UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON

SEDE VIRTUAL

CARRERA

INGENIERÍA CIVIL

TESIS SOMETIDA AL TRIBUNAL EXAMINADOR DE LA LICENCIATURA PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN…

TÍTULO DE LA TESIS

DISEÑO DE UN PROTOCOLO DE GESTIÓN DE RIESGO BASADO EN LA NORMA ISO 31000 PARA INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL EN RUTAS CANTONALES PRIORITARIAS DEL CANTÓN GUATUSO.

NOMBRE DEL AUTOR:

JUAN ARTURO ALVARADO RODRÍGUEZ

NICOLE CUBERO SOTO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. MAURICIO MARTÍNEZ ESQUIVEL

ALAJUELA, COSTA RICA

MAYO, 2026

Tribunal examinador

Tribunal examinador



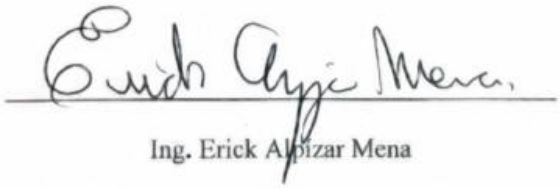
Licda. Laura Prendas Castillo

Directora de tesis



Ing. Mauricio Martínez Esquivel

Tutor



Ing. Erick Alpízar Mena

Lector

Declaración jurada

Universidad Isaac Newton
Escuela de Ingeniería Civil
Licenciatura en Ingeniería Civil

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Nicole Cubero Soto, cédula de identidad N.° [redacted] estudiante de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Isaac Newton, declaro bajo fe de juramento y consciente de las responsabilidades civiles y penales de este acto, que este Trabajo Final de Investigación es de mi autoría y es presentado con la finalidad de obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, y tiene como título:

"DISEÑO DE UN PROTOCOLO DE GESTIÓN DE RIESGO BASADO EN LA NORMA ISO 31000 PARA INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL EN RUTAS CANTONALES PRIORITARIAS DEL CANTÓN GUATUSO."

Declaro que en él no se han reproducido informaciones parciales o totales de otros autores como si fueran de mi propia autoría. Por el contrario, se han destacado mediante el uso de citas textuales las informaciones de otros autores, consignando su origen. Debido a lo anterior, libero a la Universidad Isaac Newton de cualquier responsabilidad en caso de que la presente declaración sea falsa.

Además, por este medio, autorizo la consulta de esta investigación para fines académicos por parte de la comunidad de usuarios de la Biblioteca de la Universidad Isaac Newton, bajo las modalidades de préstamo interno y a domicilio, así como su inclusión en repositorios o bases de datos digitales que la Universidad considere oportunas.

Entregado en las oficinas de la Dirección Administrativa de la Universidad Isaac Newton, ubicada en San Carlos, a los 8 días del mes de setiembre del año 2026.

Firma. ----------

Nicole Cubero Soto

Cédula [redacted]

Universidad Isaac Newton
Escuela de Ingeniería Civil
Licenciatura en Ingeniería Civil

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Juan Arturo Alvarado Rodríguez, cédula de identidad N.° [redacted] estudiante de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Isaac Newton, declaro bajo fe de juramento y consciente de las responsabilidades civiles y penales de este acto, que este Trabajo Final de Investigación es de mi autoría y es presentado con la finalidad de obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, y tiene como título:

"DISEÑO DE UN PROTOCOLO DE GESTIÓN DE RIESGO BASADO EN LA NORMA ISO 31000 PARA INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL EN RUTAS CANTONALES PRIORITARIAS DEL CANTÓN GUATUSO."

Declaro que en él no se han reproducido informaciones parciales o totales de otros autores como si fueran de mi propia autoría. Por el contrario, se han destacado mediante el uso de citas textuales las informaciones de otros autores, consignando su origen. Debido a lo anterior, libero a la Universidad Isaac Newton de cualquier responsabilidad en caso de que la presente declaración sea falsa.

Además, por este medio, autorizo la consulta de esta investigación para fines académicos por parte de la comunidad de usuarios de la Biblioteca de la Universidad Isaac Newton, bajo las modalidades de préstamo interno y a domicilio, así como su inclusión en repositorios o bases de datos digitales que la Universidad considere oportunas.

Entregado en las oficinas de la Dirección Administrativa de la Universidad Isaac Newton, ubicada en San Carlos, a los 8 días del mes de setiembre del año 2026.

Firma----------

Juan Arturo Alvarado Rodríguez

Cédula [redacted]

Dedicatoria

Juan Arturo Alvarado Rodriguez

Dedico este trabajo con todo mi corazón a mi familia, quienes han sido mi refugio, mi fuerza y mi mayor motivación durante este largo camino. Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí incluso en aquellos momentos en los que yo mismo dudé de mis capacidades, y por brindarme su amor y apoyo incondicional en cada paso. Cada palabra de ánimo, cada sacrificio y cada gesto de cariño fueron fundamentales para que hoy pueda llegar hasta aquí. Este logro no es solamente mío, también es de ustedes.

A mi pareja, por haber estado conmigo durante los momentos más difíciles de esta carrera, por no soltarme cuando las cosas se hicieron cuesta arriba y por acompañarme con paciencia, comprensión y amor. Gracias por escucharme cuando necesitaba desahogarme, por animarme cuando sentía que ya no podía más y por recordarme que todo esfuerzo tendría su recompensa. Tu apoyo incondicional fue una de las razones que me permitió seguir adelante aun en los días más difíciles.

Hoy, al culminar esta etapa, miro hacia atrás y puedo reconocer que no llegué hasta aquí solo. Detrás de este logro están las personas que me sostuvieron cuando más lo necesitaba, que celebraron mis pequeños avances y que nunca dejaron de creer en mí.

Nicole Cubero Soto

Dedico este logro en primer lugar a Dios, por haberme dado la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para llegar hasta este momento. En los momentos de incertidumbre y dificultad, mi fe me recordó que debía seguir adelante y no rendirme.

De manera muy especial, se lo dedico a mis papás. A ustedes, que estuvieron a mi lado en los momentos más difíciles de esta carrera, que me vieron cansada, preocupada y muchas veces sin saber si iba a lograrlo, pero que nunca dejaron de creer en mí. Gracias por cada palabra de ánimo, por cada consejo, por cada sacrificio y por estar presentes incluso cuando no sabía cómo expresar lo mucho que necesitaba su apoyo.

Gracias por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo, perseverancia y, sobre todo, sin rendirse. Muchas veces, cuando las fuerzas faltaron, pensar en ustedes fue suficiente para levantarme y continuar. Si hoy puedo mirar atrás y decir que lo logré, es porque nunca caminé completamente sola; llevé conmigo su amor, sus enseñanzas y la confianza que siempre depositaron en mí.

A mi familia, gracias por comprender mis ausencias, mis preocupaciones y todos aquellos momentos en los que tuve que dedicar mi tiempo y esfuerzo a cumplir este sueño. Gracias por celebrar conmigo cada pequeño avance y por hacerme sentir que, sin importar lo difícil que fuera el camino, siempre tendría un lugar al cual regresar.

Hoy culmino una etapa que significó mucho esfuerzo, pero también muchos aprendizajes y momentos que llevaré conmigo para siempre. Este título tendrá mi nombre, pero en cada logro también estarán ustedes, porque fueron parte fundamental de todo lo que tuve que superar para llegar hasta aquí.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a Dios por permitirnos llegar hasta este momento y brindarnos la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar esta importante etapa de nuestra formación académica.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro tutor de tesis Ing. Mauricio Martínez Esquivel, por su acompañamiento, orientación y disposición durante todo el desarrollo de este proyecto. Sus conocimientos, recomendaciones y observaciones fueron fundamentales para encaminar correctamente la investigación y permitirnos superar los diferentes retos que se presentaron a lo largo del proceso.

De igual manera, agradecemos profundamente a nuestro lector de tesis Ing**.** Erick Alpízar Mena, por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo, así como por sus observaciones, aportes y recomendaciones, los cuales contribuyeron significativamente a mejorar la calidad y el desarrollo de la investigación.

Un agradecimiento muy especial a la Municipalidad de Guatuso, por abrirnos las puertas y permitirnos desarrollar esta investigación en conjunto con la institución. Agradecemos la disposición, colaboración y confianza brindadas durante el desarrollo del proyecto, así como la oportunidad de conocer de una manera más cercana las necesidades y desafíos relacionados con la infraestructura vial del cantón.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que, de una u otra manera, aportaron su tiempo, conocimiento, apoyo y palabras de motivación durante este proceso. Cada aporte fue importante para alcanzar la culminación de este trabajo y para convertir este proyecto en una experiencia de crecimiento tanto académico como personal.

Carta de aprobación del director de tesis

Cuidad Quesada 8 de julio del 2026.

Señores.
UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
Presente

Estimados señores:

En mi calidad de director de tesis, designado a la Tesis elaborada el estudiante Juan Arturo Alvarado Rodriguez, titulada Diseño de un protocolo de gestión de Riesgo Basado en la Norma ISO 31000 para Infraestructura Vial Municipal en Rutas Cantonales Prioritarias del Cantón Guatuso durante el periodo II Cuatrimestre del 2026, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

Ing. Mauricio Martínez Esquivel
Director de tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton

Carta de aprobación del director de tesis

Cuidad Quesada 8 de julio del 2026.

Señores.
UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
Presente

Estimados señores:

En mi calidad de director de tesis, designado a la Tesis elaborada el estudiante Nicole Cubero Soto, titulada Diseño de un protocolo de gestión de Riesgo Basado en la Norma ISO 31000 para Infraestructura Vial Municipal en Rutas Cantonales Prioritarias del Cantón Guatuso durante el período II Cuatrimestre del 2026, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

Ing. Mauricio Martínez Esquivel
Director de tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton

Carta de aprobación del lector

Cuidad Quesada 8 de julio del 2026.

Señores.
UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
Presente

Estimados señores:

En mi calidad de Lector designado a la Tesis elaborada el estudiante Juan Arturo Alvarado Rodriguez, titulada Diseño de un protocolo de gestión de Riesgo Basado en la Norma ISO 31000 para Infraestructura Vial Municipal en Rutas Cantonales Prioritarias del Cantón Guatuso durante el periodo II Cuatrimestre del 2026, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

Ing. Erick Alpízar Mena
Lector de Tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton



Carta de aprobación del lector

Cuidad Quesada 8 de julio del 2026.

Señores.
UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
Presente

Estimados señores:

En mi calidad de Lector designado a la Tesis elaborada el estudiante Nicole Cubero Soto, titulada Diseño de un protocolo de gestión de Riesgo Basado en la Norma ISO 31000 para Infraestructura Vial Municipal en Rutas Cantonales Prioritarias del Cantón Guatuso durante el periodo II Cuatrimestre del 2026, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

Ing. Erick Alpízar Mena
Lector de Tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton

ING. ERICK
ALPIZAR MENA MBA
— IC-22605 —
INGENIERO CIVIL

Tabla de contenidos

Tribunal examinador II

Declaración jurada III

Dedicatoria V

Agradecimientos VII

Carta de aprobación del director de tesis VIII

Carta de aprobación del lector X

Tabla de contenidos 1

Índice de tablas 7

Índice de figuras 7

Resumen ejecutivo español / inglés 9

Capítulo 1: Introducción 12

1.1. Planteamiento del problema de investigación 12

1.1.1. Contexto. 12

1.1.2. Justificación 21

1.1.3. Problema de investigación 23

1.1.4. Estado del arte 24

1.2. Objetivos de la investigación 28

1.2.1. Objetivo general 28

1.2.2. Objetivos específicos 28

1.3. Las variables o categorías de análisis 29

1.3.1. Categorías de análisis 29

1.3.2. Matriz de la investigación 29

1.4. Alcances 35

1.5. Hipótesis 37

Capítulo 2: Marco Teórico 38

2.1. Infraestructura vial municipal 38

2.1.1. Concepto de infraestructura vial 38

2.1.2. Red vial cantonal en Costa Rica 40

2.1.3. Componentes de la infraestructura vial 41

2.2. Gestión de riesgo 43

2.2.1. Riesgos 43

2.2.2. Amenaza 45

2.2.3. Vulnerabilidad 46

2.2.4. Exposición 47

2.2.5. Resiliencia de Infraestructura Vial 48

2.3. Amenazas que afectan la infraestructura vial 49

2.3.1. Inundaciones 49

2.3.2. Deslizamientos 50

2.3.3. Erosión 51
2.3.4. Deterioro estructural de pavimentos 52
2.3.5. Sobrecargas vehiculares 53
2.4. Norma ISO 31000 55
2.4.1. Antecedentes 55
2.4.2. Principios 55
2.4.3. Marco de referencia de la ISO 31000 57
2.4.4. Proceso de gestión de riesgo 57
2.5. Inspección y monitoreo de la infraestructura vial 59
2.6. Mantenimiento vial 61
2.6.1. Mantenimiento preventivo 62
2.6.2. Mantenimiento correctivo 63
2.6.3. Gestión de activos viales 64
2.6.4. Priorización de recursos municipales 64
2.7. Protocolo de gestión de riesgo 65
2.8. Marco normativo 66
2.8.1. Ley General de Caminos Públicos (Ley N.° 5060) 66
2.8.2. Ley N.° 9329: Primera Ley Especial para la Transferencia de Competencias 67
2.8.3. Manuales técnicos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) 67
2.8.4. Programa Red Vial Cantonal (PRVC) 68

2.8.5. Normativa técnica relacionada con drenajes y mantenimiento vial 69

2.8.6. Norma ISO 31000:2018 Gestión de riesgo 70

Capítulo 3. Marco Metodológico 71

3.1. Tipo de investigación 71

3.1.1. Naturaleza de la investigación. 72

3.1.2. Carácter de la investigación 73

3.2. Sujetos y fuentes de información 74

3.2.1. Sujetos de información 74

3.2.2. Fuentes de información 75

3.3. Muestra y población 76

3.3.1. Tipo de muestra 78

3.3.2. Descripción de la muestra 78

3.3.3. Descripción estadística de la población en estudio 79

3.4. Instrumentos y técnicas de recolección de datos 80

3.4.1. Diseño de instrumentos 81

3.4.2. Procedimiento de intervención 82

3.5. Estrategia de análisis de datos 83

3.5.1. Presentación y análisis de los datos 84

3.5.2. Cronograma 86

Capítulo 4. Análisis e interpretación de los resultados 87

4.1. Identificación de amenazas y vulnerabilidades de las seis rutas. 87

4.2. Valoración de los riesgos y determinación de puntos críticos. 131

4.2.1 Definición del alcance....132

4.2.2 Contexto externo e interno 132

4.2.3 Definición de los criterios de riesgo 134

4.2.4 Identificación del riesgo....136

4.2.5 Análisis del riesgo....137

4.2.6 Tratamiento y seguimiento del riesgo....139

4.3. Formulación de acciones de tratamiento y diseño del protocolo. 141

4.3.1 Acciones de tratamiento....141

4.3.2 Diseño del protocolo....143

Capítulo 5. Limitaciones, conclusiones y recomendaciones 145

5.1. Limitaciones....145

5.2. Conclusiones 147

5.3. Recomendaciones....148

Referencias 151

Anexos....159

Anexo 1: Protocolo de gestión de riesgo para la infraestructura vial municipal del cantón de guatuso....159

Anexo 2: Norma ISO 31000....176

Anexo 3: Carta de autorización de la Municipalidad de Guatuso 177

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de investigación para la categoría 1 de análisis....29

Tabla 2. Matriz de investigación para la categoría 2 de análisis....31

Tabla 3. Matriz de investigación para la categoría 3 de análisis....33

Tabla 4. Cronograma de actividades....86

Tabla 5. Cronograma de visitas....88

Tabla 6. Matriz consolidada de riesgos....113

Tabla 7. Matriz de riesgos....137

Tabla 8. Matriz de nivel de riesgo....138

Tabla 9. Matriz de nivel de riesgo....142

Índice de figuras

Figura 1. Croquis Ruta Cabanga–Río Venado....15

Figura 2. Croquis Ruta El Silencio–La Poma....16

Figura 3. Croquis Ruta Margarita–Bar El Imperio....17

Figura 4. Croquis Ruta San Juan–Finca El Cubano....18

Figura 5. Croquis Ruta Puesto Fuerza Pública–Pataste....19

Figura 6. Croquis Ruta Lourdes–Río Venado....20

Figura 7. Ficha de inspección Cabanga – Río Venado....90

Figura 8. Evidencia Cabanga – Río Venado....92

Figura 9. *Ficha de inspección El Silencio – La Poma*....94

Figura 10. *Evidencia El Silencio – La Poma*....96

Figura 11. *Ficha de inspección Margarita – Bar El Imperio*....98

Figura 12. *Evidencia Margarita – Bar El Imperio* 100

Figura 13. *Ficha de inspección San Juan – Finca El Cubano* 102

Figura 14. *Evidencia San Juan – Finca El Cubano*.....104

Figura 15. *Ficha de inspección Puesto Fuerza Pública – Pataste* 105

Figura 16. *Evidencia Puesto Fuerza Pública – Pataste*.....107

Figura 17. *Ficha de inspección Lourdes – Río Venado*.....109

Figura 18. *Evidencia Lourdes – Río Venado* 111

Figura 19. Frecuencia que se realizan inspecciones de la infraestructura vial para identificar posibles riesgos 119

Figura 20. Criterio utilizado para priorizar las intervenciones en las rutas cantonales 122

Figura *21*. Herramienta para identificar riesgos en la infraestructura vial.....125

Figura 22. Aspecto que debería fortalecerse para mejorar la gestión de riesgo en la infraestructura vial 129

Resumen ejecutivo español / inglés

Resumen ejecutivo español

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar un protocolo de gestión de riesgo basado en la norma ISO 31000 para la infraestructura vial municipal en rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso. La propuesta surgió ante la necesidad de fortalecer la gestión preventiva de los riesgos que afectan la transitabilidad, seguridad de los usuarios y conservación de la infraestructura vial.

La investigación empleó un enfoque mixto, mediante inspecciones de campo, revisión documental y entrevistas al personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal. El análisis se concentró en seis rutas cantonales prioritarias, donde se identificaron condiciones relacionadas con deterioro de superficies, deficiencias en sistemas de drenaje, inundaciones, deslizamientos y ausencia de estructuras de paso.

Los resultados permitieron determinar que los principales riesgos correspondieron a situaciones que podían provocar la pérdida de transitabilidad. Entre los riesgos extremos identificados destacaron la ausencia de un puente sobre el río Quequer, tramos intransitables, deslizamientos, zonas propensas a inundación y ausencia de pasos de alcantarillado. Asimismo, se evidenció que la priorización de intervenciones dependía principalmente del estado de las rutas y de las necesidades inmediatas, mientras que las inspecciones de campo constituían el principal mecanismo para identificar riesgos.

Como respuesta a estas condiciones, se diseñó un protocolo que establece procedimientos para la identificación, análisis, evaluación, tratamiento, monitoreo y seguimiento de los riesgos. Además, incorpora criterios de valoración, responsables, registros, indicadores y mecanismos de

actualización, con el propósito de facilitar una gestión vial más ordenada, preventiva y basada en criterios técnicos.

Se concluyó que la implementación del protocolo permitiría fortalecer la capacidad de la Municipalidad de Guatuso para priorizar intervenciones, atender oportunamente los riesgos y mejorar la continuidad y seguridad de la red vial cantonal. Se recomendó mantener actualizada la matriz de riesgos, fortalecer las inspecciones y documentar las acciones realizadas para garantizar un seguimiento adecuado.

English Executive Summary

This research aimed to design a risk management protocol based on the ISO 31000 standard for municipal road infrastructure along priority canton routes in the canton of Guatuso. The proposal arose from the need to strengthen preventive management of risks affecting passability, user safety, and the preservation of road infrastructure.

The study employed a mixed-methods approach, utilizing field inspections, document reviews, and interviews with staff from the Municipal Technical Unit for Road Management. The analysis focused on six priority canton routes, identifying conditions such as surface deterioration, drainage system deficiencies, flooding, landslides, and a lack of crossing structures.

The results indicated that the primary risks involved situations capable of causing a loss of passability. Key extreme risks identified included the absence of a bridge over the Quequer River, impassable sections, landslides, flood-prone areas, and a lack of culverts. Furthermore, it was found that the prioritization of interventions relied mainly on the condition of the routes and immediate needs, while field inspections served as the primary mechanism for identifying risks.

In response to these conditions, a protocol was designed establishing procedures for risk identification, analysis, evaluation, treatment, monitoring, and follow-up. It also incorporates assessment criteria, assigned responsibilities, records, indicators, and update mechanisms, aiming to facilitate road management that is more organized, preventive, and based on technical criteria.

It was concluded that implementing the protocol would strengthen the Municipality of Guatuso's capacity to prioritize interventions, address risks in a timely manner, and improve the continuity and safety of the canton's road network. Recommendations included keeping the risk matrix up to date, strengthening inspections, and documenting actions taken to ensure proper follow-up.

Capítulo 1: Introducción

En el Capítulo 1 se establece el marco referencial y la ruta metodológica inicial de la investigación, centrada en la infraestructura vial del cantón de Guatuso. En primer lugar, se presenta el planteamiento del problema, donde se analiza la vulnerabilidad de las rutas cantonales frente a eventos hidrometeorológicos y la necesidad de implementar una gestión preventiva que reduzca los riesgos asociados. Posteriormente, se expone la justificación técnica del estudio y se definen los objetivos que orientan el diseño de un protocolo de gestión basado en la norma ISO 31000. Finalmente, se delimitan los alcances de la evaluación estructural e hidráulica de las rutas prioritarias y se formula la hipótesis de trabajo, la cual plantea la transición hacia un modelo de mantenimiento preventivo que fortalezca la gestión vial de la Municipalidad de Guatuso.

1.1. Planteamiento del problema de investigación

A continuación, se presentan y desarrollan los apartados del planteamiento del problema de la investigación.

1.1.1. Contexto.

La infraestructura vial constituye un elemento fundamental para el desarrollo económico y social de los cantones, ya que favorece la conectividad entre comunidades y facilita el acceso a servicios esenciales como salud, educación y comercio. En Costa Rica, las rutas cantonales representan una parte importante de la red de transporte terrestre; sin embargo, muchas de ellas presentan problemas asociados al deterioro estructural, deficiencias en los sistemas de drenaje y una alta vulnerabilidad frente a fenómenos naturales.

Durante los últimos años, el incremento de eventos hidrometeorológicos, tales como lluvias intensas e inundaciones, ha provocado afectaciones significativas en la red vial cantonal. De igual forma, amenazas como deslizamientos, procesos erosivos y fallas hidráulicas han aumentado los niveles de riesgo y las necesidades de mantenimiento e intervención. Estas condiciones repercuten directamente en la movilidad de la población, la seguridad vial y la continuidad de las actividades económicas y sociales desarrolladas en las comunidades.

En el cantón de Guatuso, la red vial cantonal desempeña una función estratégica para la conectividad territorial y el acceso a actividades productivas, agrícolas y de servicios. Varias de las rutas prioritarias presentan características predominantemente rurales y sirven como vías de enlace con la Ruta Nacional N.° 4, lo que les confiere una relevancia significativa para la movilidad interna del cantón y la comunicación con otros sectores de la región. Asimismo, la red vial cantonal comprende una importante extensión de caminos con diferentes tipos de superficie, entre ellas vías asfaltadas y de lastre, las cuales presentan distintos niveles de conservación y funcionalidad.

Esta diversidad en las características de las rutas, sumada a la atención de múltiples comunidades y al tránsito de vehículos particulares, transporte público y actividades agropecuarias, hace necesario establecer criterios de jerarquización que permitan orientar de manera eficiente las labores de mantenimiento y conservación. A ello se agregan amenazas recurrentes, como deslizamientos, inundaciones, erosión, obstrucción de los sistemas de drenaje y deterioro progresivo de la superficie de rodamiento, que incrementan la vulnerabilidad de la infraestructura vial del cantón.

Ante este escenario, la gestión de riesgo constituye una herramienta clave para reducir las vulnerabilidades existentes y fortalecer la resiliencia de la infraestructura vial. En este sentido, la

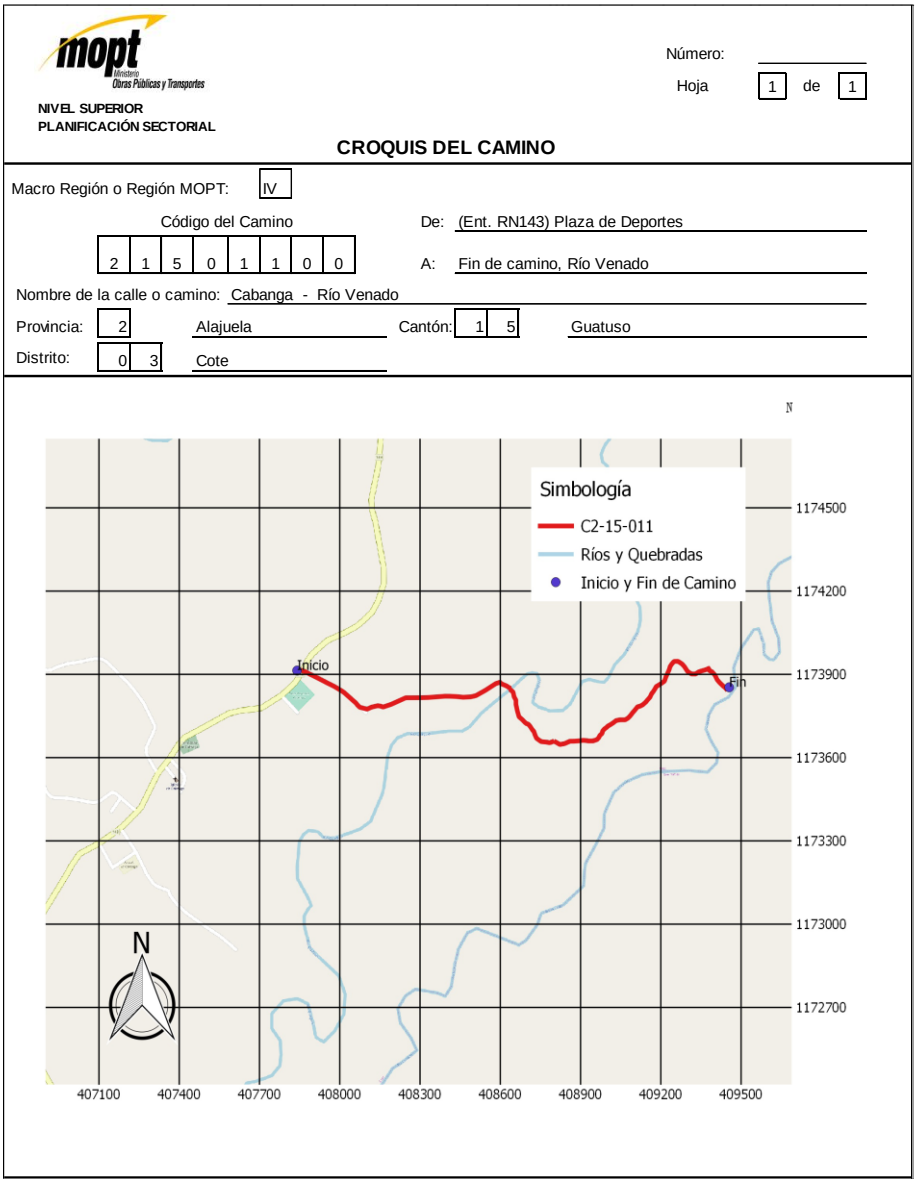
norma ISO 31000 proporciona lineamientos para la identificación, análisis, evaluación y tratamiento de riesgos, permitiendo el desarrollo de metodologías orientadas a la prevención y mitigación de las amenazas que inciden sobre el sistema vial cantonal.

Las seis rutas cantonales seleccionadas corresponden a caminos de relevancia para la conectividad de las comunidades rurales del cantón de Guatuso, debido a que facilitan el acceso a centros poblados, servicios públicos y zonas de producción agropecuaria. Para efectos de la presente investigación, las características generales de cada ruta se estimaron a partir del reconocimiento de campo y de la información cartográfica disponible.

Los datos correspondientes a la población beneficiada y al tránsito vehicular de las seis rutas cantonales analizadas se presentan como estimaciones, debido a que durante el desarrollo de la investigación no se realizaron conteos vehiculares ni censos poblacionales específicos para cada ruta. Estas estimaciones se obtuvieron a partir de la información secundaria disponible y proporcionada por la Municipalidad de Guatuso, considerando los registros y criterios utilizados por la institución para la caracterización de la red vial cantonal y de las comunidades atendidas. Por lo tanto, los valores consignados para cada ruta deben interpretarse como datos referenciales utilizados para complementar la caracterización de las vías y establecer su importancia dentro del análisis, y no como mediciones directas realizadas por el desarrollador del proyecto.

La ruta cantonal 21501100 Cabanga–Río Venado posee una longitud aproximada de 6,5 km, con una superficie de ruedo predominantemente de lastre. Se ubica en el distrito de Río Venado y beneficia aproximadamente a 650 habitantes, con un tránsito estimado de 180 vehículos por día, compuesto principalmente por vehículos livianos, transporte escolar y camiones agrícolas. Su importancia estratégica radica en conectar comunidades rurales con la red vial principal y facilitar el transporte de productos agropecuarios.

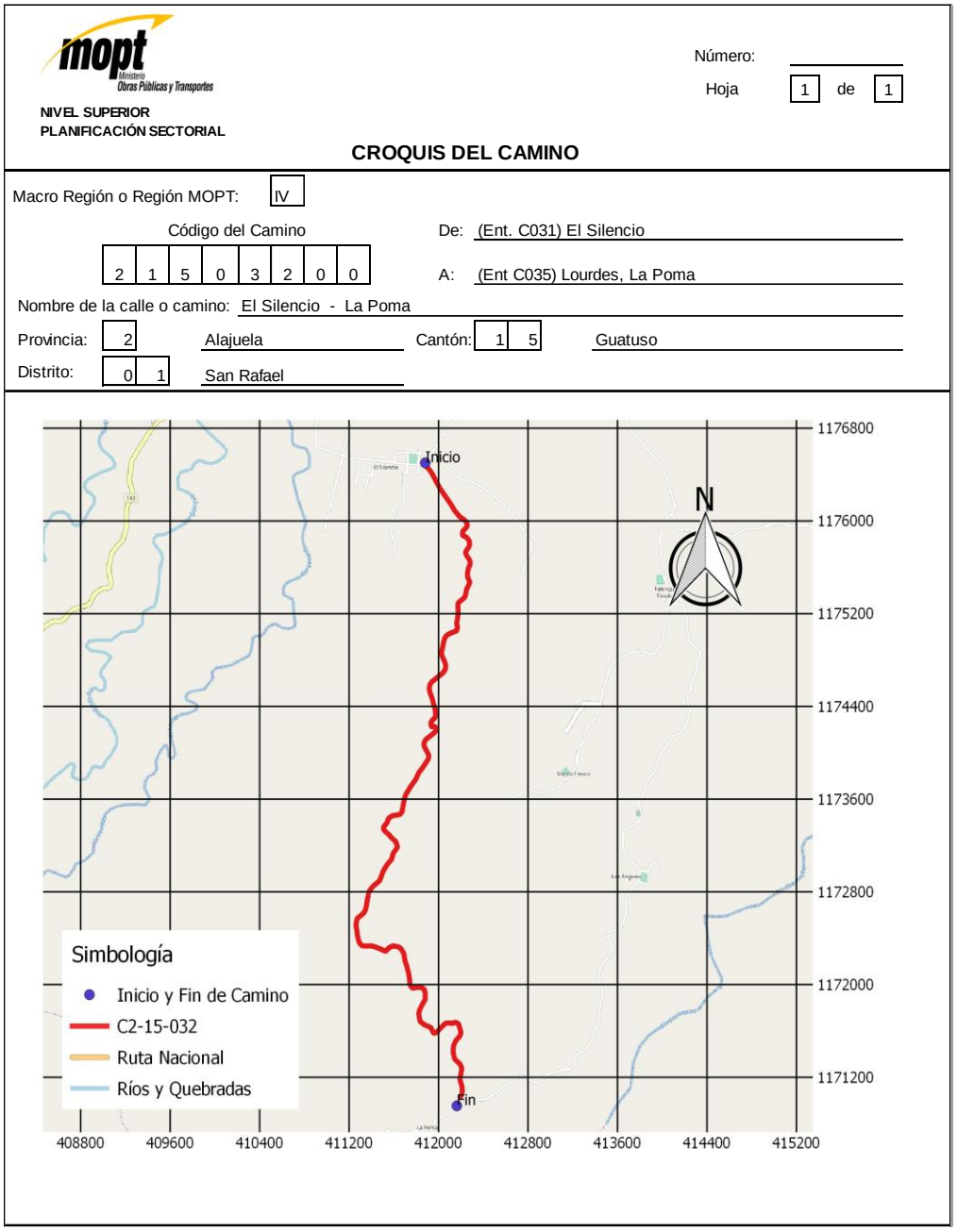
Figura 1. Croquis Ruta Cabanga–Río Venado



Nota: Municipalidad de Guatuso, (2026).

La ruta 21503200 El Silencio–La Poma presenta una longitud aproximada de 5,2 km, con superficie de lastre en la mayor parte del recorrido. Beneficia a una población cercana a 500 habitantes y registra un tránsito estimado de 140 vehículos diarios. Constituye una vía de acceso para fincas agrícolas y ganaderas, además de servir como enlace con otras rutas cantonales.

Figura 2. Croquis Ruta El Silencio–La Poma

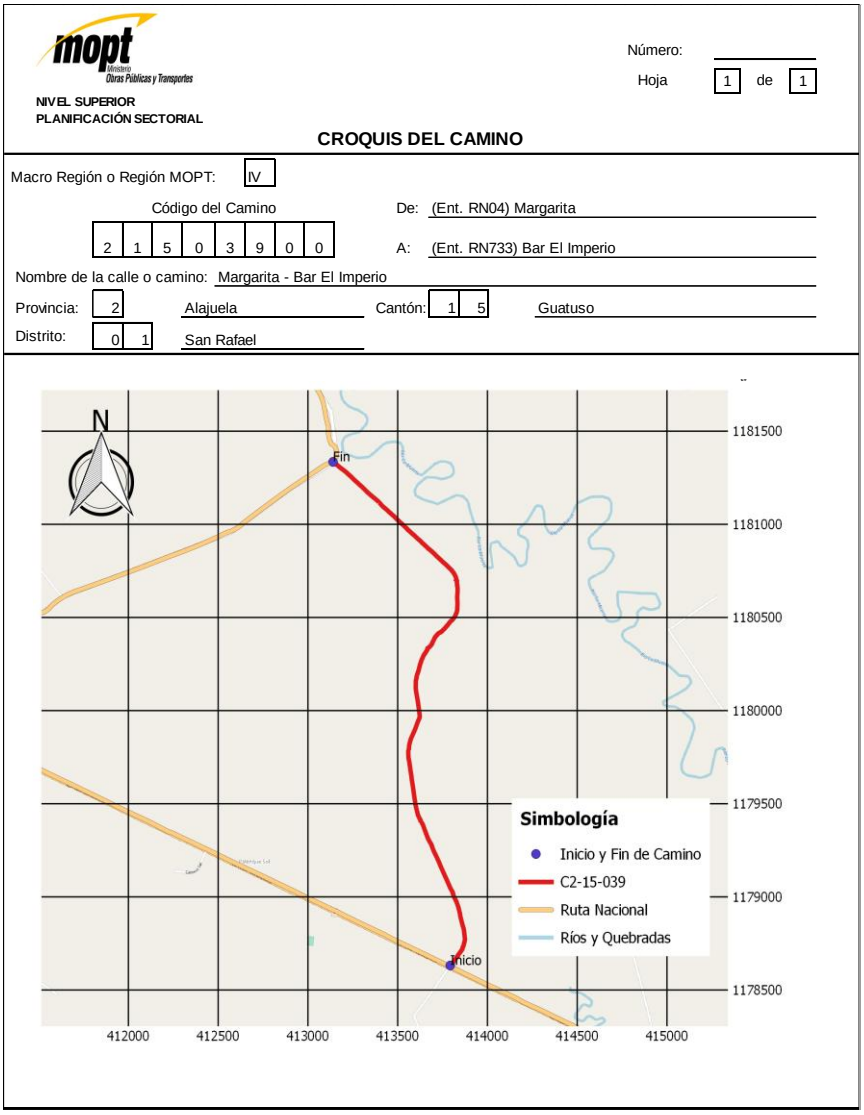


Nota: Municipalidad de Guatuso, (2026).

La ruta 21503900 Margarita–Bar El Imperio tiene una longitud estimada de 4,3 km y una superficie de ruedo de lastre. Se estima que beneficia a 420 habitantes y soporta un tránsito

aproximado de 120 vehículos por día. Su función principal es facilitar la movilidad local y el traslado de productos agropecuarios hacia los centros de comercialización.

