

METODOLOGÍA DE MAPEO MÓVIL PARA INVENTARIO VIAL RURAL

AUTORES:

AARÓN MATEO TOCORA JIMÉNEZ

CRISTIÁN DAVID ESPÍNDOLA RINCÓN

GRUPO DE INVESTIGACIÓN:

INFRAESTRUCTURA SOSTENIBLE

DIRECTOR:

ING. WILMAR DARÍO FERNÁNDEZ GOMÉZ



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

TECNOLOGÍA EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

SEPTIEMBRE DE 2025

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	5
Abstract	6
1. Introducción	7
1.1 Reseña Del Municipio De La Palma, Cundinamarca.....	8
2. Objetivos	10
2.1 Objetivo General	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3. Problema De Investigación	11
4. Justificación.....	12
4.1 Potencial De Las Tecnologías De Mapeo Móvil.....	12
5. Marco Teórico	14
5.1 Infraestructura Vial Terciaria En Colombia.....	14
5.2 Metodologías De Inventario Vial.....	15
5.2.1 Inventario De Campo Tradicional	16
5.2.2 Inventario Con Tecnologías Avanzadas.....	17
5.2.3 Aplicación De GNSS Al Mapeo Móvil	18
5.3 N-TRIP	19
5.4 Software Horus.....	20
5.4.1 Horus Movie Maker	20
5.4.2 Horus Movie Player	20
5.5 Sistemas De Información Geográfica (SIG)	21
6. Marco Legal	23
7. Metodología	25
7.1 Trabajo De Campo	27
7.2 Procedimiento Para La Recolección De Datos	28
7.3 Trabajo De Oficina.....	30
7.3.1 Procedimiento Para El Procesamiento De Datos	32
7.3.1.1 Generación De Capa Shapefile “Ejes”	33
7.3.1.2 Etiquetado De Imágenes	35
7.3.1.3 Generación De Capa Shapefile “Propiedades”.....	40
7.3.1.4 Generación De Capas Shapefile “Tipo Punto”	44
7.3.1.5 Generación De Capa Shapefile “Fotoejes”	44
7.3.1.6 Generación De Capa Shapefile “Prs”.....	45
7.4 Sistema De Referencia	47
8. Resultados	51
8.1 Tiempos De Captura Y Procesamiento De Datos	66
9. Análisis De Resultados.....	67
10. Conclusiones Y Recomendaciones.....	68
11. Anexos	69
Bibliografía.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La Palma, Cundinamarca	9
Figura 2. Administración de la Red Vial en Colombia	14
Figura 3. Vehículo de inspección de carreteras	16
Figura 4. Sistema de medición de grietas por láser (LCMS®-2)	17
Figura 5. Arquitectura del Sistema GNSS-RTK con Protocolo N-TRIP para Aplicaciones de Mapeo Móvil de Alta Precisión	19
Figura 6. Flujo de trabajo	26
Figura 7. Montaje del equipo en el Vehículo	28
Figura 8. Interfaz del sistema “Smart Postprocessor”	29
Figura 9. Salidas gráficas de Postproceso	31
Figura 10. Esquema del Procesamiento de Datos	32
Figura 11. Capa de Puntos en QGIS	33
Figura 12. Generación de Ruta en QGIS	34
Figura 13. Estructura de campos de la Capa Shapefile de EJES en ArcGIS Pro	34
Figura 14. Interfaz de Horus Movie Maker	35
Figura 15. Barra de Capas en Horus Movie Player	36
Figura 16. Base de Datos para el Inventario de Sitios Críticos en Horus Movie Player	37
Figura 17. Barra de ajustes en Horus Movie Player	38
Figura 18. Nivel de Precisión a partir del Cursor en Horus Movie Player	38
Figura 19. Capas de Puntos generados por Horus Movie Player en QGIS	39
Figura 20. Unión de Capas Tipo Punto en QGIS	40
Figura 21. Capa Shapefile de Ejes en ArcGIS Pro	41
Figura 22. Capa Shapefile de Propiedades en ArcGIS Pro	41
Figura 23. Código de Python para superponer Capas en ArcGIS Pro	42
Figura 24. Topología de la capa Shapefile de EJES en ArcGIS Pro	49
Figura 25. Vías Inventariadas en La Palma, Cundinamarca	51
Figura 26. Propiedades Inventariadas en La Palma, Cundinamarca	54
Figura 27. Sitios Críticos Inventariados en La Palma, Cundinamarca	56
Figura 28. Obras de Drenaje Inventariadas en La Palma, Cundinamarca	58
Figura 29. Puentes y Muros Inventariados en La Palma, Cundinamarca	62
Figura 30. PRS Inventariados en La Palma, Cundinamarca	64
Figura 31. FotoEjes Inventariados en La Palma, Cundinamarca	65
Figura 32. Diagrama de los Tiempos de Captura y Procesamiento de Datos	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Software De Horus - Programas Y Funcionalidades	20
Tabla 2. Lista De Chequeo De Equipos De Mapeo Móvil	27
Tabla 3. Estructura De Campos Para El inventario De Sitios Críticos	37
Tabla 4. Cálculo De Pendiente Para Tramos En Excel	43
Tabla 5. Cálculo De Pendiente Para Tramos En Excel	43
Tabla 6. Total, De Kilómetros Inventariados En La Palma, Cundinamarca	52
Tabla 7. Propiedades En La Palma, Cundinamarca	54
Tabla 8. Sitios Críticos En La Palma, Cundinamarca	57
Tabla 9. Obras De Drenaje En La Palma, Cundinamarca	59
Tabla 10. Muros En La Palma, Cundinamarca	63
Tabla 11. Puentes En La Palma, Cundinamarca	63
Tabla 12. Programación En Días De Las Fases Del Proyecto	66

