

Propuesta metodológica para la selección y priorización de vías que serán sujetas a la evaluación del riesgo de siniestralidad en el Municipio de Matina

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

CONSTANCIA de PRESENTACIÓN PÚBLICA del TRABAJO FINAL de GRADUACIÓN

Propuesta metodológica para la selección y priorización de vías que serán sujetas a la evaluación del riesgo de siniestralidad en el Municipio de Matina


Llevado a cabo por la estudiante:

Fallas Vargas Daniela Alejandra

Carné: 2018161695

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el jueves 03 de julio de 2025 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

 **Tecnológico de Costa Rica**
Firmado digitalmente por
JOSE ANDRES ARAYA
OBANDO (FIRMA)
Fecha: 2025.07.04 12:03:15
-06'00'

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando
Director de la Escuela

 **Tecnológico de Costa Rica**
Firmado digitalmente por
IRVING JORHANY PIZARRO
MARCHENA (FIRMA)
Fecha: 2025.07.03 16:36:44
-06'00'

Dr. Irving Pizarro Marchena
Profesor Guía

**GIANNINA
ORTIZ QUESADA
(FIRMA)**
Firmado digitalmente
por GIANNINA ORTIZ
QUESADA (FIRMA)
Fecha: 2025.07.04
09:43:22 -06'00'

Ing. Giannina Ortiz Quesada, MSc.
Profesora Lectora

**MILTON ANTONIO
SANDOVAL QUIROS
(FIRMA)**
Firmado digitalmente por MILTON
ANTONIO SANDOVAL QUIROS
(FIRMA)
Fecha: 2025.07.03 16:10:40 -06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE
Profesor Observador

Resumen

Con el fin de optimizar la asignación de recursos y preparar la aplicación de la metodología International Road Assessment Programme (iRAP), este proyecto propone un sistema de ponderación de factores de riesgo, ante la ausencia de una metodología clara para seleccionar y priorizar vías con riesgo de siniestralidad. Se priorizó el distrito de Batán, en Matina, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), considerando el desarrollo socioeconómico, densidad vial y registros de siniestros.

Primero, se identificaron las vías con mayor desarrollo socioeconómico y siniestralidad, aplicándoles un sistema de ponderación basado en variables de longitud y ancho de vía, flujo vehicular, acceso peatonal, cantidad y calidad de intersecciones. Luego, se priorizaron vías con siniestros no consideradas en la primera etapa, utilizando la tasa de siniestralidad por kilómetro. Por último, se evaluaron las vías restantes según su cercanía al centro crítico del distrito.

Como resultado, se jerarquizaron 71 vías en Batán. La metodología puede replicarse en otros distritos del cantón, ajustando los parámetros al contexto local. Este enfoque facilita la planificación vial y permite una mejor gestión de activos viales a partir de decisiones basadas en datos.

Es recomendable ampliar la aplicación de esta metodología al resto del cantón, capacitar al personal técnico municipal en el uso de SIG y establecer alianzas con instituciones académicas para garantizar la actualización continua de datos y el seguimiento de resultados.

Palabras clave: riesgo vial, priorización de vías, Matina, Batán, siniestros, QGIS.

Abstract

In the absence of a clear methodology for selecting and prioritizing roads with high crash risk, this project proposes a risk factor weighting system aimed at optimizing resource allocation and preparing for the implementation of the International Road Assessment Programme (iRAP) methodology. The district of Batán, in Matina, was prioritized using Geographic Information Systems (GIS), considering socioeconomic development, road network density, and crash records.

First, roads with the highest socioeconomic development and crash incidence were identified and assessed using a weighting system based on variables such as road length and width, traffic volume, pedestrian access, and the number and quality of intersections. Next, roads with crash records not included in the first stage were prioritized using the crash rate per kilometer. Finally, the remaining roads were evaluated based on their proximity to the district's critical center.

As a result, 71 roads in Batán were ranked. The methodology can be replicated in other districts of the canton by adjusting the parameters to the local context. This approach facilitates road planning and enables better road asset management through data-driven decision-making.

It is advisable to expand the application of this methodology to the rest of the canton, train municipal technical staff in the use of GIS, and establish partnerships with academic institutions to ensure continuous data updating and monitoring of results.

Keywords: road risk, road prioritization, Matina, Batán, crashes, QGIS.

Propuesta metodológica para la selección y priorización de vías que serán sujetas a la evaluación del riesgo de siniestralidad en el Municipio de Matina

DANIELA ALEJANDRA FALLAS VARGAS

Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Junio de 2025

Contenido

Índice de tablas.....	- 6 -
Índice de figuras.....	- 7 -
Glosario	- 8 -
Resumen ejecutivo	- 9 -
Introducción	- 11 -
Planteamiento del problema	- 11 -
Justificación	- 12 -
Objetivos de desarrollo sostenible	- 12 -
Antecedentes	- 12 -
Estado del arte.....	- 14 -
Objetivos	- 16 -
Objetivo general	- 16 -
Objetivos específicos	- 17 -
Alcance	- 17 -
Limitaciones	- 17 -
Agradecimientos	- 19 -
Capítulo 1: Marco teórico	- 20 -
1.1 Seguridad vial	- 20 -
1.2 Factores de riesgo de siniestralidad	- 21 -
1.3 Clasificación de la infraestructura vial.....	- 21 -
1.4 Condiciones actuales de la red vial de Matina.....	- 22 -
1.5 Datos de siniestros de tránsito.....	- 23 -
1.6 Sistemas de información geográfica.....	- 23 -
1.7 Métodos de priorización de vías	- 24 -
1.8 Análisis multicriterio (AMC).....	- 24 -

Capítulo 2: Metodología	- 26 -
2.1 Priorización de distrito.....	- 27 -
2.2 Desarrollo de la metodología.....	- 27 -
2.3 Aplicación de la metodología.....	- 29 -
Capítulo 3: Resultados y análisis	- 30 -
3.1 Selección de distrito.....	- 30 -
3.2 Selección y priorización de vías.....	- 32 -
3.2.1 Selección y fase 1 de priorización.....	- 34 -
3.2.2 Selección y fase 2 de priorización.....	- 51 -
3.2.3 Selección y fase 3 de priorización.....	- 53 -
Conclusiones	- 58 -
Recomendaciones.....	- 59 -
Referencias bibliográficas	- 61 -

Índice de tablas

Tabla 1. Sistema de ponderación según los factores de riesgo de siniestralidad.....	- 28 -
Tabla 2. Identificación de las vías de la fase 1 de priorización en el distrito de Batán.....	- 36 -
Tabla 3.TPD aproximado para las vías de la zona crítica de Batán.....	- 40 -
Tabla 4. Ponderación de la longitud de cada vía de la primera zona de priorización en Batán.....	- 41 -
Tabla 5. Ponderación del ancho de cada vía de la primera zona de priorización en Batán	- 42 -
Tabla 6. Ponderación de acceso peatonal para cada vía de la primera zona de priorización en Batán.....	- 44 -
Tabla 7. Ponderación de la cantidad de intersecciones para cada vía de la primera zona de priorización en Batán	- 44 -
Tabla 8. Ponderación de la calidad de intersecciones para cada vía de la primera zona de priorización en Batán	- 47 -
Tabla 9. Valor de riesgo para la primera zona de priorización	- 50 -
Tabla 10. Numeración y nombramiento de vías para la segunda priorización de vías	- 52 -
Tabla 11. Determinación de accidentes por km2 para la segunda priorización de vías	- 52 -
Tabla 12. Jerarquía de prioridad de las vías del distrito de Batán	- 56 -

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de actividades metodológicas.....	- 26 -
Figura 2. Mapa distrital del cantón de Matina, con el registro de accidentes en la zona	- 31 -
Figura 3. Red vial nacional y cantonal del distrito de Batán.....	- 33 -
Figura 4. Zona de mayor densidad vial y concentración de siniestros en el distrito de Batán.....	- 34 -
Figura 5. Detalle de la zona de estudio en el distrito de Batán	- 35 -
Figura 6. Tramo de vía recto con mayor distancia, en relación con el registro de siniestros en el distrito de Batán	- 37 -
Figura 7. Tramo de vía recto con mayor distancia, en relación con el registro de siniestros en el distrito de Matina	- 38 -
Figura 8. Puntos estratégicos para la toma de videos para la estimación de flujo de tráfico.....	- 40 -
Figura 9. Ejemplo de riesgo bajo para acceso peatonal	- 43 -
Figura 10. Ejemplo de riesgo alto para acceso peatonal	- 43 -
Figura 11. Ejemplo de riesgo bajo para calidad de intersecciones	- 46 -
Figura 12. Ejemplo de riesgo medio para calidad de intersecciones	- 46 -
Figura 13. Ejemplo de riesgo alto para calidad de intersecciones	- 47 -
Figura 14. Enumeración de vías para una segunda priorización	- 51 -
Figura 15 Radio máximo del distrito de Batán.....	- 54 -
Figura 16. División de áreas para la tercera priorización de vías.....	- 55 -

Glosario

A continuación, se muestra una lista de palabras utilizadas a lo largo del proyecto, con su respectivo acrónimo:

- Análisis Big Data: Metodología para evaluación de escuelas de alto riesgo. (SR4S)
- Análisis de Jerarquías Analíticas. (AHP).
- Análisis multicriterio. (AMC).
- Consejo de Seguridad Vial. (COSEVI).
- Consejo Técnico de Operación y Conservación de Carreteras. (COTOCO).
- Dirección General de Ingeniería de Tránsito. (DGIT).
- Instituto Costarricense de Turismo. (ICT).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (INEC).
- International Road Assessment Programme. (iRAP).
- Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica. (JAPDEVA).
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (LANAMME-UCR).
- Ministerio de Obras Públicas y de Transporte. (MOPT).
- National Highway Traffic Safety Administration. (NHTSA).
- Objetivos de Desarrollo Sostenible. (ODS).
- Organización de las Naciones Unidas. (ONU).
- Programa de infraestructura resiliente y movilidad segura (PIREMOS).
- Quantum Geographic Information System. (QGIS).
- Sistema Nacional de Información Territorial. (SNIT).
- Sistemas de Información Geográfica. (SIG).
- Tránsito Promedio Diario. (TPD).

Resumen ejecutivo

La seguridad vial representa uno de los retos más significativos en la gestión de la infraestructura pública en Costa Rica, particularmente en cantones rurales como Matina, en la provincia de Limón. La carencia de herramientas técnicas claras para identificar y jerarquizar las vías con alto riesgo de siniestralidad ha limitado la capacidad de los gobiernos locales para tomar decisiones informadas, lo que ha resultado en una asignación ineficiente de recursos y en la persistencia de condiciones inseguras en la red vial. Este proyecto propone una metodología sistemática, replicable y contextualizada para la selección y priorización de vías cantonales, con el objetivo de mejorar la planificación vial y preparar el camino hacia la aplicación de metodologías internacionales como iRAP, la cual califica las carreteras por estrellas, siendo cinco estrellas el escenario más seguro y con mejores condiciones viales, y una estrella como el estado más crítico.

Objetivo general

Desarrollar una metodología sistemática para la selección y priorización de las vías sujetas a evaluación detallada de riesgo de siniestralidad en el municipio de Matina, basada en un sistema de ponderación de factores de riesgo, con miras a optimizar la asignación de recursos y preparar la etapa subsecuente de evaluación y análisis mediante la metodología iRAP.

Objetivos específicos y resultados concretos

1. **Delimitar las subzonas de estudio mediante SIG:** Utilizando el software QGIS, se integraron variables sociodemográficas, geoespaciales y de siniestralidad para seleccionar la zona de estudio. El análisis indicó que el distrito de Batán concentra la mayor cantidad de siniestros, densidad vial y desarrollo socioeconómico dentro del cantón, por lo cual fue seleccionado como área piloto para la aplicación metodológica.
2. **Desarrollar un sistema de ponderación de factores de riesgo:** Se creó una matriz de evaluación multicriterio basada en seis variables: flujo vehicular, longitud y ancho de vía, acceso peatonal, cantidad y calidad de intersecciones. Estas variables fueron clasificadas en niveles de riesgo (alto, medio, bajo), y se les asignó un valor de riesgo numérico sustentado en normativa nacional, literatura técnica, observación de campo y guías iRAP. Esta matriz permitió construir un sistema objetivo para jerarquizar vías cantonales.

3. **Aplicar el modelo de priorización a la red vial del cantón:** La metodología se aplicó en tres fases progresivas:

- **Fase 1:** Evaluación de 15 vías en la zona de mayor densidad vial y siniestralidad de Batán. Se identificó como vía más riesgosa a Calle Batán, que presentó el mayor puntaje total debido a su longitud, alto flujo vehicular, y escaso acceso peatonal.
- **Fase 2:** Análisis de vías con registros de siniestros fuera del núcleo urbano. Se calculó la tasa de siniestros por kilómetro, jerarquizando los tramos según su riesgo relativo.
- **Fase 3:** Clasificación de vías restantes según proximidad geográfica al centro crítico de Batán. Se utilizaron radios de 5, 10 y 15 km para segmentar el territorio en zonas de prioridad alta, media y baja.

El resultado de este proceso fue la jerarquización de 71 vías cantonales, organizadas según su nivel de riesgo y prioridad de intervención.

Conclusiones principales

- La metodología desarrollada demostró ser una herramienta técnica eficaz, sistemática y replicable para la selección y priorización de vías con riesgo de siniestralidad.
- La aplicación del sistema de ponderación validó empíricamente que Calle Batán es la vía con mayor riesgo del distrito, incluso sin considerar inicialmente el factor de siniestralidad, lo que confirma la utilidad predictiva del modelo.
- El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como QGIS, combinados con análisis multicriterio, permitió consolidar una base de datos geoespacial funcional para futuras planificaciones.
- El modelo tiene un alto potencial de replicabilidad en los distritos de Matina y Carrandí, ajustando los parámetros a sus condiciones particulares.
- La metodología sirve como etapa previa para optimizar los recursos antes de aplicar metodologías como iRAP, mejorando la eficiencia y costo-beneficio de los programas de seguridad vial.

Recomendaciones finales

- Extender la aplicación de esta metodología al resto del cantón de Matina y a otros cantones con características similares.
- Capacitar al personal técnico de la Municipalidad de Matina en el uso de herramientas SIG y análisis de riesgos viales.
- Establecer convenios con instituciones académicas como el Instituto Tecnológico de Costa Rica para asegurar el acompañamiento técnico y actualización de datos.
- Utilizar los resultados de esta metodología como insumo para la formulación de proyectos de inversión en infraestructura vial y como soporte para programas nacionales de seguridad vial.

- Integrar nuevas variables en futuras versiones del modelo, como condiciones climáticas, tipo de usuarios vulnerables y frecuencia de mantenimiento, para robustecer el enfoque.

Este trabajo representa un aporte significativo al fortalecimiento de la gestión vial local, al proveer a los gobiernos municipales de una herramienta técnica, accesible y basada en evidencia. Su enfoque preventivo y territorial permite anticipar zonas críticas antes de que ocurran siniestros, favoreciendo un uso más eficiente de los recursos públicos. En un contexto de limitaciones presupuestarias y vulnerabilidad vial, metodologías como la desarrollada en este proyecto se convierten en un instrumento clave para avanzar hacia una movilidad más segura, sostenible y equitativa en Costa Rica.

Introducción

Este proyecto se enmarca en la necesidad de fortalecer los procesos técnicos y metodológicos que permitan abordar con mayor precisión la problemática vial en el cantón de Matina. A partir de esta motivación, en este apartado se presenta el siguiente planteamiento del problema, justificación, objetivos de desarrollo sostenible, antecedentes, estado del arte, objetivos del proyecto, alcance y limitaciones, los cuales fundamentan la relevancia del estudio y delimita las condiciones que justifican su ejecución.

Planteamiento del problema

Tanto en el Municipio de Matina, como en muchas otras regiones de Costa Rica y a nivel internacional, la falta de una metodología clara y sistemática para la identificación y priorización de vías sujetas a la evaluación del riesgo de siniestralidad representa un obstáculo para la gestión de la seguridad eficiente de la infraestructura vial. Esta carencia limita la capacidad de los responsables locales y regionales para tomar decisiones, lo cual se traduce en una asignación ineficiente de recursos y en la perpetuación de condiciones inseguras en la red vial.

