

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA POSGRADO

Tema: Diagnóstico y Formulación de un Plan Integral de Operación y Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Drenaje Pluvial en la Red Vial Intercantonal de la Provincia de Cotopaxi

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Magíster en Hidráulica con mención en Obras Hidráulicas

Modalidad del Trabajo de Titulación: PROYECTO DE TITULACIÓN CON COMPONENTE INVESTIGACIÓN APLICADA Y DESARROLLO.

Autor: Ing. David Santiago Sailema Díaz

Director: Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, M.Sc.

Ambato – Ecuador

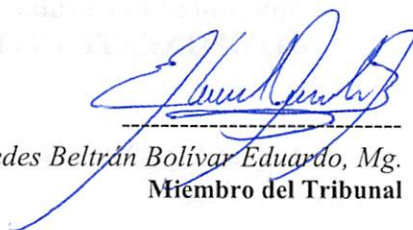
2026

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad/Centro

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por: Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg, e integrado por los señores: *PhD. Paredes Beltrán Bolívar Eduardo, Mg., Ing. Lidia Jhoanna Gallardo Donoso, Mg.*, designados por la Unidad Académica de Titulación del Centro de Posgrados de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “*DIAGNÓSTICO Y FORMULACIÓN DE UN PLAN INTEGRAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL EN LA RED VIAL INTERCANTONAL DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI*” elaborado y presentado por el señor *Ing. David Santiago Sailema Díaz*, para optar por el Título de cuarto nivel de Magíster en Hidráulica con mención en Obras Hidráulicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal



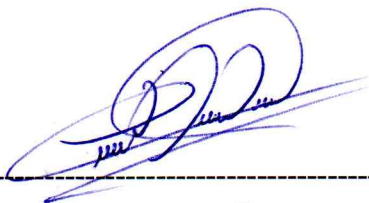
PhD. Paredes Beltrán Bolívar Eduardo, Mg.
Miembro del Tribunal



Ing. Lidia Jhoanna Gallardo Donoso, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “DIAGNÓSTICO Y FORMULACIÓN DE UN PLAN INTEGRAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL EN LA RED VIAL INTERCANTONAL DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI”, le corresponde exclusivamente a: Ing. David Santiago Sailema Díaz, Autor bajo la Dirección de Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga M.Sc, Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. David Santiago Sailema Díaz

c.c.: 1803880929

AUTOR



Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, M.Sc

c.c.: 0601823313

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con finés de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. David Santiago Sailema Díaz

c.c.:1803880929

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad/Centro.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
AGRADECIMIENTO	x
DEDICATORIA.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I.....	14
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.1 Introducción.....	14
1.2 Justificación.....	18
1.3 Objetivo	21
1.3.1 General.....	21
1.3.2 Específicos.....	22
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO.....	23
a) ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	23
b) FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA	25
2.1 SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL VIAL.....	25
2.2 Componentes del sistema de drenaje pluvial vial.....	26
2.2.1 Cuneta	26
2.2.2 Alcantarilla.....	26
2.2.3 Rejilla	27
2.2.4 Caja de descarga.....	27
2.2.5 Rampa de acceso vehicular	27
2.2.6 Pavimentos y relación con la presencia de agua	28
2.3 Funcionalidad operativa del drenaje y reducción de sección útil.....	29
2.4 Problemas frecuentes en los drenajes viales	30
2.5 Operación, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo.....	32
2.5.1 Operación.....	32

2.5.2 Mantenimiento preventivo.....	33
2.5.3 Mantenimiento correctivo	34
2.6 Inventario técnico y fichas de inspección.....	34
2.7 Criticidad y priorización de intervenciones	36
2.8 Gestión institucional del mantenimiento vial	37
2.9 Sustento técnico del plan integral propuesto.....	39
CAPÍTULO III	41
MARCO METODOLÓGICO	41
3.1 Tipo de investigación.....	41
3.2 Población o muestra:.....	42
3.3 Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender	43
3.4 Recolección de información:	44
3.5 Procedimiento metodológico para la matriz de criticidad.....	46
3.6 Procesamiento de la información y análisis estadístico:	49
CAPÍTULO IV.....	51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1 Inventario y caracterización de los elementos de drenaje pluvial presentes en los tramos viales intercantonales	51
4.1.1 Tramos viales evaluados	51
4.1.2 Fichas de recolección de información:	53
4.1.3 Elementos inventariados por tipo.....	55
4.1.4 Evidencia fotográfica representativa del diagnóstico.....	57
4.2 Evaluación del estado y nivel de criticidad de los drenajes pluviales	60
4.2.1 Distribución de elementos de drenaje por tipo y vía evaluada	61
4.2.2 Inventario técnico de daños	65
4.2.3 Condición de los drenajes y requerimientos de operación y mantenimiento por vía	66
4.2.4 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento por vía evaluada.....	72
4.2.5 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento por tipo de elemento.....	74
4.2.6 Discusión técnica de los resultados del diagnóstico.....	76
CAPÍTULO V	79
PROPUESTA	79
5.1 Definición de los procedimientos estandarizados de operación, limpieza y mantenimiento preventivo para cada tipo de drenaje	79
5.2 Descripción.....	80
5.3 Desarrollo de la propuesta.....	80

5.4 Criterios generales del manual de operación y mantenimiento	82
5.4.1 Cuneta	85
5.4.2 Alcantarilla.....	87
5.4.3 Rejilla	89
5.4.4 Caja de descarga.....	91
5.4.5 Rampa de acceso.....	93
5.5 Criterios de seguimiento y control	95
5.6 Cronograma referencial	96
5.7 Cierre de la propuesta	97
CAPÍTULO VI.....	98
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS.....	98
6.1 Conclusiones.....	98
6.2 Recomendaciones	99
6.3 Bibliografía.....	101
6.4 Anexos	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tramos viales evaluados	43
Tabla 2 Procedimiento metodológico para la recolección de información en campo.....	44
Tabla 3 Criterios de clasificación de la condición del drenaje.....	48
Tabla 4 Matriz Integral de levantamiento de información en la vía Salcedo–Latacunga	54
Tabla 5 Matriz de respaldo entre inventario de estructuras y clasificación de criticidad	56
Tabla 6 Distribución por tipo de elemento en la vía Salcedo–Latacunga.....	56
Tabla 7 Distribución de elementos de drenaje por tipo y por vía evaluada.	62
Tabla 8 Inventario técnico de daños, causas probables e intervención recomendada.....	65
Tabla 9 Condición de los elementos de drenaje y coeficientes referenciales de operación y mantenimiento por vía evaluada.....	68
Tabla 10 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento respecto al total de elementos evaluados por vía.....	72
Tabla 11 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento por tipo de elemento de drenaje	74
Tabla 12 Fases para la aplicación del plan integral.....	81
Tabla 13 Manual integral de operación y mantenimiento por tipo de elemento.....	83
Tabla 14 Plan de Mantenimiento y Operación para Cuneta (Tramo equivalente de 10 m)	85
Tabla 15 Plan de Mantenimiento y Operación para Alcantarilla	87
Tabla 16 Plan de Mantenimiento y Operación para Rejilla	89
Tabla 17 Plan de Mantenimiento y Operación para Caja de descarga.....	91
Tabla 18 Plan de Mantenimiento y Operación para Rampa de Acceso	93
Tabla 19 Cronograma referencial para la aplicación del plan integral de operación y mantenimiento preventivo	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Esquema General de Vías evaluadas	53
Ilustración 2 Fotografías representativas de la Vía Salcedo – Latacunga.....	58
Ilustración 3 Fotografías representativas de la vía Latacunga – Pujilí.....	58
Ilustración 4 Fotografías representativas de la vía Saquisilí – Poaló.....	59
Ilustración 5 Fotografías representativas de la vía Poaló - Pujilí.....	59
Ilustración 6 Fotografías representativas de la vía Saquisilí - Guaytacama.....	59
Ilustración 7 Fotografías representativas de la vía Saquisilí - Tanicuchí.....	60
Ilustración 8 Fotografías representativas de la vía Guaytacama - Toacaso	60
Ilustración 9 Distribución porcentual de elementos de drenaje por vía evaluada.	64
Ilustración 10 Condición del drenaje y requerimientos de operación y mantenimiento por vía evaluada.....	71
Ilustración 11 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento por vía evaluada	73
Ilustración 12 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento por tipo de elemento de drenaje	76
Ilustración 13 Tramo Latacunga - Salcedo	104
Ilustración 14 Tramo Latacunga - Pujilí	105
Ilustración 15 Tramo Saquisilí – Poaló.....	105
Ilustración 16 Tramo Poaló – Pujilí	106
Ilustración 17 Tramo Saquisilí – Guaytacama	106
Ilustración 18 Tramo Saquisilí – Tanicuchí	107
Ilustración 19 Tramo Guaytacama – Toacaso.....	107

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por permitirme culminar una etapa más en mi vida tanto personal como profesional.

A la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y al programa de Maestría en Hidráulica con mención en Obras Hidráulicas, por el acompañamiento brindado durante todo el proceso de formación.

Quisiera expresar mi más sincero reconocimiento a mi director de tesis, el Ing. Alfonso Arellano M.Sc. por su paciencia, orientación y acompañamiento; su amplia experiencia fue clave para el desarrollo de este proyecto.

A mi amada esposa Paola, por su comprensión, paciencia y apoyo durante esta etapa de estudio, así como a mis hijos, quienes me motivan a continuar con mi desarrollo personal y profesional.

A mis padres, por ser un pilar fundamental y darme un apoyo incondicional.

Ing. David Santiago Sailema Díaz

DEDICATORIA

Con mucho amor y aprecio, dedico este trabajo a mi familia, quienes me brindaron su apoyo incondicional en esta etapa de crecimiento profesional.

Gracias a su respaldo y a la confianza que me brindaron, pude mantener la constancia necesaria para cumplir esta meta académica.

Ing. David Santiago Sailema Díaz

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo presenta un diagnóstico técnico y un plan integral de operación y mantenimiento preventivo orientado a conservar la funcionalidad hidráulica y estructural de los sistemas de drenaje pluvial ubicados en siete tramos viales intercantonales priorizados de la provincia de Cotopaxi. La investigación se enfocó en los tramos Salcedo–Latacunga, Latacunga–Pujilí, Saquisilí–Poaló, Poaló–Pujilí, Saquisilí–Guaytacama, Saquisilí–Tanicuchí y Guaytacama–Toacaso, cubriendo un total de 40,48 km.

Dado que la información se obtuvo directamente en el campo sin alterar las condiciones reales de los elementos inspeccionados, la investigación se realizó con un enfoque cuantitativo, aplicado y con un diseño no experimental. Para este propósito se utilizaron registros fotográficos, observación directa, hojas de cálculo para el procesamiento de datos, matrices de criticidad y fichas técnicas de evaluación. Esto posibilitó la organización, comparación y análisis del estado operativo de las alcantarillas, cunetas y otros elementos relacionados con el drenaje vial.

Los resultados identifican como deficiencias más frecuentes la acumulación de sedimentos, los taponamientos parciales o totales, la formación de grietas, el crecimiento de vegetación y la pérdida de capacidad hidráulica. Estas condiciones se relacionan, en varios casos, con los efectos del flujo de agua o con su permanencia sobre la calzada, lo que termina afectando tanto el funcionamiento del drenaje como la conservación de la vía. A partir de esta información, se establecieron porcentajes de operación y mantenimiento según el tipo de elemento evaluado, con el fin de reconocer los puntos críticos y priorizar acciones preventivas y correctivas de manera más ordenada.

Como resultado, se plantea una guía técnica que contiene procedimientos, objetivos, frecuencias de intervención, personal requerido, recursos, materiales, equipos, unidades de medida y criterios de verificación. Esta herramienta busca apoyar la planificación institucional y la gestión de los activos públicos, reduciendo el deterioro prematuro de la infraestructura vial y promoviendo una conservación más sostenible. Además, ofrece una orientación práctica para tomar decisiones técnicas, organizar cronogramas de trabajo periódicos y dar seguimiento a las condiciones que pueden comprometer la seguridad vial local.

DESCRIPTORES: *ALCANTARILLAS, CUNETAS, DRENAJE PLUVIAL, MANTENIMIENTO PREVENTIVO, OPERACIÓN VIAL*

ABSTRACT

This work presents a technical diagnosis and a comprehensive operation and preventive maintenance plan aimed at preserving the hydraulic and structural functionality of stormwater drainage systems located in seven prioritized inter-cantonal road sections of the province of Cotopaxi. The research focused on the Salcedo–Latacunga, Latacunga–Pujilí, Saquisilí–Poaló, Poaló–Pujilí, Saquisilí–Guaytacama, Saquisilí–Tanicuchí, and Guaytacama–Toacaso road sections, covering a total of 40.48 km.

Since the information was obtained directly in the field without altering the actual conditions of the inspected elements, the research was conducted with a quantitative, applied, and non-experimental design. Photographic records, direct observation, spreadsheets for data processing, criticality matrices, and technical evaluation forms were used for this purpose. This facilitated the organization, comparison, and analysis of the operational status of culverts, ditches, and other elements related to road drainage.

The results identify the most frequent deficiencies as sediment accumulation, partial or total blockages, crack formation, vegetation growth, and loss of hydraulic capacity. These conditions are related, in several cases, to the effects of water flow or its presence on the road surface, ultimately affecting both drainage function and road preservation. Based on this information, operating and maintenance percentages were established according to the type of element evaluated, in order to identify critical points and prioritize preventive and corrective actions in a more organized manner.

As a result, a technical guide is presented, containing procedures, objectives, intervention frequencies, required personnel, resources, materials, equipment, units of measurement, and verification criteria. This tool aims to support institutional planning and the management of public assets, reducing premature deterioration of road infrastructure and promoting more sustainable maintenance. Furthermore, it offers practical guidance for making technical decisions, organizing periodic work schedules, and monitoring conditions that could compromise local road safety.

DESCRIPTORS: CULVERTS, DITCHES, STORMWATER DRAINAGE, PREVENTIVE MAINTENANCE, ROAD OPERATION

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

El drenaje pluvial vial constituye un componente fundamental para garantizar la funcionalidad, seguridad y vida útil de las carreteras, debido a que permite captar, conducir y evacuar adecuadamente las aguas de escorrentía que interactúan con la plataforma vial [1]. Su importancia no se limita únicamente al desalojo del agua lluvia, sino que también se relaciona con la protección de la estructura del pavimento, la reducción de procesos erosivos en taludes, la prevención de acumulaciones sobre la calzada y la conservación de la estabilidad de los elementos que conforman la infraestructura vial [2].

Las obras de drenaje pluvial vial cumplen una función esencial en la conservación de las carreteras, aunque en la práctica muchas veces reciben menor atención que la capa de rodadura [3].

Una vía puede mantener una superficie aparentemente transitable; sin embargo, si sus cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga o rampas de acceso no funcionan adecuadamente, el agua lluvia deja de evacuarse de forma controlada y empieza a afectar directamente la estructura vial [4].

Los sedimentos, los desechos, la vegetación y los materiales transportados durante los eventos de lluvia se acumulan en los sistemas de drenaje, reduciendo la sección transversal hidráulica disponible. Esta condición incrementa el riesgo de desbordamientos hacia la calzada y acelera la aparición de grietas, baches, erosión en los bordes, socavación y pérdida del nivel de servicio de la vía [3].

Cuando el mantenimiento se realiza únicamente después de que aparece la falla, aumenta la utilización de maquinaria, mano de obra, materiales y recursos destinados a la reparación [5]. En cambio, con un plan preventivo es posible programar actividades, valorar la criticidad de los elementos y utilizar de mejor manera los recursos públicos destinados a la conservación vial [6].

La implementación de un plan de operación y mantenimiento vial constituye una herramienta fundamental para garantizar la funcionalidad, seguridad y sostenibilidad de la infraestructura de transporte. Un plan permite establecer procedimientos sistemáticos de inspección, monitoreo, limpieza, conservación y rehabilitación de los sistemas de drenaje vial, cuya adecuada operación es determinante para controlar la escorrentía superficial y subsuperficial, prevenir procesos erosivos y evitar el deterioro prematuro de la estructura del pavimento.

Según Romana García [7], la conservación de los sistemas de drenaje es un factor crítico para mantener las condiciones de servicio de las carreteras y garantizar su desempeño hidráulico y estructural a largo plazo.

La ausencia o insuficiencia de mantenimiento genera una pérdida progresiva de la capacidad hidráulica de las obras de drenaje. Cuando las cunetas, alcantarillas o cajas se encuentran obstruidas por sedimentos, vegetación, residuos o material arrastrado por la lluvia, aumenta el riesgo de empozamientos, socavación, erosión, afectaciones a la transitabilidad y deterioro prematuro de la vía. En contraste, el mantenimiento oportuno permite prolongar la vida útil de la infraestructura, optimizar los recursos destinados a conservación vial y reducir la necesidad de reparaciones mayores. En este sentido, Menéndez [8] señala que las labores rutinarias de limpieza y conservación de los elementos de drenaje son actividades esenciales para preservar la evacuación del agua y evitar daños prematuros en la plataforma vial.

Así mismo, un plan de operación y mantenimiento de drenajes viales se relaciona con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, adoptados por los Estados miembros de las Naciones Unidas dentro de la Agenda 2030. Esta agenda integra 17 objetivos y 169 metas orientadas al desarrollo económico, social y ambiental [9]. En este marco, el ODS 9, denominado Industria, Innovación e Infraestructura, resalta la importancia de contar con infraestructura sostenible y resiliente; el ODS 11, Ciudades y Comunidades Sostenibles, se vincula con la necesidad de garantizar movilidad segura, accesible y continua; y el ODS 13, Acción por el Clima, plantea la importancia de fortalecer la capacidad de adaptación de la infraestructura frente a eventos hidrometeorológicos y efectos asociados al cambio climático [9], [10].

Desde esta misma perspectiva, la conservación vial también puede aportar al ODS 8, Trabajo Decente y Crecimiento Económico, debido a que una red vial funcional mantiene la conectividad necesaria para el transporte de personas, productos, servicios y actividades económicas locales.

Por tanto, la operación y el mantenimiento vial deben considerarse componentes estratégicos de la gestión integral de la infraestructura, orientados no solo a preservar la condición física de las vías, sino también a promover resiliencia, sostenibilidad y competitividad territorial.

En el caso ecuatoriano, la infraestructura vial rural presenta un deterioro progresivo asociado, entre otros factores, a la falta de mantenimiento preventivo y a deficiencias en los sistemas de drenaje. Torres Tamayo y Guevara Robalino [11] señalan que estas deficiencias afectan la seguridad vial y la conectividad territorial, por lo que plantean la necesidad de implementar planes de gestión de mantenimiento vial con estrategias preventivas y correctivas que permitan

priorizar intervenciones, optimizar recursos y prolongar la vida útil de la infraestructura.

La provincia de Cotopaxi está conformada por siete cantones: La Maná, Latacunga, Pangua, Pujilí, Salcedo, Saquisilí y Sigchos [12]. Sin embargo, la presente investigación no abarca la totalidad de las vías existentes en la provincia, debido a que el alcance técnico del estudio requería concentrarse en tramos con presencia verificable de infraestructura de drenaje pluvial, conectividad intercantonal y afectaciones visibles asociadas a sedimentación, obstrucción, vegetación, pérdida de funcionalidad hidráulica o deterioro físico.

Por esta razón, se priorizaron siete tramos viales: Salcedo–Latacunga, Latacunga–Pujilí, Saquisilí–Poaló, Poaló–Pujilí, Saquisilí–Guaytacama, Saquisilí–Tanicuchí y Guaytacama–Toacaso. Esta delimitación permite analizar una muestra técnica de vías intercantonales representativas, sin afirmar que se haya evaluado la totalidad de la red vial provincial.

En las vías intercantonales de la provincia de Cotopaxi, las condiciones climáticas, el arrastre de sedimentos, la acumulación de residuos, el crecimiento de vegetación y la falta de intervenciones preventivas generan afectaciones progresivas en los sistemas de drenaje pluvial. Estos problemas reducen la capacidad hidráulica de cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular, ocasionando obstrucciones, pérdida de funcionalidad, reboses hacia la calzada, filtraciones y deterioro prematuro de la capa de rodadura. En consecuencia, el drenaje vial debe ser analizado como parte integral de la conservación de la red vial y no como un elemento secundario de la infraestructura.

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad elaborar un diagnóstico técnico y proponer un plan integral de operación y mantenimiento preventivo para los sistemas de drenaje pluvial ubicados en los tramos viales intercantonales priorizados de la provincia de Cotopaxi. Para alcanzar este propósito, la investigación inicia con el inventario y la caracterización de los elementos de drenaje existentes en los tramos viales seleccionados.

Este proceso se desarrolla mediante inspecciones de campo, uso de matrices técnicas, revisión documental y registro fotográfico, lo que permite reconocer con mayor claridad la ubicación de cada componente, su tipología, estado físico, nivel de funcionalidad y las acciones que requiere. Esta primera etapa resulta fundamental, porque proporciona una base técnica ordenada para comprender la condición de los drenajes y establecer qué intervenciones deben priorizarse.

De forma complementaria, el estudio analiza el estado actual y el nivel de criticidad de los drenajes pluviales, tomando en cuenta aspectos como la

obstrucción, la acumulación de sedimentos, los daños estructurales, la funcionalidad hidráulica y la exposición al riesgo. Esta evaluación permite que lo observado en campo no quede solo como una apreciación visual, sino que se convierta en información técnica ordenada, comparable y medible.

A partir de estos resultados, es posible definir prioridades de intervención y distinguir con mayor claridad qué acciones corresponden a operación, limpieza, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado. Con esto, la toma de decisiones deja de depender únicamente de reportes emergentes o problemas visibles a último momento, y pasa a apoyarse en una base técnica más clara, verificable y útil para la gestión vial.

Finalmente, la investigación plantea procedimientos estandarizados para la operación, limpieza y mantenimiento preventivo de cada tipo de drenaje evaluado. En estos procedimientos se consideran las actividades necesarias, su frecuencia, los recursos requeridos, la mano de obra, los equipos, los materiales, la unidad de medida y los criterios de verificación y control técnico.

Con ello, el plan propuesto no se queda solo como un documento descriptivo, sino que busca convertirse en una herramienta práctica para las instituciones encargadas de la conservación vial. Su aplicación puede facilitar la programación de intervenciones, mejorar el uso de los recursos disponibles y contribuir a reducir el deterioro prematuro de la infraestructura vial.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio se desarrolla con un enfoque aplicado y cuantitativo. Para ello, se apoya en la observación directa, el levantamiento de información en campo, el registro en matrices técnicas, la revisión documental y el procesamiento estadístico descriptivo de los datos obtenidos.

De esta manera, la investigación combina el trabajo en sitio con el análisis ordenado de la información, lo que permite sustentar los resultados con evidencia técnica y no solo con apreciaciones generales. Primero se identifican los elementos existentes, luego se categoriza su condición, después se resumen los daños frecuentes y, finalmente, se formulan actividades de operación y mantenimiento en función de esos hallazgos. Esta secuencia permite evidenciar la relación entre diagnóstico, criticidad, priorización y propuesta.

Durante el desarrollo de la investigación se evidenció que la información disponible sobre operación y mantenimiento específico de obras de drenaje vial todavía es limitada, tanto en fuentes bibliográficas recientes como en registros institucionales. Esta situación confirma la necesidad de generar una propuesta técnica organizada, ajustada a la realidad de los tramos viales intercantonales

priorizados de Cotopaxi y alineada con criterios actuales de conservación preventiva, sostenibilidad y gestión eficiente de la infraestructura vial.

1.2 Justificación

La presente investigación se desarrolló porque en la red vial intercantonal de Cotopaxi existen condiciones que evidencian la necesidad de contar con un diagnóstico técnico y un plan de operación y mantenimiento preventivo específico para los sistemas de drenaje pluvial.

En estas vías se movilizan diariamente personas, productos agrícolas, actividades comerciales y servicios locales que dependen, en buena medida, de que la infraestructura vial se mantenga continua, segura y funcional. Por eso, analizar el estado de los drenajes pluviales no responde únicamente a una necesidad técnica.

También se relaciona con una realidad más cercana: la movilidad de la población, el dinamismo de la economía local y la seguridad de quienes transitan por estos corredores viales. En el fondo, un drenaje en mal estado no solo afecta a la vía; termina afectando también a quienes la usan todos los días.

La necesidad del estudio no se justifica únicamente por la presencia de daños visibles en los drenajes, sino también por la falta de una herramienta técnica que relacione, de manera ordenada, el diagnóstico de campo con la priorización de intervenciones. En ese sentido, la investigación resulta pertinente porque organiza la información levantada en sitio, clasifica las condiciones observadas, identifica niveles de criticidad y vincula esos resultados con actividades concretas de operación, limpieza y mantenimiento preventivo. Así, la propuesta no surge como una recomendación general, sino como una respuesta técnica construida a partir de la condición real de los elementos evaluados.

La delimitación del estudio a siete tramos viales intercantonales priorizados responde a la necesidad de desarrollar un diagnóstico técnico verificable y coherente con el alcance de la investigación. No se consideró la totalidad de la red vial de Cotopaxi, debido a que ello implicaría un inventario institucional de mayor escala, con una cobertura territorial, logística, tiempo y recursos superiores a los previstos para un trabajo de titulación aplicado. Por esta razón, se seleccionaron tramos con conectividad intercantonal, presencia verificable de elementos de drenaje pluvial, afectaciones visibles asociadas a sedimentación, obstrucción, vegetación o pérdida de continuidad hidráulica, y posibilidad de realizar inspecciones de campo con respaldo fotográfico y matrices técnicas.

Esta priorización no significa que las demás vías de la provincia carezcan de importancia, sino que el estudio se concentró en tramos donde era posible relacionar de manera directa el inventario de drenajes, la condición observada, la

matriz de criticidad y la formulación del plan de operación y mantenimiento preventivo. De esta manera, la investigación mantiene una delimitación técnica clara y evita generalizar resultados a vías que no fueron evaluadas en campo.

Desde el punto de vista económico, los resultados de la investigación pueden contribuir a reducir costos de intervención, debido a que una limpieza o reparación preventiva suele requerir menos recursos que una reconstrucción posterior al colapso del drenaje o al deterioro severo de la vía [6], [13]. Además, un mantenimiento oportuno permite aprovechar mejor la maquinaria, la mano de obra y los materiales disponibles, evitando que los recursos públicos se destinen únicamente a la atención de emergencias o reparaciones mayores.

Desde el enfoque social, este trabajo aporta a la seguridad y transitabilidad de la población que utiliza diariamente las vías intercantonales de Cotopaxi, especialmente porque estas rutas conectan zonas urbanas, rurales y productivas. Un sistema de drenaje pluvial en buen estado permite reducir la acumulación de agua sobre la calzada, disminuir riesgos durante la circulación vehicular y evitar interrupciones ocasionadas por anegamientos o pequeños deslizamientos. En la práctica, esto no solo mejora las condiciones físicas de la vía, sino que también favorece una movilidad más segura y continua para quienes dependen de estos corredores en sus actividades cotidianas.

En consecuencia, los resultados de esta investigación no favorecen únicamente a las instituciones responsables del mantenimiento vial. Su aporte también alcanza a transportistas, productores, estudiantes, comerciantes y habitantes de las comunidades que dependen de estas vías para movilizarse, trabajar, estudiar y mantener sus actividades cotidianas.

Desde el punto de vista ambiental, la investigación resulta pertinente porque un manejo adecuado de la escorrentía contribuye a reducir problemas como la erosión, el arrastre descontrolado de sedimentos, la socavación de taludes y la acumulación de residuos en los puntos de descarga. Aunque a veces estos efectos no se perciben de inmediato, con el tiempo pueden afectar tanto la estabilidad de la vía como las condiciones del entorno natural cercano.

La limpieza y conservación de cunetas, alcantarillas, cajas y rejillas facilita que el agua circule por los puntos previstos dentro del sistema de drenaje. Con esto se reducen posibles afectaciones en terrenos aledaños, cauces naturales y zonas donde suele acumularse material arrastrado por la escorrentía, algo que, si no se controla a tiempo, puede generar problemas mayores en la vía y en su entorno.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, la investigación también se justifica porque la conservación de los drenajes viales ayuda a reducir la vulnerabilidad de la infraestructura frente a lluvias, escorrentías y procesos de deterioro progresivo. La conservación de los sistemas de drenaje ha sido considerada un aspecto

importante para mantener las condiciones de servicio de las carreteras y asegurar su desempeño hidráulico y estructural en el tiempo [7]. De la misma manera, las labores rutinarias de limpieza y conservación permiten preservar la capacidad de evacuación del agua y evitar daños prematuros en la plataforma vial [8].

Esta relación con la sostenibilidad se articula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El ODS 9 se vincula con la necesidad de contar con infraestructura resiliente; el ODS 11 se relaciona con la movilidad segura y continua de la población; el ODS 13 considera la adaptación de la infraestructura frente a eventos hidrometeorológicos; y el ODS 8 se asocia con el crecimiento económico local, debido a que una vía funcional mantiene la conectividad necesaria para el transporte de personas, productos y servicios [9], [10]. Por ello, el mantenimiento preventivo de cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso no representa solo una actividad operativa, sino una acción que contribuye a conservar la conectividad territorial y a mejorar la gestión de los recursos públicos destinados a la vialidad.