RESUMEN

La infraestructura vial terciaria es clave para el desarrollo social y económico de las zonas rurales colombianas, pero enfrenta limitaciones significativas por la falta de información actualizada. Más de 142.000 km de vías terciarias carecen de inventario preciso, lo que dificulta la planificación y ejecución de estrategias de mantenimiento y mejora. En respuesta, este proyecto propone el desarrollo de una metodología de mapeo móvil basada en la integración de tecnología GNSS con sistemas de captura de video georreferenciado de alta resolución que permite generar datos posicionales precisos y material audiovisual que facilita la caracterización técnica de los corredores viales.

El proyecto se implementará como piloto en el municipio de La Palma, Cundinamarca, sobre una red aproximada de 100 km de vías terciarias. El sistema móvil, ensamblado sobre un vehículo, permitirá recolectar rápidamente grandes volúmenes de información, la cual será posteriormente procesada en un SIG para extraer características de la vía (tipo de terreno, daños en la vía y condiciones del pavimento). La metodología plantea una alternativa de bajo costo frente a tecnologías tradicionales como el LIDAR, con resultados altamente eficaces en términos de tiempo, cobertura y precisión. Este enfoque fortalecerá las capacidades técnicas en levantamientos topográficos aplicados a infraestructura vial rural.

Este proyecto representa una oportunidad importante para mejorar la forma en que se realiza el levantamiento de información vial en Colombia, al proponer el uso de tecnologías geoespaciales más accesibles, útiles y fáciles de implementar. Su aplicación puede cambiar la manera en que los municipios rurales administran sus vías, permitiendo una mejor planificación, reducción de costos y mejora en los servicios de transporte. Más allá del componente técnico, este proyecto busca fortalecer la conexión entre las zonas rurales y urbanas para disminuir las desigualdades territoriales. Por todo esto, se considera una iniciativa estratégica para el desarrollo del país.

Mapeo Móvil¹, GNSS², N-TRIP³, Inventario Vial⁴, SIG⁵

ABSTRACT

Tertiary road infrastructure is key to the social and economic development of Colombian rural areas, but it faces significant limitations due to the lack of updated information. More than 142,000 km of tertiary roads lack accurate inventory, which hinders the planning and execution of maintenance and improvement strategies. In response, this project proposes the development of a mobile mapping methodology based on the integration of GNSS technology with high-resolution georeferenced video capture systems, which makes it possible to generate precise positional data and audiovisual material that facilitates the technical characterization of road corridors.