Como señala Híjar (2003), la ausencia de herramientas metodológicas adecuadas para la evaluación del riesgo vial conduce a una gestión ineficaz de los recursos disponibles y a la persistencia de condiciones inseguras en la infraestructura. Esto, a su vez, incrementa la probabilidad de ocurrencia de siniestros viales, con consecuencias graves para la población, incluyendo pérdidas humanas, lesiones incapacitantes y afectaciones al desarrollo socioeconómico de la región.

En Costa Rica, aunque existen esfuerzos por mejorar la seguridad vial, como la implementación del Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2020 (COSEVI, 2011), persisten desafíos importantes en la gestión y

priorización vial en el uso adecuado de los recursos viales y la mejora de la seguridad vial para la disminución de siniestros. Además, las municipalidades de Costa Rica enfrentan limitaciones presupuestarias que restringen su capacidad para intervenir en la infraestructura vial. Según un informe del Estado de la Nación (2021), los gobiernos locales en Costa Rica tienen una capacidad financiera limitada para abordar las demandas de mantenimiento y mejora de la red vial, ya que dependen en gran medida de transferencias del gobierno central y de ingresos propios, que suelen ser insuficientes. El mismo informe señala que, en muchos casos, las municipalidades destinan menos del 10% de su presupuesto anual a obras de infraestructura vial, lo que resulta en un déficit crónico de mantenimiento y una acumulación de necesidades no atendidas.

Esta situación se agrava en cantones como Matina, donde las condiciones socioeconómicas y geográficas incrementan los costos de intervención y reducen la capacidad de las autoridades locales para responder de manera efectiva a las demandas de la población. Como lo indica Salas (2020), en su estudio sobre la gestión municipal en Costa Rica, la falta de recursos financieros y técnicos en las municipalidades limita su capacidad para implementar planes de desarrollo vial integrales, lo que perpetúa las condiciones de riesgo y vulnerabilidad en la infraestructura vial.

Justificación

El proyecto propuesto surge como una respuesta urgente a la necesidad del desarrollo de una metodología que permita la selección y priorización de las vías en función de factores sociodemográficos, socioeconómicos, características generales de las vías y el registro de incidentes de tránsito. En este sentido, el proyecto tiene gran importancia, ya que no solo permitirá una evaluación previa del estado actual de las vías en relación con el nivel de riesgo para los usuarios, sino que también brindará una herramienta valiosa para la planificación y orden en la que deben ser evaluadas y clasificadas las vías según la metodología iRAP. Se propone una metodología inédita, sistemática y ajustada al contexto de la infraestructura vial del cantón de Matina.

Este proyecto tendrá implicaciones a largo plazo tanto en Matina como en el país, ya que los resultados obtenidos podrán servir como referencia para futuras investigaciones y estudios en el campo de la seguridad vial, convirtiéndose en un recurso clave para el desarrollo de políticas públicas más efectivas. La implementación de esta metodología podría servir como modelo para otros cantones y regiones del país que enfrentan desafíos similares. Al demostrar su efectividad en Matina, se abre la posibilidad de replicar el modelo en otras zonas, adaptándolo a las características específicas de cada contexto.

Objetivos de desarrollo sostenible

Este proyecto se encuentra alineado con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), ya que su propósito contribuye directamente al

fortalecimiento de la seguridad vial, la planificación territorial y la infraestructura resiliente, especialmente en zonas rurales como el cantón de Matina.

En primer lugar, se vincula con el ODS 3: Salud y Bienestar, específicamente con la meta 3.6, que plantea reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico para el año 2030. Al identificar y jerarquizar las vías con mayor riesgo, el proyecto permite orientar de forma estratégica las intervenciones que buscan disminuir la ocurrencia de siniestros viales y sus consecuencias en la salud de la población.

Asimismo, se relaciona con el ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura, en su meta 9.1, que promueve el desarrollo de infraestructuras fiables, sostenibles y de calidad. La metodología propuesta, basada en datos y criterios técnicos, favorece una mejor toma de decisiones en la gestión de la infraestructura vial local, permitiendo que los recursos se asignen de manera más eficiente hacia los tramos con mayores necesidades, lo cual contribuye a un desarrollo más equitativo y resiliente del territorio.

Finalmente, el proyecto se alinea con el ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles, particularmente con la meta 11.2, que busca proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros y accesibles para todos, prestando atención a las personas en situación de vulnerabilidad. Al incorporar criterios como el acceso peatonal, la densidad poblacional y la cercanía a zonas urbanas, la metodología considera las condiciones reales de uso de la infraestructura por parte de usuarios como peatones, ciclistas y motociclistas, que suelen ser los más expuestos al riesgo vial.

Antecedentes

El cantón de Matina está compuesto por tres distritos: Matina, Batán y Carrandí y corresponde a una zona rural. Matina es la cabecera del cantón, aunque es Batán el distrito con mayor concentración poblacional debido a su desarrollo comercial y logístico (Municipalidad de Matina, s.f.). De acuerdo con el INEC (2022), la población total del cantón de Matina para el año 2022 estaba en 45.329 habitantes, con 59 habitantes por kilómetro cuadrado.

La infraestructura vial está conformada principalmente por carreteras secundarias y caminos rurales que comunican los distritos con la Ruta Nacional 32, la cual es la principal vía de conexión con el resto del país (SUTEL, 2019).

La actividad económica predominante en Matina es la agricultura, con un enfoque especial en la producción de banano, el cual representa una de las principales exportaciones de Costa Rica. Otras actividades incluyen el cultivo de cacao y la ganadería a pequeña escala. La presencia de plantaciones bananeras ha influido en la estructura vial del cantón, ya que muchas de las carreteras han sido diseñadas para facilitar el transporte de productos hacia los centros de distribución y exportación (Municipalidad de Matina, s.f.).

Sin embargo, el estado de la infraestructura vial presenta limitaciones debido a la falta de mantenimiento y a las condiciones climáticas de la zona, caracterizadas por una alta pluviosidad. Esto afecta la conectividad y la seguridad vial, especialmente en caminos de lastre y en rutas de acceso a comunidades alejadas (SUTEL, 2019). La combinación de carreteras en estado variable y condiciones meteorológicas adversas puede aumentar el riesgo de siniestros, especialmente en zonas rurales y de difícil acceso.

La siniestralidad vial no es un fenómeno aleatorio, sino que está influenciada por una serie de factores, como las características de la vía, el entorno, el vehículo y el conductor. Además, se ha reconocido la importancia de considerar el contexto socioeconómico en el análisis de la seguridad vial, ya que el desarrollo de una región y la accesibilidad a servicios básicos influyen en el riesgo de siniestros.

La siniestralidad asociada al uso de la infraestructura vial es un tema de creciente preocupación a nivel mundial, y Costa Rica no es la excepción. En los últimos años, se ha observado un aumento en la tasa de siniestralidad vial en el país, lo cual ha generado pérdidas humanas y económicas. Los siniestros en las vías representan la octava causa de muerte en el mundo, es la principal causa de víctimas mortales en jóvenes, y causan hasta 50 millones de lesiones graves anualmente (Jameel y Evdorides, 2016; Turner, Smith y Robson, 2016).

A pesar de que en Costa Rica la tasa de mortalidad está por debajo del promedio global, antes de la emergencia nacional por el Covid-19 en el 2020, registró 16,3 muertes por cada 100 000 habitantes, más de 2170 personas estuvieron involucradas en siniestros viales que les ocasionaron lesiones graves y 12685 personas se vieron envueltas en siniestros resultando con heridas leves (Consejo de Seguridad Vial, 2022).

El cantón de Matina presenta características geográficas, sociodemográficas y socioeconómicas particulares que influyen en el riesgo asociado a los usuarios de la infraestructura vial cantonal. En el cantón, el transporte es mayormente de personas a pie, bicicleta y motocicleta. COSEVI (2021) confirma que las colisiones con motocicleta encabezan la lista en los porcentajes de tipos de siniestros, lo que coincide con lo anotado por (Molina, 2024) quien menciona que el uso de la motocicleta ha crecido en los últimos años a nivel Nacional, situación que guarda estrecha correlación con la cantidad de fatalidades. La zona enfrenta el reto de mejorar su control interno, planificación y gestión vial. La evaluación de la seguridad vial municipal, junto con el desarrollo de capacidades, es clave para optimizar la toma de decisiones y garantizar una movilidad segura para todos los usuarios de la vía. Esta propuesta metodológica se presenta como un paso previo a la aplicación de la metodología iRAP, facilitando la selección y priorización de las vías del cantón que serán sujetas a evaluación y clasificación por estrellas en una etapa posterior.

Estado del arte

La aplicación de metodologías en redes viales ha sido ampliamente estudiada en diferentes contextos. En el Reino Unido, Department for Transport (2017) desarrolló una metodología para la evaluación del riesgo

de siniestralidad en la red vial nacional. Este enfoque utilizó datos históricos de siniestros, información socioeconómica y características de la infraestructura para identificar las vías prioritarias. La metodología fue validada mediante su aplicación en varias regiones del país, demostrando su eficacia en la optimización de recursos. En América Latina, Ortúzar et al. (2014) aplicaron una metodología similar en la red vial de Santiago de Chile. Este estudio utilizó datos georreferenciados y herramientas de SIG para identificar las vías con mayor riesgo de siniestralidad, lo que permitió una intervención más eficiente y focalizada.

El uso de metodologías basadas en datos geoespaciales y análisis de riesgo ha demostrado ser una herramienta clave en la priorización de intervenciones viales. Tanto en Europa como en América Latina, la integración de datos históricos de siniestros con información socioeconómica y características de la infraestructura ha permitido optimizar recursos y mejorar la seguridad vial. Un aspecto fundamental dentro de estos enfoques es la delimitación de zonas de estudio, ya que una identificación precisa de las áreas de alto riesgo facilita la implementación de estrategias más efectivas.

En el ámbito de delimitación de zonas de estudio, Elvik et al. (2009) desarrollaron un enfoque basado en la identificación de "puntos negros" (hotspots) en la red vial de Noruega. Este método utiliza datos históricos de siniestros, densidad de población y características de la infraestructura para identificar áreas de alto riesgo. La metodología fue validada mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG), lo que permitió una delimitación precisa de las zonas prioritarias.

Una vez delimitadas las zonas de estudio, es fundamental establecer criterios que permitan jerarquizar las vías según su nivel de riesgo. Para ello, la asignación de pesos relativos a los factores de riesgo se convierte en una herramienta clave, ya que permite cuantificar la influencia de variables como el historial de siniestros, la densidad poblacional y las condiciones de la infraestructura en la ocurrencia de siniestros viales. Este enfoque facilita la priorización de intervenciones al enfocarse en los segmentos viales con mayor probabilidad de incidentes, optimizando así la toma de decisiones en materia de seguridad vial.

La asignación de pesos relativos a los factores de riesgo es una práctica ampliamente utilizada en la priorización de vías. En Estados Unidos, Hauer (2010) desarrolló un sistema de ponderación basado en el análisis de regresión para priorizar vías en función de la frecuencia y severidad de los siniestros. Este método considera factores como el volumen de tráfico, las condiciones de la vía y las características de los usuarios.

Además, Loprencipe et al. (2018), proponen una metodología cuantitativa que calcula un factor de riesgo numérico basado en la geometría vial, las tasas de siniestralidad, y el tráfico, entre otros factores. Este método permite una evaluación integral de la seguridad vial y prioriza las intervenciones donde se maximizan los beneficios potenciales de seguridad.

En Australia, Newstead et al. (2011) propusieron un enfoque de análisis multicriterio (AMC) para la priorización de vías en el estado de Victoria. Este método integró datos de siniestros, costos socioeconómicos y niveles de servicio de las vías, lo que permitió una priorización más objetiva y eficiente.

Nenadić (2019) utilizó un modelo de toma de decisiones multicriterio para clasificar secciones de carretera peligrosas. Este modelo incorpora criterios tanto cuantitativos como cualitativos, como datos de siniestros de tránsito y condiciones de infraestructura, para determinar las áreas más críticas para la intervención.

Araya (2013) llevó a cabo un estudio que identificó los factores clave para orientar la inversión en conservación vial. La metodología empleada incluyó la consulta a expertos en la materia y una revisión bibliográfica con el objetivo de establecer los criterios más influyentes en la evaluación del estado de la infraestructura. Como resultado, se determinaron siete subcriterios organizados en tres categorías principales: criterios socioeconómicos, ambientales y de infraestructura. Para cuantificar la importancia relativa de cada subcriterio, se empleó un enfoque de evaluación. Los expertos clasificaron los subcriterios según su relevancia, asignando valores a cada uno de ellos. Se analizaron tres escenarios alternativos: uno basado en una ponderación promedio, otro que prioriza los aspectos socioeconómicos y un tercero donde los factores ambientales tienen mayor peso.

En el manual “Análisis Big Data: Metodología para evaluación de escuelas de alto riesgo” (2021), se presenta una serie de pasos metodológicos basados en la clasificación de atributos según el riesgo para escuelas. El documento describe los pasos metodológicos seguidos y los atributos considerados en la evaluación basada en big data. El enfoque adoptado clasifica los factores de riesgo en cuatro niveles de análisis. En el primer nivel, se identifican atributos relacionados con las comunidades objetivo. El segundo nivel examina las características de las escuelas y los factores de riesgo presentes en su entorno construido. En el tercer nivel, se analiza la exposición de los peatones a condiciones inseguras. Finalmente, el cuarto nivel asigna una calificación de estrellas a las escuelas evaluadas, con el fin de determinar cuáles requieren intervenciones más detalladas en términos de seguridad vial. Además de la metodología, el manual presenta las fuentes de información utilizadas en el análisis del caso vietnamita. Entre ellas se encuentran imágenes satelitales, datos de movilidad y navegación en tiempo real, bases de datos abiertos y registros oficiales de los gobiernos locales. Sin embargo, la disponibilidad de algunos atributos varía entre las ciudades analizadas. A pesar de estas limitaciones, el análisis de macrodatos proporciona información clave sobre las características sociodemográficas y socioeconómicas de la población, así como aspectos de la infraestructura vial, como el tipo de carreteras, el número de carriles y la dinámica del tráfico.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una metodología sistemática para la selección y priorización de las vías sujetas a evaluación detallada de riesgo de siniestralidad en el Municipio de Matina, basada en un sistema de ponderación de

factores de riesgo, con miras a optimizar la asignación de recursos y preparar la etapa subsecuente de evaluación y análisis mediante la metodología iRAP.

Objetivos específicos

- Delimitar las subzonas de estudio en el municipio de Matina mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la caracterización de la red vial según los factores contextuales socio-territoriales, uso del suelo y de siniestralidad vial (distrito, densidad de población, densidad de carreteras, uso y explotación del suelo, ocurrencias de siniestros viales, etc.).
- Desarrollar un sistema de ponderación que permita la asignación de valores relativos a los factores de riesgo, empleando técnicas de análisis jerárquico y contrastándolo con los lineamientos de la metodología iRAP, para garantizar una selección y priorización sistemática de las vías.
- Implementar el modelo de priorización desarrollado a la red vial del cantón de Matina, para obtener una jerarquía de vías según su puntaje agregado de riesgo, posibilitando la asignación de recursos en la fase de evaluación iRAP.

Alcance

El presente proyecto contempla los siguientes alcances:

- Diseño de una metodología sistemática para la selección y priorización de vías cantonales en el cantón de Matina, integrando análisis espacial, ponderación multicriterio y factores de riesgo de siniestralidad.
- Aplicación de la metodología en el distrito de Batán como estudio piloto, con posibilidad de replicarla en otros distritos del cantón u otras regiones con características similares, realizando los ajustes contextuales necesarios.
- Generación de una jerarquía de vías fundamentada objetivamente, que sirva como herramienta técnica para que las autoridades locales y los gestores de infraestructura puedan priorizar intervenciones en los tramos de mayor riesgo.
- Transferencia de conocimientos y herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) a los equipos municipales y entidades vinculadas a la seguridad vial, contribuyendo al fortalecimiento de capacidades técnicas a nivel local.
- Preparación de los tramos priorizados para su evaluación bajo la metodología iRAP, facilitando la etapa de análisis detallado, reduciendo tiempos y optimizando los costos asociados al diagnóstico de riesgo vial.

