



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe: LM-PI-GM-INF-01-19

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE VALVERDE VEGA: CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Preparado por:

Unidad de Gestión Municipal
LanammeUCR



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

San José, Costa Rica

Febrero, 2019



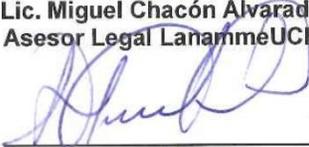
1. Informe LM-PI-GM-INF-01-19		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE VALVERDE VEGA: CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.		4. Fecha del Informe: Febrero, 2019
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias		
7. Resumen Este estudio forma parte de los entregables desarrollados a partir del Convenio de Cooperación entre la UCR y la Municipalidad de Valverde Vega, en el cual se contempló el análisis de las principales rutas de la red vial del cantón (28,8 km). En el 2018, con el objetivo de caracterizar la estructura del pavimento, se ejecutaron 21 sondeos sobre la red vial analizada. Se midieron los espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento, además de determinar el tipo de material y la capacidad de soporte (CBR) que posee tanto la subrasante como la base granular. El análisis de los datos indica que 71% de los sondeos realizados a la subrasante corresponden a suelos limosos o arcillosos, con comportamiento mecánico deficiente como material para caminos, además 48% de los sondeos poseen una capacidad soportante regular y 38% una capacidad soportante de pobre a regular. También se analizaron 12 muestras de base granular, obteniendo que más del 80% de las muestras son materiales caracterizados en general por poseer buena resistencia al corte, ser semipermeables a permeables y de baja compresibilidad; sin embargo, ninguno cumple con un CBR mínimo de 80 que estable el CR-2010 y poseen además una elevada cantidad de finos; lo cual los califica como materiales deficientes para ser empleados en carreteras como base. Este informe complementa los resultados entregados en noviembre del año 2018, los cuales trataban de la evaluación y diagnóstico del estado de la red vial cantonal de Valverde Vega. Los informes referentes a la caracterización de la red fungen como herramientas útiles, permitiendo una eficiente y eficaz gestión de los recursos que dispone el municipio para el mantenimiento y la mejora de la red vial que administra.		
8. Palabras clave PITRA, Evaluación, Gestión Municipal, Red Vial Cantonal, Valverde Vega	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Número de páginas 39
11. Preparado por: Ing. Lilly Xu Ye Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 30/01/19		12. Encargado de convenio: Ing. Sharline López Ramírez, MSc Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 30/01/19
13. Revisado por: Ing. Jaime Allen Monge, PhD Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 30/01/19	14. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR  Fecha: 30/01/19	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loria Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 30/01/19
Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 2 de 39



TABLA DE CONTENIDO

1	ANTECEDENTES	5
1.1	CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN ENTRE LA MUNICIPALIDAD DE VALVERDE VEGA Y LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA	5
1.1.1	ASESORÍA TÉCNICA	6
1.1.2	TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y CAPACITACIÓN	6
1.1.3	MUESTREOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO.....	7
1.1.4	DECRETO N.º 40138: REGLAMENTO AL INCISO B) DEL ARTÍCULO 5 DE LA LEY N.º 8114.....	7
1.2	RELACIÓN DEL LANAMMEUCR CON LA UNIDAD TÉCNICA DE GESTIÓN MUNICIPAL	7
2	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL	8
2.1	IMPORTANCIA.....	8
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP)	9
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL	11
2.4	ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EVALUAR LA RVC DE VALVERDE VEGA	13
3	DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE VALVERDE VEGA.....	14
3.1	OBJETIVO	14
3.2	ACTIVIDADES	14
3.2.1	ESPEORES DE LAS CAPAS QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	15
3.2.2	CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE POR TIPO DE SUELO.....	17
3.2.3	CLASIFICACIÓN DE SUBRASANTE SEGÚN CBR	24
3.2.4	CLASIFICACIÓN DE LA BASE GRANULAR POR TIPO DE MATERIAL.....	29
3.2.5	CLASIFICACIÓN DE LA BASE GRANULAR SEGÚN CBR	34
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
4.1	CONCLUSIONES	35
4.2	RECOMENDACIONES.....	37
5	REFERENCIAS	38



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Espesores de las capas del pavimento según los sondeos realizados	16
Cuadro 2. Sondeos de subrasante agrupados por poseer características generales similares ...	17
Cuadro 3. Clasificación del tipo de suelo de la subrasante en los sondeos realizados	23
Cuadro 4. Clasificación del CBR para subrasante	25
Cuadro 5. Resultados de CBR de la subrasante en laboratorio y empleando el DCP en sitio	28
Cuadro 6. Clasificación del tipo de material de la base granular en los sondeos realizados	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos	10
Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial	12
Figura 3. Esquema metodológico para evaluar la red vial cantonal de Valverde Vega	13
Figura 4. Ubicación de los sondeos realizados en Valverde Vega	15
Figura 5. Ejemplo de estructura de pavimento	15
Figura 6. Caracterización de los suelos según clasificación SUCS	19
Figura 7. Caracterización de los suelos según clasificación AASHTO	22
Figura 8. Equipo para ensayo de CBR en laboratorio	24
Figura 9. Prueba de CBR en sitio con el DCP	25
Figura 10. Clasificación del CBR en laboratorio de la subrasante, según Bowles	26
Figura 11. Clasificación del CBR con DCP de la subrasante, según Bowles	27
Figura 12. Distribución porcentual de la caracterización de la base granular según la clasificación SUCS	30
Figura 13. Caracterización de la base granular según la clasificación SUCS	30
Figura 14. Distribución porcentual de la caracterización de la base granular según la clasificación AASHTO	31
Figura 15. Caracterización de la base granular según la clasificación AASHTO	32
Figura 16. Resultados del CBR de la base granular con DCP	35

1 ANTECEDENTES

La Ley N.º 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 (RVN). Con este propósito, el LanammeUCR realiza tareas de fiscalización, evaluación, investigación y transferencia de tecnología.

Asimismo con el propósito de extender el campo de acción del LanammeUCR a las rutas municipales, para permitir la transferencia de conocimientos, experiencias y asesorías que promuevan la mejora paulatina de la red vial cantonal (RVC), en el año 2007 la Ley N.º 8603 reformó el artículo 6 de la Ley N.º 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 LanammeUCR, podrán celebrar convenios que les permita realizar, en la circunscripción territorial municipal, tareas equivalentes a las establecidas en los incisos anteriores”* (Ley N.º 8603, 2007).

Por otro lado, desde el año 2016 entró en vigencia la Ley Especial para la Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal, Ley N.º 9329. En esta Ley se indica la transferencia de la atención plena y exclusiva de la red vial cantonal a los gobiernos locales. Conjuntamente, especifica que a los municipios les *“corresponderá planear, programar, diseñar, administrar, financiar, ejecutar y controlar su construcción, conservación, señalamiento, demarcación, rehabilitación, reforzamiento, reconstrucción, concesión y operación, de conformidad con el plan vial de conservación y desarrollo (quinquenal) de cada municipio”* (Ley N.º 9329, 2016).

1.1 Convenio específico de cooperación entre la Municipalidad de Valverde Vega y la Universidad de Costa Rica

Considerando las responsabilidades en la administración de la red vial municipal y con el afán de generar relaciones estratégicas con otras entidades, la Municipalidad de Valverde Vega solicitó el apoyo técnico del LanammeUCR para evaluar la condición de 28,8 km de la red vial asfaltada que administra, mediante la suscripción de un Convenio Marco entre la Municipalidad

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 5 de 39
----------------------------	---------------------------------	----------------

de Valverde Vega y la Universidad de Costa Rica, el cual presenta las áreas de trabajo que se definen a continuación:

1.1.1 Asesoría Técnica

La Unidad de Gestión Municipal del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR brindará asesoría técnica a la Municipalidad para realizar las siguientes actividades que se incluyen en el Convenio Marco:

- 1. El diagnóstico de la condición de la Red Vial Cantonal, mediante coordinación entre ambas partes, para cuyo efecto la Municipalidad se compromete a disponer de recursos para realizar los sondeos, ensayos y estudios requeridos con este propósito.*
- 2. Realizar un diagnóstico del funcionamiento de la Unidad Técnica de Gestión Vial (UTGV), y de las capacidades institucionales de gestión de la Red Vial Cantonal.*
- 3. Elaborar conjuntamente el Plan Vial Quinquenal de Conservación y Desarrollo de la Red Vial Cantonal.*
- 4. Colaborar en la implementación del Plan Vial Quinquenal de Conservación y Desarrollo de la Red Vial Cantonal, y generar un Sistema Técnico de Gestión Vial Municipal.*
- 5. Asesoría en el desarrollo de herramientas de gestión para pavimentos, puentes y otros elementos de la red vial, así como en técnicas de mantenimiento y construcción de vías a través de investigación aplicada.*
- 6. Acompañamiento en la ejecución de proyectos de construcción de vías, aceras, drenajes, ciclovías y otros relacionados con la red vial cantonal y el transporte de acuerdo con la Ley N.º 9329, en cuanto a estudios preliminares, inspección y ejecución de ensayos a materiales.*

1.1.2 Transferencia de Tecnología y Capacitación

Según el Convenio Marco suscrito, “La Unidad de Gestión Municipal del PITRA-LanammeUCR realizará actividades de transferencia de tecnología y capacitación, dirigidas a los funcionarios municipales y líderes comunales involucrados en la gestión de la Red Vial Cantonal”.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 6 de 39
----------------------------	---------------------------------	----------------

1.1.3 Muestreos, ensayos de laboratorio y campo

Se realizarán sondeos a cielo abierto, recolección de muestras y ensayos de campo y de laboratorio, para conocer y evaluar 28,8 km de red vial asfaltada que forman parte de la Red Vial Cantonal de Valverde Vega.

1.1.4 Decreto N.º 40138: Reglamento al inciso b) del artículo 5 de la Ley N.º 8114

Este reglamento regula el uso de los fondos asignados por la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria en cuanto a la inversión pública en la RVC. En el artículo 3 de dicho reglamento, establece la necesidad por parte de la Municipalidad de disponer de recurso humano, técnico y profesional adecuado para desarrollar las competencias de gestión vial.