La importancia del estudio radica en que no se limita a describir de manera general la existencia de problemas en los drenajes, sino que organiza información levantada en campo y la convierte en criterios técnicos de decisión. Para ello, se inventariaron y caracterizaron los elementos de drenaje pluvial presentes en los tramos viales priorizados, se evalúa su estado y nivel de criticidad, y se definen procedimientos estandarizados de operación, limpieza y mantenimiento preventivo para cada tipo de elemento. Esta secuencia responde directamente al objetivo general y a los objetivos específicos del trabajo de titulación.

La novedad del estudio se encuentra en la adaptación de una metodología de diagnóstico y planificación preventiva a la realidad vial de Cotopaxi. Aunque existen normas y documentos técnicos relacionados con conservación vial, muchas veces las actividades de drenaje se presentan de forma general, sin diferenciar suficientemente el tipo de elemento, su condición, el nivel de riesgo, la frecuencia de intervención y los recursos necesarios [14], [15].

En este sentido, la investigación propone una herramienta organizada que integra inventario, criticidad y procedimientos de mantenimiento por elemento, lo cual fortalece la planificación técnica de la conservación vial [16]. Esta integración permite pasar de una atención reactiva a una gestión más programada, donde cada actividad se justifica por la condición observada en campo, el tipo de daño identificado y el nivel de prioridad asignado.

Respecto a la originalidad del estudio, este trabajo considera como antecedente metodológico la investigación realizada por la Ing. Anita Sánchez en las vías intercantonales de la provincia de Tungurahua [17]; sin embargo, su desarrollo se orienta a una realidad distinta, correspondiente a la red vial intercantonal de Cotopaxi, por lo que no replica sus resultados ni reproduce su redacción.

El presente estudio se diferencia porque traslada el análisis a la red vial intercantonal de Cotopaxi y trabaja con información propia, obtenida mediante inspecciones de campo y el registro en matrices técnicas. Además, incorpora criterios de criticidad asociados a la obstrucción, la sedimentación, el daño estructural, la funcionalidad hidráulica y la exposición al riesgo. Así, aunque se toma como referencia una línea académica previa, la propuesta se construye desde las condiciones reales del territorio estudiado, con un enfoque propio, contextualizado y aplicable a las necesidades de la provincia.

Los beneficiarios directos de este estudio son, por una parte, los usuarios de la red vial intercantonal de Cotopaxi y, por otra, las instituciones encargadas de su conservación, entre ellas los gobiernos autónomos descentralizados, las entidades provinciales y municipales, así como los equipos técnicos responsables del mantenimiento. De manera indirecta, también se benefician las comunidades rurales y urbanas conectadas por estas vías, ya que contar con una infraestructura en mejores condiciones facilita la movilidad, fortalece el comercio local, mejora el acceso a servicios básicos y aporta a una circulación más segura.

La investigación no busca formular una nueva teoría sobre el drenaje vial. Sin embargo, sí aporta un enfoque técnico aplicado que ayuda a organizar el diagnóstico, la valoración de criticidad y la programación del mantenimiento preventivo. Desde esa perspectiva, el trabajo puede entenderse como una herramienta práctica de gestión, con posibilidad de aplicarse en otras vías que presenten condiciones similares de lluvia, pendientes, acumulación de sedimentos y deterioro progresivo en sus obras de drenaje.

Finalmente, los resultados podrán difundirse mediante el repositorio académico de la Universidad Técnica de Ambato, la entrega del documento técnico a instituciones vinculadas con la gestión vial y la socialización de la propuesta con equipos responsables de operación y mantenimiento. Asimismo, las matrices, tablas, procedimientos y recomendaciones del plan pueden servir como insumo para futuras investigaciones, presupuestos referenciales, cronogramas de intervención y programas de conservación preventiva en vías intercantonales.

1.3 Objetivo

1.3.1 General

Preparar un Diagnóstico y Formulación de un Plan Integral de Operación y Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Drenaje Pluvial en la Red Vial Intercantonal de la Provincia de Cotopaxi.

1.3.2 Específicos

- a) Inventariar y caracterizar los elementos de drenaje pluvial presentes en los tramos viales intercantonales priorizados, mediante inspecciones en campo y revisión documental.
- b) Evaluar el estado y nivel de criticidad de los drenajes pluviales considerando criterios técnicos de obstrucción, daño estructural y exposición al riesgo.
- c) Definir procedimientos estandarizados de operación, limpieza y mantenimiento preventivo para cada tipo de drenaje, de acuerdo con prácticas recientes de mantenimiento vial.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

a) ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La revisión de antecedentes se orientó a identificar investigaciones recientes, documentos técnicos e informes institucionales relacionados con el drenaje vial, la conservación de pavimentos, el mantenimiento preventivo y la operación de obras hidráulicas en infraestructura vial. Para mantener actualidad académica, se priorizaron fuentes publicadas entre 2021 y 2026, sin dejar de considerar normativa técnica nacional cuando resulta necesaria para sustentar actividades de conservación vial. Este criterio permite que el marco teórico no dependa únicamente de conceptos generales, sino de información verificable y relacionada directamente con el problema investigado.

Los sistemas de drenaje vial son componentes esenciales para mantener la funcionalidad y seguridad de una carretera, ya que permiten captar, conducir y evacuar adecuadamente el agua de escorrentía a través de obras como cunetas, alcantarillas y otras estructuras complementarias [1]. Dentro de este sistema, las cunetas y alcantarillas cumplen un papel principal en el drenaje superficial y transversal; por ello, tanto su diseño como su estado operativo influyen de manera directa en la conducción del flujo hacia puntos de descarga seguros y controlados [2].

La relación entre el estado del pavimento y los elementos de drenaje es relevante porque la presencia o permanencia de agua favorece el deterioro de la capa de rodadura y disminuye el nivel de servicio de la vía [3]. En el caso de alcantarillas, la pérdida de capacidad hidráulica, el bloqueo de entradas o salidas y el dimensionamiento inadecuado pueden generar afectaciones sobre la plataforma vial y sus zonas laterales [4].

En el contexto ecuatoriano, la conservación vial ya contempla actividades como la limpieza de cunetas y alcantarillas, el control de vegetación y la atención de puntos críticos dentro de proyectos provinciales de mantenimiento [14]. A esto se suma la planificación sectorial del transporte, que plantea lineamientos de gestión, seguimiento y evaluación, útiles para organizar las intervenciones viales de forma programada y no solo como respuesta a emergencias [15]. De manera complementaria, los términos de referencia para la fiscalización y control del mantenimiento vial consideran la verificación de las actividades ejecutadas, las inspecciones periódicas, el cumplimiento de cronogramas y el control técnico de los tramos intervenidos [16].

Desde el punto de vista del mantenimiento preventivo, la limpieza rutinaria de cunetas, alcantarillas y descoles permite conservar la capacidad de conducción y

reducir obstrucciones antes de que se generen fallas mayores [18]. Los modelos recientes de mantenimiento vial también señalan que la intervención oportuna en pavimentos y obras asociadas contribuye a reducir costos y prolongar la vida útil de la infraestructura [19]. Además, la gestión organizada del mantenimiento se vincula con la percepción de servicio y satisfacción de los usuarios, por lo que las acciones preventivas deben integrarse a la planificación institucional [5].

De manera complementaria, los antecedentes técnicos sobre conservación vial permiten reforzar la necesidad de abordar el mantenimiento de drenajes como una actividad planificada y no únicamente reactiva. Romana García [7] señala que la conservación de los sistemas de drenaje influye en el mantenimiento de las condiciones de servicio de las carreteras y en su desempeño hidráulico y estructural. En la misma línea, Menéndez [8] destaca que las labores rutinarias de limpieza y conservación de cunetas, alcantarillas y demás obras de drenaje ayudan a preservar la capacidad de evacuación del agua y a evitar daños prematuros en la plataforma vial. Estos aportes permiten sustentar que la propuesta de operación y mantenimiento preventivo no se limita a una acción de limpieza, sino que forma parte de una gestión técnica orientada a conservar la funcionalidad de la infraestructura existente.

Así mismo, Torres Tamayo y Guevara Robalino [11] señalan que la infraestructura vial rural puede presentar deterioro progresivo cuando existen deficiencias en el drenaje superficial y falta de mantenimiento preventivo. Estos autores plantean la necesidad de implementar planes de gestión de mantenimiento vial con estrategias preventivas y correctivas, capaces de priorizar intervenciones, optimizar recursos y prolongar la vida útil de la vía. Este antecedente resulta pertinente para la presente investigación porque se desarrolla en el contexto de Cotopaxi y relaciona directamente el mantenimiento vial con la funcionalidad del drenaje, la seguridad y la conectividad territorial.

En relación con investigaciones desarrolladas en el ámbito local, el trabajo de la Ing. Anita Sánchez sobre los drenajes de vías intercantonales de mayor flujo en la provincia de Tungurahua constituye un antecedente metodológico importante para esta investigación [17]. Dicho trabajo plantea una secuencia de diagnóstico en campo, registro mediante fichas técnicas, identificación de daños y formulación de actividades de operación y mantenimiento por tipo de elemento, lo que resulta útil para organizar la información levantada y convertirla en una propuesta técnica de conservación vial.

Sin embargo, este trabajo se aparta de dicho antecedente porque no replica sus resultados, porcentajes ni forma de redacción. La investigación se desarrolla en la red vial intercantonal de la provincia de Cotopaxi, a partir de información propia obtenida en campo, matrices técnicas diseñadas para el estudio y criterios de evaluación ajustados a los objetivos planteados. En este caso, el diagnóstico se enfoca en inventariar y caracterizar los elementos de drenaje pluvial, evaluar su

estado y nivel de criticidad, y establecer procedimientos estandarizados para la operación, limpieza y mantenimiento preventivo de cada tipo de drenaje.

Por tanto, los antecedentes revisados permiten confirmar que el drenaje vial debe entenderse como una parte esencial de la infraestructura carretera, y no como un elemento secundario o aislado. También muestran la necesidad de fortalecer la planificación preventiva, sobre todo en vías intercantonales donde las lluvias, el arrastre de sedimentos, el crecimiento de vegetación y el uso constante de la vía generan deterioros que, aunque a veces avanzan de forma silenciosa, terminan afectando su funcionamiento. Bajo este enfoque, la presente investigación plantea una propuesta aplicada para la provincia de Cotopaxi, sustentada en el diagnóstico de campo, el análisis de criticidad y la definición de procedimientos de mantenimiento que puedan ser verificados y ejecutados de manera ordenada.

b) FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

2.1 SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL VIAL

El drenaje vial comprende el conjunto de obras, dispositivos y acciones operativas destinadas a captar, conducir, descargar y controlar el agua lluvia que interactúa con la plataforma de una carretera [1].

Su funcionamiento no depende únicamente de la existencia física de cunetas o alcantarillas, sino de la continuidad del flujo, la ausencia de obstrucciones, la estabilidad de entradas y salidas y la capacidad de evacuar caudales sin generar daños laterales o sobre la calzada [2].

La función principal del drenaje es proteger la estructura vial frente a la acción del agua [3].

Cuando el flujo superficial no se capta ni se conduce a tiempo, pueden aparecer problemas como encharcamientos, pérdida de adherencia, infiltración hacia las capas granulares, erosión en los bordes, socavación de taludes y disminución del nivel de servicio de la vía [4]. Por eso, el drenaje no debería verse solo como una obra destinada a evacuar agua, sino como un sistema de protección del pavimento y de la infraestructura vial en su conjunto.

En las vías intercantonales como las analizadas en Cotopaxi, la funcionalidad hidráulica adquiere mayor relevancia porque las vías combinan tránsito urbano, rural, agrícola, comercial y de conexión entre parroquias y cantones [6].

La presencia de lluvias intensas, pendientes variables, taludes expuestos y aportes laterales de escorrentía exige mantener los elementos operativos

mediante inspecciones periódicas y acciones preventivas antes de que se presenten fallas severas [14].

2.2 Componentes del sistema de drenaje pluvial vial

En esta investigación, los componentes del sistema de drenaje pluvial vial se analizan a partir de los elementos identificados durante el levantamiento de información en campo. Para mantener una relación directa entre el marco teórico, el diagnóstico, la matriz de criticidad y la propuesta de operación y mantenimiento, se consideran únicamente los elementos evaluados en los tramos viales priorizados: cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular.

2.2.1 Cuneta

La cuneta es un elemento de drenaje longitudinal ubicado generalmente en los bordes de la vía, cuya función principal es captar y conducir el agua superficial proveniente de la calzada, bermas, taludes o áreas laterales hacia puntos de descarga o estructuras transversales [1], [2]. Puede presentarse revestida o no revestida, según las condiciones del tramo, la pendiente, el tipo de suelo y el nivel de protección requerido.

Su funcionamiento depende de que conserve una sección hidráulica libre y continua. Cuando se acumulan sedimentos, residuos, piedras o vegetación, la cuneta pierde capacidad de conducción y el agua puede rebosar hacia la calzada o erosionar los bordes de la vía [3], [18]. Por ello, en el diagnóstico de campo se considera su estado físico, la presencia de obstrucciones, la continuidad del flujo y la necesidad de operación o mantenimiento.

2.2.2 Alcantarilla

La alcantarilla es una estructura de drenaje transversal que permite el paso del agua por debajo de la vía, evitando que el flujo superficial interrumpa la continuidad de la plataforma vial [2], [4]. Su función es conducir el caudal desde un lado de la carretera hacia otro, protegiendo la calzada, los terraplenes, taludes y zonas de descarga frente a represamientos, erosión o socavación.

Para evaluar su condición no basta con verificar que la estructura exista físicamente. También es necesario revisar la entrada, el conducto y la salida, ya que una obstrucción en cualquiera de estos puntos puede reducir la capacidad hidráulica del elemento [4], [18]. En este estudio, las alcantarillas se analizan considerando taponamientos, acumulación de sedimentos, daños estructurales, pérdida de funcionalidad y afectaciones en sus zonas de descarga.

2.2.3 Rejilla

La rejilla es un elemento de captación superficial que permite el ingreso del agua hacia una caja, cuneta u otro sistema de conducción [1]. Su función es interceptar el escurrimiento que circula sobre la superficie vial o en zonas laterales, evitando la acumulación de agua en puntos donde puede afectar la circulación vehicular o peatonal.

Su desempeño depende de que las aberturas se mantengan libres de basura, hojas, lodo, piedras u otros materiales arrastrados por la lluvia. Cuando una rejilla se encuentra obstruida, deteriorada, desnivelada o ausente, disminuye su capacidad de captación y pueden generarse empozamientos, deterioro del pavimento o riesgos para los usuarios [18]. Por esta razón, su evaluación debe considerar tanto la limpieza como la estabilidad del marco, el estado de la estructura y la continuidad del flujo hacia el siguiente componente del sistema.

2.2.4 Caja de descarga

La caja de descarga es una estructura puntual que recibe, conduce o entrega el caudal proveniente de cunetas, rejillas o alcantarillas [1]. También puede funcionar como punto de inspección, conexión y limpieza dentro del sistema de drenaje pluvial vial. Su presencia facilita el control del flujo y permite ordenar la descarga del agua hacia un punto definido.

La pérdida de funcionalidad de una caja de descarga suele presentarse por acumulación de sedimentos, basura, piedras, obstrucción de entradas o salidas, fisuras, deterioro de tapas o daños en la solera. Aunque se trata de un elemento puntual, su mal estado puede afectar el funcionamiento de varios componentes conectados aguas arriba o aguas abajo [18]. Por ello, dentro del diagnóstico se considera su condición física, su capacidad de recepción y descarga, y el tipo de intervención requerida.

2.2.5 Rampa de acceso vehicular

La rampa de acceso vehicular es una estructura asociada al ingreso a predios, viviendas, comercios o caminos laterales. Aunque su finalidad principal es permitir el acceso vehicular, dentro del drenaje vial adquiere importancia cuando cruza, cubre o interrumpe una cuneta. En este estudio se considera como un elemento asociado al sistema de drenaje pluvial vial, debido a que puede afectar la continuidad hidráulica del escurrimiento lateral.

Si la rampa no cuenta con un paso hidráulico adecuado, puede bloquear la continuidad del flujo, acumular sedimentos y provocar reboses hacia la calzada. En algunos casos, estas estructuras modifican la sección de la cuneta o reducen el espacio disponible para la conducción del agua. Por esta razón, se evalúan

según su capacidad para permitir el paso del agua sin afectar la funcionalidad de la vía.

En conjunto, estos cinco elementos permiten comprender el funcionamiento del drenaje pluvial en los tramos evaluados. Cada uno cumple una función diferente dentro del sistema; por eso, su diagnóstico y mantenimiento no pueden tratarse de manera general. Esta diferenciación permite relacionar cada elemento con daños específicos, niveles de criticidad y actividades de operación o mantenimiento preventivo.

2.2.6 Pavimentos y relación con la presencia de agua

El pavimento, sea flexible o rígido, trabaja adecuadamente cuando las capas que lo conforman conservan su capacidad de soporte [19]. La presencia prolongada de agua sobre la superficie o dentro de las capas granulares reduce la estabilidad de la subrasante, favorece deformaciones, genera pérdida de material fino y acelera la aparición de fisuras, baches y desprendimientos [3].

Los estudios relacionados con pavimentos y drenaje señalan que el estado de las obras de evacuación tiene incidencia en el comportamiento de la estructura vial [3]. Si bien esta relación puede variar según las condiciones de cada tramo, evaluar de manera conjunta el pavimento y el drenaje permite identificar con mayor claridad si los daños observados están asociados a la presencia de agua, a la falta de mantenimiento o a posibles deficiencias constructivas.

La evacuación deficiente del agua superficial puede generar afectaciones progresivas en la vía, especialmente cuando los sistemas de drenaje se encuentran obstruidos, colmatados o sin continuidad hidráulica. En estos casos, el agua puede permanecer sobre la calzada, ingresar hacia los bordes o saturar zonas próximas a las capas granulares, lo que incrementa la probabilidad de deterioro prematuro de la estructura vial [3], [19]. Por eso, el mantenimiento de cunetas, alcantarillas, rejillas y cajas de descarga no debe verse como una actividad aislada, sino como una acción preventiva vinculada con la conservación del pavimento.

En vías rurales e intercantionales, los daños relacionados con el agua suelen evidenciarse en bordes desgranados, acumulación de sedimentos, deformaciones próximas a las cunetas, agrietamientos y pérdida de funcionalidad en los sectores bajos de la vía [6]. De acuerdo con Torres Tamayo y Guevara Robalino [11], las deficiencias en los sistemas de drenaje y la falta de mantenimiento preventivo inciden en el deterioro progresivo de la infraestructura vial rural, afectando la seguridad vial y la conectividad territorial.

Por esta razón, el diagnóstico del drenaje debe relacionarse también con el estado de la capa de rodadura, y no quedarse únicamente en la descripción del

elemento hidráulico como si funcionara de manera aislada [19], [20]. Esta relación permite justificar que la matriz de criticidad considere no solo la condición física de cada drenaje, sino también su posible efecto sobre la vía, especialmente cuando existen obstrucciones, reboses, socavación o pérdida de capacidad hidráulica.

2.3 Funcionalidad operativa del drenaje y reducción de sección útil.

En esta investigación, la funcionalidad no se evalúa mediante modelación hidráulica ni cálculo de caudales, sino mediante la observación técnica de la continuidad del flujo, presencia de obstrucciones, sedimentación, reducción de sección útil, socavación y pérdida de capacidad operativa del elemento.

La funcionalidad hidráulica se refiere a la capacidad real que tiene un elemento o sistema de drenaje para captar, conducir y evacuar el agua bajo las condiciones observadas en campo [1]. Esta funcionalidad no depende únicamente de que la estructura exista físicamente o de que conserve su sección geométrica original, sino también de factores como limpieza, pendiente, continuidad del flujo, estado estructural, condición de entrada y salida, y disponibilidad de descarga final [4].

En los sistemas de drenaje vial puede existir una diferencia entre la capacidad hidráulica prevista y la capacidad operativa real. Una cuneta, alcantarilla, rejilla o caja de descarga puede haber sido construida con una sección suficiente; sin embargo, si se encuentra parcialmente obstruida por sedimentos, residuos, vegetación o material arrastrado por la lluvia, su sección útil disminuye y el flujo pierde continuidad. Por eso, en el diagnóstico de campo no basta con identificar el tipo de elemento; también es necesario verificar si el agua puede circular sin interrupciones, represamientos o reboses.

La pérdida de capacidad hidráulica se presenta principalmente por sedimentación, acumulación de basura, arrastre de material vegetal, piedras, derrumbes menores y fallas en entradas o salidas [2]. Estos factores pueden incrementar el nivel del agua, generar remansos, provocar reboses hacia la calzada y favorecer procesos de erosión o socavación en la plataforma vial y en los taludes laterales [21]. En consecuencia, la pérdida de capacidad no debe entenderse solo como un problema hidráulico aislado, sino como una condición que puede afectar la conservación de la vía y la seguridad de los usuarios.

La ausencia o insuficiencia de mantenimiento contribuye a que esta pérdida de capacidad avance de forma progresiva. Menéndez [8] señala que las labores rutinarias de limpieza y conservación son necesarias para preservar la evacuación del agua y evitar daños prematuros en la plataforma vial. De forma complementaria, Romana García [7] relaciona la conservación de los sistemas

de drenaje con el mantenimiento de las condiciones de servicio de las carreteras y con su desempeño hidráulico y estructural a largo plazo.

En esta investigación, la funcionalidad hidráulica se evaluó mediante observación directa, registro fotográfico y matrices de campo. Para ello, se consideraron aspectos como obstrucción, sedimentación, presencia de vegetación, fisuras, socavación, reducción de sección útil y continuidad del flujo. Esta evaluación permitió clasificar la condición de cada elemento y relacionarla con los requerimientos de operación, limpieza, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado.

De esta manera, el criterio de funcionalidad hidráulica sirve como vínculo entre el diagnóstico de campo y la propuesta de intervención. Un elemento con obstrucción leve puede requerir limpieza y seguimiento; uno parcialmente azolvado demanda operación programada; mientras que un drenaje severamente tapado, fisurado, socavado o sin capacidad de conducción requiere mantenimiento con mayor prioridad. Así, la pérdida de capacidad hidráulica se convierte en un criterio técnico para justificar la matriz de criticidad y la posterior formulación del plan integral de operación y mantenimiento preventivo.

2.4 Problemas frecuentes en los drenajes viales

Para efectos de esta investigación, la funcionalidad del drenaje se analiza desde un enfoque operativo de campo y no mediante modelación hidráulica ni cálculo de caudales. Por ello, la evaluación considera la continuidad del flujo, presencia de obstrucciones, sedimentación, vegetación, fisuras, socavación, reducción de sección útil y pérdida de capacidad operativa del elemento. Estos aspectos permiten relacionar los problemas observados con la necesidad de operación, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado.

Los problemas más comunes en los sistemas de drenaje vial se relacionan con la sedimentación, el azolvamiento, la obstrucción por residuos, la invasión de vegetación, la fisuración, la socavación, el deterioro de rejillas, la pérdida de sección y la construcción de accesos vehiculares que interrumpen la continuidad de las cunetas [2], [3]. Estos daños pueden presentarse de forma aislada, sin embargo, en la práctica suelen actuar de manera acumulativa, porque una obstrucción leve puede retener sedimentos, favorecer el crecimiento de vegetación y, con el tiempo, reducir la capacidad de conducción del sistema [22].

La sedimentación se presenta cuando el material arrastrado por la lluvia queda depositado en el fondo de cunetas, cajas o alcantarillas. Si este material no se retira oportunamente, reduce el área hidráulica disponible y hace que el agua

circule con menor capacidad, o incluso que llegue a desbordarse hacia la calzada. En los tramos con pendientes bajas, cambios de dirección o zonas donde existe arrastre frecuente de material, este problema suele aparecer con mayor intensidad, por lo que las actividades de limpieza deben programarse con intervalos más cortos y de manera más constante.

El azolvamiento corresponde a una acumulación más marcada de sedimentos, lodos, piedras u otros materiales dentro del elemento de drenaje. A diferencia de una acumulación leve, el azolvamiento puede disminuir de forma considerable la sección útil de conducción y alterar la continuidad del flujo. Cuando se presenta en alcantarillas o cajas de descarga, puede generar represamientos aguas arriba, reboses y afectaciones en los bordes de la vía. Por esta razón, dentro de la matriz de evaluación debe diferenciarse entre acumulación leve, obstrucción parcial y obstrucción severa.

La obstrucción por residuos se produce por la presencia de basura, ramas, plásticos, piedras u otros materiales que bloquean parcial o totalmente el paso del agua. Este problema es frecuente en entradas y salidas de alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y sectores donde las cunetas reciben escorrentía con arrastre de sólidos [18]. Aunque en algunos casos puede resolverse mediante operación y limpieza, cuando la obstrucción permanece durante varios periodos de lluvia puede generar pérdida de funcionalidad hidráulica y requerir mantenimiento con mayor prioridad.

La obstrucción por vegetación se produce cuando la maleza ocupa la sección de la cuneta, cubre rejillas o bloquea entradas y salidas de alcantarillas [18]. Además de disminuir la conducción, la vegetación retiene sedimentos y residuos, incrementando la posibilidad de taponamientos. En vías rurales, e intercantonales, este problema suele relacionarse con la falta de roza periódica y con la ausencia de control preventivo [23]. Por ello, el desbroce y la limpieza programada no deben considerarse actividades menores, sino acciones necesarias para mantener la continuidad hidráulica del sistema.

Las fisuras, roturas o desprendimientos en cunetas, cajas y alcantarillas constituyen daños estructurales que pueden favorecer infiltraciones, pérdida de soporte y procesos de socavación [4]. En estos casos, la limpieza por sí sola no resuelve el problema; se requiere una intervención de mantenimiento preventivo o correctivo menor, según la severidad observada. Si el daño avanza, puede comprometer la estabilidad del elemento y afectar la estructura vial cercana [20].

La socavación se presenta cuando el flujo de agua erosiona el suelo de apoyo o los bordes de una estructura de drenaje. Este problema puede aparecer en salidas de alcantarillas, descargas, bordes de cunetas, taludes o zonas donde el agua se concentra sin una protección adecuada. Cuando no se atiende a tiempo, la

socavación puede ampliar el daño, desestabilizar el elemento y aumentar el riesgo de afectación sobre la plataforma vial.

El deterioro de rejillas, tapas o elementos de protección también constituye un problema relevante, especialmente en zonas donde existe tránsito vehicular o peatonal. Una rejilla deteriorada, desnivelada, sustraída o sin anclaje no solo reduce la captación del agua, sino que también puede representar un riesgo para los usuarios. Además, cuando la rejilla pierde estabilidad o se obstruye, el agua superficial deja de ingresar al sistema de drenaje y puede acumularse sobre la calzada o en sus bordes.

Las rampas de acceso vehicular requieren una atención especial, ya que, cuando no cuentan con un paso hidráulico adecuado, interrumpen la continuidad de la cuneta y generan acumulación de agua en la parte aguas arriba. Este problema puede provocar sedimentación localizada, reboses hacia la calzada y pérdida de funcionalidad del drenaje longitudinal. Por esta razón, dentro del plan de mantenimiento es necesario diferenciar las rampas que funcionan correctamente de aquellas que necesitan limpieza, adecuación, ampliación del paso hidráulico o, en casos más críticos, reconstrucción.

En conjunto, estos problemas permiten establecer una relación directa entre la condición observada en campo y la actividad de intervención requerida. Los daños leves pueden atenderse mediante operación y limpieza rutinaria; las obstrucciones parciales o la pérdida moderada de sección requieren mantenimiento preventivo programado; y los daños severos, como colapso, socavación marcada, taponamiento total o pérdida de funcionalidad, demandan intervención correctiva con mayor prioridad. Esta diferenciación es la base para construir la matriz de criticidad y para justificar que el plan propuesto derive de los daños reales identificados en los tramos viales evaluados.

2.5 Operación, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo

La operación, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo son conceptos relacionados, pero no significan lo mismo. Diferenciarlos es necesario para que el plan propuesto no se limite a una lista general de actividades, sino que permita asignar acciones según la condición real de cada elemento de drenaje. Esta separación también facilita interpretar los porcentajes obtenidos en campo, ya que no todo elemento observado requiere el mismo nivel de intervención.

2.5.1 Operación

La operación comprende las actividades necesarias para mantener el funcionamiento cotidiano del sistema de drenaje sin modificar de manera

sustancial su estructura [8]. En el caso de los drenajes viales, incluye inspección visual, retiro de residuos, limpieza de sedimentos, desbroce de vegetación, apertura de entradas y salidas, verificación del flujo y registro de evidencias.

Estas actividades se aplican, principalmente, cuando el elemento conserva su funcionalidad hidráulica, pero presenta acumulaciones leves o condiciones que pueden corregirse mediante limpieza y control rutinario. Por ejemplo, una cuneta con residuos superficiales, una rejilla parcialmente cubierta por hojas o una caja con sedimentos menores pueden atenderse mediante operación, siempre que no exista daño estructural ni pérdida significativa de capacidad.

La operación debe ejecutarse con mayor frecuencia antes y después de los periodos lluviosos, debido a que en esos momentos aumenta el arrastre de sedimentos, basura, material vegetal y piedras hacia los elementos de drenaje [18]. Además, debe quedar respaldada con fichas, fotografías y observaciones de campo, ya que esta información permite verificar si el elemento mantiene su capacidad de conducción o si requiere pasar a una intervención de mantenimiento.