Limitaciones

Una de las principales limitaciones fue la calidad y precisión de los datos disponibles sobre variables clave como la densidad poblacional, el volumen de tráfico y otros factores relacionados con la seguridad vial. A nivel local, la información estuvo en algunos casos desactualizada, incompleta o presentó inconsistencias. Por ello se utilizaron múltiples fuentes de información, tanto públicas como privadas, con el fin de realizar un cruce de datos que permitió validar y complementar la información existente. Además, se llevó a cabo un proceso de verificación y depuración de los datos para asegurar su confiabilidad.

Existieron restricciones en la cobertura histórica de datos (períodos cortos de registro) o en la resolución espacial de los SIG, que podrían impedir capturar variaciones estacionales o micro-zonas de riesgo.

La determinación de pesos relativos puede incorporar sesgos individuales o institucionales que afecten la objetividad del modelo, aunque el mismo se encuentra enmarcado dentro del ámbito de iRAP.

Aunque el marco metodológico es replicable, las particularidades socio-territoriales de Matina (p. ej., tipologías de tráfico, normativa local) pueden dificultar su aplicación directa en otras jurisdicciones sin ajustes significativos.

La efectividad del modelo de selección y priorización se validará al contrastarse con la evaluación iRAP, por lo que cualquier discrepancia metodológica o de alcance entre ambas fases podría limitar la coherencia global del estudio.

Agradecimientos

Al culminar esta etapa tan importante de mi vida, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, fueron parte de este camino. Este logro no es solo mío, sino también de quienes me apoyaron, acompañaron y creyeron en mí durante todos estos años.

En primer lugar, agradezco a Dios, por haberme guiado y sostenido en cada momento. Por darme la oportunidad de vivir esta experiencia, por abrirme caminos y por demostrarme que, con fe todo es posible.

A mis padres, gracias por todos los sacrificios que hicieron para que yo pudiera llegar hasta aquí, por cada palabra de aliento, por cada gesto de amor y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mi hermano, gracias por estar siempre presente, por su apoyo y por confiar en mis capacidades. En especial, quiero agradecer a mi mamá, mi mayor inspiración, quien ha sido mi motor, mi compañía incansable y la razón por la que nunca me permití rendirme. Su amor, entrega y fortaleza me motivaron a seguir adelante.

Al profesor Irving Pizarro, mi agradecimiento más sincero por haber sido un guía fundamental en este proceso. Gracias por su apoyo constante, por ayudarme a encontrar mi vocación dentro de esta carrera, por sus enseñanzas y por su disposición a escuchar y orientar. Su papel como mentor ha sido clave en mi formación y siempre lo recordaré con admiración, cariño y gratitud.

A Erick Solís, no tengo palabras suficientes para agradecer todo lo que ha significado en mi vida estudiantil. Gracias por ser más que mi pareja, ser mi amigo y ese pilar en el que me apoyé una y otra vez, por su presencia constante, por su compañía incondicional y por su manera tan única de motivarme. Sus palabras de aliento, su apoyo en cada proyecto, su amor y fe en mí, fueron claves para alcanzar esta meta. Este logro también es suyo, por caminar a mi lado en cada paso del proceso y no soltarme cuando más lo necesité.

A los miembros de mi familia que estuvieron presentes en todo mi proceso, dándome la mano para seguir avanzando, gracias por su cariño y acompañarme en esta travesía universitaria. Cada conversación, cada consejo, cada gesto de apoyo dejó una huella en mí y me ayudó a crecer tanto a nivel personal como profesional.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Construcción, gracias por compartir su conocimiento, su experiencia y por exigirme siempre dar lo mejor de mí. En particular, gracias a Gabriel Corrales por colaborar en la primera etapa del proyecto y a Gerardo Páez, por su cercanía, su disposición a colaborar en cada etapa del proceso, y por acompañarme en giras académicas que enriquecieron mi experiencia y comprensión del campo profesional.

A los compañeros de la carrera, gracias por su colaboración en todo el proceso que me hizo llegar hasta aquí, su compañía hizo este camino más llevadero.

A todos ustedes, gracias por ser parte de mi historia. Llevaré cada enseñanza y cada recuerdo en mi corazón.

Capítulo 1: Marco teórico

El marco teórico de este proyecto establece las bases conceptuales y técnicas necesarias para la comprensión integral del problema abordado, proporcionando una visión estructurada de los principales elementos que influyen en la selección y priorización de vías sujetas a la evaluación del riesgo de siniestralidad. Se abordan conceptos fundamentales como la seguridad vial, los factores de riesgo, la clasificación de la infraestructura vial y las condiciones específicas del cantón de Matina. Asimismo, se profundiza en el análisis de datos de siniestros, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), y las metodologías de priorización y análisis multicriterio, herramientas clave para el desarrollo de una propuesta metodológica sólida, sistemática y contextualizada.

1.1 Seguridad vial

La seguridad vial abarca un conjunto de acciones y políticas dirigidas a prevenir y reducir los siniestros de tránsito, así como a mitigar sus consecuencias. En este sentido, se entiende como un proceso integral que “comprende una variedad de actividades o procesos en los que participan diferentes actores que interactúan entre sí en ambientes físicos, mediante la utilización de medios de transporte motorizados o no motorizados” (Merchán et al., 2011).

Según Guerrero (2015), la seguridad vial es una preocupación creciente para gobiernos y organismos multilaterales, por lo que debe ser gestionada y planificada con el mismo rigor que los componentes físicos de la infraestructura vial. En los países con mayor desarrollo en esta materia, la optimización de la seguridad vial se logra a través de los Sistemas de Administración de la Seguridad, los cuales, de acuerdo con Mendoza et al. (2003), funcionan mediante un mecanismo estructurado que incluye un Comité Directivo General. Este comité supervisa y coordina grupos de trabajo especializados en la identificación, evaluación, implementación y monitoreo de oportunidades de mejora, promoviendo un enfoque sistemático para la reducción de riesgos en la movilidad y la infraestructura vial.

A nivel internacional, la Década de Acción para la Seguridad Vial de la ONU (2021-2030) busca reducir en un 50% las muertes por siniestros de tránsito, promoviendo estrategias como el diseño seguro de carreteras y educación vial. En Costa Rica, la seguridad vial está regulada por la Ley de Tránsito por Vías Públicas Terrestres y Seguridad Vial (Ley N° 9078), la cual establece normativas de circulación, sanciones y medidas

preventivas para garantizar un tránsito seguro. Asimismo, el Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) coordina estrategias orientadas a reducir la siniestralidad en las vías del país.

1.2 Factores de riesgo de siniestralidad

La siniestralidad en las carreteras no suele ser el resultado de un solo factor, sino de la interacción de varios de ellos. Villa et al. (2019), define la siniestralidad como un hecho causal, prevenible, enfocado a prevención controlable, donde, para tomar acciones específicas, se debe tener claro si los siniestros son hechos controlables y prevenibles y si depende de la cultura de los actores del transporte, tránsito y movilidad.

Los factores se pueden clasificar en el comportamiento humano, condiciones del vehículo, las condiciones ambientales y las características de la infraestructura. Cada uno de estos elementos juega un papel importante en los siniestros viales, y entenderlos es crucial para desarrollar estrategias eficaces de seguridad vial. El Manual de Seguridad Vial para Tomadores de Decisiones y Profesionales (2006) se refiere a los factores de riesgo como un anticipo y adaptación a los errores humanos, motivando a quienes diseñan y mantienen las carreteras, fabrican vehículos y administran programas de seguridad a compartir la responsabilidad de la seguridad con los usuarios viales, de modo que, al ocurrir siniestros, se busquen soluciones en todo el sistema.

En Costa Rica, estos factores se han identificado como determinantes en la ocurrencia de siniestros de tránsito y han sido abordados en estudios e informes de instituciones como el Consejo de Seguridad Vial (COSEVI), el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME-UCR) y la Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT). Las instituciones mencionadas han dividido los factores en tres grupos: primeramente, los factores de riesgo relacionados con el comportamiento humano, como el exceso de velocidad, uso inadecuado de dispositivos de seguridad y distracciones al volante; el segundo grupo corresponde a los factores de riesgo relacionados con el estado de los vehículos, ya sean fallas mecánicas o falta de inspecciones obligatorias; por último se encuentran los factores ambientales y climáticos tales como lluvias intensas, pavimento resbaladizo, deslizamientos, niebla y visibilidad reducida.

1.3 Clasificación de la infraestructura vial

La infraestructura vial es un componente fundamental para la movilidad, el desarrollo económico y la seguridad vial. Su clasificación permite organizar la red vial según su función, jerarquía, nivel de servicio y características geométricas, con el fin de facilitar la planificación, el mantenimiento y la gestión eficiente del sistema. En Costa Rica, la clasificación de la infraestructura vial se encuentra regulada en el Manual de Clasificación y Estándares de la Red Vial Costarricense y en el Plan Nacional de Transportes 2020-2040.

La clasificación funcional segmenta la infraestructura vial de acuerdo con el propósito del tránsito que soporta, diferenciando entre carreteras de largo recorrido, conectividad regional y acceso local. La red vial se clasifica en nacional, que se encuentra bajo jurisdicción del MOPT, cantonal, administrada por gobiernos

locales, y privada que incluye carreteras dentro de propiedades privadas, zonas industriales y proyectos residenciales cerrados. La red nacional abarca las principales carreteras del país, las cuales se subdividen en primarias, secundarias y terciarias. Las rutas primarias corresponden a rutas nacionales estratégicas de alto tráfico y conectividad; las rutas secundarias conectan las rutas primarias con centros urbanos; por último, las rutas terciarias comunican comunidades rurales con la red vial secundaria (MOPT, 2020).

En el Consejo Técnico de Operación y Conservación de Carreteras (COTOCO, 2015), se dividen las vías por jerarquía: autopistas y carreteras de acceso controlado para infraestructuras de alta capacidad con múltiples carriles, intersecciones a desnivel y acceso restringido, carreteras arteriales para conectar ciudades principales que permiten tráfico continuo, aunque con accesos a nivel controlados, carreteras colectoras para enlazar arterias con calles locales, y vías locales para calles con bajo flujo vehicular.

La infraestructura vial también puede clasificarse con base en el entorno donde se ubica y la función que desempeña en la movilidad. Según MOPT (2020) y COTOCO (2015), se pueden distinguir: las vías urbanas, diseñadas para tránsito dentro de ciudades y áreas metropolitanas, incluyen calles residenciales, avenidas y bulevares; vías rurales, ubicadas en zonas con menor densidad poblacional, con características geométricas diferentes a las urbanas; carreteras industriales y logísticas, diseñadas para el transporte de mercancías, conectando puertos, aeropuertos y zonas francas.

1.4 Condiciones actuales de la red vial de Matina

Según el Plan de Desarrollo Rural Territorial Limón-Matina del Instituto de Desarrollo Rural (Inder, s.f), la red vial en Matina enfrenta desafíos en términos de mantenimiento y calidad. Esta problemática afecta directamente la conectividad de las comunidades rurales, limitando su acceso a servicios básicos, oportunidades económicas y actividades productivas, especialmente en sectores agrícolas y turísticos clave para la región. La falta de una infraestructura vial óptima no solo dificulta el transporte de bienes y personas, sino que también incrementa los costos logísticos y reduce la competitividad de la zona.

Por su parte, el informe Costa Rica desde el Caribe de la Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA) destaca que, si bien se han realizado esfuerzos para mejorar la infraestructura vial en la provincia de Limón, incluido el cantón de Matina, estos aún no han sido suficientes para satisfacer las necesidades de la población. Entre las iniciativas implementadas se encuentran proyectos de mantenimiento periódico, asfaltado de caminos y la instalación de puentes Bailey en sectores estratégicos. En total, estas intervenciones han representado una inversión de ₡3.278 millones, lo que refleja el compromiso de las autoridades con el desarrollo vial de la región. No obstante, persisten desafíos en términos de cobertura y calidad de las vías, especialmente en aquellas que conectan comunidades rurales con los principales centros urbanos y ejes comerciales.

En los últimos años, diversas instituciones han impulsado estrategias para fortalecer la infraestructura vial en Matina. El Instituto Costarricense de Turismo (ICT) ha promovido la mejora de los accesos a sitios de

interés turístico, como parte de la estrategia de posicionamiento del cantón dentro del sector. Sin embargo, el Plan de Desarrollo Rural Territorial Limón-Matina del Inder (2016), subraya la necesidad de una planificación integral que no solo se enfoque en el mejoramiento físico de las vías, sino que también incorpore criterios de sostenibilidad y resiliencia ante eventos climáticos adversos. Las condiciones geográficas y climáticas de la región, caracterizadas por alta pluviosidad y suelos susceptibles a inundaciones, requieren que cualquier intervención en la red vial contemple medidas de adaptación para garantizar su funcionalidad a largo plazo.

1.5 Datos de siniestros de tránsito

El análisis y la gestión de la seguridad vial requieren fuentes de datos confiables y actualizadas sobre los siniestros de tránsito. Estos datos permiten la identificación de patrones de siniestralidad, la evaluación de factores de riesgo y el diseño de estrategias para reducir la incidencia y gravedad de los siniestros. En el contexto costarricense, la disponibilidad y calidad de estas fuentes son fundamentales para la toma de decisiones en materia de infraestructura, regulación y educación vial.

En Costa Rica, diversas instituciones recopilan y analizan esta información, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en materia de seguridad vial, ya que, “la combinación de registros oficiales, datos hospitalarios y estudios académicos permite caracterizar el problema de los siniestros de tránsito desde diversas perspectivas, abarcando el mayor número posible de incidentes notificados” (Robles et al., 1991). El Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) elabora reportes y anuarios estadísticos que ofrecen un panorama detallado de los siniestros de tránsito con víctimas en el país. Estos documentos permiten visualizar la magnitud del problema y sirven como referencia para la implementación de políticas públicas.

1.6 Sistemas de información geográfica

“Un SIG es un sistema compuesto por cinco componentes principales: datos, tecnología (hardware y software), análisis, procedimientos y personal. Cada una de ellas cumple una función determinada dentro del sistema SIG, el cual se caracteriza fundamentalmente por su naturaleza integradora” (Varela, 2006). Es así como los SIG son herramientas tecnológicas que permiten capturar, almacenar, analizar y visualizar datos georreferenciados. Estos sistemas están compuestos por hardware, software y datos geográficos.

Los SIG son ampliamente utilizados en diversas disciplinas, como la planificación urbana, la gestión ambiental, la epidemiología y la seguridad vial. Según Olaya (2009), en el contexto de los países en desarrollo, el uso conjunto de SIG, geodatos libres y estándares abiertos se muestra como una solución óptima que puede contribuir positivamente al avance de éstos, y que constituye la mejor alternativa posible para el trabajo con información geográfica.

En el caso de los estudios de siniestralidad vial, los SIG son fundamentales para identificar patrones espaciales y temporales de los siniestros, así como los factores de riesgo asociados. Varela (2005) reconoce

la importancia de conocer los datos de infraestructuras georreferenciados y relacionados con elementos geográficos, sociológicos, económicos, etc., hace del SIG un elemento imprescindible para la adecuada gestión de infraestructuras.

Actualmente, existen distintos software o plataformas SIG, entre ellas se encuentran ArcGIS, gvSIG, PostGIS y QGIS. Este último, será utilizado para el proyecto, por su acceso libre, flexibilidad y constante actualización.

1.7 Métodos de priorización de vías

La priorización de vías permite evaluar y clasificar las vías según su nivel de riesgo de siniestros, con el fin de implementar medidas de mitigación eficientes y basadas en evidencia. El concepto de priorización de vías basado en seguridad vial comenzó a tomar relevancia en la segunda mitad del siglo XX, con la implementación de estudios de siniestralidad en países europeos y en Estados Unidos. En 1968, la Convención de Viena sobre la Circulación Vial sentó las bases normativas para la seguridad vial a nivel internacional (UNECE, 1968).

A partir de los años 80, con el avance de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la modelación de datos espaciales, comenzaron a desarrollarse métodos más precisos para la identificación de tramos críticos, como los análisis de densidad de siniestros y modelos de predicción de riesgo (Lord & Mannering, 2010).