Además, entre las principales funciones municipales para la gestión vial se menciona la elaboración y ejecución de los Planes Viales Quinquenales de Conservación y Desarrollo, también la ejecución y actualización del inventario de la RVC y la elaboración de expedientes de caminos con detalles como la fecha, tipo y costo de intervenciones. Asimismo, debe establecer un programa de verificación de calidad que garantice el uso eficiente de los recursos, por lo que es necesario evaluar la condición de la red de manera periódica y así verificar el desempeño de las intervenciones realizadas a lo largo de su vida útil.

1.2 Relación del LanammeUCR con la Unidad Técnica de Gestión Municipal

La Escuela de Planificación y Promoción Social de la Universidad Nacional (EPPS-UNA) y el LanammeUCR, en el marco del Primer Programa de la Red Vial Cantonal – MOPT - PRÉSTAMO BID No. 2098/OC-CR, ejecutó un programa modular de acciones educativas para que 40 gobiernos locales desarrollaran su Plan Quinquenal de Conservación y Desarrollo. En el año 2016 la Unidad Técnica de Gestión Vial de Valverde Vega participó del proceso de capacitación y mediante la metodología “*aprender-haciendo*” desarrollaron su Plan Quinquenal de Conservación y Desarrollo.

Posterior a esto, se generó un acercamiento entre miembros de la Unidad Técnica de Gestión Municipal del cantón de Valverde Vega y la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR, cuya relación se formalizó por medio de la firma del “Convenio Específico de Cooperación

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 7 de 39
----------------------------	---------------------------------	----------------

entre la Municipalidad de Valverde Vega y la Universidad de Costa Rica” en el mes de abril del presente año.

A partir de esta relación se han desarrollado actividades de capacitación y asesoría en temas específicos, requeridos por el municipio, tales como: uso del cono de penetración dinámico (DCP, por sus siglas en inglés), bacheo en pavimentos flexibles, diseño de pavimentos flexibles mediante la metodología AASHTO 93, especificaciones técnicas de materiales, entre otros.

Los caminos a evaluar, cuyos resultados se muestran en este informe, fueron seleccionados por la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal de Valverde Vega. Para esto se hizo uso de la información sintetizada y presentada en el Plan Quinquenal de Conservación y Desarrollo.

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; permitiendo un servicio de transporte con un nivel adecuado, eficiente y eficaz para sus usuarios. Entre los elementos que la conforman se encuentran los pavimentos, puentes, la señalización vertical y horizontal, taludes, terraplenes, túneles, drenajes, espaldón, dispositivos de seguridad tales como barreras de contención, entre otros.

Un sistema de administración de infraestructura vial contempla el empleo 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 les da a los usuarios de la red, brindando una circulación confortable, segura y fluida, disminuyendo con esto los costos de transporte, así como los tiempos de viaje. El segundo objetivo es conservar y mejorar la calidad del patrimonio vial que forma parte de los activos públicos del Estado.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 8 de 39
----------------------------	---------------------------------	----------------

El pavimento es uno de los elementos más importantes de la infraestructura vial, pues es sobre su capa de rodadura donde diversos medios de transporte se desplazan. Es fundamental caracterizar la estructura que compone el pavimento, desde las capas que lo conforman, los materiales y sus propiedades, hasta la capacidad de soportar las cargas a las que se ve sometida. Lo anterior permite tener un punto de partida para tomar decisiones y establecer políticas de priorización y planes de conservación y rehabilitación de las vías, tomando en consideración la evaluación del estado actual de las vías y los materiales que lo conforman.

El objetivo último se enfoca en maximizar los beneficios obtenidos al invertir en la red vial cantonal de la Municipalidad de Valverde Vega 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 vial son los pavimentos, pues 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 rehabilitación, reconstrucción y mantenimiento.

De manera general, los pavimentos y carreteras deben ofrecer comodidad de viaje a los usuarios, economía en operación de los vehículos y seguridad ante accidentes. Con este objetivo, la Municipalidad debe establecer planes estratégicos que desarrollen 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 Sistema de Administración de Pavimentos (SAP) se disminuye la incertidumbre de la inversión, dado que las decisiones se basan en estudios técnicos que permiten guiar de una mejor manera las inversiones, con el fin de incrementar el aprovechamiento y rentabilidad de los recursos disponibles.

Un SAP 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.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 9 de 39
----------------------------	---------------------------------	----------------



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

Fuente: Modificado de Haas *et al.*, 1993

La gestión de pavimentos debe ser empleada por el organismo a cargo de la conservación de caminos y contribuir a la toma de decisiones respecto de los proyectos individuales. Para aplicar de manera eficaz un sistema de gestión es necesario que el mismo cuente con un mínimo de requerimientos esenciales:

- Capacidad de ser “amigable con el usuario”, habilitando la posibilidad de agregar, actualizar y modificar datos con nueva información de manera sencilla.
- Capacidad de considerar estrategias alternas 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 realimentación del sistema y llevar un control del cambio en las condiciones de la red.

Los pavimentos son estructuras complejas que se ven afectadas por diferentes variables: frecuencia del paso de vehículos, el peso y la velocidad asociado a ellos, solicitudes de medio ambiente, materiales empleados y técnicas constructivas, y de mantenimiento, entre otros. Por ello, 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 humana, de la flota vehicular y la actividad económica generan mayores cantidades de vehículos livianos y pesados viajando por las carreteras, lo cual impone mayores cargas sobre las estructuras de pavimentos, y por consecuencia atrae con mayor fuerza la implementación de un sistema de gestión de pavimentos. Cabe destacar que el SAP no debe limitarse solamente a la conservación vial, sino que hay que definir proyectos de mejoramiento, refuerzo, rehabilitación, reconstrucción, ampliación de carreteras y nuevos proyectos carreteros.

El comienzo de una gestión integral de los elementos de la infraestructura vial inicia con un elemento fundamental: el pavimento, pero en forma progresiva deben aplicarse herramientas que permitan gestionar la conservación e incorporar los demás elementos (alcantarillado, puentes, señalización, etc.) que provean al usuario una operación segura y de bajo costo (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 recomendado para el proceso de gestión vial en el ámbito municipal.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 11 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

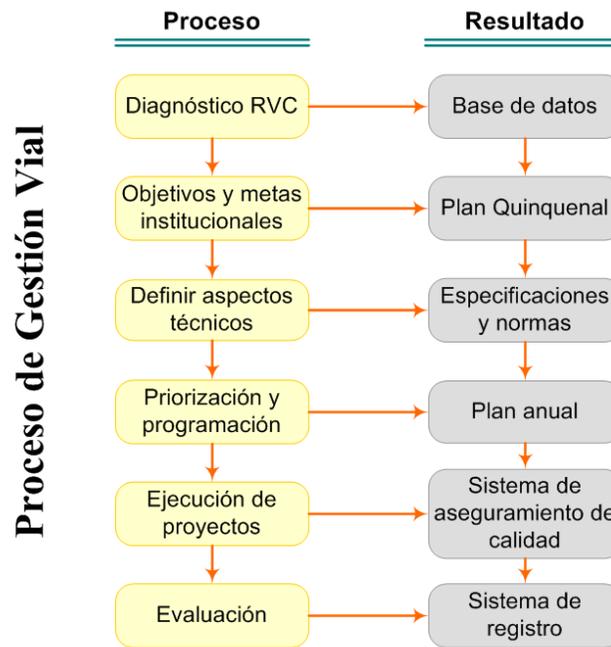


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial

Fuente: Modificado de Allen, 2008

Tal y como se observa en el esquema anterior, el diagnóstico técnico es el proceso inicial, en el cual el producto principal es la base de datos que permite determinar el estado actual de la red, y a partir del cual se establecen políticas de priorización y planes de conservación y rehabilitación de las vías del cantón.

En los 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 realizar a mediano plazo (4 o 5 años).
- *Nivel operativo:* se enfoca en el diseño de los proyectos por ejecutar en el año siguiente.

De acuerdo con la clasificación presentada, los Planes Viales Quinquenales de Conservación y Desarrollo son parte de un nivel de gestión a mediano plazo, es decir a un nivel táctico, es por esto que el análisis de las vías se realiza a nivel de red.

2.4 Esquema metodológico para evaluar la RVC de Valverde Vega

En la Figura 3, se presenta el esquema metodológico implementado para determinar el diagnóstico de la RVC de Valverde Vega. Para este informe se presentan los resultados de la caracterización de la estructura del pavimento, a partir de ensayos de campo y ensayos de laboratorio realizados a muestras obtenidas de sondeos a cielo abierto.

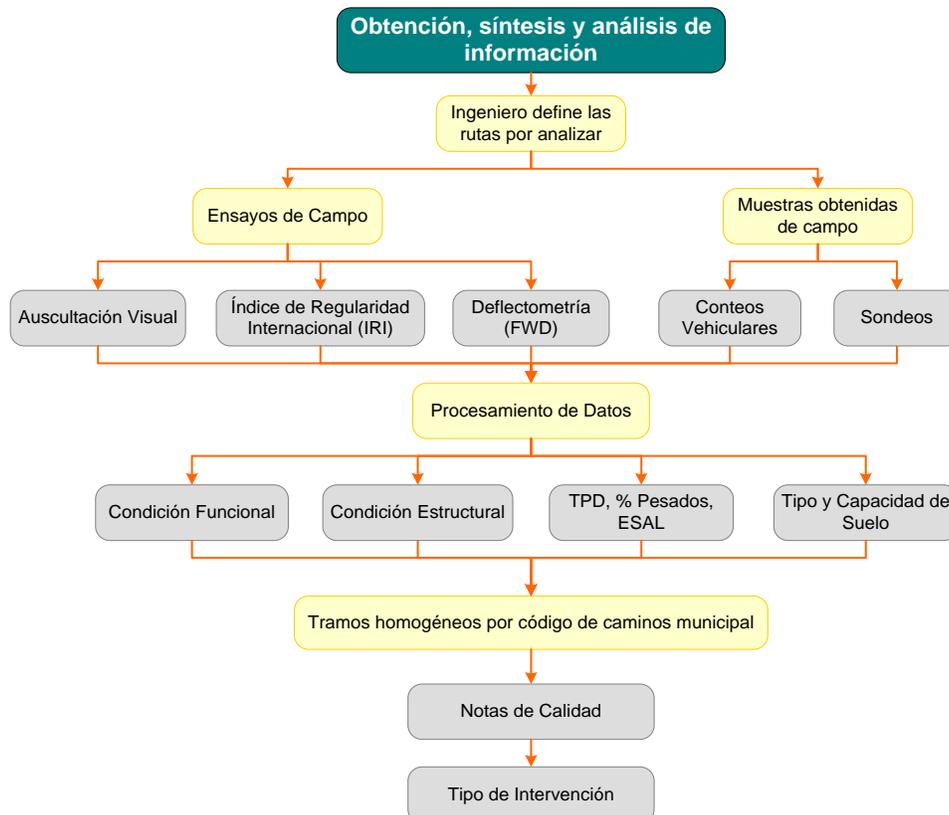


Figura 3. Esquema metodológico para evaluar la red vial cantonal de Valverde Vega

Fuente: Xu y Vargas, 2017

Es importante mencionar que el presente informe complementa los resultados entregados en noviembre del año 2018, mediante el informe LM-PI-GM-INF-02-18 denominado “Evaluación de la Red Vial Cantonal de Valverde Vega: diagnóstico y análisis por secciones. En el mismo se presentaron los resultados de características del tránsito vehicular, la identificación de la condición funcional y estructural de la RVC, además de la definición de secciones de la vía que poseen características similares, y la determinación de notas de calidad y recomendaciones de tipos de intervenciones.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 13 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE VALVERDE VEGA

3.1 Objetivo

Caracterizar la estructura del pavimento de las rutas analizadas en la red vial cantonal de la Municipalidad de Valverde Vega. Esto con el fin de obtener una base de datos con características técnicas de la infraestructura vial que permita la emisión de recomendaciones y sirva de fundamento para la toma de decisiones en la planificación y selección de alternativas oportunas de intervención.