2.5.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo busca evitar que una condición regular avance hasta convertirse en un daño severo o en una falla funcional del sistema [19]. En drenajes viales, esto implica programar limpiezas periódicas, reparar fisuras menores, recuperar secciones hidráulicas, estabilizar puntos de descarga, reponer rejillas deterioradas y corregir interferencias que disminuyen la capacidad de conducción del agua.

A diferencia de la operación, el mantenimiento preventivo no se limita al retiro de material acumulado. También incluye acciones de conservación y reparación menor que ayudan a prolongar la vida útil del elemento y a reducir la necesidad de intervenciones emergentes. En este sentido, Menéndez [8] señala que las labores rutinarias de limpieza y conservación de los elementos de drenaje son esenciales para preservar la evacuación del agua y evitar daños prematuros en la plataforma vial.

La aplicación del mantenimiento preventivo resulta importante cuando el diagnóstico evidencia obstrucciones parciales, sedimentación recurrente, fisuras pequeñas, erosión superficial o pérdida moderada de sección hidráulica. Estas condiciones todavía pueden atenderse de manera programada, antes de que generen reboses hacia la calzada, socavación, deterioro de la capa de rodadura o pérdida completa de funcionalidad.

2.5.3 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se aplica cuando el daño ya afecta de manera importante la funcionalidad, estabilidad o seguridad del elemento de drenaje [16]. Puede incluir reconstrucción parcial de cunetas, reparación de cajas de descarga, reposición de tuberías, intervención de alcantarillas colapsadas, recuperación de zonas socavadas o adecuación de rampas de acceso que interrumpen el paso hidráulico.

Este tipo de intervención suele requerir mayores recursos, más tiempo de ejecución y una programación técnica más específica, porque ya no se trata únicamente de conservar el funcionamiento normal del sistema, sino de recuperar una condición perdida. Por ello, cuando un elemento se encuentra severamente tapado, fisurado, socavado, colapsado o sin funcionalidad hidráulica, debe considerarse como prioridad dentro del plan de intervención.

En términos de gestión vial, la diferencia entre operación, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo permite organizar mejor los recursos disponibles. Un elemento con residuos leves puede atenderse mediante operación; uno parcialmente azolvado o con deterioro menor requiere mantenimiento preventivo; y uno colapsado, severamente obstruido o con daño estructural demanda mantenimiento correctivo. Esta clasificación permite que los resultados del diagnóstico se transformen en actividades concretas y justificadas.

Por tanto, en esta investigación la operación y el mantenimiento no se entienden como acciones aisladas, sino como parte de una secuencia técnica. Primero se identifica el elemento de drenaje, luego se evalúa su condición, después se determina su nivel de criticidad y finalmente se define la actividad correspondiente. Esta relación permite sostener que el plan integral de operación y mantenimiento preventivo deriva directamente del diagnóstico de campo y de las condiciones reales observadas en las vías intercantionales priorizadas.

2.6 Inventario técnico y fichas de inspección

El inventario técnico permite transformar observaciones de campo en una base organizada de información [3]. En el caso de los sistemas de drenaje pluvial vial, este inventario no debe limitarse únicamente a contar elementos, sino que debe registrar la ubicación, el tipo de drenaje, la condición física, la presencia de obstrucciones, el nivel de sedimentación, el daño estructural, la funcionalidad hidráulica, la evidencia fotográfica, la acción recomendada y la prioridad de intervención. Esta información permite comparar vías, reconocer puntos críticos y justificar la programación de trabajos de operación o mantenimiento [6].

La ficha de inspección es el instrumento principal del diagnóstico, porque permite observar y calificar los elementos de drenaje bajo un mismo criterio técnico. Al aplicar una ficha uniforme en todos los tramos evaluados, los resultados adquieren mayor consistencia y pueden organizarse en tablas comparativas según la vía, el tipo de elemento y el nivel de atención que requiere cada componente. En este sentido, la ficha funciona como un registro ordenado entre lo observado en sitio y el análisis posterior de la información.

Para que el inventario sea útil dentro de un plan de operación y mantenimiento, cada elemento debe quedar identificado de manera clara. Por ello, resulta necesario registrar datos como código o número de identificación, tramo vial, abscisa o referencia de ubicación, tipo de elemento, estado observado, daño predominante, causa probable, fotografía de respaldo y actividad sugerida. Con esta información se evita que el diagnóstico quede como una descripción general y se convierte en una base técnica verificable.

El registro fotográfico fortalece la trazabilidad del diagnóstico, ya que permite dejar evidencia del estado inicial de cada elemento evaluado [9]. Además, las fotografías sirven como respaldo para justificar la priorización de intervenciones y verificar, posteriormente, si los trabajos fueron ejecutados. Este control resulta especialmente útil en actividades de limpieza, desazolve, reparación menor o recuperación de secciones hidráulicas, donde la comparación entre el antes y el después permite comprobar con mayor claridad la recuperación funcional del drenaje [23].

La información levantada mediante fichas de inspección también permite relacionar la condición observada con el tipo de intervención requerida. Por ejemplo, un elemento con residuos leves puede clasificarse como una necesidad de operación; un drenaje parcialmente azolvado puede requerir limpieza programada; mientras que una alcantarilla obstruida, una caja colmatada, una cuneta fisurada o una rampa que interrumpe el flujo pueden demandar mantenimiento preventivo o correctivo, según su severidad. Esta clasificación es necesaria para que el inventario no sea solo un listado, sino una herramienta de decisión.

En esta investigación, el inventario técnico se utiliza como base para construir la matriz de criticidad y para calcular los porcentajes de operación y mantenimiento por vía y por tipo de elemento. Primero se identifica el componente existente, luego se registra su condición, después se clasifica el daño observado y finalmente se asigna una actividad recomendada. Esta secuencia permite mantener una relación directa entre el dato levantado en campo, el nivel de criticidad, la prioridad de intervención y la formulación del plan integral de operación y mantenimiento preventivo.

2.7 Criticidad y priorización de intervenciones

La criticidad es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones, porque permite ordenar los elementos de drenaje según la condición observada y el riesgo que representan para la funcionalidad hidráulica de la vía. En sistemas de drenaje vial, no todos los daños tienen el mismo efecto. Una cuneta con acumulación leve de residuos puede requerir una actividad rutinaria de operación, mientras que una alcantarilla totalmente obstruida, una caja colmatada o una descarga con socavación pueden generar afectaciones más severas sobre la calzada, los taludes o los usuarios.

Para efectos de planificación, la criticidad permite relacionar el estado físico del elemento con la prioridad de intervención. En este estudio se consideran criterios como obstrucción, sedimentación, presencia de vegetación, daño estructural, pérdida de sección hidráulica, evidencia de socavación, afectación a la continuidad del flujo y exposición del elemento frente a lluvias o puntos de descarga. Estos criterios permiten transformar la observación visual en una clasificación técnica más ordenada, comparable entre vías y útil para definir acciones de operación o mantenimiento.

La clasificación de las condiciones observadas puede organizarse en niveles progresivos. Una condición buena o con residuos leves se asocia principalmente con actividades de operación y limpieza preventiva. Una condición parcialmente azolvada u obstruida requiere limpieza programada y seguimiento, debido a que todavía conserva parte de su funcionalidad. Cuando existen fisuras pequeñas, erosión superficial o pérdida parcial de sección, el elemento ya demanda mantenimiento preventivo o reparación menor. En condiciones severas, como taponamiento importante, fisuración marcada o socavación, la intervención debe priorizarse porque existe mayor probabilidad de pérdida de funcionalidad hidráulica. Finalmente, cuando el elemento se encuentra totalmente obstruido, colapsado o sin capacidad de conducción, la actividad requerida corresponde a mantenimiento correctivo o reconstrucción localizada.

La priorización evita distribuir los recursos de manera uniforme cuando las condiciones de campo no son iguales [6]. Un elemento con obstrucción leve puede requerir limpieza programada, mientras que una alcantarilla con salida socavada o una cuneta fracturada requiere mantenimiento correctivo. Esta diferenciación es necesaria para que el plan sea aplicable y no se convierta en una lista general de actividades [5], [16].

En realidad, una intervención eficiente no depende solo de la cantidad de elementos afectados, sino también del tipo de elemento, su ubicación, el daño observado y el efecto que puede generar sobre el sistema de drenaje. Por ejemplo, una alcantarilla obstruida en un punto bajo puede representar mayor

riesgo que varios tramos de cuneta con residuos leves, porque interrumpe el cruce del agua y puede producir represamientos o reboses hacia la vía.

En términos de gestión pública, la criticidad ayuda a organizar mejor la programación de recursos y el seguimiento técnico de las intervenciones. Con esta información, la entidad responsable puede sustentar por qué se atiende primero un tramo, qué actividad corresponde ejecutar y qué evidencia debe presentarse para validar el trabajo realizado. Así, el mantenimiento vial deja de depender solo de reportes emergentes o decisiones aisladas, y pasa a formar parte de un proceso más ordenado, justificable y verificable.

Por ello, la matriz de criticidad utilizada en esta investigación no se entiende solo como una tabla de calificación, sino como un instrumento que conecta el levantamiento de campo con la propuesta de operación y mantenimiento.

Por tanto, la criticidad permite transformar el inventario técnico en una herramienta de planificación. Los elementos con condiciones leves se vinculan con actividades de operación; los que presentan daños moderados se relacionan con mantenimiento preventivo; y aquellos con obstrucción severa, colapso, socavación o pérdida de funcionalidad se priorizan para mantenimiento correctivo programado.

Esta diferenciación es necesaria para que el plan propuesto responda a los problemas reales identificados en los tramos viales evaluados y no se limite a una recomendación general de limpieza.

2.8 Gestión institucional del mantenimiento vial

La gestión institucional del mantenimiento vial comprende la planificación, ejecución, control y seguimiento de las actividades destinadas a conservar la funcionalidad de la infraestructura vial. En el caso de los sistemas de drenaje pluvial, esta gestión resulta necesaria porque las intervenciones no deben depender únicamente de reportes emergentes, sino de una programación técnica basada en el estado real de los elementos evaluados.

Los documentos institucionales recientes muestran que las actividades de mantenimiento vial incluyen conservación de plataforma, limpieza de cunetas, limpieza de alcantarillas, control de vegetación, bacheo y atención de puntos críticos [14], [22]. Los convenios y programas institucionales también documentan actividades de mantenimiento vial rutinario y conservación por niveles de servicio, lo que evidencia que la limpieza y conservación de obras de drenaje forman parte de la gestión vial ordinaria [23], [24].

Otros documentos del Ministerio de Transporte y Obras Públicas registran programas de conservación por niveles de servicio y proyectos provinciales de mantenimiento vial, incluyendo actividades como limpieza de cunetas, limpieza de alcantarillas, roza manual, atención de derrumbes, bacheo y conservación de la red vial estatal [25], [26].

Estos antecedentes permiten reconocer que el mantenimiento vial ya se encuentra incorporado en la planificación pública; sin embargo, en muchos casos las actividades de drenaje se presentan de forma general, sin diferenciar suficientemente el tipo de elemento, la condición observada, la frecuencia de intervención, el personal requerido, la unidad de medida y los criterios de verificación técnica.

De forma complementaria, los planes de desarrollo y mantenimiento vial elaborados en el ámbito urbano muestran la importancia de organizar la conservación de la infraestructura mediante una programación técnica, la priorización de intervenciones y el seguimiento institucional de las actividades ejecutadas [27]. Este enfoque puede servir como referencia metodológica para fortalecer la planificación preventiva de los sistemas de drenaje pluvial en vías intercantonales, especialmente cuando se busca pasar de acciones aisladas a un mantenimiento más ordenado y sostenido.

En este sentido, la matriz de criticidad puede apoyar la gestión institucional porque permite ordenar las intervenciones según prioridad. Los elementos con obstrucciones leves pueden programarse dentro de actividades rutinarias de operación; los elementos parcialmente azolvados, fisurados o con pérdida moderada de sección pueden incorporarse a mantenimiento preventivo; y los elementos con colapso, socavación o pérdida de funcionalidad deben priorizarse dentro de intervenciones correctivas. Así, la entidad responsable puede justificar técnicamente qué tramo atender primero, qué actividad ejecutar y qué evidencia solicitar para aprobar el trabajo.

La coordinación entre entidades provinciales, municipales y parroquiales resulta necesaria, ya que muchos puntos críticos no se generan únicamente dentro de la vía. También pueden originarse en accesos privados, descargas improvisadas, falta de limpieza en zonas pobladas, acumulación de residuos o escorrentías provenientes de predios adyacentes. Por ello, el plan propuesto no se limita a definir actividades técnicas de mantenimiento, sino que también puede funcionar como un instrumento de control, seguimiento y socialización entre los actores involucrados.

Bajo este enfoque, la gestión institucional del mantenimiento vial permite transformar el diagnóstico de campo en decisiones programables. Primero se identifica el estado de los elementos de drenaje, luego se determina su nivel de criticidad, después se priorizan las intervenciones y finalmente se incorporan las

actividades al cronograma de operación y mantenimiento. Esta secuencia fortalece la aplicación práctica del plan integral propuesto y permite que las acciones recomendadas sean verificables, medibles y sostenibles en el tiempo.

2.9 Sustento técnico del plan integral propuesto

El plan integral de operación y mantenimiento preventivo se fundamenta en tres componentes: diagnóstico de campo, análisis de criticidad y procedimientos estandarizados. El diagnóstico identifica dónde están los elementos y en qué condición se encuentran; la criticidad define qué debe atenderse primero; y los procedimientos establecen cómo ejecutar la actividad, con qué recursos y bajo qué criterios de aceptación.

Un plan integral no se limita a reparar un elemento cuando ya se encuentra deteriorado. Más bien, incorpora varias acciones conectadas entre sí: inventario, inspección visual, registro fotográfico, clasificación de daños, valoración de criticidad, programación de actividades, ejecución de operación o mantenimiento, verificación posterior y actualización de la información. Esta secuencia permite conservar la funcionalidad hidráulica de los drenajes y reducir la probabilidad de fallas progresivas en la infraestructura vial.

La operación comprende actividades frecuentes destinadas a mantener el funcionamiento cotidiano del sistema, como limpieza, retiro de sedimentos, desbroce de vegetación, desobstrucción de entradas y salidas, y verificación del flujo. El mantenimiento preventivo, en cambio, busca evitar que una condición regular avance hacia un daño mayor, mediante reparaciones menores, recuperación de secciones hidráulicas, reposición de elementos deteriorados o corrección de interferencias que afectan la continuidad del drenaje. Cuando el daño compromete la estabilidad o funcionalidad del elemento, se requiere una intervención correctiva programada.

La literatura técnica respalda esta orientación. Romana García [7] relaciona la conservación de los sistemas de drenaje con el desempeño hidráulico y estructural de las carreteras, mientras que Menéndez [8] destaca la importancia de las labores rutinarias de limpieza y conservación para preservar la capacidad de evacuación del agua. De forma similar, Torres Tamayo y Guevara Robalino [11] señalan que las deficiencias de drenaje y la falta de mantenimiento preventivo contribuyen al deterioro progresivo de la infraestructura vial rural, por lo que recomiendan estrategias de mantenimiento que permitan priorizar intervenciones y optimizar recursos.

A diferencia de una limpieza general de vías, el plan propuesto distingue las actividades según el tipo de elemento: cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso. Esta separación es importante porque cada

componente cumple una función distinta dentro del sistema de drenaje y, por lo mismo, no todos presentan los mismos problemas ni requieren la misma forma de intervención.

Por ejemplo, una cuneta colmatada necesita limpieza lineal para recuperar su sección hidráulica; una rejilla deteriorada puede requerir reposición; una alcantarilla obstruida exige desazolve y revisión tanto en la entrada como en la salida; mientras que una rampa que interrumpe el flujo puede necesitar una adecuación geométrica para restablecer la continuidad del drenaje.

Por tanto, el sustento técnico del plan se resume en una secuencia lógica: primero se identifican los elementos existentes, luego se evalúa su condición, después se determina su criticidad y finalmente se asigna una actividad de operación o mantenimiento. Esta trazabilidad permite evidenciar que la propuesta deriva directamente del diagnóstico realizado en campo y que cada procedimiento recomendado responde al tipo de daño, al nivel de prioridad y a la función hidráulica del elemento dentro del sistema de drenaje vial.

La aplicación de este plan en la red vial intercantonal de Cotopaxi busca mejorar la programación del mantenimiento, reducir la necesidad de intervenciones emergentes y contribuir a la protección de la vida útil de la infraestructura vial.

Además, mantiene la línea metodológica utilizada por la Ing. Anita Sánchez para drenajes viales intercantonales [17], pero se diferencia por su aplicación a Cotopaxi, por la incorporación de matrices propias y por la formulación de actividades preventivas ajustadas a los resultados de campo de esta investigación.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

La investigación presenta un enfoque cuantitativo, aplicado y descriptivo, con diseño no experimental y trabajo de campo. Es cuantitativa porque recopila y procesa datos numéricos relacionados con la cantidad de elementos de drenaje, porcentajes de operación, porcentajes de mantenimiento y niveles de condición observados en los tramos evaluados; es aplicada porque busca responder a un problema real de conservación vial, mediante la formulación de un plan integral de operación y mantenimiento preventivo; y es descriptiva porque caracteriza el estado actual de los sistemas de drenaje pluvial sin manipular las condiciones existentes.

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no se manipularon variables ni se trabajó bajo condiciones controladas de laboratorio. La información se obtuvo a partir de la observación directa de los elementos existentes en campo, respetando el estado real en el que se encontraban las cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso al momento del levantamiento de campo.

La investigación también se apoya en revisión documental, debido a que se analizaron normas, estudios previos, documentos técnicos y antecedentes relacionados con drenaje vial, mantenimiento preventivo, conservación de infraestructura y operación de obras hidráulicas viales. Esta revisión permitió sustentar los criterios utilizados en el diagnóstico y relacionarlos con la propuesta de intervención.

Este procedimiento conserva la línea de diagnóstico aplicada en investigaciones previas de operación y mantenimiento de drenajes viales, como la desarrollada por la Ing. Anita Sánchez [17], pero se ajusta a las vías, elementos y resultados propios de Cotopaxi.

El proceso metodológico se organizó de manera secuencial. Primero se revisó la información técnica disponible; luego se seleccionaron los tramos viales priorizados; posteriormente se realizó la inspección visual en campo; después se registraron los elementos mediante fichas y fotografías; a continuación, se clasificó la condición de cada drenaje; y finalmente se procesaron los datos para obtener porcentajes de operación y mantenimiento que sirvieron como base para formular el plan integral propuesto.

3.2 Población o muestra:

La población de análisis corresponde a los sistemas de drenaje pluvial ubicados en las vías intercantonales priorizadas de la provincia de Cotopaxi. Debido al alcance técnico del estudio, no se evaluó la totalidad de vías existentes en la provincia, sino una muestra de tramos que permitieran levantar información verificable y relacionada directamente con el problema de investigación.

La muestra se conformó por siete vías evaluadas, con una longitud total de 40,48 km y 4.217 elementos o tramos equivalentes de drenaje. Los tramos considerados fueron: Salcedo–Latacunga, Latacunga–Pujilí, Saquisilí–Poaló, Poaló–Pujilí, Saquisilí–Guaytacama, Saquisilí–Tanicuchí y Guaytacama–Toacaso.

La selección de los siete tramos viales evaluados no tuvo como finalidad afirmar que estos representan la totalidad de la red vial intercantonal de Cotopaxi, sino delimitar una muestra técnica priorizada dentro del alcance del estudio. Para esta delimitación se consideraron criterios de conectividad intercantonal, presencia verificable de elementos de drenaje pluvial, evidencia visible de afectaciones por sedimentación, obstrucción, vegetación o pérdida de continuidad hidráulica, accesibilidad para el levantamiento de información en campo y posibilidad de registrar datos comparables mediante fichas técnicas, matrices y evidencia fotográfica.

La priorización se justifica además porque la provincia de Cotopaxi posee una red vial amplia y diversa, cuya evaluación total requeriría un levantamiento institucional de mayor escala, con más tiempo, personal técnico, recursos logísticos y cobertura territorial. En ese sentido, la investigación se concentró en tramos donde fue posible levantar información directa y verificable sobre cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular, manteniendo coherencia con el objetivo de diagnosticar el estado de los drenajes y formular un plan integral de operación y mantenimiento preventivo.

Los tramos seleccionados conectan cantones, parroquias, zonas urbanas, rurales y productivas de la provincia, por lo que presentan importancia funcional dentro de la movilidad local e intercantonal. Por tanto, la muestra se definió bajo criterios técnicos de pertinencia, accesibilidad, presencia de infraestructura de drenaje y afectaciones observadas, sin pretender reemplazar un inventario completo de toda la red vial provincial.

En consecuencia, los resultados obtenidos son aplicables directamente a los tramos evaluados y sirven como referencia metodológica para otros sectores de la provincia, siempre que se realice previamente el levantamiento técnico correspondiente. Por tanto, la investigación no generaliza sus resultados a la totalidad de la red vial intercantonal de Cotopaxi, sino que delimita su alcance a los siete tramos priorizados, en función de criterios técnicos, operativos y de disponibilidad de información verificable en campo.

Tabla 1 Tramos viales evaluados

N°	Código	Tramo vial	Longitud
1	V1 S-L	Salcedo - Latacunga	5,35 km
2	V2 L-P	Latacunga - Pujilí	9,68 km
3	V3 S-P	Saquisilí - Poaló	4,43 km
4	V4 P - P	Poaló - Pujilí	5,95 km
5	V5 S - G	Saquisilí - Guaytacama	2,36 km
6	V6 S - T	Saquisilí - Tanicuchí	4,11 km
7	V7 G - T	Guaytacama - Toacaso	8,60 km

Fuente: Elaboración propia a partir de matrices y levantamiento de campo.

3.3 Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

La idea a defender plantea que la ausencia o insuficiencia de procedimientos estandarizados de operación, limpieza y mantenimiento preventivo incrementa la criticidad de los drenajes pluviales y favorece la pérdida de funcionalidad hidráulica en las vías intercantonales priorizadas de la provincia de Cotopaxi.

Esta idea se sustenta en que los elementos de drenaje pluvial, cuando no reciben mantenimiento oportuno, tienden a acumular sedimentos, residuos y vegetación, lo que reduce su sección hidráulica útil y limita la continuidad del flujo. Además, los daños físicos como fisuras, socavación, deterioro de rejillas, obstrucción de alcantarillas o interrupción de cunetas por rampas de acceso pueden aumentar el nivel de criticidad del sistema y generar afectaciones progresivas en la infraestructura vial.

En este contexto, el diagnóstico de campo permite identificar las condiciones reales de los elementos evaluados, mientras que la matriz de criticidad facilita ordenar esas condiciones según su nivel de afectación. De esta manera, los resultados obtenidos no se limitan a describir daños, sino que sirven como base para definir actividades de operación, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado.

Por tanto, la idea a defender se orienta a demostrar que la formulación de un plan integral de operación y mantenimiento preventivo, sustentado en inventario, evaluación de condición y priorización técnica, contribuye a conservar la funcionalidad hidráulica de los sistemas de drenaje pluvial y a mejorar la planificación de las intervenciones en los tramos viales analizados.

3.4 Recolección de información:

La información se recolectó mediante revisión documental y observación directa en campo. La revisión documental permitió analizar normas, estudios previos y documentos técnicos relacionados con drenaje vial, operación y mantenimiento preventivo. Por su parte, la observación directa permitió identificar y registrar el estado de cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular en los tramos priorizados de Cotopaxi.

La recolección de información no se desarrolló como un registro aislado de observaciones, sino como un procedimiento metodológico secuencial, orientado a mantener trazabilidad entre el levantamiento de campo, la clasificación de la condición del drenaje, el cálculo de los porcentajes de operación y mantenimiento, y la formulación posterior del plan integral. Esta estructura permitió que cada dato registrado en sitio tenga correspondencia con una categoría de análisis y con una actividad de intervención propuesta.

Los instrumentos utilizados en la investigación fueron fichas técnicas, matrices de criticidad y registros fotográficos. Su validación se realizó mediante criterio técnico, verificando que permitieran inventariar los elementos de drenaje y evaluar aspectos como obstrucción, sedimentación, daño estructural, funcionalidad hidráulica y prioridad de intervención.

Para ordenar el levantamiento de información, se aplicó el siguiente procedimiento metodológico de campo:

Tabla 2 Procedimiento metodológico para la recolección de información en campo

Etapas metodológicas	Actividad desarrollada	Criterio de registro y análisis	Producto generado
1	Reconocimiento del tramo vial	Se identificó el tramo priorizado, su recorrido general, longitud aproximada y presencia visible de elementos de drenaje pluvial.	Tramo definido para inspección.
2	Inspección visual del sistema de drenaje	Se observó el estado físico y funcional de los elementos existentes en campo: cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular.	Identificación preliminar de elementos de drenaje y condiciones

			observadas.
3	Identificación del tipo de elemento	Se clasificó cada componente según el tipo de drenaje o elemento asociado al sistema: cuneta, alcantarilla, rejilla, caja de descarga o rampa de acceso.	Inventario técnico por vía y por tipo de elemento.
4	Registro fotográfico	Se documentaron los elementos evaluados, especialmente aquellos con presencia de sedimentos, obstrucciones, vegetación, fisuras, socavación, deterioro físico o pérdida de funcionalidad.	Evidencia visual verificable del estado del drenaje.
5	Registro en ficha técnica	Se anotó la información de campo: ubicación referencial, tipo de elemento, condición observada, daño predominante, observaciones técnicas y actividad requerida.	Ficha técnica de inspección por elemento evaluado.
6	Clasificación de la condición observada	Se asignó una condición al elemento según el grado de afectación identificado en campo: buen estado, obstrucción parcial, daño menor, afectación severa o pérdida de funcionalidad.	Condición clasificada para análisis de criticidad.
7	Revisión y organización de condiciones observadas	Se revisaron las condiciones registradas en las fichas de campo, considerando principalmente sedimentación, obstrucción, vegetación, fisuras, socavación, deterioro físico y pérdida de sección hidráulica.	Base ordenada de condiciones para aplicar la matriz de criticidad.
8	Aplicación de la matriz de criticidad	Se relacionó la condición observada con la categoría de criticidad y con los coeficientes referenciales de operación y mantenimiento definidos en la metodología.	Nivel de criticidad y requerimiento de operación o mantenimiento.
9	Vinculación con el plan propuesto	Se relacionaron los resultados del diagnóstico con actividades de operación, limpieza, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado, según el tipo de elemento y su condición.	Base técnica para el plan integral de operación y mantenimiento preventivo.

De forma sintética, la secuencia aplicada fue la siguiente:

Reconocimiento del tramo vial → inspección visual → identificación del tipo de elemento → registro fotográfico → registro en ficha técnica → clasificación de la condición observada → revisión y organización de condiciones observadas → aplicación de la matriz de criticidad → definición de actividades de operación y mantenimiento.

Durante el recorrido de campo se verificó el tipo de elemento, la ubicación referencial, la condición observada, la presencia de sedimentos, obstrucciones, vegetación, fisuras, socavación, pérdida de sección hidráulica y la actividad

requerida. Esta información permitió construir una base de datos organizada por vía y por tipo de drenaje, manteniendo relación directa entre el levantamiento realizado en sitio y el procesamiento posterior de los resultados.

Las fichas técnicas permitieron registrar de manera uniforme la información de cada elemento evaluado; las matrices de criticidad permitieron clasificar las condiciones observadas según su nivel de afectación; y los registros fotográficos sirvieron como evidencia visual del estado de los drenajes al momento de la inspección. De esta manera, los instrumentos utilizados no funcionaron de forma aislada, sino como parte de una secuencia metodológica orientada a sustentar el diagnóstico y la formulación del plan.

La confiabilidad se aseguró mediante la aplicación de los mismos criterios de evaluación en todos los tramos viales, lo que permitió mantener uniformidad en el levantamiento y análisis de la información. A su vez, la validez se sustentó en la relación directa entre los datos obtenidos en campo, los objetivos planteados en la investigación y la propuesta de operación y mantenimiento preventivo. Las fichas, matrices y evidencias fotográficas correspondientes se incluyen en los anexos.

Finalmente, la recolección de información permitió diferenciar las condiciones que requerían actividades de operación, limpieza, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado. Esta diferenciación fue necesaria para que los resultados obtenidos no se limiten a una descripción general del estado de los drenajes, sino que sirvan como base para la priorización de intervenciones y para la formulación de procedimientos específicos por tipo de elemento.

3.5 Procedimiento metodológico para la matriz de criticidad

La matriz de criticidad se utilizó como instrumento metodológico para clasificar la condición de los elementos de drenaje pluvial evaluados en campo y relacionar dicha condición con el tipo de intervención requerida. Su aplicación permitió transformar la observación visual en información técnica organizada, comparable entre vías y útil para la toma de decisiones.

La estructura de la matriz tomó como antecedente metodológico el trabajo desarrollado por la Ing. Anita Sánchez [17], en el cual se relaciona la condición de los drenajes viales con requerimientos de operación y mantenimiento. En la presente investigación, esta lógica fue adaptada a los tramos intercantonales priorizados de Cotopaxi, utilizando información propia levantada en campo y criterios ajustados a los elementos evaluados: cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular.

Para la construcción de la matriz se consideraron criterios asociados al funcionamiento hidráulico y al estado físico de los elementos evaluados. Entre estos criterios se incluyeron: nivel de obstrucción, acumulación de sedimentos, presencia de vegetación, daño estructural, pérdida de sección hidráulica, evidencia de socavación, continuidad del flujo y funcionalidad general del elemento. Estos aspectos fueron seleccionados porque representan condiciones que afectan la capacidad de captación, conducción y descarga del agua lluvia en los sistemas de drenaje vial.