En América Latina, la priorización de vías se ha implementado en diversos programas de seguridad vial, como la Iniciativa Bloomberg para la Seguridad Vial Global y proyectos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). En Costa Rica, instituciones como el COSEVI y el MOPT han aplicado metodologías de priorización en la identificación de puntos críticos de siniestros (MOPT, 2020).

Entre los métodos de priorización existentes, se encuentran iRAP y NHTSA. iRAP se asocia con gobiernos, clubes de movilidad, bancos de desarrollo, institutos de investigación y ONG de seguridad vial en más de 100 países para proporcionar las herramientas y la capacitación necesarias para hacer que las carreteras sean seguras (iRAP, 2020). Esta metodología permitió la proyección en otros países, como por ejemplo en Europa, donde se creó EuroRAP, una metodología similar a iRAP pero enfocado específicamente en el contexto europeo. Además, como se mencionó anteriormente, se encuentra NHTSA, cuya misión es salvar vidas, prevenir lesiones y reducir los costos económicos debidos a los siniestros de tránsito, a través de la educación, la investigación, las normas de seguridad y la aplicación de la ley (NHTSA, 2021).

1.8 Análisis multicriterio (AMC)

“El AMC es una metodología que permite evaluar y comparar alternativas considerando múltiples criterios, que pueden ser de naturaleza cuantitativa o cualitativa” (Figueira et al., 2005). Además, de acuerdo con Haghghat (2015), se ha utilizado en la planificación de infraestructuras viales, aplicándose para identificar tramos críticos en la red vial, priorizar intervenciones y optimizar la asignación de recursos.

Dentro del AMC se encuentra el método de Análisis de Jerarquías Analíticas (AHP), una técnica utilizada para identificar modos de desplazamiento prioritarios en los cuales desarrollar buenas prácticas de seguridad vial, bajo un criterio de ponderación que incluye el peso de las consecuencias en la salud de los participantes de un siniestro (Micakoski et al., s.f). La ponderación puede ser simplemente uniforme, en la que todos los criterios se consideran por igual, o puede establecerse subjetivamente, con ponderaciones asignadas mediante consultas o asesoramiento de expertos para reflejar la importancia relativa (expresada) de los criterios de decisión (Marcelo et al., 2016).

En Costa Rica, el AMC puede ser una herramienta valiosa para abordar problemas como la congestión vehicular, la siniestralidad y la falta de mantenimiento en carreteras.

Capítulo 2: Metodología

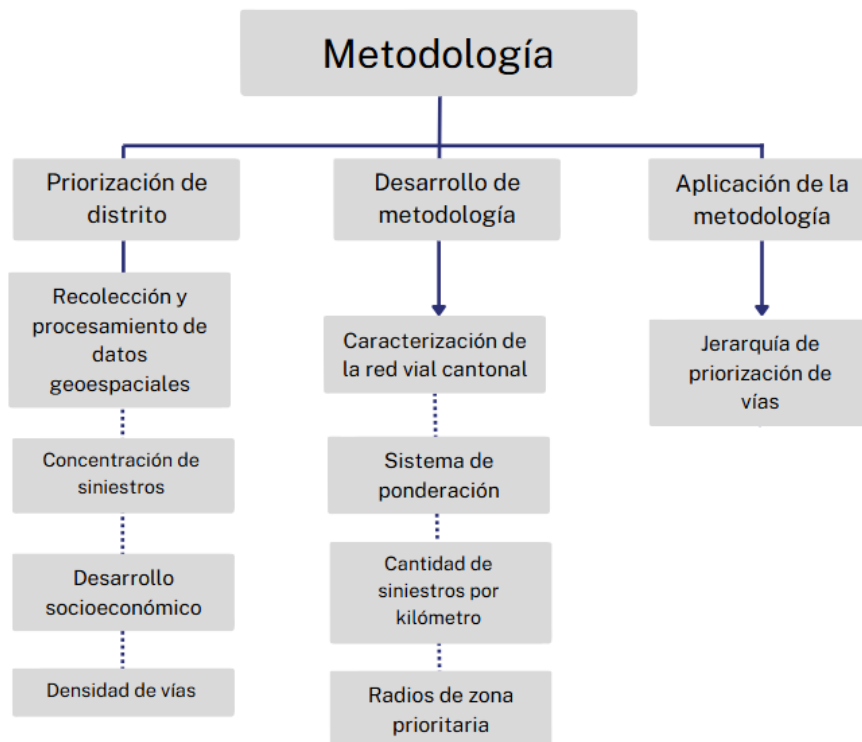
El presente proyecto se llevó a cabo en el cantón de Matina, enfocándose en la infraestructura vial utilizada por peatones, ciclistas y conductores de motocicletas, vehículos y camiones. La población objeto de estudio está constituida por todos aquellos usuarios de la red vial del cantón, quienes enfrentan diversos riesgos al transitar por las vías de la zona. Al centrar la investigación en esta población, se buscó identificar los principales factores de riesgo en la movilidad y desarrollar una metodología para la selección y priorización de vías sujetas a la evaluación de riesgo de siniestralidad en una etapa posterior.

El siguiente marco metodológico se divide en tres etapas, las cuales se relacionan directamente con los objetivos específicos del proyecto. Este trabajo es realizado a partir de una investigación aplicada y cuantitativa.

A continuación, en la figura 1 se presentan las actividades metodológicas desarrolladas:

Figura 1

Esquema de actividades metodológicas



2.1 Priorización de distrito

La prioridad del distrito se determinó utilizando el software QGIS (versión 3.28.6), integrando variables socioeconómicas, geográficas y de siniestralidad vial.

Se recopilaron datos de:

- Registros de siniestros: COSEVI y Municipalidad de Matina.
- Mapas distritales: Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT).

Y se integraron en QGIS mediante:

- Capas vectoriales (archivos .shp) de distritos y red vial.
- Georreferenciación de puntos de siniestros registrados.

Con ayuda del ingeniero Gabriel Corrales Jiménez, se verificó la correcta superposición de capas y se construyó un mapa con la división de distritos del cantón y con los registros de siniestros. Así se pudo observar el distrito con mayor cantidad de incidentes viales y con mayor densidad de vías.

2.2 Desarrollo de la metodología

Una vez priorizado el distrito, se estructuraron tres fases analíticas, dirigidas a evaluar progresivamente todas las vías cantonales del distrito.

2.2.1 Fase 1: Evaluación multicriterio de vías críticas

En esta fase el objetivo fue evaluar el subconjunto de vías con mayor cantidad de siniestros, desarrollo socioeconómico y densidad de vías del distrito.

Instrumentos y recursos utilizados:

- Software: QGIS, Orbit GT (Streetview 360°), Microsoft Excel 365.
- Herramientas de campo: Dron DJI Air 2S con cámara 4K para grabaciones aéreas.
- Datos: Levantamiento topográfico 360° suministrado por la Municipalidad.

En la visualización del mapa realizado en QGIS para la red vial del distrito fue posible determinar la zona de mayor densidad vial, cantidad de siniestros y donde se encuentra más desarrollo económico (negocios locales). Se diseñó un sistema de evaluación multicriterio para clasificar las vías según su nivel de riesgo y la urgencia de intervención. Para ello, se definieron y ponderaron los factores de riesgo específicos de la vía considerando la metodología previamente validada en el Manual "Análisis Big Data: Metodología para evaluación de escuelas de alto riesgo, (SR4S)" (2021).

Factores de riesgo considerados:

Flujo vehicular: Se grabaron videos durante una hora pico matutina. Se contabilizaron los vehículos manualmente con apoyo de los videos y se aplicó el factor de expansión del método SR4S (2021) para estimar el TPD ajustado. Este cálculo se realiza mediante la fórmula 1.

$$\text{Flujo vehicular} = \text{Flujo de hora pico} \times 10 \tag{1}$$

Longitud de vía: Medida directamente en QGIS con la herramienta de medición de líneas.

Ancho de vía: Obtenido desde el visor de Orbit GT, utilizando las funciones de medición en vista panorámica. Se validaron los datos con levantamiento topográfico del municipio.

Acceso peatonal: Verificado in situ, identificando la presencia o ausencia de aceras o espacios laterales para peatones.

Cantidad de intersecciones: Contadas en QGIS utilizando la función de nodos en la red vial.

Calidad de intersecciones: Evaluada en campo, verificando la existencia de señalización vertical (señales) y horizontal (demarcación).

En la tabla 1 se encuentra el sistema de ponderación y el valor de riesgo para cada factor.

Tabla 1

Sistema de ponderación según los factores de riesgo de siniestralidad

Sistema de ponderación			
Factores	Riesgo alto (1)	Riesgo medio (3)	Riesgo bajo (6)
Flujo vehicular	Alto tránsito: > 15000 Bajo tránsito: > 2000	Alto tránsito: 5000-15000 Bajo tránsito: 400-2000	Alto tránsito: < 5000 Bajo tránsito: <400
Longitud de vía	Mayor a 2 km	1-2 km	Menor a 1 km
Ancho de vía	Menor a 2,75 m	Entre 2,75 y 3,25 m	Mayor a 3,25 m
Acceso peatonal	No tiene	No aplica	Sí tiene
Factores	Riesgo alto (1)	Riesgo medio (3)	Riesgo bajo (6)

Cantidad de intersecciones	1-5 intersecciones por vía	Más de 5, pero menos de 15 intersecciones por vía	Más de 15 intersecciones por vía
Calidad de intersecciones	No se encuentra señalización vertical y horizontal	Se encuentra al menos un tipo de señalización	Se encuentra la señalización necesaria

Fase 2: Vías con siniestros no incluidas en la Fase 1

Para evaluar las otras vías cantonales con registro de siniestros, no incluidas en la zona de mayor densidad, se extrajo de QGIS la lista de vías con registros de incidentes viales y se excluyeron las vías ya evaluadas. Se calculó la tasa de siniestros por kilómetro, dividiendo el número total de siniestros por la longitud de cada vía (medida en QGIS). El resultado permitió jerarquizar las vías por riesgo relativo, con mayor prioridad para aquellas con más siniestros por kilómetro.

Fase 3: Jerarquización por proximidad geográfica

La fase 3 consistió en evaluar las vías restantes del distrito, sin siniestros, según su proximidad al centro crítico.

Se identificó el centro crítico y se trazaron tres radios concéntricos (5 km, 10 km y 15 km) utilizando la herramienta de buffers en QGIS. Las vías se clasificaron como:

- Prioridad alta para fase 3: Dentro del radio de 5 km.
- Prioridad media para fase 3: Entre 5 y 10 km.
- Prioridad baja para fase 3: Entre 10 y 15 km

Estas vías se ordenaron al final del listado general.

2.3 Aplicación de la metodología

La información recolectada en las tres fases fue consolidada para obtener un único listado priorizado.

Se sumaron los puntajes de cada vía evaluada y se ordenaron en orden descendente de riesgo (de mayor a menor).

Se fusionaron las vías evaluadas en las tres fases en una sola lista jerarquizada de todas las vías cantonales del distrito, según el nivel de prioridad determinado en cada fase.

Este listado final servirá como insumo para la implementación futura de la metodología iRAP, permitiendo una evaluación más técnica y detallada de los tramos con mayor riesgo de siniestralidad.

Capítulo 3: Resultados y análisis

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología desarrollada para la selección y priorización de vías con riesgo de siniestralidad en el cantón de Matina, específicamente en el distrito de Batán. A partir del análisis geoespacial de datos de siniestros, características físicas de la infraestructura vial y factores socioeconómicos, se procedió a jerarquizar 71 vías cantonales utilizando un sistema de ponderación multicriterio. La estructura de este apartado sigue la secuencia lógica de las tres fases de análisis definidas en la metodología: selección de distrito, evaluación de vías críticas y clasificación de vías restantes según riesgo y proximidad geográfica. Los resultados permiten visualizar, de manera objetiva y fundamentada, las zonas que requieren intervención prioritaria y constituyen un insumo clave para una planificación vial más eficiente, orientada a reducir los riesgos para los usuarios más vulnerables de la red de transporte cantonal.

3.1 Selección de distrito

A partir de la recopilación de datos sobre siniestros de tránsito, obtenidos tanto del Anuario de Siniestros del Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) como de los registros suministrados por la Municipalidad de Matina, se procedió a realizar un análisis geoespacial detallado utilizando el software QGIS como herramienta principal dentro del entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El primer paso consistió en la integración y depuración de las bases de datos, asegurando su compatibilidad espacial. Para ello, se georreferenciaron los puntos correspondientes a los siniestros registrados, y se superpusieron con las capas territoriales oficiales del cantón de Matina, específicamente aquellas que delimitan sus tres distritos: Carrandí, Matina y Batán.

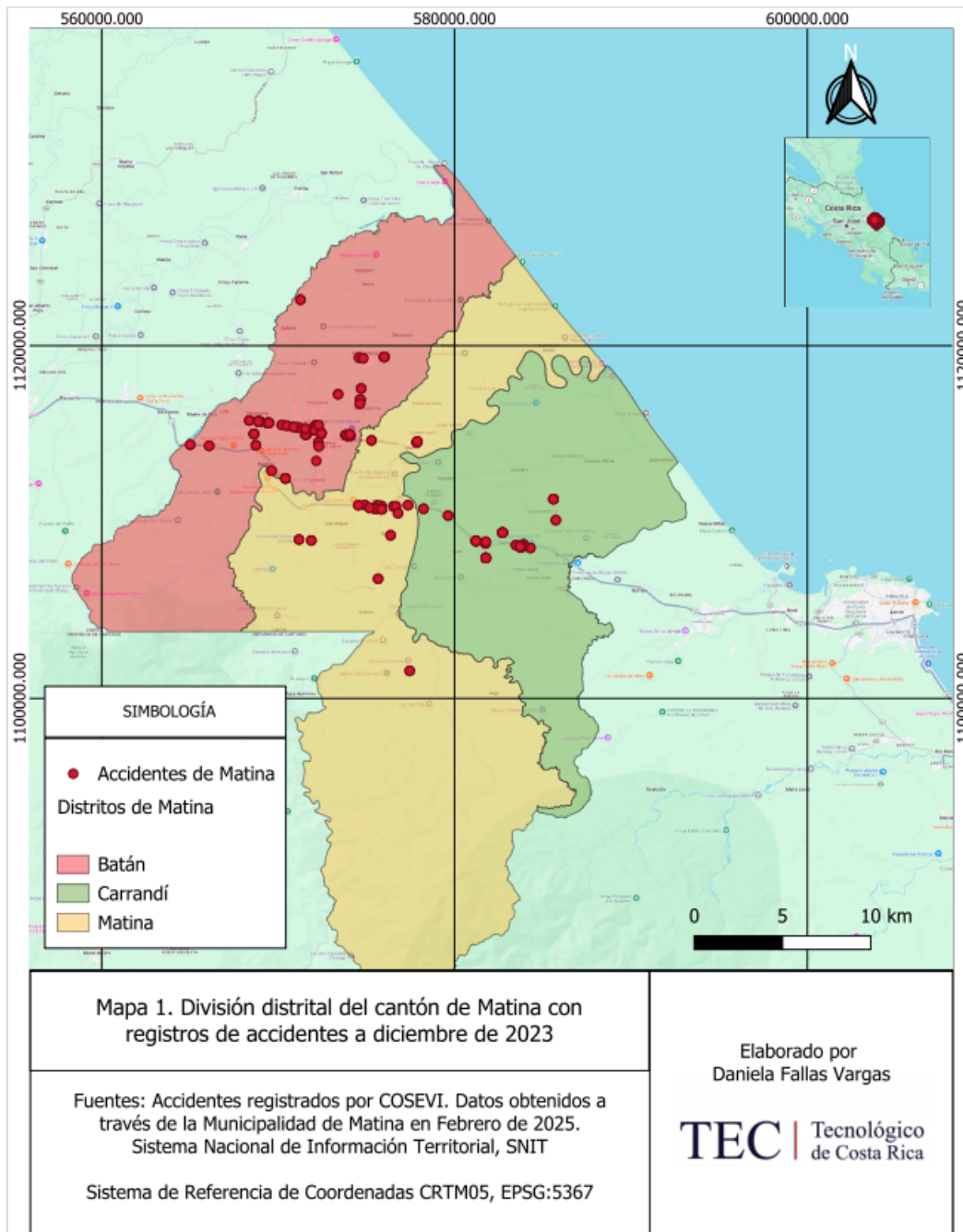
Esta superposición permitió visualizar la distribución espacial de los siniestros viales y establecer patrones de concentración. En la Figura 2, se representa gráficamente esta información: cada distrito se muestra codificado por un color que refleja la magnitud relativa de siniestros de tránsito registrados en su territorio.