3.2 Actividades

La caracterización de la estructura del pavimento se divide en las secciones que se presentan a continuación, las cuales se obtienen a partir de diversos ensayos de laboratorio y ensayos en campo:

1. Espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento.
2. Caracterización de la subrasante por tipo de suelo.
3. Clasificación de subrasante según CBR
4. Caracterización de la base granular por tipo de material.
5. Clasificación de base según CBR

En la Figura 4 se muestra la ubicación exacta en donde se realizaron los sondeos a cielo abierto, los cuales fueron seleccionados en conjunto con la municipalidad de Valverde Vega, tomando en consideración la clasificación de las vías del cantón, los resultados de deflectometría y las secciones de caminos con condiciones similares; obteniendo un total de 21 sondeos. Cabe mencionar que el sondeo 12 no se ejecutó por solicitud del municipio, pues indicaron que era una carpeta asfáltica recién intervenida; el sondeo 19 tampoco se realizó, pues se encontraba en una urbanización sin salida, con muy bajo tránsito vehicular y con un tratamiento superficial bastante deteriorado.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 14 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

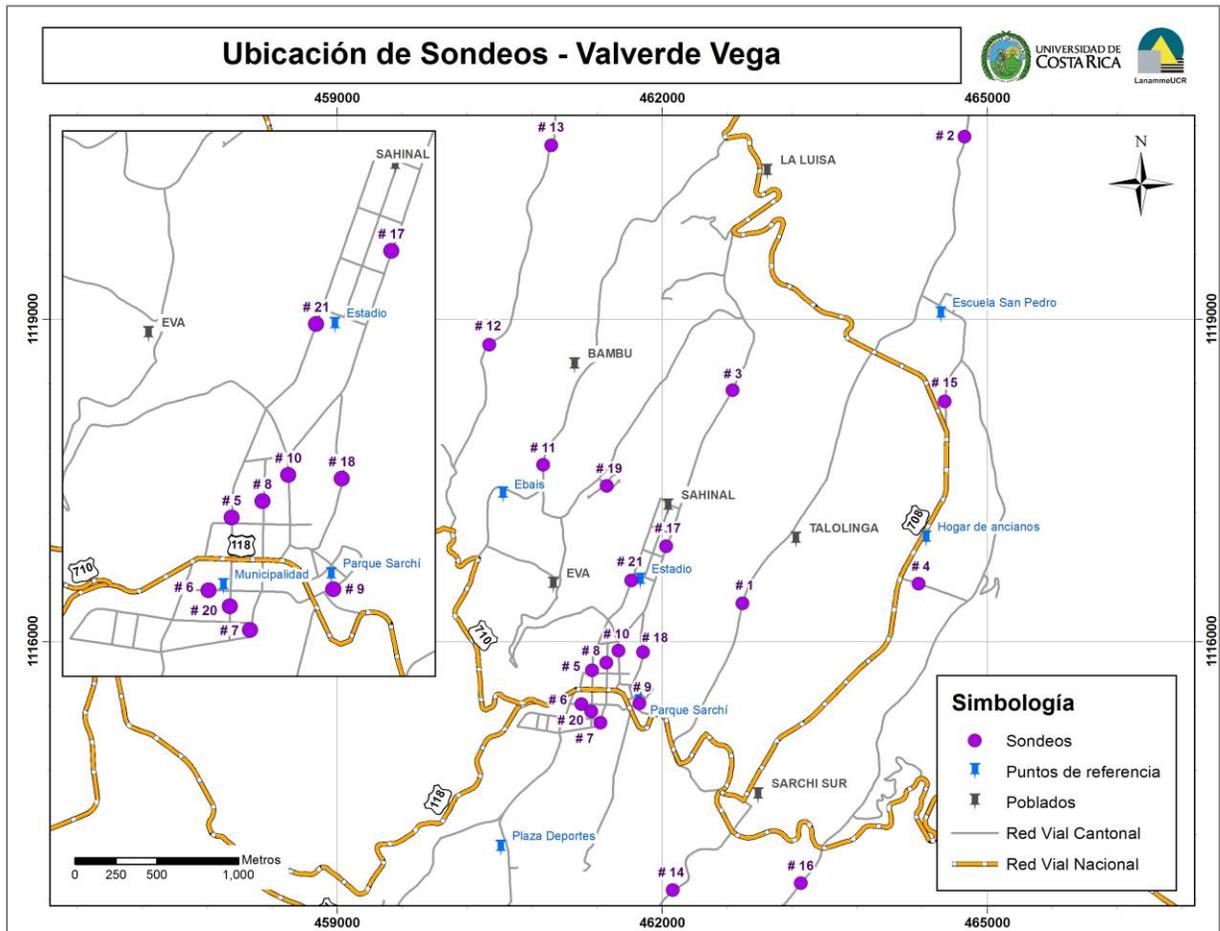


Figura 4. Ubicación de los sondeos realizados en Valverde Vega

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1 Espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento

La estructura de un pavimento se compone principalmente por una capa de rodadura, una capa de base (granular o estabilizada) y una capa de sub-base, en la Figura 5 se muestra un ejemplo de dicha estructura.



Figura 5. Ejemplo de estructura de pavimento

Fuente: Elaboración Propia



Se realizaron excavaciones a cielo abierto durante los meses de julio y agosto del año 2018 para determinar los espesores de las capas del pavimento. En el Cuadro 1 se muestran los espesores obtenidos en los puntos de análisis seleccionados de la Figura 4.

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

Sondeo	CA (cm)	BG (cm)	SB (cm)	Total (cm)
1	11	12	-	23
2	7	22	20	49
3	9	27	15	51
4	8	20	-	28
5	6	12	-	18
6	8	9	-	17
7	7	15	10	32
8	5	15	30	50
9	10	15	18	43
10	6	7	-	13
11	6	40	-	46
12	-	-	-	-
13	6	12	-	18
14	7	13	-	20
15	6	16	-	22
16	5	15	10	30
17	7	10	-	17
18	6	15	15	36
19	-	-	-	-
20	6	30	-	36
21	5	35	-	40

Fuente: Elaboración Propia

* La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

CA: Carpeta asfáltica.

BG: Base granular.

SB: Sub-base.

El espesor promedio obtenido de las carpetas asfálticas es de aproximadamente 7 cm, con espesores máximos de 11 cm y mínimos de 5 cm. Se observaron deterioros importantes en las carpetas, principalmente baches y grietas por fatiga (cuero de lagarto).

En cuanto a base granular y sub-base, fue muy difícil distinguir la división entre una capa y la otra, pues el material en ambas capas era muy similar. Se observó principalmente material

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 16 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

granular de relleno proveniente de tajo con sobre-tamaños y en ciertos sondeos se vio una cantidad elevada de finos.

3.2.2 Caracterización de la subrasante por tipo de suelo

Con el propósito de clasificar el tipo de suelo de la subrasante, en esta sección se caracteriza de forma detallada sus propiedades físicas, mediante los siguientes ensayos de laboratorio:

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Gravedad Específica

Se hizo además un análisis visual de las características generales de los suelos en los diferentes sondeos realizados, y se agruparon aquellos que poseían características similares en "familias de suelos", con el objetivo de reducir la cantidad de ensayos de laboratorio a realizar. Por ejemplo, se agrupó el sondeo 10 con el sondeo 6, pues poseen características similares, y únicamente se extrajo muestra del sondeo 6 para realizar la caracterización del material de subrasante, y no de ambos. En el Cuadro 2 se muestran los sondeos a los cuales no se ejecutaron ensayos y los respectivos sondeos asociados que poseen características similares.

Cuadro 2. Sondeos de subrasante agrupados por poseer características generales similares

ID de sondeo sin ensayos	ID de sondeo asociado
10	6
15	4

Fuente: Elaboración Propia

Cabe mencionar que al sondeo 14 no se logró extraer muestras de la subrasante, pues una tubería pasaba a través de la zona del sondeo, lo cual dificultó la labor de extracción.

Clasificación SUCS

A partir de los datos generados en el laboratorio, referentes a la granulometría y a los límites de Atterberg, se clasificó la subrasante según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (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:

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 17 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------



- CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad media a baja, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.
- CH: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
- ML: Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
- MH: Limos inorgánicos, limo micáceos o diatomáceos, limos elásticos.
- SC: Arenas arcillosas, mezcla de arena mal gradada y arcillas.
- SM: Arenas limosas, mezclas de arena mal gradada y limo.
- SC-SM: Posee características de suelos SC y SM, es decir, es una mezcla de arena con arcilla y limos.
- SW: Arena bien gradadas, arenas con gravas, con cantidad de finos bajo o nulo.
- SW-SM: Arena bien gradada con limo.
- SP-SM: Arena mal gradada con limo.
- GW: Gravas bien gradadas, mezclas de arena y grava, con cantidad de finos bajo o nulo.
- GM: Grava limosa, mezclas de grava, arena y limo.