Figura 3. Croquis Ruta Margarita–Bar El Imperio

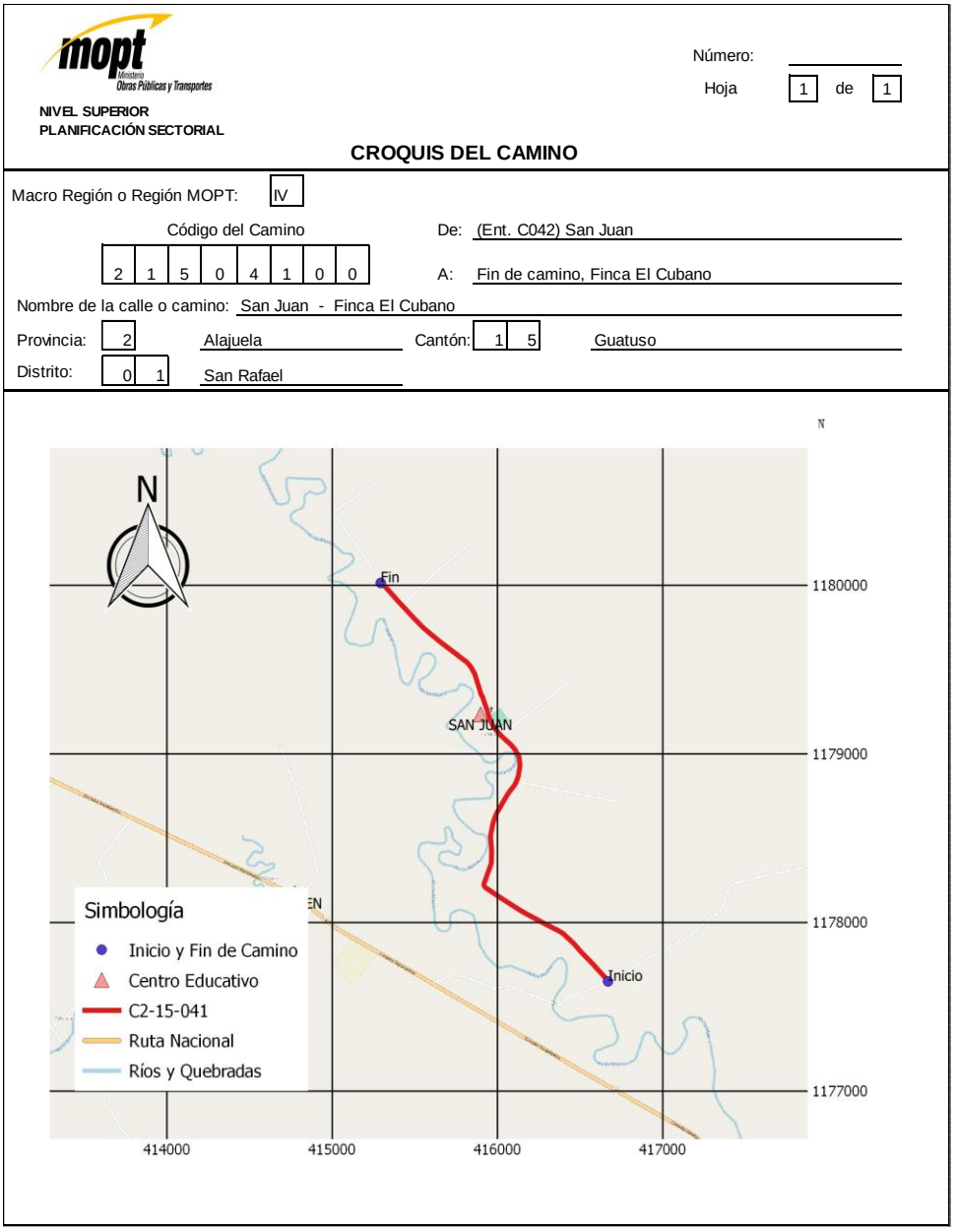


Nota: Municipalidad de Guatuso, (2026).

La ruta 21504100 San Juan–Finca El Cubano cuenta con una longitud aproximada de 7,1 km, superficie de lastre y una población beneficiada cercana a 700 habitantes. El tránsito estimado es de 200 vehículos diarios, debido a la presencia de actividades agropecuarias y al

desplazamiento cotidiano de los residentes. Esta ruta constituye un acceso importante para la producción agrícola y ganadera del sector.

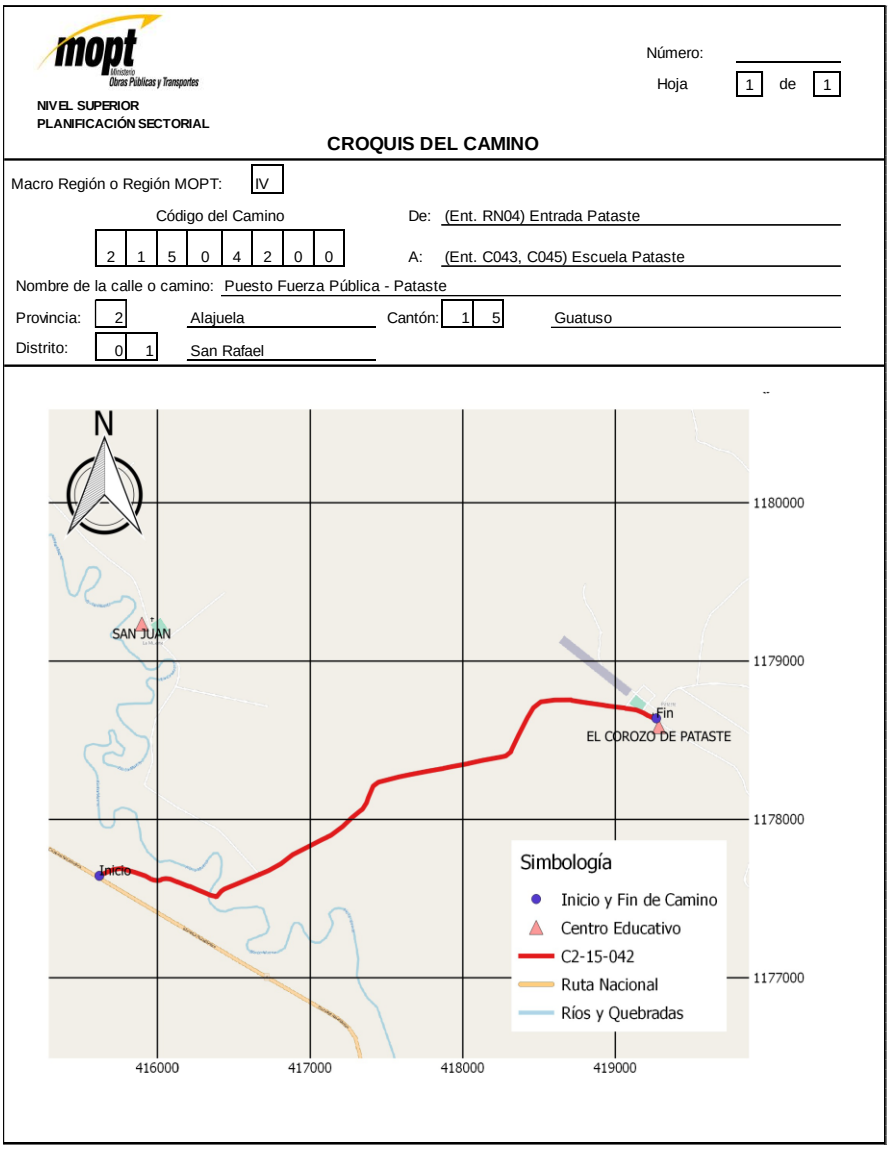
Figura 4. Croquis Ruta San Juan–Finca El Cubano



Nota: Municipalidad de Guatuso, (2026).

La ruta 21504200 Puesto Fuerza Pública–Pataste posee una longitud aproximada de 3,8 km, superficie de lastre y beneficia a cerca de 380 habitantes. El tránsito promedio se estima en 110 vehículos diarios, destacando su función como vía de acceso para servicios públicos, atención de emergencias y comunicación entre comunidades rurales.

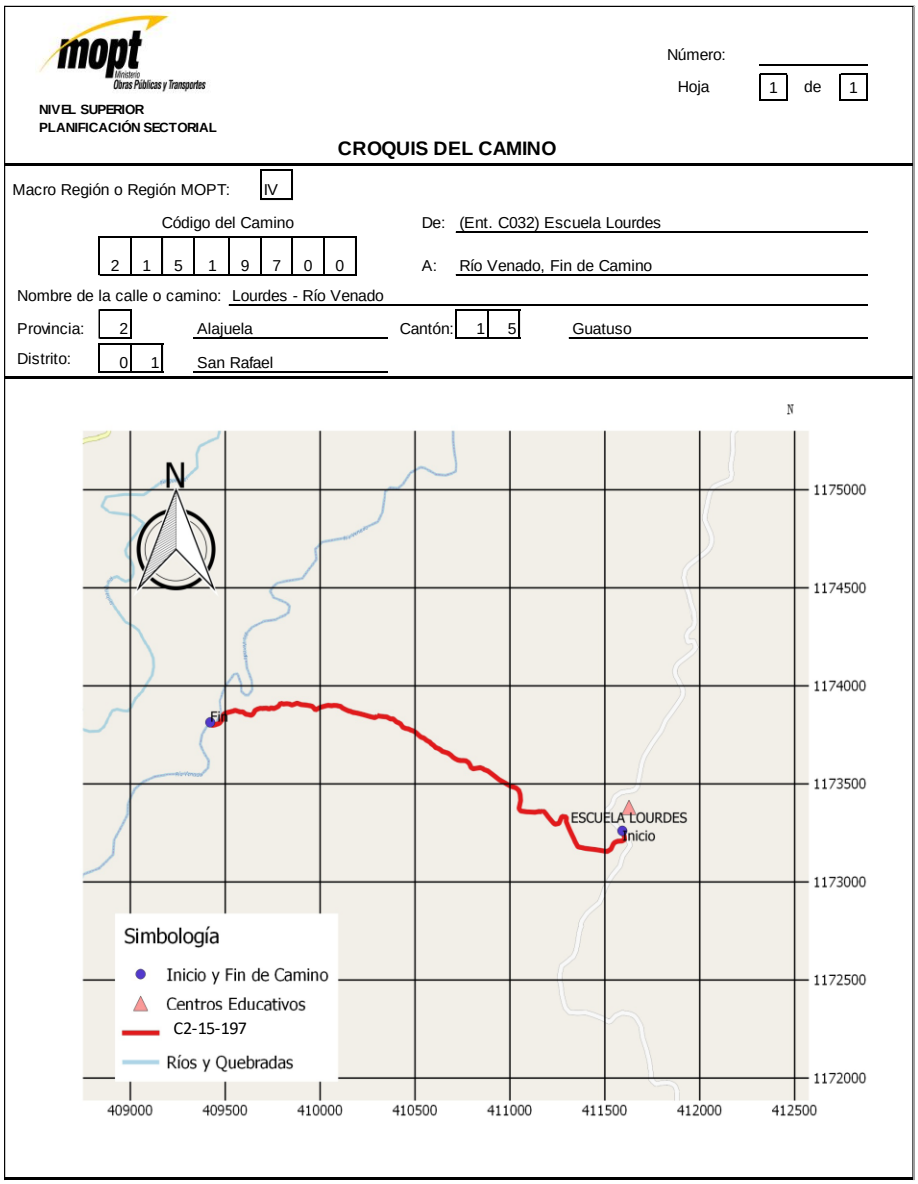
Figura 5. Croquis Ruta Puesto Fuerza Pública–Pataste



Nota: Municipalidad de Guatuso, (2026).

Finalmente, la ruta 21519700 Lourdes–Río Venado presenta una longitud aproximada de 8,4 km, con superficie de ruedo de lastre. Se estima que beneficia a 850 habitantes y soporta un tránsito cercano a 220 vehículos por día. Debido a su conectividad con otras rutas cantonales y a su papel en el acceso a comunidades rurales y zonas productivas, se considera una de las vías de mayor importancia estratégica dentro del área de estudio.

Figura 6. Croquis Ruta Lourdes–Río Venado



Nota: Municipalidad de Guatuso, (2026).

1.1.2. Justificación

El cantón de Guatuso, décimo quinto de la provincia de Alajuela, ocupa la posición 79 en el Índice de Competitividad Nacional, lo que refleja desafíos importantes en diferentes ámbitos del desarrollo territorial. En este contexto, las condiciones de la infraestructura vial inciden directamente en la calidad de vida de la población, ya que condicionan el acceso a servicios esenciales, la movilidad de los habitantes y el desarrollo de actividades productivas. La conectividad vial resulta especialmente relevante debido a la vocación agropecuaria del cantón, donde el transporte eficiente de personas, insumos y productos constituye un factor determinante para la dinámica económica local.

La selección de las seis rutas cantonales prioritarias se fundamentó en la información técnica contenida en el Plan Vial Quinquenal de Conservación y Desarrollo 2022-2027 de la Municipalidad de Guatuso. De acuerdo con dicho documento, la red vial cantonal del cantón está conformada por 244 caminos inventariados y codificados, con una longitud total aproximada de 530,43 km. De esta extensión, 338,36 km corresponden a caminos de lastre, 123,46 km a caminos de tierra, 54,84 km cuentan con tratamiento superficial bituminoso (TSB), 13,15 km son asfaltados y 0,61 km corresponden a concreto.

Asimismo, la evaluación del estado de la red determinó que 238,50 km se encuentran en condición mala, 144,55 km en condición regular y 147,37 km en condición buena, situación que evidencia la necesidad de establecer prioridades de intervención. Bajo este contexto, las seis rutas analizadas fueron seleccionadas debido a su importancia dentro de la planificación vial municipal, considerando criterios técnicos como el Índice de Viabilidad Técnico Social (IVTS), la conectividad entre comunidades, la demanda de tránsito, el acceso a servicios esenciales y

actividades productivas, así como su vulnerabilidad frente a amenazas naturales, aspectos contemplados en el proceso de priorización del Plan Vial Quinquenal.

Desde una perspectiva técnica, la investigación se justifica por la necesidad de incorporar herramientas que permitan gestionar de manera sistemática los riesgos asociados a la infraestructura vial. Tradicionalmente, las intervenciones en la red cantonal suelen ejecutarse una vez que los daños ya se han manifestado, lo que favorece un enfoque correctivo y reactivo. Ante esta realidad, resulta necesario implementar metodologías que permitan identificar amenazas, analizar vulnerabilidades y valorar riesgos de forma anticipada, con el propósito de priorizar intervenciones preventivas y optimizar el uso de los recursos disponibles.

Desde el ámbito institucional, el desarrollo de un protocolo de gestión de riesgo representará una herramienta de apoyo para la Municipalidad de Guatuso y para la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal, al proporcionar criterios técnicos que faciliten la toma de decisiones relacionadas con la planificación, priorización y ejecución de intervenciones. Asimismo, contribuirá a fortalecer la capacidad de gestión de la administración local mediante la asignación más eficiente de recursos destinados al mantenimiento y conservación de la red vial cantonal, favoreciendo una gestión basada en criterios preventivos en lugar de correctivos.

Desde la perspectiva académica, esta investigación aportará una propuesta metodológica para la aplicación de los principios de la norma ISO 31000 en la gestión de riesgo de infraestructura vial cantonal. Además, contribuirá al desarrollo de conocimiento en áreas relacionadas con la gestión de activos viales, la resiliencia de la infraestructura y la planificación del mantenimiento de redes de transporte. Los resultados obtenidos podrán servir como referencia para futuras investigaciones y para la implementación de estrategias similares en otros

gobiernos locales que enfrenten problemáticas asociadas al deterioro vial y la exposición a amenazas naturales.

Por lo anterior, la elaboración de un protocolo de gestión de riesgo basado en la norma ISO 31000 constituye una alternativa técnica orientada a fortalecer la conservación de la infraestructura vial del cantón de Guatuso, mejorar los procesos de planificación y contribuir al desarrollo sostenible de las comunidades que dependen de esta red para sus actividades cotidianas y productivas.

1.1.3. Problema de investigación

En el cantón de Guatuso, donde las actividades de producción agropecuaria representan una de las principales fuentes de ingresos para la población, el adecuado funcionamiento de la red vial resulta determinante para la conectividad entre comunidades y el desarrollo de las actividades productivas. No obstante, diversas rutas cantonales presentan condiciones de vulnerabilidad asociadas al deterioro estructural, deficiencias en los sistemas de drenaje y afectaciones provocadas por fenómenos hidrometeorológicos. Durante los últimos años, eventos como inundaciones, deslizamientos y procesos erosivos han incrementado el deterioro de la infraestructura vial, generando daños recurrentes y mayores necesidades de mantenimiento e intervención.

Estas condiciones afectan la movilidad de los habitantes, dificultan el transporte de productos agropecuarios y limitan el acceso oportuno a servicios esenciales. Asimismo, algunas vías presentan niveles avanzados de deterioro e incluso condiciones de intransitabilidad, situación que reduce la conectividad entre comunidades y aumenta la vulnerabilidad ante

situaciones de emergencia. En determinados sectores, el deterioro de las vías ha ocasionado restricciones al tránsito y afectaciones en la prestación del servicio de transporte público.

A esta situación se suman limitaciones institucionales relacionadas con la disponibilidad de recursos, el acceso a fuentes de material, la capacidad operativa de la maquinaria y la ausencia de herramientas técnicas que permitan identificar, analizar y priorizar los riesgos asociados a la infraestructura vial cantonal. Como consecuencia, las intervenciones suelen ejecutarse de manera correctiva una vez que los daños ya se han materializado, lo que incrementa los costos de atención y dificulta una planificación eficiente de los recursos disponibles.

En este contexto, surge la necesidad de contar con mecanismos técnicos que faciliten la identificación de amenazas, la evaluación de vulnerabilidades y la priorización de riesgos en las rutas cantonales de mayor relevancia para la conectividad del cantón. A partir de lo expuesto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo diseñar un protocolo de gestión de riesgos para la infraestructura vial municipal del cantón de Guatuso, basado en los lineamientos de la norma ISO 31000, a partir de la identificación de amenazas y factores de vulnerabilidad, la valoración de los riesgos y la definición de acciones de tratamiento en las rutas cantonales prioritarias?

1.1.4. Estado del arte

La gestión de riesgo aplicada a la infraestructura vial ha cobrado una creciente relevancia debido al incremento de amenazas naturales que afectan la funcionalidad de las redes de transporte. En Costa Rica, diversos estudios han abordado la evaluación de vulnerabilidades, la gestión vial municipal y la resiliencia de la infraestructura vial frente a eventos hidrometeorológicos y geológicos. Asimismo, a nivel internacional se han desarrollado

investigaciones que incorporan los principios de la gestión de riesgo establecidos por la norma ISO 31000 en la administración de activos viales y sistemas de transporte.

Uno de los principales antecedentes en Costa Rica corresponde al estudio realizado por Cordero Carballo, Vargas Monge y Garro Mora (2010), quienes desarrollaron metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura vial nacional ante amenazas naturales. La investigación analizó componentes como alcantarillas, taludes, puentes y zonas susceptibles a flujos de detritos, mediante procedimientos técnicos orientados a determinar niveles de vulnerabilidad y exposición. Los resultados evidenciaron que la aplicación de metodologías de evaluación permite identificar sectores críticos de la red vial y establecer prioridades de intervención para la gestión de riesgo. Este estudio constituye una referencia importante para la presente investigación debido a que incorpora procesos de identificación de amenazas y análisis de vulnerabilidad aplicables a la infraestructura vial.

Posteriormente, Xu Ye, López Ramírez, Allen Monge y Loría Salazar (2018) analizaron el desarrollo de la gestión vial municipal en Costa Rica desde una perspectiva político-técnica. Mediante el análisis del marco normativo y administrativo que regula la red vial cantonal, los autores identificaron limitaciones relacionadas con la capacidad técnica, la planificación y la asignación de recursos en los gobiernos locales. Los resultados señalaron la necesidad de fortalecer las herramientas de gestión y los procesos de toma de decisiones para mejorar la conservación y funcionalidad de la red vial cantonal.

De igual manera, Allen Monge (2025) examinó los componentes esenciales de las Unidades Técnicas de Gestión Vial Municipal en Costa Rica. La investigación identificó la necesidad de implementar procedimientos sistemáticos de inspección, monitoreo y planificación que permitan optimizar la gestión de los activos viales. Entre las principales conclusiones se

destaca que muchas municipalidades presentan limitaciones operativas para desarrollar estrategias preventivas, por lo que requieren instrumentos técnicos que apoyen la identificación y priorización de riesgos.

A nivel internacional, la gestión de riesgo basada en estándares como la norma ISO 31000 ha sido ampliamente aplicada en la administración de infraestructura de transporte y activos viales. Nicolosi et al. (2022) desarrollaron una metodología probabilística para evaluar la resiliencia sísmica de redes viales dentro de los procesos de gestión de activos. La investigación empleó modelos probabilísticos para analizar la vulnerabilidad de la infraestructura y determinar estrategias de mitigación orientadas a reducir las pérdidas funcionales durante eventos sísmicos. Los resultados demostraron que la incorporación de criterios de riesgo en la gestión de activos permite mejorar significativamente la capacidad de recuperación de la red vial y optimizar la asignación de recursos para mantenimiento e intervención.

Por otra parte, Allen et al. (2025) realizaron una revisión sistemática internacional sobre la integración de la resiliencia y la gestión de riesgo en la administración de activos de redes viales. Los autores analizaron múltiples investigaciones relacionadas con amenazas naturales, resiliencia vial y gestión de infraestructura de transporte. Entre sus principales hallazgos identificaron una tendencia creciente hacia la utilización de metodologías basadas en riesgo para apoyar la planificación, priorización de inversiones y toma de decisiones en organismos responsables de la infraestructura vial.

Por otra parte, Chang y Hossain (2024) desarrollaron una metodología de gestión de riesgo para infraestructura vial resiliente frente al cambio climático. La investigación integró inventarios de activos, sistemas de información geográfica (SIG) y bases de datos de riesgos para identificar amenazas asociadas a inundaciones, huracanes y otros eventos extremos. Los autores

concluyen que la incorporación de principios alineados con ISO 31000 permite priorizar inversiones y fortalecer la resiliencia de la infraestructura vial mediante enfoques preventivos y basados en riesgo.

Las experiencias internacionales coinciden en que la gestión de riesgo debe formar parte integral de los procesos de conservación y mantenimiento vial, permitiendo pasar de esquemas reactivos o correctivos hacia enfoques preventivos basados en evidencia técnica. De igual manera, destacan la importancia de establecer procedimientos estandarizados para la identificación, evaluación, tratamiento y monitoreo de riesgos asociados a la infraestructura vial.

La revisión de antecedentes nacionales e internacionales evidencia importantes avances en la evaluación de vulnerabilidades, la gestión de activos viales y la incorporación de criterios de riesgo en la planificación de infraestructura de transporte. Sin embargo, la mayoría de los estudios desarrollados en Costa Rica se han concentrado en diagnósticos de vulnerabilidad, análisis institucionales o evaluaciones de la red vial nacional, sin abordar de forma específica el diseño de protocolos de gestión de riesgo para gobiernos locales.

Asimismo, aunque a nivel internacional existen experiencias exitosas de aplicación de metodologías alineadas con la norma ISO 31000 en la gestión de infraestructura vial, no se identifican investigaciones orientadas al desarrollo de protocolos adaptados a las condiciones operativas de municipalidades rurales costarricenses. En particular, se observa una ausencia de herramientas metodológicas enfocadas en la red vial cantonal del cantón de Guatuso.

Por esta razón, la presente investigación busca contribuir al conocimiento aplicado mediante el diseño de un protocolo de gestión de riesgo basado en los lineamientos de la norma

ISO 31000, sustentado en la identificación de amenazas, la valoración de riesgos y la formulación de acciones de tratamiento para la infraestructura vial del cantón de Guatuso.

1.2. Objetivos de la investigación

A continuación, se presentan el objetivo general y específicos de la investigación.

1.2.1. Objetivo general

- Diseñar un protocolo de gestión de riesgos para la infraestructura vial municipal del cantón de Guatuso, basado en los lineamientos de la norma ISO 31000, a partir de la identificación de amenazas y factores de vulnerabilidad, la valoración de los riesgos y la definición de acciones de tratamiento en las rutas cantonales prioritarias.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar las principales amenazas y factores de vulnerabilidad que afectan las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso mediante el levantamiento de fichas técnicas de inspección de los componentes hidráulicos y estructurales de la infraestructura vial.
- Valorar los riesgos asociados a las amenazas y factores de vulnerabilidad identificados mediante una matriz de riesgos que integre criterios de probabilidad y consecuencia, con el propósito de establecer niveles de riesgo y prioridades de intervención.
- Formular acciones para el tratamiento de los riesgos identificados mediante lineamientos técnicos de inspección, monitoreo, mantenimiento preventivo, medidas de mitigación y priorización de intervenciones, como base para el diseño de un protocolo de gestión de riesgos conforme a la norma ISO 31000.

1.3. Las variables o categorías de análisis

1.3.1. Categorías de análisis

Las categorías de análisis constituyen los ejes temáticos que orientan el proceso de recopilación, organización e interpretación de la información necesaria para el desarrollo de la presente investigación. Estas categorías fueron definidas a partir de los objetivos específicos planteados y permiten estructurar el estudio de manera coherente con el enfoque de gestión de riesgo propuesto. Las categorías de análisis son:

- Categoría 1. Identificación de amenazas y factores de vulnerabilidad que afectan las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso.
- Categoría 2. Valoración de los riesgos asociados a los puntos críticos identificados mediante criterios de probabilidad e impacto.
- Categoría 3. Formulación de acciones de tratamiento del riesgo para su incorporación en un protocolo de gestión de riesgo basado en la norma ISO 31000

1.3.2. Matriz de la investigación

A continuación, se presentan las matrices de la investigación:

Tabla 1. Matriz de investigación para la categoría 1 de análisis

Categoría de análisis		
Identificación de amenazas y factores de vulnerabilidad que afectan las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso.		
Definición conceptual	**Dimensiones**	**Indicadores**

Factores de vulnerabilidad: Condiciones físicas, ambientales y operativas que incrementan la susceptibilidad de una infraestructura vial a sufrir daños o pérdidas funcionales ante la ocurrencia de una amenaza natural o antrópica.	Estado estructural de la vía	• Índice de condición del pavimento (ICP/PCI) • Presencia de fisuras, deformaciones o pérdida de material • Longitud de tramo deteriorado (m)
	Condiciones hidráulicas	• Estado funcional de alcantarillas • Porcentaje de alcantarillas obstruidas • Evidencia de erosión o socavación
	Exposición a amenazas naturales	• Número de eventos de inundación registrados • Número de eventos de deslizamiento registrados • Longitud afectada por eventos naturales (m)
Infraestructura vial cantonal: Conjunto de elementos físicos que conforman la red de transporte administrada por el gobierno local, incluyendo la superficie de rodamiento, drenajes, estructuras complementarias y demás componentes necesarios para garantizar la movilidad segura	Condición funcional de la infraestructura	• Transitabilidad de la ruta • Restricciones de circulación existentes • Estado general de la superficie de rodamiento
	Importancia para la conectividad	• Índice Medio Diario (IMD), cuando exista información disponible • Número de comunidades beneficiadas • Conectividad con rutas nacionales y centros de servicios

y eficiente de personas y mercancías.	Capacidad de respuesta ante emergencias	• Existencia de rutas alternas • Tiempo estimado de interrupción del tránsito • Accesibilidad a servicios esenciales durante emergencias
Definición instrumental		
Para identificar las principales amenazas y factores de vulnerabilidad presentes en las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso, se emplearán los siguientes instrumentos de recolección de información:		
1. Inspección técnica en campo: mediante fichas de inspección vial se evaluará el estado de los componentes estructurales e hidráulicos de las rutas seleccionadas, identificando daños, deterioros, deficiencias de drenaje, procesos erosivos y zonas susceptibles a inundaciones o deslizamientos.		
2. Revisión documental: análisis de informes técnicos, registros de mantenimiento, inventarios viales, reportes municipales y antecedentes de eventos hidrometeorológicos que permitan identificar amenazas recurrentes y afectaciones históricas.		
3. Entrevistas semiestructuradas: dirigidas al personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal y otros funcionarios relacionados con la administración de la infraestructura vial, con el propósito de recopilar criterios técnicos sobre amenazas, vulnerabilidades y necesidades de intervención. Se realizan cinco entrevistas, dirigidas a un ingeniero civil, dos maestros de obras y dos inspectores municipales, debido a que estos funcionarios participan de forma directa en la planificación, supervisión, inspección y mantenimiento de las rutas cantonales del cantón de Guatuso. La selección de los participantes se efectuará mediante un muestreo intencional o por criterio, considerando su experiencia, conocimiento técnico y participación en las actividades relacionadas con la gestión de la infraestructura vial municipal.intervención.		

Nota: Elaboración propia de los investigadores, (2026).

Tabla 2. Matriz de investigación para la categoría 2 de análisis

Categoría de análisis
Valoración de los riesgos asociados a los puntos críticos identificados mediante criterios de probabilidad e impacto, con el propósito de establecer niveles de riesgo y prioridades de intervención.

Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Puntos críticos: Sectores de la infraestructura vial que presentan una combinación significativa de amenazas, vulnerabilidades y consecuencias potenciales, requiriendo atención prioritaria para reducir los niveles de riesgo y garantizar la funcionalidad de la red vial.	Probabilidad de ocurrencia	• Frecuencia histórica de inundaciones. • Frecuencia histórica de deslizamientos. • Recurrencia de daños estructurales reportados.
	Condición de vulnerabilidad	• Estado estructural del tramo. • Estado de los sistemas de drenaje. • Presencia de erosión o socavación.
	Consecuencias potenciales	• Longitud afectada (m). • Tiempo estimado de interrupción del tránsito. • Número de comunidades afectadas.
Nivel de riesgo: Magnitud del riesgo resultante de la interacción entre la probabilidad de ocurrencia de un evento y el impacto que este puede generar sobre la infraestructura vial y la conectividad territorial.	Impacto sobre la infraestructura	• Grado de deterioro observado. • Costos estimados de reparación. • Afectación a componentes hidráulicos y estructurales.
	Impacto socioeconómico	• Índice Medio Diario (IMD), cuando exista información disponible. • Importancia estratégica de la ruta. • Acceso a servicios esenciales.
	Priorización de intervención	• Nivel de riesgo obtenido en la matriz (aceptable, tolerable, alto y extremo). • Urgencia de atención.

		• Prioridad asignada para intervención.
Definición instrumental		
Para valorar los riesgos asociados a los puntos críticos identificados en las rutas cantonales prioritarias, se utilizarán los siguientes instrumentos de recolección y análisis de información:		
1. Matriz de riesgo: instrumento de evaluación basado en la metodología de la norma ISO 31000, mediante el cual se determinarán los niveles de riesgo a partir de la relación entre la probabilidad de ocurrencia de eventos adversos y el impacto potencial sobre la infraestructura vial.		
2. Revisión documental: análisis de informes técnicos, registros históricos de mantenimiento, reportes de emergencias y antecedentes de eventos hidrometeorológicos que permitan determinar la frecuencia de ocurrencia de amenazas y sus efectos sobre las rutas evaluadas.		
3. Inspección técnica de campo: verificación de las condiciones físicas de los puntos críticos identificados para determinar el nivel de vulnerabilidad y las posibles consecuencias derivadas de eventos naturales o fallas operativas.		
4. Entrevistas semiestructuradas: aplicación de entrevistas al personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal para validar la información recopilada y establecer criterios de priorización de intervenciones.		

Nota: Elaboración propia de los investigadores, (2026).

Tabla 3. Matriz de investigación para la categoría 3 de análisis

Categoría de análisis		
Formulación de acciones de tratamiento del riesgo para su incorporación en un protocolo de gestión de riesgo basado en los lineamientos de la norma ISO 31000.		
Definición conceptual	**Dimensiones**	**Indicadores**

Tratamiento del riesgo: Proceso mediante el cual se seleccionan e implementan medidas orientadas a reducir la probabilidad de ocurrencia de eventos adversos, disminuir sus consecuencias o fortalecer la capacidad de respuesta institucional frente a riesgos que afectan la infraestructura vial.	Medidas preventivas	• Frecuencia de inspecciones programadas. • Frecuencia de mantenimiento preventivo. • Cumplimiento de cronogramas de monitoreo.
	Medidas de mitigación	• Obras de drenaje requeridas. • Necesidad de estabilización de taludes. • Acciones correctivas propuestas para puntos críticos.
	Priorización de intervenciones	• Nivel de riesgo identificado (aceptable, tolerable, alto y extremo). • Urgencia de intervención. • Costo estimado de intervención.
Lineamientos técnicos: Conjunto de criterios, procedimientos y directrices que orientan la inspección, evaluación, monitoreo y mantenimiento de la infraestructura vial, con el fin de apoyar la toma de decisiones y la gestión preventiva del riesgo.	Procedimientos de inspección y monitoreo	• Tipos de inspección definidos. • Periodicidad de inspecciones. • Registro de hallazgos técnicos.
	Gestión institucional	• Responsables asignados. • Procedimientos de seguimiento. • Mecanismos de reporte y control.

	Implementación del protocolo	• Número de acciones propuestas. • Nivel de aplicabilidad del protocolo. • Compatibilidad con la estructura operativa municipal.
Definición instrumental		
Para la formulación de acciones de tratamiento del riesgo y la elaboración del protocolo de gestión de riesgo, se utilizarán los siguientes instrumentos de recolección y análisis de información:		
1. Revisión bibliográfica y documental: análisis de la norma ISO 31000, literatura técnica relacionada con gestión de riesgo en infraestructura vial, manuales de mantenimiento vial y documentación institucional de la Municipalidad de Guatuso.		
2. Análisis de resultados de las etapas previas: utilización de la información obtenida durante la identificación de amenazas, evaluación de vulnerabilidades y valoración de riesgos para definir las acciones de tratamiento más adecuadas.		
3. Entrevistas semiestructuradas: aplicación de entrevistas al personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal con el propósito de validar la viabilidad técnica y operativa de las medidas propuestas.		
4. Diseño del protocolo: integración de lineamientos de inspección, monitoreo, mantenimiento preventivo, priorización de intervenciones y asignación de responsabilidades operativas, conforme a los principios y directrices establecidos por la norma ISO 31000.		

Nota: Elaboración propia de los investigadores, (2026).

1.4. Alcances

A continuación, se presentan los alcances de la investigación:

- Identificación de amenazas y factores de vulnerabilidad:

La investigación contempla la identificación de las principales amenazas y factores de vulnerabilidad que afectan las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso. Para ello, se

realiza una evaluación técnica de los componentes estructurales e hidráulicos mediante inspecciones de campo, con el propósito de determinar las condiciones de deterioro, las deficiencias de drenaje y la exposición a amenazas como inundaciones, deslizamientos y procesos erosivos.

- Valoración de riesgos y priorización de intervenciones:

El estudio comprenderá la valoración de los riesgos asociados a los puntos críticos identificados en las rutas analizadas, mediante la aplicación de criterios de probabilidad e impacto fundamentados en los principios de la norma ISO 31000. Este proceso permitirá determinar niveles de riesgo y establecer prioridades de intervención orientadas a la gestión preventiva de la infraestructura vial.

- Formulación de acciones de tratamiento del riesgo y diseño del protocolo:

La investigación incluirá la formulación de acciones de tratamiento del riesgo orientadas a reducir la vulnerabilidad de la infraestructura vial y fortalecer la capacidad de respuesta institucional. Con base en los resultados obtenidos, se diseñará un protocolo de gestión de riesgo sustentado en los lineamientos de la norma ISO 31000, adaptado a las condiciones operativas de la Municipalidad de Guatuso. El protocolo incorporará procedimientos de inspección, monitoreo, mantenimiento preventivo, priorización de intervenciones y seguimiento de riesgos asociados a la red vial cantonal. El alcance de la investigación se limita al diseño y formulación del protocolo, por lo que no contempla su implementación, aplicación operativa ni una validación de su eficacia mediante un periodo de seguimiento posterior.

1.5. Hipótesis

Se parte del supuesto de que la aplicación de los principios y lineamientos de la norma ISO 31000 al análisis de las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso permitirá estructurar una metodología para la identificación y valoración de amenazas, factores de vulnerabilidad y niveles de riesgo presentes en la infraestructura vial. A partir de esta valoración, será posible establecer criterios técnicos para la priorización de intervenciones y formular un protocolo de gestión de riesgos adaptado a las condiciones de la Municipalidad de Guatuso. Este supuesto se limita a la formulación de la propuesta, por lo que la investigación no contempla comprobar la eficacia del protocolo mediante su implementación o aplicación durante un periodo de seguimiento.

Capítulo 2: Marco Teórico

El presente capítulo desarrolla el marco teórico que sustenta la investigación, mediante la revisión y análisis de los principales conceptos, enfoques y antecedentes relacionados con la gestión de riesgo en infraestructura vial y los lineamientos establecidos por la norma ISO 31000. Asimismo, se abordan aspectos relacionados con la infraestructura vial cantonal, las amenazas y vulnerabilidades que afectan este tipo de activos, la valoración del riesgo y los protocolos de gestión aplicados a la toma de decisiones. La fundamentación teórica presentada proporciona el soporte conceptual necesario para comprender el problema de investigación y respaldar el diseño del protocolo de gestión de riesgo propuesto para las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso.

2.1. Infraestructura vial municipal

2.1.1. Concepto de infraestructura vial

La infraestructura vial constituye el conjunto de obras de ingeniería civil destinadas a garantizar la movilidad de personas y mercancías mediante una red de transporte segura, continua y eficiente. Está integrada por diversos componentes, entre ellos la calzada, las capas estructurales del pavimento, puentes, alcantarillas, sistemas de drenaje, taludes, obras de contención, señalización y demás elementos que conforman el derecho de vía y permiten el adecuado funcionamiento de las carreteras (Herrera Montiel, 2024). La interacción de estos componentes resulta indispensable para asegurar la conectividad territorial y mantener condiciones adecuadas de transitabilidad y seguridad vial.

La infraestructura vial representa uno de los principales motores del desarrollo económico y social, debido a que facilita la movilidad de bienes, servicios y personas entre las

diferentes regiones. Una red vial en buenas condiciones reduce los tiempos de desplazamiento, disminuye los costos de operación vehicular y mejora la competitividad de los sectores productivos, favoreciendo actividades como la agricultura, el comercio, el turismo y la prestación de servicios públicos (Monge Aparicio y Garrido Márquez, 2020). En consecuencia, las inversiones destinadas a la construcción, conservación y mejoramiento de la infraestructura vial generan beneficios que trascienden el ámbito del transporte y contribuyen al desarrollo sostenible de los territorios.