- El distrito de Carrandí, representado en color verde, presenta la menor cantidad de eventos reportados.
- El distrito de Matina, señalado en amarillo, ocupa una posición intermedia.
- Finalmente, el distrito de Batán, destacado en rojo, concentra la mayor proporción de siniestros de tránsito en el cantón.

Esta visualización cartográfica no solo permitió identificar el distrito de mayor prioridad, sino que también sirvió como base para definir el área de estudio piloto sobre la cual se aplicará la metodología de priorización de vías desarrollada en este trabajo.

Figura 2

Mapa distrital del cantón de Matina, con el registro de siniestros en la zona



El distrito de Matina es territorialmente el más extenso del cantón; sin embargo, gran parte de su superficie está compuesta por tierras pertenecientes al territorio indígena cabécar, lo que limita su desarrollo urbano. A pesar de contar con algunas infraestructuras básicas como un centro de salud, fincas agrícolas, centros educativos, distribuidoras y una empacadora bananera, estos elementos se encuentran aislados entre sí, lo que refleja una baja cohesión territorial y un limitado desarrollo socioeconómico.

En cuanto a su red vial, Matina está atravesado por la Ruta Nacional 32, principal arteria de conexión del cantón con el resto del país. Además, la Ruta 813 vincula el centro de Matina con la Ruta 32, mientras que la Ruta 805 conecta con el distrito de Batán. En el distrito se contabilizan un total de 65 rutas cantonales.

Por su parte, el distrito de Batán destaca como el más desarrollado desde el punto de vista socioeconómico. Su sector noreste está mayormente ocupado por fincas agrícolas, mientras que el núcleo central presenta una configuración urbana más consolidada, compuesta por barrios bien definidos, una amplia oferta comercial, supermercados, centros de salud, zonas deportivas, escuelas e iglesias. Esta configuración lo convierte en el centro urbano más activo del cantón.

La infraestructura vial de Batán incluye las Rutas Nacionales 32, 804 y 805. Las dos últimas funcionan como vías de enlace entre el distrito y las zonas vecinas, incluyendo Matina. A nivel cantonal, se contabilizan 71 rutas, lo cual representa la red vial secundaria más amplia del cantón, en correspondencia con su mayor densidad poblacional y urbana.

En contraste, el distrito de Carrandí presenta una configuración predominantemente rural, compuesta principalmente por fincas agrícolas y algunos tajos. Su conectividad con la red nacional se da a través de las Rutas 803 y 807, que lo enlazan con la Ruta 32. El inventario vial cantonal en Carrandí incluye 62 rutas, en su mayoría de carácter secundario o terciario, con niveles bajos de urbanización.

A partir del análisis comparativo de estos tres distritos, se concluyó que Batán presenta las condiciones más críticas en términos de siniestralidad vial, asociado a su mayor desarrollo socioeconómico, concentración poblacional y densidad vial. Por ello, fue seleccionado como el distrito de estudio principal para la aplicación de la metodología propuesta de selección y priorización de vías.

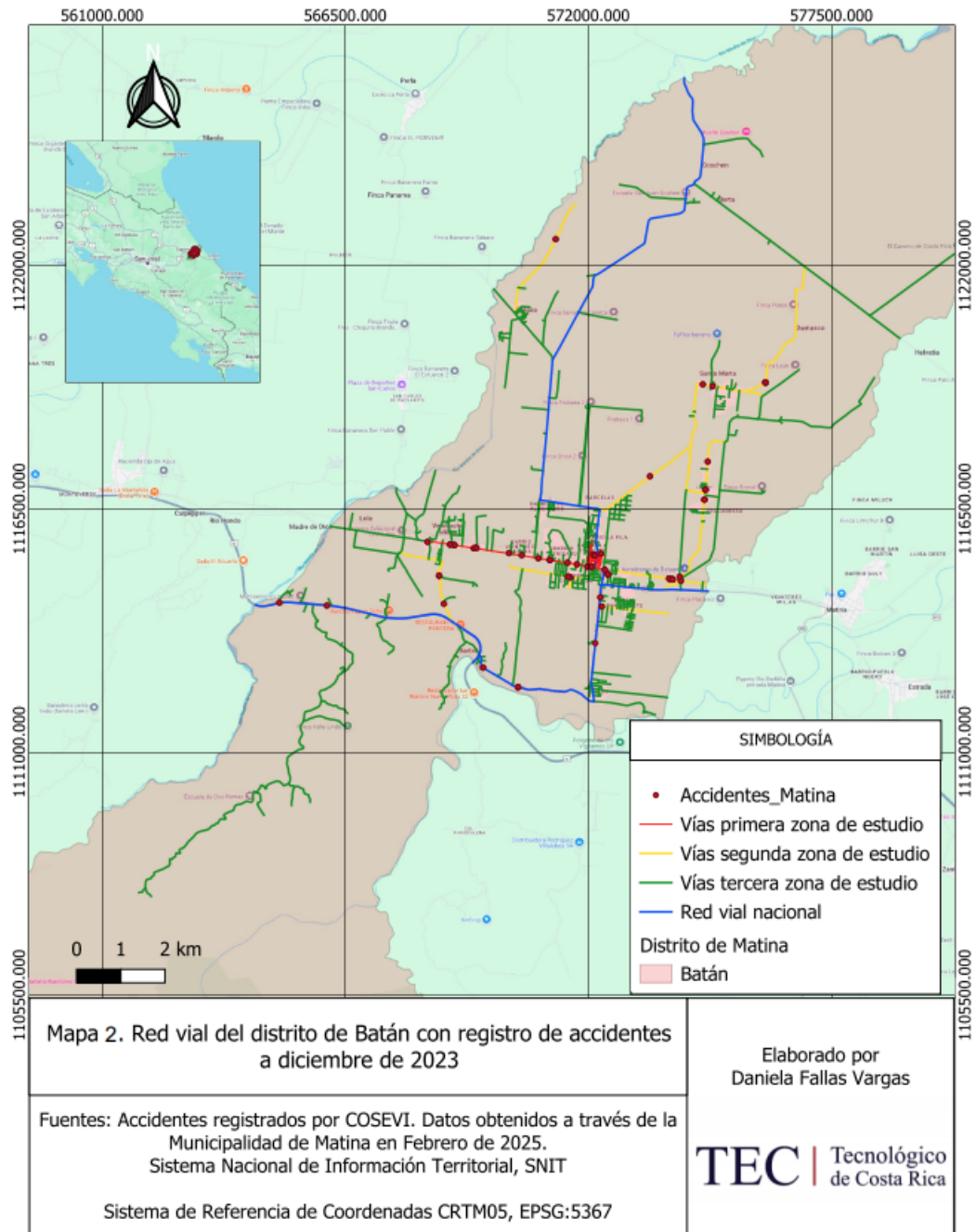
3.2 Selección y priorización de vías

El análisis de todas las vías del distrito de Batán se divide en tres grandes etapas, primeramente, el análisis y aplicación de un sistema de ponderación para la zona de primera prioridad según desarrollo socioeconómico, densidad de vías y cantidad de siniestros. La segunda etapa corresponde al análisis de las vías con siniestros registrados fuera de la primera prioridad y la relación con la longitud de vías. La tercera y última prioridad la tiene el restante de vías, las cuales se analizan según el radio de proximidad al centro crítico.

En la figura 3 se encuentra el mapa de la red vial de Batán. Las prioridades se observan diferenciadas por color, la prioridad 1 con color rojo, prioridad 2 con color amarillo y prioridad 3 con color verde. Se descarta la red vial nacional, identificada con color azul, ya que las municipalidades solo intervienen vías cantonales.

Figura 3

Red vial nacional y cantonal del distrito de Batán

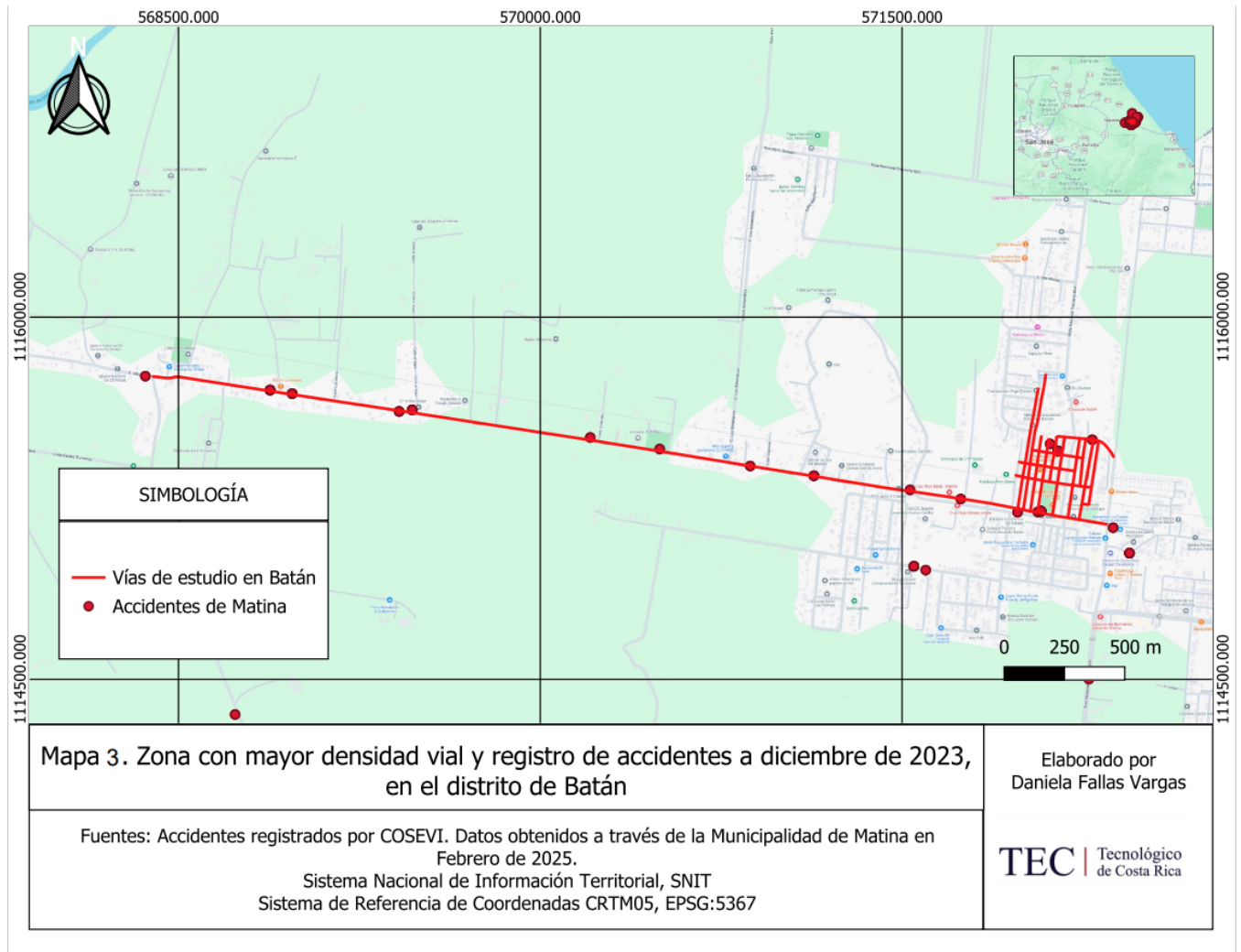


3.2.1 Selección y fase 1 de priorización

De las 71 vías cantonales que conforman Batán, se tomó en cuenta la zona de mayor densidad vial y las vías con mayor concentración de siniestros para realizar la segunda clasificación, las vías seleccionadas se observan en la figura 4. La zona priorizada se conforma por 15 vías, las cuales tienen la primera prioridad del distrito.

Figura 4

Zona de mayor densidad vial y concentración de siniestros en el distrito de Batán



En la figura 5 se puede observar parcialmente y con mejor detalle la cuadrícula de la primera selección de vías, a cada una se le asignó una letra para identificarlas con su respectivo nombre. Algunas de las vías no se encuentran registradas con nombres o se encuentran con diferentes nombres, por lo cual se decidió seleccionar los nombres con ayuda de la Municipalidad de Matina. En la tabla 2 se encuentran las vías identificadas.

Figura 5

Detalle de la zona de estudio en el distrito de Batán

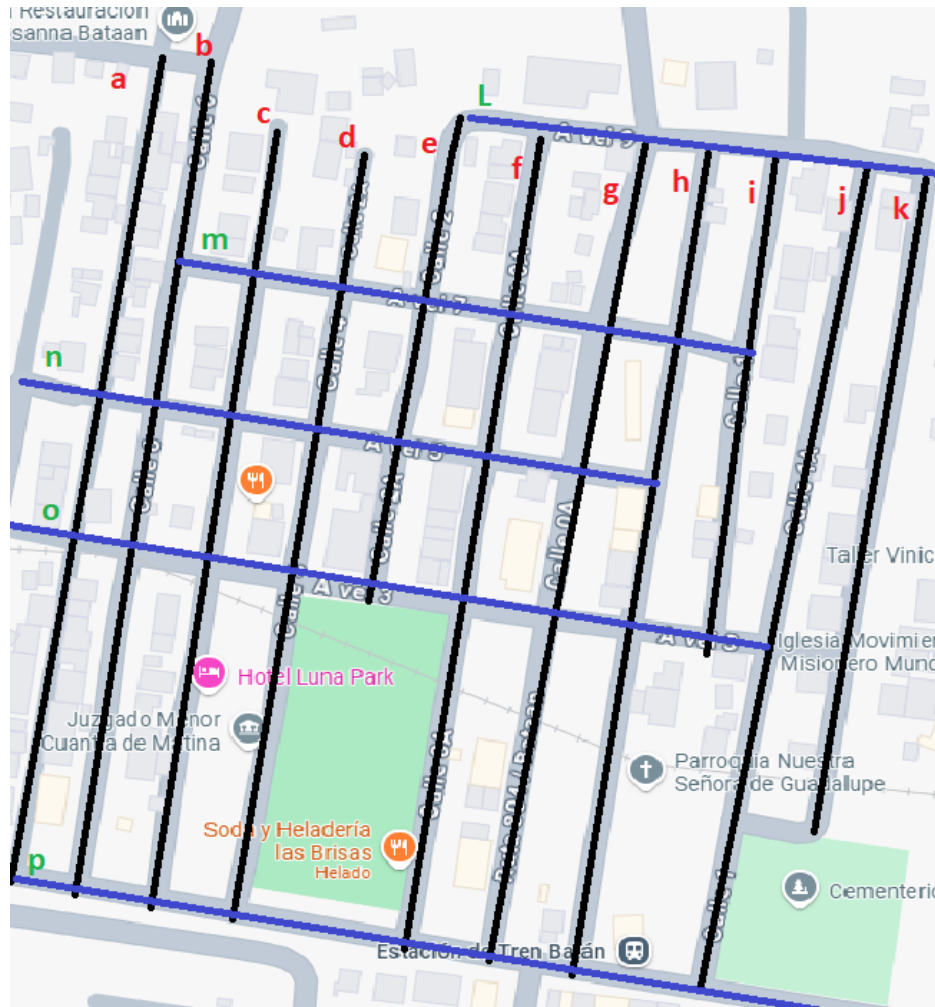


Tabla 2*Identificación de las vías de la zona de estudio en el distrito de Batán*

Identificador	Nombre de calle
a	Calle 6A
b	Calle 6
c	Calle 4A
d	Calle 4
e	Calle 2A
f	Calle 2
g	Calle 0A
h	Ruta Nacional 804
i	Calle 1B
j	Calle 1
k	Calle 1A
l	Avenida 9
m	Avenida 7
n	Avenida 5
o	Avenida 3
p	Calle Batán

La Municipalidad de Matina es la encargada de intervenir rutas cantonales, por lo cual la vía perteneciente a la Ruta Nacional 804 (h) se desconsideró de la priorización.