La selección de estos criterios también guarda relación con los principios técnicos de conservación de drenajes viales, debido a que la acumulación de sedimentos, residuos, vegetación y daños físicos puede reducir progresivamente la capacidad hidráulica de cunetas, alcantarillas y demás obras de drenaje. Por ello, la matriz no se orientó únicamente a registrar daños visibles, sino a identificar el nivel de afectación que dichos daños generan sobre la funcionalidad del sistema.

La clasificación de los elementos se organizó en cinco categorías de condición, desde elementos en buen estado hasta elementos totalmente obstruidos, colapsados o sin funcionalidad. Cada categoría permitió diferenciar si el elemento requería principalmente actividades de operación, limpieza, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado. Esta diferenciación fue necesaria porque no todos los daños observados presentan el mismo nivel de afectación ni demandan la misma respuesta técnica.

Los porcentajes de operación y mantenimiento asignados a cada categoría se utilizaron como coeficientes metodológicos referenciales para ponderar el nivel de atención requerido. Estos valores no corresponden a una norma hidráulica, a un cálculo de caudal ni a una estimación presupuestaria directa. Su finalidad fue ordenar la información levantada en campo y facilitar la comparación entre vías y tipos de elementos, diferenciando condiciones leves, moderadas, severas o sin funcionalidad.

La lógica de ponderación aplicada fue progresiva: mientras mejor es la condición funcional del drenaje, mayor es el coeficiente asignado a operación; mientras más severa es la afectación, mayor es el coeficiente asignado a mantenimiento. De esta manera, una condición leve se asocia principalmente con operación rutinaria, una condición intermedia distribuye la atención entre operación y mantenimiento, y una condición severa o sin funcionalidad concentra el requerimiento en mantenimiento preventivo o correctivo programado.

Tabla 3 Criterios de clasificación de la condición del drenaje

Categoría	Condición observada	Criterio técnico de clasificación	Coeficiente referencial de operación	Coeficiente referencial de mantenimiento
1	Buen estado, con acumulación leve de residuos	El elemento conserva su funcionalidad hidráulica y solo requiere limpieza, control rutinario o seguimiento preventivo.	100%	0%
2	Parcialmente azolvado u obstrucciones menores	Existe acumulación parcial de sedimentos, residuos o vegetación, pero el flujo aún puede circular sin pérdida significativa de funcionalidad.	75%	25%
3	Fisuras pequeñas o erosión superficial	El elemento mantiene funcionalidad parcial, pero presenta deterioro físico menor, pérdida inicial de sección o afectación superficial.	50%	50%
4	Severamente tapado, fisurado o con socavación	La capacidad hidráulica se encuentra reducida de forma importante y existe riesgo de rebose, erosión, socavación o afectación a la vía.	30%	70%
5	Totalmente obstruido, colapsado o sin funcionalidad	El elemento no permite una conducción adecuada del agua o presenta daño que impide su funcionamiento hidráulico.	0%	100%

Fuente: Elaboración propia, adaptado metodológicamente a partir del trabajo desarrollado por la Ing. Anita Sánchez [17] y de los criterios aplicados en la inspección de campo.

La aplicación de la matriz siguió una secuencia metodológica. Primero se identificó el tipo de elemento de drenaje; luego se registró su condición en la ficha técnica; después se verificó la presencia de obstrucción, sedimentos, vegetación, fisuras, socavación o pérdida de sección hidráulica; posteriormente se asignó la categoría correspondiente; y finalmente se vinculó dicha categoría con los coeficientes referenciales de operación y mantenimiento.

La trazabilidad de la matriz se mantuvo mediante la relación directa entre el dato levantado en campo, la categoría asignada y la actividad recomendada. Así, un

elemento en buen estado o con residuos leves se vinculó con actividades de operación; un elemento parcialmente azolvado o con obstrucciones menores se relacionó con limpieza programada; un elemento con fisuras pequeñas o erosión superficial se asoció con mantenimiento preventivo; y un elemento severamente obstruido, socavado, colapsado o sin funcionalidad se priorizó para mantenimiento correctivo programado.

En consecuencia, la matriz de criticidad no se aplicó como una tabla aislada, sino como un instrumento de conexión entre el inventario técnico, el diagnóstico de campo, el cálculo de porcentajes ponderados de operación y mantenimiento, y la formulación del plan integral. Esta relación permitió que la propuesta se construya a partir de las condiciones reales observadas en los tramos viales priorizados, evitando que las actividades recomendadas se planteen únicamente como una limpieza general o una reparación sin criterio de priorización.

3.6 Procesamiento de la información y análisis estadístico:

La información levantada en campo se procesó en hojas de cálculo, organizando cada registro por vía, tipo de drenaje, cantidad, estado observado, criticidad y actividad requerida. Con esta base se consolidaron los datos de cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular.

El análisis aplicado fue de tipo descriptivo, a partir del uso de frecuencias y porcentajes. Esto permitió identificar cuántos elementos se encontraban en cada condición, qué proporción requería actividades de operación y qué porcentaje demandaba mantenimiento preventivo o correctivo.

Para el procesamiento de la información, primero se agrupó la cantidad de elementos según la condición observada en campo. Luego, a cada grupo se le aplicó el porcentaje referencial de operación y mantenimiento definido en la matriz de criticidad. Con este procedimiento se obtuvo una estimación ponderada de los requerimientos de operación y mantenimiento por cada vía evaluada.

El porcentaje de operación por vía se calculó multiplicando la cantidad de elementos registrados en cada categoría por el porcentaje de operación asignado a dicha categoría. Posteriormente, se sumaron los valores obtenidos y se dividieron para el total de elementos evaluados en la vía. El porcentaje de mantenimiento se calculó con el mismo procedimiento, utilizando el porcentaje de mantenimiento correspondiente a cada categoría.

De forma referencial, el procedimiento aplicado fue el siguiente:

Porcentaje de operación por vía = Σ (cantidad de elementos por categoría $\times$ porcentaje de operación asignado) / total de elementos evaluados en la vía.

Porcentaje de mantenimiento por vía = Σ (cantidad de elementos por categoría $\times$ porcentaje de mantenimiento asignado) / total de elementos evaluados en la vía.

Este procedimiento permitió que los porcentajes obtenidos no dependan de una apreciación general, sino de la condición registrada para cada elemento evaluado. Por ello, los resultados representan la proporción ponderada de requerimientos de operación y mantenimiento respecto al total de elementos de drenaje analizados en cada vía.

Para el análisis por tipo de elemento, se consolidaron los registros de cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular. Esto permitió identificar qué elementos presentan mayor demanda de operación y cuáles requieren mayor proporción de mantenimiento. Esta diferenciación fue necesaria para sustentar la propuesta de procedimientos específicos por cada tipo de drenaje.

Es importante aclarar que los porcentajes obtenidos no corresponden a un cálculo hidráulico de caudales ni a una medición directa de la longitud total de la vía. Los valores representan una clasificación técnica basada en el número de elementos evaluados y en la condición observada durante el levantamiento de campo.

Por esta razón, en las tablas de resultados se emplea la denominación “porcentaje ponderado de operación respecto al total de elementos evaluados por vía” y “porcentaje ponderado de mantenimiento respecto al total de elementos evaluados por vía”, debido a que los valores fueron obtenidos a partir de la cantidad de elementos registrados y de la categoría de condición asignada en la matriz de criticidad.

No se aplicaron pruebas experimentales ni comparaciones de rangos múltiples, como Tukey o Duncan, porque la investigación no contempla tratamientos ni manipulación de variables. El propósito fue más bien organizar e interpretar la información real levantada en campo, de manera que sirviera como base para sustentar el diagnóstico técnico y formular el plan integral de operación y mantenimiento preventivo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Inventario y caracterización de los elementos de drenaje pluvial presentes en los tramos viales intercantonales

El inventario y la caracterización de los elementos de drenaje pluvial constituyen la primera fase del análisis de resultados, debido a que permiten reconocer qué elementos existen en los tramos viales evaluados, dónde se ubican y en qué condiciones generales se encuentran. Esta etapa resulta necesaria para que el diagnóstico no se limite a una descripción aislada de daños, sino que sirva como base para la evaluación de criticidad y para la posterior formulación del plan integral de operación y mantenimiento preventivo.

En este apartado se presentan los tramos viales priorizados, las fichas utilizadas para la recolección de información y la distribución de los elementos inventariados por tipo. A partir de esta información se establece una relación inicial entre el levantamiento de campo, el estado de los componentes del sistema de drenaje y los requerimientos de intervención que se analizan en los apartados siguientes.

4.1.1 Tramos viales evaluados

Los resultados corresponden a siete vías intercantonales priorizadas de la provincia de Cotopaxi. La selección responde a su función de conectividad, presencia de infraestructura de drenaje pluvial y evidencia de afectaciones asociadas a lluvia, sedimentación, obstrucción y pérdida de funcionalidad hidráulica.

La selección de los tramos viales intercantonales evaluados se realizó tomando en cuenta su importancia para la conectividad de la provincia de Cotopaxi, la existencia de sistemas de drenaje pluvial y las afectaciones identificadas en campo, principalmente por lluvias, sedimentación, obstrucciones y pérdida de funcionalidad hidráulica. En este caso, el TPDA no fue considerado como criterio principal, ya que el enfoque del estudio se orientó más bien a la necesidad técnica de diagnosticar el estado real de los drenajes y proponer un plan de operación y mantenimiento preventivo ajustado a las condiciones encontradas durante la inspección.

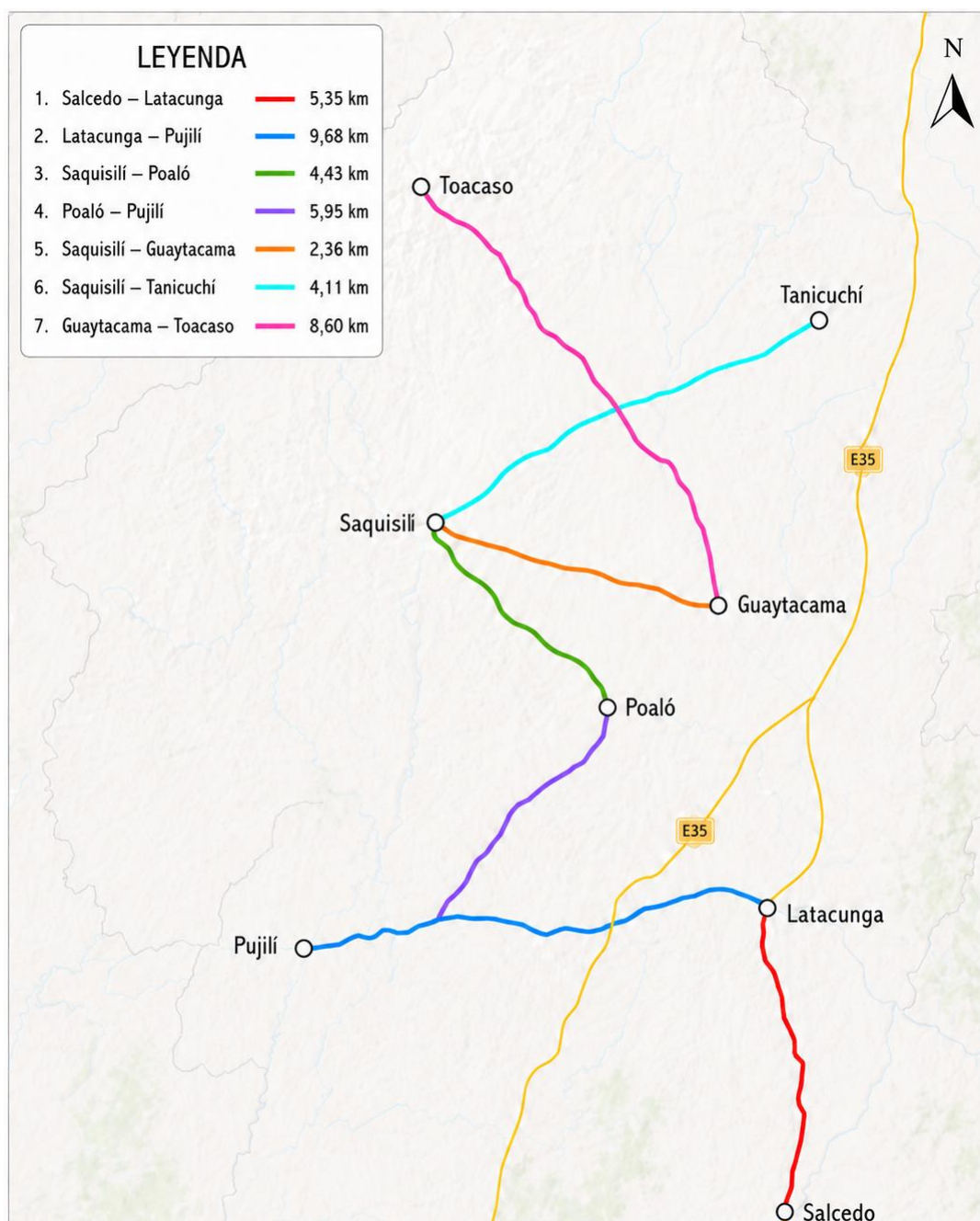
Los tramos analizados fueron: Salcedo–Latacunga, Latacunga–Pujilí, Saquisilí–Poaló, Poaló–Pujilí, Saquisilí–Guaytacama, Saquisilí–Tanicuchí y Guaytacama–Toacaso. En conjunto, se evaluaron 40,48 km de vía y 4217 elementos o tramos

equivalentes de drenaje, entre cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular. Esta información permitió tener una lectura más clara del estado actual del sistema y, a partir de ello, establecer prioridades de intervención según la condición observada.

La información levantada se organizó mediante fichas técnicas y matrices de evaluación, lo que facilitó mantener una relación ordenada entre la inspección de campo, la condición de cada drenaje, su nivel de criticidad y la actividad requerida. De esta manera, fue posible diferenciar con mayor precisión si el elemento necesitaba operación, limpieza, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado.

Este levantamiento constituye la base técnica del análisis posterior, debido a que permite relacionar cada tramo vial con los elementos existentes, los daños predominantes y los requerimientos de intervención. Por ello, los resultados no se presentan únicamente como un conteo de elementos, sino como una caracterización inicial del sistema de drenaje pluvial que sirve de soporte para la evaluación de criticidad y para la formulación del plan integral de operación y mantenimiento preventivo.

Ilustración 1 Esquema General de Vías evaluadas



Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento en campo

4.1.2 Fichas de recolección de información:

A continuación, se presenta un ejemplo de la matriz utilizada para el levantamiento de información durante la inspección y el mantenimiento del

sistema de drenaje vial. Esta ficha permitió registrar de manera ordenada los datos observados en campo y mantener una relación directa entre el inventario técnico, la condición del elemento, el tipo de daño identificado y la actividad de intervención requerida.

Como caso de referencia, se considera la vía Salcedo–Latacunga, donde se recopilaban los datos necesarios para identificar las condiciones existentes, registrar observaciones en campo y organizar la información de manera clara para su posterior análisis.

La matriz incluye información relacionada con el tipo de elemento, ubicación referencial, condición observada, evidencia fotográfica, daño predominante, nivel de afectación y requerimiento de operación o mantenimiento.

El uso de esta ficha fue necesario para evitar que la evaluación dependa únicamente de una apreciación visual general. Cada registro permitió clasificar el estado del drenaje bajo criterios comunes y, posteriormente, consolidar los resultados por vía y por tipo de elemento. De esta manera, la información levantada en campo sirvió como base para alimentar la matriz de criticidad y calcular los porcentajes ponderados de operación y mantenimiento.

Tabla 4 Matriz Integral de levantamiento de información en la vía Salcedo–Latacunga

MATRIZ INTEGRAL DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE DRENAJE VIAL						
Formato para: diagnóstico, inventario por estructura, priorización y bitácora técnica						
1. IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA INSPECCIÓN						
Código de vía	V1 S-L	Fecha de inspección	21/03/2026		Tipo de inspección: Inicial / rutina / posterior a lluvia	
Clasificación	Primaria / Secundaria / Terciaria	Provincia / cantón	Cotopaxi / Salcedo - Latacunga		Clima: Seco / <u>nublado</u> / lluvioso / tormenta	
Tramo de vía	Redondel del Helado Salcedo- Entrada a Belisario Quevedo - Entrada a Latacunga (Banariego)		Longitud total (km)		5.35	
Punto	Ubicación	Kilometraje	Este (m)		Sur (m)	
Inicio	Salcedo	0+000	768092 m E		9886329 m S	
Fin	Latacunga	5+358	766586 m E		9891471 m S	
Frecuencia sugerida de inspección	Ordinaria trimestral y extraordinaria después de lluvias/eventos		Código de fotografías		S-L	
Observación de localización	Inspección basada en estructuras observadas					
2. INVENTARIO GENERAL DEL SISTEMA DE DRENAJE						
	Tipo de elemento	Lado	Cant.	Material principal	Estado	Observaciones
	Drenaje longitudinal (Tramo equivalente de 10 m)	Izq./Der.	496	Hormigón / acero	Regular	En el tramo evaluado predomina la cuneta lateral, por lo que se consideró como unidad de análisis un segmento equivalente de 10 metros. se observan sedimentos, residuos, vegetación y daños puntuales.
	Elementos puntuales	Mixto	24	Hormigón	Regular -Malo	cajas de descarga y rejillas se observan sedimentos, residuos, vegetación y daños puntuales.
	Rampa Vehiculares		41	Hormigón	Regular	Identificaron Rampa Vehiculares colmatadas
	Conexión con otras estructuras		0	Tuberías de hormigón	N/A	Rejillas y cajas conectadas con tuberías.
	Cantidad total de estructuras		561	Hoja de detalle		

3. DIAGNÓSTICO DE CONDICIÓN Y FUNCIONALIDAD			
Estado general de la capa de rodadura	Bueno / Regular / Malo	Estado general del drenaje	Bueno / Regular / Malo / Colapsado
Obstrucciones predominantes	Basura / sedimentos / piedras / vegetación	Riesgo para la vía	Bajo / medio / alto
Desbordamientos recientes	Sí, por rejillas tapadas y agua fuera de cauce	Afectación a seguridad vial	Sí / No
Impacto del daño en la vía	Zonas muy vegetadas con necesidad de atención correctiva; sedimentos en los costados; tramos de cuneta con sedimentos; rejillas tapadas que impiden la circulación del agua.		
Accesos vehiculares / interferencias	Sí, varios accesos, losas, gradas y zonas comerciales interfieren o reducen la sección útil del drenaje.	Impacto ambiental	Erosión / arrastre / colmatación / residuos

4. MATRIZ DE EVALUACIÓN Y PRIORIZACIÓN									
	Condición del drenaje	Cantidad	% del total	% requiere operación	% requiere mantenimiento	Prioridad sugerida			
	Buen estado, con acumulación leve de residuos	23.00	4.10%	100%	0%	Baja			
	Parcialmente azolvado u obstrucciones menores	56.00	9.98%	75%	25%	Media			
	Fisuras pequeñas o erosión superficial	139.00	24.78%	50%	50%	Media			
	Severamente tapado, fisurado o con socavación	320.00	57.04%	30%	70%	Alta			
	Totalmente obstruido, colapsado o sin funcionalidad	23.00	4.10%	0%	100%	Alta			
	Total	561.00	100%						
	% que requiere operación			41.09%	% que requiere mantenimiento		58.91%		

5. PLAN DE INTERVENCIÓN Y MANTENIMIENTO			
Acciones inmediatas	Se plantea realizar actividades de limpieza y mantenimiento en cunetas y canales de recolección de aguas lluvias, incluyendo el retiro de residuos, sedimentos y maleza acumulada. Si es necesaria la reconformación de la sección hidráulica para mejorar la conducción del agua. En las alcantarillas de mayor riesgo, se prioriza la reparación de los ingresos a las cajas de descarga, debido a que estos puntos suelen concentrar obstrucciones y daños que pueden afectar el funcionamiento del sistema de drenaje		
Tipo de mantenimiento	Rutinario / preventivo / correctivo / emergencia	Plazo	Inmediato / 15 días / 30 días
Frecuencia recomendada	Mensual y posterior a lluvias; quincenal en puntos con vegetación o alta sedimentación.	Control de tránsito	Conos / señalética / cierre parcial
Recursos requeridos	Cadrilla, herramientas manuales, retroexcavadora liviana, volqueta y disposición de residuos.		
Medidas ambientales	Retiro de sedimentos, disposición adecuada de residuos y protección de cauces.		
Observaciones adicionales	Para la evaluación de cada elemento se utilizará una hoja , donde se registrará la información técnica levantada en campo. De manera complementaria, esta servirá para documentar las intervenciones realizadas, dejando constancia de las actividades ejecutadas, su fecha,		

Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de campo.

A partir de la información registrada en la matriz se determinó el requerimiento de operación y mantenimiento de los elementos evaluados en la vía. Esta relación permitió identificar qué componentes podían atenderse mediante limpieza o control rutinario y cuáles requerían mantenimiento preventivo o correctivo programado, según la condición observada en campo.

4.1.3 Elementos inventariados por tipo

Para continuar con el análisis, se toma como referencia la vía Salcedo–Latacunga, en la cual se identificaron y clasificaron los diferentes elementos existentes dentro del sistema de drenaje vial.

Durante el levantamiento de información en campo, cada componente fue observado y registrado según el tipo de elemento evaluado. Esto permitió organizar de mejor manera las estructuras existentes en la vía y contar con una base clara para su posterior análisis técnico.

La clasificación por tipo de elemento resulta importante porque no todos los componentes cumplen la misma función hidráulica ni requieren la misma actividad de operación o mantenimiento.

Tabla 5 Matriz de respaldo entre inventario de estructuras y clasificación de criticidad

Categoría de criticidad	Cuneta	Alcantarilla	Rejilla	Caja de descarga	Rampa de acceso	Total
Buen estado, con acumulación leve de residuos	21	0	0	0	2	23
Parcialmente azolvado u obstrucciones menores	50	0	0	0	6	56
Fisuras pequeñas o erosión superficial	125	1	0	0	13	139
Severamente tapado, fisurado o con socavación	300	0	0	0	20	320
Totalmente obstruido, colapsado o sin funcionalidad	0	0	9	14	0	23
TOTAL	496	1	9	14	41	561

Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección.

En la vía Salcedo–Latacunga se registraron 561 elementos o tramos equivalentes de drenaje. De este total, las cunetas representan la mayor participación, con 496 registros, equivalentes al 88,4 %. Este resultado es coherente con la función del drenaje longitudinal en vías intercantonales, ya que las cunetas se desarrollan a lo largo del tramo y actúan como primer receptor de la esorrentía superficial.

También se identificaron rampas de acceso vehicular, cajas de descarga, rejillas y alcantarillas. Aunque estos elementos tienen menor cantidad respecto a las cunetas, su importancia técnica no debe interpretarse únicamente por el número registrado. Una alcantarilla obstruida, una caja colmatada, una rejilla deteriorada o una rampa que interrumpe la continuidad de la cuneta pueden afectar el funcionamiento hidráulico de un sector completo del tramo vial. Por esta razón, el inventario considera tanto la cantidad de elementos como su función dentro del sistema de drenaje.

Tabla 6 Distribución por tipo de elemento en la vía Salcedo–Latacunga

DISTRIBUCIÓN POR TIPO DE ELEMENTO		
Tipo de elemento	Cantidad	% del total
Cuneta (Tramo equivalente de 10 m)	496	88.4%
Alcantarilla	1	0.2%
Rejilla	9	1.6%
Caja de descarga	14	2.5%

Rampa de Acceso	41	7.3%
Total	561	100.0%

Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección.

Los resultados de esta distribución permiten reconocer que el mantenimiento de cunetas tendrá una incidencia importante dentro del plan propuesto, debido a su alta presencia en el tramo. Sin embargo, los elementos puntuales también deben considerarse dentro de la priorización, ya que su falla puede generar taponamientos, reboses, pérdida de captación o interrupción del flujo. Esta lectura inicial del inventario sirve como base para la evaluación posterior de condición y criticidad de los drenajes pluviales.

4.1.4 Evidencia fotográfica representativa del diagnóstico

A continuación, se presenta una selección de fotografías representativas extraídas de las matrices de campo. Las imágenes evidencian condiciones recurrentes observadas durante el levantamiento de información, tales como obstrucciones, acumulación de sedimentos, presencia de vegetación, deterioro de cajas de descarga, taponamientos en alcantarillas, afectaciones en cunetas y problemas puntuales asociados a rampas de acceso vehicular.

El registro fotográfico constituye un respaldo técnico del diagnóstico, debido a que permite verificar visualmente la condición de los elementos evaluados y relacionar las observaciones de campo con la clasificación posterior de criticidad. En este sentido, las fotografías no se presentan únicamente como evidencia gráfica, sino como parte del proceso metodológico utilizado para justificar los requerimientos de operación, limpieza, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado.

Las imágenes seleccionadas muestran ejemplos representativos de los daños identificados en cada tramo vial. Estos registros permiten reconocer que las afectaciones no se limitan a un solo tipo de elemento, sino que se presentan en distintos componentes del sistema de drenaje pluvial, lo cual refuerza la necesidad de plantear procedimientos diferenciados por tipo de drenaje.

Ilustración 2 Fotografías representativas de la Vía Salcedo – Latacunga

 Fotografía 04 - ID 160.1 Coord. UTM: 17M 767203 / 9890612 Abscisa: 2+843 Elemento: Alcantarilla Estado: Malo	 Fotografía 11 - ID 120 Coord. UTM: 17M 767834 / 9889140 Abscisa: 2+216 Elemento: Alcantarilla Estado: Malo	 Fotografía 36 - ID 75 Coord. UTM: 17M 767941 / 9887620 Abscisa: 1+316 Elemento: Contracuneta Estado: Malo
--	--	---

Fuente: Elaboración propia a partir del registro fotográfico levantado en campo.

Ilustración 3 Fotografías representativas de la vía Latacunga – Pujilí.

 Fotografía 01 - ID 19.2 Coord. UTM: 17M 762428 / 9897213 Abscisa: 0+838 Elemento: Salida de alcantarilla obstruida por desechos Estado: Malo	 Fotografía 02 - ID 15 Coord. UTM: 17M 759233 / 9896517 Abscisa: 4+548 Elemento: Canal lateral con empozamiento y desechos Estado: Malo	 Fotografía 03 - ID 31 Coord. UTM: 17M 759987 / 9896465 Abscisa: 3+729 Elemento: Talud de corte con deslizamiento hacia cuneta Estado: Malo
---	--	---

Fuente: Elaboración propia a partir del registro fotográfico levantado en campo.

Ilustración 4 Fotografías representativas de la vía Saquisilí – Poaló.



Fuente: Elaboración propia a partir del registro fotográfico levantado en campo.

Ilustración 5 Fotografías representativas de la vía Poaló - Pujilí



Fuente: Elaboración propia a partir del registro fotográfico levantado en campo.

Ilustración 6 Fotografías representativas de la vía Saquisilí - Guaytacama



Fuente: Elaboración propia a partir del registro fotográfico levantado en campo.

Ilustración 7 Fotografías representativas de la vía Saquisilí - Tanicuchí



Fuente: Elaboración propia a partir del registro fotográfico levantado en campo.

Ilustración 8 Fotografías representativas de la vía Guaytacama - Toacaso



Fuente: Elaboración propia a partir del registro fotográfico levantado en campo.

En conjunto, la evidencia fotográfica permite confirmar la presencia de problemas frecuentes como sedimentación, obstrucción, vegetación, deterioro físico y pérdida de continuidad hidráulica. Estos hallazgos sirven como soporte para la evaluación de condición y criticidad que se desarrolla en el siguiente apartado.

4.2 Evaluación del estado y nivel de criticidad de los drenajes pluviales

La evaluación del estado y nivel de criticidad de los drenajes pluviales se realizó a partir de la información registrada en las fichas de inspección y matrices de campo. Esta etapa permitió clasificar los elementos inventariados según su condición física y funcional, considerando criterios como presencia de sedimentos, obstrucción, vegetación, fisuras, socavación, pérdida de sección hidráulica y continuidad del flujo. El propósito de esta evaluación fue transformar la información levantada en campo en resultados comparables entre vías y tipos de elementos. De esta manera, la condición observada en cada

drenaje no se interpretó únicamente como un daño aislado, sino como un indicador técnico para definir si el elemento requería operación, limpieza, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado.

La criticidad se entendió como el nivel de atención que requiere cada elemento en función de su afectación y de su posible incidencia sobre la funcionalidad hidráulica del sistema. Por ello, un drenaje con acumulación leve de residuos no tiene el mismo nivel de prioridad que una alcantarilla obstruida, una caja de descarga colmatada, una cuneta con socavación o una rampa de acceso que interrumpe la continuidad del flujo.

Con base en esta clasificación, los resultados permitieron identificar los tramos y elementos con mayor necesidad de intervención. Esta información constituye el enlace entre el diagnóstico técnico y la propuesta de operación y mantenimiento, ya que permite justificar las actividades recomendadas según la condición real observada en los sistemas de drenaje pluvial.

4.2.1 Distribución de elementos de drenaje por tipo y vía evaluada

La distribución de elementos de drenaje por tipo permite identificar qué componentes predominan en cada tramo vial y cómo se conforma el sistema de drenaje pluvial evaluado. Este análisis es necesario porque la demanda de operación y mantenimiento no depende únicamente del número total de elementos, sino también de la función que cumple cada componente dentro del sistema.