The project will be implemented as a pilot in the municipality of La Palma, Cundinamarca, covering an approximate network of 100 km of tertiary roads. The mobile system, assembled on a vehicle, will allow the rapid collection of large volumes of information, which will subsequently be processed in a GIS to extract road characteristics (terrain type, road damage, and pavement conditions). The methodology proposes a low-cost alternative compared to traditional technologies such as LIDAR, with highly effective results in terms of time, coverage, and precision. This approach will strengthen technical capacities in topographic surveys applied to rural road infrastructure.

This project represents an important opportunity to improve the way road information is collected in Colombia, by proposing the use of more accessible, useful, and easy-to-implement geospatial technologies. Its application can change the way rural municipalities manage their roads, enabling better planning, cost reduction, and improvement in transportation services. Beyond the technical component, this project seeks to strengthen the connection between rural and urban areas to reduce territorial inequalities. For all these reasons, it is considered a strategic initiative for the country's development.

Mobile Mapping¹, GNSS², N-TRIP³, Road Inventory⁴, GIS⁵

1. INTRODUCCIÓN

Aproximadamente 206,727 kilómetros conforman la red vial de Colombia, de los cuales 142,284 kilómetros corresponden a la red terciaria, representando el 68% del total de la infraestructura vial del país, según el Anuario Estadístico del Ministerio de Transporte (2019). Esta extensa red terciaria resulta fundamental para el desarrollo económico y social de las zonas rurales del país, pero enfrenta importantes desafíos en términos de mantenimiento, tecnificación y financiación.

Uno de los principales obstáculos para abordar estos desafíos radica en la falta de información actualizada: mientras la red primaria cuenta con datos precisos sobre su estado, la red secundaria y terciaria carece de información confiable y actualizada, lo que dificulta enormemente la toma de decisiones para la inversión y mantenimiento vial. Esta situación se agrava considerablemente cuando observamos que, según datos del Ministerio de Transporte, cerca del 60% de la red vial no pavimentada se encuentra en mal estado, evidenciando que los métodos tradicionales de inventario vial resultan insuficientes para abordar la magnitud de esta problemática.

Adicionalmente, hemos identificado que los sistemas de captura de información vial actuales presentan limitaciones importantes. Los métodos tradicionales basados en inspección visual, aunque precisos, requieren tiempos prolongados y recursos considerables. Por otro lado, los sistemas automatizados disponibles en el mercado, si bien son más eficientes, presentan costos elevados y muchas veces no son adaptables a las condiciones específicas de la topografía colombiana.

En este contexto, las metodologías de mapeo móvil representan una oportunidad para desarrollar sistemas de bajo costo que permitan realizar inventarios viales con alta precisión y rendimiento. Nuestro proyecto se basa en la integración de tecnología GNSS con sistemas de captura de video de alta resolución, sincronizados temporalmente para generar información georreferenciada que pueda ser procesada posteriormente en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esta metodología será aplicada en el municipio de La Palma, Cundinamarca, donde se realizará un inventario vial rural de aproximadamente 100 kilómetros de red terciaria, siguiendo los lineamientos establecidos en la Resolución 412 de 2020 del Ministerio de Transporte, la cual define los parámetros técnicos para la caracterización y evaluación de la infraestructura vial en Colombia.

1.1 RESEÑA DEL MUNICIPIO DE LA PALMA, CUNDINAMARCA

El presente proyecto de investigación se desarrolla en La Palma, un municipio ubicado en el noroccidente de Cundinamarca, caracterizado por su economía agrícola basada en cultivos de café, plátano, aguacate y cacao. Su geografía montañosa y recursos hídricos ofrecen potencial para el turismo rural, sin embargo, enfrenta limitaciones en su desarrollo debido al estado deficiente de su infraestructura vial. El municipio cuenta con una red de vías secundarias y terciarias que conectan con municipios vecinos y la capital departamental, pero presentan problemas significativos de mantenimiento. Las condiciones climáticas adversas y el relieve accidentado deterioran constantemente estas carreteras, dificultando el transporte de productos agrícolas y limitando el acceso a servicios básicos.