3.2.1.1 Matriz para Sistema de ponderación

1

Para poder enumerar las rutas en orden de prioridad de 1 a 15, es necesario aplicar un sistema de ponderación que permita asignarle un valor a cada vía. La matriz está conformada por cuatro factores: flujo vehicular, longitud de vía, ancho de vía, acceso peatonal, cantidad y calidad de intersecciones.

Flujo vehicular

El parámetro de flujo vehicular se analizó de acuerdo con dos subdivisiones. Para vías de alto tránsito se utilizó el rango generado por LANAMME (2019), donde queda seccionado en riesgo: bajo <5 000; Medio 5 000–15 000; Alto >15 000 vehículos diarios. Para vías de poco flujo vehicular se utiliza el rango establecido por AASHTO (2019), el cual se encuentra entre 400 y 2000 vehículos por día. Se tomó como riesgo bajo <400, medio 400-2000 y alto >2000.

Longitud de vía

Para el factor de longitud de vía, de acuerdo con el análisis de la población realizado por Zhao, et. al, (2012), los siniestros o imprudencias a la hora de conducir están relacionados con la distancia en línea recta, lo que implica más cambios de carril y más aceleraciones unidireccionales repentinas. Además, a partir de los mapas obtenidos en QGIS se observan mayores siniestros a mayor longitud de vía.

La figura 6 presenta la vía en línea recta con mayor cantidad de siniestros de la zona delimitada (Batán), la cual tiene una distancia aproximada de más de 2.2 km. Lo mismo se repite en la figura 7, en el distrito de Matina se observan mayor cantidad de siniestros en la vía con más kilómetros, igualmente con más de 2 km.

Figura 6

Tramo de vía recto con mayor distancia, en relación con el registro de siniestros, en el distrito de Batán

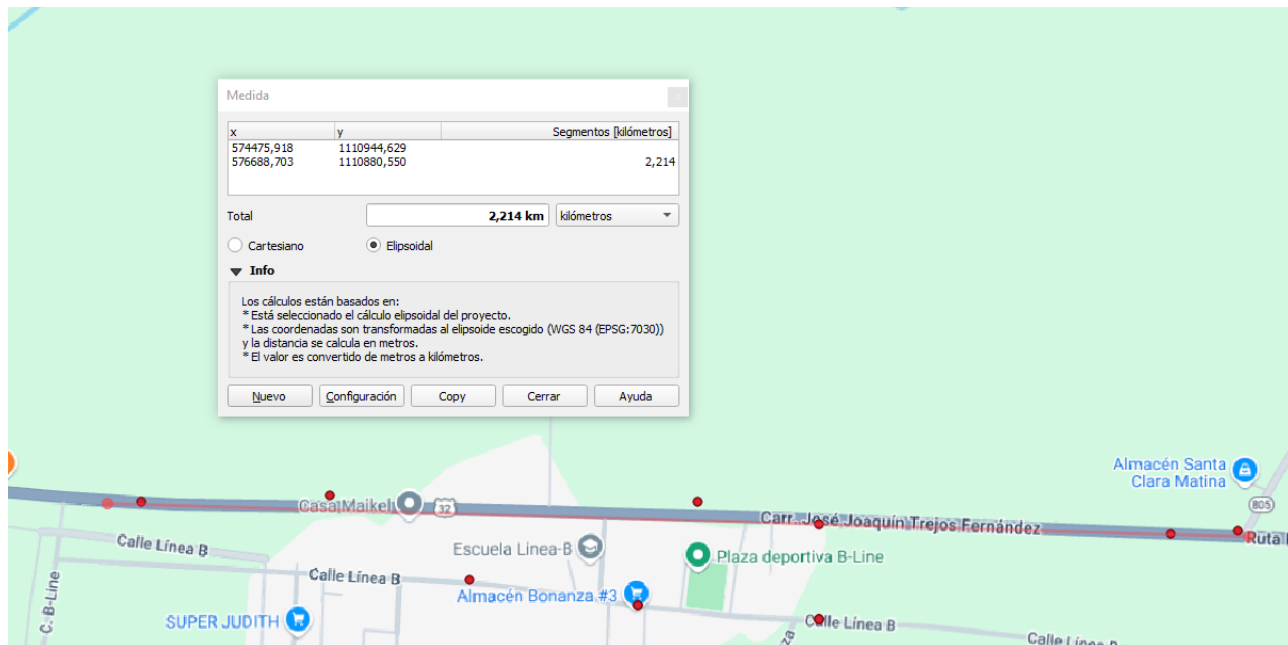
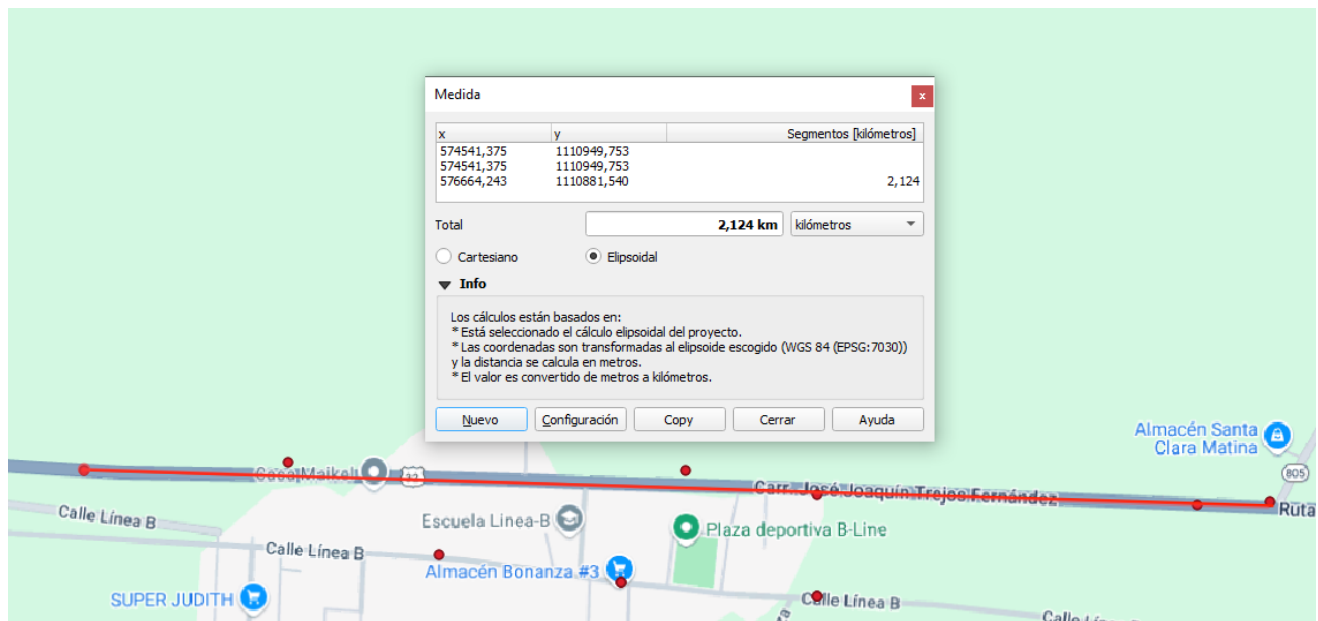


Figura 7

Tramo de vía recto con mayor distancia, en relación con el registro de siniestros, en el distrito de Matina



Tomando en cuenta la observación de las dos figuras anteriores, se tomó como parámetro de longitud un factor de 2km de longitud. Un riesgo bajo corresponde a las vías con longitudes menores a 1 km, un riesgo medio se encuentre entre 1-2 km y un riesgo alto se encuentra cuando la vía tiene una longitud mayor a 2 km.

Ancho de vía

En el Manual de codificación del iRAP (2024), se realiza una clasificación con respecto al ancho de los carriles, donde un carril angosto es menor a 2.75 m, un carril medio se encuentra entre 2.75 m y 3.25 m, y, por último, un carril ancho es mayor a 3.25 m. Así, un alto riesgo se asocia a carriles considerados angostos, un riesgo medio en el carril medio y un riesgo bajo corresponde a un carril ancho.

Acceso peatonal

Además, en iRAP (2024) existe otra codificación en la cual toma en cuenta el acceso peatonal. Aunque se encuentra dividido en 7 códigos, los cuales implican si se cuenta o no con acceso y qué tipo, para efectos de una evaluación previa, se tomó en cuenta únicamente si se encuentra o no espacio para peatones. Un riesgo alto es cuando no hay acceso peatonal, un riesgo bajo sí cuenta con el espacio para peatones.

Cantidad de intersecciones

De acuerdo con Harwood et al. (2003), las intersecciones son puntos críticos en la red vial debido a la convergencia de diferentes movimientos vehiculares, lo que incrementa la probabilidad de colisiones. La complejidad en la toma de decisiones por parte de los conductores en estos puntos puede conducir a errores

y, por ende, a siniestros viales. Analizando la zona, todas las vías tienen entre 2 y 20 intersecciones, para dividirlo en los tres rangos necesarios se tomó un riesgo bajo de 1 a 5 intersecciones por vía, riesgo medio más de 5 intersecciones, pero menos de 15, y riesgo alto más de 15 intersecciones.

Calidad de Intersecciones

Para el parámetro de calidad de intersecciones, iRAP (2024) subdivide el riesgo en tres codificaciones. Un riesgo alto se encuentra cuando no hay señalización o demarcación necesaria, la distancia de visibilidad es limitada o está obstruida, y/o las vías y los flujos de tránsito en sentido contrario no se cruzan en ángulo recto. Tiene vías inadecuadas para motociclistas, peatones y ciclistas. En un riesgo medio están presentes las señales y demarcaciones necesarias, tiene vías adecuadas para motociclistas, peatones y ciclistas. En un riesgo bajo no se encuentran intersecciones.

Para el sistema de ponderación, ya que es un análisis previo a una inspección más detallada y conociendo el contexto de la zona donde todas las vías cuentan con intersecciones y con el ancho de carril se analizó el espacio necesario no solamente para vehículos, se tomó como riesgo alto las intersecciones donde no se encuentra señalización horizontal y vertical, en riesgo medio se encuentra al menos una señalización y en riesgo bajo se observan las señalizaciones necesarias.

3.2.1.2 Aplicación del sistema de ponderación

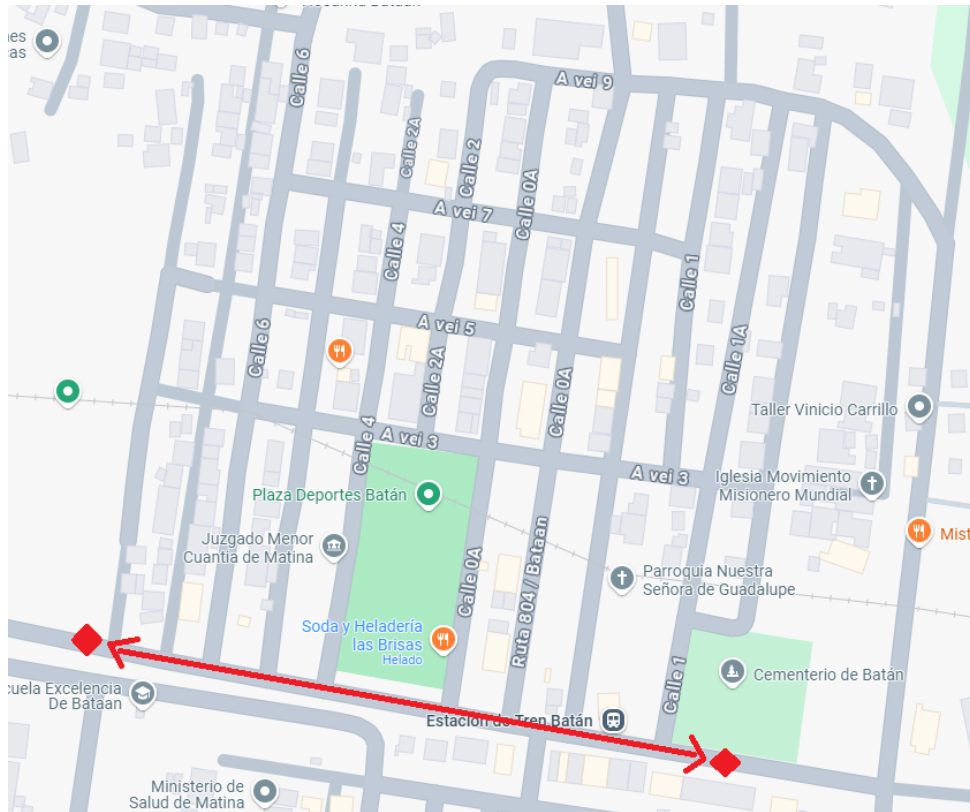
Flujo vehicular

Basándose en SR4S (2021), se calculó el flujo vehicular para las vías críticas. Se tomó video de la hora pico en la mañana para obtener el volumen de tráfico, y se utilizó la fórmula 1 para realizar el ajuste y obtener el flujo diario aproximado.

Para el volumen de tráfico se escogió dos puntos estratégicos, al inicio y final de la cuadrícula de estudio, de oeste a este. En la figura 8 se observan estos puntos de aforo vehicular.

Figura 8

Puntos estratégicos para la toma de videos para la estimación del flujo de tráfico



De esta manera se realizó la resta de los conteos de ambos puntos obteniendo la cantidad de vehículos que transitan sobre la Ruta Nacional 804 y se desvían a las calles que forman la cuadrícula. En la tabla 3 se muestra el conteo obtenido y el flujo calculado con su respectivo valor de riesgo.

Tabla 3

TPD aproximado para las vías de la zona crítica de Batán

Conteo por 1h 12min	Flujo vehicular con ajuste de expansión	Valor de riesgo
274	2740	1

El conteo bruto obtenido fue de 274 vehículos en un lapso de 1 hora y 12 minutos, lo que, aplicado a la fórmula de expansión del manual SR4S (2021), resultó en un flujo vehicular ajustado de 2740 vehículos diarios.

Dado que el análisis se centró en una cuadrícula homogénea de vías con características similares en cuanto a uso y ubicación (zona de mayor densidad vial y siniestros), el valor del flujo vehicular se generalizó para todas las vías de esta primera zona de priorización. Por esta razón, se asignó el mismo valor de riesgo a todas las vías evaluadas, siendo este valor 1, correspondiente a riesgo alto según la escala utilizada.

Longitud de vía

En la tabla 4 se observa que 14 de las 15 vías evaluadas tienen longitudes entre 180 m y 330 m, lo cual es significativamente menor al umbral mínimo de 1 km definido en la metodología como límite para un riesgo bajo.

La única excepción es Calle Batán, con una longitud total de 2.21 km, lo que supera el umbral de 2 km establecido para riesgo alto.

Tabla 4

Ponderación de la longitud de cada vía de la primera zona de priorización en Batán

Vía	Longitud de vía (m)	Valor de riesgo
Calle 6A	290	6
Calle 6	320	6
Calle 4A	310	6
Calle 4	300	6
Calle 2A	180	6
Calle 2	320	6
Calle 0A	330	6
Calle 1B	190	6
Calle 1	330	6
Calle 1A	260	6
Avenida 9	180	6
Avenida 7	220	6
Avenida 5	240	6
Avenida 3	320	6
Calle Batán	2210	1

Ancho de vía

Para el ancho de vía, 9 de las 15 vías presentan un ancho menor a 2.75 m, lo que las clasifica como de riesgo alto. Esto representa un 60% del total, lo cual evidencia una problemática relacionada con la insuficiencia del espacio vial para una circulación segura. En la tabla 5 se observan los valores de riesgo.