En las siete vías evaluadas se identificaron cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular. Las cunetas representan el elemento con mayor presencia en todos los tramos, debido a su función longitudinal de captación y conducción del escurrimiento superficial. Esta condición evidencia que una parte importante de las actividades de operación y mantenimiento deberá orientarse a limpieza, desazolve, control de vegetación, reparación menor y recuperación de secciones hidráulicas en cunetas.

Sin embargo, los elementos puntuales, como alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso, también requieren atención técnica, aunque su cantidad sea menor en comparación con las cunetas. Una alcantarilla obstruida, una rejilla deteriorada, una caja colmatada o una rampa que interrumpe el flujo pueden afectar la continuidad hidráulica de un tramo completo. Por esta razón, la priorización de intervenciones no debe basarse solo en la cantidad de elementos, sino también en su ubicación, estado funcional y nivel de criticidad.

Tabla 7 Distribución de elementos de drenaje por tipo y por vía evaluada.

Tipo de elemento	Salcedo - Latacunga (5.35 km)		Latacunga - Pujilí (9.68 km)		Saquisilí - Poaló (4.43 km)		Poaló - Pujilí (5.95 km)		Saquisilí - Guaytacama (2.36 km)		Saquisilí - Tanicuchí (4.11 km)		Guaytacama - Toacaso (8.60 km)	
	Cantidad	% del total	Cantidad	% del total	Cantidad	% del total	Cantidad	% del total	Cantidad	% del total	Cantidad	% del total	Cantidad	% del total
Cuneta (Tramo equivalente de 10 m)	496	88.41%	923	92.58%	436	95.20%	532	84.85%	231	95.45%	373	87.56%	738	81.46%
Alcantarilla	1	0.18%	4	0.40%	5	1.09%	3	0.48%	2	0.83%	1	0.23%	5	0.55%
Rejilla	9	1.60%	2	0.20%	1	0.22%	3	0.48%	0	0.00%	2	0.47%	2	0.22%
Caja de descarga	14	2.50%	14	1.40%	8	1.75%	11	1.75%	3	1.24%	5	1.17%	11	1.21%
Rampa de Acceso	41	7.31%	54	5.42%	8	1.75%	78	12.44%	6	2.48%	45	10.56%	150	16.56%
TOTAL POR VÍA	561	100.00%	997	100.00%	458	100.00%	627	100.00%	242	100.00%	426	100.00%	906	100.00%

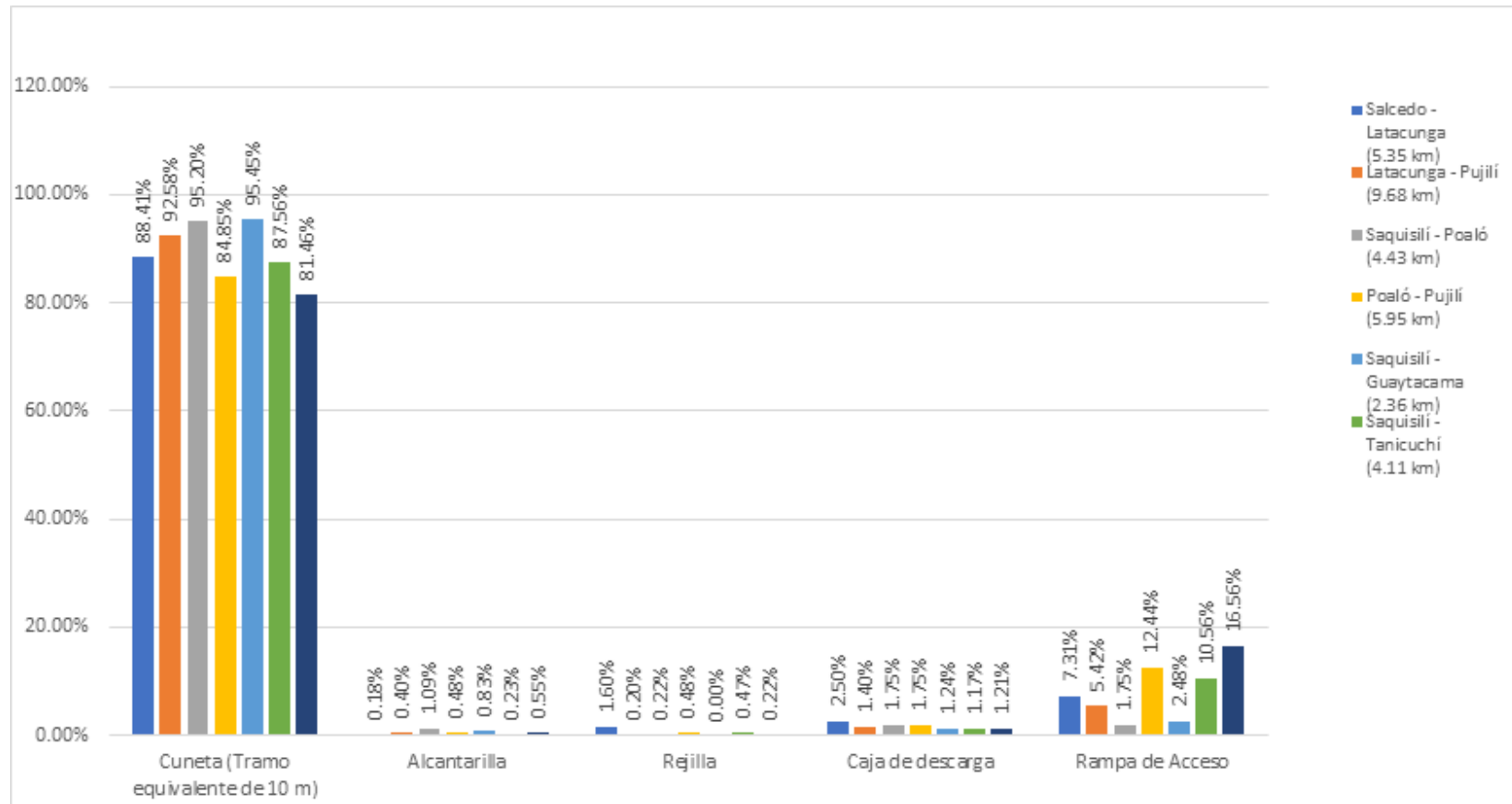
Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección

Los resultados muestran que las cunetas constituyen el elemento predominante en todas las vías evaluadas. En la vía Salcedo–Latacunga representan el 88,41 % de los elementos registrados; en Latacunga–Pujilí, el 92,58 %; en Saquisilí–Poaló, el 95,20 %; en Poaló–Pujilí, el 84,85 %; en Saquisilí–Guaytacama, el 95,45 %; en Saquisilí–Tanicuchí, el 87,56 %; y en Guaytacama–Toacaso, el 81,46 %. Esta tendencia confirma que el drenaje longitudinal tiene una presencia dominante dentro de los tramos analizados.

La vía Guaytacama–Toacaso presenta una proporción importante de rampas de acceso vehicular, con el 16,56 % del total de elementos registrados en ese tramo. Esta condición merece atención porque las rampas pueden interferir con la continuidad hidráulica de las cunetas cuando no cuentan con un paso adecuado para el agua. De forma similar, en Poaló–Pujilí y Saquisilí–Tanicuchí las rampas representan el 12,44 % y 10,56 %, respectivamente, lo que evidencia la necesidad de considerarlas dentro del diagnóstico y no tratarlas como elementos ajenos al sistema de drenaje.

Aunque las alcantarillas, rejillas y cajas de descarga presentan porcentajes menores, su importancia técnica no debe subestimarse. Estos elementos cumplen funciones puntuales de captación, conducción transversal, inspección o descarga, por lo que su obstrucción o deterioro puede generar represamientos, acumulación de agua o pérdida de funcionalidad en sectores específicos de la vía. En consecuencia, la distribución por tipo de elemento permite orientar el análisis posterior de criticidad y justificar la formulación de actividades diferenciadas de operación y mantenimiento.

Ilustración 9 Distribución porcentual de elementos de drenaje por vía evaluada.



Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección.

4.2.2 Inventario técnico de daños

El inventario técnico de daños permitió identificar las afectaciones más frecuentes observadas en los elementos de drenaje pluvial evaluados. Esta información se organizó según el tipo de elemento, el daño predominante, su descripción técnica, la causa probable y la intervención recomendada.

Este análisis resulta necesario porque permite relacionar la evidencia levantada en campo con las actividades de operación y mantenimiento que se plantean posteriormente en la propuesta. Es decir, los daños identificados no se presentan como observaciones aisladas, sino como condiciones que afectan la funcionalidad hidráulica del sistema y que justifican una acción técnica específica.

Los daños considerados en esta etapa corresponden principalmente a sedimentación, azolvamiento, obstrucción por residuos o vegetación, fisuras, socavación, deterioro de rejillas, colmatación de cajas de descarga e interrupción del flujo por rampas de acceso. Estas afectaciones fueron seleccionadas porque se repiten en los tramos evaluados y porque inciden directamente en la capacidad de captación, conducción y descarga del agua lluvia.

Tabla 8 Inventario técnico de daños, causas probables e intervención recomendada

Elemento	Daño identificado	Descripción técnica	Causa probable	Intervención recomendada
Cuneta	Azolvamiento	Acumulación de sedimentos, lodo, piedras o residuos que reduce la sección útil de conducción.	Arrastre de sedimentos y limpieza insuficiente.	Limpieza, desazolve y retiro del material acumulado.
Cuneta	Fisuras o agrietamientos	Presencia de grietas longitudinales o transversales que pueden favorecer la infiltración de agua.	Asentamientos, envejecimiento del material o tránsito lateral.	Sellado, reparación puntual o reposición parcial del tramo afectado.
Cuneta	Obstrucción por vegetación	Presencia de maleza o raíces dentro de la sección hidráulica.	Falta de control periódico de vegetación.	Corte y retiro de vegetación, desbroce y reperfilado menor de la sección hidráulica.
Cuneta	Socavación	Pérdida de material bajo la cuneta o en sus bordes laterales.	Flujo concentrado o descarga mal conducida.	Relleno, compactación y protección del borde afectado.
Alcantarilla	Obstrucción de entrada/salida	Bloqueo parcial o total del conducto hidráulico.	Acumulación de sedimentos, ramas, piedras o	Desobstrucción manual o mecánica y verificación del flujo.

			basura.	
Rejilla	Rejilla deteriorada o ausente	Pérdida de capacidad de captación y posible riesgo para el usuario.	Corrosión, daño por tránsito o retiro no autorizado.	Reposición, anclaje y limpieza inmediata de la caja.
Caja de descarga	Presencia de basura y sedimentos	Reducción del volumen útil y generación de remanso.	Arrastre de sólidos y mantenimiento insuficiente.	Extracción de material, lavado y revisión de conexiones.
Rampa de acceso	Paso hidráulico obstruido o insuficiente	La rampa interrumpe o desvía el flujo hacia la calzada.	Diseño inadecuado, acumulación de sedimentos o falta de limpieza.	Limpieza, ampliación del paso hidráulico o reconstrucción.

Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección

La tabla permite observar que varios daños tienen origen en la falta de limpieza y control periódico, especialmente en cunetas, alcantarillas, rejillas y cajas de descarga. Sin embargo, también se identifican afectaciones que requieren mantenimiento más específico, como fisuras, socavación, deterioro de rejillas o rampas que interrumpen la continuidad del flujo.

Esta diferenciación es importante para la matriz de criticidad, porque no todos los daños deben recibir la misma respuesta.

Las obstrucciones leves pueden atenderse mediante operación y limpieza; los daños moderados requieren mantenimiento preventivo; y las condiciones severas, como taponamientos importantes, socavación o pérdida de funcionalidad, deben priorizarse para mantenimiento correctivo programado.

De esta manera, el inventario técnico de daños sirve como vínculo entre el diagnóstico de campo y el plan integral de operación y mantenimiento preventivo.

4.2.3 Condición de los drenajes y requerimientos de operación y mantenimiento por vía

La condición de los elementos de drenaje evaluados se clasificó en cinco categorías, de acuerdo con el nivel de afectación observado en campo y su incidencia sobre la funcionalidad hidráulica del sistema. Estas categorías permiten diferenciar los elementos que conservan una condición funcional aceptable de aquellos que presentan obstrucción, fisuras, socavación, colapso o pérdida de capacidad de conducción.

Esta clasificación es necesaria porque permite relacionar cada condición observada con un requerimiento técnico de intervención. Así, los elementos en buen estado o con acumulación leve de residuos se asocian principalmente con actividades de operación; los elementos parcialmente azolvados o con obstrucciones menores requieren limpieza programada y seguimiento; los elementos con fisuras pequeñas o erosión superficial demandan mantenimiento preventivo; y los elementos severamente tapados, socavados, colapsados o sin funcionalidad requieren mantenimiento con mayor prioridad.

La tabla siguiente presenta la cantidad de elementos o tramos equivalentes registrados en cada condición, el porcentaje que representan respecto al total evaluado en cada vía y los coeficientes referenciales de operación y mantenimiento asociados a dichas condiciones. Estos valores permiten comparar los tramos evaluados e identificar qué vías presentan mayor demanda de mantenimiento y cuáles conservan una mayor proporción de elementos atendibles mediante operación rutinaria.

Condición del drenaje	Poaló - Pujilí (5.95 km)				Saquisilí - Guaytacama (2.36 km)				Saquisilí - Tanicuchí (4.11 km)				Guaytacama - Toacaso (8.60 km)			
	Cantidad de elementos o tramos equivalentes	% respecto al total evaluado en la vía	Coefficiente referencial de operación	Coefficiente referencial de mantenimiento	Cantidad de elementos o tramos equivalentes	% respecto al total evaluado en la vía	Coefficiente referencial de operación	Coefficiente referencial de mantenimiento	Cantidad de elementos o tramos equivalentes	% respecto al total evaluado en la vía	Coefficiente referencial de operación	Coefficiente referencial de mantenimiento	Cantidad de elementos o tramos equivalentes	% respecto al total evaluado en la vía	Coefficiente referencial de operación	Coefficiente referencial de mantenimiento
Buen estado, con acumulación leve de residuos	20.00	3.19%	100.00%	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00%	30.00	3.31%	100.00%	0.00%
Parcialmente azolvado u obstrucciones menores	45.00	7.18%	75.00%	25.00%	10.00	4.13%	75.00%	25.00%	0.00	0.00%	75.00%	25.00%	40.00	4.42%	75.00%	25.00%
Fisuras pequeñas o erosión superficial	142.00	22.65%	50.00%	50.00%	61.00	25.21%	50.00%	50.00%	100.00	23.47%	50.00%	50.00%	305.00	33.66%	50.00%	50.00%
Severamente tapado, fisurado o con socavación	420.00	66.99%	30.00%	70.00%	171.00	70.66%	30.00%	70.00%	326.00	76.53%	30.00%	70.00%	531.00	58.61%	30.00%	70.00%
Totalmente obstruido, colapsado o sin funcionalidad	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
TOTAL POR VÍA	627.00	100.00%	39.99%	60.01%	242.00	100.00%	36.90%	63.10%	426.00	100.00%	34.69%	65.31%	906.00	100.00%	41.04%	58.96%

Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección

Los resultados evidencian que, en todas las vías evaluadas, la categoría con mayor presencia corresponde a elementos severamente tapados, fisurados o con socavación. Esta condición alcanza el 57,04 % en la vía Salcedo–Latacunga, 57,37 % en Latacunga–Pujilí, 86,90 % en Saquisilí–Poaló, 66,99 % en Poaló–Pujilí, 70,66 % en Saquisilí–Guaytacama, 76,53 % en Saquisilí–Tanicuchí y 58,61 % en Guaytacama–Toacaso. Esta tendencia muestra que una parte importante del sistema de drenaje evaluado no requiere únicamente limpieza rutinaria, sino intervenciones de mantenimiento orientadas a recuperar o conservar la funcionalidad hidráulica.

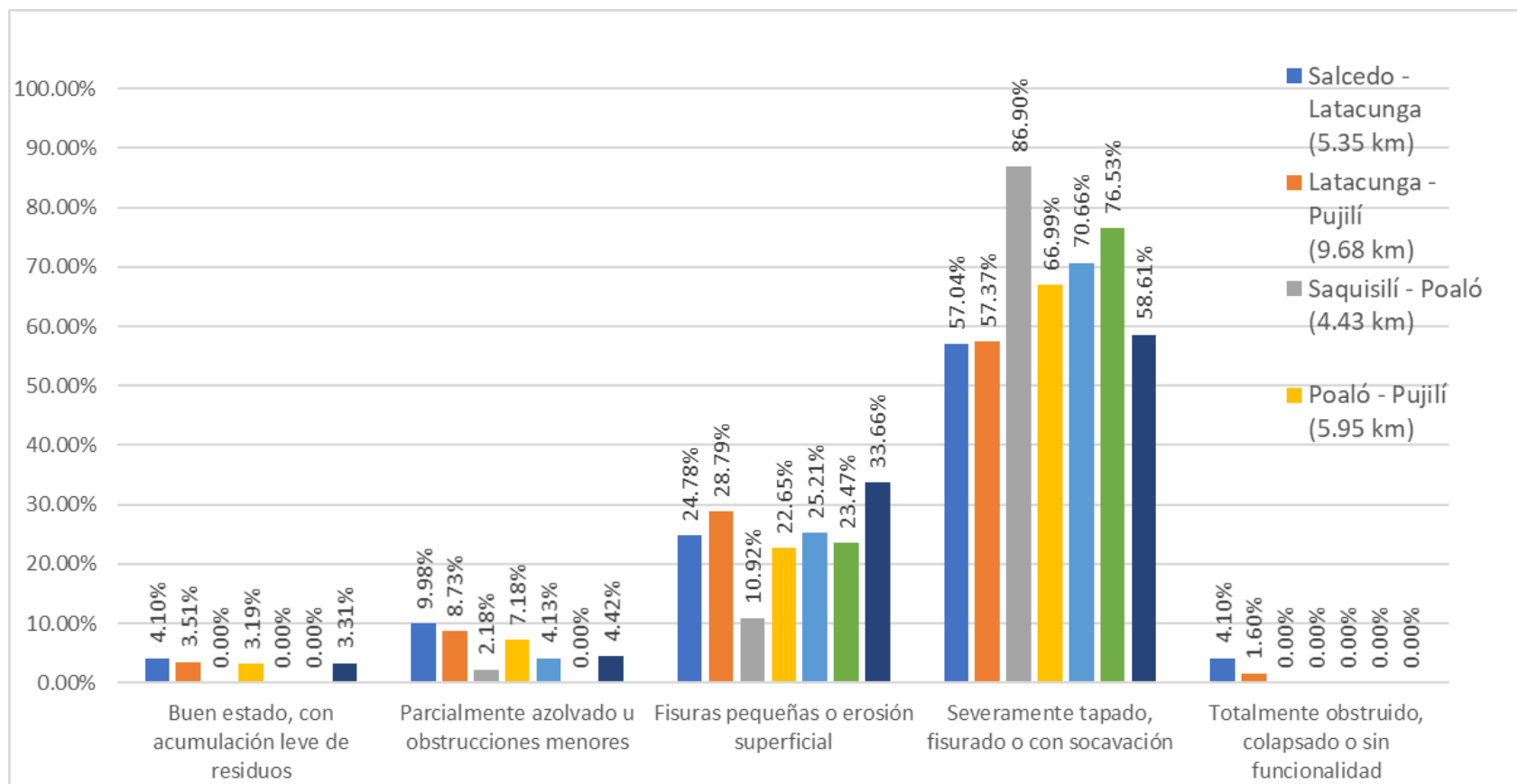
La vía Saquisilí–Poaló presenta la condición más crítica, debido a que el 86,90 % de sus elementos se ubica en la categoría de afectación severa. También se observan valores elevados en Saquisilí–Tanicuchí y Saquisilí–Guaytacama, con 76,53 % y 70,66 %, respectivamente. Estos resultados permiten priorizar dichos tramos dentro de la programación de mantenimiento, ya que concentran una mayor proporción de elementos con reducción importante de capacidad hidráulica o riesgo de pérdida funcional.

La presencia de elementos en buen estado o con acumulación leve de residuos es reducida. Esta categoría representa el 4,10 % en Salcedo–Latacunga, 3,51 % en Latacunga–Pujilí, 3,19 % en Poaló–Pujilí y 3,31 % en Guaytacama–Toacaso; mientras que en Saquisilí–Poaló, Saquisilí–Guaytacama y Saquisilí–Tanicuchí no se registraron elementos dentro de esta condición. Este resultado confirma que el sistema de drenaje presenta una baja proporción de elementos que puedan atenderse únicamente con control rutinario o limpieza menor.

En términos generales, la evaluación muestra que los requerimientos de mantenimiento superan a los de operación en todos los tramos analizados. Esto significa que la propuesta de intervención debe orientarse no solo a la limpieza de sedimentos o retiro de vegetación, sino también a acciones de recuperación de sección hidráulica, reparación de fisuras, control de socavación, desobstrucción de elementos puntuales y corrección de interferencias en el flujo.

Estos resultados permiten establecer una relación directa entre el diagnóstico de campo y la propuesta de operación y mantenimiento preventivo. La condición observada en cada vía define el nivel de atención requerido y justifica la necesidad de procedimientos diferenciados por tipo de elemento. Por tanto, la matriz de criticidad no solo clasifica daños, sino que orienta la priorización de intervenciones y la formulación del plan integral propuesto.

Ilustración 10 Condición del drenaje y requerimientos de operación y mantenimiento por vía evaluada



Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección

4.2.4 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento por vía evaluada

A partir de la clasificación de condición aplicada a los elementos de drenaje, se calcularon los porcentajes ponderados de operación y mantenimiento para cada vía evaluada. Estos valores permiten identificar qué proporción de los elementos registrados puede atenderse mediante actividades de operación rutinaria y qué proporción requiere mantenimiento preventivo o correctivo programado.

Los porcentajes presentados no corresponden a una medición directa de la longitud vial, sino a una estimación ponderada en función del número de elementos evaluados y de la categoría de condición asignada en la matriz de criticidad. Por esta razón, los resultados deben interpretarse como requerimientos técnicos de atención respecto al total de elementos de drenaje registrados en cada vía.

Tabla 10 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento respecto al total de elementos evaluados por vía

ÍTEM	VÍA EVALUADA	CANTIDAD DE ELEMENTOS O TRAMOS EQUIVALENTES EVALUADOS	PORCENTAJE PONDERADO DE OPERACIÓN (%)	PORCENTAJE PONDERADO DE MANTENIMIENTO (%)
1	Salcedo - Latacunga (5.35 km)	561	41.09%	58.91%
2	Latacunga - Pujilí (9.68 km)	997	41.66%	58.34%
3	Saquisilí - Poaló (4.43 km)	458	33.17%	66.83%
4	Poaló - Pujilí (5.95 km)	627	39.99%	60.01%
5	Saquisilí - Guaytacama (2.36 km)	242	36.90%	63.10%
6	Saquisilí - Tanicuchí (4.11 km)	426	34.69%	65.31%
7	Guaytacama - Toacaso (8.60 km)	906	41.04%	58.96%

Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección

Los resultados muestran que en todas las vías evaluadas el porcentaje ponderado de mantenimiento supera al porcentaje ponderado de operación. Esto evidencia que los sistemas de drenaje no requieren únicamente actividades rutinarias de limpieza o control, sino intervenciones orientadas a recuperar o conservar su funcionalidad hidráulica.

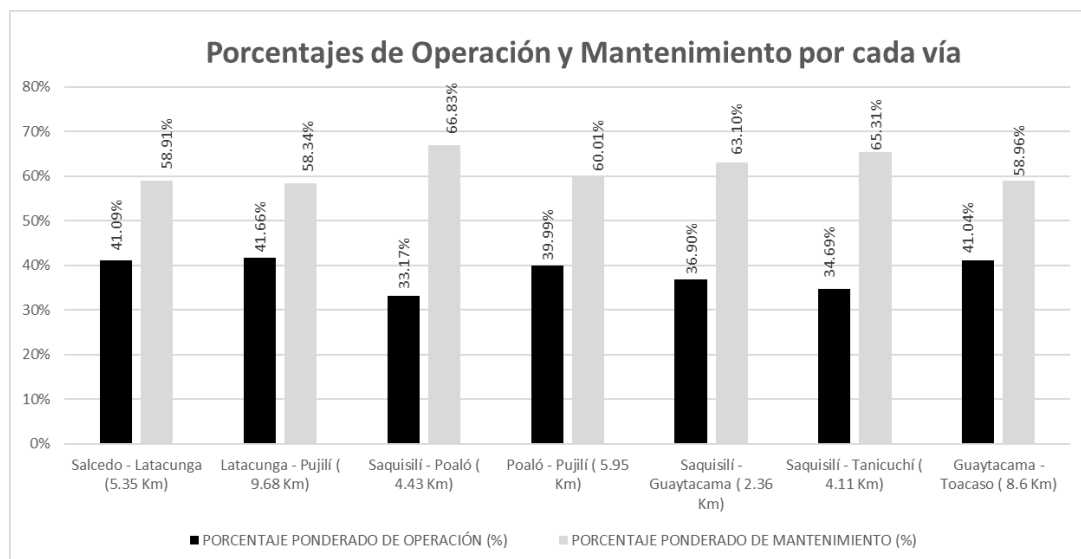
La vía Saquisilí–Poaló presenta el mayor requerimiento de mantenimiento, con 66,83 %, seguida por Saquisilí–Tanicuchí con 65,31 % y Saquisilí–Guaytacama con 63,10 %. Estos resultados guardan relación con la alta proporción de elementos clasificados en condiciones severas, especialmente por obstrucción, sedimentación, presencia de vegetación, fisuras o pérdida de capacidad hidráulica.

En las vías Poaló–Pujilí, Guaytacama–Toacaso, Salcedo–Latacunga y Latacunga–Pujilí también predominan los requerimientos de mantenimiento, con valores entre 58,34 % y 60,01 %. Aunque estos porcentajes son menores que los observados en Saquisilí–Poaló, siguen mostrando que más de la mitad de los elementos evaluados requiere una intervención superior a la operación rutinaria.

Desde el punto de vista técnico, estos resultados permiten priorizar las vías con mayor demanda de mantenimiento y orientar la programación de recursos, cuadrillas, equipos y actividades. Además, confirman que la propuesta debe considerar procedimientos diferenciados, ya que las necesidades de una vía con mayor presencia de elementos severamente afectados no son iguales a las de un tramo donde predominan condiciones leves o moderadas.

En consecuencia, los porcentajes ponderados de operación y mantenimiento constituyen un enlace entre la matriz de criticidad y el plan propuesto. Su interpretación permite pasar del diagnóstico de campo a una programación técnica de intervenciones, evitando que las actividades se definan únicamente por apreciación visual o por atención emergente.

Ilustración 11 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento por vía evaluada



Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección

4.2.5 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento por tipo de elemento

El análisis por tipo de elemento permite identificar qué componentes del sistema de drenaje pluvial requieren mayor proporción de actividades de operación y cuáles demandan mantenimiento preventivo o correctivo programado. Esta diferenciación es importante porque cada elemento cumple una función hidráulica distinta dentro del sistema y, por tanto, no todos los daños generan el mismo efecto ni requieren la misma forma de intervención.

Los porcentajes presentados en este apartado se obtuvieron a partir de la condición registrada para cada tipo de elemento evaluado. Por ello, los valores no deben interpretarse únicamente como una distribución de cantidades, sino como una lectura técnica del nivel de atención requerido por cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular.

Tabla 11 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento por tipo de elemento de drenaje

ÍTEM	TIPO DE ELEMENTO	CANTIDAD DE ELEMENTO S O TRAMOS EQUIVALEN TES EVALUADO S	ACTIVIDAD PRINCIPAL DE OPERACIÓN	PORCENTAJE PONDERADO DE OPERACIÓN (%)	ACTIVIDAD PRINCIPAL DE MANTENIMIENTO	PORCENTAJE PONDERADO DE MANTENIMIE NTO (%)	PORCENT AJE TOTAL
1	Cuneta (Tramo equivalente de 10 m)	3729	Limpieza de cunetas laterales, desazolve y retiro de vegetación.	38.96%	Reparación de fisuras, recuperación de sección hidráulica y corrección de socavación localizada.	61.04%	100.00%
2	Alcantarilla	21	Limpieza y desobstrucción de entradas, conductos y salidas.	35.71%	Reparación o rehabilitación de pasos de agua por deterioro o pérdida de funcionalidad.	64.29%	100.00%
3	Rejilla	19	Limpieza de rejillas y verificación de captación superficial.	30.00%	Reposición, reparación, nivelación o aseguramiento de rejillas deterioradas o ausentes.	70.00%	100.00%
4	Caja de descarga	66	Limpieza, extracción de sedimentos y desobstrucción de entradas y salidas.	35.45%	Reparación de daños estructurales, tapas, paredes, solera o conexiones.	64.55%	100.00%
5	Rampa de Acceso	382	Limpieza, desobstrucción y verificación del paso hidráulico.	47.68%	Reconstrucción total o parcial, adecuación geométrica o ampliación del paso hidráulico.	52.32%	100.00%
CANTIDAD TOTAL DE ELEMENTOS DE DRENAJE		4217					

Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección

Los resultados muestran que las rejillas presentan el mayor porcentaje de mantenimiento, con 70,00 %. Este valor evidencia que una parte importante de estos elementos requiere acciones superiores a la limpieza rutinaria, como reposición, reparación, nivelación o aseguramiento. Aunque las rejillas

representan una cantidad menor dentro del inventario general, su deterioro puede afectar directamente la captación superficial del agua y generar empozamientos o riesgos para los usuarios.