Desde la perspectiva social, la infraestructura vial favorece la integración de las comunidades y garantiza el acceso oportuno a servicios esenciales, como salud, educación, empleo y atención de emergencias. Esta función adquiere especial importancia en las zonas rurales, donde la calidad y continuidad de las vías de comunicación inciden directamente en las oportunidades de desarrollo y en la reducción de las brechas territoriales. En este sentido, una red vial adecuada fortalece la inclusión social y mejora la calidad de vida de la población al facilitar la conectividad entre comunidades y centros urbanos (Pérez, 2021).

En Costa Rica, la administración de una parte importante de la infraestructura vial corresponde a los gobiernos locales, los cuales tienen la responsabilidad de planificar, conservar y mejorar la red vial cantonal conforme a las necesidades de cada territorio. Debido a que las carreteras municipales constituyen uno de los activos públicos más extensos bajo su gestión, su adecuada administración resulta esencial para garantizar la continuidad del servicio de transporte, promover el desarrollo económico local y fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a eventos adversos. Lo anterior exige que las municipalidades implementen estrategias de gestión que permitan identificar oportunamente los riesgos que afectan la infraestructura vial y priorizar las intervenciones de mantenimiento y rehabilitación de manera eficiente.

2.1.2. Red vial cantonal en Costa Rica

La red vial de Costa Rica está conformada por la red vial nacional y la Red Vial Cantonal (RVC), esta última bajo la administración directa de los gobiernos locales. Debido a la extensa cobertura de la red cantonal y a las limitaciones de recursos disponibles para su conservación y mantenimiento, las municipalidades deben establecer procesos de priorización que permitan optimizar la gestión de los activos viales y orientar de manera eficiente las inversiones en infraestructura. En este contexto, la red vial cantonal se clasifica según la función que desempeña cada vía dentro del sistema de transporte, lo que facilita la planificación de intervenciones y la definición de estrategias de mantenimiento (López, 2020).

La Red Vial Cantonal se estructura en cuatro categorías que según López (2020) son las rutas de travesía, rutas primarias, rutas secundarias o colectoras y rutas terciarias. Las rutas de travesía corresponden a aquellas que conectan dos tramos de la red vial nacional, permitiendo la continuidad del tránsito a través de centros poblados. Por su parte, las rutas primarias cumplen una función estratégica dentro del cantón, al comunicar los principales centros de población, distritos o zonas de actividad económica, constituyéndose en las vías de mayor relevancia dentro de la red vial municipal.

Las rutas secundarias, también denominadas colectoras, tienen la función de enlazar las rutas primarias con las rutas terciarias, facilitando la distribución del tránsito dentro del cantón y fortaleciendo la conectividad entre comunidades. Finalmente, las rutas terciarias proporcionan acceso directo a viviendas, fincas, establecimientos productivos y otras propiedades, desempeñando un papel fundamental en la movilidad local, particularmente en zonas rurales donde constituyen la principal vía de acceso a servicios básicos y actividades productivas (López, 2020).

En cuanto al marco de competencias, la gestión de la red vial cantonal en Costa Rica se sustenta en la Ley N.° 9329, la cual establece que las municipalidades poseen la competencia exclusiva, plena e inalienable para planificar, programar, diseñar, construir, conservar, mantener y operar la red vial cantonal. Este proceso se encuentra respaldado financieramente por los recursos establecidos en la Ley N.° 8114 y sus reformas, los cuales son transferidos a los gobiernos locales para la atención de la infraestructura vial cantonal.

La gestión de la red vial cantonal se desarrolla bajo un modelo de gobernanza descentralizada coordinado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), en el cual las municipalidades cuentan con una Junta Vial Cantonal (JVC) como órgano de articulación y toma de decisiones, así como con una Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal (UTGVM), responsable de la planificación técnica y ejecución de los proyectos viales.

La planificación y priorización de intervenciones se realiza mediante el Plan Vial Quinquenal de Conservación y Desarrollo (PVQCD), el cual constituye el principal instrumento técnico de planificación para la gestión de la red vial cantonal. Este instrumento incorpora criterios técnicos y socioeconómicos como el estado de la infraestructura, la conectividad territorial y la importancia funcional de las rutas, permitiendo orientar la inversión pública hacia las vías de mayor relevancia para el desarrollo local, (MOPT, 2017).

2.1.3. Componentes de la infraestructura vial

La infraestructura vial está conformada por un conjunto de elementos estructurales y funcionales que permiten garantizar la circulación segura y eficiente de personas y mercancías. Cada uno de estos componentes cumple una función específica dentro de la carretera y

contribuye a su estabilidad, durabilidad y adecuado funcionamiento frente a las condiciones de tránsito y ambientales.

- Calzada: Es la parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Está constituida por uno o varios carriles y por las diferentes capas estructurales del pavimento, como la subrasante, la subbase, la base y la capa de rodadura, las cuales son diseñadas para soportar las cargas generadas por el tránsito y distribuirlas hacia el terreno de fundación (García Castro, 2023).
- Espaldones: También conocidos como bermas, son las franjas laterales contiguas a la calzada que proporcionan soporte al pavimento y contribuyen a la seguridad vial. Además de servir como área de detención de emergencia para los vehículos, favorecen la estabilidad de la estructura del pavimento y mejoran la visibilidad y la circulación en la vía (García Castro, 2023).
- Cunetas: Son estructuras de drenaje longitudinal ubicadas a los lados de la carretera cuya función es captar y conducir las aguas de escorrentía provenientes de la calzada y de los taludes. Su adecuado funcionamiento evita la acumulación de agua sobre la vía y reduce el riesgo de infiltración en las capas estructurales del pavimento, prolongando su vida útil (Rodríguez Alvarado, 2024).
- Alcantarillas: Son obras de drenaje transversal diseñadas para permitir el paso del agua por debajo de la carretera, ya sea proveniente de las cunetas o de cauces naturales. Estas estructuras contribuyen a mantener la continuidad del flujo hidráulico y a prevenir daños ocasionados por inundaciones o erosión en la infraestructura vial (Rodríguez Alvarado, 2024).

- Sistemas de drenaje: Comprenden el conjunto de obras destinadas a controlar y evacuar el agua superficial y subterránea que puede afectar la carretera. Incluyen elementos como cunetas, contracunetas, alcantarillas y subdrenes, cuya función es evitar la saturación del suelo, preservar la estabilidad de la estructura del pavimento y reducir el riesgo de deterioro prematuro (Rodríguez Alvarado, 2024).
- Taludes: Son las superficies inclinadas que se generan en los cortes y rellenos realizados durante la construcción de una carretera para adaptar el terreno al diseño de la vía. Su estabilidad es fundamental para prevenir deslizamientos y otros procesos que puedan comprometer la seguridad y funcionalidad de la infraestructura vial, por lo que requieren un adecuado diseño, protección y mantenimiento (García Castro, 2023).
- Puentes y pasos de agua: Son estructuras construidas para garantizar la continuidad de la carretera sobre ríos, quebradas, depresiones del terreno u otros obstáculos naturales o artificiales. Mientras los puentes permiten salvar obstáculos de mayor magnitud mediante estructuras complejas, los pasos de agua se emplean para el cruce de cauces de menor tamaño y forman parte del sistema de drenaje de la infraestructura vial (Mora Barrantes, 2019).

2.2. Gestión de riesgo

2.2.1. Riesgos

El riesgo puede definirse como el efecto que genera la incertidumbre sobre la capacidad de una organización o sistema para alcanzar sus objetivos. En este sentido, la gestión de riesgo comprende un conjunto de procesos y acciones coordinadas orientadas a la identificación, análisis, evaluación y control de los riesgos que pueden afectar el desempeño organizacional o funcional de un sistema.

En las últimas décadas, este enfoque ha evolucionado significativamente, transitando desde una visión centrada principalmente en la mitigación de amenazas y la protección de infraestructuras críticas, hacia un paradigma basado en la resiliencia. Este nuevo enfoque prioriza la capacidad de los sistemas para anticipar, resistir, adaptarse y recuperarse de manera eficiente ante una amplia variedad de amenazas de origen natural o antrópico (Nicolosi et al., 2022, p. 114).

Desde la perspectiva de la reducción del riesgo de desastres, la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2017) define el riesgo de desastre como la posibilidad de pérdidas humanas, económicas, sociales y ambientales derivadas de la interacción entre amenazas, vulnerabilidad, exposición y capacidad de respuesta. Bajo este enfoque, un fenómeno natural no constituye por sí mismo un desastre; sus impactos dependen de las condiciones de vulnerabilidad y del nivel de exposición de los elementos afectados.

En la literatura sobre riesgos naturales, se mantiene el enfoque tradicional que conceptualiza el riesgo como el resultado de la interacción entre amenaza, vulnerabilidad y exposición. Desde esta perspectiva, la magnitud del riesgo no depende únicamente de la intensidad del evento peligroso, sino también de las características físicas, funcionales y operativas de los elementos expuestos.

En este sentido, Nicolosi et al. (2022) señalan que, en la gestión de activos viales expuestos a amenazas sísmicas, las aproximaciones tradicionales basadas únicamente en probabilidad y consecuencias resultan insuficientes para la administración moderna de infraestructura. Los autores destacan la importancia de incorporar la resiliencia, la continuidad operativa y la capacidad de recuperación de las redes de transporte, lo que permite una evaluación más integral del riesgo a lo largo del ciclo de vida de los activos.

De manera complementaria, Chang y Hossain (2024, p. 10) indican que el incremento de eventos climáticos extremos exige metodologías de evaluación más integradas, que consideren inventarios de activos, sistemas de información geográfica, bases de datos de amenazas e indicadores de desempeño. Estos elementos permiten mejorar la toma de decisiones y priorizar inversiones en infraestructura vial. Según los autores, la gestión de riesgo debe incorporarse de forma permanente en la planificación y administración de activos públicos.

2.2.2. Amenaza

La amenaza es un componente fundamental en la gestión de riesgo, ya que corresponde a cualquier fenómeno, proceso o condición con potencial de causar daños a las personas, la infraestructura, el ambiente o las actividades económicas. En el caso de la infraestructura vial, las amenazas pueden afectar la funcionalidad de las carreteras, interrumpir la conectividad territorial y generar pérdidas económicas por la interrupción del tránsito y el aumento de los costos de mantenimiento.

Desde un enfoque moderno de gestión de riesgo de desastres, las amenazas no se limitan únicamente a fenómenos naturales, sino que también incluyen eventos de origen humano y tecnológico. En este sentido, un evento peligroso no necesariamente genera un desastre, ya que sus impactos dependen de la vulnerabilidad y la exposición de los elementos afectados. La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2020) define la amenaza como cualquier proceso o actividad que puede generar pérdidas humanas, económicas, sociales o ambientales.

Las amenazas se clasifican generalmente en naturales, geológicas y antrópicas. Las amenazas naturales, especialmente las hidrometeorológicas, representan una de las principales

causas de afectación en la infraestructura vial, debido a fenómenos como lluvias intensas, inundaciones y erosión (Chang y Hossain, 2024). De esta manera, las amenazas geológicas incluyen deslizamientos, sismos y movimientos de masa, que pueden comprometer la estabilidad de taludes y estructuras viales, especialmente en zonas montañosas.

Por otro lado, las amenazas antrópicas se derivan de actividades humanas como la deforestación, la ocupación inadecuada del territorio, el mantenimiento deficiente y las sobrecargas vehiculares, factores que incrementan la vulnerabilidad de la infraestructura y agravan los efectos de las amenazas naturales.

2.2.3. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se entiende como la susceptibilidad de los elementos expuestos como infraestructura, activos físicos y personas a sufrir daños o pérdidas ante la ocurrencia de eventos amenazantes, ya sean de origen natural, antrópico o combinados (Safeway Project, 2020, p. 11). En la infraestructura vial del cantón de Guatuso, esta condición se refleja en el deterioro potencial de las rutas cantonales prioritarias, afectando tanto su funcionalidad como la seguridad de los usuarios.

En este contexto, la vulnerabilidad se analiza en tres dimensiones principales. La vulnerabilidad física se refiere al grado de daño que pueden experimentar los componentes estructurales de la vía, como pavimentos, puentes, alcantarillas y taludes, en función de factores como el diseño, los materiales, la edad y el mantenimiento de la infraestructura (Eidsvig et al., 2020).

Por su parte, la vulnerabilidad funcional corresponde a la pérdida de capacidad del sistema vial para cumplir su función de transporte, reflejada en la reducción de la transitabilidad,

el aumento de tiempos de viaje y la interrupción de la conectividad, incluso cuando el daño estructural no sea significativo (Safeway Project, 2020).

Finalmente, la vulnerabilidad operativa se relaciona con las debilidades en la gestión y administración de la infraestructura, incluyendo la falta de mantenimiento preventivo, limitaciones en la inspección, escasez de recursos y baja capacidad institucional de respuesta, lo que incrementa la probabilidad de fallas y la recurrencia de daños (Eidsvig et al., 2020).

2.2.4. Exposición

La exposición constituye uno de los componentes fundamentales de la gestión de riesgo, ya que hace referencia a la presencia de personas, infraestructura, activos económicos, medios de vida, ecosistemas y otros elementos ubicados en áreas donde pueden verse afectados por una amenaza (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022). Mientras la vulnerabilidad describe la susceptibilidad de los elementos expuestos a sufrir daños, la exposición se relaciona con su ubicación y la cantidad de elementos que se encuentran dentro del área de influencia de un evento potencialmente peligroso.

En el ámbito de la ingeniería civil y la gestión de infraestructura vial, la exposición se evalúa mediante la identificación espacial de los activos que conforman la red de transporte, como carreteras, puentes, alcantarillas, obras de drenaje y taludes, con el fin de determinar cuáles se localizan en zonas susceptibles a amenazas naturales o antrópicas (Global Center on Adaptation [GCA], 2025). Para ello, es común el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), donde Kornilova (2025) indica que estos permiten identificar variables como la longitud de las vías ubicadas en zonas inundables, la ubicación de puentes expuestos a procesos de socavación y la proximidad de carreteras a áreas con riesgo de deslizamientos.

La evaluación de la exposición constituye una herramienta fundamental para la planificación y gestión de la infraestructura vial, ya que permite identificar los activos con mayor probabilidad de ser afectados por amenazas y priorizar las intervenciones necesarias para reducir el riesgo. En consecuencia, la información obtenida facilita la toma de decisiones relacionadas con la reubicación de trazados durante la etapa de diseño o la implementación de obras de protección, drenaje y estabilización cuando la exposición no puede evitarse por restricciones técnicas, topográficas o presupuestarias.

2.2.5. Resiliencia de Infraestructura Vial

La resiliencia de la infraestructura vial se define como la capacidad de una red de transporte para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de manera eficiente ante eventos adversos, minimizando la interrupción de los servicios de movilidad y garantizando la continuidad de su funcionamiento (Kammouh y Chahrour, 2025). En el contexto de la gestión de riesgo, este concepto trasciende la protección de la infraestructura, al incorporar estrategias que fortalecen su capacidad de respuesta frente a amenazas naturales y antrópicas.

La adaptación constituye un componente preventivo de la resiliencia y comprende los ajustes realizados en los sistemas físicos, operativos e institucionales para reducir los efectos de amenazas actuales o futuras (IPCC, 2022). En infraestructura vial, estas medidas incluyen la incorporación de criterios de diseño más robustos, el empleo de materiales de mayor desempeño, la implementación de soluciones para mejorar el drenaje y el uso de tecnologías que permitan monitorear el estado de los activos y planificar el mantenimiento de forma predictiva (Kornilova, 2025).

Por su parte, la recuperación corresponde a la capacidad de restablecer la funcionalidad de la infraestructura después de un evento adverso, procurando que el tiempo de interrupción del servicio sea el menor posible (Kammouh y Chahrour, 2025). La tendencia actual en ingeniería promueve el principio de Build Back Better o Reconstruir Mejor, el cual plantea que los procesos de rehabilitación deben aprovechar la experiencia obtenida durante el evento para incorporar mejoras en el diseño, la construcción y la gestión de la infraestructura, reduciendo así su vulnerabilidad frente a futuras amenazas (GCA, 2025).

En la presente investigación, la resiliencia se considera un elemento fundamental para el diseño del protocolo de gestión de riesgo basado en la Norma ISO 31000, ya que permite orientar acciones dirigidas no solo a prevenir daños en las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso, sino también a fortalecer la capacidad de respuesta y recuperación de la infraestructura vial ante eventos hidrometeorológicos y otras amenazas que puedan afectar su operación.

2.3. Amenazas que afectan la infraestructura vial

2.3.1. Inundaciones

Las inundaciones constituyen una de las principales amenazas para la infraestructura vial, debido a su capacidad para afectar la estabilidad estructural y la funcionalidad de las carreteras. En el ámbito de la ingeniería de transporte, se clasifican en pluviales, ocasionadas por la saturación de los sistemas de drenaje debido a lluvias intensas; fluviales, originadas por el desbordamiento de ríos o quebradas que atraviesan el derecho de vía; y costeras, asociadas a marejadas ciclónicas o al incremento del nivel del mar (Chinchilla, 2016, p.39).

Los efectos de las inundaciones sobre la infraestructura vial son diversos y dependen de la intensidad y duración del evento. La presencia de agua sobre la superficie de rodamiento reduce la fricción entre el neumático y el pavimento, disminuye la capacidad portante de las capas granulares debido a la saturación del suelo y, en eventos de mayor magnitud, puede provocar la erosión de terraplenes, la pérdida de la capa de rodadura y daños estructurales en la vía (Chinchilla, 2016, p.41).

Asimismo, las inundaciones pueden sobrepasar la capacidad de diseño de alcantarillas, cunetas y demás obras de drenaje, ocasionando su colmatación por la acumulación de sedimentos y materiales arrastrados por el agua. De esta manera, Chinchilla (2016, p.42) indica que esta situación limita el flujo hidráulico, favorece el desbordamiento sobre la calzada y acelera el deterioro de la infraestructura vial.

2.3.2. Deslizamientos

Los deslizamientos son una de las amenazas para la infraestructura vial, especialmente en zonas con pendientes pronunciadas y alta precipitación. Estos fenómenos ocurren cuando los materiales que conforman un talud pierden su estabilidad y se desplazan debido a la disminución de la resistencia al corte del suelo. Entre los factores que favorecen su ocurrencia se encuentran las características geológicas del terreno, la presencia de materiales meteorizados, los cortes con pendientes inadecuadas y las deficiencias en los sistemas de drenaje, condiciones que reducen la estabilidad de los taludes (Albarracín Llivisaca y Aucay Cevallos, 2024, pp. 15).

Los principales factores desencadenantes de los deslizamientos son las lluvias intensas o prolongadas, que incrementan el contenido de humedad del suelo y elevan la presión de poros, disminuyendo su resistencia. Asimismo, los eventos sísmicos pueden generar movimientos del

terreno que favorecen la inestabilidad de los taludes y el desprendimiento de materiales (Albarracín Llivisaca & Aucay Cevallos, 2024, pp. 16).

En la infraestructura vial, los deslizamientos pueden ocasionar la obstrucción de carreteras, daños en pavimentos, puentes, alcantarillas y obras de drenaje, así como la interrupción del tránsito y el aislamiento temporal de comunidades. Estas afectaciones son particularmente críticas en las rutas cantonales, donde las limitaciones presupuestarias y las menores intervenciones de mantenimiento dificultan la recuperación oportuna de la infraestructura y aumentan los costos de rehabilitación (Albarracín Llivisaca y Aucay Cevallos, 2024, pp. 16-17).

2.3.3. Erosión

La erosión constituye es otra de las amenazas para la infraestructura vial, ya que provoca el desprendimiento y transporte de partículas del suelo debido a la acción del agua, afectando la estabilidad y la vida útil de las carreteras. La erosión superficial ocurre cuando el impacto de las gotas de lluvia y el flujo laminar del agua desprenden las partículas del suelo en la superficie de la vía o en sus márgenes, ocasionando el desgaste de los hombros de la carretera y dejando expuestas las capas estructurales inferiores, lo que acelera el deterioro del pavimento (Camacho, Díaz y Torres, 2024, p. 38).

Por su parte, la erosión de taludes se presenta cuando la escorrentía superficial fluye de manera descontrolada sobre los cortes o rellenos de la carretera, formando surcos y cárcavas que disminuyen progresivamente la estabilidad del terreno. Cuando no se implementan medidas de protección, como obras de drenaje, revegetación o técnicas de bioingeniería, este proceso puede

evolucionar hasta generar fallas de gran magnitud que comprometen la estabilidad de la vía y la seguridad de los usuarios (Camacho, Díaz y Torres, 2024, p. 38).

Otro proceso estrechamente relacionado con la erosión es la socavación, considerada una de las principales causas de falla en puentes a nivel mundial. Este fenómeno consiste en la remoción del material que conforma el lecho de un río alrededor de pilas, estribos y otras estructuras hidráulicas como consecuencia de la acción erosiva del flujo de agua (Rivas Parraguez, 2018, p. 32). La socavación puede clasificarse en general, cuando obedece a cambios progresivos en el lecho del cauce, y local, cuando es provocada por la turbulencia y los vórtices que se generan alrededor de los elementos estructurales del puente. Ambos procesos pueden comprometer la estabilidad de las estructuras y aumentar el riesgo de colapso si no se detectan y controlan oportunamente.

2.3.4. Deterioro estructural de pavimentos

El deterioro estructural de los pavimentos corresponde al conjunto de daños que se desarrollan progresivamente como consecuencia de la acción del tránsito, las condiciones ambientales, el envejecimiento de los materiales y la falta de mantenimiento. Tal y como lo menciona Caillagua et al. (2025, pp.101), estas afectaciones reducen la capacidad estructural de la vía, disminuyen la seguridad de los usuarios e incrementan los costos de conservación y rehabilitación, por lo que su identificación constituye un aspecto fundamental dentro de la gestión de riesgo de la infraestructura vial.

Entre los deterioros más frecuentes se encuentran las fisuras, que corresponden a discontinuidades en la superficie del pavimento originadas por la repetición de cargas vehiculares, el envejecimiento de los materiales o los cambios de temperatura. Cuando estas no

reciben mantenimiento oportuno, permiten la infiltración de agua hacia las capas inferiores del pavimento, acelerando su deterioro (Caillagua et al., 2025, pp.102). Otro daño común son los baches, los cuales se producen por la evolución de las fisuras y la pérdida progresiva de material en la superficie de rodamiento. Su presencia afecta la comodidad y seguridad de los usuarios, además de incrementar el riesgo de accidentes y los costos de operación de los vehículos.

Asimismo, las deformaciones corresponden a alteraciones del perfil original de la carretera, como el ahuellamiento o las depresiones provocadas por la deformación permanente de las capas estructurales bajo la acción repetitiva del tránsito. Estas fallas reducen la calidad del servicio y favorecen la acumulación de agua sobre la calzada, incrementando el riesgo de daños adicionales, (Caillagua et al., 2025, pp.102).

La evolución de estos deterioros conduce a una pérdida de la capacidad estructural del pavimento, situación en la que la estructura deja de distribuir adecuadamente las cargas del tránsito hacia la subrasante, reduciendo su vida útil y haciendo necesarias intervenciones de rehabilitación o reconstrucción. Por ello, la evaluación periódica del estado de los pavimentos constituye una herramienta esencial para planificar el mantenimiento preventivo y fortalecer la resiliencia de la infraestructura vial.

2.3.5. Sobrecargas vehiculares

Las sobrecargas vehiculares constituyen uno de los factores más críticos en el deterioro prematuro de la infraestructura vial, debido al impacto directo que generan sobre la capacidad estructural de los pavimentos. El daño producido por un vehículo no aumenta de forma lineal, sino exponencial en función de la carga por eje, fenómeno descrito por la denominada Ley de la Cuarta Potencia, ampliamente utilizada en el diseño y análisis de pavimentos (Vásquez Monteros

y Schvartzer, 2016). Este principio establece que pequeñas variaciones en el peso por eje pueden generar incrementos significativos en el deterioro estructural, de modo que un aumento aproximado del 20 % en la carga puede duplicar el daño acumulado sobre la estructura del pavimento.

En términos de evaluación estructural, este efecto se expresa mediante el concepto de ejes equivalentes de carga (ESAL), el cual permite estimar el impacto acumulado del tránsito pesado sobre la vida útil de la vía. En este sentido, la sobrecarga acelera procesos de falla como la fatiga del pavimento, la deformación permanente (ahuellamiento) y la pérdida progresiva de capacidad estructural, reduciendo significativamente la vida útil originalmente prevista en el diseño (Vásquez Monteros y Schvartzer, 2016).

El problema de las sobrecargas se intensifica en contextos donde predominan el transporte de carga pesada y las actividades agrícolas, ya que estos sectores generan condiciones de operación exigentes sobre la red vial. Durante las temporadas de cosecha, es común el tránsito de vehículos con cargas superiores a las establecidas en el diseño de las carreteras, especialmente en rutas cantonales o rurales que no cuentan con la capacidad estructural adecuada para soportar estos niveles de esfuerzo (Mallick y El-Korchi, 2022).

Esta situación provoca un deterioro acelerado de la infraestructura, generando fallas prematuras como fisuración, ahuellamiento severo y colapso de la capa de rodadura. En el caso de redes viales municipales, donde los recursos para mantenimiento y rehabilitación son limitados, este tipo de deterioro representa un desafío significativo, ya que incrementa los costos de intervención y reduce la sostenibilidad del sistema vial en el mediano y largo plazo. En consecuencia, el control de las sobrecargas vehiculares constituye un elemento clave dentro de la gestión de riesgo en infraestructura vial, ya que permite prolongar la vida útil de los pavimentos,

optimizar los recursos de mantenimiento y mejorar la resiliencia de la red vial frente a condiciones de uso intensivo.

2.4. Norma ISO 31000

2.4.1. Antecedentes

La gestión de riesgo ha evolucionado históricamente de manera fragmentada en distintos sectores, principalmente en ámbitos como las finanzas, los seguros y la seguridad industrial. Uno de los antecedentes normativos más influyentes en la estandarización de este enfoque fue la norma conjunta australiana/neozelandesa AS/NZS 4360:1995, la cual introdujo por primera vez un modelo genérico de gestión de riesgo aplicable a diferentes industrias, independientemente de su naturaleza, (Purdy, 2010).

Posteriormente, en 2009, la Organización Internacional de Normalización publicó la primera versión de la ISO 31000, con el propósito de establecer un marco común para la gestión de riesgo a nivel global. Esta norma fue posteriormente actualizada en 2018, incorporando una reestructuración significativa orientada a mejorar su claridad, fortalecer el rol del liderazgo de la alta dirección y resaltar el carácter dinámico e iterativo del riesgo.

En esta versión vigente, el riesgo deja de concebirse únicamente como la probabilidad de ocurrencia de pérdidas y pasa a definirse como el “efecto de la incertidumbre sobre los objetivos” (ISO, 2018, pp.7), lo cual amplía su alcance hacia una visión más integral que incluye tanto impactos negativos como oportunidades dentro de los sistemas organizacionales.

2.4.2. Principios

Los principios de la gestión de riesgo constituyen la base sobre la cual se sustenta su eficacia, ya que establecen las características esenciales que deben cumplirse para que el proceso

sea adecuado y genere valor. De acuerdo con la Norma ISO 31000 (2018, pp.9-10), el propósito central de la gestión de riesgo es la creación y protección del valor, tanto en organizaciones como en proyectos de distinta naturaleza, incluyendo la infraestructura vial.

En este sentido, la gestión de riesgo debe estar integrada en todas las actividades de la organización, incluyendo la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de la infraestructura vial. Asimismo, debe ser estructurada y sistemática, de manera que permita obtener resultados coherentes y comparables en el tiempo, facilitando la toma de decisiones técnicas.

De igual forma, debe adaptarse al contexto externo e interno del sistema o proyecto, considerando las condiciones particulares del entorno, como factores climáticos, geográficos, sociales y operativos. La norma también establece la importancia de la inclusión de las partes interesadas, lo cual implica considerar a actores como usuarios de la red vial, comunidades cercanas y entidades gestoras de la infraestructura.

Otro principio fundamental es el carácter dinámico de la gestión de riesgo, el cual reconoce que el riesgo cambia en el tiempo y requiere una capacidad constante de anticipación, detección y respuesta. Además, el proceso debe basarse en la mejor información disponible, incorporando datos históricos, evidencia técnica, análisis especializados y, cuando sea necesario, la opinión de expertos.

La ISO 31000 también reconoce la importancia de los factores humanos y culturales, debido a que el comportamiento de los actores involucrados en la operación y gestión de la infraestructura puede influir significativamente en la generación o mitigación del riesgo. Finalmente, se establece la mejora continua como un principio clave, mediante el cual el sistema

de gestión de riesgo se fortalece a partir de la experiencia, la retroalimentación y la evaluación constante de su desempeño.

2.4.3. Marco de referencia de la ISO 31000

El marco de referencia de la gestión de riesgo establece la estructura organizacional y de gobernanza necesaria para asegurar que el proceso de gestión de riesgo se integre de manera efectiva en todas las funciones de la entidad o proyecto. A diferencia del proceso operativo, este marco se enfoca en la dirección estratégica, el liderazgo y la incorporación del riesgo en la toma de decisiones.

De acuerdo con la Norma ISO 31000 (2018, pp.11), el elemento central del marco es el liderazgo y compromiso de la alta dirección, a partir del cual se establecen políticas, roles y responsabilidades relacionadas con la gestión de riesgo. Este marco se desarrolla mediante un ciclo de mejora continua que incluye el diseño del sistema de gestión de riesgo, su implementación, la evaluación del desempeño y la posterior adaptación o mejora en función de los resultados obtenidos.

En el contexto de la infraestructura vial municipal, este marco resulta fundamental para garantizar que la gestión de riesgo no sea una actividad aislada, sino un componente integrado en la planificación, operación y mantenimiento de la red vial.

2.4.4. Proceso de gestión de riesgo

El proceso de gestión de riesgo constituye la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y metodologías orientadas a la identificación, análisis, evaluación y tratamiento del riesgo, con el fin de apoyar la toma de decisiones en entornos de incertidumbre. De acuerdo con la Norma ISO 31000 (2018), este proceso es iterativo, dinámico y debe integrarse de manera

continua en la gestión organizacional o de proyectos, incluyendo la infraestructura vial. Dentro de este proceso, la ISO 31000 establece una serie de etapas interrelacionadas que permiten gestionar el riesgo de manera estructurada y sistemática, las cuales se describen a continuación:

- Comunicación y consulta: Es un componente transversal del proceso de gestión de riesgo que busca garantizar la participación, el intercambio de información y la retroalimentación con las partes interesadas en todas las etapas del proceso. Este componente permite mejorar la calidad de los datos utilizados, facilitar la comprensión del riesgo y fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia. En el contexto de la infraestructura vial, implica la interacción entre entidades responsables de la gestión de carreteras, gobiernos locales, instituciones técnicas y comunidades usuarias.
- Establecimiento del contexto: Define los parámetros internos y externos que enmarcan la gestión de riesgo. En esta etapa se determinan el alcance del análisis, los objetivos del sistema y los criterios de riesgo que servirán de base para la evaluación. Incluye factores externos como el clima, la geología y las condiciones socioambientales, así como factores internos como la capacidad institucional, los recursos disponibles y las normativas aplicables a la infraestructura vial.
- Identificación del riesgo: Consiste en reconocer y describir los eventos que pueden afectar el cumplimiento de los objetivos de la infraestructura vial. En esta etapa se determinan las amenazas relevantes, como inundaciones, deslizamientos, erosión o sobrecargas vehiculares, así como los elementos expuestos susceptibles de ser afectados, como carreteras, puentes y sistemas de drenaje.
- Análisis del riesgo: Comprende la evaluación de la naturaleza del riesgo, considerando la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias asociadas. Este proceso permite estimar el

nivel de riesgo al relacionar la frecuencia de los eventos con su impacto potencial sobre la infraestructura vial, en términos de daños físicos, pérdida de conectividad y costos de rehabilitación.

- Evaluación del riesgo: Consiste en comparar los resultados del análisis con los criterios establecidos en el contexto, con el fin de determinar la importancia del riesgo y la necesidad de tratamiento. Esta etapa permite priorizar los riesgos mediante su clasificación según su nivel de criticidad.
- Tratamiento del riesgo: Implica la selección e implementación de medidas orientadas a modificar su nivel, ya sea reduciendo la probabilidad de ocurrencia o mitigando sus consecuencias. En infraestructura vial, estas medidas pueden incluir modificaciones de diseño, obras de protección, mejoras en el drenaje o fortalecimiento estructural de los componentes viales.
- Seguimiento y revisión: Permiten verificar la eficacia de las medidas implementadas y asegurar la mejora continua del sistema de gestión de riesgo. En infraestructura vial, esto incluye inspecciones periódicas, monitoreo del estado de la red vial y evaluación del desempeño de las intervenciones realizadas.

2.5. Inspección y monitoreo de la infraestructura vial

La inspección y el monitoreo de la infraestructura vial constituyen actividades fundamentales dentro de la gestión de activos, ya que permiten recopilar información sobre el estado físico, estructural y funcional de las carreteras. La información obtenida mediante estas actividades facilita la identificación temprana de deterioros, la evaluación de riesgos y la planificación de intervenciones de mantenimiento, contribuyendo a prolongar la vida útil de la

infraestructura y a garantizar la seguridad de los usuarios (Transportation Research Board [TRB], 2022).

La inspección visual corresponde al procedimiento más utilizado para evaluar el estado de la infraestructura vial. Consiste en observar e identificar deterioros visibles en la superficie del pavimento y en otros elementos de la carretera, como fisuras, baches, deformaciones, desprendimientos y daños en las obras de drenaje. Actualmente, este proceso puede realizarse tanto de forma manual como mediante tecnologías que incorporan cámaras, sensores y sistemas automatizados para mejorar la precisión y eficiencia de las evaluaciones (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020; Mallick y El-Korchi, 2022).

Por su parte, la inspección hidráulica tiene como objetivo verificar el funcionamiento de los sistemas de drenaje, incluyendo cunetas, alcantarillas y demás obras destinadas a conducir las aguas superficiales. Estas evaluaciones permiten detectar obstrucciones, procesos de erosión, socavación o daños estructurales que puedan afectar el desempeño hidráulico de la carretera y aumentar el riesgo de deterioro del pavimento (Federal Highway Administration [FHWA], 2021).

La inspección estructural se orienta a determinar la condición de los componentes que soportan las cargas del tránsito, como pavimentos, puentes y otras estructuras viales. Para ello pueden emplearse inspecciones visuales complementadas con ensayos no destructivos que permiten evaluar la capacidad estructural sin afectar el funcionamiento de la infraestructura, facilitando la detección oportuna de daños y la programación de intervenciones preventivas (Huang, 2021).

Complementariamente, el monitoreo de la infraestructura vial consiste en el seguimiento periódico o continuo de aquellos sectores que presentan mayor nivel de riesgo, como taludes

inestables, zonas propensas a inundaciones, áreas con procesos de erosión o puentes expuestos a socavación. Este monitoreo proporciona información actualizada sobre la evolución de las condiciones de la infraestructura, favoreciendo la toma de decisiones preventivas y una respuesta más oportuna ante posibles eventos adversos (Mora Barrantes et al., 2022).

Como apoyo a estas actividades, los organismos responsables de la gestión vial emplean indicadores de condición, los cuales sintetizan la información obtenida durante las inspecciones y permiten evaluar el estado de conservación de los activos. Entre los más utilizados se encuentran el Índice de Condición del Pavimento (PCI), que valora el nivel de deterioro superficial; el Índice Internacional de Regularidad (IRI), que mide la calidad de rodadura del pavimento; y el Índice de Condición de Puentes (BCI), utilizado para evaluar el estado de conservación de estas estructuras. Estos indicadores facilitan la priorización de intervenciones y la asignación eficiente de los recursos destinados al mantenimiento vial (AASHTO, 2020; Mallick y El-Korchi, 2022).

2.6. Mantenimiento vial

El mantenimiento vial comprende el conjunto de actividades técnicas, administrativas y operativas destinadas a conservar la infraestructura vial en condiciones adecuadas de funcionamiento, seguridad y servicio durante su vida útil. Estas actividades buscan preservar las características estructurales y funcionales de la carretera mediante intervenciones planificadas que reduzcan el deterioro progresivo ocasionado por el tránsito, las condiciones climáticas y el envejecimiento de los materiales, (Ambuludí León, 2018). Desde la perspectiva de la gestión moderna de infraestructura, el mantenimiento vial constituye una estrategia de conservación que permite maximizar el desempeño de los activos, minimizar los costos del ciclo de vida y garantizar la movilidad segura de los usuarios

Diversas investigaciones coinciden en que un mantenimiento oportuno representa una inversión más rentable que la reconstrucción de una vía deteriorada, ya que prolonga la vida útil del pavimento y disminuye significativamente los costos de operación vehicular. En este sentido, la planificación del mantenimiento debe fundamentarse en evaluaciones periódicas del estado de la infraestructura, inventarios viales, inspecciones técnicas y sistemas de priorización que permitan asignar eficientemente los recursos disponibles (Díaz Arequipa, 2018; Montalvo García, 2018).

De acuerdo con la literatura reciente sobre gestión vial, el mantenimiento no debe entenderse únicamente como una actividad correctiva ante el deterioro existente, sino como un proceso continuo de conservación que integra acciones rutinarias, preventivas, periódicas y de rehabilitación. Este enfoque permite mantener los niveles de servicio de la infraestructura y reducir el riesgo de fallas estructurales que comprometan la seguridad vial y la continuidad del transporte (Rodríguez Serrano, 2021).

2.6.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo corresponde al conjunto de actividades programadas que se ejecutan antes de que aparezcan fallas significativas en la infraestructura vial, con el propósito de retardar el proceso natural de deterioro y conservar las condiciones funcionales del pavimento y sus elementos complementarios. Este tipo de mantenimiento incluye labores como limpieza de cunetas y alcantarillas, sellado de grietas, bacheo superficial, conservación de la señalización, control de vegetación y reparación menor de obras de drenaje (Rodríguez Serrano, 2021).