En la Figura 6 se muestra gráficamente los resultados obtenidos según la clasificación de suelos mediante la metodología SUCS; es posible observar que un 71% de los sondeos a cielo abierto realizados (15 sondeos), corresponde a suelos de tipo MH o limos muy compresibles, los cuales se caracterizan por tener una baja capacidad de drenaje y un comportamiento mecánico pobre.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 18 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

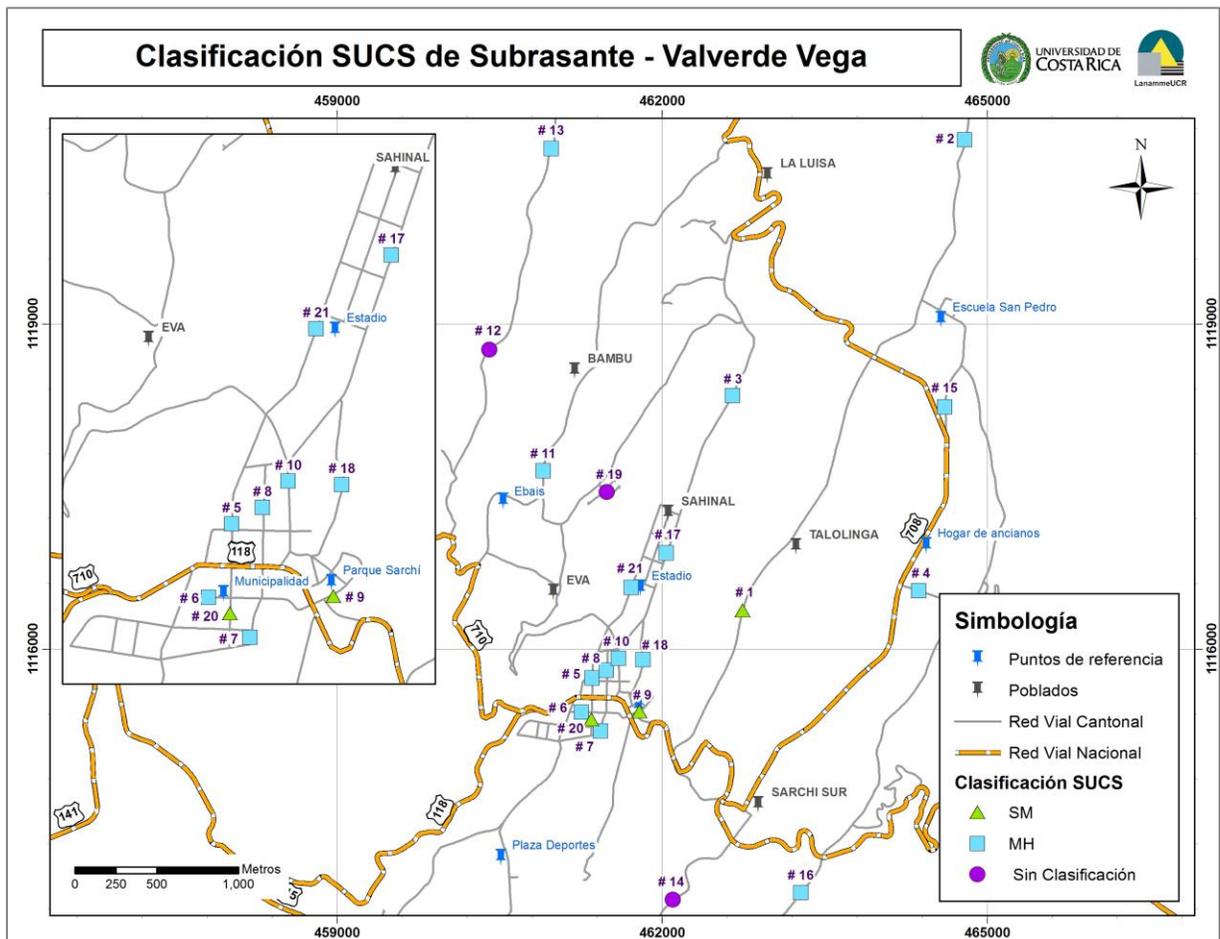


Figura 6. Caracterización de los suelos según clasificación SUCS

Fuente: Elaboración Propia

Clasificación AASHTO

Las muestras de suelo extraídas en el cantón de Valverde Vega también fueron analizadas con base en la metodología de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), la cual analiza el suelo como material para carreteras. A continuación, se expone una descripción general del tipo de suelo que ésta plantea, la cual es tomada de las especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras del Instituto Nacional de Vías de Colombia:

- Materiales granulares: Contienen 35% o menos de material que pase el tamiz de 75 μm (#200).

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 19 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------



- 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.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 21 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

La distribución de tipo de suelo según la clasificación AASHTO se puede observar en la Figura 7. Es de apreciar que 15 sondeos (71% de los sondeos a cielo abierto realizados) presentan suelos con una clasificación A-7-5, que corresponden 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.

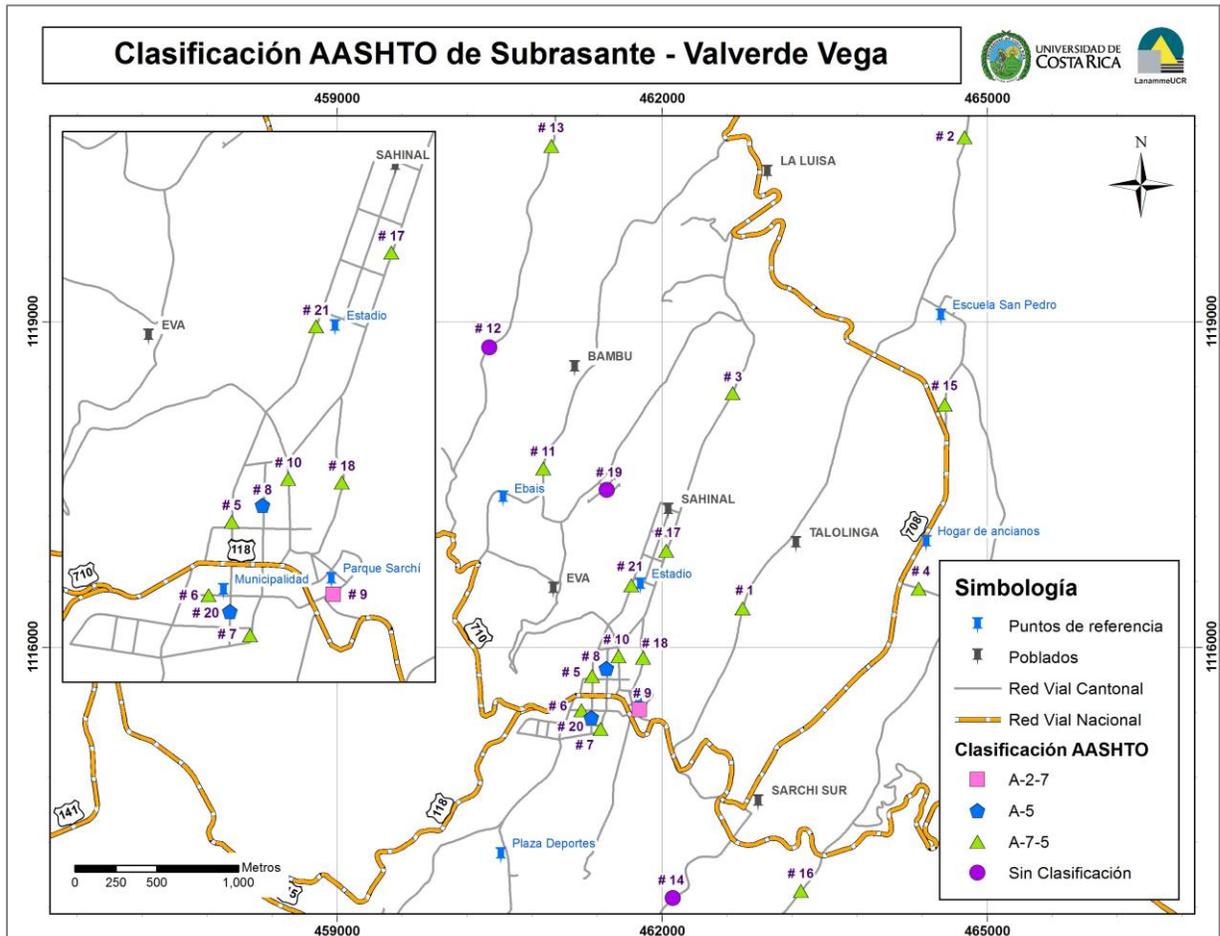


Figura 7. Caracterización de los suelos según clasificación AASHTO

Fuente: Elaboración Propia

A continuación en el Cuadro 3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en laboratorio de los sondeos de subrasante realizados en la localidad de Valverde Vega, en donde se incluye los resultados de las pruebas granulométricas y los Límites de Atterberg, con los cuales se determina la respectiva clasificación SUCS y AASHTO.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 22 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

Cuadro 3. Clasificación del tipo de suelo de la subrasante en los sondeos realizados

Sondeo	Porcentaje Pasando				FG	FS	CF	LL	LP	SUCS	AASHTO
	N°4	N°10	N°40	N°200							
1	99,3	89,9	60,0	40,6	1,2	98,8	40,6	70	45	SM	A-7-5 (6)
2	97,1	94,9	86,1	65,5	8,5	91,5	65,5	60	44	MH	A-7-5 (12)
3	99,6	97,7	83,9	58,3	1,1	98,9	58,3	59	47	MH	A-7-5 (8)
4	98,9	97,7	90,0	61,2	2,8	97,2	61,2	68	51	MH	A-7-5 (12)
5	99,9	99,1	93,7	65,2	0,3	99,7	65,2	60	38	MH	A-7-5 (15)
6	99,9	99,1	87,8	66,6	0,3	99,7	66,6	61	39	MH	A-7-5 (16)
7	98,9	97,4	84,7	65,7	3,2	96,8	65,7	59	39	MH	A-7-5 (14)
8	99,1	97,4	86,6	61,4	2,3	97,7	61,4	62	52	MH	A-5 (8)
9	98,8	86,1	51,2	33,9	1,8	98,2	33,9	67	49	SM	A-2-7 (2)
10	99,9	99,1	87,8	66,6	0,3	99,7	66,6	61	39	MH	A-7-5 (16)
11	98,8	96,1	81,2	69,3	4,0	96,0	69,3	66	45	MH	A-7-5 (17)
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	100,0	99,4	87,3	77,3	0,0	100,0	77,3	63	44	MH	A-7-5 (19)
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	98,9	97,7	90,0	61,2	2,8	97,2	61,2	68	51	MH	A-7-5 (12)
16	99,6	99,0	92,6	75,9	1,7	98,3	75,9	61	45	MH	A-7-5 (16)
17	95,5	90,3	74,5	52,3	9,4	90,6	52,3	52	40	MH	A-7-5 (5)
18	99,8	99,0	90,2	65,9	0,6	99,4	65,9	67	48	MH	A-7-5 (15)
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	86,2	80,3	68,8	49,3	27,2	72,8	49,3	65	55	SM	A-5 (5)
21	98,6	97,4	87,5	65,1	4,0	96,0	65,1	55	42	MH	A-7-5 (10)

Fuente: Elaboración Propia

* 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 en su mayoría materiales que se caracterizan por tener un comportamiento mecánico deficiente.

