una penetración más allá del cono, consecuencia de ser un suelo suave, o por el contrario, se obtuvo una penetración parcial del cono ya que el suelo en el cual se realizó la prueba era duro. Por lo tanto, en el siguiente Cuadro se especifica si existe alguna observación que deba ser considerada en los valores de CBR mostrados.

Cuadro 5. Índice de soporte CBR.

Sondeo	CI	a	b	CBR	Observaciones
1	231,5	1,1392	0,4896	16,4	
2	216,9	1,1392	0,4896	15,9	
3	-	-	-	-	Suelo rocoso, no se muestrea ni mide CBR en sitio
4	2440,0	0,2985	0,5358	19,5	Suelo firme, penetración parcial del cono
5	161,6	0,1264	0,6979	4,4	
6	200,7	0,1264	0,6979	5,1	Suelo suave, penetración 30cm más allá del cono
7	212,5	0,1264	0,6979	5,3	
8	169,5	0,1264	0,6979	4,5	Suelo suave, penetración 30cm más allá del cono
9	170,0	0,1264	0,6979	4,6	
10	193,0	0,1264	0,6979	5,0	Suelo suave, penetración 30cm más allá del cono
11	204,1	1,1392	0,4896	15,4	Suelo suave, penetración 15-30cm más allá del cono
12	203,8	0,1266	0,6986	5,2	
13	202,5	1,1392	0,4896	15,3	
14	224,1	0,1264	0,6979	5,5	Suelo suave, penetración 7-30cm más allá del cono
15	170,0	1,1392	0,4896	14,1	
16	-	-	-	-	Sondeo 1m de profundidad sin encontrar suelo, no se muestrea ni mide CBR en sitio
17	-	-	-	-	Problemas con tubería agua potable, no se muestrea ni mide CBR en sitio
18	112,0	0,0820	0,7174	2,4	
19	97,7	0,1264	0,6979	3,1	
20	-	-	-	-	Suelo rocoso, no se muestrea ni mide CBR en sitio
21	2656,0	0,2985	0,5358	20,4	Suelo firme, penetración parcial del cono
22	110,0	1,1392	0,4896	11,4	
23	150,0	0,1264	0,6979	4,2	
24	242,8	0,1264	0,6979	5,8	
25	242,7	1,1392	0,4896	16,8	
26	261,7	1,1392	0,4896	17,4	
27	157,0	0,0820	0,7174	3,1	
28	200,0	0,0820	0,7174	3,7	
29	164,0	0,0820	0,7174	3,2	
30	170,9	0,1264	0,6979	4,6	Suelo suave, penetración 5-10cm más allá del cono
31	188,4	0,1264	0,6979	4,9	Suelo suave, penetración 30cm más allá del cono
32	189,3	0,1264	0,6979	4,9	
33	80,0	1,1392	0,4896	9,7	
34	161,0	0,1266	0,6986	4,4	
45	172,0	1,1392	0,4896	14,2	
46	74,5	0,0820	0,7174	1,8	

3.2.5 Caracterización de la estructura del pavimento y definición de tramos homogéneos.

Los tramos homogéneos son secciones de la vía que poseen características similares entre sí, y se definen con el objetivo de seccionar las rutas según el tipo de intervención que cada uno de ellos requiera, puesto que a nivel operativo no es funcional que el tipo o diseño de la intervención requerida varíe en pocos metros.

Estos tramos homogéneos se definen de acuerdo a diferentes características de la RVC, como por ejemplo:

- Clasificación del tipo de vía
- Tipo de pavimento
- TPD
- IRI
- Deflectometría
- Capacidad soportante del suelo

En el producto final de esta evaluación se entregará un informe que incluya las características de las capas que conforman el pavimento y mapas con la identificación de tramos homogéneos de la RVC, y características de cada uno de ellos, como: TPD, deflectometría promedio, IRI promedio, nota de calidad, y posibles tipos de intervención a nivel de red, utilizando como base los resultados obtenidos en el presente documento.

Por lo tanto, si se hubiesen realizado intervenciones en algunos tramos incluidos en la red en estudio en el tiempo en el cual se llevaron a cabo las evaluaciones y el cual se entrega el informe final, posteriormente se hará mención de la existencia de posibles cambios en las condiciones de IRI y FWD para que sean tomados en consideración por parte de los encargados de la municipalidad.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se realizaron 25 conteos vehiculares de un total propuesto de 34 en la red vial cantonal de Santa Ana incluida en el convenio, de los cuales 18 se muestran este informe dado que se dispone de toda su información asociada.

De acuerdo con el procesamiento de los datos, se obtuvo que la mayoría de conteos presentan un TPD entre 1 000 y 7 000 vehículos, pues únicamente el conteo de Piedades



excedió esta cifra con un total de 7 423 vehículos. Además, también se estimó el TPDA para cada uno de los conteos.

Por medio de la evaluación de la capacidad funcional de las rutas evaluadas, se determinó que gran cantidad de las mediciones fueron consideradas como "Malas", pues se obtuvo que un 49% de ellas poseen valores superiores a los 6,4 m/km, mientras únicamente un 11% fue categorizada en condición "Buena". El restante 40% de las mediciones presenta un estado "Regular", lo que implica una irregularidad moderadamente alta, y que en consecuencia provoca costos elevados de operación, un desgaste acelerado de la estructura del pavimento y mayores tiempos de viaje en el recorrido de los usuarios.

Además, se observó que el 51% de las evaluaciones realizadas para determinar la capacidad estructural cada 50 metros en la estructura del pavimento, corresponden a deflexiones menores de 80,3 mm⁻², por lo que son consideradas como bajas y proveen una "Buena" resistencia a las cargas transmitidas por el tránsito que circula sobre estos pavimentos. Un 10% de las mediciones presentaron una condición "Regular", mientras que un 39% de las deflexiones son mayores a los 93,4 mm⁻², lo que refleja que en esos sitios la condición actual del pavimento presenta capacidad insuficiente para brindar una adecuada redistribución de las cargas.

Se han realizado 36 de los 44 sondeos a cielo abierto que se planearon para la red vial del cantón. Los sondeos restantes se ubican en los cuadrantes del casco urbano de Santa Ana y se deben coordinar para la finalización de esta labor durante el 2015.

En las muestras analizadas, se obtuvo que en su mayoría corresponden a tipos de suelo CH y SC para la clasificación SUCS, y A-7-6 para la clasificación AASHTO, de manera tal que los suelos que componen la subrasante son en su mayoría materiales caracterizados por tener un comportamiento de baja a media capacidad de soporte.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observan dos clases de suelos en la zona de estudio: los suelos arenosos con capacidad media de soporte y por ende valores de CBR mayores a 10 % principalmente correspondientes a suelos SC y SM, y la otra clase de suelos limosos arcillosos con baja capacidad de soporte (valores de CBR menores de 10%) y predominancia de suelos tipo CH, CL y MH.



4.2 Recomendaciones

Se recomienda actualizar de forma periódica los conteos vehiculares y que algunos de ellos sean semanales (7 días o más), con el propósito de tener un panorama más amplio del comportamiento del flujo vehicular.

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

De la misma forma en que se analizan y planifican las estrategias de intervención en la red vial asfaltada es recomendable que la municipalidad cree un plan de inversiones a mediano y largo plazo que contemple el análisis e intervenciones en las rutas no pavimentadas.

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.
 - Solminihaç 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.
 - Informe LM-PI-GM-03-2013, Clasificación de los resultados obtenidos por el deflectómetro de impacto para la evaluación estructural de la red vial cantonal de Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José, Costa Rica. Abril, 2014.