Durante el conflicto armado, La Palma experimentó impactos negativos que afectaron su estructura social y económica. No obstante, el municipio ha demostrado capacidad de recuperación mediante proyectos de agricultura sostenible y turismo comunitario. La mejora de la infraestructura vial representa una prioridad fundamental para el desarrollo municipal, ya que permitiría optimizar la comercialización agrícola, facilitar el acceso a servicios esenciales y potenciar las oportunidades económicas locales. Esta necesidad justifica la implementación de metodologías eficientes de mapeo móvil con tecnología GNSS submétrica para el inventario y evaluación del estado de las vías rurales.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural



Figura 1. La Palma, Cundinamarca

Fuente: Alcaldía Municipal de La Palma, Cundinamarca

Mapa: <https://bit.ly/3VZN7Jf>

El municipio de La Palma está ubicado al noroccidente del Departamento de Cundinamarca, a 150 km de Bogotá. Según la Alcaldía Municipal de La Palma (2020), existen 56 veredas, y el casco urbano lo conforman 20 barrios; limita al norte con el municipio de Yacopí, por el oriente con Topaipi y el Peñón, por el sur con Utica y La Peña, por el occidente con Caparrapí. Debido a su situación geográfica su relieve es montañoso, topografía quebrada y enmarcada por la zona del Río negro.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología de mapeo móvil para inventario vial rural mediante la integración de tecnología GNSS con sistemas de captura de video de alta resolución, que permita generar información georreferenciada precisa y de bajo costo para la caracterización de la red vial terciaria.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Capturar información vial mediante tecnología GNSS integrada con sistemas de video de alta resolución, estableciendo parámetros técnicos y procedimientos que garanticen la sincronización temporal y precisión posicional en el levantamiento de información de la red vial rural.
- Diseñar un protocolo de procesamiento en Sistemas de Información Geográfica que permita extraer y sistematizar parámetros viales a partir de datos georreferenciados capturados mediante mapeo móvil.
- Implementar la metodología desarrollada en un caso de estudio de 100 kilómetros de red vial terciaria en el municipio de La Palma, Cundinamarca, siguiendo los lineamientos de la Resolución 412 de 2020 del Ministerio de Transporte.

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La red vial terciaria colombiana, con 142,284 kilómetros que representan el 68% del sistema carretero nacional, enfrenta un déficit crítico de información actualizada para su gestión efectiva. Mientras la red primaria cuenta con datos precisos, aproximadamente el 48% de las vías terciarias no pavimentadas se encuentra en mal estado según el INVIA (2019), situación agravada por la ausencia de metodologías eficientes para su inventario y evaluación. Aunque en el mercado existen diversas herramientas para llevar a cabo los inventarios, estas presentan tanto beneficios como limitaciones. La metodología convencional para su ejecución se basa en el examen visual directo y la toma de medidas in situ, lo cual conlleva extensos períodos para la recopilación de datos. Cuando se asigna a distintos equipos de trabajo con el fin de mejorar la productividad, los hallazgos resultan inconsistentes entre sí, por lo que no satisface los estándares requeridos para la evaluación del estado de deterioro vial debido a la carencia de confiabilidad, reproducibilidad, agilidad en el proceso de inspección y solidez metodológica. (García, Vara, Medina, Llamas, Gómez, Zalama 2015), mientras que los sistemas automatizados comerciales existentes tienen costos prohibitivos que limitan su adopción masiva (Kullkarni & Miller, 2003). En el contexto nacional, Rondón (2018) documentó la necesidad urgente de tecnificar los procesos de inventario vial en Colombia, identificando las deficiencias metodológicas de los enfoques convencionales. Adicionalmente, la falta de sincronización temporal entre equipos de captura y la débil integración entre tecnología GNSS y sistemas de video georreferenciado impiden obtener datos precisos y consistentes.

Esta carencia informativa genera un círculo de deterioro donde la ausencia de datos impide decisiones adecuadas de inversión y mantenimiento, proyectando un escenario donde más del 60% de la red terciaria podría encontrarse en mal estado, comprometiendo la conectividad rural y el desarrollo socioeconómico regional.