La principal característica del mantenimiento preventivo es que se fundamenta en inspecciones periódicas y en la detección temprana de defectos, permitiendo intervenir antes de

que el daño evolucione hacia fallas estructurales de mayor magnitud. Según Ambuludí León (2018), la implementación de planes preventivos reduce considerablemente los costos de mantenimiento a largo plazo, mejora la seguridad vial y disminuye los costos de operación vehicular al conservar mejores condiciones de transitabilidad.

2.6.2. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo comprende las intervenciones ejecutadas una vez que la infraestructura presenta fallas o deterioros que afectan su funcionamiento, seguridad o capacidad estructural. Su finalidad es restablecer las condiciones originales de servicio mediante la reparación o sustitución de los elementos dañados. Entre las actividades más comunes se encuentran la reparación de baches profundos, reconstrucción de pavimentos, sustitución de alcantarillas colapsadas, estabilización de taludes y rehabilitación de estructuras afectadas por eventos naturales (Varela Rivera, 2024).

Aunque este tipo de mantenimiento resulta indispensable cuando el deterioro ya se ha producido, diversos estudios advierten que su aplicación como estrategia predominante incrementa significativamente los costos de conservación y reduce la eficiencia de la gestión vial. Ello se debe a que las intervenciones suelen requerir mayores recursos económicos, tiempos prolongados de ejecución y afectaciones a la movilidad de los usuarios (Fuentes Gaete, 2018).

En este contexto, la literatura especializada recomienda que el mantenimiento correctivo sea complementario a una adecuada planificación preventiva, de manera que únicamente se aplique en situaciones donde el deterioro no pudo evitarse o cuando eventos extraordinarios, como inundaciones, deslizamientos o fallas estructurales, comprometan la operación segura de la infraestructura vial (Rodríguez Serrano, 2021).

2.6.3. Gestión de activos viales

La gestión de activos viales se define como un enfoque sistemático y técnico orientado a la administración integral de la infraestructura vial durante todo su ciclo de vida, con el propósito de maximizar su desempeño, prolongar su vida útil y optimizar el uso de los recursos disponibles. Este enfoque implica la toma de decisiones basada en información técnica, económica y de condición de los activos, permitiendo planificar intervenciones de mantenimiento, rehabilitación y mejora de manera eficiente y sostenible.

Desde una perspectiva técnica, la gestión de activos viales integra procesos de inventario, evaluación de condición, análisis de deterioro y priorización de intervenciones, con el fin de asegurar niveles de servicio adecuados para los usuarios. Este enfoque es especialmente relevante en contextos donde los recursos públicos son limitados, ya que permite asignar presupuestos de forma estratégica hacia los tramos de la red vial que presentan mayor criticidad o riesgo de deterioro.

En este sentido, la gestión de infraestructura vial se entiende como una disciplina de la ingeniería civil que permite diagnosticar, evaluar, planificar y programar objetivamente el mantenimiento de los activos viales durante su vida útil, optimizando el uso de los recursos disponibles (De Solminihac et al., 2018).

2.6.4. Priorización de recursos municipales

La priorización de recursos municipales en el ámbito vial corresponde al proceso técnico y administrativo mediante el cual los gobiernos locales asignan de manera estratégica los recursos financieros, humanos y técnicos disponibles para la intervención de la red vial cantonal. Este proceso busca maximizar el impacto de las inversiones públicas, garantizando que las

intervenciones se realicen primero en aquellos tramos que presentan mayor nivel de deterioro, riesgo o importancia funcional dentro del sistema vial.

Este enfoque se fundamenta en criterios técnicos como el estado de condición de la vía, el volumen de tránsito, la conectividad territorial, la seguridad vial y el impacto socioeconómico de las intervenciones. Asimismo, incorpora herramientas de análisis multicriterio y sistemas de gestión de activos que permiten jerarquizar proyectos de mantenimiento y rehabilitación de manera objetiva y transparente.

En el contexto de la gestión vial moderna, la priorización de recursos es un componente esencial de los planes de gestión de activos, ya que permite ajustar las necesidades de la infraestructura a las restricciones presupuestarias de los municipios, asegurando una asignación eficiente y sostenible de los recursos públicos (Vargas Sobrado, 2018).

2.7. Protocolo de gestión de riesgo

Un protocolo es un documento técnico que establece de manera sistemática los procedimientos, responsabilidades, criterios y acciones que deben seguirse para ejecutar una actividad específica de forma uniforme y controlada. Su propósito es estandarizar los procesos, facilitar la toma de decisiones y asegurar que las actividades se desarrollen conforme a objetivos previamente definidos, reduciendo la variabilidad y promoviendo la mejora continua de la gestión organizacional (ISO, 2018).

La estructura de un protocolo técnico comprende un conjunto organizado de elementos que orientan la ejecución de un proceso de manera ordenada y estandarizada. Generalmente, incluye el objetivo, alcance, responsables, procedimientos, recursos necesarios, mecanismos de seguimiento, indicadores de control y acciones de mejora. Esta organización permite que las

actividades sean desarrolladas de forma consistente, favoreciendo la trazabilidad, el control y la evaluación de los resultados obtenidos (Project Management Institute, 2021).

Los protocolos aplicados a la infraestructura constituyen herramientas técnicas que orientan las actividades de inspección, evaluación, mantenimiento y gestión de los activos físicos, mediante procedimientos estandarizados que permiten identificar riesgos, priorizar intervenciones y optimizar el uso de los recursos disponibles. En infraestructura vial, estos protocolos favorecen la gestión preventiva, incrementan la resiliencia de los activos y fortalecen la capacidad institucional para responder a eventos que puedan afectar la funcionalidad de la red de transporte (Allen et al., 2025).

2.8.Marco normativo

2.8.1. Ley General de Caminos Públicos (Ley N.° 5060)

La Ley General de Caminos Públicos (Ley N.° 5060) constituye el principal fundamento jurídico para la planificación, clasificación, administración y conservación de la infraestructura vial en Costa Rica. Esta legislación establece la clasificación de la red vial nacional y cantonal, define las competencias de las instituciones responsables y determina las condiciones bajo las cuales deben desarrollarse las actividades de construcción, mejoramiento y mantenimiento de las vías públicas. Asimismo, la ley establece que la conservación de la infraestructura vial es una función permanente del Estado, orientada a garantizar la seguridad de los usuarios, la conectividad territorial y el desarrollo socioeconómico del país.

En el contexto de la presente investigación, esta ley constituye el fundamento jurídico para la gestión de los activos viales cantonales, ya que define el marco bajo el cual deben

ejecutarse las actividades de inspección, conservación, rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura vial.

2.8.2. Ley N.° 9329: Primera Ley Especial para la Transferencia de Competencias

La Ley N.° 9329, denominada Primera Ley Especial para la Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal, representa uno de los cambios más importantes en la gestión vial costarricense al trasladar a las municipalidades la responsabilidad integral sobre la red vial cantonal. Desde su entrada en vigencia, los gobiernos locales asumieron las funciones de planificación, diseño, construcción, conservación, rehabilitación, señalización, financiamiento, administración y control de la infraestructura vial cantonal.

Además de transferir las competencias, la ley mantiene al Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) como ente rector técnico, responsable de emitir las disposiciones, manuales y lineamientos que deben seguir las municipalidades para garantizar criterios uniformes en la gestión vial. De esta manera, se fortalece la descentralización administrativa sin perder la estandarización técnica de los procesos.

Para esta investigación, la Ley N.° 9329 constituye el principal respaldo legal para el análisis de la gestión de activos viales en el ámbito municipal, particularmente en lo relacionado con la identificación de vulnerabilidades y la toma de decisiones para el mantenimiento de la infraestructura.

2.8.3. Manuales técnicos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)

El Ministerio de Obras Públicas y Transportes dispone de un conjunto de manuales técnicos oficiales que establecen los procedimientos, especificaciones y criterios que deben

aplicarse durante el diseño, construcción, inspección, conservación y mantenimiento de la infraestructura vial.

Entre los documentos más relevantes se encuentran el Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos, Carreteras y Puentes (MCV-2015), el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica (CR-2020), el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos (MAV-2016) y el Manual de Puentes de Costa Rica (MP-2024). Estos documentos establecen criterios técnicos para evaluar el estado de la infraestructura, priorizar intervenciones y ejecutar actividades de conservación bajo estándares nacionales de calidad.

Asimismo, mediante el Decreto Ejecutivo N.° 41271-MOPT se oficializó la aplicación obligatoria de diversos manuales regionales aprobados por el Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica (COMITRAN), fortaleciendo la homologación de criterios técnicos para el diseño, mantenimiento y gestión vial.

Estos manuales constituyen la referencia técnica para el desarrollo de metodologías de inspección, evaluación de condición y mantenimiento de activos viales consideradas en la presente investigación.

2.8.4. Programa Red Vial Cantonal (PRVC)

El Programa Red Vial Cantonal (PRVC), desarrollado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), tiene como finalidad fortalecer la capacidad técnica e institucional de los gobiernos locales para gestionar adecuadamente la infraestructura vial cantonal.

El programa proporciona herramientas metodológicas para la elaboración de inventarios viales, formulación de planes quinquenales, inspecciones de seguridad vial, mantenimiento por estándares, fortalecimiento institucional y gestión socioambiental. Asimismo, promueve la implementación de sistemas modernos de gestión de activos que permitan optimizar la asignación de recursos públicos mediante criterios técnicos de priorización.

Dentro del contexto de esta investigación, los lineamientos del PRVC constituyen una referencia para la formulación de estrategias orientadas a mejorar la gestión de la infraestructura vial mediante enfoques preventivos y sostenibles.

2.8.5. Normativa técnica relacionada con drenajes y mantenimiento vial

La adecuada operación de los sistemas de drenaje constituye uno de los principales factores para preservar la vida útil de la infraestructura vial. En Costa Rica, las especificaciones técnicas relacionadas con alcantarillas, cunetas, subdrenajes, canales, control de erosión y manejo de aguas superficiales se encuentran reguladas principalmente por el Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos, Carreteras y Puentes (MCV-2015) y el Manual de Especificaciones para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2020).

Estas normas establecen los procedimientos técnicos para la inspección, limpieza, rehabilitación y mantenimiento de las obras hidráulicas, procurando minimizar el deterioro estructural ocasionado por la acumulación de agua, la erosión y la pérdida de capacidad hidráulica. En consecuencia, representan un soporte técnico indispensable para la identificación de vulnerabilidades funcionales y operativas de la infraestructura vial.

2.8.6. Norma ISO 31000:2018 Gestión de riesgo

La Norma ISO 31000:2018 establece los principios y directrices internacionales para la gestión integral del riesgo dentro de cualquier organización. Su propósito es facilitar un proceso sistemático para identificar, analizar, evaluar, tratar, monitorear y comunicar los riesgos que puedan afectar el cumplimiento de los objetivos institucionales.

Desde la perspectiva de la gestión de activos viales, la aplicación de ISO 31000 permite incorporar metodologías estructuradas para identificar amenazas naturales, fallas estructurales, vulnerabilidades operativas y riesgos asociados a la conservación de la infraestructura. Asimismo, favorece la toma de decisiones basada en evidencia y contribuye a optimizar la asignación de recursos para el mantenimiento preventivo y correctivo (International Organization for Standardization [ISO], 2018).

La incorporación de esta norma en la presente investigación proporciona el marco metodológico para la identificación y evaluación de riesgos asociados a la vulnerabilidad de los activos viales, fortaleciendo la planificación y priorización de las intervenciones de mantenimiento.

Capítulo 3. Marco Metodológico

En este capítulo se presenta el marco metodológico que orienta el desarrollo de la investigación, describiendo el tipo y enfoque de estudio, los sujetos y fuentes de información, la población y muestra, así como las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección y análisis de los datos. Además, se detallan los procedimientos metodológicos que permiten identificar las amenazas y vulnerabilidades de la infraestructura vial, valorar los riesgos asociados y formular el protocolo de gestión de riesgo basado en los lineamientos de la norma ISO 31000.

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación constituye el conjunto de características metodológicas que orientan el desarrollo del estudio y determinan la forma en que se recopilará, analizará e interpretará la información para responder al problema de investigación En función de los objetivos planteados y de las características del objeto de estudio, la investigación adopta un diseño mixto convergente, debido a que la información cuantitativa obtenida mediante las inspecciones técnicas y la información cualitativa proveniente de las entrevistas y la revisión documental se recopilan y analizan de manera complementaria, para posteriormente integrarse mediante un proceso de triangulación.

El componente cualitativo se obtiene mediante inspecciones de campo, observación directa y registro de las condiciones de los componentes estructurales e hidráulicos de las rutas analizadas, lo que permite identificar amenazas, factores de vulnerabilidad y condiciones particulares de los puntos críticos. Por su parte, el componente cuantitativo se desarrolla mediante la recopilación y valoración de información relacionada con la probabilidad e impacto

de los riesgos identificados, permitiendo establecer niveles de riesgo y criterios para su priorización.

Ambos componentes se desarrollan de manera complementaria y se analizan de forma independiente durante las respectivas etapas de recopilación y procesamiento de la información. Posteriormente, los resultados cualitativos y cuantitativos se integran en la etapa de interpretación, mediante la comparación y complementariedad de los hallazgos obtenidos. Esta integración permite relacionar las condiciones observadas en campo con los niveles de riesgo determinados y, a partir de ello, establecer criterios para la formulación de acciones de tratamiento y el diseño del protocolo de gestión de riesgos. Debido al alcance de la investigación, esta integración se utiliza como base para la elaboración de la propuesta, sin contemplar la implementación ni la validación de su eficacia en condiciones operativas..

3.1.1. Naturaleza de la investigación.

La investigación de enfoque mixto integra procedimientos de los enfoques cuantitativo y cualitativo dentro de un mismo estudio, con el propósito de obtener una comprensión más amplia del fenómeno investigado mediante la combinación de datos numéricos y descriptivos (Creswell y Creswell, 2023).

La presente investigación posee una naturaleza mixta debido a que combina técnicas cuantitativas y cualitativas durante el proceso de recopilación y análisis de la información. Desde el enfoque cuantitativo, se realiza la evaluación de las rutas cantonales prioritarias mediante fichas de inspección técnica, registros de deterioros, valoración de la condición estructural e hidráulica, así como la aplicación de una matriz de riesgo basada en criterios de probabilidad e impacto para determinar los niveles de riesgo de cada punto crítico.

Paralelamente, desde el enfoque cualitativo, se analizará la información obtenida mediante la revisión documental y las entrevistas semiestructuradas dirigidas al personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal, con el propósito de comprender las condiciones operativas, los procesos actuales de gestión y los criterios técnicos que permitan formular un protocolo de gestión de riesgo adaptado a la realidad de la Municipalidad de Guatuso. Por consiguiente, la integración de ambos enfoques permitirá fortalecer el análisis de la información y sustentar técnicamente la propuesta del protocolo de gestión de riesgo para la infraestructura vial cantonal.

3.1.2. Carácter de la investigación

La investigación descriptiva tiene como finalidad identificar, caracterizar y describir las propiedades, comportamientos o condiciones de un fenómeno, población o situación de estudio, sin manipular las variables analizadas (Hernández Sampieri y Mendoza, 2023). La presente investigación es de carácter descriptivo porque busca identificar y caracterizar las amenazas, vulnerabilidades y riesgos presentes en las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso mediante inspecciones técnicas, revisión documental y entrevistas con personal especializado. Asimismo, describe las condiciones estructurales e hidráulicas de la infraestructura vial, los factores que incrementan su vulnerabilidad y el nivel de riesgo asociado a cada punto crítico.

A partir de la información obtenida, se formularán lineamientos técnicos para el diseño de un protocolo de gestión de riesgo basado en la norma ISO 31000, orientado a fortalecer la planificación del mantenimiento preventivo y la priorización de intervenciones por parte de la Municipalidad de Guatuso. En consecuencia, el estudio no pretende establecer relaciones de causalidad entre variables, sino describir de manera sistemática la situación actual de la infraestructura vial como fundamento para la propuesta metodológica.

3.2. Sujetos y fuentes de información

Los sujetos y las fuentes de información constituyen los elementos que proporcionan los datos necesarios para el desarrollo de la investigación. En este estudio se recurrirá tanto a personas con conocimiento técnico sobre la gestión de la infraestructura vial del cantón de Guatuso como a documentación técnica e institucional que permitirá complementar la información obtenida durante el trabajo de campo.

3.2.1. Sujetos de información

Los sujetos de información son las personas que, por su experiencia, conocimientos o participación directa en el fenómeno de estudio, aportan información relevante para el desarrollo de la investigación (Hernández Sampieri y Mendoza, 2023). En la presente investigación, los sujetos de información estarán conformados por el personal técnico y administrativo vinculado con la gestión de la infraestructura vial de la Municipalidad de Guatuso. Entre ellos se consideran el ingeniero de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal, inspectores viales, responsables del mantenimiento de la red vial y otros funcionarios que participen en la planificación, supervisión y ejecución de proyectos de conservación vial.

La selección de estos participantes responde a su conocimiento especializado sobre las condiciones estructurales e hidráulicas de las rutas cantonales prioritarias, así como a su experiencia en los procesos de inspección, mantenimiento y atención de emergencias que afectan la infraestructura vial del cantón. La información proporcionada mediante entrevistas semiestructuradas complementará los datos obtenidos durante las inspecciones técnicas y contribuirá a la formulación del protocolo de gestión de riesgo basado en la norma ISO 31000.

3.2.2. Fuentes de información

Las fuentes de información corresponden a los recursos de donde se obtiene la información necesaria para responder al problema de investigación y pueden clasificarse en primarias y secundarias, según su origen y forma de obtención (Hernández Sampieri y Mendoza, 2023). En esta investigación se emplearán fuentes de información primarias y secundarias.

Las fuentes primarias estuvieron constituidas por la información recopilada directamente mediante las inspecciones técnicas realizadas en las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso, la aplicación de fichas de inspección de los componentes estructurales e hidráulicos, las entrevistas semiestructuradas efectuadas al personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal y las observaciones realizadas durante el trabajo de campo.

Por su parte, las fuentes secundarias comprendieron la revisión de literatura científica, libros especializados, artículos académicos, normas técnicas, manuales de infraestructura vial, documentos institucionales de la Municipalidad de Guatuso, registros históricos de mantenimiento, inventarios viales, reportes de eventos hidrometeorológicos y demás documentación relacionada con la gestión del riesgo y la infraestructura vial. Asimismo, se consultó la norma ISO 31000:2018 y demás documentación técnica que respaldó el diseño del protocolo de gestión del riesgo.

La integración de ambas fuentes permitió contrastar la información obtenida en campo con los fundamentos teóricos y normativos, fortaleciendo la confiabilidad y validez de los resultados de la investigación.

.

3.3. Muestra y población

La población y la muestra representan el conjunto de unidades de análisis sobre las cuales se desarrolla una investigación. La población corresponde al universo de elementos que poseen características comunes relacionadas con el fenómeno de estudio, mientras que la muestra constituye un subconjunto seleccionado de dicha población para obtener la información necesaria que permita alcanzar los objetivos de la investigación (Hernández Sampieri y Mendoza, 2023).

Dado que la investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto, se consideran dos unidades de análisis: la infraestructura vial representada por las rutas cantonales prioritarias y los funcionarios municipales vinculados con la gestión de la red vial del cantón de Guatuso.

Unidad de análisis 1: Rutas cantonales y puntos críticos

La primera unidad de análisis está constituida por las rutas cantonales administradas por la Municipalidad de Guatuso y los puntos críticos identificados dentro de ellas. La población corresponde a la totalidad de la red vial cantonal bajo administración municipal.

La muestra está conformada por seis rutas cantonales prioritarias seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, de acuerdo con criterios técnicos definidos por la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal. Las rutas seleccionadas fueron:

- Ruta 21501100: Cabanga – Río Venado.
- Ruta 21503200: El Silencio – La Poma.
- Ruta 21503900: Margarita – Bar El Imperio.
- Ruta 21504100: San Juan – Finca El Cubano.

- Ruta 21504200: Puesto Fuerza Pública – Pataste.
- Ruta 21519700: Lourdes – Río Venado.

Los criterios de selección consideraron la importancia estratégica de las rutas para la conectividad cantonal, el estado de conservación de la infraestructura, la exposición a amenazas naturales, la recurrencia de daños, la presencia de problemas de drenaje y la relevancia para las actividades económicas y sociales del cantón.

El análisis de esta unidad comprende las inspecciones técnicas de campo, la evaluación de los componentes estructurales e hidráulicos, la identificación de amenazas y factores de vulnerabilidad, la valoración del riesgo mediante la matriz de probabilidad e impacto basada en la norma ISO 31000 y la priorización de intervenciones.

Unidad de análisis 2: Funcionarios municipales

La segunda unidad de análisis está conformada por los funcionarios de la Municipalidad de Guatuso que participan en la planificación, administración, inspección, mantenimiento y conservación de la infraestructura vial cantonal.

La población corresponde al personal técnico y administrativo de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal relacionado con la gestión de la red vial.

La muestra se selecciona mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, considerando la experiencia, el conocimiento técnico y la participación directa de los funcionarios en los procesos de planificación, inspección, mantenimiento y atención de emergencias. Se prevé entrevistar al ingeniero de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal,

inspectores viales, encargados de mantenimiento y otros funcionarios que desempeñen funciones directamente relacionadas con la gestión de la infraestructura vial.

3.3.1. Tipo de muestra

El muestreo no probabilístico por criterio o intencional consiste en seleccionar las unidades de análisis con base en las características específicas que resultan relevantes para los objetivos de la investigación, de manera que el investigador elige deliberadamente aquellos casos que aportan mayor información al estudio (Hernández Sampieri y Mendoza, 2023).

En esta investigación se empleó un muestreo no probabilístico de tipo intencional o por criterio, debido a que las rutas cantonales fueron seleccionadas considerando su importancia para la conectividad del cantón, el nivel de exposición a amenazas naturales, el estado de conservación de la infraestructura y su relevancia para las actividades económicas y sociales de la población. Esta selección permitió concentrar el análisis en aquellas rutas que presentaron mayores condiciones de vulnerabilidad y cuya evaluación técnica contribuyó al diseño de un protocolo de gestión del riesgo aplicable a la infraestructura vial municipal.

3.3.2. Descripción de la muestra

La muestra estuvo conformada por seis rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso, seleccionadas por la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal debido a su importancia estratégica dentro de la red vial cantonal y a las condiciones de vulnerabilidad que presentaron frente a amenazas como inundaciones, deslizamientos, procesos erosivos, deficiencias en los sistemas de drenaje y deterioro estructural del pavimento.

En cada una de las rutas seleccionadas se realizó una inspección técnica de campo para evaluar el estado de los componentes estructurales e hidráulicos, identificar amenazas y factores de vulnerabilidad, valorar los riesgos mediante una matriz de probabilidad e impacto y formular las acciones de tratamiento que integraron el protocolo de gestión de riesgo basado en la norma ISO 31000.

De manera complementaria, se aplicaron entrevistas semiestructuradas al personal técnico de la Municipalidad de Guatuso responsable de la gestión vial, con el propósito de validar la información obtenida durante el trabajo de campo y fortalecer la formulación del protocolo.

3.3.3. Descripción estadística de la población en estudio

La población objeto de estudio corresponde a la red de rutas cantonales administradas por la Municipalidad de Guatuso. De esta población se seleccionó una muestra conformada por seis rutas cantonales prioritarias, las cuales representan los principales corredores de conectividad para las comunidades del cantón y concentran las mayores necesidades de evaluación debido a sus condiciones de vulnerabilidad y relevancia funcional.

Debido a que la investigación utiliza un muestreo no probabilístico por criterio, no se realizó el cálculo estadístico del tamaño de la muestra, ya que la selección respondió a criterios técnicos relacionados con la importancia estratégica de las rutas, su condición estructural, la exposición a amenazas y la disponibilidad de información para el desarrollo del estudio. En consecuencia, los resultados obtenidos serán aplicables a las rutas analizadas y servirán como base para el diseño del protocolo de gestión de riesgo de la infraestructura vial municipal.

3.4. Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos constituyen los medios mediante los cuales se obtiene la información necesaria para responder al problema de investigación y alcanzar los objetivos planteados. Las técnicas corresponden a los procedimientos utilizados para recopilar la información, mientras que los instrumentos son las herramientas diseñadas para registrar y organizar los datos obtenidos durante el proceso investigativo (Hernández Sampieri y Mendoza, 2023).

En la presente investigación se emplearon diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos que permitieron identificar amenazas y factores de vulnerabilidad, valorar los riesgos presentes en la infraestructura vial y formular un protocolo de gestión de riesgos basado en los lineamientos de la norma ISO 31000.

Las técnicas de recolección de información comprendieron la observación directa mediante inspecciones técnicas de campo, la entrevista semiestructurada aplicada a cinco funcionarios de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal y la revisión documental de normativa, registros institucionales e información técnica relacionada con la infraestructura vial y la gestión del riesgo.

La entrevista semiestructurada estuvo formada por cuatro preguntas cerradas y espacios de profundización cualitativa. Las preguntas abiertas permitieron profundizar en la experiencia, los criterios técnicos y las percepciones de los funcionarios respecto a la gestión de la infraestructura vial y los riesgos asociados, mientras que las preguntas cerradas facilitaron la obtención de información comparable entre los participantes. Las respuestas a las preguntas cerradas fueron sistematizadas mediante frecuencias absolutas y porcentajes, en tanto que las

respuestas abiertas fueron analizadas mediante la técnica de análisis de contenido para identificar categorías y criterios relevantes.

Como instrumentos se utilizaron fichas de inspección vial para el levantamiento de información en campo, una guía de entrevista semiestructurada con preguntas abiertas y cerradas dirigida al personal técnico municipal, una matriz de valoración de riesgos basada en los criterios de probabilidad e impacto establecidos por la norma ISO 31000 y una matriz para el registro y análisis de la información documental recopilada durante la investigación.

3.4.1. Diseño de instrumentos

Los instrumentos de recolección de datos fueron diseñados de acuerdo con las categorías de análisis y los objetivos específicos de la investigación, con el propósito de obtener información pertinente, confiable y suficiente para el desarrollo del estudio.

La ficha de inspección técnica se utilizó durante las visitas de campo para registrar el estado de los componentes estructurales e hidráulicos de las rutas cantonales prioritarias, considerando aspectos como el deterioro del pavimento, el funcionamiento de las alcantarillas y sistemas de drenaje, la presencia de erosión, socavación, deslizamientos, inundaciones y otros factores de vulnerabilidad.

La guía de entrevista semiestructurada estuvo dirigida al personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal y a otros funcionarios relacionados con la administración de la infraestructura vial, con el propósito de obtener información sobre los procedimientos existentes de inspección, mantenimiento, gestión del riesgo y priorización de intervenciones.

Asimismo, se elaboró una matriz de revisión documental para organizar la información obtenida a partir de informes técnicos, registros históricos de mantenimiento, inventarios viales,

reportes de emergencias y demás documentos institucionales relacionados con la infraestructura vial del cantón de Guatuso.

Finalmente, se utilizó una matriz de riesgo, elaborada conforme a los lineamientos de la norma ISO 31000, mediante la cual se evaluaron los riesgos identificados a partir de la relación entre la probabilidad de ocurrencia y el impacto potencial sobre la infraestructura vial, lo que permitió establecer niveles de riesgo y prioridades de intervención..

3.4.2. Procedimiento de intervención

El procedimiento para la recolección de la información se desarrolló en cinco etapas. En la primera etapa, se realizó la revisión bibliográfica y documental de literatura científica, normativa técnica, documentos institucionales, registros históricos de mantenimiento e información relacionada con la infraestructura vial del cantón de Guatuso, con el propósito de establecer el marco de referencia para la investigación.

En la segunda etapa, se efectuaron inspecciones técnicas de campo en las rutas cantonales prioritarias seleccionadas. Durante estas visitas se aplicaron las fichas de inspección para registrar las condiciones estructurales e hidráulicas de la infraestructura vial, identificando amenazas, deterioros y factores de vulnerabilidad.

En la tercera etapa, se aplicaron entrevistas semiestructuradas al personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal, con el fin de recopilar información sobre los procedimientos existentes de gestión vial, mantenimiento, atención de emergencias y criterios utilizados para la priorización de intervenciones.

En la cuarta etapa, la información recopilada mediante las inspecciones, entrevistas y revisión documental fue integrada y analizada mediante una matriz de riesgo basada en los

criterios de probabilidad e impacto establecidos por la norma ISO 31000, lo que permitió clasificar los riesgos y determinar los puntos críticos de la infraestructura vial.

Finalmente, en la quinta etapa, con base en los resultados obtenidos, se formularon las acciones de tratamiento del riesgo y se elaboró el protocolo de gestión de riesgo para la infraestructura vial municipal del cantón de Guatuso, incorporando lineamientos de inspección, monitoreo, mantenimiento preventivo y priorización de intervenciones.

3.5. Estrategia de análisis de datos

La estrategia de análisis de datos corresponde al conjunto de procedimientos empleados para organizar, procesar, interpretar e integrar la información recopilada durante la investigación, con el propósito de responder al problema de estudio y alcanzar los objetivos planteados (Hernández Sampieri y Mendoza, 2023). En la presente investigación, el análisis de los datos se desarrolló mediante la integración de información cuantitativa y cualitativa obtenida a través de las inspecciones técnicas de campo, las entrevistas semiestructuradas y la revisión documental.

Los datos cuantitativos obtenidos mediante las fichas de inspección fueron organizados en matrices de registro que permitieron clasificar el estado de los componentes estructurales e hidráulicos de las rutas cantonales prioritarias. Posteriormente, esta información fue analizada utilizando una matriz de riesgo basada en los lineamientos de la norma ISO 31000, en la que se valoró cada punto crítico de acuerdo con los criterios de probabilidad de ocurrencia e impacto potencial. Como resultado, los riesgos fueron clasificados en niveles de criticidad (aceptable, tolerable, alto y extremo), lo que permitió establecer prioridades de intervención para la infraestructura vial.

Por otra parte, la información cualitativa obtenida mediante las entrevistas semiestructuradas y la revisión documental fue organizada por categorías de análisis previamente definidas en la investigación. Posteriormente, se realizó un análisis de contenido con el propósito de identificar criterios técnicos, procedimientos institucionales y necesidades relacionadas con la gestión del riesgo de la infraestructura vial municipal.

Finalmente, los resultados provenientes de ambas fuentes de información fueron integrados para elaborar el protocolo de gestión del riesgo basado en la norma ISO 31000, incorporando lineamientos técnicos de inspección, monitoreo, mantenimiento preventivo, tratamiento del riesgo y priorización de intervenciones para las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso.

3.5.1. Presentación y análisis de los datos

Los resultados de la investigación fueron presentados mediante tablas, cuadros, matrices y figuras que facilitaron la interpretación de la información obtenida durante las inspecciones técnicas, las entrevistas y la revisión documental.

Previo a la aplicación de los instrumentos de recolección de información, se realizó un proceso de validación orientado a verificar su pertinencia, claridad y correspondencia con los objetivos de la investigación. La validación se efectuó mediante juicio de expertos, para lo cual los instrumentos fueron revisados por profesionales con experiencia en gestión de infraestructura vial, gestión de riesgos y metodología de investigación.

La revisión consideró como criterios de validez de contenido la claridad de las preguntas, la pertinencia respecto a los objetivos de la investigación, la coherencia con las variables y dimensiones de análisis, la relevancia de la información solicitada y la suficiencia de los aspectos

considerados para caracterizar las amenazas, vulnerabilidades y prácticas de gestión de riesgos de la infraestructura vial.

Durante el proceso de revisión se recibieron observaciones relacionadas principalmente con la precisión de algunos términos técnicos, la claridad en la redacción de las preguntas y la necesidad de evitar planteamientos que pudieran generar respuestas ambiguas. A partir de estas observaciones, se realizaron ajustes en la redacción y organización de los instrumentos, procurando mantener únicamente los aspectos directamente relacionados con los objetivos del estudio.

De manera complementaria, se realizó una prueba piloto del instrumento de entrevista con una persona que presentó características similares a las de la población participante, pero que no formó parte de la muestra definitiva. Esta prueba permitió verificar el tiempo requerido para completar el instrumento, la comprensión de las preguntas y la facilidad para registrar las respuestas. Como resultado, se realizaron ajustes menores en la redacción y el orden de las preguntas antes de su aplicación definitiva.

La validación permitió disponer de instrumentos con mayor claridad y correspondencia con el propósito de la investigación. Una vez incorporados los ajustes derivados de la revisión, se aplicó el instrumento definitivo a los cinco funcionarios seleccionados y los resultados se integraron posteriormente con la información obtenida mediante las inspecciones técnicas y la revisión documental.

3.5.2. Cronograma

Tabla 4. Cronograma de actividades

Descripción de la actividad	Mayo				Junio				Julio				Agosto			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica y recopilación de información documental	■	■	■	■	■											
Diseño y validación de los instrumentos de investigación						■	■	■	■	■						
Coordinación con la Municipalidad de Guatuso y planificación del trabajo de campo				■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Inspección técnica de las rutas cantonales prioritarias							■	■	■	■	■	■				
Aplicación de entrevistas al personal técnico municipal									■	■	■					
Organización y sistematización de la información recopilada										■	■	■	■			
Valoración de riesgos mediante la matriz de probabilidad e impacto											■	■	■	■		
Formulación de acciones de tratamiento del riesgo													■	■	■	
Elaboración del protocolo de gestión de riesgo basado en ISO 31000													■	■	■	
Redacción de resultados, conclusiones y recomendaciones														■	■	■
Revisión, correcciones y entrega del documento final													■	■	■	■

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

Capítulo 4. Análisis e interpretación de los resultados

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación, con el propósito de dar respuesta a los objetivos planteados y sustentar el diseño de un protocolo de gestión de riesgo basado en la norma ISO 31000 para la infraestructura vial municipal en las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso. Para ello, se emplearon diferentes herramientas de recopilación y análisis de información que permitieron identificar la situación actual de la gestión de riesgo, evaluar las principales amenazas que afectan la infraestructura vial y establecer los elementos necesarios para la propuesta de mejora. Los resultados se presentan de forma ordenada, acompañados de su respectivo análisis e interpretación, con el fin de facilitar la comprensión de los hallazgos y justificar las acciones incluidas en el protocolo propuesto.

4.1. Identificación de amenazas y vulnerabilidades de las seis rutas.

Como parte del diagnóstico inicial, se realizan visitas a las seis rutas objeto de estudio con el propósito de conocer las condiciones en las que se desarrollan las operaciones e identificar las principales amenazas y vulnerabilidades presentes en cada una de ellas. Durante los recorridos se observa el entorno, la forma en que se ejecutan las actividades y los factores que podrían afectar la seguridad, la continuidad operativa o el desempeño del proceso.

Con el propósito de identificar las amenazas y vulnerabilidades presentes en las rutas objeto de estudio, se realizan inspecciones de campo en cada uno de los seis recorridos seleccionados. Estas visitas permiten observar directamente las condiciones físicas de las vías, el entorno operativo y los factores que pueden representar un riesgo para la seguridad del personal o afectar

la continuidad del servicio. Asimismo, la información recopilada durante las inspecciones constituye la base para el análisis de riesgos y la posterior formulación de propuestas de mejora.

Durante cada inspección se registran aspectos relacionados con el estado de la infraestructura vial, las condiciones de acceso, la presencia de obstáculos, la señalización, las condiciones climáticas y cualquier otra situación que pueda afectar el desarrollo de las operaciones. Además, se recopila evidencia fotográfica y se emplean criterios técnicos para clasificar los daños o amenazas identificadas en cada una de las rutas.