Tabla 5

Ponderación del ancho de cada vía de la primera zona de priorización en Batán

Vía	Ancho de vía (m)	Valor de riesgo
Calle 6A	1,89	1
Calle 6	2,78	3
Calle 4A	2,39	1
Calle 4	2,54	1
Calle 2A	2,23	1
Calle 2	4,07	6
Calle 0A	5,61	6
Calle 1B	2,29	1
Calle 1	2,48	1
Calle 1A	4,45	6
Avenida 9	3,31	6
Avenida 7	2,35	1
Avenida 5	2,02	1
Avenida 3	2,00	1
Calle Batán	3,61	6

Acceso peatonal

De las 15 vías inspeccionadas, 12 no cuentan con acceso peatonal, lo cual representa que un 80% del total de vías no tienen aceras para el tránsito seguro de peatones. Estas vías tienen un valor de riesgo de 1, lo que las posiciona como tramos críticos desde la perspectiva de seguridad vial. En la figura 9 se observa un ejemplo tomado en campo de una de las vías que representa riesgo bajo, con el espacio para el paso de peatones y en la figura 10 se encuentra el ejemplo de riesgo alto, con una vía sin aceras. Además, en la tabla 6 se encuentran las vías con su respectivo valor de riesgo.

Figura 9

Ejemplo de riesgo bajo para acceso peatonal



Figura 10

Ejemplo de riesgo alto para acceso peatonal



Tabla 6

Ponderación de acceso peatonal para cada vía de la primera zona de priorización en Batán

Vía	Acceso peatonal	Valor de riesgo
Calle 6A	No	1
Calle 6	No	1
Calle 4A	No	1
Calle 4	Sí	6
Calle 2A	No	1
Calle 2	Sí	6
Calle 0A	Sí	6
Calle 1B	No	1
Calle 1	No	1
Calle 1A	No	1
Avenida 9	No	1
Avenida 7	No	1
Avenida 5	No	1
Avenida 3	No	1
Calle Batán	No	1

Cantidad de intersecciones

La mayoría de las vías tienen pocas intersecciones, el 93.4% presentan riesgo bajo o medio, lo que implica condiciones relativamente seguras en cuanto al número de intersecciones.

Calle Batán es la única vía con riesgo alto (19 intersecciones), la cual necesita priorización bajo este criterio. En la tabla 7 se encuentran la cantidad de intersecciones y valor de riesgo asociado.

Tabla 7

Ponderación de la cantidad de intersecciones para cada vía de la primera zona de priorización en Batán

Vía	Cantidad de intersecciones	Valor de riesgo
Calle 6A	3	6
Calle 6	5	6
Calle 4A	4	6
Calle 4	4	6
Calle 2A	3	6

Vía	Cantidad de intersecciones	Valor de riesgo
Calle 2	5	6
Calle 0A	5	6
Calle 1B	2	6
Calle 1	3	6
Calle 1A	3	6
Avenida 9	6	3
Avenida 7	7	3
Avenida 5	8	3
Avenida 3	11	3
Calle Batán	19	1

Calidad de intersecciones

En la tabla 8 se detalla el valor de riesgo para la calidad de intersecciones. El 60% de vías presentan calidad media en intersecciones, es decir, cuentan con al menos una forma de señalización, pero no ambas, lo que indica un cumplimiento parcial de las condiciones idóneas de seguridad vial.

Cinco vías (33%) presentan riesgo alto, ya que carecen de la señalización mínima requerida, lo cual representa un riesgo para los usuarios viales.

Solo una vía (Calle 0A) se clasificó como riesgo bajo, ya que se observaron todas las señalizaciones necesarias en todas sus intersecciones.

En la figura 11 se muestra un ejemplo de riesgo bajo, en la figura 12 se presenta el ejemplo de riesgo medio y en la figura 13 se encuentra el ejemplo de riesgo alto.

Figura 11

Ejemplo de riesgo bajo para calidad de intersecciones



Figura 12

Ejemplo de riesgo medio para calidad de intersecciones



Figura 13

Ejemplo de riesgo alto para calidad de intersecciones



Tabla 8

Ponderación de la calidad de intersecciones para cada vía de la primera zona de priorización en Batán

Calidad de intersecciones		
Intersecciones	Valor de riesgo	Promedio
Calle 6A		
1	1	4,3
2	6	
3	6	
Calle 6		
1	1	2,4
2	1	
3	1	
4	3	
5	6	

Intersecciones	Valor de riesgo	Promedio
Calle 4A		
1	1	2,7
2	3	
3	6	
4	1	
Calle 4		
1	1	2,7
2	6	
3	3	
4	1	
Calle 2A		
1	1	1
2	1	
3	1	
Calle 2		
1	1	2,4
2	1	
3	1	
4	3	
5	6	2,4
Calle 0A		
1	6	5
2	1	
3	6	
4	6	
5	6	
Calle 1B		
1	1	1
2	1	
Calle 1		
1	1	1
2	1	
3	1	

Intersecciones	Valor de riesgo	Promedio
Calle 1A		
1	1	
2	1	1
3	1	
Avenida 9		
1	1	
2	3	
3	3	2,5
4	6	
5	1	
6	1	
Avenida 7		
1	1	
2	1	
3	1	
4	1	1
5	1	
6	1	
7	1	
Avenida 5		
1	6	
2	1	
3	1	
4	3	2,8
5	1	
6	1	
7	3	
8	6	
Avenida 3		
1	6	
2	3	3,2
3	6	
4	3	

Intersecciones	Valor de riesgo	Promedio
5	1	
6	6	
7	6	
8	1	3,2
9	1	
10	1	
11	1	
Calle Batán		
13 intersecciones	1	2,5
6 intersecciones	6	

Con todos los factores de riesgo ponderados para todas las vías, se tiene un valor total para cada una. En la tabla 9 se muestra el listado de vías con su respectivo valor de riesgo, además se observa que la vía de mayor prioridad es Calle Batán con un puntaje de 12,5, y Calle 0A es la última en evaluar con un puntaje de 30.

Tabla 9

Valor de riesgo para la primera zona de priorización

Vía	Flujo vehicular	Longitud de vía	Ancho de vía	Acceso peatonal	Cantidad de intersecciones	Calidad de intersecciones	Sumatoria
Calle 6A	1	6	1	1	6	4,3	19,3
Calle 6	1	6	3	1	6	2,4	19,4
Calle 4A	1	6	1	1	6	2,7	17,7
Calle 4	1	6	1	6	6	2,7	22,7
Calle 2A	1	6	1	1	6	1	16
Calle 2	1	6	6	6	6	2,4	27,4
Calle 0A	1	6	6	6	6	5	30
Calle 1B	1	6	1	1	6	1	16
Calle 1	1	6	1	1	6	1	16
Calle 1A	1	6	6	1	6	1	21
Avenida 9	1	6	6	1	3	2,5	19,5
Avenida 7	1	6	1	1	3	1	13
Avenida 5	1	6	1	1	3	2,8	14,8
Avenida 3	1	6	1	1	3	3,2	15,2

Tabla 10

Numeración y nombramiento de vías para la segunda priorización de vías

Número de vía	Nombre de vía
1	Calle Sahara Oeste
2	Calle Santa Marta
3	Calle Milla 24
4	Calle Batán este
5	Calle Milla 24 sur
6	Calle Cacao
7	Calle Ramal 7
8	Calle 10A
9	Calle las Palmas
10	Calle Centro turístico

Para realizar la priorización se aplicó un criterio de eficiencia comparativa: la tasa de siniestros por kilómetro de vía, lo cual permite estimar la intensidad relativa del riesgo en función de la exposición lineal al tránsito. En la tabla 11 se encuentran los resultados.

Tabla 11

Determinación de siniestros por km² para la segunda priorización de vías

Número de vía	Nombre de vía	Cantidad de siniestros	Longitud de vía	Accidente/longitud
1	Calle Sahara Oeste	1	2,9	0,34
2	Calle Santa Marta	1	3,5	0,29
3	Calle Milla 24	2	4,4	0,45
4	Calle Batán este	1	2,6	0,38
5	Calle Milla 24 sur	4	4	1,00
6	Calle Cacao	4	2,4	1,66
7	Calle Ramal 7	1	1,6	0,63
8	Calle 10A	1	0,3	3,33
9	Calle las Palmas	1	1,7	0,59

Número de vía	Nombre de vía	Cantidad de siniestros	Longitud de vía	Accidente/longitud
10	Calle Centro turístico	2	2,4	0,83

Del total de diez vías evaluadas, se identificaron tres con tasas de siniestralidad alta (mayores a 1 accidente por kilómetro): Calle 10A, Calle Cacao y Calle Milla 24 Sur, siendo Calle Cacao la más crítica en términos absolutos y relativos, con 4 siniestros en solo 2,4 km. Calle 10A, aunque corta, presenta la mayor tasa (3,33), lo que indica un punto de conflicto vial.

Otras cuatro vías presentan una tasa media de siniestralidad (entre 0,4 y 0,99), lo que sugiere condiciones de riesgo moderado pero recurrente. Entre estas destaca Calle Centro Turístico, posiblemente influida por la afluencia de personas en zonas recreativas o comerciales.

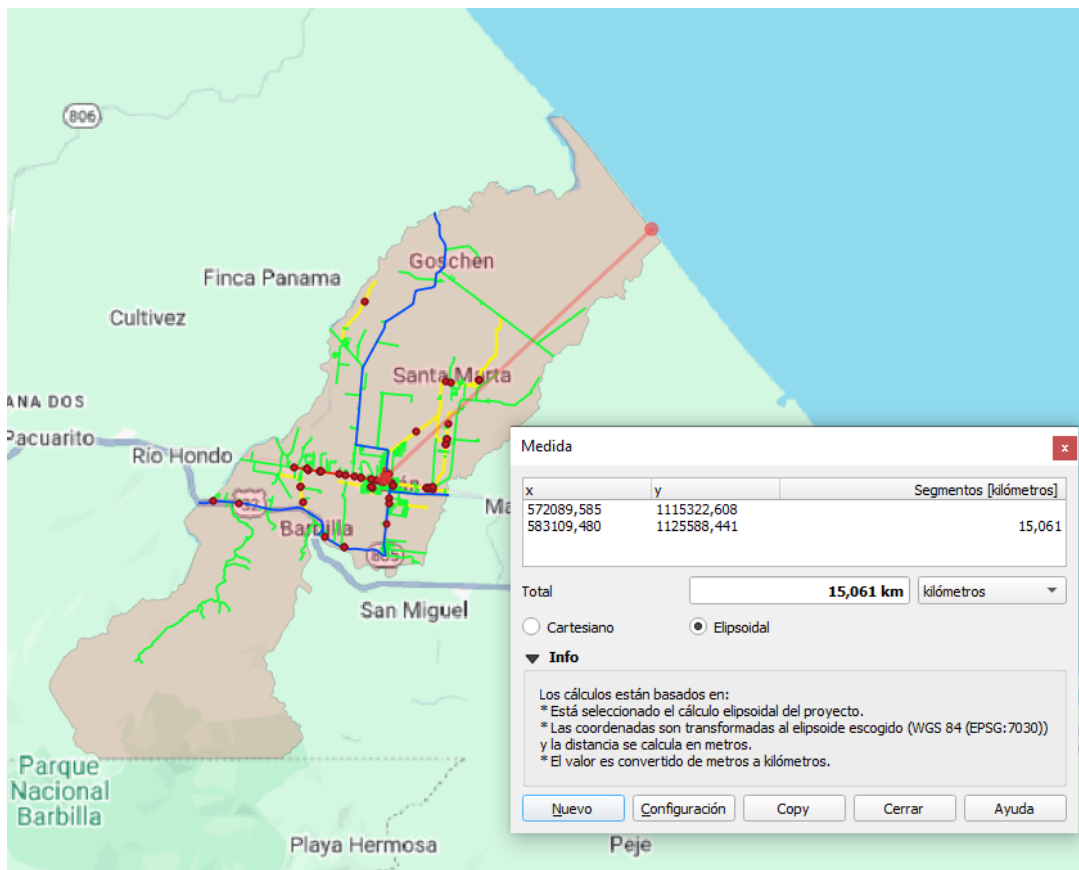
Finalmente, tres vías presentan una tasa baja (menor a 0,4), como Calle Santa Marta.

3.2.3 Selección y fase 3 de priorización

La tercera y última etapa de priorización consistió en clasificar el remanente de las vías cantonales del distrito de Batán que no fueron consideradas en las dos etapas anteriores, a través de un enfoque territorial basado en radios de distancia desde el punto con las rutas más críticas del distrito. Esta metodología busca incorporar un criterio de accesibilidad y conectividad espacial, estableciendo jerarquías según la proximidad a la zona con mayor concentración de riesgo. Se tomó como parámetro el mayor radio a partir de la zona más crítica (prioridad uno). A partir de QGIS se realizó la medida, la cual se encuentra en la figura 15.

Figura 15

División de área según el uso de suelo de la zona



A partir del centro del área más crítica identificada previamente (zona urbana de Batán), se trazaron tres anillos concéntricos de 5, 10 y 15 kilómetros. Cada anillo corresponde a un nivel de prioridad territorial:

Prioridad 1 de tercera fase: vías ubicadas dentro del primer radio de 5 km.

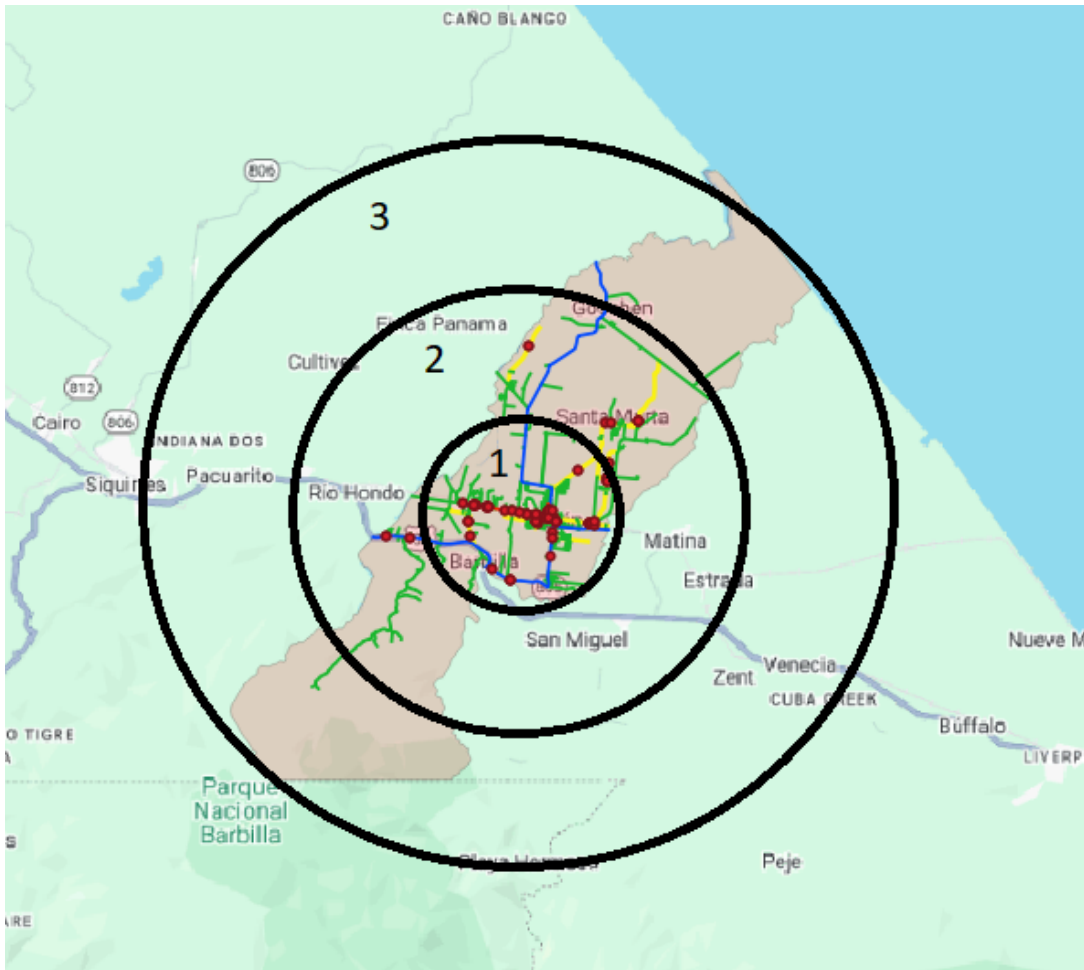
Prioridad 2 de tercera fase: vías dentro del radio de 5 a 10 km.