4. JUSTIFICACIÓN

Como respuesta al pronóstico planteado, se propone el desarrollo de una metodología de mapeo móvil que integre tecnología GNSS de precisión submétrica con sistemas de captura de video de alta resolución (mínimo 1080p), sincronizados temporalmente mediante protocolos de timestamp para generar información georreferenciada procesable en SIG. Esta solución técnica permitirá realizar inventarios viales con precisión posicional de ± 1 metro, velocidad de captura de hasta 30 km/h, y costos reducidos en aproximadamente 60% comparado con sistemas comerciales, adaptándose específicamente a las condiciones topográficas colombianas y cumpliendo con los parámetros técnicos de la Resolución 412 de 2020 del Ministerio de Transporte.

4.1 POTENCIAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE MAPEO MÓVIL

Las tecnologías emergentes de mapeo móvil han demostrado su efectividad en la captura de información geoespacial precisa. Según la investigación sobre tendencias mundiales en tecnologías de sistemas de mapeo móvil implementadas con láser (2018), la integración de sistemas LIDAR con cámaras de 360 grados permite obtener datos topográficos y geométricos de alta precisión sobre los elementos del entorno vial. Esta capacidad tecnológica representa una oportunidad estratégica para abordar los desafíos del inventario vial en Colombia.

La implementación de sistemas de mapeo móvil basados en tecnologías accesibles responde a una tendencia global documentada en la literatura científica. Como señalan Karaim, Elsheikh, Noureldin y Korenberg (2014), existe un crecimiento exponencial en la demanda de datos geoespaciales, lo que ha impulsado el desarrollo de soluciones innovadoras que combinan dispositivos de uso común con tecnologías de posicionamiento preciso. Esta realidad ha motivado la exploración de metodologías que integren GNSS submétrico con sistemas de captura de video, aprovechando plataformas móviles para generar información geográfica de calidad a costos reducidos.

La viabilidad económica de los sistemas de mapeo móvil ha sido ampliamente validada mediante la implementación de soluciones tecnológicas innovadoras. Frentzos, Tournas, Skarlatos (2020) desarrollaron un sistema de mapeo móvil de bajo costo que demuestra la efectividad de integrar datos de navegación vehicular con imágenes estéreo para la adquisición de datos GIS. Su propuesta consiste en una placa GNSS de doble frecuencia combinada con

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

una unidad INS de bajo costo y dos cámaras de visión artificial que recopilan datos de imagen en color para objetos de carretera, estableciendo un precedente técnico para metodologías que priorizan la relación costo-beneficio sin comprometer la calidad de los productos geoespaciales generados.

La implementación de esta metodología promueve el desarrollo sostenible al priorizar una herramienta de planificación estratégica para territorios históricamente marginados del desarrollo nacional. La mejora en la calidad de la información sobre infraestructura vial terciaria facilita la formulación de políticas públicas más efectivas, la optimización de la inversión pública y el fortalecimiento de la conectividad rural, elementos fundamentales para la reducción de brechas territoriales y la promoción de un desarrollo más equitativo y sostenible. En este contexto, la presente investigación se posiciona como una contribución significativa tanto al avance del conocimiento científico en el campo de la ingeniería geomática como al fortalecimiento de las capacidades nacionales para la gestión integral del territorio y la infraestructura de transporte.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 INFRAESTRUCTURA VIAL TERCIARIA EN COLOMBIA

Colombia cuenta con una infraestructura vial conformada por 205.745 kilómetros de carreteras distribuidos según su clasificación funcional. De los cuales el 9% (18.323 km) corresponde a la red primaria, 22% (45.137 km) a la red vial secundaria y el 69% (142.284 km) pertenece a vías terciarias (Mintransporte, 2022, p. 29).