Tabla 5. Cronograma de visitas

Ruta inspeccionada	Fecha de inspección	Responsable	Número de visitas	Condiciones climáticas	Puntos inspeccionados
21501100 – Cabanga – Río Venado	5/5/2026	Desarrollador del proyecto	1	Soleado	Estado de la vía, drenajes, puentes, taludes y accesos
21503200 – El Silencio – La Poma	7/5/2026	Desarrollador del proyecto	1	Parcialmente nublado	Estado de la vía, drenajes, puentes, taludes y accesos
21503900 – Margarita – Bar El Imperio	12/5/2026	Desarrollador del proyecto	1	Lluvia ligera	Estado de la vía, drenajes, puentes, taludes y accesos
21504100 – San Juan – Finca El Cubano	14/5/2026	Desarrollador del proyecto	1	Nublado	Estado de la vía, drenajes, puentes, taludes y accesos
21504200 – Puesto Fuerza Pública – Pataste	19/5/2026	Desarrollador del proyecto	1	Soleado	Estado de la vía, drenajes, puentes, taludes y accesos
21519700 – Lourdes – Río Venado	21/5/2026	Desarrollador del proyecto	1	Parcialmente nublado	Estado de la vía, drenajes, puentes, taludes y accesos

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

Las inspecciones de campo permitieron recopilar información detallada sobre las condiciones actuales de cada una de las seis rutas, identificando los principales factores que pueden comprometer la seguridad de los usuarios y la continuidad de las operaciones. La información

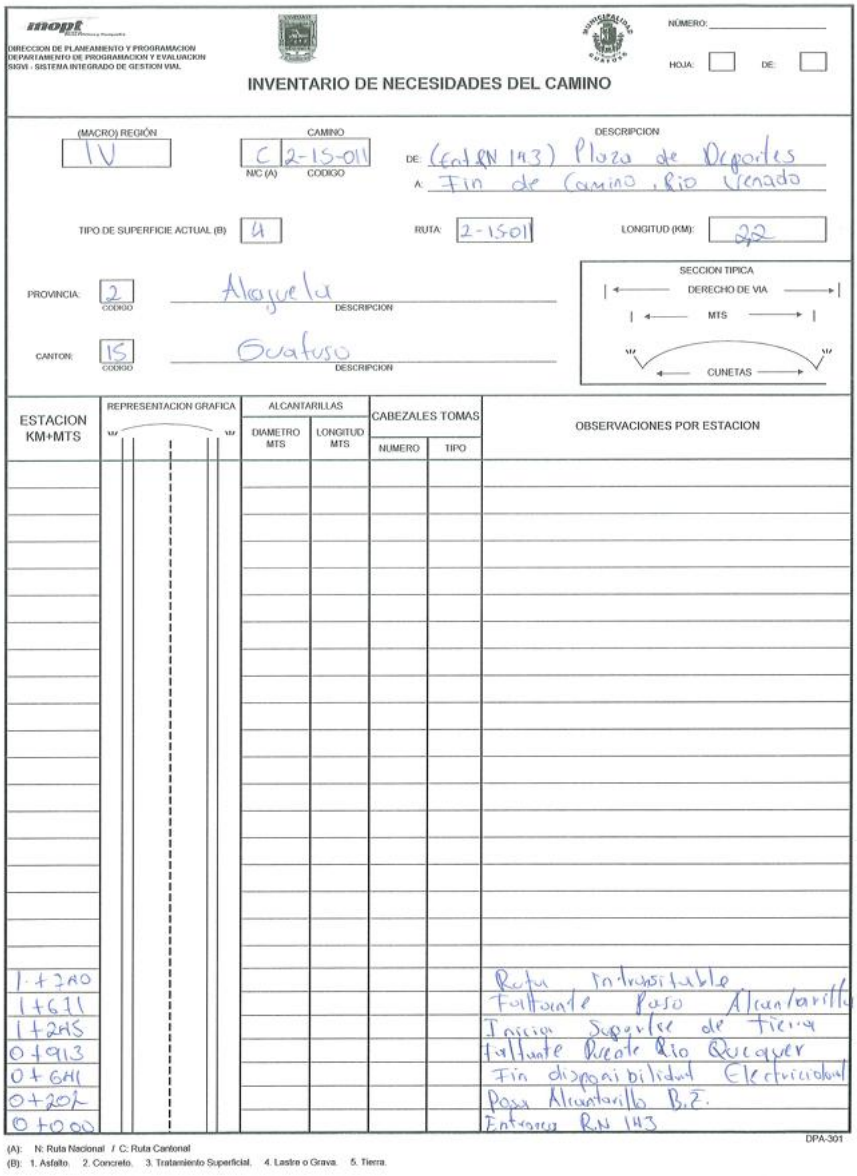
obtenida mediante la observación directa y el registro fotográfico constituye la base para el análisis de las amenazas y vulnerabilidades presentes en cada recorrido. A continuación, se presentan los hallazgos identificados en cada una de las rutas inspeccionadas, describiendo las condiciones observadas y los riesgos detectados durante las visitas de campo.

4.1.1. 21501100 – Cabanga – Río Venado

La inspección de la ruta Cabanga – Río Venado permitió identificar diferentes condiciones relacionadas con la transitabilidad, el drenaje, la superficie de rodamiento y la conectividad de la vía. Los puntos registrados durante el recorrido permiten reconocer tanto sectores con condiciones favorables como situaciones que pueden afectar directamente el funcionamiento de la ruta.

Los resultados obtenidos durante la inspección de campo se presentan en la siguiente figura, en la cual se muestran los principales puntos identificados a lo largo de la ruta Cabanga – Río Venado. La representación permite ubicar espacialmente cada una de las condiciones registradas y facilita la interpretación de los sectores que presentan afectaciones o características relevantes para el análisis de la infraestructura vial.

Figura 7. Ficha de inspección Cabanga – Río Venado



mopt
DIRECCION DE PLANEAMIENTO Y PROGRAMACION
DEPARTAMENTO DE PROGRAMACION Y EVALUACION
SIGVI - SISTEMA INTEGRADO DE GESTION VIAL

NÚMERO:
HOJA: DE:

INVENTARIO DE NECESIDADES DEL CAMINO

(MACRO) REGIÓN: V
CAMINO: N/C (A): C — CODIGO: 2-15-011
DESCRIPCION: DE: (Cat RN 143) Plaza de Deportes
A: Fin de Camino, Río Venado
TIPO DE SUPERFICIE ACTUAL (B): 4
RUTA: 2-1501
LONGITUD (KM): 2,2
PROVINCIA: 2 (CODIGO) Alajuela (DESCRIPCION)
CANTON: 15 (CODIGO) Guatuso (DESCRIPCION)

SECCION TIPICA
DERECHO DE VIA
MTS
CUNETAS

ESTACION KM+MTS	REPRESENTACION GRAFICA	ALCANTARILLAS DIAMETRO MTS	ALCANTARILLAS LONGITUD MTS	CABEZALES TOMAS NUMERO	CABEZALES TOMAS TIPO	OBSERVACIONES POR ESTACION
1+740						Ruta Intransitable
1+611						Faltante Paso Alcantarilla
1+245						Inicio Superficie de Tierra
0+913						Faltante Puente Río Quebrada
0+641						Fin disponibilidad Electricidad
0+201						Paso Alcantarillo B.E.
0+000						Entronque RN 143

DPA-301

(A): N: Ruta Nacional / C: Ruta Cantonal
(B): 1. Asfalto. 2. Concreto. 3. Tratamiento Superficial. 4. Lastre o Grava. 5. Tierra.

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

Durante la inspección se identificó un sector clasificado como ruta intransitable, lo que indica que las condiciones existentes impiden o dificultan completamente la circulación vehicular segura. Este hallazgo representa una de las principales afectaciones de la ruta, debido a que

limita la movilidad de los usuarios y puede dificultar el acceso de vehículos de emergencia, transporte de productos y otros servicios.

También se registró un faltante de paso de alcantarilla, situación que representa una deficiencia en el manejo de las aguas superficiales. La ausencia de este elemento puede favorecer el paso del agua sobre la vía y provocar erosión, pérdida de material y deterioro progresivo de la superficie. Esta condición adquiere mayor importancia debido a que posteriormente se identifica el punto donde inicia la superficie de tierra, sector que presenta una mayor vulnerabilidad ante las lluvias y el escurrimiento superficial.

Uno de los hallazgos de mayor relevancia corresponde al faltante del puente sobre el río Quequer. Esta situación afecta directamente la continuidad de la ruta, ya que la ausencia de la estructura genera una interrupción en la conexión entre los sectores ubicados a ambos lados del cauce. Por sus características, este punto representa una condición crítica para la movilidad y debe considerarse dentro de las principales situaciones de riesgo identificadas en el recorrido.

Adicionalmente, se determinó el fin de la disponibilidad de electricidad, dato que permite establecer un punto de referencia sobre la cobertura de este servicio a lo largo del corredor. En contraste con las condiciones anteriores, se identificó un paso de alcantarilla en buen estado, lo cual evidencia que existe infraestructura de drenaje que mantiene condiciones adecuadas de funcionamiento. Finalmente, el recorrido concluye en el entronque con la Ruta Nacional 143, que constituye un punto importante de conexión de la ruta cantonal con la red vial nacional.

Figura 8. Evidencia Cabanga – Río Venado



Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

La inspección realizada en la ruta evidenció la ausencia de un puente sobre el cauce ubicado al final del recorrido, condición que representa una interrupción en la continuidad de la infraestructura vial. Actualmente, el paso depende del nivel del río, por lo que la transitabilidad de la ruta se ve condicionada por las condiciones climáticas y el caudal del cauce. Durante la época lluviosa, el incremento del nivel del agua limita o impide el paso de vehículos, afectando la conectividad y el acceso hacia los sectores atendidos por esta ruta.

Asimismo, se observó que la superficie de ruedo carece de una base granular que garantice condiciones adecuadas de circulación. Como consecuencia, durante la temporada de lluvias la vía presenta una pérdida significativa de capacidad portante, generando sectores intransitables

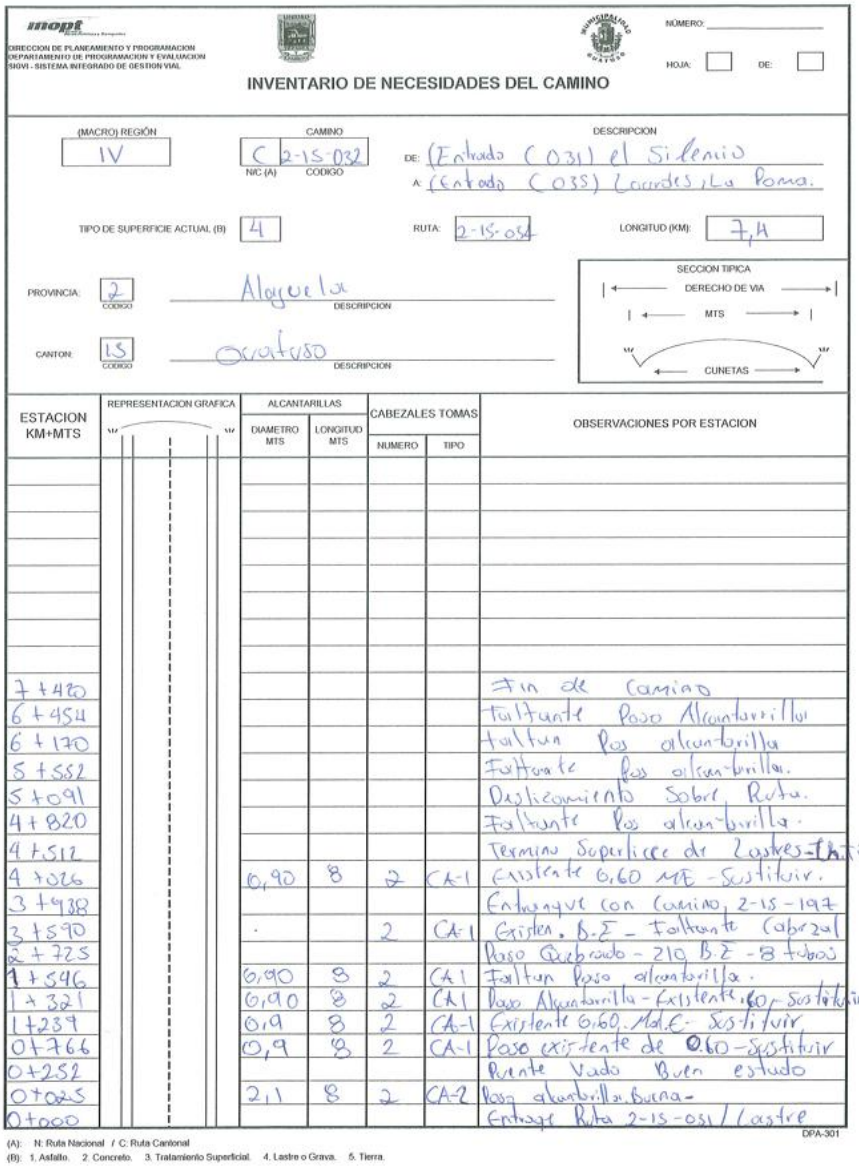
debido a la formación de lodo y deformaciones en la superficie. Esta situación incrementa el riesgo para los usuarios y dificulta la prestación continua del servicio, por lo que constituye una de las principales vulnerabilidades identificadas durante la inspección de campo.

4.1.2. 21503200 – El Silencio – La Poma

El recorrido efectuado en la ruta El Silencio – La Poma permitió reconocer las condiciones existentes a lo largo del trazado, desde su conexión inicial con la Ruta 2-15-051 hasta el final del camino, ubicado en el estacionamiento 7+480. La hoja de campo registra principalmente situaciones relacionadas con el manejo de aguas, el estado de las estructuras de paso y las características de la superficie de rodamiento. La información obtenida permite identificar sectores que actualmente funcionan de manera adecuada y otros donde resulta necesario realizar intervenciones para conservar la funcionalidad de la vía.

La ubicación de los puntos registrados durante la inspección se presenta en la siguiente figura. En ella se puede observar la distribución de las estructuras y las condiciones encontradas según el kilometraje de la ruta, permitiendo reconocer la concentración de problemas y los cambios que se presentan conforme avanza el recorrido.

Figura 9. *Ficha de inspección El Silencio – La Poma*



DIRECCION DE PLANEAMIENTO Y PROGRAMACION
DEPARTAMENTO DE PROGRAMACION Y EVALUACION
SIGVI - SISTEMA INTEGRADO DE GESTION VIAL

INVENTARIO DE NECESIDADES DEL CAMINO

NÚMERO: _____ HOJA: ☐ DE: ☐

(MACRO) REGIÓN: IV

CAMINO: C 2-15-032 (NIC (A) / CODIGO)

DESCRIPCION
DE: (Entrada (031) el Silencio
A: (entrada (035) Cuadres, La Poma.

TIPO DE SUPERFICIE ACTUAL (B): 4

RUTA: 2-15-054

LONGITUD (KM): 7,4

PROVINCIA: 2 (CODIGO) Alajuela (DESCRIPCION)

CANTON: 13 (CODIGO) Orotina (DESCRIPCION)

SECCION TIPICA
DERECHO DE VIA
MTS
CUNETAS

ESTACION KM+MTS	REPRESENTACION GRAFICA	ALCANTARILLAS DIAMETRO MTS	ALCANTARILLAS LONGITUD MTS	CABEZALES TOMAS NUMERO	CABEZALES TOMAS TIPO	OBSERVACIONES POR ESTACION
7+420						Fin de Camino
6+454						Faltante Paso Alcantarilla
6+170						Faltan Pos alcantarilla
5+552						Faltante Pos alcantarilla.
5+091						Deslizamiento sobre Ruta.
4+820						Faltante Pos alcantarilla.
4+512						Termino Superficie de Lastre-Tierra
4+026		0,90	8	2	CA-1	Existente 0,60 ME - Sustituir.
3+938						Entronque con Camino 2-15-197
3+590		.		2	CA-1	Existen. B.E - Faltante Cabezal
2+725						Paso Quebrado - 210 B.E - 8 tubos
1+546		0,90	8	2	CA-1	Faltan Paso alcantarilla.
1+321		0,90	8	2	CA-1	Paso Alcantarilla - Existente, 60 - Sustituir
1+239		0,9	8	2	CA-1	Existente 0,60. Mal.E. Sustituir
0+766		0,9	8	2	CA-1	Paso existente de 0,60 - Sustituir
0+252						Puente Vado Buen estado
0+025		2,1	8	2	CA-2	Pasa alcantarilla Buena-
0+000						Entrada Ruta 2-15-031 / Lastre

DPA-301

(A): N: Ruta Nacional / C: Ruta Cantonal
(B): 1. Asfalto. 2. Concreto. 3. Tratamiento Superficial. 4. Lastre o Grava. 5. Tierra.

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

Uno de los aspectos que destaca en esta ruta es el comportamiento de las estructuras de drenaje. Se encontraron pasos de alcantarilla que presentan condiciones satisfactorias, como el ubicado en el estacionamiento 0+025, con un diámetro de 2,10 m, y el paso de quebrada localizado en el 2+725, conformado por ocho tubos. También se identificó una estructura en buen estado en el

3+590; sin embargo, esta presenta el cabezal faltante. Estos registros indican que existen componentes funcionales dentro de la red de drenaje, aunque algunos requieren completar o mejorar sus elementos para mantener su desempeño.

En contraste, una parte importante del recorrido presenta alcantarillas que requieren ser sustituidas. Esta condición se observa en los puntos 0+766, 1+239, 1+321 y 4+026, donde las estructuras existentes tienen un diámetro de 0,60 m y fueron clasificadas para reemplazo. A estas situaciones se suman los puntos 1+546, 4+820, 5+552, 6+170 y 6+454, donde se reporta directamente la falta de pasos de alcantarilla. La cantidad y distribución de estos puntos permite identificar el drenaje como uno de los principales componentes que requieren atención en esta ruta.

La superficie del camino también presenta una variación importante. El recorrido inicia sobre lastre, condición registrada desde el entronque con la Ruta 2-15-051, y en el estacionamiento 4+512 se marca el cambio hacia una superficie de tierra. Esta transición es relevante porque los caminos sin una capa de rodamiento estabilizada pueden presentar mayores dificultades de circulación y deteriorarse con mayor facilidad ante la acción del agua, especialmente cuando existen deficiencias en el drenaje.

Otro hallazgo que merece especial atención corresponde al deslizamiento registrado en el estacionamiento 5+091. A diferencia de las deficiencias puntuales de las alcantarillas, este evento representa una afectación directa sobre el corredor vial, debido a que el material desplazado puede reducir las condiciones normales de circulación y generar restricciones adicionales para los usuarios. Su ubicación, posterior al inicio del tramo de tierra, adquiere relevancia al analizar de manera conjunta las características del terreno y las condiciones de drenaje presentes en el sector.

La ruta cuenta además con puntos de conexión que permiten establecer su relación con otros caminos. En el 3+938 se encuentra el entronque con el camino 2-15-197, mientras que el recorrido inicia en la conexión con la Ruta 2-15-051. Estos puntos son importantes para la movilidad local, ya que cualquier afectación significativa en el tramo puede repercutir en la comunicación entre los diferentes sectores conectados.

Figura 10. *Evidencia El Silencio – La Poma*



Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

Durante la inspección de campo se identificaron varios puntos de la ruta donde existe ausencia de pasos de alcantarilla, lo que limita la adecuada conducción de las aguas pluviales y favorece su escurrimiento sobre la superficie de la vía. Esta condición incrementa los procesos de erosión

y acelera el deterioro de la estructura del camino, afectando su funcionamiento, especialmente durante la época de mayores precipitaciones.

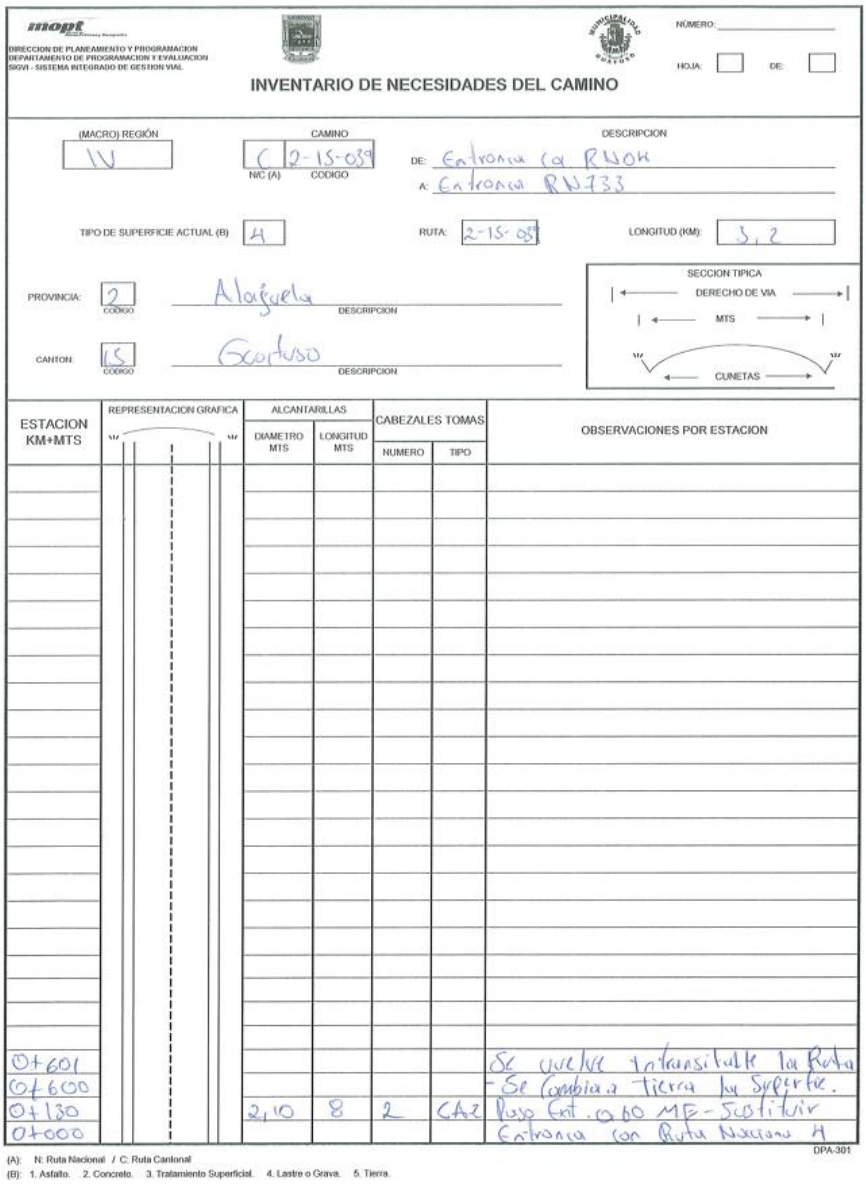
Asimismo, se evidenció un tramo afectado por un deslizamiento de terreno que reduce el ancho útil de la vía y compromete la seguridad de los usuarios. La combinación de un sistema de drenaje insuficiente y la inestabilidad del terreno aumenta la probabilidad de pérdida de transitabilidad durante la temporada lluviosa, representando una amenaza para la continuidad del servicio y el acceso a las comunidades que dependen de esta ruta.

4.1.3. 21503900 – Margarita – Bar El Imperio

La revisión de campo realizada en la ruta Margarita – Bar El Imperio permitió identificar una modificación importante en las condiciones de la vía en un tramo relativamente corto. Los registros abarcan desde el punto de conexión con la Ruta Nacional 4 hasta el sector donde la circulación deja de ser posible, permitiendo establecer con claridad el cambio progresivo que experimenta el camino.

La distribución de los puntos identificados durante la inspección se presenta en la siguiente figura. Esta permite visualizar la ubicación de cada hallazgo y relacionarlo con el estacionamiento correspondiente, facilitando la identificación del sector donde se produce el deterioro más significativo de la ruta.

Figura 11. *Ficha de inspección Margarita – Bar El Imperio*



DIRECCION DE PLANEAMIENTO Y PROGRAMACION
DEPARTAMENTO DE PROGRAMACION Y EVALUACION
SIGVI - SISTEMA INTEGRADO DE GESTION VIAL

NÚMERO:
HOJA: DE:

INVENTARIO DE NECESIDADES DEL CAMINO

(MACRO) REGIÓN: IV
CAMINO: C 2-15-039 (NIC (A) / CODIGO)
DESCRIPCION: DE: Entronca con RN04 — A: Entronca RN733
TIPO DE SUPERFICIE ACTUAL (B): 4
RUTA: 2-15-039
LONGITUD (KM): 3,2
PROVINCIA: 2 Alajuela (CODIGO / DESCRIPCION)
CANTON: 15 Guatuso (CODIGO / DESCRIPCION)
SECCION TIPICA: DERECHO DE VIA — MTS — CUNETAS

ESTACION KM+MTS	REPRESENTACION GRAFICA	ALCANTARILLAS DIAMETRO MTS	ALCANTARILLAS LONGITUD MTS	CABEZALES TOMAS NUMERO	CABEZALES TOMAS TIPO	OBSERVACIONES POR ESTACION
0+601						Se vuelve intransitable la Ruta
0+600						- Se Cambia a tierra la Superfic.
0+130		2,10	8	2	CAZ	Paso Ent. 0,60 ME - Sustituir
0+000						Entronca con Ruta Nacional 4

DPA-301

(A): N: Ruta Nacional / C: Ruta Cantonal
(B): 1. Asfalto. 2. Concreto. 3. Tratamiento Superficial. 4. Lastre o Grava. 5. Tierra.

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

El recorrido comienza en el 0+000, donde la vía se conecta con la Ruta Nacional 4. Este punto representa un enlace de importancia para la movilidad, ya que establece la conexión entre el camino inspeccionado y una carretera de mayor jerarquía. A tan solo 130 metros del inicio, en el 0+130, se localiza un paso de entubamiento de 0,60 m clasificado en mal estado y cuya

sustitución resulta necesaria. Esta condición constituye la primera deficiencia registrada y está relacionada directamente con el funcionamiento del drenaje de la vía.

Un cambio significativo ocurre en el 0+600, donde finaliza la superficie existente y el camino pasa a ser de tierra. Esta modificación representa una disminución en las condiciones de rodamiento y puede hacer que el tramo sea más susceptible a problemas ocasionados por las precipitaciones, el escurrimiento superficial y el tránsito vehicular. La situación adquiere mayor relevancia debido a que, prácticamente de forma inmediata, en el 0+601, la ruta es catalogada como intransitable.

La cercanía entre ambos puntos constituye uno de los principales aspectos que deben considerarse en el análisis. El paso de una superficie de rodamiento existente a un tramo de tierra ocurre apenas un metro antes de que la vía sea considerada intransitable, lo que evidencia que la pérdida de condiciones adecuadas de circulación se concentra en un sector muy específico. Esto permite identificar el tramo final como el punto de mayor afectación dentro de la ruta inspeccionada.

Desde la perspectiva de la gestión del riesgo, la condición encontrada no debe analizarse únicamente como un problema de superficie. El deterioro del paso de 0,60 m, seguido por el cambio a tierra y posteriormente por la intransitabilidad, muestra una posible relación entre las condiciones de infraestructura y la capacidad de la vía para mantener una circulación adecuada. Además, cualquier afectación en este tramo puede tener consecuencias sobre la conexión con la Ruta Nacional 4, particularmente para los usuarios que dependen de este camino como medio de acceso.

Figura 12. *Evidencia Margarita – Bar El Imperio*



Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

La inspección de campo permitió identificar que la ruta presenta una transición en su superficie de ruedo, pasando de un tramo con material granular a sectores de tierra. Este cambio reduce las condiciones de estabilidad del camino y aumenta su susceptibilidad al deterioro ocasionado por

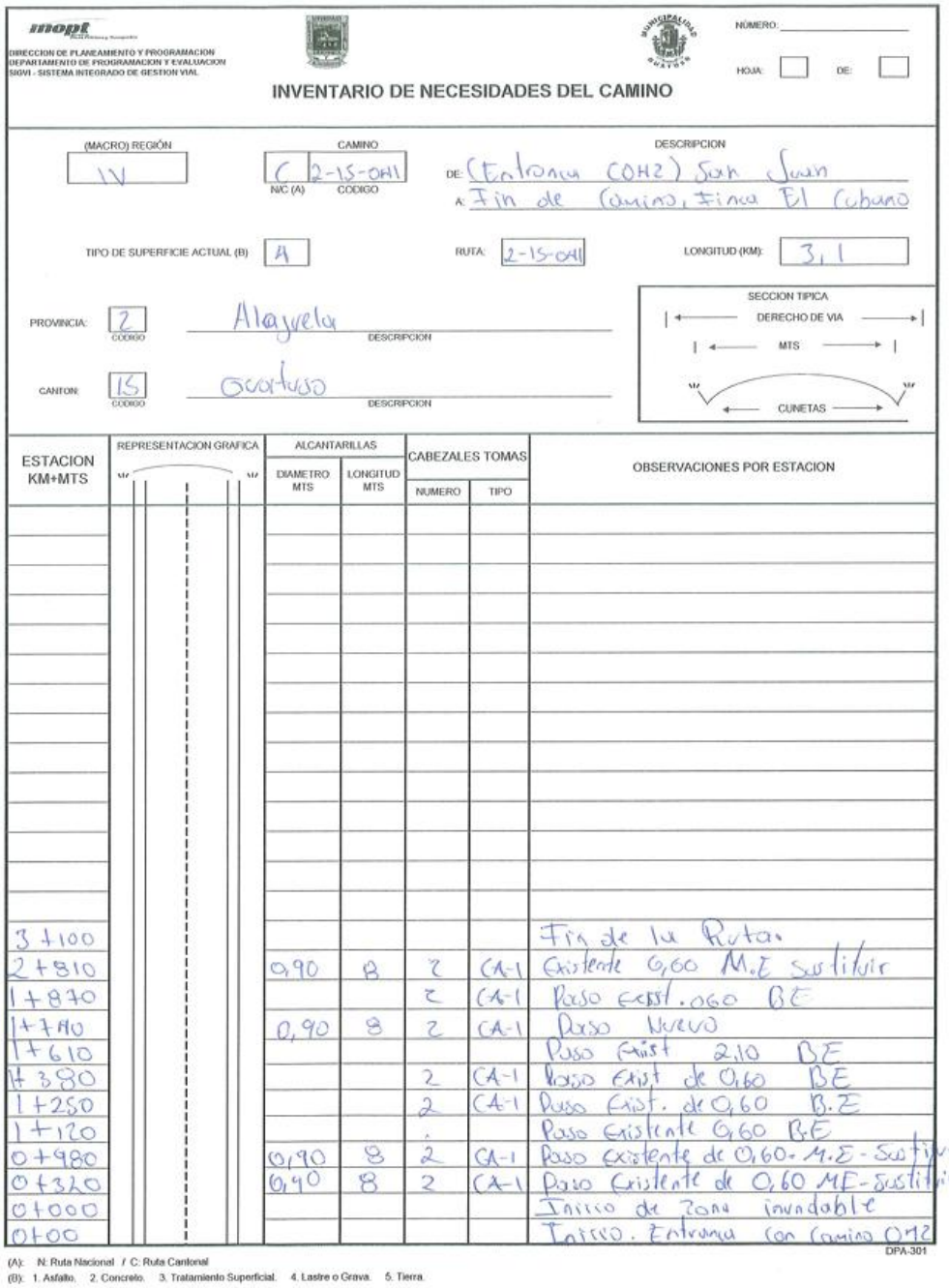
las precipitaciones. Además, se detectaron varios pasos de alcantarilla con un nivel de deterioro que hace necesaria su sustitución para garantizar un adecuado manejo de las aguas pluviales.

Las condiciones observadas evidencian que la capacidad funcional de la ruta se ve comprometida durante la época lluviosa. La falta de una superficie estabilizada, sumada a las deficiencias del sistema de drenaje, provoca la formación de barro y el reblandecimiento del terreno, dificultando el tránsito vehicular e incluso imposibilitando el paso en algunos sectores bajo condiciones de alta humedad. Estas situaciones representan una vulnerabilidad para la continuidad del servicio y requieren atención para mejorar la seguridad y la transitabilidad de la vía.

4.1.4. 21504100 – San Juan – Finca El Cubano

El levantamiento realizado en la ruta San Juan – Finca El Cubano permitió registrar las características de la vía y de las obras de paso distribuidas a lo largo de sus 3,10 km. A diferencia de otras rutas inspeccionadas, en este caso se observa una cantidad importante de estructuras de drenaje, algunas de ellas en condiciones adecuadas y otras que requieren ser reemplazadas. También destaca la presencia de una zona inundable desde el inicio del recorrido, aspecto que debe considerarse al valorar la vulnerabilidad de este camino.

Figura 13. *Ficha de inspección San Juan – Finca El Cubano*



MOPT
DIRECCION DE PLANEAMIENTO Y PROGRAMACION
DEPARTAMENTO DE PROGRAMACION Y EVALUACION
SIGVI - SISTEMA INTEGRADO DE GESTION VIAL

NÚMERO:
HOJA: DE:

INVENTARIO DE NECESIDADES DEL CAMINO

(MACRO) REGIÓN: IV
CAMINO: N/C (A): C — CODIGO: 2-15-041
DESCRIPCION: DE: (Entronca COH2) San Juan
A: Fin de Camino, Finca El Cubano

TIPO DE SUPERFICIE ACTUAL (B): 4
RUTA: 2-15-041
LONGITUD (KM): 3,1

PROVINCIA: 2 (CODIGO) Alajuela (DESCRIPCION)
CANTON: 15 (CODIGO) Guatuso (DESCRIPCION)

SECCION TIPICA
DERECHO DE VIA
MTS
CUNETAS

ESTACION KM+MTS	REPRESENTACION GRAFICA	ALCANTARILLAS DIAMETRO MTS	ALCANTARILLAS LONGITUD MTS	CABEZALES TOMAS NUMERO	CABEZALES TOMAS TIPO	OBSERVACIONES POR ESTACION
3+100						Fin de la Ruta.
2+810		0,90	8	2	CA-1	Existente 0,60 M.E sustituir
1+870				2	CA-1	Paso Exist. 060 BE
1+740		0,90	8	2	CA-1	Paso Nuevo
1+610						Paso Exist 2,10 BE
1+380				2	CA-1	Paso Exist de 0,60 BE
1+250				2	CA-1	Paso Exist. de 0,60 B.E
1+120						Paso Existente 0,60 B.E
0+980		0,90	8	2	CA-1	Paso existente de 0,60- M.E - Sustituir
0+320		0,90	8	2	CA-1	Paso Existente de 0,60 ME - Sustituir
0+000						Inicio de zona inundable
0+00						Inicio. Entronca con camino 012

DPA-301

(A): N: Ruta Nacional / C: Ruta Cantonal
(B): 1. Asfalto. 2. Concreto. 3. Tratamiento Superficial. 4. Lastre o Grava. 5. Tierra.

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

El camino inicia en el 0+000, donde se encuentra el entronque con el camino 012. En este mismo punto comienza una zona inundable, lo que constituye una condición relevante desde el inicio del recorrido. La presencia de este tipo de sector puede afectar la transitabilidad durante eventos

de lluvia o períodos de aumento en el nivel del agua, especialmente si la capacidad de drenaje existente no resulta suficiente para mantener libre la superficie de circulación.

Entre los estacionamientos 0+320 y 0+980 se localizaron dos pasos existentes que fueron clasificados en mal estado y cuya sustitución es necesaria. Ambos corresponden a estructuras conformadas por ocho tubos de 0,90 m de diámetro y dos cabezales. La necesidad de reemplazar estas obras evidencia que, aunque existen elementos destinados al manejo del agua, su condición actual no es la adecuada para garantizar su funcionamiento durante toda la vida útil de la vía.

Posteriormente, entre los 1+120 y 1+870, se concentra el mayor número de estructuras que presentan una condición favorable. Se registraron pasos de alcantarilla en buen estado en los estacionamientos 1+120, 1+250 y 1+380, además de un paso de 2,10 m en el 1+610 y otro de 0,60 m en el 1+870. También destaca la instalación de un paso nuevo en el 1+740, compuesto por ocho tubos de 0,90 m y dos cabezales. Este conjunto de registros refleja que una parte considerable del tramo cuenta con infraestructura de drenaje funcional y, en un punto específico, con una estructura recientemente incorporada.

Sin embargo, en el 2+810 vuelve a identificarse una estructura de 0,60 m en mal estado que requiere sustitución. Este punto se encuentra próximo al final de la ruta, establecido en el 3+100, por lo que representa una de las últimas condiciones que deben considerarse antes de completar el recorrido.

Figura 14. *Evidencia San Juan – Finca El Cubano*



Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

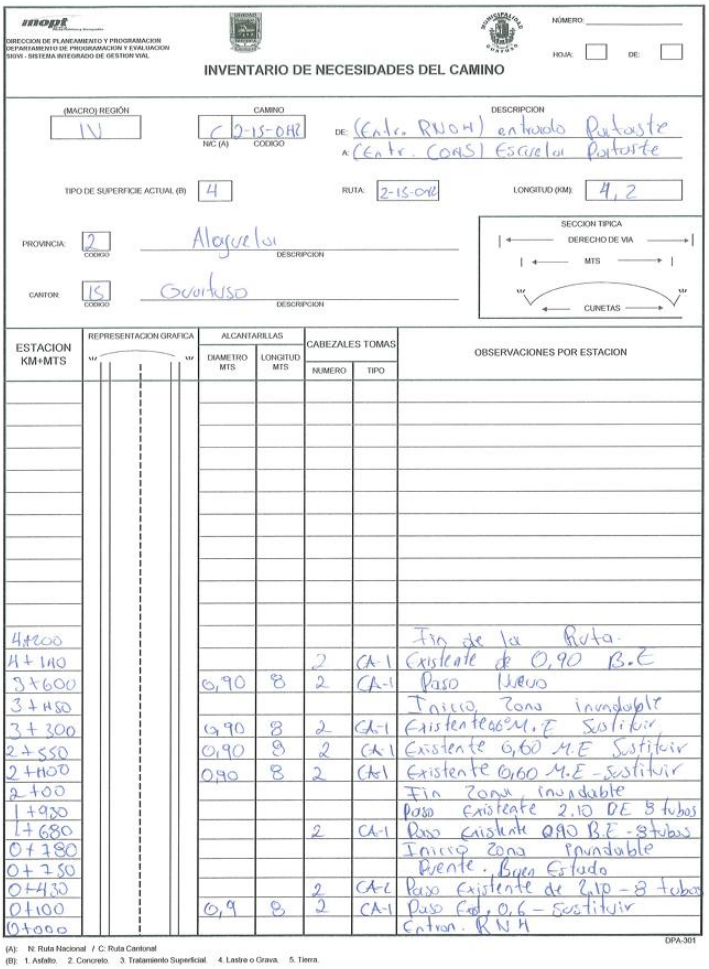
La vía presenta deterioro superficial en diferentes sectores, evidenciado por condiciones que afectan la calidad de la superficie de rodamiento y dificultan una circulación adecuada. A esta situación se suma la presencia de sectores ubicados en zonas susceptibles a inundación, donde la acumulación de agua durante eventos de lluvia puede saturar el terreno y afectar la estabilidad de la superficie. Estas condiciones pueden favorecer la pérdida de material, la aparición de irregularidades y un mayor deterioro de la vía, principalmente durante la época lluviosa.

Asimismo, se identifican obras de drenaje que requieren sustitución, las cuales son necesarias para conducir y evacuar adecuadamente las aguas provenientes de las precipitaciones. Cuando estas estructuras presentan deficiencias, el agua puede acumularse sobre la vía o desplazarse hacia sectores vulnerables, incrementando los daños existentes. En conjunto, estas condiciones representan una vulnerabilidad para la transitabilidad de la ruta, ya que durante lluvias intensas podrían generarse acumulaciones de agua, deterioro adicional de la superficie y, en casos de mayor afectación, interrupciones temporales del tránsito.