3.2.3 Clasificación de subrasante según CBR

En esta sección se evalúa la capacidad soportante de la subrasante que conforma la red vial cantonal analizada, por medio del Índice de Soporte de California (CBR por sus siglas en inglés), obtenido en sitio y en el laboratorio.

El ensayo de CBR en el laboratorio consiste en aplicar una carga mediante un pistón metálico a una velocidad constante de penetración, sobre una muestra de suelo compactado con humedad óptima, dentro de un molde metálico; en la Figura 8 se presenta un ejemplo del equipo empleado para este tipo de ensayo. Esta prueba permite obtener el índice de CBR en condiciones óptimas (de confinamiento, de compactación y de saturación), el cual se emplea para distintos métodos de diseño de pavimentos.



Figura 8. Equipo para ensayo de CBR en laboratorio

Fuente: Cordero, 2013

El CBR en sitio se realiza mediante la prueba con el Cono de Penetración Dinámico (DCP, por sus siglas en inglés), el cual consiste en una medición indirecta que se genera a partir de la penetración del cono de DCP en el suelo en su estado natural, es decir en las condiciones del suelo en sitio, utilizando un golpe o conjunto de golpes con el martillo de carga (Figura 9). Al ejecutar el ensayo se obtiene el índice de DCP, que es la penetración (mm) por golpe realizado. Posteriormente, el valor de CBR se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$CBR = \frac{292}{(\text{Índice DCP})^{1,12}}$$

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 24 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------



Figura 9. Prueba de CBR en sitio con el DCP

Fuente: Quesada & Xu, 2017

Una vez determinado el valor de CBR de la subrasante, se procede a categorizarlos según la clasificación establecida por J. Bowles (1981), mostrada en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Clasificación del CBR para subrasante

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 10 se presenta gráficamente los resultados de CBR del suelo obtenidos para cada muestra en condiciones óptimas de confinamiento, compactación y saturación en el laboratorio; es importante mencionar que para los sondeos 1, 2, 3 y 20 no se logró realizar este ensayo debido a que luego de ejecutar las pruebas de caracterización de las propiedades físicas de la subrasante, la cantidad de material restante fue insuficiente para poder completar el ensayo de CBR en laboratorio. Además como se mencionó previamente, al sondeo 14 no se logró extraer muestra de subrasante debido a la presencia de una tubería, por lo que tampoco fue posible determinar su CBR en laboratorio.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 25 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

De acuerdo con los resultados, el 62% de los sondeos (13 sondeos) se clasifican como suelos con CBR regular, es decir que, en las condiciones óptimas de confinamiento, compactación y saturación, el suelo tiene una capacidad soportante regular para ser usados en caminos; el 5% de los sondeos analizados (1 sondeo) posee un CBR pobre a regular, mientras que a los sondeos restantes (33% de los sondeos) no fue posible obtener los resultados de CBR en laboratorio.

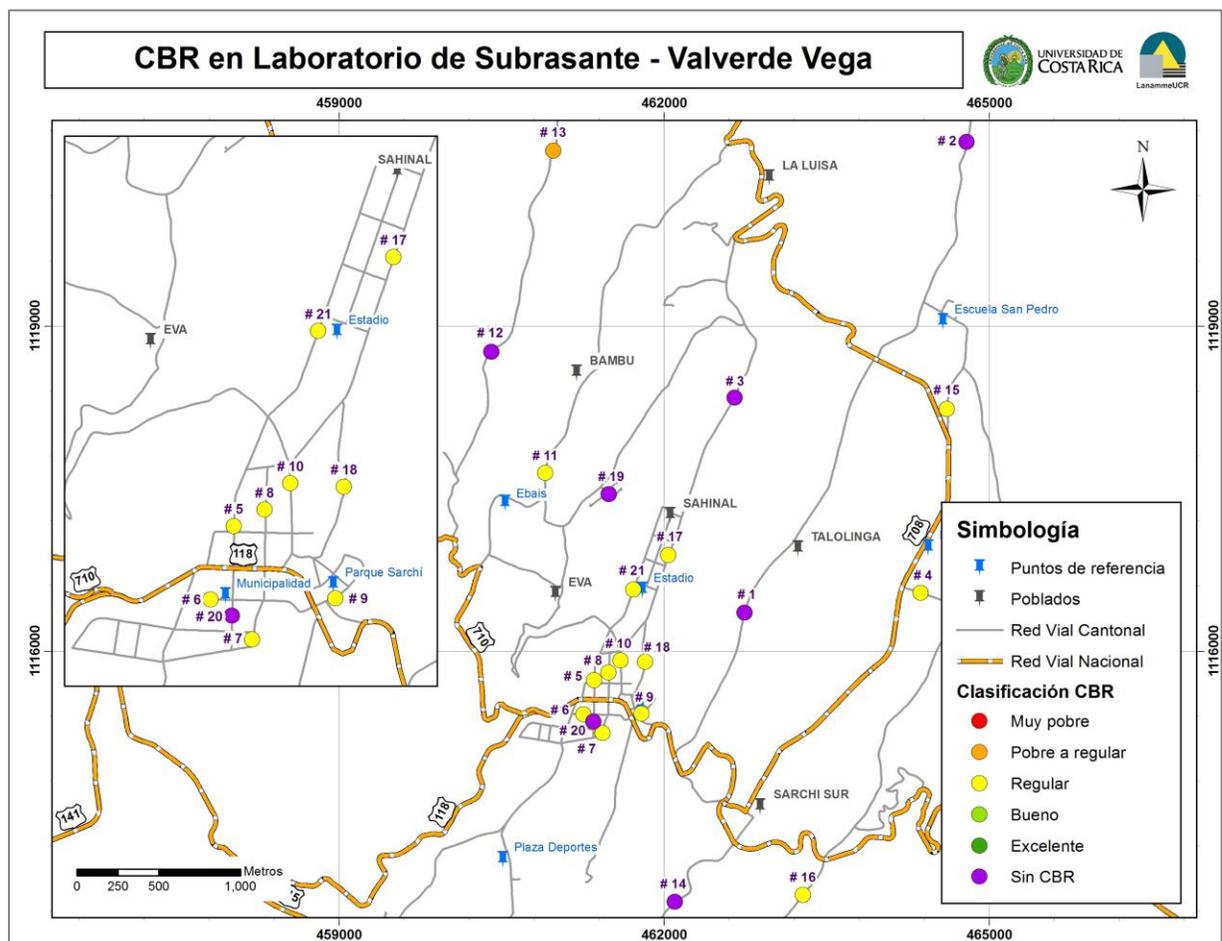


Figura 10. Clasificación del CBR en laboratorio de la subrasante, según Bowles

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 11 se presenta gráficamente los resultados de CBR del suelo obtenidos en sitio mediante el DCP. De acuerdo con los resultados, el 48% de los sondeos (10 sondeos) poseen una condición regular, es decir que, en las condiciones de la subrasante en sitio, el suelo tiene

una capacidad soportante regular; el 38% de los sondeos (8 sondeos) poseen una condición pobre a regular y 5% (1 sondeo) posee capacidad de soporte muy pobre.