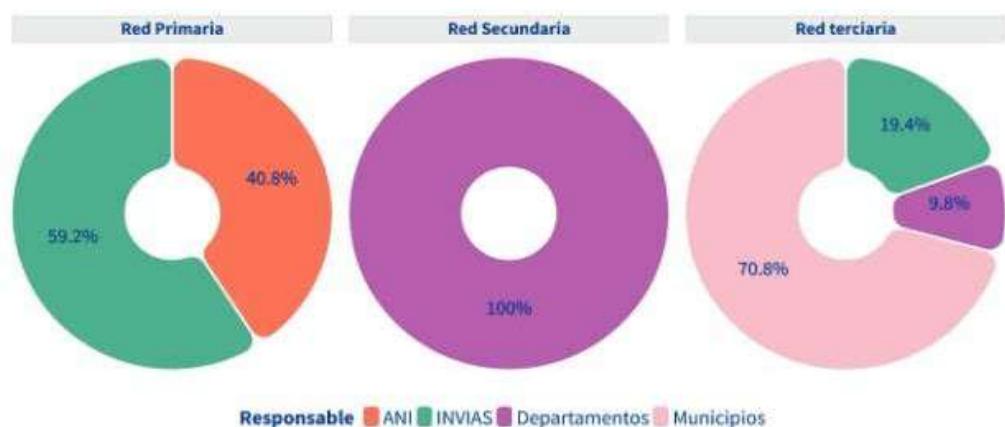


Figura 2. Administración de la Red Vial en Colombia

Fuente: Ministerio de Transporte

Cómo se observa en la Figura 1, la gestión administrativa de estas vías se encuentra dividida entre diferentes entidades. En el caso de la Red Primaria Nacional, la responsabilidad se divide entre dos instituciones principales: mientras que el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) administra el 59% equivalente a 10.840 km, la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) maneja el 41% restante (7.484 km). Por su parte, las vías secundarias están completamente bajo jurisdicción departamental. La Red Terciaria presenta una distribución administrativa más compleja, donde el 71% (100.748 km) es administrado por los municipios, 10% (3.959 km) se encuentran bajo administración departamental y el 19% (27.577 km) es administrado por la nación a través del INVÍAS" (Mintransporte, 2022, p. 29).

Respecto a las condiciones técnicas de las vías terciarias, el panorama es preocupante según cifras oficiales. El Departamento Nacional de Planeación establece que el 70% de las vías terciarias son en afirmado, el 24% en tierra, y el 6% están pavimentadas, y en promedio, solamente el 19% se encuentra en buen estado, el 41% en regular y el 40% en mal estado (DNP,

2023, p. 4), evidenciando significativos déficits en la calidad de la infraestructura vial del país. Esa problemática evidencia las limitaciones presupuestales del Estado colombiano, pues Castro Ropero (2022) indica que el gobierno nacional carece de los recursos financieros necesarios para cubrir el déficit en infraestructura vial, lo que impide realizar las inversiones requeridas en estos proyectos. (p. 6).

Considerando que aproximadamente el 75% del transporte de carga en Colombia se realiza a través de las carreteras nacionales, resulta fundamental mantener una red vial en óptimas condiciones. Castro Ropero (2022) advierte que la deficiente infraestructura vial compromete la competitividad del país, ya que genera incrementos en los costos y tiempos de transporte, lo cual se traduce en un aumento de los precios de bienes y servicios. (p. 6). Particularmente, la red vial terciaria desempeña un papel fundamental en la conectividad rural del país, al funcionar como motor del desarrollo económico rural y facilitar la movilización de productos agropecuarios, el acceso a servicios de salud y educación, y la integración territorial (Narváez, 2017). No obstante, esta infraestructura esencial para garantizar el acceso de las comunidades rurales a servicios básicos, mercados y oportunidades de desarrollo económico, ha enfrentado históricamente desafíos significativos relacionados con la falta de tecnificación, mantenimiento oportuno y planificación estratégica efectiva (DNP, 2023). Por tanto, existe una necesidad crítica de implementar metodologías modernas para el inventario y gestión de esta infraestructura, que permitan abordar de manera integral los déficits existentes y potenciar el desarrollo rural del país.

5.2 METODOLOGÍAS DE INVENTARIO VIAL

Las metodologías de inventario vial constituyen procedimientos sistemáticos diseñados para recopilar información detallada y precisa sobre las características físicas, geométricas y funcionales de la infraestructura vial. Estos procesos son fundamentales para la planificación, mantenimiento y gestión eficiente de las redes de transporte.

Tradicionalmente, se han implementado dos enfoques principales para el desarrollo de inventarios viales:

5.2.1 INVENTARIO DE CAMPO TRADICIONAL

Este método se basa en la observación directa y medición in situ de los elementos viales. Aunque proporciona datos precisos, presenta limitaciones en términos de eficiencia temporal, cobertura territorial y recursos humanos requeridos.