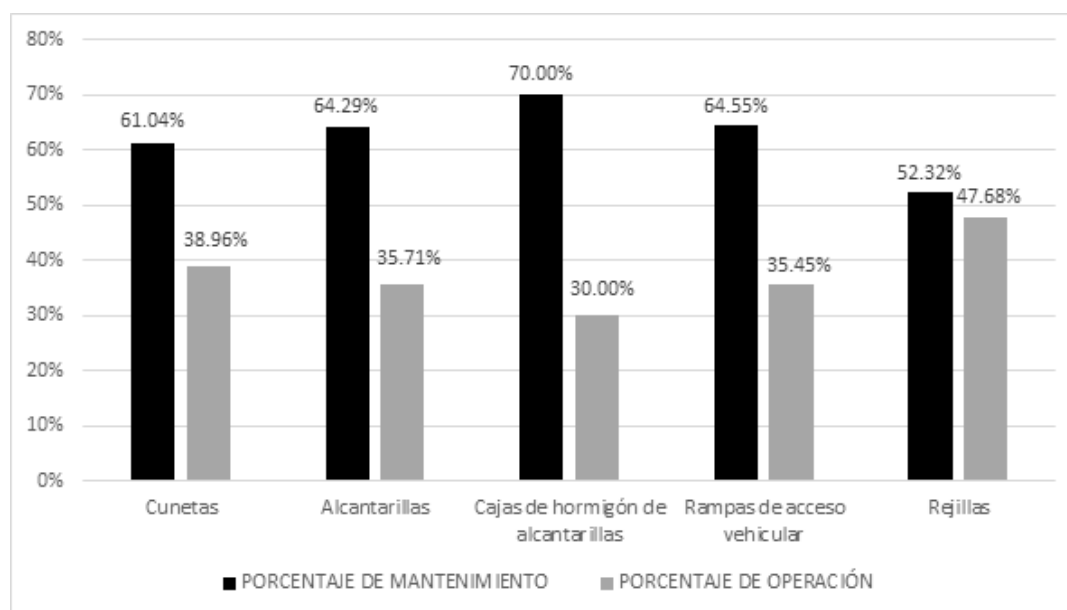
Las alcantarillas y cajas de descarga también presentan porcentajes elevados de mantenimiento, con 64,29 % y 64,55 %, respectivamente. Esta condición resulta relevante porque ambos elementos cumplen funciones puntuales dentro del sistema: las alcantarillas permiten el cruce del agua bajo la vía y las cajas de descarga reciben o conducen el caudal hacia puntos definidos. Cuando estos componentes se encuentran obstruidos, colmatados o deteriorados, pueden generar represamientos, pérdida de descarga, erosión o afectación en la plataforma vial.

Las cunetas registran un porcentaje de mantenimiento de 61,04 % y un porcentaje de operación de 38,96 %. Dado que constituyen el elemento más numeroso del inventario, su condición tiene una incidencia directa en la funcionalidad general del sistema de drenaje pluvial. La presencia de sedimentos, vegetación, fisuras o pérdida de sección en cunetas puede afectar la conducción longitudinal del agua y trasladar problemas hacia alcantarillas, cajas de descarga o puntos bajos de la vía.

Las rampas de acceso presentan una relación más equilibrada entre mantenimiento y operación, con 52,32 % y 47,68 %, respectivamente. Sin embargo, no deben considerarse elementos secundarios, ya que pueden interrumpir la continuidad hidráulica de las cunetas cuando no cuentan con un paso adecuado para el agua. Por ello, su tratamiento dentro del plan debe incluir limpieza, desobstrucción, adecuación geométrica o reconstrucción parcial, según el grado de afectación observado.

En conjunto, el análisis por tipo de elemento confirma que la propuesta de operación y mantenimiento debe diferenciar actividades según la función y condición de cada componente. No resulta técnicamente adecuado plantear una sola actividad general de limpieza para todo el sistema, porque los requerimientos de una cuneta colmatada, una rejilla deteriorada, una alcantarilla obstruida, una caja de descarga con sedimentos o una rampa que interrumpa el flujo son distintos. Esta lectura permite conectar el diagnóstico de campo con los procedimientos específicos que se desarrollan en la propuesta.

Ilustración 12 Porcentajes ponderados de operación y mantenimiento por tipo de elemento de drenaje



Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección

4.2.6 Discusión técnica de los resultados del diagnóstico

El análisis consolidado muestra que las vías priorizadas evaluadas en Cotopaxi contienen 4.217 elementos o tramos equivalentes de drenaje. La mayor cantidad corresponde a cunetas, condición coherente con el predominio del drenaje longitudinal en vías rurales e intercantonales. Su función como primer receptor de escorrentía explica que concentren una parte importante de la demanda de intervención, principalmente por sedimentos, vegetación, obstrucciones y pérdida de continuidad hidráulica.

Desde el punto de vista técnico, estos resultados confirman que el drenaje vial no puede analizarse como un componente aislado de la infraestructura. La acumulación de agua, sedimentos y residuos en los elementos de drenaje puede reducir la capacidad de conducción, favorecer reboses hacia la calzada y acelerar el deterioro de la estructura vial. Esta relación coincide con estudios que vinculan el estado del pavimento con la funcionalidad de los elementos de drenaje, especialmente cuando existe presencia prolongada de agua o deficiente evacuación superficial [3], [19].

En la mayoría de las vías evaluadas, los requerimientos de mantenimiento son mayores que los de operación. Esto muestra que el sistema de drenaje no demanda únicamente limpieza rutinaria, sino también intervenciones más específicas, como reparación localizada, recuperación de secciones hidráulicas,

corrección de fisuras, control de socavación y adecuación de elementos que interrumpen el flujo. En este sentido, las actividades de mantenimiento preventivo y conservación rutinaria resultan necesarias para preservar la capacidad de evacuación del agua y evitar daños prematuros en la plataforma vial [7], [8].

Según el tipo de elemento, las rejillas, alcantarillas y cajas de descarga presentan una mayor proporción de mantenimiento, debido a que la obstrucción prolongada afecta directamente su funcionalidad. Una rejilla deteriorada o colmatada reduce la captación superficial; una alcantarilla obstruida impide el cruce del agua bajo la vía; y una caja de descarga llena de sedimentos disminuye la continuidad del sistema. Aunque estos elementos tienen menor cantidad dentro del inventario, su falla puede generar afectaciones puntuales importantes, como empozamientos, represamientos, erosión o pérdida de descarga.

Las rampas de acceso, por su parte, muestran una condición más equilibrada entre operación y mantenimiento; sin embargo, requieren control frecuente, ya que pueden interrumpir la continuidad de las cunetas y generar acumulación de agua o sedimentos. Esta situación es relevante en vías intercantonales donde existen accesos a predios, viviendas o actividades productivas, debido a que una rampa sin paso hidráulico adecuado puede modificar el funcionamiento del drenaje longitudinal y trasladar el problema hacia la calzada.

Aunque las cunetas representan el mayor número de elementos inventariados, la priorización de intervenciones no debe definirse únicamente por cantidad. Los elementos puntuales, como alcantarillas, rejillas, cajas de descarga o rampas de acceso, pueden requerir atención más urgente cuando se ubican en puntos bajos, cruces de agua, zonas de descarga o sectores donde se concentra la escorrentía. Por ello, la matriz de criticidad permite ponderar no solo el número de elementos, sino también su condición, función hidráulica y nivel de afectación.

Los resultados obtenidos también guardan relación con antecedentes recientes sobre mantenimiento vial rural en Cotopaxi, donde se ha señalado que las deficiencias en los sistemas de drenaje y la falta de mantenimiento preventivo contribuyen al deterioro progresivo de la infraestructura vial y afectan la seguridad y conectividad territorial [11]. Esto refuerza la necesidad de que las actividades de operación y mantenimiento no se ejecuten únicamente como respuesta a emergencias, sino como parte de una planificación preventiva y verificable.

En consecuencia, el diagnóstico realizado permite establecer una relación directa entre los daños observados y las actividades que deben incorporarse en el plan propuesto. Las condiciones leves se vinculan con operación y limpieza rutinaria; las obstrucciones parciales, fisuras menores o pérdida moderada de sección se relacionan con mantenimiento preventivo; y las condiciones severas, como

socavación, colapso, taponamiento total o pérdida de funcionalidad, requieren mantenimiento correctivo programado.

Por tanto, los resultados confirman que el mantenimiento reactivo resulta insuficiente cuando existen sedimentos, vegetación, fisuras y discontinuidades que limitan la conducción del agua. La propuesta debe orientarse a transformar el inventario y la matriz de criticidad en procedimientos específicos por tipo de elemento, de manera que las actividades recomendadas respondan a las condiciones reales observadas en campo y no a una recomendación general de limpieza.

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1 Definición de los procedimientos estandarizados de operación, limpieza y mantenimiento preventivo para cada tipo de drenaje

La propuesta consiste en un plan integral de operación, limpieza y mantenimiento preventivo de los sistemas de drenaje pluvial en la red vial intercantonal priorizada de la provincia de Cotopaxi.

La propuesta se formula a partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico de campo, la clasificación de condición de los elementos evaluados y los porcentajes ponderados de operación y mantenimiento. Por esta razón, no se plantea como una guía general de limpieza vial, sino como un conjunto de procedimientos técnicos vinculados con los daños observados en cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular.

Los resultados evidenciaron que los requerimientos de mantenimiento superan a los de operación en todos los tramos evaluados, lo que justifica la necesidad de establecer actividades diferenciadas según el tipo de elemento y su nivel de afectación.

En este sentido, la propuesta integra acciones de operación rutinaria, limpieza, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo programado, con el propósito de conservar o recuperar la funcionalidad hidráulica del sistema de drenaje pluvial vial.

La relación metodológica que sustenta la propuesta puede resumirse de la siguiente manera: diagnóstico de campo → inventario técnico → clasificación de condición → matriz de criticidad → priorización de intervenciones → definición de procedimientos de operación y mantenimiento. Esta secuencia permite evidenciar la trazabilidad entre los datos levantados en sitio y las actividades recomendadas en el plan.

Para efectos de esta investigación, el plan integral no se entiende únicamente como un conjunto de actividades de limpieza o mantenimiento, sino como una herramienta técnica de gestión que articula el inventario, la evaluación de condición, la matriz de criticidad, la priorización de intervenciones, los procedimientos por tipo de drenaje, los recursos requeridos, el seguimiento técnico y la verificación posterior de los trabajos ejecutados.

En ese sentido, el carácter integral del plan se sustenta en que cada actividad propuesta deriva de una condición observada en campo y se vincula con un tipo de elemento específico: cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga o rampas

de acceso vehicular. De esta manera, la propuesta permite pasar del diagnóstico técnico a una programación ordenada de intervenciones, evitando que el mantenimiento se limite a acciones reactivas o a una limpieza general sin criterios de priorización.

5.2 Descripción

La propuesta consiste en un manual técnico para programar, ejecutar y verificar actividades de operación y mantenimiento preventivo en cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso. El plan se construye a partir del diagnóstico de campo y de la matriz de criticidad, por lo que permite priorizar intervenciones de acuerdo con la condición real del drenaje.

El propósito principal de la propuesta es conservar o recuperar la funcionalidad hidráulica de los sistemas de drenaje pluvial vial, mediante actividades diferenciadas según el tipo de elemento y el nivel de afectación identificado. En este sentido, las acciones planteadas no responden a una programación general de limpieza, sino a los daños predominantes registrados en campo, tales como sedimentación, obstrucción, presencia de vegetación, fisuras, socavación, deterioro de rejillas, colmatación de cajas y afectación del paso hidráulico en rampas de acceso.

El plan propuesto no reemplaza los diseños hidráulicos que puedan requerirse en procesos de rehabilitación o construcción. Su finalidad es más concreta: conservar la funcionalidad de los elementos existentes, reducir la probabilidad de fallas operativas y generar una base técnica verificable que facilite el seguimiento institucional de las actividades de mantenimiento.

De esta manera, la propuesta se orienta a fortalecer la gestión preventiva de los drenajes viales. Para ello, establece actividades, frecuencias, personal requerido, materiales, equipos, unidades de medida, criterios de verificación y formas de control técnico. Estos componentes permiten que la entidad responsable del mantenimiento cuente con una guía práctica para programar intervenciones, comprobar su ejecución y actualizar la información de campo luego de cada actividad realizada.

5.3 Desarrollo de la propuesta

El desarrollo de la propuesta se estructura como un plan integral de operación y mantenimiento preventivo, debido a que articula varias etapas relacionadas entre sí: inventario técnico, evaluación de condición, priorización de intervenciones, programación de actividades, ejecución de procedimientos específicos, verificación posterior y actualización de la información. Esta organización

permite que el mantenimiento de los sistemas de drenaje pluvial vial no dependa únicamente de reportes emergentes o acciones aisladas de limpieza, sino de una secuencia técnica sustentada en el diagnóstico de campo y en la matriz de criticidad.

El carácter integral del plan se fundamenta en la relación directa entre los resultados obtenidos en el diagnóstico y las actividades propuestas para cada tipo de elemento. En este sentido, las acciones de operación, limpieza, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado se definen según la condición observada en cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso vehicular. De esta manera, la propuesta permite pasar del registro de daños a una programación ordenada de intervenciones, manteniendo trazabilidad entre la información levantada en campo, la clasificación de criticidad y los procedimientos recomendados.

Las fases propuestas buscan que el mantenimiento se ejecute como parte de un proceso técnico planificado. Para ello, primero se actualiza el inventario de los elementos de drenaje; luego se evalúa su condición y nivel de criticidad; posteriormente se priorizan las intervenciones según el grado de afectación; después se programan y ejecutan las actividades correspondientes; y finalmente se verifica si la intervención permitió conservar o recuperar la funcionalidad hidráulica del sistema. Esta secuencia facilita el seguimiento institucional y permite actualizar la matriz de información después de cada intervención.

Tabla 12 Fases para la aplicación del plan integral.

Fase	Componente	Actividad principal	Producto esperado
Fase 1	Inventario técnico	Registrar y actualizar los elementos de drenaje por vía, tipo, ubicación, condición y fotografía.	Inventario actualizado de drenajes.
Fase 2	Evaluación de criticidad	Clasificar cada elemento según su estado físico, funcionalidad, obstrucción, sedimentación, fisuras, socavación o pérdida de funcionalidad.	Matriz de criticidad aplicada.
Fase 3	Priorización y programación	Definir el orden de intervención, actividades, recursos, cuadrillas, equipos y materiales requeridos.	Cronograma de operación y mantenimiento.
Fase 4	Ejecución de actividades	Aplicar los procedimientos técnicos de operación, limpieza, mantenimiento preventivo o correctivo programado según el tipo de drenaje.	Intervenciones ejecutadas en campo.
Fase 5	Seguimiento y control	Verificar el funcionamiento del drenaje, registrar fotografías antes y después, y	Informe de conformidad y

		actualizar la matriz de seguimiento.	matriz actualizada.
--	--	--------------------------------------	---------------------

Fuente: Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo y la matriz de criticidad.

La Fase 1 permite mantener actualizado el inventario técnico de los sistemas de drenaje pluvial, evitando que la planificación se base en información incompleta o desactualizada.

La Fase 2 relaciona la condición observada con el nivel de criticidad, lo cual facilita distinguir entre actividades de operación, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado.

La Fase 3 transforma los resultados del diagnóstico en actividades ejecutables, permitiendo definir prioridades de intervención, recursos, cuadrillas, equipos y materiales necesarios.

La Fase 4 corresponde a la ejecución de las actividades técnicas de operación, limpieza y mantenimiento, de acuerdo con el tipo de drenaje y el nivel de afectación identificado.

La Fase 5 permite verificar la eficacia de la intervención realizada, actualizar la matriz de seguimiento y conservar evidencia técnica para futuras decisiones institucionales.

La tabla anterior resume la estructura del plan integral propuesto. Cada fase cumple una función dentro del proceso de mantenimiento: primero se identifica el elemento, luego se evalúa su condición, después se prioriza la intervención, posteriormente se ejecuta la actividad correspondiente y finalmente se verifica el resultado obtenido. Esta secuencia permite mantener trazabilidad entre el diagnóstico de campo, la matriz de criticidad y las actividades de operación y mantenimiento preventivo.

5.4 Criterios generales del manual de operación y mantenimiento

Antes de desarrollar los procedimientos específicos por elemento, se presenta una matriz general que resume los criterios principales de operación y mantenimiento aplicables a cada componente del sistema de drenaje pluvial vial. Esta matriz permite relacionar el tipo de elemento con su función hidráulica, la actividad requerida, la frecuencia de intervención y el criterio básico de verificación.

Tabla 13 Manual integral de operación y mantenimiento por tipo de elemento.

Elemento	Objetivo técnico	Actividad de operación	Actividad de mantenimiento	Frecuencia recomendada	Unidad de medida	Criterio básico de verificación
Cuneta	Conservar la sección hidráulica de la cuneta para que el agua de escorrentía se conduzca sin reboses hacia la calzada, taludes o accesos particulares.	Limpieza, desazolve, retiro de vegetación y reperfilado menor.	Sellado de fisuras, recuperación de sección, reparación de bordes y corrección de socavación localizada.	Bimestral como frecuencia preventiva. En época lluviosa, control mensual en puntos críticos y atención posterior a lluvias intensas.	Metro lineal de cuneta limpiada o tramo equivalente de 10 m.	Cuneta libre de obstrucciones, sección continua, flujo dirigido hacia el punto de descarga y evidencia fotográfica.
Alcantarilla	Garantizar el cruce controlado del caudal bajo la vía y proteger la calzada, terraplén y taludes contra represamientos, socavación y erosión.	Limpieza, desazolve y desobstrucción de entrada, conducto y salida.	Reparación de tubería, cabezales, aletas, juntas, rellenos laterales y protección de descarga.	Bimestral como mantenimiento preventivo; revisión antes y después de la época lluviosa. En alcantarillas críticas, control mensual.	Unidad de alcantarilla limpiada o paso de agua intervenido.	Entrada, conducto y salida libres de obstrucción, descarga sin remanso y estabilidad visible en zonas de salida.
Rejilla	Mantener la captación de aguas superficiales y reducir empozamientos, deterioro del pavimento o riesgos para los usuarios.	Limpieza superficial, retiro de residuos y verificación de captación.	Reposición, reparación, nivelación, anclaje o aseguramiento de rejillas deterioradas o ausentes.	Quincenal en época lluviosa y mensual en época seca; revisión adicional después de lluvias intensas.	Unidad de rejilla limpiada o reparada.	Aberturas libres, rejilla estable, marco nivelado y captación funcional del agua superficial.
Caja de descarga	Asegurar la recepción y evacuación del caudal proveniente de cunetas, rejillas o alcantarillas, evitando taponamientos y daños por presión hidráulica.	Limpieza, extracción de sedimentos, retiro de basura y desobstrucción de entradas y salidas.	Reparación de paredes, tapa, bordes, solera, conexiones o elementos deteriorados.	Trimestral como frecuencia preventiva; control bimestral en época lluviosa o zonas con arrastre de material.	Unidad de caja de descarga limpiada o intervenida.	Caja libre de sedimentos, entradas y salidas despejadas, tapa estable y flujo verificado.
Rampa de acceso	Mantener el acceso	Limpieza, desobstrucción	Adecuación geométrica,	Trimestral en condiciones	Unidad de rampa	Paso hidráulico

	vehicular sin interrumpir el escurrimiento de la cuneta, reduciendo reboses hacia la calzada y acumulación de sedimentos.	y verificación del paso hidráulico bajo la rampa.	ampliación del paso hidráulico o reconstrucción parcial cuando interrumpa el flujo.	normales; mensual en accesos críticos y atención posterior a lluvias intensas.	intervenida.	libre, flujo continuo, ausencia de rebose hacia la calzada y superficie segura para el acceso.
--	---	---	---	--	--------------	--

Fuente: Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo y la matriz de criticidad.

Esta matriz resume la relación entre el diagnóstico y la propuesta. Los elementos con afectaciones leves se orientan principalmente a actividades de operación, mientras que los elementos con fisuras, socavación, deterioro, obstrucción severa o pérdida de funcionalidad requieren mantenimiento preventivo o correctivo programado. Por ello, las actividades específicas que se presentan a continuación se desarrollan de manera diferenciada para cada tipo de drenaje.

5.4.1 Cuneta

La aplicación de este procedimiento permite atender las principales condiciones identificadas en las cunetas durante el diagnóstico. Cuando la afectación es leve, la actividad se orienta a operación y limpieza; mientras que, en presencia de fisuras, socavación o pérdida de sección hidráulica, se requiere mantenimiento preventivo o correctivo programado. De esta manera, la intervención propuesta mantiene relación directa con la condición observada en campo y con el nivel de criticidad asignado.

Tabla 14 Plan de Mantenimiento y Operación para Cuneta (Tramo equivalente de 10 m)

<i>Plan de Mantenimiento y Operación para Cuneta (Tramo equivalente de 10 m)</i>		
	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN
ELEMENTO:	Cuneta lateral de drenaje longitudinal.	Cuneta lateral de drenaje longitudinal.
ACTIVIDAD:	Sellado de fisuras, reposición de bordes, corrección de socavación y recuperación de sección hidráulica.	Limpieza, desazolve, retiro de vegetación y reperfilado menor de cunetas.
DESCRIPCIÓN:	Comprende el sellado o reconstrucción localizada de fisuras, bordes y zonas socavadas, con el fin de recuperar la capacidad hidráulica y evitar que el deterioro avance hacia la calzada.	Retiro periódico de sedimentos, basura y vegetación acumulada en la cuneta, manteniendo el escurrimiento superficial sin alterar la pendiente existente.
OBJETIVO Y ALCANCE:	Conservar la sección hidráulica de la cuneta para que el agua de escorrentía se conduzca sin reboses hacia la calzada, taludes o accesos particulares.	Mantener libre la sección de la cuneta para permitir el paso continuo del agua y reducir empozamientos, arrastre de material y deterioro de la vía.
DAÑO / CONDICIÓN QUE ATIENDE:	Sedimentos, basura, crecimiento de vegetación, fisuras, agrietamientos, pérdida de sección, socavación localizada u obstrucción del flujo.	Sedimentos, basura, crecimiento de vegetación, pérdida de sección, socavación localizada u obstrucción del flujo.
CRITERIO TÉCNICO DE INTERVENCIÓN:	Intervenir cuando se evidencie reducción de la sección útil, agua retenida, reboses hacia la vía, fisuras abiertas o material acumulado que impida la descarga hacia alcantarillas o cajas.	Intervenir cuando se evidencie reducción de la sección útil, agua retenida, reboses hacia la vía o acumulación de material que afecte la conducción del flujo.
FRECUENCIA:	Revisión técnica semestral. Ejecutar intervención correctiva cuando existan fisuras, desprendimientos, pérdida de sección, socavación visible o deterioro posterior a lluvias intensas.	Bimestral como frecuencia preventiva. En época lluviosa, realizar control mensual en puntos críticos y atención inmediata después de lluvias intensas o arrastre de material.
TIEMPO ESTIMADO:	De 4 a 8 horas para fisuras o reparaciones menores en un tramo de 10 m. Para reconstrucción parcial, considerar de 1 a 2 días de trabajo y de 24 a 48 horas adicionales de curado antes de exponer la zona a carga directa.	De 2 a 3 horas por tramo equivalente de 10 m con cuadrilla básica. Puede ampliarse de 4 a 6 horas cuando exista vegetación densa, material saturado o necesidad de cargado y transporte.

<i>Plan de Mantenimiento y Operación para Cuneta (Tramo equivalente de 10 m)</i>		
	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN
PROCEDIMIENTO:	1. Levantar ficha del daño, indicando ubicación, longitud y registro fotográfico. 2. Señalizar el área y retirar el material contaminado. 3. Limpiar la superficie de contacto y preparar los bordes. 4. Sellar fisuras o reconstruir la sección con mortero u hormigón. 5. Compactar los rellenos laterales y controlar la alineación y pendiente. 6. Curar el material y realizar la revisión final.	1. Señalizar el frente de trabajo y verificar las condiciones de tránsito. 2. Recorrer el tramo, ubicar puntos de taponamiento y definir el sentido natural del flujo. 3. Retirar sedimentos, basura, maleza y piedras con herramientas manuales. 4. Reconformar el fondo sin alterar la pendiente longitudinal existente. 5. Cargar y transportar el material retirado a un sitio autorizado. 6. Comprobar el escurrimiento y registrar fotografías antes y después.
MANO DE OBRA:	1 técnico supervisor. 1 maestro mayor o albañil calificado. 2 peones. 1 operador de maquinaria si existe demolición o retiro de material pesado.	1 técnico supervisor o inspector. 2 peones de mantenimiento vial. 1 operador de retroexcavadora o minicargadora cuando el volumen de material lo justifique. 1 chofer de volqueta si hay desalojo.
MATERIALES:	Mortero cemento-arena, hormigón simple, sellador hidráulico, agua, material granular seleccionado, aditivo impermeabilizante, si corresponde, y señalización temporal.	Fundas o sacos para residuos, agua para limpieza puntual, combustible para equipo menor, conos, cinta de seguridad y señalización temporal.
EQUIPO Y HERRAMIENTAS:	Pala, badilejo, balde, cepillo de alambre, nivel, flexómetro, compactador manual, carretilla, mezcladora de concreto, cortadora y EPP.	Palas, azadones, picos, machete, desbrozadora, rastrillo, carretilla, conos, cinta de seguridad, EPP y, cuando corresponda, retroexcavadora y volqueta.
UNIDAD DE MEDIDA:	Metro lineal de fisura reparada, metro lineal de cuneta reconstruida o tramo equivalente de 10 m.	Metro lineal de cuneta limpiada o tramo equivalente de 10 m.
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN:	Revisar acabado, adherencia, sección útil, pendiente y continuidad hidráulica. La aprobación debe respaldarse con medición y registro fotográfico.	Verificar que la cuneta quede continua, libre de material suelto y con descarga hacia la estructura siguiente.
INDICADORES DE CONTROL:	Fisuras selladas, sección recuperada, borde estable, ausencia de filtraciones visibles y longitud ejecutada conforme a ficha.	Cuneta libre de obstrucciones, flujo continuo, ausencia de reboses, material retirado y registro fotográfico completo.
SEGURIDAD, AMBIENTE Y REGISTROS:	Trabajar con chaleco reflectivo, guantes, botas y señalización preventiva. No depositar sedimentos en cauces naturales ni en la berma; los residuos deben retirarse el mismo día.	Trabajar con chaleco reflectivo, guantes, botas y señalización preventiva. No depositar sedimentos en cauces naturales ni en la berma; los residuos deben retirarse el mismo día.
FORMA DE PAGO:	Por metro lineal o tramo de 10 m realmente ejecutado, verificado en campo y respaldado con informe técnico.	Por metro lineal o tramo de 10 m realmente ejecutado, verificado en campo y respaldado con informe técnico.

Fuente: Elaboración propia a partir del manual de operación y mantenimiento.

5.4.2 Alcantarilla

La aplicación de este procedimiento permite diferenciar las alcantarillas que requieren únicamente operación y limpieza de aquellas que demandan mantenimiento por deterioro físico o pérdida de capacidad hidráulica. Cuando la afectación corresponde a sedimentos u obstrucciones menores, la intervención puede programarse como operación; en cambio, cuando existen daños en muros, juntas, rellenos laterales, salida socavada o pérdida importante de funcionalidad, la actividad debe priorizarse como mantenimiento preventivo o correctivo programado.

Tabla 15 Plan de Mantenimiento y Operación para Alcantarilla

<i>Plan de Mantenimiento y Operación para Alcantarilla</i>		
	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN
ELEMENTO:	Alcantarilla o paso de agua de drenaje transversal.	Alcantarilla o paso de agua de drenaje transversal.
ACTIVIDAD:	Reparación de alcantarilla, muros, juntas, rellenos laterales y protección de entrada o salida.	Limpieza, desazolve y retiro de obstrucciones en alcantarillas.
DESCRIPCIÓN:	Intervención correctiva en tubería, cajón, juntas, muros de cabezal, aletas o protecciones de descarga, cuando el daño compromete la estabilidad o funcionalidad del drenaje transversal.	Limpieza programada o emergente de la entrada, conducto y salida de la alcantarilla, con el fin de restablecer el paso del agua sin generar remansos.
OBJETIVO Y ALCANCE:	Garantizar el cruce controlado del caudal bajo la vía y proteger la calzada, terraplenes y taludes frente a represamientos, socavación y erosión.	Garantizar el cruce controlado del caudal bajo la vía y proteger la calzada, terraplenes y taludes frente a represamientos, socavación y erosión.
DAÑO / CONDICIÓN QUE ATIENDE:	Azolvamiento, ingreso de ramas y piedras, obstrucción de entrada o salida, fisuras, juntas abiertas, muros de cabezal deteriorados y socavación en descarga.	Azolvamiento, ingreso de ramas y piedras, obstrucción de entrada o salida, fisuras, juntas abiertas, muros de cabezal deteriorados y socavación en descarga.
CRITERIO TÉCNICO DE INTERVENCIÓN:	Intervenir cuando la sección de entrada o salida esté reducida, exista remanso, flujo lento, erosión en muros o taludes, daño estructural o riesgo de afectación a la plataforma vial.	Intervenir cuando la sección de entrada o salida esté reducida, exista remanso, flujo lento, material acumulado o riesgo de afectación a la plataforma vial.
FRECUENCIA:	Inspección estructural trimestral y revisión detallada semestral. Ejecutar reparación inmediata cuando se evidencie colapso, erosión progresiva, desplazamiento de tubería, pérdida de apoyo o riesgo para la circulación.	Bimestral como mantenimiento preventivo. Realizar revisión antes de la época lluviosa y después de eventos intensos. En alcantarillas críticas, efectuar control mensual.
TIEMPO ESTIMADO:	De 1 a 3 días por unidad en reparación de muros, juntas o rellenos. Si se requiere reemplazo de tubería o estabilización de descarga, considerar hasta una semana, incluyendo curado y reposición de material.	De 2 a 4 horas por unidad en limpieza ordinaria. Si el taponamiento es total o requiere hidrolavadora, motobomba, retroexcavadora o volqueta, estimar de 4 a 8 horas por unidad.