4.1.5. 21504200 – Puesto Fuerza Pública – Pataste

La información recopilada en la hoja de inspección de la ruta Puesto Fuerza Pública – Pataste muestra un corredor de aproximadamente 4,2 km en el que las condiciones no son uniformes. A lo largo del trayecto se alternan estructuras que mantienen un funcionamiento adecuado con otras que presentan deterioro, además de sectores donde la presencia de agua constituye una característica permanente de la vía. Esta combinación permite reconocer los puntos que requieren mayor seguimiento para evitar afectaciones en la operación del camino.

Figura 15. *Ficha de inspección Puesto Fuerza Pública – Pataste*



DIRECCION DE PLANEAMIENTO Y PROGRAMACION
DEPARTAMENTO DE PROGRAMACION Y EVALUACION
SIGVI - SISTEMA INTEGRADO DE GESTION VIAL

NÚMERO:
HOJA: DE:

INVENTARIO DE NECESIDADES DEL CAMINO

(MACRO) REGIÓN: IV
CAMINO: C 2-15-018 (NIC (A) / CODIGO)
DESCRIPCION: DE: (Entr. RN 04) entrada Pataste
A: (Entr. CONAS) Escuela Pataste
TIPO DE SUPERFICIE ACTUAL (B): 4
RUTA: 2-15-018
LONGITUD (KM): 4,2
PROVINCIA: 2 Alajuela (CODIGO / DESCRIPCION)
CANTON: 15 Guatuso (CODIGO / DESCRIPCION)
SECCION TIPICA: DERECHO DE VIA — MTS — CUNETAS

ESTACION KM+MTS	REPRESENTACION GRAFICA	ALCANTARILLAS DIAMETRO MTS	ALCANTARILLAS LONGITUD MTS	CABEZALES TOMAS NUMERO	CABEZALES TOMAS TIPO	OBSERVACIONES POR ESTACION
4+200						Fin de la Ruta.
4+140				2	CA-1	Existente de 0,90 B.E
3+600		0,90	8	2	CA-1	Paso Nuevo
3+450						Inicio Zona inundable
3+300		0,90	8	2	CA-1	Existente 0,90 M.E Sustituir
2+550		0,90	8	2	CA-1	Existente 0,60 M.E Sustituir
2+400		0,90	8	2	CA-1	Existente 0,60 M.E - Sustituir
2+100						Fin Zona inundable
1+930						Paso Existente 2,10 DE 3 tubos
1+680				2	CA-1	Paso Existente 0,90 B.E - 3 tubos
0+780						Inicio Zona inundable
0+750						Puente. Buen Estado
0+430				2	CA-1	Paso Existente de 2,10 - 8 tubos
0+100		0,9	8	2	CA-1	Paso Exist. 0,6 - Sustituir
0+000						Entron. RN 4

DPA-301

(A): N: Ruta Nacional / C: Ruta Cantonal
(B): 1. Asfalto. 2. Concreto. 3. Tratamiento Superficial. 4. Lastre o Grava. 5. Tierra.

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

En el punto de partida, 0+000, la ruta se conecta con la Ruta Nacional 4. A partir de ahí aparece una primera deficiencia en el 0+100, correspondiente a una alcantarilla de 0,60 m que se encuentra en mal estado y debe sustituirse. La estructura prevista para el reemplazo considera ocho tubos de 0,90 m y dos cabezales. No obstante, el recorrido también presenta obras con mejores condiciones: en 0+430 se registra un paso de 2,10 m con ocho tubos y dos cabezales, mientras que en 0+750 se encuentra un puente reportado en buen estado.

A partir del 0+780 cambia la condición del entorno, ya que comienza una zona inundable que se prolonga hasta el 2+100. Este sector representa un elemento importante para la valoración de la ruta porque la presencia recurrente de agua puede incrementar el desgaste de las obras de drenaje y afectar las condiciones de circulación. Dentro de este tramo se encuentran dos estructuras clasificadas en buen estado, ubicadas en los estacionamientos 1+680 y 1+930, lo que indica que el sector dispone de obras capaces de manejar parte de las condiciones hidráulicas existentes.

Al llegar al 2+100, además de finalizar la primera zona inundable, se identifica otra alcantarilla deteriorada que requiere sustitución. La misma situación vuelve a aparecer en los puntos 2+550 y 3+300, configurando un grupo de tres estructuras con necesidad de intervención en la sección intermedia de la ruta. Estas condiciones adquieren importancia porque se presentan después de una zona donde la vía ya está expuesta a problemas relacionados con la presencia de agua.

Más adelante, en el 3+450, se identifica el comienzo de una segunda zona inundable. Esta se extiende únicamente hasta el 3+600, donde precisamente se localiza un paso nuevo, constituido por ocho tubos de 0,90 m y dos cabezales. La coincidencia entre la nueva estructura y el sector inundable constituye un elemento favorable, pues representa una intervención reciente en una zona que presenta una condición particular de exposición al agua.

El último tramo presenta una condición más estable. En el 4+140 se registra un paso existente de 0,90 m en buen estado y con dos cabezales, y 60 metros después se alcanza el fin de la ruta, ubicado en el 4+200.

El comportamiento observado permite señalar que el drenaje constituye el principal aspecto de atención para esta ruta. Se cuenta con varias estructuras funcionales y una obra nueva, pero también existen cuatro pasos que deben sustituirse. A esto se agrega la presencia de dos sectores inundables, especialmente el comprendido entre 0+780 y 2+100, cuya longitud hace que tenga un peso importante dentro de la valoración general.

Figura 16. *Evidencia Puesto Fuerza Pública – Pataste*





Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

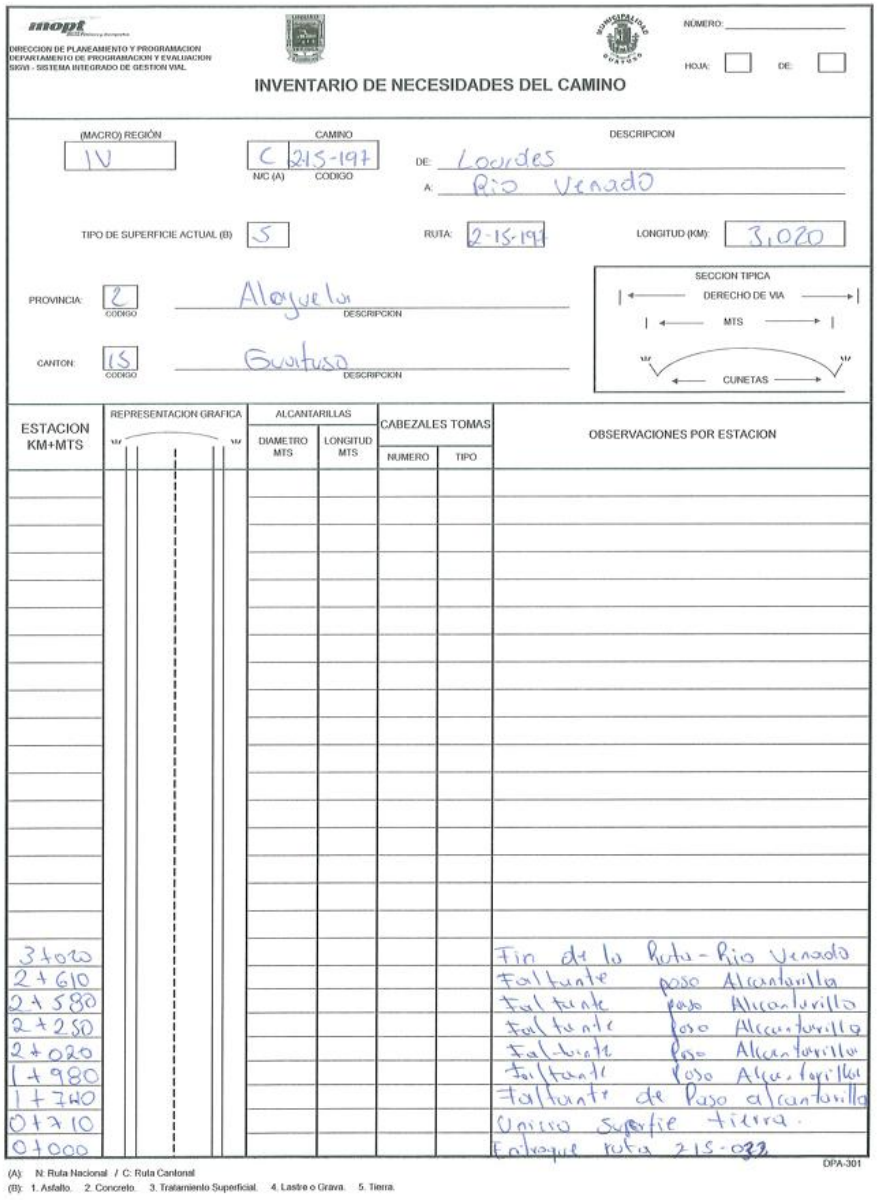
La inspección realizada permite identificar diversos sectores susceptibles a inundación, así como varios pasos de alcantarilla que presentan condiciones deficientes y requieren ser sustituidos para mejorar la evacuación de las aguas. Estas situaciones pueden favorecer la acumulación de agua sobre la superficie de rodamiento durante períodos de lluvia, afectando las condiciones normales de circulación.

Por otra parte, el puente existente presenta un estado de conservación adecuado, por lo que no se identifica como un elemento crítico en la condición actual de la ruta. Sin embargo, las deficiencias asociadas al sistema de drenaje constituyen una vulnerabilidad para la transitabilidad, debido a que durante eventos de lluvia intensa podrían provocar afectaciones en la vía y dificultar o interrumpir temporalmente el paso de los vehículos.

4.1.6. 21519700 – Lourdes – Río Venado

La inspección de la ruta Lourdes – Río Venado permitió identificar una condición particular respecto a las anteriores, debido a que los hallazgos se concentran principalmente en la ausencia de infraestructura de drenaje y en el cambio de la superficie de rodamiento. El recorrido comprende aproximadamente 3,02 km, iniciando en la conexión con la ruta 215-032 y finalizando en el sector del Río Venado.

Figura 17. *Ficha de inspección Lourdes – Río Venado*



mopt
DIRECCION DE PLANEAMIENTO Y PROGRAMACION
DEPARTAMENTO DE PROGRAMACION Y EVALUACION
SIGVI - SISTEMA INTEGRADO DE GESTION VIAL

NUMERO:
HOJA: DE:

INVENTARIO DE NECESIDADES DEL CAMINO

(MACRO) REGIÓN: IV
CAMINO: C 215-197 (N/C (A) CODIGO)
DESCRIPCION: DE: Lourdes A: Río Venado
TIPO DE SUPERFICIE ACTUAL (B): 5
RUTA: 2-15-197
LONGITUD (KM): 3,020
PROVINCIA: 2 Alajuela (CODIGO DESCRIPCION)
CANTON: 15 Guatuso (CODIGO DESCRIPCION)
SECCION TIPICA: DERECHO DE VIA, MTS, CUNETAS

ESTACION KM+MTS	REPRESENTACION GRAFICA	ALCANTARILLAS DIAMETRO MTS	ALCANTARILLAS LONGITUD MTS	CABEZALES TOMAS NUMERO	CABEZALES TOMAS TIPO	OBSERVACIONES POR ESTACION
3+020						Fin de la Ruta - Río Venado
2+610						Faltante paso Alcantarilla
2+580						Faltante paso Alcantarilla
2+250						Faltante paso Alcantarilla
2+020						Faltante paso Alcantarilla
1+980						Faltante paso Alca. Tapilla
1+740						Faltante de Paso alcantarilla
0+710						Unico Superfie tierra.
0+000						Entronque ruta 215-032

DPA-301

(A): N: Ruta Nacional / C: Ruta Cantonal
(B): 1. Asfalto. 2. Concreto. 3. Tratamiento Superficial. 4. Lastre o Grava. 5. Tierra.

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

El recorrido comienza en el 0+000, correspondiente al entronque con la ruta 215-032. Hasta el 0+710 se mantiene la superficie existente, punto a partir del cual se registra el inicio de un tramo de tierra. Este cambio representa una modificación relevante en las características de circulación, debido a que las superficies de tierra presentan una mayor susceptibilidad al deterioro cuando

están expuestas a lluvias y escorrentías, especialmente si no cuentan con un sistema de drenaje adecuado.

Precisamente después de este cambio se concentra la principal problemática encontrada. Entre los estacionamientos 1+740 y 2+610 se identificaron seis puntos donde faltan pasos de alcantarilla. La distribución de estos hallazgos resulta significativa, ya que no se trata de una deficiencia aislada, sino de una condición que se repite en varios sectores de la misma ruta. La ausencia de estas obras puede dificultar la conducción transversal del agua y favorecer que esta circule sobre la superficie del camino, provocando erosión, pérdida de material y deterioro progresivo.

La concentración de los faltantes de alcantarillas adquiere mayor importancia al considerar que el tramo ya se encuentra sobre una superficie de tierra. Ambas condiciones pueden generar un efecto conjunto: mientras la ausencia de drenaje incrementa la exposición de la vía al agua, la superficie sin una capa de rodamiento estabilizada presenta menor resistencia frente a la acción de las precipitaciones y el tránsito. Por ello, este sector representa uno de los puntos que requiere mayor atención dentro del recorrido.

Finalmente, en el 3+020 se establece el fin de la ruta, ubicado en el sector del Río Venado. Esta ubicación permite considerar que el recorrido termina próximo a un elemento natural que puede tener incidencia sobre las condiciones hidráulicas del sector, especialmente durante períodos de lluvias o aumento del caudal.

Figura 18. *Evidencia Lourdes – Río Venado*



Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

La ruta presenta una superficie de rodamiento en tierra y, durante la inspección, se identifican varios sectores en los que existe ausencia de pasos de alcantarilla. Estas deficiencias limitan la adecuada conducción del agua que atraviesa la vía, especialmente durante períodos de lluvia, cuando el caudal superficial puede aumentar y desplazarse directamente sobre la superficie de rodamiento. Además, la ruta finaliza en el sector del río Venado, lo que representa una condición que debe considerarse dentro de la evaluación de su vulnerabilidad.

La falta de obras de drenaje transversal puede generar acumulación de agua sobre la vía y procesos de erosión, provocando pérdida de material, formación de surcos y deterioro progresivo de la superficie de tierra. Estas condiciones pueden reducir la capacidad de circulación y generar restricciones para el paso de vehículos, principalmente durante eventos de lluvia intensa. Por lo

tanto, la ausencia de drenaje constituye un factor que incrementa la vulnerabilidad de la ruta y puede comprometer su transitabilidad durante la época lluviosa.

A partir de los resultados obtenidos durante las inspecciones de campo realizadas en las seis rutas cantonales prioritarias, se consolidan los principales puntos críticos identificados y su relación con las amenazas que pueden afectar la infraestructura vial. La información considera las condiciones observadas en materia de transitabilidad, drenaje, superficie de rodamiento, estabilidad del terreno, inundaciones y continuidad de la conexión vial.

La matriz permite integrar los hallazgos de cada ruta mediante la identificación de la amenaza, la vulnerabilidad existente, la probabilidad de ocurrencia y la consecuencia que podría generar sobre la infraestructura y la prestación del servicio vial. El nivel de riesgo se determina mediante la multiplicación de la probabilidad por la consecuencia, permitiendo establecer una prioridad de intervención para cada condición identificada.

Esta consolidación facilita la comparación entre las rutas analizadas y permite reconocer aquellos sectores donde la combinación entre las condiciones existentes y las amenazas presenta una mayor posibilidad de afectar la transitabilidad, la seguridad de los usuarios y la continuidad de la conexión vial.

Tabla 6. Matriz consolidada de riesgos

Ruta	Punto crítico	Amenaza	Vulnerabilidad	P	C	Riesgo	Prioridad
21501100 Cabanga – Río Venado	Río Quequer / falta de puente	Inundación	Interrupción de la continuidad vial	5	8	**40 Extremo**	Muy alta
21501100 Cabanga – Río Venado	Faltante de alcantarilla / superficie de tierra	Erosión y escorrentía	Drenaje insuficiente	4	8	**32 Extremo**	Muy alta
21503200 El Silencio – La Poma	Deslizamiento 5+091	Deslizamiento	Reducción del ancho de vía	5	8	**40 Extremo**	Muy alta
21503200 El Silencio – La Poma	Faltantes de alcantarillas	Escorrentía y erosión	Drenaje transversal insuficiente	4	8	**32 Extremo**	Muy alta
21503900 Margarita – Bar El Imperio	Alcantarilla 0+130	Fallo del drenaje	Estructura deteriorada	4	8	**32 Extremo**	Muy alta
21504100 San Juan – Finca El Cubano	Zona inundable 0+000	Inundación	Saturación del terreno	4	8	**32 Extremo**	Muy alta
21504100 San Juan – Finca El Cubano	Alcantarillas deterioradas	Fallo del drenaje	Estructuras requieren sustitución	3	4	**12 Tolerable**	Media
21504200 Puesto Fuerza Pública – Pataste	Zona inundable 0+780–2+100	Inundación	Exposición prolongada al agua	5	8	**40 Extremo**	Muy alta
21504200 Puesto Fuerza Pública – Pataste	Alcantarillas deterioradas	Fallo del drenaje	Estructuras requieren sustitución	4	4	**16 Alto**	Alta
21519700 Lourdes – Río Venado	Faltantes de alcantarillas	Escorrentía y erosión	Drenaje insuficiente	5	8	**40 Extremo**	Muy alta
21519700 Lourdes – Río Venado	Superficie de tierra	Deterioro vial	Baja resistencia ante lluvias	4	8	**32 Extremo**	Muy alta

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

La matriz consolidada permite observar que las principales amenazas presentes en las seis rutas corresponden a inundaciones, escorrentía superficial, erosión, deterioro de la superficie de rodamiento, deslizamientos y pérdida de continuidad vial. Estas condiciones se encuentran relacionadas principalmente con deficiencias en las obras de drenaje, superficies de tierra, presencia de cauces y sectores con antecedentes o susceptibilidad a inundación.

En la ruta 21501100 – Cabanga – Río Venado, el mayor nivel de riesgo se concentra en el sector del río Quequer, debido a la ausencia del puente y a la dependencia del nivel del cauce para mantener el paso vehicular. La combinación de una probabilidad muy alta y una consecuencia alta genera un riesgo extremo de 40, por lo que este punto presenta una prioridad de intervención muy alta. De igual manera, el faltante de alcantarilla asociado con la superficie de tierra genera un riesgo extremo de 32, debido a la posibilidad de erosión y pérdida de material durante eventos de lluvia.

Para la ruta 21503200 – El Silencio – La Poma, el deslizamiento ubicado en el 5+091 constituye uno de los puntos de mayor atención, al afectar directamente el ancho útil y las condiciones de circulación. Su valoración alcanza un riesgo extremo de 40. Además, los múltiples faltantes de alcantarillas y el cambio hacia superficie de tierra generan riesgos extremos de 32, evidenciando que el drenaje y las condiciones de la superficie representan los principales factores de vulnerabilidad de esta ruta.

En la ruta 21503900 – Margarita – Bar El Imperio, la condición más crítica corresponde al tramo catalogado como intransitable en el 0+601. Este punto alcanza un riesgo extremo de 40, debido a que la pérdida de transitabilidad puede interrumpir completamente la circulación. La situación se encuentra precedida por el cambio de superficie a tierra y por una alcantarilla deteriorada,

valorada con un riesgo extremo de 32. En conjunto, estos factores evidencian una concentración de problemas en el tramo inicial de la ruta.

La ruta 21504100 – San Juan – Finca El Cubano presenta como principal condición de vulnerabilidad la presencia de una zona inundable desde el inicio del recorrido. Esta situación alcanza un riesgo extremo de 32, debido a la posibilidad de acumulación de agua, saturación del terreno y deterioro de la superficie. Por otra parte, las alcantarillas que requieren sustitución presentan un nivel de riesgo tolerable de 12, debido a que, aunque representan una deficiencia del sistema de drenaje, la ruta también dispone de varias estructuras en buen estado y de una obra nueva.

En 21504200 – Puesto Fuerza Pública – Pataste, la principal condición corresponde a la zona inundable comprendida entre 0+780 y 2+100. Su extensión y exposición a la presencia de agua justifican una valoración de riesgo extremo de 40. Las alcantarillas deterioradas presentan un riesgo alto de 16, mientras que la segunda zona inundable, ubicada entre 3+450 y 3+600, alcanza un nivel tolerable de 12 debido a su menor extensión y a la existencia de un paso nuevo dentro del sector. El puente existente no se considera un punto crítico, debido a que durante la inspección fue reportado en buen estado.

Finalmente, en la ruta 21519700 – Lourdes – Río Venado, la mayor concentración de riesgo se encuentra entre los estacionamientos 1+740 y 2+610, donde se identifican seis faltantes de pasos de alcantarilla. Esta condición, combinada con la superficie de tierra existente desde el 0+710, genera un riesgo extremo de 40. La ausencia de drenaje transversal puede favorecer el escurrimiento directo sobre la vía, produciendo erosión, pérdida de material y deterioro progresivo. Asimismo, la finalización del recorrido en el sector del río Venado representa una condición adicional de exposición ante incrementos del caudal.

En términos generales, la matriz evidencia que los riesgos extremos se concentran principalmente en aquellos puntos donde coinciden deficiencias de drenaje, superficies de tierra, presencia de agua, deslizamientos o interrupciones de la continuidad vial. Por esta razón, las intervenciones con prioridad muy alta deben orientarse inicialmente hacia los sectores que presentan pérdida de transitabilidad, ausencia de puentes, deslizamientos y deficiencias de drenaje asociadas a superficies vulnerables.

Los resultados también permiten establecer que no todas las deficiencias identificadas requieren el mismo nivel de atención. La existencia de pasos de alcantarilla en buen estado, estructuras nuevas y puentes funcionales actúa como un elemento favorable dentro de la valoración. Por ello, la priorización debe considerar no solamente la cantidad de daños presentes, sino también la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias que cada condición puede generar sobre la continuidad y seguridad de la vía.

Como parte de la recopilación de información para el desarrollo de la investigación, se aplicó un instrumento conformado por cuatro preguntas cerradas dirigido al personal de la Municipalidad de Guatuso vinculado directamente con la gestión y mantenimiento de la infraestructura vial. El universo de funcionarios que cumplía con los criterios de inclusión establecidos para participar en el estudio estuvo conformado por cinco colaboradores, seleccionados por desempeñar funciones relacionadas con la inspección, supervisión y mantenimiento de las rutas cantonales prioritarias, así como por contar con experiencia directa en las condiciones y necesidades de la infraestructura vial del cantón. Los cargos participantes correspondieron a un ingeniero civil, dos maestros de obras y dos inspectores viales.

Como criterios de inclusión se consideró que los funcionarios mantuvieran una participación directa en las actividades de gestión, inspección, mantenimiento o supervisión de la infraestructura vial municipal y que contaran con conocimiento práctico sobre las condiciones de las rutas cantonales analizadas. A partir de estos criterios, fueron invitadas a participar las cinco personas que conformaban el universo identificado, de las cuales las cinco respondieron efectivamente el instrumento, obteniéndose una participación del 100 %. La información recopilada permitió conocer la percepción del personal municipal respecto a las prácticas actuales de gestión de riesgos, las principales amenazas identificadas y las condiciones de la infraestructura vial, constituyendo un insumo complementario para el análisis técnico y el diseño del protocolo de gestión de riesgos.

Si bien el instrumento estuvo integrado por preguntas cerradas con el fin de facilitar la comparación de las respuestas, durante su aplicación también se sostuvo una conversación con cada uno de los participantes para profundizar en los criterios que sustentaban sus respuestas. Esta información complementaria permitió comprender con mayor detalle la situación actual de la gestión de riesgo en la infraestructura vial municipal y enriqueció el análisis de los resultados, al considerar tanto los datos obtenidos mediante el instrumento como la experiencia y percepción de los colaboradores.

El análisis cualitativo de la información obtenida mediante las entrevistas se realizó mediante un proceso de codificación temática. En una primera etapa, las respuestas de los cinco funcionarios fueron revisadas y organizadas de acuerdo con los temas abordados en el instrumento. Posteriormente, se asignaron códigos a las respuestas según las categorías previamente definidas: frecuencia de las inspecciones, criterios de priorización, identificación de riesgos, condiciones de la infraestructura vial y necesidades de fortalecimiento de la gestión de riesgos. Esta

organización permitió agrupar las respuestas con características similares y reconocer coincidencias entre los participantes.

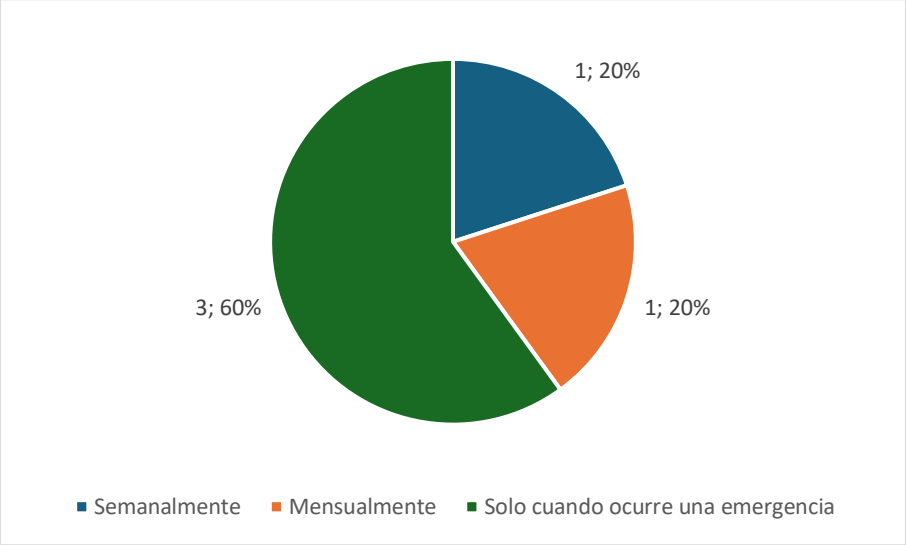
Para reducir posibles sesgos durante la interpretación, se mantuvo como referencia la información expresada directamente por los participantes y se evitó modificar el sentido de sus respuestas. Asimismo, los resultados cualitativos se contrastaron con los registros obtenidos durante las inspecciones de campo, procurando diferenciar entre las percepciones de los funcionarios y las condiciones observadas directamente en las rutas.

La triangulación de la información se realizó mediante la comparación de tres fuentes de evidencia: las respuestas de los funcionarios, los resultados de las inspecciones de campo y la revisión de la documentación disponible sobre las rutas cantonales. Esta comparación permitió identificar coincidencias y diferencias entre lo señalado por los participantes y las condiciones registradas durante el levantamiento de campo. De esta manera, los resultados cualitativos no se analizaron de forma aislada, sino en conjunto con la información obtenida mediante las demás técnicas utilizadas en la investigación.

Análisis de los resultados pregunta ¿Con qué frecuencia se realizan inspecciones de la infraestructura vial para identificar posibles riesgos?

El siguiente gráfico presenta los resultados obtenidos para la pregunta: ¿Con qué frecuencia se realizan inspecciones de la infraestructura vial para identificar posibles riesgos? Esta consulta tuvo como propósito conocer la periodicidad con la que la Municipalidad de Guatuso lleva a cabo inspecciones en las rutas cantonales prioritarias, considerando que estas actividades son fundamentales para detectar oportunamente condiciones que puedan afectar la seguridad, la funcionalidad y el estado de la infraestructura vial.

Figura 19. Frecuencia que se realizan inspecciones de la infraestructura vial para identificar posibles riesgos



Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

Asimismo, la información obtenida mediante esta pregunta permite valorar si las inspecciones se realizan de forma preventiva o únicamente cuando se presentan daños visibles o reportes por parte de la comunidad. Este aspecto es relevante para determinar el grado de alineación de las prácticas actuales con el enfoque preventivo que promueve la norma ISO 31000 y para establecer acciones de mejora dentro del protocolo propuesto.

De los cinco participantes, 3 de 5 funcionarios, equivalente al 60 %, indicaron que las inspecciones de la infraestructura vial se realizan únicamente cuando ocurre una emergencia. Por su parte, 1 de 5 funcionarios, correspondiente al 20 %, manifestó que estas se llevan a cabo semanalmente, mientras que 1 de 5 funcionarios, equivalente al 20 %, señaló que se realizan mensualmente. Estos resultados muestran que, según las respuestas obtenidas, las inspecciones se desarrollan principalmente como respuesta ante situaciones de emergencia, mientras que una menor cantidad de participantes reporta la existencia de una frecuencia semanal o mensual para su ejecución.

Durante las conversaciones con los participantes se identificó que las inspecciones periódicas suelen verse limitadas por la disponibilidad de personal, recursos económicos y prioridades operativas de la Municipalidad. Como consecuencia, gran parte de las evaluaciones de campo se realizan cuando ya existe un daño evidente o se recibe un reporte de la comunidad, situación que incrementa el riesgo de que los problemas evolucionen antes de ser atendidos. Este hallazgo refleja una oportunidad de mejora que puede abordarse mediante la implementación de un protocolo de gestión de riesgo basado en la norma ISO 31000, promoviendo inspecciones sistemáticas y orientadas a la prevención.

El ingeniero civil indicó que las inspecciones se realizan semanalmente, explicando que procura mantener un seguimiento constante de las rutas prioritarias para identificar oportunamente posibles afectaciones y programar intervenciones antes de que los daños aumenten. Desde su perspectiva, las inspecciones preventivas facilitan la planificación de los recursos disponibles y permiten establecer prioridades con base en criterios técnicos.

No obstante, también señaló que la frecuencia de estas inspecciones depende de la disponibilidad de personal y del presupuesto asignado, por lo que no siempre es posible mantener la periodicidad deseada en toda la red vial cantonal.

Los maestros de obras manifestaron que, en la práctica, la mayoría de las inspecciones se realizan cuando ocurre una emergencia, debido a que gran parte del trabajo diario consiste en atender daños reportados por la comunidad o situaciones ocasionadas por lluvias intensas, deslizamientos y deterioro de las vías.

Durante la conversación indicaron que sería conveniente realizar recorridos preventivos con mayor frecuencia; sin embargo, las labores correctivas consumen la mayor parte del tiempo disponible, limitando la ejecución de inspecciones programadas.

Los inspectores municipales presentaron criterios diferentes. Uno indicó que las inspecciones se realizan mensualmente, como parte del seguimiento de determinados proyectos o rutas con mayor tránsito, mientras que el otro manifestó que estas se ejecutan principalmente cuando ocurre una emergencia o cuando se recibe una denuncia ciudadana.

Ambos coincidieron en que la Municipalidad carece de un procedimiento estandarizado que establezca la frecuencia de las inspecciones para todas las rutas cantonales, lo que ocasiona diferencias en la forma en que se ejecuta el seguimiento de la infraestructura vial.

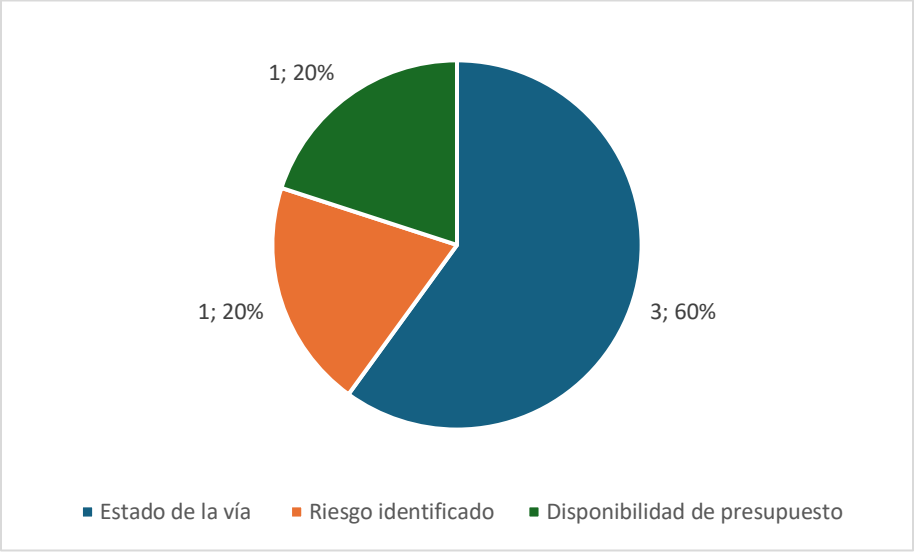
Al comparar las respuestas de los diferentes participantes, se observa que existen diferencias entre la perspectiva técnica, la operativa y la institucional respecto a la frecuencia de las inspecciones. Mientras el ingeniero civil destaca la importancia de realizar inspecciones periódicas como una medida preventiva, el personal de campo considera que las actividades se enfocan principalmente en la atención de emergencias, debido a las necesidades operativas del día a día.

Por otra parte, los inspectores municipales evidencian que no existe un criterio uniforme sobre la periodicidad de las inspecciones, lo que confirma la ausencia de un procedimiento estandarizado para la gestión de riesgo. En conjunto, estos resultados respaldan la necesidad de desarrollar un protocolo basado en la norma ISO 31000 que establezca lineamientos claros para la planificación, ejecución y seguimiento de las inspecciones en la infraestructura vial municipal.

Análisis de los resultados pregunta ¿Cuál es el principal criterio utilizado para priorizar las intervenciones en las rutas cantonales?

El siguiente gráfico muestra los resultados correspondientes a la pregunta: ¿Cuál es el principal criterio utilizado para priorizar las intervenciones en las rutas cantonales? El objetivo de esta consulta fue identificar los factores que actualmente se consideran al momento de definir cuáles rutas requieren atención prioritaria. Conocer estos criterios permite evaluar si las decisiones se fundamentan en una gestión preventiva de los riesgos o si responden principalmente a otros aspectos, información que resulta relevante para la elaboración de un protocolo de gestión de riesgo alineado con los principios de la norma ISO 31000.

Figura 20. Criterio utilizado para priorizar las intervenciones en las rutas cantonales



Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

Esta tuvo como finalidad identificar los factores que actualmente utiliza la Municipalidad para decidir cuáles rutas requieren atención prioritaria. Conocer estos criterios permite comprender cómo se distribuyen los recursos disponibles y si las decisiones responden a una evaluación objetiva de las condiciones de la infraestructura o a otros factores operativos.

Además, la información recopilada mediante esta consulta facilita determinar si el proceso de priorización incorpora la valoración de riesgos como elemento de apoyo para la toma de decisiones. Esto resulta fundamental para proponer un protocolo que permita establecer prioridades de manera más estructurada, transparente y basada en criterios técnicos.

Los resultados obtenidos muestran que 3 de 5 funcionarios, equivalente al 60 %, señalaron que el estado de la vía constituye el principal criterio para priorizar las intervenciones en las rutas cantonales. Asimismo, 1 de 5 funcionarios, correspondiente al 20 %, indicó que la prioridad debe establecerse a partir del riesgo identificado, mientras que 1 de 5 funcionarios, equivalente al 20 %, manifestó que la disponibilidad de presupuesto es el factor que determina finalmente la ejecución de las obras.

Más allá de la distribución de las respuestas, los resultados reflejan que la priorización de las intervenciones responde principalmente a las condiciones visibles de la infraestructura, es decir, cuando el deterioro ya es evidente y requiere atención inmediata. Asimismo, las conversaciones con los participantes permitieron identificar que no existe un procedimiento formal que establezca criterios uniformes para decidir qué rutas deben atenderse primero. En consecuencia, las decisiones dependen de la experiencia del personal, de las necesidades que surgen en el momento y de la disponibilidad de recursos, lo que pone de manifiesto la necesidad de contar con un protocolo que incorpore la gestión de riesgo como parte del proceso de planificación.

Desde la perspectiva técnica, el ingeniero civil considera que la priorización de las intervenciones debe fundamentarse en la identificación de los riesgos presentes en cada ruta. Durante la entrevista explicó que no todos los deterioros representan el mismo nivel de afectación, por lo que es necesario valorar aspectos como la probabilidad de ocurrencia de un evento y las consecuencias que este podría generar sobre la seguridad de los usuarios y la

continuidad del tránsito. En su criterio, un análisis de riesgos permite planificar las intervenciones de manera más estratégica y optimizar el uso de los recursos municipales.

Los maestros de obras manifestaron que, en el trabajo diario, las decisiones se orientan principalmente por las condiciones observadas directamente en la carretera. Explicaron que el deterioro visible del pavimento, los problemas de drenaje, los deslizamientos o cualquier daño que afecte el paso de los vehículos son los aspectos que motivan una intervención inmediata. Desde su experiencia, la prioridad surge de la necesidad de restablecer la transitabilidad y responder rápidamente a las solicitudes de las comunidades.

Los inspectores municipales señalaron que, además de las condiciones de la vía, las decisiones también dependen de la capacidad institucional para ejecutar las obras. Uno de ellos indicó que el presupuesto disponible influye directamente en la programación de los trabajos, ya que no siempre es posible atender todas las necesidades detectadas. Esta situación obliga a seleccionar las intervenciones que pueden ejecutarse con los recursos existentes, aun cuando existan otras rutas que también requieran atención.

Las respuestas muestran que cada grupo analiza la priorización desde una perspectiva diferente. El ingeniero civil centra su criterio en la evaluación técnica de los riesgos; los maestros de obras enfocan sus decisiones en las condiciones reales que encuentran durante las inspecciones y las labores de mantenimiento; mientras que los inspectores incorporan el componente administrativo relacionado con la disponibilidad de recursos.