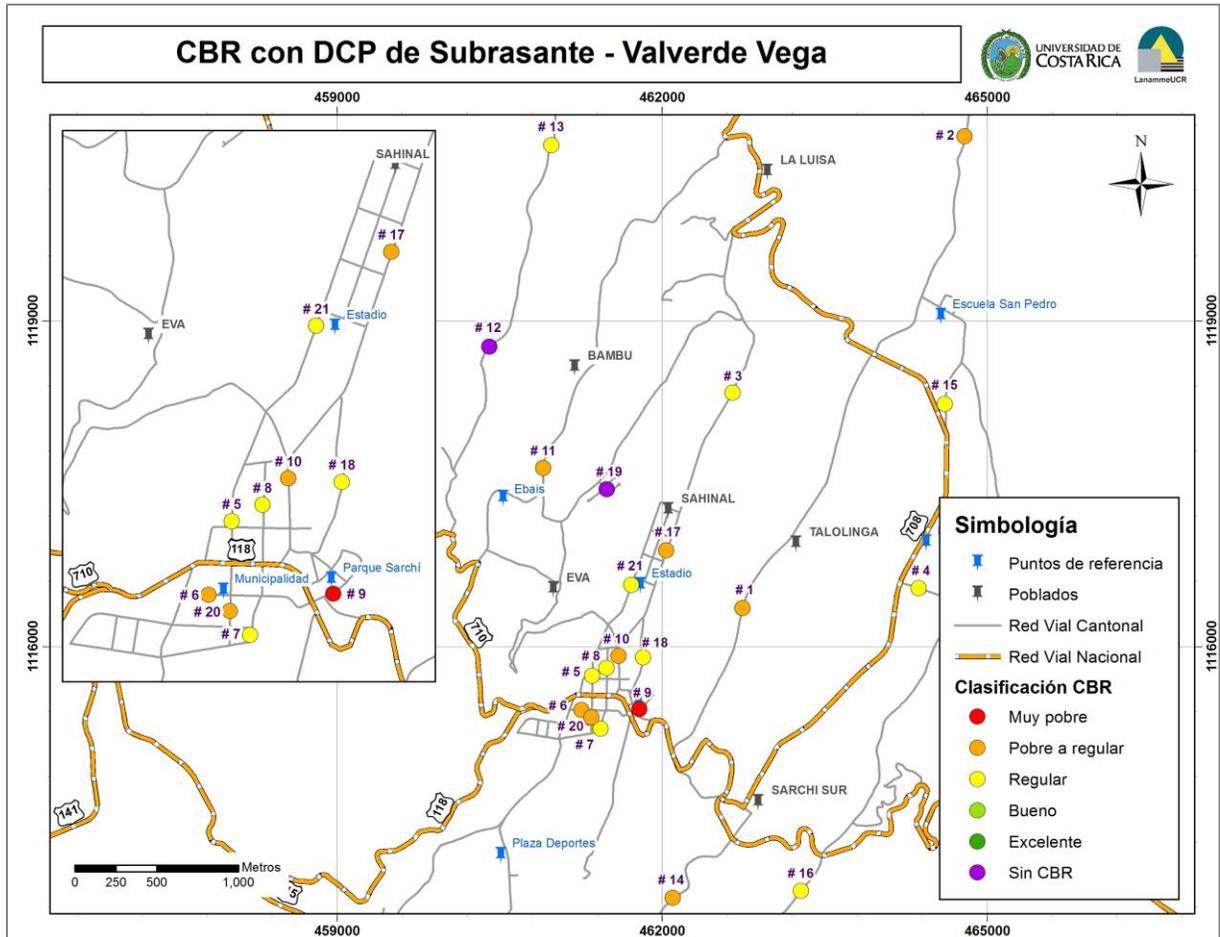


Figura 11. Clasificación del CBR con DCP de la subrasante, según Bowles

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 5 se puede observar en detalle los resultados del CBR de la subrasante obtenido en sitio mediante el DCP, así como los valores del CBR obtenidos en el laboratorio.



Cuadro 5. Resultados de CBR de la subrasante en laboratorio y empleando el DCP en sitio

Sondeo	CBR en sitio con DCP	CBR Laboratorio
1	6,8	-
2	5,1	-
3	11,8	-
4	7,1	10,9
5	14,3	8,2
6	5	10,2
7	9,9	7,7
8	17,3	7,3
9	1,7	12,7
10	4,5	10,2
11	4,4	9,5
12	-	-
13	10,5	5,9
14	5,8	-
15	10,2	10,9
16	11,3	8,3
17	4	12,7
18	7,1	7,3
19	-	-
20	6,1	-
21	8,9	11

Fuente: Elaboración Propia

En teoría, se espera que el CBR obtenido en el laboratorio sea superior o similar al CBR en sitio, pues en el laboratorio se manipula la muestra de suelo y se crean las condiciones óptimas de confinamiento, compactación y saturación para sacar el mayor provecho posible al suelo estudiado; en cambio, el CBR en sitio se realiza con el estado natural del suelo, que no necesariamente posee las condiciones óptimas. Sin embargo, debido a la aleatoriedad del material que se encuentra en campo, pueden darse resultados de CBR mayores en sitio, por ejemplo, que exista sobre-tamaño de partículas justo en la zona donde se realiza el ensayo de DCP, lo cual genera registros de CBR mayores, entre otros factores.



3.2.4 Clasificación de la base granular por tipo de material

Con el propósito de clasificar el tipo de material de la base granular, al igual que para la subrasante, en esta sección se caracteriza de forma detallada sus propiedades físicas, mediante los siguientes ensayos de laboratorio:

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Gravedad Específica

Se hizo además un análisis visual de las características generales de las bases granulares en los diferentes sondeos realizados, agrupando el sondeo 9 con el sondeo 7, pues poseían características similares, y únicamente se extrajo muestra del sondeo 7 y no de ambos. A los sondeos 1, 6, 10, 11, 13 y 17 no se les logró extraer muestras de la base granular, ya que durante la excavación el material se contaminó. Cabe mencionar también que la cantidad de material del sondeo 14 únicamente fue suficiente para ejecutar el ensayo de granulometría. Es decir, solamente se logró determinar el tipo de material de la base granular en 12 sondeos.

A partir de los datos generados en el laboratorio, referentes a la granulometría y a los límites de Atterberg, se clasificó el material de la base granular según la metodología SUCS, la cual fue previamente presentada en la sección 3.2.2. En la Figura 12 se muestra un gráfico con la distribución porcentual de los diferentes tipos de materiales encontrados en los 12 sondeos, según la clasificación SUCS, y en la Figura 13 se muestra su respectiva ubicación.

Es posible observar que 2 sondeos se clasifican como grava y 9 sondeos se clasifican como arena, caracterizados por poseer buena resistencia al corte, ser semipermeables a permeables y de baja compresibilidad; únicamente un sondeo corresponde a la categoría de limo.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 29 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

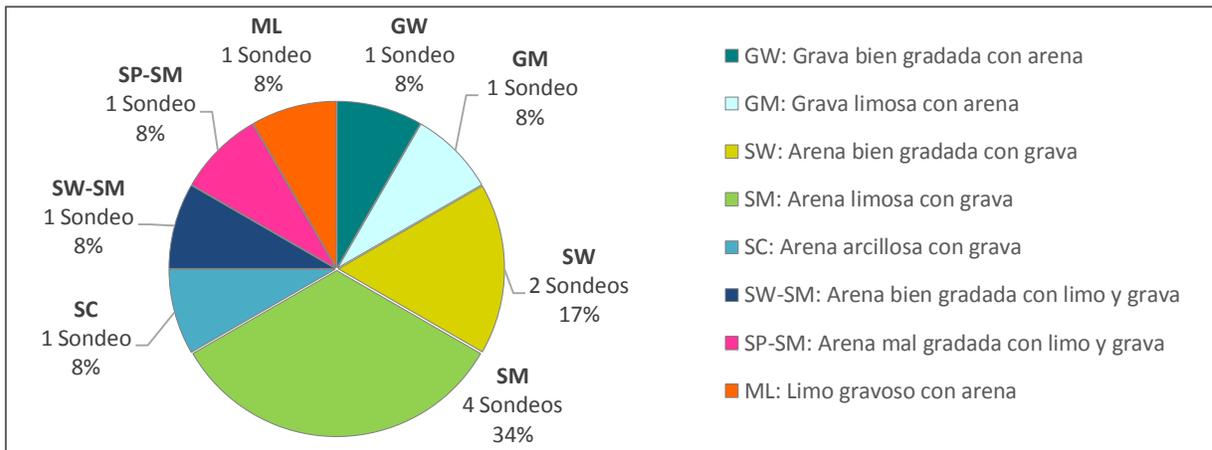


Figura 12. Distribución porcentual de la caracterización de la base granular según la clasificación SUCS
Fuente: Elaboración Propia

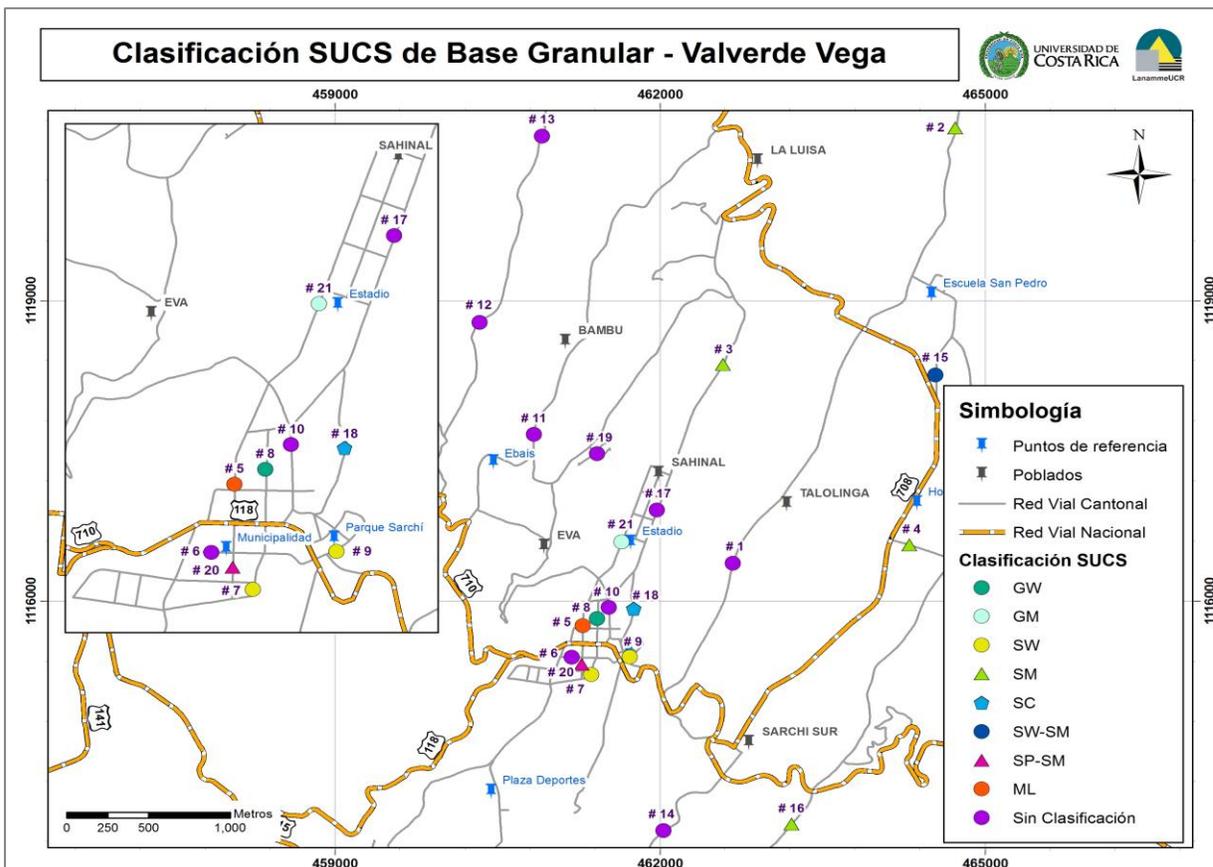


Figura 13. Caracterización de la base granular según la clasificación SUCS
Fuente: Elaboración Propia

Las 12 muestras de base granular extraídas en el cantón de Valverde Vega también fueron analizadas de acuerdo con la metodología de la AASHTO (presentada en la sección 3.2.2). En la Figura 14 se muestra un gráfico con la distribución porcentual de los diferentes tipos de materiales de base granular encontrados en los 12 sondeos, según la clasificación AASHTO, y en la Figura 15 se muestra su respectiva ubicación.