Prioridad 3 de tercera fase: vías dentro del radio de 10 a 15 km.

Esta segmentación responde a los principios de la planificación vial escalonada, en la que las áreas más próximas a los centros urbanos y con mayor flujo de tránsito deben ser atendidas con mayor urgencia. En la figura 16 se ejemplifica la división de áreas.

Figura 16

División de áreas para la tercera priorización de vías



Con los datos de las tres etapas de selección y priorización de las tablas 9, 11 y la figura 15 se obtiene la jerarquía en orden de prioridad de todas las vías del distrito de Batán. La jerarquización final de las 71 vías cantonales del distrito de Batán, mostrada en la Tabla 12, es la síntesis del proceso metodológico desarrollado en este trabajo, el cual integró los criterios técnicos, territoriales y de seguridad vial. Esta clasificación se obtuvo tras la aplicación secuencial de las tres etapas analíticas, cada una orientada a capturar distintos niveles de riesgo e importancia funcional dentro de la red vial del distrito.

Tabla 12*Jerarquía de prioridad de las vías del distrito de Batán*

Prioridad	Vía
1	Calle Batán
2	Avenida 7
3	Avenida 5
4	Avenida 3
5	Calle 1
	Calle 1B
	Calle 2A
6	Calle 4A
7	Calle 6A
8	Calle 6
9	Avenida 9
10	Calle 1A
11	Calle 4
12	Calle 2
13	Calle 0A
14	Calle 10A
15	Calle Cacao
16	Calle Milla 24 sur
17	Calle Centro turístico
18	Calle Ramal 7
19	Calle las Palmas
20	Calle Milla 24
21	Calle Batán este
22	Calle Sahara Oeste
23	Calle Santa Marta
24	Radio 5 km
25	Radio 10 km
26	Radio 15 km

La prioridad de 1 a 13 corresponde a las vías evaluadas en la primera fase de selección y priorización. Las vías con priorización de 14 a 23 son las evaluadas en la fase 2. Por último, la prioridad 24 está conformada por todas las vías incluidas en un radio de 5 km a la zona crítica de priorización evaluada en la fase 1, la prioridad 25 la conforma todas las vías a un radio de 10 km y la prioridad 26 es para todas las vías a un radio de 15 km.

La primera fase de priorización, compuesta por las 15 vías localizadas en el núcleo urbano con mayor densidad de siniestros y concentración poblacional, fue evaluada mediante el sistema de ponderación multicriterio, lo cual permitió diferenciar con precisión las vías con mayores condiciones de riesgo. Entre los hallazgos más relevantes se evidenció que Calle Batán presentó el mayor nivel de riesgo, acumulando condiciones de riesgo alto en cinco de los seis factores evaluados, lo que la posicionó como la vía número uno en la jerarquía de intervención.

En la segunda zona de análisis, se incluyeron vías con registros históricos de siniestros fuera del núcleo central. Aquí, el criterio utilizado fue la tasa de siniestralidad por kilómetro, lo cual permitió una evaluación proporcional de riesgo, independientemente de la longitud de cada vía. Esta decisión metodológica fue clave para identificar tramos que, si bien no concentran un volumen absoluto alto de incidentes, presentan una densidad crítica de eventos viales por unidad de longitud, justificando su priorización técnica.

Finalmente, la tercera zona incorporó las demás vías del distrito, jerarquizadas a partir de su distancia radial respecto al núcleo crítico y su papel en la conectividad territorial. Aunque estas vías no presentan evidencia inmediata de siniestralidad elevada, su inclusión permite una planificación preventiva y escalonada que reconoce la importancia de la accesibilidad progresiva hacia zonas rurales o en desarrollo.

En conjunto, esta jerarquía refleja un enfoque equilibrado y técnicamente fundamentado, que permite al gobierno local orientar sus recursos de manera escalonada: primero, en las vías con mayor riesgo comprobado; luego, en aquellas con evidencia de siniestralidad relativa; y, por último, en las que estructuralmente sustentan la continuidad del sistema vial.

Cabe destacar que, al analizar los patrones de riesgo identificados, se reafirma que más del 80% de las vías priorizadas carecen de acceso peatonal, condición crítica en una zona donde los modos de transporte no motorizado son predominantes. Asimismo, el estrechamiento de la calzada en múltiples tramos representa una amenaza directa a la seguridad de usuarios vulnerables, especialmente en contextos de alta interacción modal como lo es Batán.

Es así como la Tabla 12 no solo constituye el producto cuantitativo del proceso de evaluación, sino que representa una hoja de ruta para la intervención técnica progresiva de la red vial cantonal. La información allí contenida puede ser incorporada directamente en los planes operativos de inversión municipal, así como en eventuales diagnósticos previos a la metodología iRAP, contribuyendo a la reducción estructurada del riesgo vial y al fortalecimiento de la resiliencia urbana en zonas históricamente rezagadas.

Conclusiones

- La metodología desarrollada demostró ser una herramienta eficaz para la priorización de vías en función del riesgo de siniestralidad, ya que permitió jerarquizar de manera estructurada las 71 vías del distrito de Batán, en el cantón de Matina, con base en variables clave como la densidad vial, el desarrollo socioeconómico, la accidentabilidad y la accesibilidad.
- La utilización de SIG, específicamente QGIS, resultó ser fundamental para el desarrollo del proyecto, ya que permitió la visualización, integración y análisis de múltiples variables espaciales en un solo entorno. Su uso facilitó la delimitación de zonas críticas y la caracterización de la red vial, optimizando tiempo y recursos en comparación con métodos completamente basados en trabajo de campo. De no haberse contado con esta herramienta, el proceso hubiera requerido más personal, mayores costos y un mayor margen de error en la localización de datos. Por tanto, el uso de SIG no solo representó una ventaja técnica, sino también una herramienta accesible y replicable para gobiernos locales con capacidades limitadas.
- El distrito de Batán se identificó como el más crítico del cantón, dado que concentra la mayor densidad de vías, mayor nivel de desarrollo socioeconómico y la mayor cantidad de siniestros registrados. Este hallazgo justifica el enfoque inicial del estudio en este distrito y valida la necesidad de evaluarlo de forma prioritaria.
- La vía que resultó con la prioridad número uno en la jerarquización fue Calle Batán, según el sistema de ponderación aplicado en la fase uno del análisis. Dicha ponderación no incluyó de manera directa el factor de siniestros, sino que se basó en variables como longitud de vía, ancho, acceso peatonal, cantidad y calidad de intersecciones, y flujo vehicular. No obstante, al contrastar este resultado con el registro histórico de siniestros, se verificó que Calle Batán es la vía con la mayor cantidad de siniestros registrados en todo el distrito de Batán. Este hallazgo refuerza la validez del modelo propuesto, ya que, sin considerar directamente los datos de siniestros en esta fase, la metodología identificó correctamente un tramo de alto riesgo. Por lo tanto, se confirma que los factores de riesgo estructurales seleccionados para la ponderación tienen una fuerte correlación con la siniestralidad vial real, consolidando la efectividad de la propuesta como una herramienta preventiva.
- La estructuración de la metodología en tres etapas permitió un análisis progresivo y jerarquizado, considerando tanto condiciones físicas de las vías como su contexto vial y social. La primera etapa, basada en una ponderación multivariable adaptada del manual Star Rating for Schools, aportó un

modelo cuantitativo replicable, mientras que las etapas siguientes complementaron el análisis con criterios de frecuencia de siniestros y accesibilidad territorial.

- La metodología es replicable y adaptable a otros distritos y cantones, siempre que se realice una adecuación contextual de los factores de ponderación, ya que la necesidad de ajustar el TPD y otros factores al contexto local garantiza que la metodología siga siendo técnicamente válida y útil en distintos escenarios.

Recomendaciones

A la Municipalidad de Matina:

- Aplicar la metodología desarrollada en este proyecto en los otros distritos del cantón (Carrandí y Matina), adaptando los parámetros de análisis según las características particulares de cada zona, especialmente en lo relativo al TPD, uso del suelo y densidad poblacional.
- Capacitar al personal técnico en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), priorizando herramientas de código abierto como QGIS, para que puedan replicar y actualizar el análisis de riesgo vial de forma autónoma y continua.
- Incorporar los resultados de esta metodología en el proceso de planificación presupuestaria y priorización de intervenciones viales, para asegurar una asignación de recursos más eficiente y basada en datos.
- Establecer un protocolo interno para la recolección sistemática de datos georreferenciados sobre siniestros viales, accesibilidad peatonal y condiciones de infraestructura, con el fin de mantener actualizada la base de datos vial del cantón.

Al Instituto Tecnológico de Costa Rica y otras instituciones académicas:

- Establecer convenios de colaboración con municipalidades para brindar acompañamiento técnico en la implementación de metodologías de evaluación del riesgo vial, así como para la actualización y análisis de datos geoespaciales.
- Incluir esta metodología como estudio de caso en cursos de planificación urbana, ingeniería de transporte o análisis territorial, para fomentar la formación de futuros profesionales en enfoques prácticos y contextualizados.

Para el Programa de infraestructura resiliente y movilidad segura:

- Validar la efectividad del modelo desarrollado mediante su comparación directa con los resultados obtenidos tras la aplicación formal del iRAP en tramos priorizados, con el fin de afinar los criterios y ponderaciones utilizadas.
- Evaluar los factores de riesgo propuestos en la metodología, tomando en cuenta otro tipo de usuarios de vías, como por ejemplo, los ciclistas, con el fin de analizar las afectaciones que pueden implicar en los resultados.

Referencias bibliográficas

AASHTO. (2019). *Guide for Geometric Design of Low-Volume Roads, 2nd Edition*. Washington, D.C.

Agüero, F. (2024, marzo 19). *Tipos de uso de suelo en Costa Rica*. NATIVU.

<https://blog.nativu.com/tipos-de-uso-de-suelo-en-costa-rica/>

Araya Porras, E. A., (2013). *Mejora y calibración mediante la inspección del modelo de priorización de obras de infraestructuras de drenaje (MPOID)*.

Consejo de Seguridad Vial (2022). *Perfil de los siniestros de tránsito e indicadores de desempeño en Costa Rica 2022*. <https://www.csv.go.cr/investigaci%C3%B3n>

Consejo de Seguridad Vial (COSEVI). (2011). *Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2020*. Costa Rica.

COTOCO (Consejo Técnico de Operación y Conservación de Carreteras). (2015). *Manual de clasificación y estándares de la red vial costarricense*. San José, Costa Rica.

Department for Transport. (2017). *Road Safety Risk Management: A Guide for Local Authorities*. UK Government.

Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., & Sørensen, M. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures*. Emerald Group Publishing.

Estado de la Nación. (2021). *Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. Costa Rica.

Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer.

Guerrero Aguilera, S. (2015). *Seguridad vial en planes de inversión. Caso de estudio Ruta Nacional 27, Costa Rica*. Infraestructura Vial. <https://doi.org/10.15517/iv.v17i29.18422>

Haghighat, F. (2015). *Application of Multi-Criteria Decision Making in Road Safety Planning*. Journal of Transportation Safety & Security.

Harwood, D. W., Council, F. M., Hauer, E., Hughes, W. E., & Vogt, A. (2003). *NCHRP Report 500: Guidance for implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan. Volume 5: A guide for addressing unsignalized intersection collisions*. Transportation Research Board. https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_500v5.pdf

Hauer, E. (2010). *The Art of Regression Modeling in Road Safety*. Springer.

Helmets: A Road Safety Manual for Decision-Makers and Practitioners (2nd ed). (2006). World Health Organization.

Híjar, M. (2003). *La epidemiología de los siniestros de tránsito: una visión integral*. Salud Pública de México.

Instituto Costarricense de Turismo (ICT). (2022). *Matina lanza Marca Cantón...* <https://www.ict.go.cr/es/noticias-destacadas/1948-matina-lanza-marca-canton>

Instituto de Desarrollo Rural (Inder). (2016). *Plan de Desarrollo Rural Territorial Limón-Matina*.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022). *Estimación de población y vivienda 2022*. https://admin.inec.cr/sites/default/files/2023-07/INFOGRAFIA_ESTIM_POB_VIV_2022_LIMON.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022-2023). *Anuario Estadístico 2022 - 2023*. https://admin.inec.cr/sites/default/files/2024-10/reanuario2022-2023_0.pdf

iRAP. (2020). *How iRAP works*. <https://www.irap.org>

Jameel, A. K., y Evdorides, H. (2016). *An investigation for an all-encompassing iRAP road Star Rating index*. Functional Pavement Design, 1607-1616

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2019). *Informe de Evaluación Funcional y Estructural de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica 2018–2019*. Universidad de Costa Rica.

Lord, D., & Mannering, F. (2010). *The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives*. *Transportation Research Part A*, 44(5), 291-305.

Loprencipe, G., Moretti, L., Cantisani, G., & Minati, P. (2018). *Prioritization methodology for roadside and guardrail improvement...* *Journal of Traffic and Transportation Engineering*.

Marcelo, D., Mandri-Perrott, C., House, S., & Schwartz, J. Z. (s/f). *An Alternative Approach to Project Selection: The Infrastructure Prioritization Framework*.

Merchán, M. E. P., Pérez, R. E. G., & Aristizábal, O. P. N. (2011). *SEGURIDAD VIAL Y PEATONAL... Hacia la Promoción de la Salud*.

Mendoza Díaz, A., Quintero Pereda, F. L., & Mayoral Grajeda, E. F. (2003). *SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS*.

Micakoski, F. M., Rivera, J., Marcos, C., Piccinini, C., Azumendi, L., & Moralejo, G. (s/f). *IDENTIFICACIÓN DE MODO DE DESPLAZAMIENTO PRIORITARIO*.

Molina, L. (21 de 05 de 2024). *Muertes al volante en Costa Rica repunta...* *Semanario Universidad*.

MOPT (2020). *Identificación de puntos críticos de siniestros en Costa Rica*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.

MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transportes). (2020). *Plan Nacional de Transportes 2020-2040*. San José, Costa Rica.

Municipalidad de Matina. (s.f.). *Historia del Cantón de Matina*. <https://www.munimatina.go.cr>

Newstead, S., Corben, B., & Cameron, M. (2011). *Evaluation of the Crash Risk and Crash Severity Benefits...* Monash University Accident Research Centre.

NHTSA. (2021). *Traffic Safety Facts*. <https://www.nhtsa.gov>

Olaya, V. (2009). *Sistemas de Información Geográfica libres y geodatos libres*.

O'neal Coto, K. (s/f). *El 60 % de la red vial cantonal...* Web UCR.

<https://www.ucr.ac.cr/noticias/2023/4/23/el-60-de-la-red-vial>.

Organización Mundial de la Salud (2013). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2013*.

Organización Mundial de la Salud (2018). *Global status report on road safety 2018*.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>

Ortúzar, J., de Dios, H., & Willumsen, L. (2014). *Modelación de la siniestralidad vial en Santiago de Chile*.

Robles, S. C., & Vargas, H. M. (1991). *Epidemiología de los siniestros de tránsito en Costa Rica*. Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana.

Salas, J. (2020). *Gestión municipal y desarrollo local en Costa Rica...* Revista de Ciencias Sociales.

Superintendencia de Telecomunicaciones (SUTEL). (2019). *Informe de conectividad en Matina*.

<https://sutel.go.cr>

UNECE (1968). *Vienna Convention on Road Traffic*. United Nations Economic Commission for Europe.

Valera García, F. A, Martínez Crespo, G., Varela García, J. I., Díaz Grandio, D. (2005). *Los sistemas de información geográfica en el análisis de siniestralidad en carretera...*

Valera García, F. A, Martínez Crespo, G., Varela García, J. I., Díaz Grandio, D. (2006). *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas...*

Villa Maura, C. A., Vargas Ulloa, D. E., Merino Villa, E. F. (2019). *Factores que inciden en la siniestralidad vial en el Ecuador*. <https://doi.org/10.36779/mktdescubre.v14.348>

Zhao, N., Mehler, B., Reimer, B., D'Ambrosio, L. A., Mehler, A., & Coughlin, J. F. (2012). *An investigation of the relationship between the driving behavior questionnaire and objective measures...*
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.08.001>