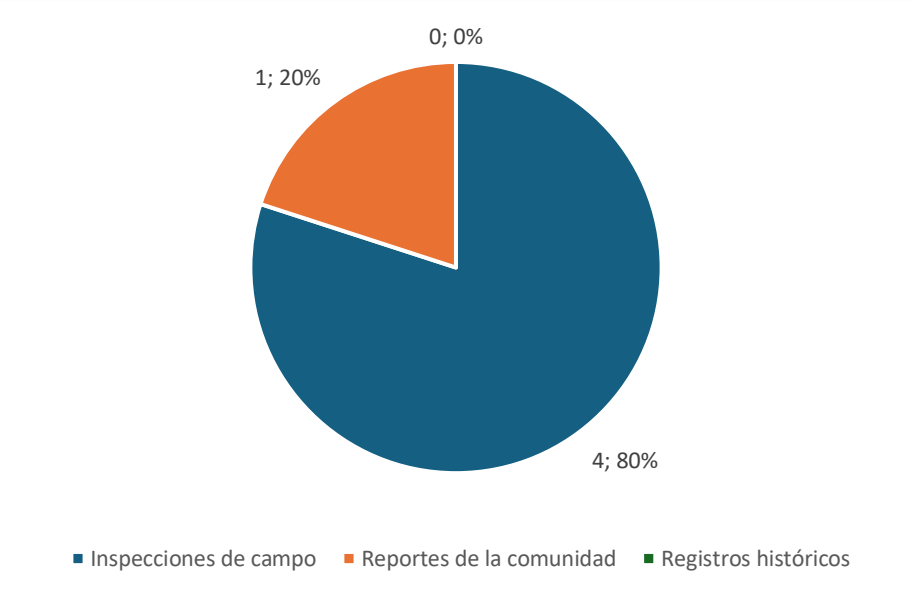
En conjunto, estas perspectivas evidencian que la Municipalidad no utiliza un único criterio para priorizar las intervenciones, sino que las decisiones responden a la combinación de factores técnicos, operativos y presupuestarios. Esta situación pone de manifiesto la conveniencia de

establecer un protocolo de gestión de riesgo que defina criterios uniformes para la toma de decisiones y facilite una planificación más objetiva de las intervenciones en la infraestructura vial.

Análisis de los resultados pregunta ¿Qué herramienta utiliza con mayor frecuencia la Municipalidad para identificar riesgos en la infraestructura vial?

El siguiente gráfico presenta los resultados obtenidos para la pregunta: **¿**Qué herramienta utiliza con mayor frecuencia la Municipalidad para identificar riesgos en la infraestructura vial? Esta consulta tuvo como finalidad conocer los mecanismos que emplea actualmente la Municipalidad para detectar y evaluar los riesgos presentes en las rutas cantonales prioritarias. La información obtenida permite identificar las prácticas utilizadas para el reconocimiento de amenazas y determinar si existen herramientas estandarizadas que respalden el proceso de gestión de riesgo, aspecto fundamental para el diseño del protocolo basado en la norma ISO 31000.

Figura 21. Herramienta para identificar riesgos en la infraestructura vial



Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

Tuvo como propósito identificar las herramientas y métodos que emplea actualmente la Municipalidad para reconocer los riesgos presentes en las rutas cantonales. Conocer estos mecanismos permite evaluar el nivel de formalización del proceso y determinar si existen instrumentos técnicos que respalden la identificación de amenazas y vulnerabilidades.

De igual forma, las respuestas obtenidas permiten identificar oportunidades de mejora relacionadas con la implementación de metodologías más estructuradas y alineadas con la norma ISO 31000. Esto facilita el diseño de un protocolo que incorpore herramientas adecuadas para fortalecer la gestión de riesgo en la infraestructura vial.

Los resultados muestran que 4 de 5 funcionarios, equivalente al 80 %, señalaron las inspecciones de campo como la principal herramienta utilizada para identificar riesgos en la infraestructura vial. Por otra parte, 1 de 5 funcionarios, correspondiente al 20 %, indicó que los reportes de la comunidad constituyen el principal medio para detectar situaciones que requieren atención. En contraste, 0 de 5 funcionarios, equivalente al 0 %, señalaron los registros históricos como una herramienta utilizada con frecuencia para la identificación de riesgos.

Estos resultados permiten inferir que la identificación de riesgos depende principalmente de la observación directa realizada por el personal técnico durante sus recorridos en las rutas cantonales. Sin embargo, la escasa utilización de otras fuentes de información evidencia que el proceso de identificación de riesgos podría fortalecerse mediante la integración de registros históricos y mecanismos de análisis que permitan anticipar el comportamiento de los eventos recurrentes. De esta manera, la gestión de riesgo dejaría de basarse únicamente en la experiencia del personal y contaría con información más completa para respaldar la toma de decisiones.

El ingeniero civil manifestó que las inspecciones de campo constituyen la principal herramienta para identificar riesgos, debido a que permiten evaluar directamente las condiciones de la infraestructura y determinar el nivel de afectación existente. Asimismo, indicó que la información obtenida durante las visitas facilita la planificación de intervenciones y la elaboración de criterios técnicos para atender las rutas con mayor necesidad.

Los maestros de obras señalaron que el reconocimiento de los riesgos se realiza principalmente durante las labores diarias en las diferentes rutas del cantón. Explicaron que el contacto permanente con la infraestructura les permite detectar daños, obstrucciones, problemas de drenaje y otras situaciones que requieren atención, por lo que consideran que las inspecciones de campo son la herramienta más confiable para conocer el estado real de las vías.

Los inspectores municipales presentaron criterios distintos. Uno de ellos indicó que las inspecciones de campo representan el mecanismo más efectivo para identificar riesgos, mientras que el otro destacó la importancia de los reportes realizados por la comunidad, ya que permiten conocer oportunamente situaciones que pueden no haber sido detectadas durante las visitas programadas. Ambos coincidieron en que la comunicación con los habitantes complementa el trabajo desarrollado por el personal municipal.

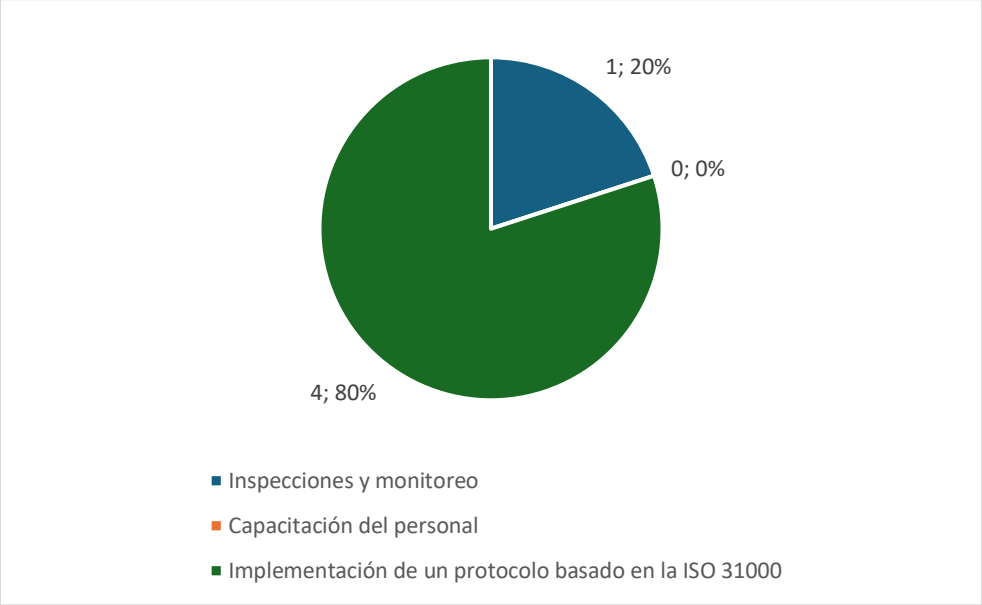
Las respuestas evidencian que existe un amplio consenso sobre la importancia de las inspecciones de campo como principal fuente de información para reconocer riesgos en la infraestructura vial. No obstante, también se identifica que los reportes de la comunidad cumplen un papel complementario al proporcionar información sobre problemas detectados por los usuarios de las vías.

Por otra parte, el hecho de que ninguno de los participantes mencionara los registros históricos como una herramienta de uso frecuente sugiere que la información generada en intervenciones anteriores no se aprovecha de manera sistemática para apoyar la gestión de riesgo. Esto representa una oportunidad de mejora, ya que la incorporación de antecedentes históricos permitiría fortalecer el análisis preventivo y la planificación de futuras intervenciones.

Análisis de los resultados pregunta ¿ Qué aspecto debería fortalecerse para mejorar la gestión de riesgo en la infraestructura vial de la Municipalidad

El siguiente gráfico corresponde a la pregunta: ¿Qué aspecto debería fortalecerse para mejorar la gestión de riesgo en la infraestructura vial de la Municipalidad? Esta interrogante se planteó con el propósito de identificar, desde la perspectiva del personal involucrado, las principales oportunidades de mejora en el proceso de gestión de riesgo. Los resultados permiten reconocer los elementos que requieren mayor atención para fortalecer la planificación, la prevención y la toma de decisiones, proporcionando información de utilidad para el desarrollo de un protocolo de gestión de riesgo acorde con los lineamientos de la norma ISO 31000.

Figura 22. Aspecto que debería fortalecerse para mejorar la gestión de riesgo en la infraestructura vial



Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

Tuvo como propósito identificar las herramientas y métodos que emplea actualmente la Municipalidad para reconocer los riesgos presentes en las rutas cantonales. Conocer estos mecanismos permite evaluar el nivel de formalización del proceso y determinar si existen instrumentos técnicos que respalden la identificación de amenazas y vulnerabilidades.

De igual forma, las respuestas obtenidas permiten identificar oportunidades de mejora relacionadas con la implementación de metodologías más estructuradas y alineadas con la norma ISO 31000. Esto facilita el diseño de un protocolo que incorpore herramientas adecuadas para fortalecer la gestión de riesgo en la infraestructura vial.

Los resultados reflejan que 4 de 5 funcionarios, equivalente al 80 %, señalaron como principal necesidad el fortalecimiento de la gestión de riesgos mediante la implementación de un protocolo basado en la norma ISO 31000. Por su parte, 1 de 5 funcionarios, correspondiente al 20 %, indicó que el aspecto que debería reforzarse corresponde a las inspecciones y el monitoreo.

Finalmente, 0 de 5 funcionarios, equivalente al 0 %, identificaron la capacitación del personal como la principal necesidad de fortalecimiento.

Las respuestas obtenidas muestran que el personal reconoce la importancia de contar con una metodología que establezca lineamientos claros para identificar, evaluar y tratar los riesgos presentes en la infraestructura vial. Durante las conversaciones se evidenció que, aunque actualmente se realizan diversas actividades relacionadas con el mantenimiento de las rutas cantonales, estas no se desarrollan bajo un procedimiento formal que permita estandarizar la gestión de riesgo. En este contexto, la implementación de un protocolo representa una alternativa para unificar criterios, mejorar la planificación y orientar las decisiones hacia un enfoque preventivo.

El ingeniero civil consideró que la principal necesidad consiste en desarrollar un protocolo de gestión de riesgo basado en la norma ISO 31000, debido a que proporcionaría una metodología para identificar, evaluar y controlar los riesgos de forma sistemática. Señaló que disponer de procedimientos claramente definidos facilitaría la planificación de las intervenciones y contribuiría a una mejor administración de los recursos municipales.

Los maestros de obras coincidieron en que la implementación de un protocolo permitiría organizar mejor las actividades de campo y establecer criterios uniformes para atender las diferentes situaciones que se presentan en las rutas cantonales. Desde su experiencia, contar con una guía de actuación facilitaría la coordinación de los trabajos y reduciría la variabilidad en la forma de responder ante los diferentes riesgos identificados.

Los inspectores municipales expresaron opiniones distintas. Uno de ellos indicó que es necesario fortalecer las inspecciones y el monitoreo, considerando que un seguimiento más constante

permitiría detectar oportunamente las condiciones que afectan la infraestructura vial. El otro inspector manifestó que la implementación de un protocolo sería la medida con mayor impacto, ya que permitiría integrar las actividades de inspección, evaluación y seguimiento dentro de un proceso estructurado.

Las respuestas muestran que, independientemente del cargo desempeñado, existe una percepción común sobre la necesidad de fortalecer la gestión de riesgo en la Municipalidad. Aunque uno de los participantes dio mayor importancia al incremento de las actividades de inspección, la mayoría considera que el principal avance consiste en establecer un protocolo que oriente el proceso de gestión de riesgo de manera integral.

La coincidencia entre los diferentes perfiles fortalece la justificación de la presente investigación, ya que evidencia que la necesidad de implementar un protocolo no surge únicamente desde una perspectiva técnica, sino también desde la experiencia operativa e institucional de los funcionarios responsables de la infraestructura vial. Estos resultados respaldan el desarrollo de una propuesta basada en la norma ISO 31000 como mecanismo para mejorar la planificación, el seguimiento y la toma de decisiones relacionadas con las rutas cantonales prioritarias.

4.2. Valoración de los riesgos y determinación de puntos críticos.

Como resultado del diagnóstico realizado y de las necesidades identificadas durante la investigación, se propone un Protocolo de Gestión de riesgo basado en la norma ISO 31000, orientado a fortalecer la administración de la infraestructura vial en las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso. Este protocolo establece una metodología estructurada para la identificación, análisis, evaluación, tratamiento, seguimiento y monitoreo de los riesgos que

pueden afectar la seguridad, funcionalidad y continuidad de la red vial municipal, promoviendo un enfoque preventivo en la toma de decisiones.

4.2.1 Definición del alcance

El presente protocolo de gestión de riesgo tiene como alcance las actividades relacionadas con la identificación, análisis, evaluación, tratamiento, seguimiento y monitoreo de los riesgos asociados a la infraestructura vial de las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso, bajo la responsabilidad de la Municipalidad. Su aplicación está orientada a fortalecer el proceso de gestión de riesgo durante las labores de inspección, mantenimiento, rehabilitación y atención de incidencias, con el propósito de reducir la probabilidad de ocurrencia de eventos que afecten la seguridad de los usuarios, la continuidad del tránsito y la conservación de la infraestructura vial.

Este protocolo está dirigido al personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal, incluyendo al ingeniero civil, maestros de obras e inspectores municipales, quienes participan de manera directa en la planificación, supervisión y ejecución de las actividades relacionadas con la red vial cantonal. Asimismo, se concibe como una herramienta de uso institucional que puede aplicarse tanto a las rutas prioritarias evaluadas en la presente investigación como a otros proyectos de infraestructura vial desarrollados por la Municipalidad, permitiendo mantener un proceso estandarizado y replicable de gestión de riesgo conforme a los lineamientos establecidos en la norma ISO 31000.

4.2.2 Contexto externo e interno

Como parte del proceso de gestión de riesgo establecido por la norma ISO 31000, es necesario definir el contexto en el que será aplicado el protocolo, con el fin de identificar los factores internos y externos que pueden influir en la gestión de la infraestructura vial municipal. El

establecimiento del contexto permite comprender el entorno en el que se desarrollan las actividades de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal y facilita la identificación de los riesgos que podrían afectar el cumplimiento de los objetivos relacionados con la conservación y mantenimiento de las rutas cantonales prioritarias.

El contexto interno está conformado por los elementos propios de la Municipalidad de Guatuso que influyen en la gestión de riesgo, entre ellos la estructura organizacional de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal, la disponibilidad de recursos humanos, financieros y materiales, los procedimientos de inspección y mantenimiento, la experiencia del personal técnico y operativo, así como la capacidad institucional para planificar y ejecutar intervenciones en la red vial. De igual manera, se consideran aspectos como la coordinación entre las diferentes áreas municipales, la disponibilidad de información técnica y la existencia de herramientas para el seguimiento de los riesgos identificados.

Por su parte, el contexto externo comprende aquellos factores ajenos a la organización que pueden incidir sobre el estado de la infraestructura vial y la efectividad de su gestión. Entre estos se encuentran las condiciones climáticas propias del cantón de Guatuso, especialmente las lluvias intensas que favorecen la ocurrencia de deslizamientos e inundaciones; el incremento del tránsito vehicular; las características geográficas y topográficas del territorio; la normativa nacional aplicable en materia de infraestructura vial y gestión de riesgo; la disponibilidad de recursos provenientes de entidades gubernamentales y las necesidades manifestadas por las comunidades usuarias de las rutas cantonales. La identificación de estos factores permite desarrollar un protocolo que responda a las condiciones reales del entorno y fortalezca la toma de decisiones mediante un enfoque preventivo y sistemático conforme a los lineamientos de la norma ISO 31000.

4.2.3 Definición de los criterios de riesgo

Con el propósito de mantener un proceso uniforme para la valoración de los riesgos, el presente protocolo establece criterios que permiten evaluar de manera objetiva los eventos identificados durante las inspecciones y actividades de mantenimiento de la infraestructura vial municipal. Estos criterios se fundamentan en los lineamientos de la norma ISO 31000 y consideran la combinación de la probabilidad de ocurrencia y la consecuencia que cada evento puede generar sobre las rutas cantonales prioritarias. La aplicación de estos criterios facilita la comparación entre riesgos, la definición de prioridades y la selección de las medidas de tratamiento más adecuadas.

La valoración de los riesgos se establece a partir de dos criterios: probabilidad y consecuencia. La probabilidad se determina mediante una escala de cinco niveles, desde muy baja (1) hasta muy alta (5), considerando aspectos como la frecuencia con la que el evento se ha presentado, las condiciones del entorno, los antecedentes registrados y la experiencia del personal técnico. Esta escala permite diferenciar la posibilidad de ocurrencia de cada evento de manera gradual y facilitar su comparación entre las diferentes rutas analizadas.

La consecuencia se valora mediante los niveles mínima (1), media (2), moderada (4), alta (8) y máxima (16). Esta progresión responde a la necesidad de otorgar mayor peso a los eventos que pueden generar afectaciones significativas sobre la infraestructura vial. La escala no corresponde a una clasificación establecida directamente por la norma ISO 31000, sino que constituye un criterio operativo definido para este protocolo, adaptado a las características de la infraestructura vial municipal estudiada. Los niveles fueron establecidos considerando la posible afectación sobre la seguridad de los usuarios, la continuidad del tránsito, el estado de la infraestructura, los costos asociados a la recuperación y la continuidad de la prestación del servicio municipal. El

uso de valores progresivos permite que una consecuencia alta o máxima tenga una influencia diferenciada en la valoración final del riesgo, evitando que eventos de impacto considerable sean tratados de manera equivalente a situaciones menores.

Una vez asignados los valores de probabilidad y consecuencia, el nivel de riesgo se obtiene mediante la multiplicación de ambos criterios ($R = P \times C$). Esta regla constituye igualmente un criterio metodológico definido para el presente protocolo y permite integrar en un único valor la posibilidad de ocurrencia y la magnitud de las consecuencias. Su aplicación facilita la comparación y jerarquización de los riesgos identificados, de manera que un evento con alta probabilidad y consecuencias significativas alcance una valoración superior a otro con menor posibilidad de ocurrencia o menor impacto. De esta forma, la multiplicación funciona como un mecanismo de priorización y no como una fórmula prescrita por ISO 31000.

A partir de los valores obtenidos, se establecen los rangos de aceptación del riesgo para orientar la toma de decisiones. Los rangos se definieron de acuerdo con la escala utilizada en el protocolo y con el propósito de diferenciar las condiciones que pueden mantenerse bajo seguimiento de aquellas que requieren intervención. Los valores de 1 a 4 se clasifican como riesgo aceptable, debido a que representan combinaciones de baja probabilidad y/o consecuencias reducidas que pueden ser gestionadas mediante seguimiento periódico; los valores de 5 a 12 corresponden a riesgo tolerable, para los cuales se requiere implementar medidas preventivas y mantener un monitoreo de su comportamiento; los valores de 13 a 24 se consideran riesgo alto, por lo que requieren una intervención prioritaria; y los valores de 25 a 80 corresponden a riesgo extremo, cuya atención debe realizarse de manera inmediata debido a la posibilidad de generar afectaciones importantes sobre la seguridad, la transitabilidad y la continuidad de la infraestructura vial.

Estos rangos constituyen criterios de aceptación establecidos específicamente para el protocolo y no categorías impuestas directamente por ISO 31000. La norma se utiliza como marco para estructurar el proceso de identificación, análisis, evaluación y tratamiento de los riesgos, mientras que la escala de consecuencias, la regla de multiplicación y los rangos de aceptación permiten operacionalizar dicho proceso de acuerdo con las características y necesidades de las rutas cantonales analizadas. En consecuencia, la metodología proporciona un criterio uniforme para comparar los riesgos identificados y establecer prioridades de intervención de manera técnicamente sustentada.

4.2.4 Identificación del riesgo

La identificación de los riesgos constituye una de las etapas fundamentales del protocolo, ya que permite reconocer de manera oportuna los eventos que pueden afectar la infraestructura vial y el cumplimiento de los objetivos de la Municipalidad en materia de conservación y mantenimiento de las rutas cantonales. Para ello, el personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal deberá realizar inspecciones periódicas, recorridos de campo y análisis de la información disponible, complementando esta labor con los reportes emitidos por la comunidad y la experiencia del personal técnico y operativo. El propósito de esta etapa es identificar las amenazas existentes antes de que se materialicen o incrementen su nivel de impacto.

Una vez identificado un riesgo, este deberá ser registrado y valorado utilizando la matriz de riesgos de 5×5 presentada en la Tabla 2, la cual constituye la herramienta oficial del presente protocolo para determinar el nivel de riesgo asociado a cada evento. La valoración se efectuará considerando la probabilidad de ocurrencia y la consecuencia que el evento podría generar sobre la infraestructura vial, permitiendo clasificar los riesgos como aceptables, tolerables, altos o

extremos. Esta metodología proporciona un criterio uniforme para la evaluación de los riesgos y facilita la priorización de las intervenciones de acuerdo con su nivel de criticidad.

Tabla 7. Matriz de riesgos

		Consecuencias				
		Mínima	**Media**	**Moderada**	**Alta**	**Máxima**
Probabilidad		**1**	**2**	**4**	**8**	**16**
Muy alta	**5**	5	10	20	40	80
Alta	**4**	4	8	16	32	64
Media	**3**	3	6	12	24	48
Baja	**2**	2	4	8	16	32
Muy baja	**1**	1	2	4	8	16

Riesgo aceptable
Riesgo tolerable
Riesgo alto
Riesgo extremo

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

4.2.5 Análisis del riesgo

Una vez identificados los riesgos y determinada su valoración mediante la matriz de riesgos, se procede al análisis de los resultados con el fin de establecer el nivel de prioridad que tendrá cada evento dentro del proceso de gestión de riesgo. Esta etapa permite comprender la magnitud de los riesgos identificados y facilita la toma de decisiones sobre las acciones de control, prevención o mitigación que deberán implementarse. El análisis se realiza a partir del valor obtenido al

combinar la probabilidad de ocurrencia y la consecuencia asociada a cada evento, utilizando los criterios definidos previamente en el protocolo.

Tabla 8. Matriz de nivel de riesgo

Evento	Probabilidad	Consecuencia	Total	Nivel de riesgo
Ausencia de puente sobre el río Quequer (Ruta 21501100)	5	8	40	Riesgo extremo
Tramos intransitables por superficie de tierra (Rutas 21501100 y 21503900)	5	8	40	Riesgo extremo
Deslizamiento sobre la vía (Ruta 21503200)	5	8	40	Riesgo extremo
Ausencia de pasos de alcantarilla (Rutas 21503200 y 21519700)	4	8	32	Riesgo extremo
Zonas inundables que afectan la transitabilidad (Rutas 21504100 y 21504200)	4	8	32	Riesgo extremo
Alcantarillas deterioradas que requieren sustitución	3	4	12	Riesgo tolerable
Deterioro de la superficie por deficiencias de drenaje	3	4	12	Riesgo tolerable
Pasos de alcantarilla en buen estado que requieren mantenimiento rutinario	2	2	4	Riesgo aceptable
Puente en buen estado con inspección periódica (Ruta 21504200)	1	2	2	Riesgo aceptable
Tramos con superficie de lastre estable y drenaje funcional	1	2	2	Riesgo aceptable

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

La matriz de valoración de riesgos evidencia que los eventos clasificados como riesgo extremo se relacionan principalmente con la pérdida de la transitabilidad de las rutas debido a la ausencia de puentes, la presencia de tramos intransitables, los deslizamientos, las zonas inundables y la falta de pasos de alcantarilla. Estas condiciones presentan una alta probabilidad de ocurrencia durante la época lluviosa y generan consecuencias importantes sobre la seguridad de los

usuarios, la continuidad del tránsito y la conectividad de las comunidades. En consecuencia, estos riesgos constituyen la principal prioridad de intervención para la Municipalidad, ya que su materialización puede ocasionar el aislamiento temporal de sectores poblados, mayores costos de rehabilitación y afectaciones en la prestación de servicios esenciales.

Por otra parte, la matriz también identifica riesgos tolerables y aceptables, asociados principalmente al deterioro de alcantarillas que requieren sustitución y a la infraestructura que actualmente se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento. Los riesgos tolerables demandan la ejecución de acciones preventivas y un seguimiento continuo para evitar que evolucionen hacia niveles de mayor criticidad, mientras que los riesgos aceptables pueden gestionarse mediante programas de mantenimiento e inspecciones periódicas. Esta clasificación facilita la priorización técnica de las intervenciones, optimiza la asignación de los recursos disponibles y contribuye a una gestión del riesgo alineada con los principios de prevención y mejora continua establecidos por la norma ISO 31000.

4.2.6 Tratamiento y seguimiento del riesgo

Una vez analizados y clasificados los riesgos, el siguiente paso consiste en definir las medidas necesarias para reducir su probabilidad de ocurrencia, minimizar sus consecuencias o, cuando sea posible, eliminar la causa que los origina. El tratamiento del riesgo deberá realizarse considerando el nivel de criticidad obtenido en la matriz de riesgos, de manera que los recursos disponibles se orienten prioritariamente hacia aquellos eventos clasificados como riesgos altos y extremos, sin dejar de dar seguimiento a los riesgos tolerables y aceptables. Las acciones propuestas deberán ser técnica y económicamente viables, además de ajustarse a las capacidades operativas de la Municipalidad de Guatuso.

Para los riesgos extremos, se deberá programar una intervención inmediata que reduzca el impacto sobre la infraestructura vial y garantice la seguridad de los usuarios. En el caso de los riesgos altos, será necesario establecer un plan de acción prioritario con responsables, recursos y plazos definidos para su atención. Por su parte, los riesgos tolerables deberán mantenerse bajo monitoreo constante e implementar medidas preventivas que eviten su incremento, mientras que los riesgos aceptables podrán ser controlados mediante inspecciones periódicas y actividades rutinarias de mantenimiento, sin requerir acciones correctivas inmediatas.

El seguimiento de los riesgos constituye una actividad permanente dentro del protocolo, ya que permite verificar la eficacia de las medidas implementadas y determinar si el nivel de riesgo ha disminuido o si es necesario adoptar nuevas acciones de control. Para ello, el personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal deberá realizar inspecciones programadas, actualizar la matriz de riesgos cuando se identifiquen nuevos eventos o cambien las condiciones existentes y registrar los resultados obtenidos en cada evaluación. Este proceso favorece la mejora continua y mantiene actualizada la información utilizada para la toma de decisiones.

Finalmente, se recomienda que el protocolo sea revisado de forma periódica, preferiblemente de manera anual o cuando ocurran cambios significativos en las condiciones de la infraestructura vial, en la normativa aplicable o en la organización municipal. Asimismo, cada intervención realizada deberá documentarse mediante registros que permitan dar trazabilidad a las acciones ejecutadas y evaluar su efectividad a lo largo del tiempo. De esta forma, la Municipalidad contará con un proceso sistemático para el tratamiento y seguimiento de los riesgos, fortaleciendo la gestión preventiva de la infraestructura vial conforme a los principios establecidos en la norma ISO 31000.

4.3. Formulación de acciones de tratamiento y diseño del protocolo.

A partir de los resultados obtenidos en la identificación y valoración de los riesgos presentes en las rutas cantonales prioritarias, se formularon acciones de tratamiento de acuerdo con el nivel de riesgo y las condiciones observadas durante las inspecciones. Estas acciones buscan reducir la probabilidad de que ocurran eventos como deslizamientos, deterioro de la superficie de rodamiento y problemas de drenaje, así como disminuir sus posibles efectos sobre la transitabilidad y la infraestructura vial.

Con base en estas acciones, se diseñó un protocolo de gestión de riesgos para la Municipalidad, tomando como referencia los principios de la norma ISO 31000. El protocolo establece el procedimiento para realizar las inspecciones, identificar y evaluar los riesgos, definir las medidas de tratamiento y dar seguimiento a las condiciones encontradas. Además, incluye los responsables, formularios, registros, periodicidad de las inspecciones, indicadores y mecanismo de actualización, con el fin de facilitar su aplicación por parte del personal municipal.

4.3.1 Acciones de tratamiento

A partir de la valoración de los riesgos identificados en las rutas cantonales prioritarias, se establecieron acciones de tratamiento de acuerdo con el nivel de riesgo obtenido. Las medidas propuestas buscan atender principalmente los riesgos extremos, debido a que representan las condiciones que pueden generar mayores afectaciones en la transitabilidad y en la infraestructura vial. Para los riesgos tolerables y aceptables se plantean acciones de mantenimiento, seguimiento e inspección que permitan conservar las condiciones existentes y evitar un aumento del nivel de riesgo.

Tabla 9. Matriz de nivel de riesgo

Evento	Nivel de riesgo	Acción de tratamiento
Ausencia de puente sobre el río Quequer (Ruta 21501100)	Extremo	Gestionar el diseño y construcción de un puente para garantizar la transitabilidad.
Tramos intransitables por superficie de tierra (Rutas 21501100 y 21503900)	Extremo	Mejorar la superficie de rodamiento y reforzar el drenaje.
Deslizamiento sobre la vía (Ruta 21503200)	Extremo	Retirar el material, estabilizar el sector y controlar el escurrimiento de agua.
Ausencia de pasos de alcantarilla (Rutas 21503200 y 21519700)	Extremo	Instalar pasos de alcantarilla y realizar las obras necesarias para conducir el agua.
Zonas inundables que afectan la transitabilidad (Rutas 21504100 y 21504200)	Extremo	Mejorar el drenaje y atender los puntos de acumulación de agua.
Alcantarillas deterioradas que requieren sustitución	Tolerable	Programar la sustitución y realizar mantenimiento mientras se ejecuta.
Deterioro de la superficie por deficiencias de drenaje	Tolerable	Corregir el drenaje y reparar la superficie afectada.
Pasos de alcantarilla en buen estado que requieren mantenimiento	Aceptable	Realizar limpieza e inspecciones periódicas.
Puente en buen estado con inspección periódica (Ruta 21504200)	Aceptable	Mantener inspecciones y mantenimiento preventivo.
Tramos con superficie de lastre estable y drenaje funcional	Aceptable	Mantener la superficie y realizar limpieza periódica del drenaje.

Nota: Elaboración de los investigadores, (2026).

Las acciones propuestas establecen una prioridad de intervención según el nivel de riesgo obtenido. Los eventos clasificados como riesgo extremo requieren atención prioritaria, debido a que pueden generar pérdida de transitabilidad y afectar directamente el funcionamiento de las rutas. En estos casos se plantean medidas como la construcción o instalación de infraestructura, mejoramiento de la superficie de rodamiento, estabilización de sectores afectados y construcción de sistemas de drenaje.

En los riesgos tolerables, las acciones se orientan principalmente a corregir condiciones que pueden empeorar si no reciben atención, como el deterioro de alcantarillas y los problemas de drenaje que afectan la superficie. Finalmente, para los riesgos aceptables se establecen actividades de mantenimiento e inspección periódica, ya que las condiciones actuales no requieren una intervención inmediata, pero deben mantenerse bajo seguimiento para evitar que el riesgo aumente.

De esta manera, las acciones de tratamiento permiten que la Municipalidad priorice los recursos y las actividades de mantenimiento de acuerdo con la gravedad de cada condición identificada, dando mayor atención a los sectores que presentan riesgo extremo y estableciendo medidas de prevención y seguimiento para los demás niveles de riesgo.

4.3.2 Diseño del protocolo

Como parte del desarrollo del proyecto, se crea un protocolo de gestión de riesgos para la infraestructura vial municipal, tomando como base los resultados obtenidos durante las inspecciones y la valoración de los riesgos identificados en las rutas cantonales prioritarias. Este protocolo se desarrolla con el propósito de establecer una forma ordenada y sencilla de identificar, evaluar, tratar y dar seguimiento a las condiciones que puedan afectar la infraestructura y la transitabilidad de las rutas.

El protocolo reúne los principales aspectos necesarios para orientar al personal municipal en la gestión de los riesgos viales. Para su elaboración se consideran los eventos identificados, los niveles de riesgo obtenidos mediante la matriz de valoración y las acciones de tratamiento definidas para cada condición. De esta manera, las medidas propuestas se relacionan directamente con las necesidades encontradas durante el diagnóstico de las rutas.

Como parte de su contenido, el protocolo establece el objetivo, alcance, responsables, procedimiento de inspección, criterios de evaluación, formularios y registros, periodicidad de las inspecciones, medidas de tratamiento, indicadores de seguimiento y mecanismo de actualización. Estos elementos permiten contar con una herramienta que facilite el registro de las condiciones encontradas y apoye la toma de decisiones para priorizar las intervenciones de mantenimiento y atención vial.

El protocolo diseñado se presenta como un producto técnico del proyecto y se adjunta en los anexos de este documento, donde se incluye su contenido completo para facilitar su consulta y aplicación por parte de la Municipalidad. Su incorporación como Anexo 1 permite disponer de una herramienta independiente del desarrollo de la investigación, que puede ser utilizada como referencia para realizar futuras inspecciones, valorar nuevos riesgos y dar seguimiento a las condiciones de las rutas cantonales prioritarias.

Capítulo 5. Limitaciones, conclusiones y recomendaciones

En el presente capítulo se exponen las principales limitaciones identificadas durante el desarrollo de la investigación, así como las conclusiones derivadas del análisis de los resultados y las recomendaciones orientadas a fortalecer la gestión de riesgo en la infraestructura vial municipal. Estos apartados permiten sintetizar los principales hallazgos obtenidos, valorar el cumplimiento de los objetivos planteados y establecer acciones que faciliten la implementación y mejora continua del protocolo de gestión de riesgo basado en la norma ISO 31000 en las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso.

5.1. Limitaciones

Una de las principales limitaciones de la investigación fue la disponibilidad limitada de registros históricos relacionados con eventos de riesgo en las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso. La ausencia de una base de datos consolidada sobre incidentes, daños recurrentes e intervenciones realizadas dificultó el análisis de tendencias y la comparación de la evolución de los riesgos a lo largo del tiempo. Por esta razón, parte del diagnóstico se sustentó en la información proporcionada por el personal técnico y operativo de la Municipalidad.

La investigación contó con la participación de cinco funcionarios pertenecientes a la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal, seleccionados por su conocimiento y experiencia en la administración de la infraestructura vial. Aunque estos perfiles representan los principales actores involucrados en el proceso, la cantidad de participantes limita la incorporación de una mayor diversidad de criterios provenientes de otras dependencias o instituciones relacionadas con la gestión de riesgo y la atención de emergencias.

El desarrollo del estudio se centró exclusivamente en las rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso, por lo que los resultados obtenidos responden a las condiciones propias de este contexto. Si bien el protocolo propuesto puede adaptarse a otros escenarios, su aplicación en diferentes municipalidades requiere considerar factores como las características geográficas, la disponibilidad de recursos, la estructura organizacional y las condiciones particulares de cada red vial.

Debido al tiempo establecido para el desarrollo de la investigación, no fue posible implementar el protocolo de gestión de riesgo durante un periodo prolongado que permitiera evaluar su desempeño mediante indicadores de seguimiento. En consecuencia, la propuesta fue validada a partir del análisis técnico realizado y de los criterios aportados por los funcionarios entrevistados, quedando abierta la posibilidad de efectuar una validación operativa en investigaciones futuras.

Las condiciones climáticas del cantón de Guatuso, especialmente durante la época lluviosa, pueden modificar de manera significativa la probabilidad de ocurrencia de determinados riesgos, como deslizamientos, inundaciones o afectaciones en los sistemas de drenaje. Debido a que estos factores presentan un comportamiento variable, las valoraciones realizadas mediante la matriz de riesgos deberán actualizarse periódicamente para mantener su vigencia y asegurar que reflejen las condiciones reales de la infraestructura vial.

Los riesgos presentes en la infraestructura vial pueden cambiar conforme evolucionan las condiciones de las rutas, aumenta el tránsito vehicular o se desarrollan nuevas obras dentro del cantón. Por este motivo, la matriz de riesgos y el protocolo propuesto no deben considerarse herramientas estáticas, sino instrumentos sujetos a revisión y actualización continua. Esta condición representa una limitación propia de la investigación, ya que los resultados obtenidos

corresponden al periodo en que se realizó el estudio y pueden variar con el paso del tiempo, haciendo necesaria la incorporación de nuevas evaluaciones y ajustes en futuras investigaciones.

5.2. Conclusiones

Las inspecciones de campo realizadas en las seis rutas cantonales prioritarias del cantón de Guatuso permitieron identificar las principales amenazas y factores de vulnerabilidad que afectan la infraestructura vial. Entre las condiciones más recurrentes se encontraron la ausencia y el deterioro de alcantarillas, sectores con superficie de tierra, zonas inundables, deslizamientos, tramos intransitables y la falta de estructuras de paso, como el puente sobre el río Quequer en la ruta 21501100 Cabanga–Río Venado. Estos hallazgos permitieron localizar los puntos críticos que requieren atención prioritaria y constituyen la base técnica para la planificación de futuras intervenciones.

La aplicación de la matriz de riesgos permitió valorar las amenazas identificadas considerando los criterios de probabilidad y consecuencia, facilitando la clasificación de los eventos según su nivel de riesgo y el establecimiento de prioridades de intervención. Los mayores niveles de riesgo se concentraron en los sectores donde coinciden varias condiciones de vulnerabilidad, principalmente la ausencia o deterioro de obras de drenaje, la pérdida de transitabilidad y la exposición a inundaciones o deslizamientos. En contraste, las condiciones relacionadas con vegetación que limita parcialmente la visibilidad o estructuras de drenaje en buen estado fueron clasificadas con niveles de riesgo aceptables, al representar una menor afectación para la operación de la red vial.