De acuerdo con los resultados, se observa que 3 sondeos son materiales clasificados como A-1 y 7 sondeos como A-2, que corresponden a materiales granulares con buen o excelente comportamiento como material para carreteras según la clasificación AASHTO, y únicamente 2 sondeos corresponden a material fino limoso.

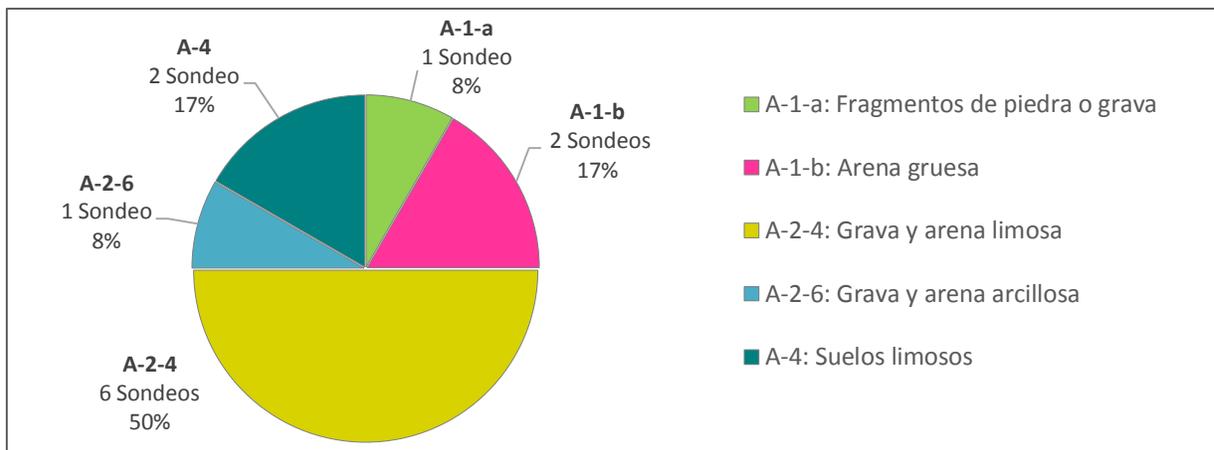


Figura 14. Distribución porcentual de la caracterización de la base granular según la clasificación AASHTO
Fuente: Elaboración Propia

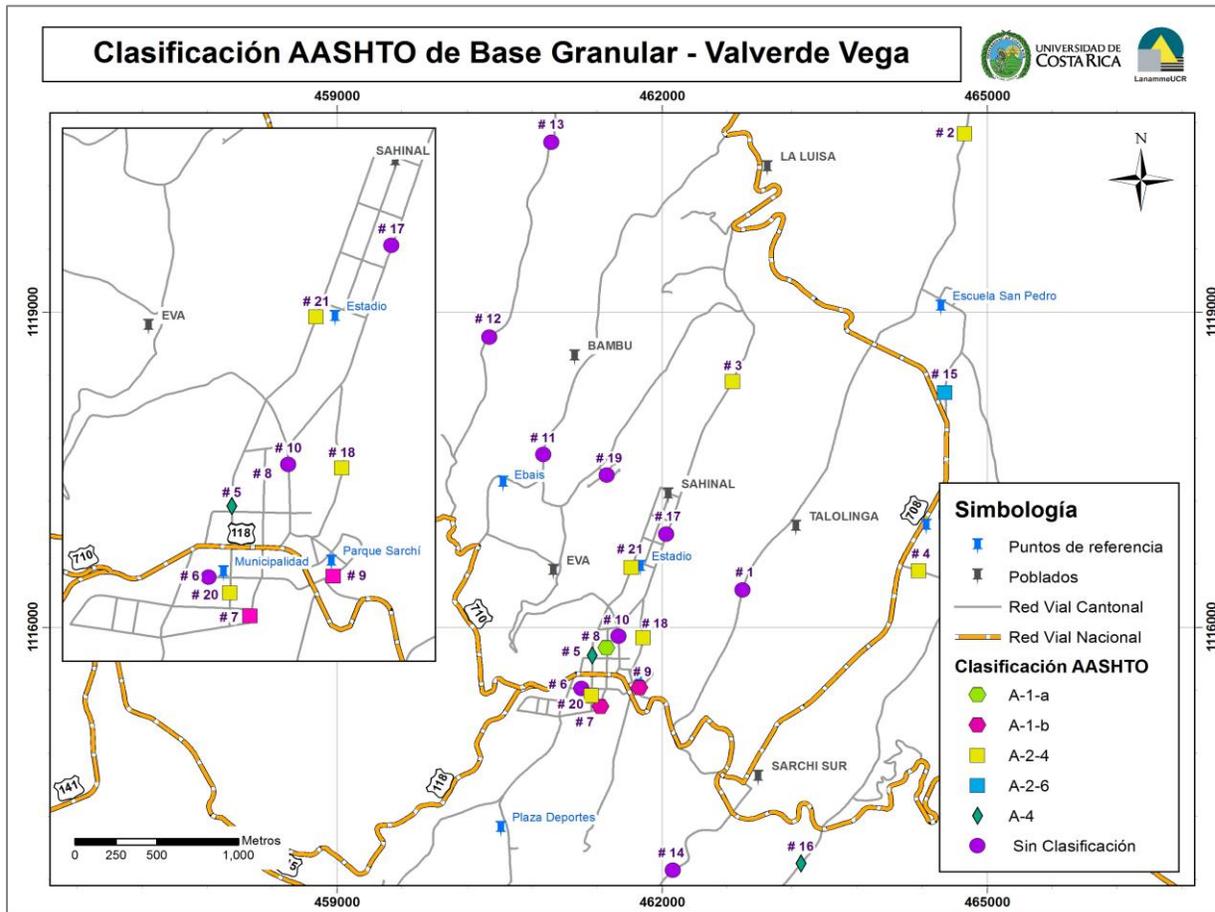


Figura 15. Caracterización de la base granular según la clasificación AASHTO
Fuente: Elaboración Propia

A continuación en el Cuadro 6 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en laboratorio de los sondeos de las bases granulares realizados en la localidad de Valverde Vega, en donde incluye los resultados de las pruebas granulométricas y los Límites de Atterberg, con los cuales se determina la respectiva clasificación SUCS y AASHTO.



Cuadro 6. Clasificación del tipo de material de la base granular en los sondeos realizados

Sondeo	Porcentaje Pasando				FG	FS	CF	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO
	N°4	N°10	N°40	N°200								
2	64,3	51,8	34,9	21,1	45,3	54,7	21,1	33	25	8	SM	A-2-4 (0)
3	63,1	51,3	34,9	20,4	46,4	53,6	20,4	30	24	6	SM	A-2-4 (0)
4	57,9	46,6	30,0	15,8	50,0	50,0	15,8	35	25	10	SM	A-2-4 (0)
5	63,0	61,0	57,0	53,0	78,7	21,3	53	30	25	5	ML	A-4 (1)
7	63,0	51,0	25,0	9,0	40,7	59,3	9	NP	NP	NP	SW	A-1-b (0)
8	45,0	34,0	19,0	8,0	59,8	40,2	8	NP	NP	NP	GW	A-1-a (0)
9	63,0	51,0	25,0	9,0	40,7	59,3	9	NP	NP	NP	SW	A-1-b (0)
14	66,0	55,0	34,0	16,0	40,5	59,5	16,0	-	-	-	-	-
15	56,5	41,0	20,2	6,9	46,7	53,3	6,85	37	26	11	SW-SM	A-2-6 (0)
16	77,0	70,0	57,0	47,0	43,4	56,6	47	29	24	5	SM	A-4 (0)
18	66,0	55,0	31,0	16,0	40,5	59,5	16	32	22	10	SC	A-2-4 (0)
20	56,0	43,0	28,0	12,0	50,0	50,0	12	31	24	7	SP-SM	A-2-4 (0)
21	57,1	46,8	32,2	20,7	54,0	46,0	20,7	33	26	7	GM	A-2-4 (0)

Fuente: Elaboración Propia

* 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
 IP: Índice de Plasticidad

Es posible identificar que tanto para la clasificación SUCS como para la clasificación AASHTO, el tipo de material que compone la base granular son en su mayoría materiales que se caracterizan por ser semipermeables a permeables, resistentes al corte, poco compresibles y poseen facilidad de tratamiento en obra.

Sin embargo, analizando los resultados de granulometría, se obtiene que los materiales poseen un promedio aproximado de 20% de contenido de finos, lo cual es una cantidad bastante elevada, pues el CR-2010 recomienda que los materiales para capas de base tengan un contenido de finos entre 4% a 7%.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 33 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

Además, según los requerimientos del CR-2010 para capas de base, los materiales deben tener un límite líquido (LL) máximo de 35 y un índice de plasticidad (IP) entre 4 a 9. De acuerdo con los resultados presentados previamente en el Cuadro 6, se encontraron algunos materiales con un LL de 37 e IP que van desde valores de 5 hasta 11, lo cual no cumple con los requerimientos.

3.2.5 Clasificación de la base granular según CBR

En esta sección se evalúa la capacidad soportante de la base granular que conforma la red vial cantonal analizada, por medio del valor de CBR obtenido en sitio mediante el DCP (presentado previamente en la sección 3.2.3). Es importante mencionar que al realizar el ensayo en la base granular de los sondeos 2, 5 y 11, ocurría el rebote del equipo por presencia de piedras de gran tamaño, por lo que no fue posible realizar el ensayo.