<i>Plan de Mantenimiento y Operación para Alcantarilla</i>		
	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN
PROCEDIMIENTO:	1. Realizar inspección técnica, croquis y registro del daño. 2. Desviar temporalmente el flujo, si corresponde. 3. Retirar escombros, material inestable y elementos deteriorados. 4. Reparar juntas, muros de cabezal, aletas, solera o protección de descarga. 5. Reponer rellenos con compactación por capas. 6. Verificar alineación, sección hidráulica, estabilidad y funcionamiento.	1. Señalizar el sitio y revisar condiciones de seguridad. 2. Inspeccionar boca de entrada, conducto y descarga. 3. Retirar ramas, piedras, lodo y basura con barras, palas o ganchos. 4. Usar agua a presión o motobomba si el conducto se mantiene obstruido. 5. Limpiar cauces de entrada y salida sin modificar su alineación natural. 6. Desalojar residuos a un sitio autorizado y verificar el flujo.
MANO DE OBRA:	1 técnico supervisor. 1 maestro mayor. 2 albañiles. 2 peones. 1 operador de retroexcavadora y 1 chofer de volqueta, si el frente lo requiere.	1 técnico supervisor. 2 peones. 1 operador de retroexcavadora si el volumen de material lo requiere. 1 chofer de volqueta cuando exista desalojo.
MATERIALES:	Tubería o elemento prefabricado, hormigón, cemento, arena, piedra, acero de refuerzo, material granular, encofrado, geotextil o enrocado, según el diagnóstico técnico.	Fundas o sacos para residuos, agua para lavado, combustible para equipo menor y señalización temporal.
EQUIPO Y HERRAMIENTAS:	Retroexcavadora, mezcladora de concreto, compactador, cortadora, palas, picos, nivel, flexómetro, carretillas, vibrador y EPP.	Palas, picos, barras metálicas, ganchos, manguera, hidrolavadora o motobomba, carretilla, retroexcavadora, volqueta y EPP.
UNIDAD DE MEDIDA:	Unidad de alcantarilla reparada o componente intervenido.	Unidad de alcantarilla limpiada o paso hidráulico intervenido.
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN:	Realizar inspección posterior con medición de dimensiones, control visual de compactación, prueba de flujo y registro fotográfico de entrada, conducto y salida.	Verificar que la entrada, el conducto y la salida queden libres de obstrucciones, y que el caudal descargue sin remansos ni erosión activa.
INDICADORES DE CONTROL:	Capacidad de descarga recuperada, muros de cabezal estables, relleno sin asentamientos, protección de descarga funcional y flujo sin retorno.	Boca de entrada libre, tubería sin taponamientos, descarga estable, ausencia de represamientos y fotografías de control.
SEGURIDAD, AMBIENTE Y REGISTROS:	No ingresar a espacios confinados sin evaluación previa, ventilación y autorización. Proteger excavaciones y evitar trabajos durante crecidas o tormentas.	No ingresar a espacios confinados sin evaluación previa, ventilación y autorización. Proteger excavaciones y evitar trabajos durante crecidas o tormentas.
FORMA DE PAGO:	Por unidad ejecutada y aprobada, con cantidades medidas, ficha técnica, evidencia fotográfica y conformidad del supervisor.	Por unidad ejecutada y aprobada, con cantidades medidas, ficha técnica, evidencia fotográfica y conformidad del supervisor.

Fuente: Elaboración propia a partir del manual de operación y mantenimiento.

5.4.3 Rejilla

La aplicación de este procedimiento permite atender las condiciones identificadas en las rejillas durante el diagnóstico. Cuando el problema corresponde a acumulación de residuos o sedimentos, la actividad se orienta a operación y limpieza. En cambio, cuando existe deterioro físico, ausencia, desnivel, falta de anclaje o riesgo para los usuarios, la intervención debe considerarse como mantenimiento preventivo o correctivo programado. Esta diferenciación permite conservar la captación superficial del agua y reducir la posibilidad de empozamientos en la vía.

Tabla 16 Plan de Mantenimiento y Operación para Rejilla

<i>Plan de Mantenimiento y Operación para Rejilla</i>		
	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN
ELEMENTO:	Rejilla de captación superficial.	Rejilla de captación superficial.
ACTIVIDAD:	Reposición, reparación, nivelación, anclaje y aseguramiento de rejillas deterioradas o ausentes.	Limpieza y revisión funcional de rejillas.
DESCRIPCIÓN:	Reposición o reparación de rejillas dañadas, sustraídas, hundidas o sin anclaje, incluyendo la corrección del marco de apoyo cuando sea necesario.	Retiro de residuos retenidos sobre la rejilla y en la caja inmediata, con revisión del asiento y de la capacidad de captación superficial.
OBJETIVO Y ALCANCE:	Mantener la captación adecuada de aguas superficiales y reducir acumulaciones de agua, riesgos de accidentes y deterioro vial.	Mantener la captación adecuada de aguas superficiales y reducir acumulaciones de agua, riesgos de accidentes y deterioro vial.
DAÑO / CONDICIÓN QUE ATIENDE:	Acumulación de hojas, basura, lodo, sedimentos, rejillas inhabilitadas, deformadas, corroídas, flojas, sin anclaje o sustraídas.	Acumulación de hojas, basura, lodo, sedimentos, rejillas inhabilitadas, deformadas, corroídas, flojas, sin anclaje o sustraídas.
CRITERIO TÉCNICO DE INTERVENCIÓN:	Intervenir cuando las aberturas estén taponadas, exista agua retenida, la rejilla vibre con el tránsito, presente bordes peligrosos o falte la cubierta de protección.	Intervenir cuando las aberturas se encuentren obstruidas por hojas, basura, lodo, piedras o sedimentos que limiten la captación superficial.
FRECUENCIA:	Atención inmediata cuando exista robo, fractura, hundimiento o riesgo para el usuario. Revisión trimestral de anclajes, corrosión, asiento y nivelación.	Quincenal en época lluviosa y mensual en época seca. Realizar revisión adicional después de lluvias intensas, arrastre de material o limpieza de cunetas conectadas.
TIEMPO ESTIMADO:	De 2 a 4 horas para reemplazo simple de una rejilla. Si se repara la base de hormigón, considerar 1 día de trabajo y de 24 a 48 horas de curado antes de habilitar completamente el tránsito.	De 20 a 45 minutos por rejilla en limpieza superficial. Considerar de 1 a 1,5 horas por unidad cuando se limpie la caja inmediata o se requiera lavado a presión.

<i>Plan de Mantenimiento y Operación para Rejilla</i>		
	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN
PROCEDIMIENTO:	1. Delimitar el área y colocar señalización preventiva. 2. Retirar la rejilla dañada y limpiar el marco o base. 3. Revisar nivel, apoyo y dimensiones de la abertura. 4. Reparar la base con mortero u hormigón, si está fracturada. 5. Colocar la nueva rejilla, anclarla o soldarla según diseño. 6. Verificar estabilidad, nivelación y seguridad para el tránsito.	1. Señalizar la zona y controlar el paso peatonal o vehicular. 2. Retirar residuos sobre la rejilla con ganchos, palas pequeñas o escobas. 3. Levantar la rejilla solo si es desmontable y seguro hacerlo. 4. Extraer lodo o material acumulado en la caja inmediata. 5. Lavar con agua a presión si existe adherencia de sedimento. 6. Reinstalar, fijar y comprobar el ingreso del agua.
MANO DE OBRA:	1 técnico supervisor. 1 maestro mayor. 1 soldador o cerrajero cuando la rejilla sea metálica. 2 albañiles o peones según el trabajo.	1 técnico supervisor. 2 peones.
MATERIALES:	Rejilla metálica, galvanizada, de fundición dúctil o prefabricada; pernos de anclaje; mortero u hormigón; pintura anticorrosiva; material de limpieza.	Fundas para residuos, agua para lavado, cal o desinfectante solo si corresponde, lubricante anticorrosivo para elementos desmontables y señalización temporal.
EQUIPO Y HERRAMIENTAS:	Motosoldadora, taladro, juego de llaves, martillo, cincel (cortafierro), espátulas, nivel, cepillo de acero, camioneta y EPP.	Ganchos de extracción, cepillos de acero, palas pequeñas, escobas, balde, hidrolavadora o bomba de agua, conos, cinta de seguridad, guantes y EPP.
UNIDAD DE MEDIDA:	Unidad de rejilla reemplazada, nivelada o reparada.	Unidad de rejilla limpiada.
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN:	Comprobación de asiento, nivel, anclaje, resistencia aparente, libre captación y ausencia de aristas peligrosas.	El técnico verifica aberturas libres, asentamiento estable, ausencia de bordes sueltos y capacidad de ingreso del agua hacia la caja o cuneta.
INDICADORES DE CONTROL:	Rejilla estable; anclajes colocados; base reparada; nivel compatible con calzada; riesgo visible eliminado.	Rejilla sin residuos; aberturas libres; caja inmediata sin lodo; elemento estable; fotografías antes y después.
SEGURIDAD, AMBIENTE Y REGISTROS:	No dejar aberturas descubiertas sin vigilancia. Controlar chispas de soldadura y usar guantes por posibles objetos cortantes o residuos contaminados.	No dejar aberturas descubiertas sin vigilancia. Controlar chispas de soldadura y usar guantes por posibles objetos cortantes o residuos contaminados.
FORMA DE PAGO:	Por unidad limpiada, reemplazada o reparada, aprobada en campo y respaldada con registro fotográfico.	Por unidad limpiada, reemplazada o reparada, aprobada en campo y respaldada con registro fotográfico.

Fuente: Elaboración propia a partir del manual de operación y mantenimiento.

5.4.4 Caja de descarga

La aplicación de este procedimiento permite diferenciar las cajas de descarga que requieren limpieza ordinaria de aquellas que necesitan mantenimiento por deterioro físico o pérdida de capacidad de evacuación. Cuando la afectación corresponde a acumulación de sedimentos, basura o material arrastrado, la intervención se orienta a operación y limpieza.

En cambio, cuando se evidencian fisuras, tapa deteriorada, solera afectada, conexiones obstruidas o pérdida de estabilidad, la actividad debe considerarse como mantenimiento preventivo o correctivo programado. Esta diferenciación permite conservar la continuidad hidráulica del sistema y reducir el riesgo de remansos o taponamientos.

Tabla 17 Plan de Mantenimiento y Operación para Caja de descarga

<i>Plan de Mantenimiento y Operación para Caja de descarga</i>		
	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN
ELEMENTO:	Caja de descarga o caja de inspección de drenaje.	Caja de descarga o caja de inspección de drenaje.
ACTIVIDAD:	Reparación estructural de caja de descarga, tapa, paredes, bordes, solera y conexiones.	Limpieza, extracción de sedimentos y desobstrucción de entradas y salidas de la caja de descarga.
DESCRIPCIÓN:	Reparación de paredes, bordes, tapa, solera o conexiones de la caja cuando se evidencien fisuras, desprendimientos o pérdida de estabilidad.	Extracción de sedimentos, basura y material arrastrado dentro de la caja, asegurando que las entradas y salidas descarguen sin reducción de sección.
OBJETIVO Y ALCANCE:	Asegurar la recepción, conducción y evacuación del caudal proveniente de cunetas, rejillas o alcantarillas, evitando taponamientos, represamientos y daños por presión hidráulica.	Asegurar la recepción, conducción y evacuación del caudal proveniente de cunetas, rejillas o alcantarillas, evitando taponamientos, represamientos y daños por presión hidráulica.
DAÑO / CONDICIÓN QUE ATIENDE:	Sedimentos, basura, piedras, paredes fisuradas, tapa dañada, solera erosionada, obstrucción de entrada o salida y pérdida de estabilidad.	Sedimentos, basura, piedras, paredes fisuradas, tapa dañada, solera erosionada, obstrucción de entrada o salida y pérdida de estabilidad.
CRITERIO TÉCNICO DE INTERVENCIÓN:	Intervenir cuando existan fisuras, desprendimientos, tapa inestable, solera erosionada, pérdida de estabilidad o daño en las conexiones.	Intervenir cuando exista acumulación de sedimentos, basura, piedras, material arrastrado por lluvia u obstrucción parcial de entradas y salidas.
FRECUENCIA:	Revisión de condición semestral. Ejecutar reparación correctiva inmediata cuando exista tapa inestable, fisuras activas, desprendimiento, pérdida de solera o riesgo para peatones y vehículos.	Trimestral como frecuencia preventiva. En época lluviosa o en zonas con arrastre de material, realizar control bimestral y revisión posterior a lluvias fuertes.
TIEMPO ESTIMADO:	De 1 a 2 días por caja para reparación de paredes, tapa o solera. Agregar de 24 a 72 horas de curado, según el material empleado y las condiciones de humedad.	De 1,5 a 3 horas por unidad en limpieza manual. Si se requiere succión, hidrolavadora o extracción de alto volumen, estimar de 4 a 6 horas por unidad.

<i>Plan de Mantenimiento y Operación para Caja de descarga</i>		
	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN
PROCEDIMIENTO:	1. Identificar el daño, dimensiones y conexiones afectadas. 2. Señalizar y aislar el área de trabajo. 3. Retirar tapa, escombros y material deteriorado. 4. Demoler únicamente la zona inestable y limpiar superficies. 5. Colocar refuerzo, encofrado y hormigón o mortero de reparación. 6. Curar, reinstalar tapa y verificar continuidad de flujo.	1. Señalizar el área y retirar la tapa o protección con seguridad. 2. Ventilar y revisar visualmente el interior, sin ingresar si no es necesario. 3. Retirar sedimentos, piedras, basura y material flotante. 4. Limpiar paredes, fondo, ingreso y salida. 5. Lavar si existe lodo adherido y controlar que no se generen obstrucciones aguas abajo. 6. Reinstalar la tapa, verificar el flujo y registrar evidencia.
MANO DE OBRA:	1 técnico supervisor. 1 maestro mayor. 2 albañiles o peones. 1 operador de maquinaria si hay demolición mayor.	1 técnico supervisor. 2 peones. 1 operador de retroexcavadora o equipo de succión si el volumen lo requiere. 1 chofer de volqueta cuando exista desalojo.
MATERIALES:	Hormigón f'c 210–280 kg/cm ² , según diseño, mortero, cemento, varilla de acero, malla, sellador para juntas, aditivos, tapa o marco, si corresponde.	Fundas o recipientes para residuos, agua para lavado, señalización temporal y desinfectante, cuando las condiciones sanitarias lo requieran.
EQUIPO Y HERRAMIENTAS:	Cortadora de concreto, martillo, cincel, taladro, mezcladora de concreto, vibrador, bomba de agua, palas, baldes, nivel, flexómetro y EPP.	Palas, baldes, ganchos, cepillos, escobas, hidrolavadora, bomba de succión, carretilla, conos, cinta de seguridad y EPP.
UNIDAD DE MEDIDA:	Unidad de caja reparada.	Unidad de caja limpiada.
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN:	Revisar acabado, dimensiones, alineación, estabilidad de la tapa y prueba visual de flujo. Debe levantarse informe de conformidad.	Verificar fondo, paredes, boca de entrada y salida, confirmando que no quede material que reduzca la sección hidráulica.
INDICADORES DE CONTROL:	Caja estable, solera continua, tapa segura, conexiones alineadas, sin filtraciones ni desprendimientos visibles.	Caja libre de sedimentos; entradas y salidas despejadas; flujo verificado; tapa estable; residuos retirados.
SEGURIDAD, AMBIENTE Y REGISTROS:	Aislar aberturas, evitar el ingreso sin evaluación previa de la atmósfera y manejar los residuos de demolición sin descargarlos al sistema de drenaje.	Aislar aberturas, evitar el ingreso sin evaluación previa de la atmósfera y manejar los residuos retirados sin descargarlos al sistema de drenaje.
FORMA DE PAGO:	Por unidad intervenida y aprobada, conforme a informe técnico, medición de campo y evidencia fotográfica.	Por unidad intervenida y aprobada, conforme a informe técnico, medición de campo y evidencia fotográfica.

Fuente: Elaboración propia a partir del manual de operación y mantenimiento.

5.4.5 Rampa de acceso

La aplicación de este procedimiento permite diferenciar las rampas que requieren únicamente limpieza y desobstrucción de aquellas que necesitan adecuación o reconstrucción parcial para recuperar la continuidad hidráulica de la cuneta. Cuando la afectación corresponde a acumulación de sedimentos, basura o vegetación, la actividad se orienta a operación. En cambio, cuando la rampa presenta paso hidráulico insuficiente, fisuras, asentamientos o interrupción del flujo, la intervención debe considerarse como mantenimiento preventivo o correctivo programado. Esta diferenciación permite reducir reboses hacia la calzada y mejorar el funcionamiento del drenaje longitudinal.

Tabla 18 Plan de Mantenimiento y Operación para Rampa de Acceso

Plan de Mantenimiento y Operación para Rampa de Acceso		
	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN
ELEMENTO:	Rampa de acceso vehicular asociada al drenaje.	Rampa de acceso vehicular asociada al drenaje.
ACTIVIDAD:	Reconstrucción, adecuación geométrica o ampliación hidráulica de rampas de acceso.	Limpieza, desobstrucción y verificación del paso hidráulico en rampas de acceso.
DESCRIPCIÓN:	Reconstrucción o adecuación de rampas que interrumpen la cuneta, presentan fisuras o cuentan con un paso hidráulico insuficiente para las condiciones del tramo.	Limpieza de la superficie y del conducto bajo la rampa, con el fin de permitir el acceso vehicular sin cortar el flujo natural de la cuneta.
OBJETIVO Y ALCANCE:	Mantener el acceso vehicular sin interrumpir el escurrimiento de la cuneta, reduciendo reboses hacia la calzada, erosión lateral y deterioro en los ingresos a predios.	Mantener el acceso vehicular sin interrumpir el escurrimiento de la cuneta, reduciendo reboses hacia la calzada, erosión lateral y deterioro en los ingresos a predios.
DAÑO / CONDICIÓN QUE ATIENDE:	Lodo, basura, vegetación, sección hidráulica reducida bajo la rampa, paso hidráulico insuficiente, fisuras, asentamientos y daño por tránsito.	Lodo, basura, vegetación, sección hidráulica reducida bajo la rampa, paso hidráulico insuficiente, fisuras, asentamientos y daño por tránsito.
CRITERIO TÉCNICO DE INTERVENCIÓN:	Intervenir cuando la rampa presente fisuras, asentamientos, colapso parcial, paso hidráulico insuficiente o interrupción permanente del flujo de la cuneta.	Intervenir cuando el paso bajo la rampa esté obstruido por lodo, basura, piedras, vegetación o material arrastrado por lluvia.
FRECUENCIA:	Inspección semestral. Ejecutar reparación correctiva inmediata cuando la rampa genere rebose, presente fisuras estructurales, asentamientos, colapso parcial o paso hidráulico claramente insuficiente.	Trimestral en condiciones normales. Mensual en accesos críticos y atención inmediata ante lluvias intensas, reboses o acumulación de material.
TIEMPO ESTIMADO:	De 1 a 3 días para reconstrucción menor o reparación superficial. Cuando se instale o amplíe el conducto de paso, considerar de 3 a 5 días, más 48 a 72 horas de curado antes del uso pleno.	De 1 a 2 horas por rampa para limpieza básica. En pasos pequeños o totalmente obstruidos, estimar de 3 a 5 horas, incluyendo lavado, retiro de sedimentos y verificación de flujo.

<i>Plan de Mantenimiento y Operación para Rampa de Acceso</i>		
	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN
PROCEDIMIENTO:	1. Levantar diagnóstico del acceso, dimensiones del paso y dirección del flujo. 2. Señalizar y coordinar la restricción temporal del ingreso. 3. Demoler o retirar la parte deteriorada, si corresponde. 4. Regularizar la base y colocar tubería, cajón o canaleta de paso. 5. Construir o reconstruir la rampa con pendiente compatible con la cuneta. 6. Curar, limpiar y verificar el funcionamiento hidráulico.	1. Señalizar el área y coordinar el acceso con el propietario, si aplica. 2. Inspeccionar superficie, bordes y paso hidráulico. 3. Retirar basura, lodo, hojas y piedras de la rampa y del conducto. 4. Lavar o destapar el paso con barra, manguera o hidrolavadora. 5. Revisar que el agua retome la cuneta sin saltos ni desvíos. 6. Disponer los residuos y registrar la intervención.
MANO DE OBRA:	1 técnico supervisor. 1 maestro mayor. 2 peones. 1 operador de maquinaria o equipo de compactación cuando se requiera.	1 técnico supervisor. 2 peones.
MATERIALES:	Hormigón, acero de refuerzo si aplica, encofrado, arena, grava, tubería o canaleta de paso, material granular compactado, aditivos y señalización.	Fundas para residuos, agua para lavado, señalización temporal y combustible, si se emplea equipo de lavado o desobstrucción.
EQUIPO Y HERRAMIENTAS:	Mezcladora de concreto, cortadora de concreto, compactador manual, nivel, flexómetro, palas, pico, baldes, carretilla, vibrador y EPP.	Palas, picos, escobas, cepillos, barra metálica, rastrillo, carretilla, manguera o hidrolavadora, conos, cinta de seguridad y EPP.
UNIDAD DE MEDIDA:	Unidad de rampa reconstruida o metro cuadrado intervenido.	Unidad de rampa intervenida.
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN:	Verificar dimensiones, pendiente, continuidad hidráulica, acabado, curado y seguridad de circulación. Debe quedar respaldo fotográfico.	Comprobar que el paso hidráulico quede libre, que no exista material suelto sobre la calzada y que el acceso mantenga condiciones seguras.
INDICADORES DE CONTROL:	Paso hidráulico con dimensión adecuada y libre de obstrucciones; pendiente compatible; superficie segura; ausencia de rebose y prueba visual de flujo.	Flujo continuo bajo la rampa; ausencia de rebose; superficie limpia; residuos retirados y fotografía de control.
SEGURIDAD, AMBIENTE Y REGISTROS:	Mantener señalización durante la ejecución y el curado. Evitar desniveles o bordes expuestos, y retirar residuos de demolición fuera de la vía.	Mantener señalización durante la ejecución. Evitar desniveles o bordes expuestos, y retirar residuos fuera de la vía.
FORMA DE PAGO:	Por unidad de rampa o m ² ejecutado, de acuerdo con medición de campo, especificaciones y aprobación técnica.	Por unidad de rampa o m ² ejecutado, de acuerdo con medición de campo, especificaciones y aprobación técnica.

Fuente: Elaboración propia a partir del manual de operación y mantenimiento.

5.5 Criterios de seguimiento y control

El seguimiento y control del plan de operación y mantenimiento preventivo debe realizarse mediante registros verificables antes, durante y después de cada intervención. Para ello, toda actividad ejecutada en cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga o rampas de acceso vehicular deberá contar con ficha de intervención, registro fotográfico y actualización de la matriz de seguimiento.

La verificación técnica deberá confirmar que el elemento intervenido recupere o conserve su funcionalidad hidráulica. En ese sentido, se deberá comprobar que el flujo se mantenga libre, que el material acumulado haya sido retirado, que no existan obstrucciones inmediatas y que la descarga se realice hacia el punto previsto del sistema de drenaje.

Las intervenciones deberán priorizar los elementos clasificados en las categorías de mayor afectación de la matriz de criticidad, especialmente aquellos severamente tapados, fisurados, con socavación, totalmente obstruidos, colapsados o sin funcionalidad. Esta priorización deberá basarse en la condición registrada en campo, el tipo de elemento, su ubicación dentro del tramo vial y su posible efecto sobre la calzada, los usuarios o la continuidad hidráulica del sistema.

Los elementos ubicados en puntos bajos, zonas de descarga, cruces de agua o sectores con acumulación frecuente de sedimentos deberán inspeccionarse después de lluvias intensas. En estos sitios suelen concentrarse obstrucciones, reboses, arrastre de material y pérdida de continuidad hidráulica, por lo que requieren un seguimiento más frecuente que otros puntos del sistema.

El técnico responsable deberá actualizar la matriz de seguimiento después de cada intervención, registrando como mínimo la fecha, tramo vial, tipo de elemento, condición inicial, actividad ejecutada, recursos utilizados, observaciones levantadas en campo y evidencia fotográfica antes y después de los trabajos. Esta información permitirá comparar el estado inicial y final del drenaje, así como justificar futuras acciones de operación o mantenimiento.

Para el control institucional, cada intervención deberá revisarse mediante criterios mínimos de aceptación: elemento libre de obstrucciones, sección hidráulica recuperada o conservada, flujo continuo, ausencia de reboses hacia la calzada, retiro adecuado del material extraído y registro documental completo. Cuando la intervención no cumpla estos criterios, deberá programarse una corrección o una nueva inspección técnica.

De esta manera, el seguimiento y control no se limita a verificar que una actividad haya sido ejecutada, sino que permite confirmar si dicha actividad contribuyó efectivamente a conservar o recuperar la funcionalidad hidráulica del sistema de drenaje pluvial vial. Además, mantiene la trazabilidad entre el diagnóstico de

campo, la matriz de criticidad, la priorización de intervenciones y las actividades recomendadas dentro del plan.

5.6 Cronograma referencial

El cronograma referencial organiza las actividades necesarias para la aplicación del plan integral de operación y mantenimiento preventivo de los sistemas de drenaje pluvial vial. Su finalidad es orientar la programación de intervenciones a partir del diagnóstico realizado, la condición de los elementos evaluados, los niveles de criticidad identificados y los requerimientos de operación o mantenimiento determinados en la matriz.

Este cronograma tiene carácter referencial y puede ser ajustado por la entidad responsable según la disponibilidad de recursos, la época lluviosa, la prioridad de intervención y la capacidad operativa institucional.

Tabla 19 Cronograma referencial para la aplicación del plan integral de operación y mantenimiento preventivo

Periodo	Actividad principal	Producto obtenido
Mes 1	Actualización del inventario de drenajes, revisión de fichas técnicas, verificación de registros fotográficos y validación de la condición actual de los elementos evaluados.	Inventario actualizado por vía, tipo de elemento y condición observada.
Mes 2	Aplicación de la matriz de criticidad, priorización de tramos y definición de actividades de operación, limpieza, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo programado.	Listado priorizado de intervenciones por vía y por tipo de drenaje.
Mes 3	Programación de recursos, cuadrillas, materiales, equipos y ejecución de actividades en los elementos priorizados, iniciando por los drenajes con mayor afectación funcional.	Actividades de operación y mantenimiento ejecutadas según prioridad técnica.
Mes 4	Verificación técnica posterior a la intervención, registro fotográfico antes y después, comprobación de funcionalidad hidráulica y actualización de la matriz de seguimiento.	Matriz de seguimiento actualizada e informe de conformidad técnica.

Fuente: Elaboración propia a partir de las matrices de inspección.

Esta secuencia permite que la aplicación del plan no dependa únicamente de reportes emergentes, sino de una programación basada en información verificable. Primero se actualiza el inventario; luego se priorizan los elementos según su condición; posteriormente se ejecutan las actividades de operación o mantenimiento; y finalmente se verifica si la intervención recuperó o conservó la funcionalidad hidráulica del sistema.

De esta manera, el cronograma referencial mantiene la trazabilidad entre los resultados obtenidos en campo y las actividades recomendadas en la propuesta, fortaleciendo la planificación institucional y el seguimiento técnico de los sistemas de drenaje pluvial evaluados.

5.7 Cierre de la propuesta

La propuesta permite transformar el diagnóstico de campo en acciones programables y técnicamente ordenadas. Su utilidad dependerá de que el inventario de drenajes se actualice de manera periódica y de que cada intervención ejecutada quede respaldada con fichas, fotografías, observaciones de campo y verificación técnica posterior.

El plan integral planteado no se limita a establecer actividades de limpieza, sino que diferencia los requerimientos de operación, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo programado según el tipo de elemento, la condición observada y el nivel de criticidad asignado. Esta diferenciación permite que las cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso sean atendidas de acuerdo con su función dentro del sistema de drenaje pluvial vial.

La aplicación del plan puede contribuir a reducir intervenciones emergentes, mejorar la programación de recursos y conservar la funcionalidad hidráulica de los elementos existentes. Para ello, resulta necesario que las instituciones responsables del mantenimiento vial incorporen la matriz de seguimiento como una herramienta de actualización continua, de modo que las decisiones futuras se apoyen en información verificable y no únicamente en reportes aislados.