El protocolo de gestión de riesgos diseñado con base en los principios de la norma ISO 31000 proporciona una metodología estructurada para la identificación, evaluación, tratamiento y

seguimiento de los riesgos asociados a la infraestructura vial municipal. La propuesta incorpora procedimientos de inspección, criterios de evaluación, formularios, registros, indicadores, medidas de tratamiento y mecanismos de actualización que pueden ser utilizados por la Municipalidad de Guatuso para fortalecer la gestión preventiva y mejorar la planificación del mantenimiento de las rutas cantonales.

Los resultados obtenidos mediante las entrevistas evidenciaron que la gestión de riesgos desarrollada por la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal se basa principalmente en la experiencia del personal y en la atención de emergencias, sin contar con un procedimiento estandarizado para la evaluación y tratamiento de los riesgos. Esta situación limita el desarrollo de acciones preventivas y respalda la necesidad de implementar una metodología formal que permita uniformar criterios técnicos y fortalecer la toma de decisiones.

El protocolo elaborado constituye un instrumento técnico aplicable a la Municipalidad de Guatuso, ya que responde a las condiciones observadas durante las inspecciones de campo y a las necesidades identificadas por el personal responsable de la gestión vial. Su implementación permitirá mejorar el seguimiento de los riesgos, optimizar la priorización de intervenciones y promover un proceso de mejora continua en la administración y conservación de la infraestructura vial cantonal.

5.3.Recomendaciones

La Municipalidad de Guatuso debería implementar el protocolo de gestión de riesgo propuesto como parte de las actividades de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal, con el propósito de estandarizar la identificación, análisis, evaluación, tratamiento y seguimiento de los riesgos

asociados a las rutas cantonales prioritarias. Su aplicación favorecerá una planificación más organizada de las intervenciones y una toma de decisiones basada en criterios técnicos.

Es conveniente mantener actualizada la matriz de riesgos mediante la incorporación de la información obtenida en las inspecciones de campo, los registros de mantenimiento y los reportes ciudadanos. La actualización periódica permitirá que la valoración de los riesgos responda a las condiciones reales de la infraestructura vial y facilite la priorización de las acciones de mantenimiento y conservación.

Resulta importante fortalecer la coordinación entre el ingeniero civil, los maestros de obras y los inspectores municipales durante las actividades de inspección, evaluación y seguimiento de las rutas cantonales. Un intercambio constante de información técnica contribuirá a identificar oportunamente los riesgos y a desarrollar intervenciones más eficientes y mejor planificadas.

Asimismo, sería beneficioso establecer un sistema de registro y documentación que concentre la información relacionada con las inspecciones realizadas, los riesgos identificados, las acciones implementadas y los resultados obtenidos. Contar con un historial de información facilitará el análisis de tendencias, la evaluación de la efectividad de las medidas aplicadas y la planificación de futuras intervenciones.

Para fortalecer la propuesta desarrollada en esta investigación, futuras investigaciones podrían evaluar la implementación del protocolo durante un periodo determinado, incorporando indicadores de desempeño que permitan medir aspectos como la reducción de riesgos, los tiempos de respuesta ante incidencias y la efectividad de las medidas de tratamiento. Esto permitirá validar la propuesta en un entorno operativo y generar oportunidades de mejora continua.

Finalmente, el protocolo diseñado puede adaptarse e implementarse en otras municipalidades o proyectos de infraestructura vial que presenten características similares, realizando los ajustes necesarios de acuerdo con las condiciones geográficas, climáticas y organizacionales de cada institución. De esta manera, se contribuirá a fortalecer la gestión de riesgo en la infraestructura vial municipal y a ampliar la aplicación práctica de los lineamientos establecidos por la norma ISO 31000.

Referencias

Albarracín Llivisaca, D. J., & Aucay Cevallos, A. L. (2024). *Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos mediante técnicas geomáticas del cantón Santa Isabel, provincia del Azuay* [Trabajo de titulación de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28063/1/UPS-CT011457.pdf

Allen Monge, J. (2025). Componentes esenciales de una Unidad Técnica de Gestión Vial en el ámbito municipal en Costa Rica. *Infraestructura Vial, 27*(47). https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rvial/article/view/3272

Allen, E., Costello, S., Henning, T., Chamorro, A., & Echaveguren, T. (2025). *Integration of resilience and risk to natural hazards into transportation asset management of road networks: A systematic review*. *Structure and Infrastructure Engineering, 21*(5), 755–773. https://doi.org/10.1080/15732479.2023.2238281

Allen, E., Costello, S., Henning, T., Chamorro, A., Echaveguren, T. (2025). Integration of resilience and risk to natural hazards into transportation asset management of road networks: A systematic review. *Structure and Infrastructure Engineering, 21*(5), 755–773. https://doi.org/10.1080/15732479.2023.2238281

Ambuludí León, D. (2018). *Plan de mantenimiento vial, enfocado al movimiento de masas, para la reducción de costos de mantenimiento y operación vehicular en la vía Loja–Zamora* [Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio Institucional UTPL. https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/23599

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (1972). *Ley General de Caminos Públicos (Ley N.° 5060)*. Sistema Costarricense de Información Jurídica.

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2015). *Ley N.° 9329. Primera Ley Especial para la Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal.* Sistema Costarricense de Información Jurídica.

Caillagua, A., Sozoranga, J., León, P. & Delgado-Yánez, M. (2025). Análisis del desgaste de pavimentos flexibles en caliente, por envejecimiento: Propuesta de una metodología para una inspección visual. *Revista Tecnológica - Espol, 37(2), 100-112.* https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1309

Camacho, A., Diaz, M., Torres, A. (2024). Prevención y control de erosión en taludes mediante uso de geotextiles derivados del fique . *L'esprit Ingénieux*, *13*(1), 37-62. https://revistas.santototunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/3021

Chang, C., Hossain, A. (2024). A Climate Adaptation Asset Risk Management Approach for Resilient Roadway Infrastructure. *Infrastructures*, *9*(12), 226. https://doi.org/10.3390/infrastructures9120226

Chang, C., Hossain, A. (2024). *A Climate Adaptation Asset Risk Management Approach for Resilient Roadway Infrastructure*. *Infrastructures, 9*(12), 226. https://doi.org/10.3390/infrastructures9120226.

Chinchilla Dannenberger, J. (2016). *Análisis y soluciones a problemas de inundaciones en el cantón de Oreamuno, Cartago* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/tesis/2017/mayo/Tesis-JorgeChinchilla.pdf

Cordero Carballo, D., Vargas Monge, W., Garro Mora, J. (2010). Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura vial nacional. *Ingeniería,* 20(1-2), 121–141. https://doi.org/10.15517/ring.v20i1-2.7274

Creswell, J., Creswell, D. (2023). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (6th ed.). SAGE Publications.

De Solminihac, T., Echaveguren N., Chamorro, G. (2018). *Gestión de infraestructura vial* (3.ª ed.). Ediciones UC. https://www.jstor.org/stable/j.ctvkjb4dw

Díaz Arequipa, K. (2018). *Criterios de conservación vial y evaluación funcional del estado de la vía Sardinas–El Chaco* [Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito]. Repositorio Institucional USFQ. https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7262

Eidsvig, U., Tanasic, N., Hajdin, R., Ekeheien, C., & Piciullo, L. (2020). *Vulnerability of terrestrial transportation lines to natural events*. EGU General Assembly. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-9542

Global Center on Adaptation. (2025). *Climate resilient infrastructure handbook* (2.ª ed.). https://gca.org/wp-content/uploads/2025/06/Climate-Resilient-Infrastructure-Handbook_20250613.pdf

Hernández Sampieri, R., Mendoza, C. (2023). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Herrera Montiel, M. (2024). *Diseño de infraestructura vial para el mejoramiento de la transitabilidad de la vía Naranjito y CNEL. Marcelino Maridueña* [Trabajo de titulación

de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27674/1/UPS-GT005141.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, Eds.). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

International Organization for Standardization. (2018). *Risk management — Guidelines* (ISO Standard No. 31000:2018). https://biblioteca.dgmm.gob.hn/wp-content/uploads/2024/05/GC.D.07-ISO-31000-2018.pdf

Kammouh, O., Chahrour, N. (2025). Indicator-based framework to evaluate the resilience of transport infrastructure systems. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, *10*(5), 536–562. https://doi.org/10.1080/23789689.2025.2500899

Kornilova, Z. (2025). *Resilience of road infrastructure to climate change: A comprehensive review of advanced materials and predictive technologies*. https://www.researchgate.net/publication/396634523_RESILIENCE_OF_ROAD_INFRASTRUCTURE_TO_CLIMATE_CHANGE

Ley especial para la transferencia de competencias: Atención plena y exclusiva de la red vial cantonal (Ley N.° 9329). (2015). *Sistema Costarricense de Información Jurídica (SCIJ).* https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=80581

López, S. (2020). *Diagnóstico técnico del estado de las redes viales cantonales pavimentadas*. *Infraestructura Vial, 12*(23). Universidad de Costa Rica. https://www.researchgate.net/publication/277054716_Diagnostico_tecnico_del_estado_de_las_redes_viales_cantonales_pavimentadas

Mallick, R., El-Korchi, T. (2022). Pavement engineering: Principles and practice (4.ª ed.). CRC Press.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). Unidad Ejecutora y de Coordinación PRVC. (2017). *Planes viales quinquenales de conservación y desarrollo: Guía para la formulación y seguimiento*. PRVC-I MOPT–BID. https://www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/No%20DE-42686/Version1/Guia_Metodologica_Elaboracion_Planes_Viales_Quinquenales_de_Conservacion_y_Desarrollo.pdf

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2015). *Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos, Carreteras y Puentes (MCV-2015).*

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2020). *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica (CR-2020).*

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2024). *Manual de Puentes de Costa Rica (MP-2024).*

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2026). *Programa Red Vial Cantonal II (PRVC-II).*

Monge Aparicio, A., Garrido Márquez, C. (2020). *Impacto de la infraestructura vial sobre la educación rural* [Trabajo de suficiencia profesional para optar al título de Licenciado en

Economía, Universidad del Pacífico]. https://repositorio.up.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/9bb6f94f-a062-4e30-b78b-6876c1fc5643/content

Montalvo García, K. (2018). *Modelo de gestión de conservación vial para reducir costos de mantenimiento vial y operación vehicular* [Tesis de grado]. Repositorios Latinoamericanos. https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/9384085

Nicolosi, V., Augeri, M., D'Apuzzo, M., Evangelisti, A., Santilli, D. (2022). A Probabilistic Approach to the Evaluation of Seismic Resilience in Road Asset Management. *Int J Disaster Risk Sci* 13, 114–124 (2022). https://doi.org/10.1007/s13753-022-00395-5

Nicolosi, V., Augeri, M., D'Apuzzo, M., Evangelisti, A., Santilli, D. (2022). A Probabilistic Approach to the Evaluation of Seismic Resilience in Road Asset Management. *Int J Disaster Risk Sci* **13**, 114–124 (2022). https://doi.org/10.1007/s13753-022-00395-5

Pérez, G. (2021). *Impactos sociales de los caminos rurales en Mesoamérica* (Serie Comercio Internacional, N.º 165; LC/TS.2021/171). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/035e66d7-39c6-4040-be03-a4e00535a1a4/content

Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)* (7th ed.). Project Management Institute.

Purdy, G. (2010). The ISO 31000:2009 risk management standard. *Risk Analysis: An International Journal*, *30*(6), 881–886. https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2010.01428.x *(Nota: Incluida por rigurosidad histórica de los antecedentes normativos).*

Rivas Parraguez, José Martín. 2018. *Cuantificación de los efectos de la erosión y socavación en la estructura de puentes y su aplicación en el puente del Río Motupe del departamento de Lambayeque*. [Tesis pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. https://repositorio.usat.edu.pe/items/49a0edd8-e2dd-4b0b-92f9-c76ccbf034a0

Rodríguez Serrano, M. (2021). *Evaluación funcional y análisis económico de una red vial en la parroquia Ricaurte* [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca]. https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/37456

SAFEWAY Project. (2020). *D2.3 Vulnerability and Resilience Factors*. https://www.safeway-project.eu/en/results/Documents/SAFEWAY_D2.3_V1.0_VRF.pdf

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). 2017. *The Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction*. https://un-spider.org/risks-and-disasters/disaster-risk-management?utm_source=chatgpt.com

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2020). *Hazard definition and classification review: Technical report*. United Nations. https://www.undrr.org/publication/hazard-definition-and-classification-review

Varela Rivera, A. (2024). *Mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo a través de la comparativa de las maquinarias pesadas en obras de vialidad* [Tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil]. https://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/7223/1/T-ULVR-5488.pdf

Vargas Sobrado, A. (2018). *Manual de gestión para la infraestructura vial cantonal de Costa Rica* [Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica]. https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/5d001faf-4445-416f-bf6f-5696411116a3

Vásquez Monteros, C. J., & Schvartzer, F. (2016). *Factores de equivalencia de daño en pavimentos flexibles para condiciones argentinas*. Trabajo presentado en el XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Buenos Aires, Argentina.

Xu Ye, L., López Ramírez, S., Allen Monge, J., Loría Salazar, L. (2018). Desarrollo de la gestión vial municipal en Costa Rica: Incidencia de elementos político-técnicos. *Revista Centroamericana de Administración Pública,* (75), 149–158. https://doi.org/10.35485/rcap75_9

Anexos

Anexo 1: Protocolo de gestión de riesgo para la infraestructura vial municipal del cantón de guatuso

PROTOCOLO DE GESTIÓN DE RIESGO PARA LA INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL DEL CANTÓN DE GUATUSO

1. Objetivo

Establecer un procedimiento estandarizado para la identificación, análisis, evaluación, tratamiento y seguimiento de los riesgos asociados con la infraestructura vial municipal del cantón de Guatuso, con el propósito de fortalecer la capacidad de la Municipalidad para anticipar condiciones que puedan afectar la seguridad de los usuarios, la transitabilidad, la conservación de las vías y la continuidad de la prestación del servicio.

El protocolo proporciona criterios técnicos para orientar las inspecciones de campo, registrar las condiciones encontradas, valorar los riesgos y definir acciones de tratamiento de acuerdo con su nivel de prioridad. De esta manera, se busca pasar de una atención principalmente reactiva ante emergencias hacia una gestión preventiva y sistemática de los riesgos presentes en las rutas cantonales prioritarias.

Asimismo, el protocolo establece responsabilidades, periodicidades, formularios, registros e indicadores que permitan dar seguimiento a las condiciones de la infraestructura vial y facilitar la toma de decisiones por parte de los responsables municipales.

2. Alcance

El presente protocolo es aplicable a la gestión de riesgos asociados con la infraestructura vial bajo responsabilidad de la Municipalidad de Guatuso, particularmente en las rutas cantonales prioritarias consideradas dentro del presente estudio:

- 21501100 – Cabanga – Río Venado.
- 21503200 – El Silencio – La Poma.

- 21503900 – Margarita – Bar El Imperio.
- 21504100 – San Juan – Finca El Cubano.
- 21504200 – Puesto Fuerza Pública – Pataste.
- 21519700 – Lourdes – Río Venado.

El protocolo comprende las actividades relacionadas con la inspección de las vías, identificación de amenazas y vulnerabilidades, valoración de la probabilidad y consecuencia, clasificación del nivel de riesgo, definición de medidas de tratamiento, asignación de responsables, seguimiento de las acciones y actualización de los registros.

Su aplicación puede extenderse posteriormente a otras rutas cantonales conforme la Municipalidad incorpore nuevos caminos dentro de sus procesos de gestión vial. El protocolo contempla principalmente riesgos relacionados con deslizamientos, deterioro de la superficie de rodamiento, deficiencias o ausencia de sistemas de drenaje, inundaciones, deterioro de puentes y pasos de alcantarilla, pérdida de transitabilidad, señalización deficiente, vegetación que afecta la visibilidad y otras condiciones que puedan comprometer el funcionamiento de la infraestructura vial.

El alcance corresponde a la **gestión y tratamiento de riesgos**, por lo que no sustituye los estudios de ingeniería, diseños estructurales, estudios hidráulicos, geotécnicos ni demás evaluaciones especializadas que sean requeridas para ejecutar obras de mayor complejidad.

3. Responsables

La aplicación del protocolo requiere la participación coordinada de los funcionarios vinculados con la gestión de la infraestructura vial municipal. Las responsabilidades se distribuyen de la siguiente manera.

3.1. Responsable de la gestión vial municipal

Será responsable de coordinar la aplicación general del protocolo, programar las inspecciones, revisar los resultados obtenidos y gestionar la atención de los riesgos identificados.

Entre sus principales funciones se encuentran:

- Elaborar y actualizar el programa de inspecciones.
- Coordinar las visitas de campo.
- Revisar los formularios de inspección.
- Verificar la correcta clasificación de los riesgos.
- Priorizar las situaciones que requieren intervención.
- Coordinar la asignación de recursos.
- Dar seguimiento al cumplimiento de las acciones de tratamiento.
- Mantener actualizados los registros.
- Presentar informes periódicos a la administración municipal.
- Coordinar la actualización del protocolo.

3.2. Ingeniero civil o profesional técnico responsable

Será responsable de brindar criterio técnico para la evaluación de las condiciones que puedan representar riesgos para la infraestructura vial.

Sus funciones incluyen:

- Validar los hallazgos de las inspecciones.
- Analizar técnicamente las amenazas y vulnerabilidades.
- Apoyar la asignación de los valores de probabilidad y consecuencia.
- Revisar los riesgos clasificados como altos o extremos.
- Determinar la necesidad de estudios técnicos complementarios.
- Definir o validar las medidas de tratamiento.
- Verificar técnicamente las intervenciones ejecutadas.

3.3. Inspectores de campo

Serán responsables de realizar las inspecciones y recopilar información objetiva sobre el estado de las rutas.

Entre sus funciones se encuentran:

- Recorrer los tramos establecidos.
- Identificar amenazas y condiciones de vulnerabilidad.
- Registrar el estacionamiento o ubicación del hallazgo.
- Documentar las condiciones mediante fotografías.
- Completar los formularios correspondientes.
- Reportar situaciones que requieran atención inmediata.
- Dar seguimiento visual a las condiciones previamente identificadas.

3.4. Maestros de obras o personal operativo

Participarán en la identificación de condiciones de deterioro y en la ejecución de las medidas de tratamiento que correspondan.

Sus funciones incluyen:

- Apoyar la valoración de condiciones constructivas.
- Ejecutar labores de mantenimiento asignadas.
- Reportar nuevas condiciones de riesgo.
- Informar sobre problemas encontrados durante las labores de mantenimiento.
- Registrar las actividades ejecutadas.

3.5. Administración municipal

Corresponde a la administración municipal facilitar los recursos necesarios para la implementación de las medidas de tratamiento, especialmente cuando se trate de riesgos que requieran inversión, contratación de servicios o ejecución de obras.

4. Diagrama del procedimiento

El procedimiento para la gestión de riesgos de infraestructura vial se desarrollará mediante una secuencia de ocho etapas:



Etapa 1. Programación de la inspección

El responsable de la gestión vial establece las rutas que serán inspeccionadas, asigna al personal responsable y define la fecha de recorrido. La programación debe considerar la periodicidad establecida en este protocolo y las condiciones particulares de cada ruta.

Etapa 2. Inspección de campo

El personal designado realiza el recorrido utilizando el formulario de inspección. Durante la visita se registran las condiciones de la superficie de rodamiento, drenaje, puentes, alcantarillas, señalización, estabilidad del terreno, zonas inundables, vegetación y demás elementos relevantes.

Etapa 3. Identificación de amenazas y vulnerabilidades

Los hallazgos son analizados para determinar qué amenazas pueden afectar la vía y qué condiciones de vulnerabilidad pueden favorecer la materialización de un evento.

Etapa 4. Registro y documentación

Cada hallazgo se registra indicando ubicación, descripción, evidencia fotográfica, condición observada y posible afectación. Cuando sea necesario, se incorporan coordenadas, estacionamiento y referencia del tramo.

Etapa 5. Análisis de probabilidad y consecuencia

El responsable técnico asigna los valores de probabilidad y consecuencia de acuerdo con los criterios establecidos en el protocolo.

Etapa 6. Clasificación del riesgo

Se calcula el nivel de riesgo mediante la multiplicación de la probabilidad por la consecuencia:

Nivel de riesgo = Probabilidad × Consecuencia

El resultado permite determinar si el riesgo es aceptable, tolerable, alto o extremo.

Etapa 7. Tratamiento

De acuerdo con la clasificación obtenida, se establece la medida de tratamiento correspondiente, el responsable de ejecutarla y el plazo previsto.

Etapa 8. Seguimiento y actualización

Una vez implementada la medida, se verifica su cumplimiento y efectividad. El resultado se incorpora al registro de riesgos y se actualiza la valoración cuando cambien las condiciones existentes.

5. Criterios de evaluación

La evaluación de los riesgos se realizará considerando dos variables: probabilidad y consecuencia.

5.1. Evaluación de la probabilidad

La probabilidad representa la posibilidad de que una amenaza se materialice y genere una afectación sobre la infraestructura vial.

Nivel	Valor	Criterio
Muy baja	1	El evento es poco probable y no se identifican antecedentes frecuentes.
Baja	2	El evento puede presentarse ocasionalmente bajo determinadas condiciones.
Media	3	El evento presenta posibilidades moderadas de ocurrencia y existen condiciones que favorecen su aparición.
Alta	4	El evento presenta antecedentes o condiciones frecuentes que favorecen su ocurrencia.
Muy alta	5	El evento ocurre con frecuencia o existen condiciones evidentes que hacen altamente probable su materialización.

Para determinar la probabilidad deberán considerarse, según la información disponible, los antecedentes de eventos, frecuencia observada, condiciones del terreno, características de la vía, condiciones climáticas, estado del drenaje y experiencia del personal técnico.

5.2. Evaluación de la consecuencia

La consecuencia representa la magnitud de los efectos que podría producir la materialización de un riesgo.

Nivel	Valor	Criterio
Mínima	1	Afectación menor que puede ser atendida mediante mantenimiento rutinario sin afectar significativamente la circulación.
Media	2	Afectación localizada que puede generar restricciones menores en la operación de la vía.
Moderada	4	Afectación que requiere intervención programada y puede generar restricciones temporales de circulación.
Alta	8	Afectación significativa que puede comprometer la transitabilidad, seguridad de los usuarios o funcionamiento de la infraestructura.
Máxima	16	Afectación crítica que puede generar interrupción de la vía, daños importantes a la infraestructura o condiciones graves para la seguridad de los usuarios.

La consecuencia se valorará considerando principalmente la seguridad de los usuarios, continuidad del tránsito, afectación de la infraestructura, dificultad de acceso, impacto sobre las comunidades y necesidad de recursos para recuperar la funcionalidad de la vía.

5.3. Determinación del nivel de riesgo

El nivel de riesgo se obtiene mediante:

$R = P \times C$

Donde:

- **R:** nivel de riesgo.
- **P:** probabilidad.
- **C:** consecuencia.

La utilización de esta operación permite combinar, mediante un criterio cuantitativo sencillo, la posibilidad de ocurrencia y la magnitud de las consecuencias. La escala

adoptada constituye un criterio operativo definido para este protocolo y no una escala establecida directamente por ISO 31000. La norma proporciona el marco para identificar, analizar, evaluar y tratar riesgos, mientras que la Municipalidad adapta los criterios de valoración a las características de su infraestructura vial.

Resultado	Nivel de riesgo	Criterio de atención
1–4	Aceptable	Mantener seguimiento y realizar mantenimiento cuando corresponda.
5–12	Tolerable	Implementar medidas preventivas y mantener seguimiento.
13–24	Alto	Establecer intervención prioritaria y seguimiento frecuente.
25–80	Extremo	Atender de manera inmediata y evaluar restricciones de tránsito cuando exista riesgo para los usuarios.

6. Formularios

Para facilitar la aplicación del protocolo se establecen tres formularios básicos.

6.1. Formulario de inspección de infraestructura vial

Este formulario será utilizado durante cada recorrido de campo.

Campo	Información
Ruta	Código y nombre
Fecha	Día de inspección
Inspectores	Nombre de responsables
Estacionamiento	Ubicación del hallazgo
Tipo de elemento	Alcantarilla, puente, superficie, señalización, terreno, etc
Condición encontrada	Descripción
Amenaza	Evento que puede afectar la vía
Vulnerabilidad	Condición que favorece la afectación
Evidencia	Fotografía y/o coordenadas
Observaciones	Información adicional
Acción requerida	Mantenimiento, sustitución, estudio, obra, seguimiento

6.2. Formulario de evaluación del riesgo

Campo	Información
Ruta	Código y nombre
Punto crítico	Estacionamiento
Amenaza	Evento identificado
Vulnerabilidad	Condición existente
Probabilidad	1–5
Consecuencia	1–16
Nivel de riesgo	P × C
Clasificación	Aceptable, tolerable, alto o extremo
Medida de tratamiento	Acción propuesta
Responsable	Funcionario o área responsable
Fecha límite	Plazo de atención
Estado	Pendiente, en proceso o finalizado

6.3. Formulario de seguimiento

Campo	Información
Riesgo identificado	Descripción
Medida establecida	Acción de tratamiento
Responsable	Encargado
Fecha programada	Fecha prevista
Fecha ejecutada	Fecha real
Estado	Pendiente/en proceso/finalizado
Resultado	Condición posterior
Nueva valoración	Probabilidad y consecuencia posteriores
Evidencia	Fotografía o documento
Observaciones	Comentarios

7. Registros

La Municipalidad deberá mantener registros que permitan demostrar la aplicación del protocolo y conservar el historial de las condiciones identificadas.

Como mínimo deberán mantenerse los siguientes registros:

1. **Registro de inspecciones:** fecha, ruta inspeccionada, responsables y condiciones encontradas.

2. **Registro de riesgos:** amenazas, vulnerabilidades, probabilidad, consecuencia y nivel de riesgo.
3. **Registro fotográfico:** evidencia de las condiciones identificadas antes y después de las intervenciones.
4. **Registro de acciones de tratamiento:** medidas definidas, responsables, fechas y estado de cumplimiento.
5. **Registro de mantenimiento:** actividades realizadas sobre las rutas y elementos de infraestructura.
6. **Registro de incidentes y emergencias:** eventos que hayan provocado afectaciones o interrupciones de la vía.
7. **Registro de seguimiento:** resultados de las verificaciones posteriores a la aplicación de medidas.
8. **Historial de actualización de riesgos:** modificaciones realizadas a la valoración o tratamiento de cada riesgo.

Los registros deberán conservarse de manera ordenada y permitir la consulta del historial de cada ruta. Preferiblemente, la información deberá mantenerse en formato digital para facilitar su actualización, análisis y generación de reportes.

8. Periodicidad de las inspecciones

La periodicidad de las inspecciones deberá establecerse de acuerdo con el nivel de exposición y riesgo identificado en cada ruta.

Tipo de inspección	Periodicidad	Aplicación
Inspección ordinaria	Mensual	Rutas prioritarias en condiciones normales.
Inspección preventiva	Quincenal	Sectores con riesgos altos o condiciones de deterioro activo.
Inspección extraordinaria	Después de eventos	Lluvias intensas, inundaciones, deslizamientos u otros eventos que puedan afectar la vía.
Inspección de seguimiento	Según medida	Verificación de acciones de tratamiento ejecutadas.

Como criterio mínimo, las seis rutas prioritarias deberán contar con una inspección ordinaria mensual. Los sectores clasificados como riesgo alto deberán recibir seguimiento con mayor frecuencia, mientras que los riesgos extremos deberán ser evaluados inmediatamente y posteriormente hasta verificar que la condición haya sido controlada.

Adicionalmente, las inspecciones no deberán depender exclusivamente de la ocurrencia de una emergencia. Los recorridos preventivos permitirán identificar condiciones de deterioro antes de que produzcan una interrupción de la vía.

9. Medidas de tratamiento

Las medidas de tratamiento deberán definirse de acuerdo con la naturaleza y nivel del riesgo identificado.

9.1. Riesgo aceptable

Los riesgos aceptables podrán mantenerse bajo seguimiento mediante inspecciones periódicas y mantenimiento rutinario.

Las acciones pueden incluir:

- Limpieza de cunetas.
- Retiro de vegetación.
- Limpieza preventiva de alcantarillas.
- Reparaciones menores.
- Mantenimiento de señalización.
- Seguimiento fotográfico.

9.2. Riesgo tolerable

Los riesgos tolerables deberán contar con medidas preventivas y seguimiento.

Las acciones pueden incluir:

- Sustitución programada de alcantarillas.
- Mejoramiento de drenajes.
- Reposición de material de superficie.
- Limpieza de cauces y estructuras.
- Corrección de puntos de acumulación de agua.
- Mantenimiento preventivo de puentes.
- Control de erosión.

9.3. Riesgo alto

Los riesgos altos deberán recibir atención prioritaria y contar con una acción formal de tratamiento.

Las medidas pueden incluir:

- Intervención de sectores deteriorados.
- Construcción o sustitución de obras de drenaje.
- Estabilización de taludes.
- Recuperación de la superficie de rodamiento.
- Construcción de obras de protección.
- Estudios técnicos especializados.
- Señalización preventiva temporal.
- Restricción temporal del tránsito cuando resulte necesario.

9.4. Riesgo extremo

Los riesgos extremos requieren atención inmediata debido a la posibilidad de producir afectaciones importantes a la seguridad y continuidad de la vía.

Las medidas podrán incluir:

- Inspección técnica inmediata.
- Cierre o restricción temporal del tránsito cuando exista peligro para los usuarios.
- Señalización y control preventivo del sector.
- Atención de emergencias.
- Retiro de material que bloquee la vía.
- Obras provisionales para recuperar la transitabilidad.
- Estudios geotécnicos, hidráulicos o estructurales cuando correspondan.
- Diseño y ejecución de una solución definitiva.
- Seguimiento hasta comprobar la reducción del riesgo.

La medida de tratamiento deberá seleccionarse considerando la causa del riesgo y no únicamente el daño visible. Por ejemplo, ante una alcantarilla deteriorada, la acción deberá orientarse a recuperar la capacidad de drenaje y evitar que el agua continúe afectando la estructura vial.

10. Indicadores

Para verificar el funcionamiento del protocolo se establecen indicadores de seguimiento que permitan evaluar tanto la ejecución de las inspecciones como la atención de los riesgos.

Indicador	Fórmula	Frecuencia
Cumplimiento de inspecciones	Inspecciones realizadas / inspecciones programadas × 100	Mensual
Riesgos atendidos	Riesgos tratados / riesgos identificados × 100	Mensual
Riesgos altos y extremos atendidos	Riesgos altos y extremos tratados / riesgos altos y extremos identificados × 100	Mensual
Acciones ejecutadas en plazo	Acciones ejecutadas dentro del plazo / acciones programadas × 100	Mensual
Rutas inspeccionadas	Rutas inspeccionadas / rutas programadas × 100	Mensual
Actualización de registros	Registros actualizados / registros existentes × 100	Trimestral

Como referencia de gestión, se establece como meta alcanzar al menos un 90 % de cumplimiento de las inspecciones programadas y procurar que el 100 % de los riesgos extremos identificados cuente con una acción inmediata de tratamiento o control.

Los indicadores deberán revisarse periódicamente para determinar si el protocolo está permitiendo mejorar la planificación preventiva y reducir la exposición de las rutas a condiciones que puedan afectar su funcionamiento.

11. Seguimiento

El seguimiento constituye una etapa permanente del protocolo y deberá realizarse después de la identificación y tratamiento de los riesgos.

El responsable de la gestión vial deberá verificar periódicamente el estado de las acciones establecidas y actualizar el registro correspondiente. Para cada medida deberán identificarse claramente el responsable, fecha prevista, estado de avance y resultado obtenido.

El seguimiento deberá comprobar si la acción ejecutada permitió reducir la condición que originó el riesgo. Cuando una intervención no produzca el resultado esperado, deberá realizarse una nueva valoración y establecer una medida complementaria.

Para los riesgos altos y extremos, el seguimiento deberá ser más frecuente y mantenerse hasta comprobar que el riesgo ha disminuido a un nivel aceptable o tolerable. En los casos donde se determine que una condición no puede eliminarse completamente, deberán establecerse medidas de control que permitan mantener el riesgo dentro de niveles manejables.

Las inspecciones posteriores deberán incorporar evidencia fotográfica para comparar las condiciones antes y después de la intervención. Esta información permitirá construir un historial de las rutas y facilitará la identificación de deterioros recurrentes.

Asimismo, los resultados de los indicadores deberán ser revisados periódicamente por el responsable de la gestión vial para identificar incumplimientos, retrasos o necesidades de mejora.

12. Mecanismo de actualización

El protocolo deberá mantenerse actualizado para garantizar que continúe siendo aplicable a las condiciones de la infraestructura vial municipal.

Se establece una revisión anual del protocolo como mínimo. Esta revisión deberá realizarse también cuando ocurra alguna de las siguientes situaciones:

- Incorporación de nuevas rutas prioritarias.
- Identificación de nuevos tipos de amenazas.

- Modificación significativa de las condiciones de las rutas.
- Ocurrencia de una emergencia vial relevante.
- Cambios en la estructura organizativa municipal.
- Modificación de procedimientos internos.
- Identificación de deficiencias en la aplicación del protocolo.
- Cambios en normativa o criterios técnicos aplicables.

La actualización deberá ser coordinada por el responsable de la gestión vial y contar con la revisión del personal técnico correspondiente.

Cada modificación deberá quedar registrada indicando:

Elemento	Registro
Fecha de actualización	Día, mes y año
Sección modificada	Apartado actualizado
Descripción del cambio	Modificación realizada
Motivo	Razón de la actualización
Responsable	Persona que realizó la modificación
Revisión técnica	Responsable de validar el cambio
Versión	Número de versión vigente

La versión actualizada deberá sustituir la versión anterior para efectos operativos, conservando las versiones históricas como respaldo documental. De esta manera, la Municipalidad podrá mantener un control sobre la evolución del protocolo y asegurar que los criterios utilizados para la gestión de riesgos sean consistentes con las condiciones reales de las rutas cantonales.

Anexo 2: Norma ISO 31000

NORMA INTERNACIONAL

ISO 31000

Traducción oficial
Official translation
Traduction officielle

Segunda edición
2018-02

Gestión del riesgo — Directrices

Risk management — Guidelines

Management du risque — Lignes directrices

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
ISO 31000:2018
https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/aac269d2-3e9b-4ff1-b678-1df56c39129d/iso-31000-2018

Publicado por la Secretaría Central de ISO en Ginebra, Suiza, como traducción oficial en español avalada por el *Translation Management Group*, que ha certificado la conformidad en relación con las versiones inglesa y francesa.

Número de referencia
ISO 31000:2018
(traducción oficial)

© ISO 2018

Anexo 3: Carta de autorización de la Municipalidad de Guatuso

MUNICIPALIDAD DE GUATUSO
UNIDAD TÉCNICA DE GESTIÓN VIAL
CONSERVACIÓN VIAL PARTICIPATIVA

San Rafael de Guatuso,03 de Setiembre del 2026
Al contestar referirse al oficio
Oficio No-UTGVM- 827 -092026

Estimados señores
Nicole Cubero Soto
Juan Arturo Alvarado Rodríguez
Estudiantes de Licenciatura en Ingeniería Civil
Universidad Isaac Newton

Asunto: Aprobación para desarrollo de trabajo de tesis

De nuestra consideración:

Reciban un cordial saludo de parte de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal de la Municipalidad de Guatuso.

En atención a la solicitud presentada para desarrollar su trabajo de tesis denominado **"Elaboración de un protocolo de gestión de riesgos aplicado a la infraestructura vial municipal, basado en los lineamientos de la Norma ISO 31000"**, se les comunica que esta Unidad Técnica aprueba y brinda su anuencia para la realización de dicha investigación en coordinación con nuestro departamento.

En ese sentido, se autoriza la realización de las actividades requeridas para el desarrollo del estudio, tales como entrevistas, levantamiento de información, observaciones, encuestas y consulta de datos relacionados con la infraestructura vial municipal, siempre que estos se encuentren disponibles y su acceso sea procedente de conformidad con las disposiciones institucionales aplicables.

Asimismo, esta Unidad Técnica brindará, dentro de sus posibilidades y competencias, la colaboración necesaria para facilitar el desarrollo de la investigación y la coordinación con el personal correspondiente.

Tel: 2464-0065, ext. 111 E-mail: dgomez@muniguatuso.go.cr

MUNICIPALIDAD DE GUATUSO
UNIDAD TÉCNICA DE GESTIÓN VIAL
CONSERVACIÓN VIAL PARTICIPATIVA

Se considera que la propuesta planteada puede representar un aporte de interés para la gestión vial municipal, particularmente en lo relacionado con la identificación y valoración de riesgos, la planificación de acciones preventivas y el fortalecimiento de los procesos asociados a la infraestructura vial cantonal.

Por lo anterior, se manifiesta formalmente la conformidad de esta Unidad Técnica para que los estudiantes Nicole Cubero Soto y Juan Arturo Alvarado Rodríguez desarrollen el trabajo de tesis indicado, utilizando a la Unidad Técnica de Gestión Vial de la Municipalidad de Guatuso como institución de coordinación y apoyo para los fines académicos descritos en su solicitud.

Atentamente,

DANIEL GOMEZ ARAYA (FIRMA)

Firmado digitalmente por DANIEL GOMEZ ARAYA (FIRMA)
Fecha: 2026.09.04 08:24:09 -06'00'

Ing. Daniel Gomez Araya
Coord. UTGVM
Municipalidad de Guatuso
Cc: Archivo

GUATUSO
Paraíso de oportunidades