En la Figura 16 se muestran los resultados de CBR de la base granular. El valor más bajo es un CBR de 20,8 y el más alto es de 58,7, es decir, en general el material que se encuentra como base posee una capacidad soportante inferior al requerimiento mínimo del CR-2010, el cual indica que la capa de base debe tener un CBR mínimo de 80. Lo anterior concuerda con los resultados de deflectometría que se presentaron en el informe de evaluación del estado de la red vial cantonal de Valverde Vega, en noviembre del año 2018, los cuales dieron resultados de deflectometría categorizados como deficiente a muy deficiente, lo anterior se debe a que las capas que conforman la estructura del pavimento no cuentan con la capacidad mínima que se requiere para soportar las cargas a las cuales se ven sometidos.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 34 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

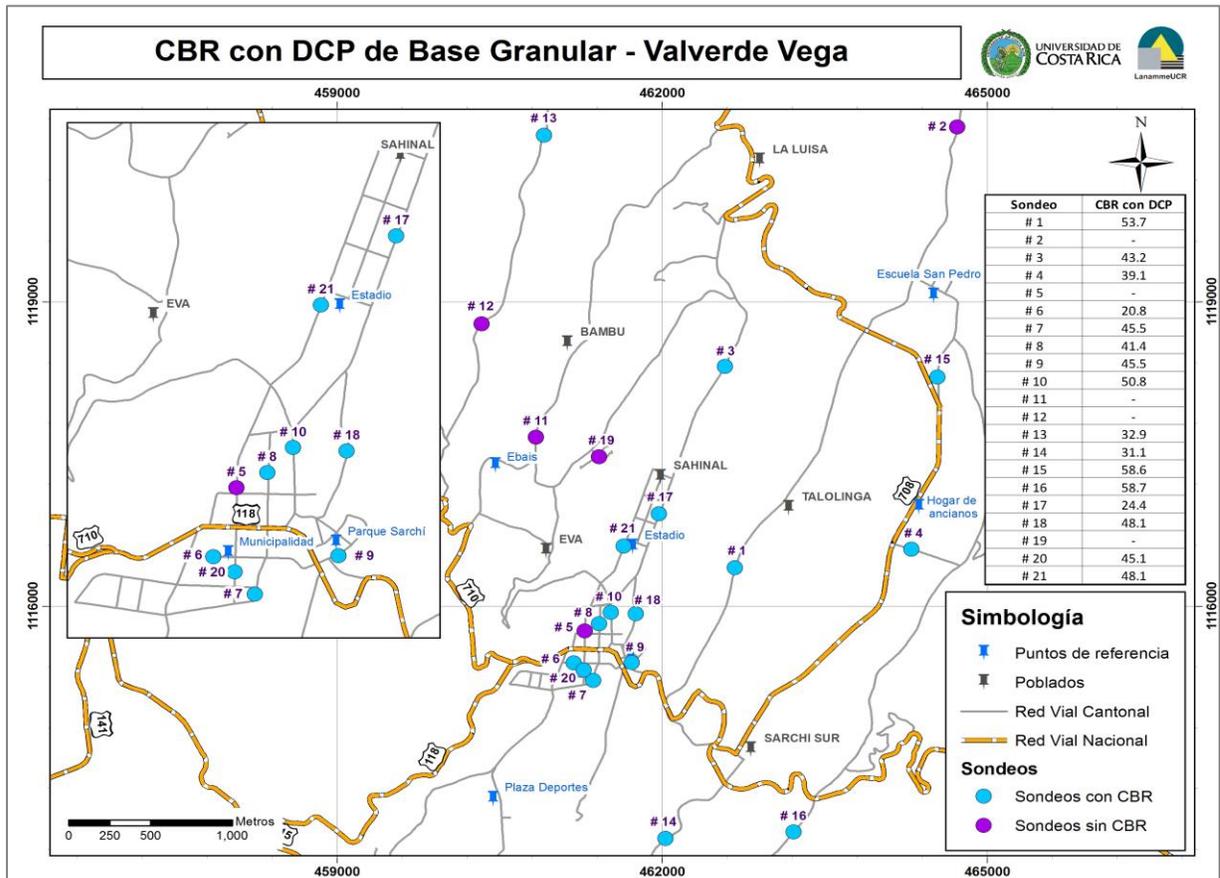


Figura 16. Resultados del CBR de la base granular con DCP

Fuente: Elaboración Propia

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se realizaron 21 sondeos sobre la red vial cantonal de Valverde Vega, en donde se obtuvo que el espesor promedio de la estructura del pavimento es de 31 cm, con un espesor máximo de 51 cm y mínimo de 13 cm.

Analizando la carpeta asfáltica, el espesor promedio obtenido es de 7 cm, con espesores máximos de 11 cm y mínimos de 5 cm, observando además la presencia de deterioros en la carpeta, principalmente grietas por fatiga (cuero de lagarto) y baches. En cuanto a la base granular y sub-base, se observó la predominancia de material granular de relleno proveniente de tajo con sobre-tamaños.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 35 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------



De acuerdo con el tipo de suelo, gran parte de la subrasante (71% de los sondeos realizados) corresponde a suelos de tipo MH según la clasificación SUCS y A-7-5 según la clasificación AASHTO, es decir, suelos limosos o arcillosos, caracterizados principalmente por tener alta plasticidad, poca permeabilidad, gran potencial de expansión y en general un comportamiento mecánico deficiente como material para caminos.

El 62% de los sondeos de la subrasante (13 sondeos) en condiciones óptimas de confinamiento, compactación y saturación, presentan una capacidad soportante regular; mientras que con las condiciones del suelo en sitio (ensayo de CBR con DCP), solo el 48% de los sondeos (10 sondeos) mantienen esa capacidad de soporte regular y 38% de los sondeos realizados (8 sondeos) presentan una capacidad soportante de pobre a regular.

Se analizaron 12 muestras de base granular, y tanto para la clasificación SUCS como AASHTO, se obtuvo que más del 80% de las muestras corresponden a materiales granulares que se caracterizan por ser semipermeables a permeables, resistentes al corte, poco compresibles y poseen facilidad de tratamiento en obra. No obstante, analizando las propiedades físicas del material, se obtuvo que las muestras poseen en promedio 20% de contenido de finos, lo cual supera a los requerimientos de granulometría que permite el CR-2010 para capas de base. Además, de acuerdo con los resultados de límites de consistencia, hay materiales que presentan índices de plasticidad mayores a 35 y límites líquidos que van desde 5 hasta 11, los cuales tampoco cumplen con los requerimientos establecidos en el CR-2010 para materiales empleados en capas de base. Es decir, los materiales se consideran deficientes para ser empleados en carreteras como base.

Los resultados de las mediciones de CBR en sitio de la base granular dieron valores de CBR entre 21 hasta 59, lo cual indica que el material posee una capacidad soportante inferior al requerimiento mínimo de un CBR de 80 que permite el CR-2010 para capas de base. Por lo tanto, la capacidad estructural que aporta la base granular a la estructura del pavimento es deficiente.

Lo mostrado previamente concuerda con los resultados de la condición estructural de la red vial cantonal de Valverde Vega, que se presentaron en el informe LM-PI-GM-INF-02-18 en noviembre del año 2018, los cuales dieron resultados de deflectometría categorizados como deficiente a muy deficiente, es decir, las capas que conforman la estructura del pavimento no

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 36 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------



cuentan con la capacidad soportante mínima que se requiere para resistir las cargas a las cuales se ven sometidos.

Es importante mencionar que el presente informe caracteriza la estructura del pavimento de las rutas analizadas en la red vial cantonal de la Municipalidad de Valverde Vega, y es un complemento a los resultados entregados en noviembre del año 2018 mediante el informe LM-PI-GM-INF-02-18, en donde se presentaron los resultados de características del tránsito vehicular, la condición funcional y estructural de la RVC, así como la determinación de notas de calidad y recomendaciones de tipos de intervenciones.

Lo anterior permite obtener una base de datos con características técnicas de la infraestructura vial que permita la emisión de recomendaciones y sirva de fundamento para la toma de decisiones en la planificación y selección de alternativas oportunas de intervención.

4.2 Recomendaciones

En la elaboración del Plan de Conservación, Desarrollo y Seguridad Vial Cantonal 2017-2021 fueron considerados diferentes escenarios de inversión, los cuales se desarrollaron acorde con las políticas institucionales y el presupuesto disponible para la ejecución de proyectos de infraestructura vial. Dado que este informe es un complemento a los resultados de la evaluación del estado de la red vial del cantón entregada en noviembre del año 2018, es importante que se analice la aplicabilidad o modificación de los escenarios de inversión planteados inicialmente, tomando en cuenta el tipo de intervención recomendada, la capacidad soportante y el tipo de material tanto de la subrasante como la base granular en sitio, lo cual podría generar cambios en el presupuesto asignado a cada uno de los escenarios planteados.

Se recomienda además, que en el Municipio se realice un diagnóstico interno de la organización, funciones desempeñadas y las responsabilidades de los diferentes miembros encargados de la gestión vial municipal, con el objetivo de identificar los aspectos que se requieren fortalecer, para realizar una gestión más eficiente y eficaz del mantenimiento y mejora de la red vial cantonal que administra.

-----UL-----

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 37 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------

5 REFERENCIAS

- Allen, J. (2008). *Informe LM-PI-GM-01-08: Proyecto de Gestión y Evaluación de la Red Vial Cantonal de la Municipalidad de Belén*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Allen, J., y López, S. (2009). *Informe LM-PI-PM-08-09: Desarrollo de un sistema para la conservación vial en la Municipalidad de La Unión*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Bowles, J. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. México D.F.: McGRAW-HILL.
- Cordero, M. (2013). *Manual de Laboratorio, Mecánica de Suelos I*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Haas, R., Hudson, R., y Zaniewski, J. (1993). *Modern Pavement Managment*. Florida: Krieger Publishing Company.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería. (2004). *Propuesta Metodológica para el desarrollo de una zonificación geotécnica para la cartografía de zonificación geomecánica* (Vol. III). Bogotá, Colombia: Ministerio de Minas y Energía.
- Instituto Nacional de Vías. (2012). *Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras*. Bogotá, Colombia: INVIAS.
- López, S. (2009). *Sistema Piloto de administración de pavimentos en la Municipalidad de Belén, Heredia. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- MOPT. (2010). *CR-2010: Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes*. San José: Costa Rica.
- Quesada, J., y Xu, L. (2017). *Informe LM-PI-GM-INF-09-17: Diagnóstico de la Red Vial Cantonal en el Distrito de Vara Blanca de Heredia - Estimación del Valor del Patrimonio Vial*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 38 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------



Solminihaç, H. (1998). *Gestión de Infraestructura Vial*. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

Xu, L., y Vargas, A.C. (2017). *Informe LM-PI-GM-INF-08-17: Evaluación de la Red Vial Cantonal de San Isidro de Heredia, Diagnóstico y Análisis por Secciones*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.

Informe LM-PI-GM-INF-01-19	Fecha de emisión: Febrero, 2019	Página 39 de 39
----------------------------	---------------------------------	-----------------