En este sentido, la propuesta mantiene una relación directa con los resultados obtenidos en la investigación. Los daños identificados en campo, los porcentajes ponderados de operación y mantenimiento, y la priorización de intervenciones sirven como base para definir procedimientos específicos por tipo de drenaje. Por tanto, el plan propuesto se presenta como una herramienta técnica aplicable a los tramos viales intercantonales priorizados de Cotopaxi y adaptable a otros contextos con condiciones similares de drenaje, lluvia, sedimentación y deterioro progresivo.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS.

6.1 Conclusiones

- El diagnóstico técnico permite identificar y caracterizar las condiciones actuales de los sistemas de drenaje pluvial en siete vías intercantonales de la provincia de Cotopaxi. La evaluación comprende una longitud total de 40,48 km y registró 4.217 elementos o tramos equivalentes de drenaje, lo que proporciona una base técnica suficiente para reconocer el estado funcional de la infraestructura hidráulica asociada a la red vial analizada.
- Los elementos que conforman el sistema de drenaje corresponden a 3.729 cunetas o tramos equivalentes de 10 m, 21 alcantarillas, 19 rejillas, 66 cajas de descarga y 382 rampas de acceso vehicular. Las cunetas representan la mayor participación, ya que son elementos longitudinales que cumplen la función de captar y conducir el escurrimiento superficial a lo largo de los tramos viales evaluados.
- El análisis realizado muestra que las afectaciones más frecuentes están relacionadas con sedimentación, obstrucciones, presencia de vegetación, fisuras, reducción de la sección hidráulica, socavación localizada y pérdida parcial de funcionalidad. Estas condiciones limitan la capacidad de conducción del sistema, aumentan la posibilidad de que el agua ingrese o permanezca sobre la calzada y, con el tiempo, favorecen el deterioro progresivo de la estructura vial.

La evaluación por vía mostró que la condición “severamente tapado, fisurado o con socavación” fue predominante en los tramos analizados. Esta categoría alcanzó 57,04 % en Salcedo–Latacunga, 57,37 % en Latacunga–Pujilí, 86,90 % en Saquisilí–Poaló, 66,99 % en Poaló–Pujilí, 70,66 % en Saquisilí–Guaytacama, 76,53 % en Saquisilí–Tanicuchí y 58,61 % en Guaytacama–Toacaso. Estos resultados confirman que una parte importante del sistema requiere intervenciones superiores a la limpieza rutinaria.

- Los porcentajes ponderados de operación y mantenimiento muestran que, en todas las vías evaluadas, los requerimientos de mantenimiento superan a los de operación. Los mayores porcentajes de mantenimiento se registraron en Saquisilí–Poaló con 66,83 %, Saquisilí–Tanicuchí con 65,31 % y Saquisilí–Guaytacama con 63,10 %. En los demás tramos también predominó el mantenimiento, con valores de 58,91 % en Salcedo–Latacunga, 58,34 % en Latacunga–Pujilí, 60,01 % en Poaló–Pujilí y 58,96 % en Guaytacama–Toacaso.

- Por tipo de elemento, las rejillas presentaron el mayor porcentaje de mantenimiento, con 70,00 %, seguidas por las cajas de descarga con 64,55 %, las alcantarillas con 64,29 %, las cunetas con 61,04 % y las rampas de acceso con 52,32 %. Esta distribución confirma que los elementos puntuales, aunque sean menos numerosos, pueden requerir atención prioritaria cuando afectan la captación, conducción o descarga del agua lluvia.
- La matriz de criticidad funciona como una herramienta técnica para priorizar intervenciones, ya que integra aspectos como el estado físico del elemento, el nivel de obstrucción, el daño estructural, la exposición al riesgo y el tipo de acción recomendada. Su aplicación permite organizar el mantenimiento de forma más programada y disminuye la dependencia de intervenciones reactivas, que suelen originarse por emergencias o reportes aislados.
- El plan integral propuesto establece procedimientos específicos según el tipo de elemento de drenaje, considerando frecuencia de intervención, mano de obra, materiales, equipos, unidad de medida, mecanismos de verificación y formas de control. Por tanto, se constituye en una guía técnica aplicable para las instituciones responsables de la gestión y conservación vial.
- Los resultados obtenidos responden al objetivo de diagnosticar, evaluar y proponer acciones de operación y mantenimiento preventivo para los sistemas de drenaje pluvial en las vías intercantonales priorizadas de Cotopaxi. La propuesta no se plantea como una guía general de limpieza, sino como una herramienta técnica derivada del diagnóstico de campo, la matriz de criticidad, la priorización de daños y los requerimientos específicos por tipo de elemento.
- La aplicación del plan en otros contextos deberá considerar las condiciones propias de cada zona, como topografía, régimen de lluvias, tipo de vía, presencia de sedimentos, disponibilidad presupuestaria y capacidad operativa de la entidad responsable del mantenimiento. Sin embargo, la metodología utilizada puede servir como referencia para organizar inventarios, evaluar criticidad y programar intervenciones preventivas en sistemas de drenaje vial con condiciones similares.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda aplicar el plan de operación y mantenimiento preventivo de forma programada, sobre todo antes y después de los periodos lluviosos. Esta medida ayuda a reducir la acumulación de sedimentos, vegetación y otros materiales que disminuyen la capacidad hidráulica de los drenajes. La

programación deberá priorizar las vías con mayores porcentajes de mantenimiento, especialmente Saquisilí–Poaló, Saquisilí–Tanicuchí y Saquisilí–Guaytacama, debido a que presentan los niveles más altos de requerimiento de intervención.

- Es necesario actualizar periódicamente las matrices de inventario y criticidad, incorporando fotografías georreferenciadas, observaciones técnicas levantadas en campo y evidencia de las intervenciones ejecutadas. Esta información permite mantener un registro confiable del estado de los elementos de drenaje y facilita la toma de decisiones para futuras actividades de conservación vial. La actualización deberá realizarse después de cada intervención y también luego de lluvias intensas, especialmente en puntos bajos, zonas de descarga y sectores con acumulación recurrente de sedimentos.
- Se recomienda planificar las cuadrillas, materiales, equipos y tiempos de intervención según el tipo de elemento evaluado. Las cunetas, alcantarillas, rejillas, cajas de descarga y rampas de acceso presentan condiciones y necesidades diferentes; por eso, no resulta conveniente aplicar una sola actividad de limpieza general para todo el sistema de drenaje. La planificación deberá diferenciar actividades de operación, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo programado, de acuerdo con la condición registrada en la matriz de criticidad.
- Debe darse atención prioritaria a los elementos que generan mayor pérdida de funcionalidad hidráulica, como rampas de acceso que interrumpen la continuidad de cunetas, rejillas obstruidas, cajas colmatadas y alcantarillas con reducción de sección. La intervención oportuna de estos puntos disminuye el riesgo de acumulación de agua sobre la calzada y contribuye a preservar la seguridad de los usuarios. Aunque algunos de estos elementos presentan menor cantidad dentro del inventario, su ubicación y función hidráulica pueden convertirlos en puntos críticos dentro del sistema.
- Se recomienda vincular las actividades de mantenimiento de drenajes con los programas de conservación de pavimentos, ya que la evacuación deficiente del agua superficial incide directamente en el deterioro de la capa de rodadura. Además, puede generar afectaciones en los bordes de la vía y aumentar los costos de rehabilitación cuando los problemas no se atienden de manera preventiva. Esta vinculación permitirá que las intervenciones no se enfoquen únicamente en la superficie de rodadura, sino también en las causas hidráulicas que pueden acelerar su deterioro.
- Es conveniente socializar el manual propuesto con los equipos técnicos y operativos responsables del mantenimiento vial. Esta acción permite unificar criterios de inspección, ejecución, control y verificación, además de fortalecer

la aplicación práctica de los procedimientos definidos para cada tipo de elemento de drenaje. La socialización deberá incluir el uso de fichas técnicas, matriz de criticidad, criterios de seguimiento, registro fotográfico y actualización de la información posterior a cada intervención.

- Se recomienda que las instituciones responsables de la gestión vial utilicen los resultados de esta investigación como una base técnica para programar intervenciones preventivas y correctivas. Su aplicación deberá considerar las condiciones propias de cada vía, como pendiente, intensidad de lluvias, tránsito, disponibilidad de recursos y capacidad operativa, de modo que el plan pueda adaptarse a distintos contextos sin perder su enfoque técnico.
- Finalmente, se recomienda realizar evaluaciones periódicas del desempeño del plan, comparando el estado de los drenajes antes y después de las intervenciones. Esta verificación permitirá determinar si las actividades ejecutadas recuperan la funcionalidad hidráulica del sistema, reducen la recurrencia de obstrucciones y mejoran la capacidad de respuesta institucional frente a eventos de lluvia.

6.3 Bibliografía

- [1] E. A. de Quito, “Norma técnica de drenaje pluvial, alcantarillado sanitario y separación de caudales para el Distrito Metropolitano de Quito,” 2023. [Online]. Available: https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD Y FACTIBILIDAD DE EMISARIOS SANITARIOS Y PTAR “QUITO”_/4. Norma interna de drenaje pluvial EPMAPS.pdf
- [2] W. E. Amaya Tequia, H. J. Rodríguez Arana, and D. O. Espinosa Cárdenas, “Guía práctica para el diseño de cunetas y alcantarillas como sistema de drenaje para carreteras de tercer orden, municipio de Ataco departamento de Tolima,” *Ingenio Magno*, vol. 13, no. 1, pp. 19–43, 2022, [Online]. Available: <https://revistas.santototunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2572>
- [3] M. Diniz and R. Melo, “Análisis de la correlación entre el estado de los pavimentos urbanos y los elementos del sistema de drenaje,” 2023, doi: 10.21041/ra.v13i2.604.
- [4] P. E. Chancay-Mora and J. M. Zambrano-Acosta, “Diseño de los dimensionamientos de alcantarillas para la protección de la Red Vial Estatal E20 en el tramo Quinindé-Esmeraldas, Ecuador,” 2025, doi: 10.46296/ig.v8i15.0234.
- [5] M. A. Rubio Idrogo, “Gestión de mantenimiento vial y su relación con la satisfacción de los usuarios de Lima Metropolitana, 2022,” *Alpha Centauri*, vol. 4, no. 2, pp. 22–28, 2023, doi: 10.47422/ac.v4i2.145.
- [6] E. R. Caiza Monge and S. A. Ochoa García, “Plan de gestión para el

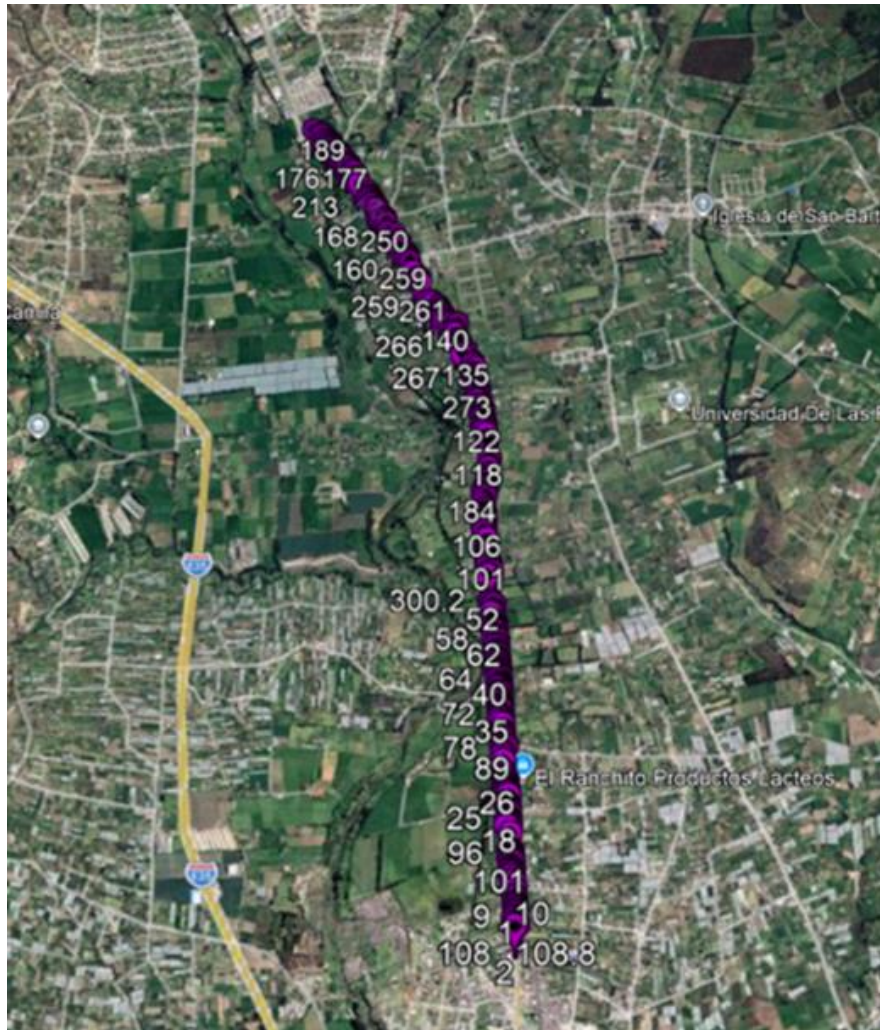
- mantenimiento de la Vía E30 Pujilí-La Maná: Management plan for the maintenance of the E30 Pujilí-La Maná Road,” *Rev. Científica Multidiscip. G-Nerando*, vol. 6, no. 1, p. 4875, 2025, doi: 10.60100/rcmg.v6i1.630.
- [7] M. Romana García, “El mantenimiento y la conservación de los sistemas de drenajes en carreteras,” *Carreteras Rev. técnica la Asoc. Española la Carret.*, no. 136, pp. 210–227, 2004, [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1065470>
 - [8] J. R. Menéndez, *Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas: Manual técnico*. Lima: Organización Internacional del Trabajo, Oficina Subregional para los Países Andinos, 2003. [Online]. Available: https://webapps.ilo.org/public/spanish/employment/recon/eiip/download/mcrm_antec.pdf
 - [9] N. Unidas, “La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible,” 2015. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
 - [10] E. en Cifras, “Medición de los ODS en Ecuador: Agua, saneamiento e higiene,” 2018. [Online]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
 - [11] J. R. Torres Tamayo and J. J. Guevara Robalino, “Plan de gestión para el mantenimiento de la vía Pujilí–Salcedo, sector Alpamalag, Cotopaxi,” *InnovaSciT*, vol. 4, no. 1, 2025, doi: 10.70577/innovascit.v4i1.162.
 - [12] G. A. D. P. de Cotopaxi, “Cantones de la Provincia,” 2026. [Online]. Available: <https://cotopaxi.gob.ec/cantones-provincia/>
 - [13] J. L. Arellano Ortiz and J. J. Guevara Robalino, “Strategic plan for the rehabilitation of the Yee-Vuelta Larga Road in Esmeraldas, Ecuador,” *ConcienciaDigital*, vol. 8, no. 3.1, pp. 40–61, 2025, doi: 10.33262/concienciadigital.v8i3.1.3503.
 - [14] M. de T. y O. P. del Ecuador, “Ficha informativa de proyecto: mantenimiento vial de la provincia de Cotopaxi,” 2021. [Online]. Available: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/LOTAIP_9_K011-MTOP-Mantenimiento-vial-de-la-provincia-del-Cotopaxi.pdf
 - [15] M. de T. y O. P. del Ecuador, “Plan sectorial sector transporte 2024-2025,” 2025. [Online]. Available: https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2026/01/21.1-Plan-Sectorial_Transporte_2024-2025.pdf
 - [16] M. de T. y O. P. del Ecuador, “Términos de referencia para fiscalización y control del mantenimiento vial,” 2025. [Online]. Available: https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/07/MPR_ZHUD_42_4-TDR_FISCALIZACION.pdf
 - [17] A. G. Sánchez, “Elaboración del plan de operación y mantenimiento de los drenajes de las vías intercantionales de mayor flujo de la provincia de Tungurahua,” 2025. [Online]. Available: https://rraae.cedia.edu.ec/vufind/Record/UTA_Elaboracion_plan_operacion_m

- antenimiento_drenajes_vias_intercantonales_Tungurahua
- [18] A. de R. del Territorio, “Guía para el mantenimiento rutinario de vías rurales,” 2021. [Online]. Available: <https://files-prod.rcnradio.com/2021-04/Guia para el mantenimiento de vias.pdf>
 - [19] M. R. Aldás Sánchez, R. I. Acosta Lozada, A. X. Frías Torres, and B. L. López Sánchez, “Modelo de mantenimiento de vías, con pavimento flexible de la zona central del Ecuador,” *Cienc. Digit.*, vol. 8, no. 2, pp. 86–102, 2024, doi: 10.33262/cienciadigital.v8i2.2978.
 - [20] A. López, M. Mayacela, J. Tuston, and F. Ramírez, “Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Patate, Ecuador,” 2023, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/379630661_IMPLEMENTACION_DEL_PROCESO_DE_CONSERVACION_DE_LA_ESTRUCTURA_DE_LA_CAPA_DE_RODADURA_DE_LA_VIA_PATATE_ECUADOR
 - [21] J. J. P. Rojas-Ramírez, “Inundaciones y expansión urbana, sus implicaciones socioambientales: la gestión de riesgos por inundación en Guadalajara metropolitana, México,” 2025, doi: 10.4067/S0718-34022025000200104.
 - [22] G. A. D. P. de Bolívar, “Se realizó el mantenimiento en la vía Yacubiana-Salinas,” 2023. [Online]. Available: <https://www.bolivar.gob.ec/se-realizo-el-mantenimiento-en-la-via-yacubiana-salinas/>
 - [23] G. A. D. P. R. de Ambuquí, “Mantenimiento vial rutinario,” 2024. [Online]. Available: <https://gadambuqui.gob.ec/convenio-institucional/mantenimiento-vial-rutinario/>
 - [24] G. P. de I. y G. A. D. P. R. de S. P. de Suma, “Convenio n.º 0028-GADPI-PS-2024 para mantenimiento vial rutinario,” 2024. [Online]. Available: https://gadsanpedrodesuma.gob.ec/media/gadimantag/convenios_archivos/3._CONVENIO_MANTENIMIENTO_VIAL_0028-GADPI-PS-2024.pdf
 - [25] M. de T. y O. P. del Ecuador, “Ficha informativa del programa de conservación por niveles de servicio,” 2021. [Online]. Available: https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/11/LOTAIP_11_K019-PROGRAMA-DE-CONSERVACION-POR-NIVELES-DE-SERVICIO.pdf
 - [26] M. de T. y O. P. del Ecuador, “Ficha informativa de proyecto: mantenimiento vial de la provincia del Cañar,” 2021. [Online]. Available: https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/11/LOTAIP_11_K023-MTOP-Mantenimiento-Vial-de-la-Provincia-del-Canar.pdf
 - [27] A. M. de T. del D. M. de Quito, “Plan de desarrollo y mantenimiento vial,” 2022. [Online]. Available: https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administración 2023-2027/Sesiones de Concejo/2023/Sesión 044 Ordinaria 2023-12-26/IV. IC-ORD-CM-2023-003/INICIATIVA/2. Propuesta formulación/7-Desarrollo y mantenimiento vial.pdf

6.4 Anexos

Los anexos presentan los registros gráficos correspondientes a los tramos viales evaluados durante el levantamiento de campo. Esta información respalda el inventario técnico, la identificación de condiciones observadas y la clasificación de los elementos de drenaje pluvial utilizados para el análisis de criticidad y la formulación del plan de operación y mantenimiento preventivo.

Ilustración 13 Tramo Latacunga - Salcedo



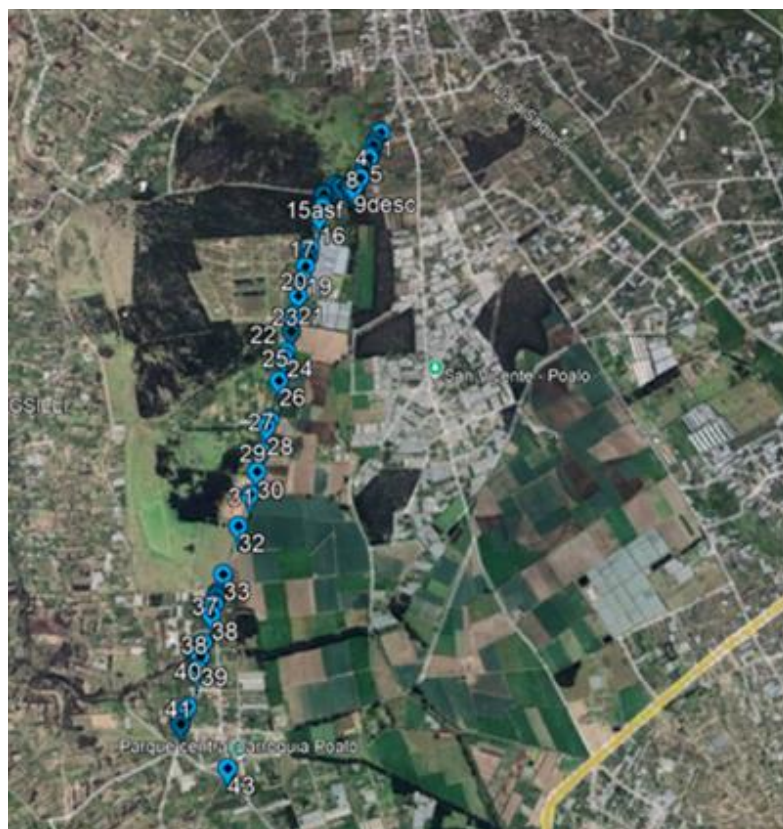
Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de campo.

Ilustración 14 Tramo Latacunga - Pujilí



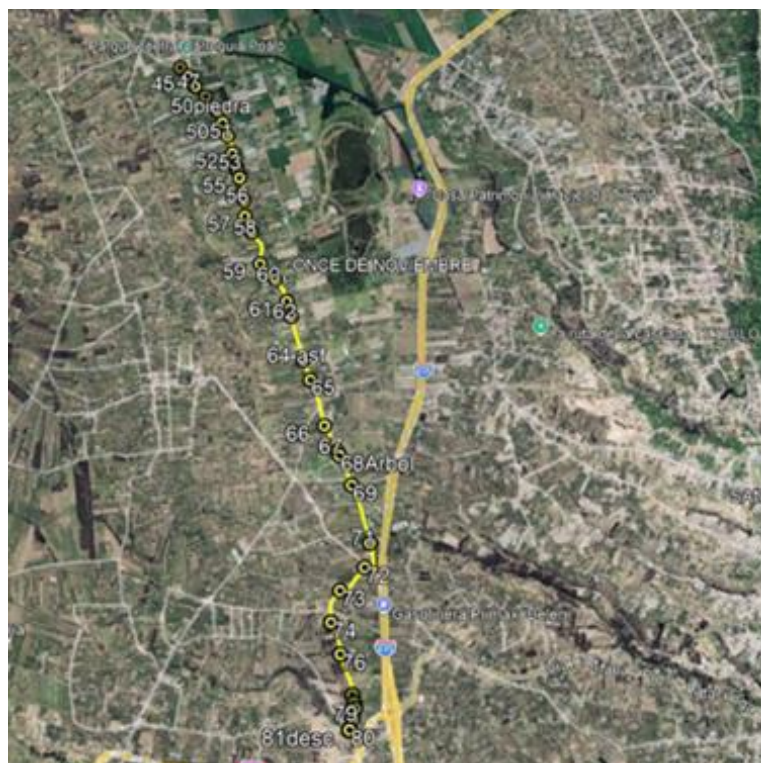
Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de campo.

Ilustración 15 Tramo Saquisilí – Poaló



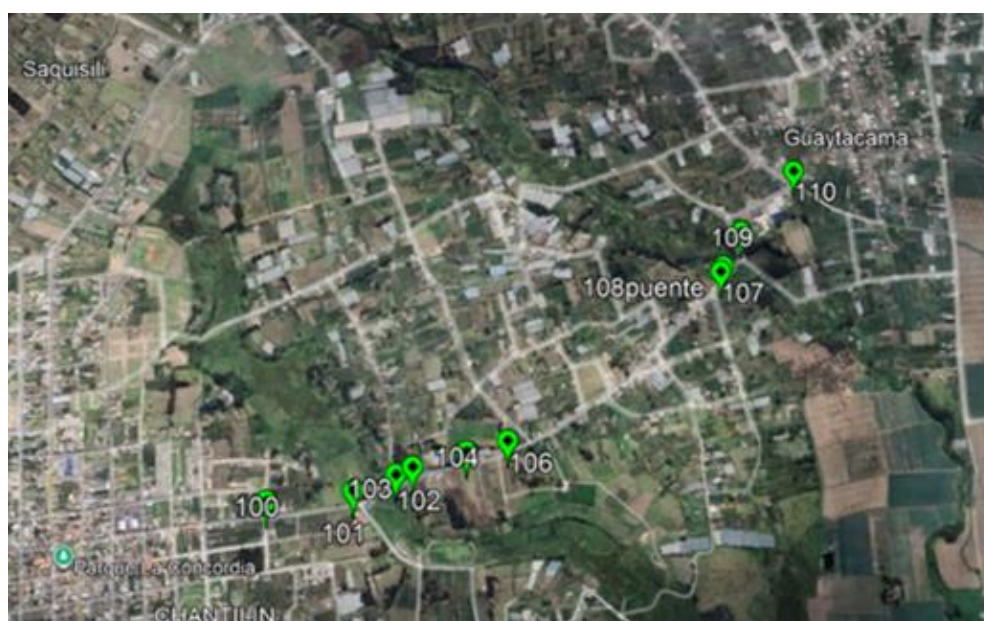
Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de campo.

Ilustración 16 Tramo Poaló – Pujilí



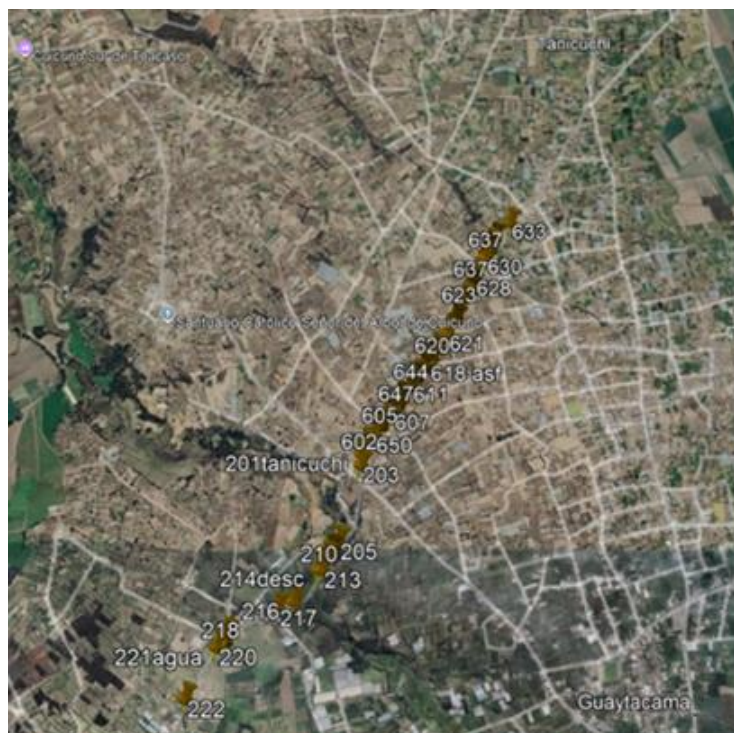
Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de campo.

Ilustración 17 Tramo Saquisilí – Guaytacama



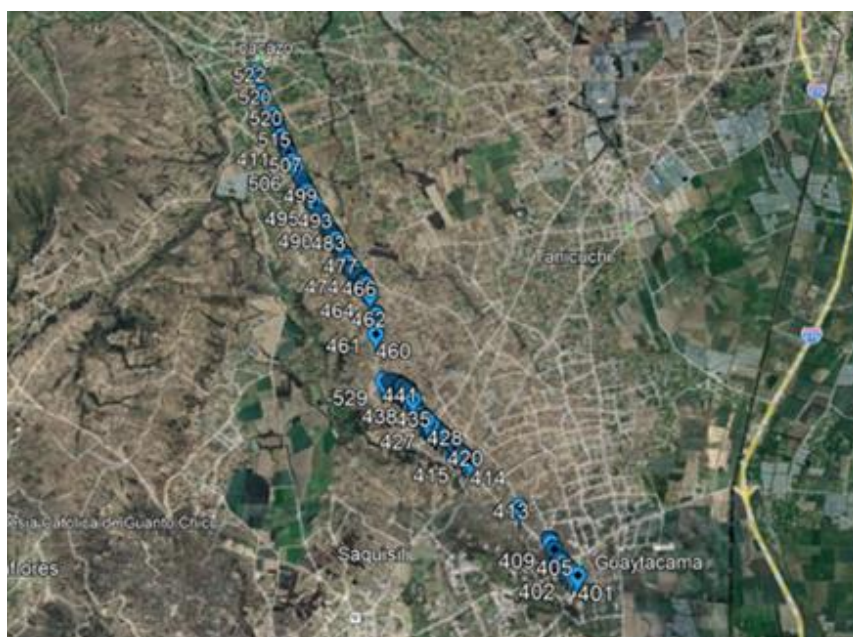
Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de campo.

Ilustración 18 Tramo Saquisilí – Tanicuchí



Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de campo.

Ilustración 19 Tramo Guaytacama – Toacaso



Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de campo.