Figura 3. Vehículo de inspección de carreteras

Fuente: Sistema de inspección visual automática de carreteras mediante técnicas de procesamiento 2D/3D

Para evaluar visualmente el estado de la carretera, se utiliza el sistema LRIS, que captura imágenes de 4 metros de ancho con una resolución de 1 mm a una velocidad de hasta 100 km/h. Además, el vehículo está equipado con perfilómetros inerciales, DGPS y una cámara de alta definición para obtener información adicional. Para optimizar los resultados de inspección, se incorpora una cámara matricial de alta velocidad que captura perfiles tridimensionales de 1 metro de ancho cada 10 mm a 72 km/h.

5.2.2 INVENTARIO CON TECNOLOGÍAS AVANZADAS

Las tecnologías avanzadas para inventario vial utilizan captura automática y semiautomática de datos mediante vehículos equipados con sensores como cámaras CCD, láser y GPS, apoyados por software especializado para procesar la información. Sistemas como VISAT VAN (University of Calgary and Geofit Inc., Canada), ARAN (Roadware), Laser Crack Measurement Systems (PAVIMETRICS), DGI (Data Chromatics Inc.) y GPSVan (The Ohio State University) ofrecen alta precisión, rapidez y eliminan la subjetividad en la evaluación de daños. Sin embargo, muchos de estos equipos requieren vehículos grandes que dificultan el acceso a vías rurales y estrechas. La adaptación de tecnologías extranjeras a contextos locales es limitada, lo que genera la necesidad de sistemas accesibles, precisos y compatibles con los procesos de gestión vial existentes, especialmente para zonas rurales.



Figura 4. Sistema de medición de grietas por láser (LCMS®-2)

Fuente: <https://www.pavometrics.com/applications/road-inspection/lcms2-en/>

El sensor Pavemetrics LCMS-2 es un sistema 3D avanzado de inspección de pavimentos que realiza una sola pasada para medir y cuantificar automáticamente parámetros clave como grietas, baches, textura y rugosidad. Opera a velocidades de hasta 100 km/h, con una resolución de 1 mm, y puede capturar datos tanto de día como de noche. Utiliza proyectores láser, cámaras de alta velocidad y unidades de medición inercial integradas para geoetiquetar y medir con alta precisión. Además, ofrece opciones para medir perfiles longitudinales, índice

IRI, pendientes y curvaturas del pavimento, facilitando un análisis objetivo y repetible que reduce costos y tiempos de levantamiento.

5.2.3 APLICACIÓN DE GNSS AL MAPEO MÓVIL

El mapeo móvil representa una metodología innovadora de recolección de información geoespacial que integra múltiples tecnologías de sensores montados en plataformas vehiculares. Esta tecnología incorpora sistemas de posicionamiento global (GNSS), unidades de medición inercial (IMU), cámaras de alta resolución, sistemas LIDAR y otros sensores de teledetección, configurados para optimizar la eficiencia en el levantamiento de información territorial. La tecnología GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) proporciona servicios de posicionamiento, navegación y cronometraje a nivel global mediante constelaciones satelitales. En el contexto del mapeo móvil, el GNSS garantiza la georreferenciación precisa de los datos recolectados, elemento fundamental para la generación de inventarios viales confiables y actualizados.

Las técnicas avanzadas de posicionamiento GNSS, como RTK y PPP, alcanzan precisiones centimétricas que, combinadas con sistemas IMU, mantienen la continuidad del posicionamiento incluso durante interrupciones de señal satelital. Esta integración GNSS/IMU permite la georreferenciación directa de sistemas de captura como cámaras de alta resolución y sensores LIDAR en plataformas móviles, facilitando la generación de inventarios viales precisos con coordenadas geográficas confiables. La precisión y confiabilidad de estos sistemas garantizan que los datos capturados cumplan con los estándares de calidad necesarios para su integración efectiva en Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitiendo análisis espaciales avanzados y la toma de decisiones fundamentada en información georreferenciada de alta calidad.

5.3 N-TRIP

Según la Revista Técnica de la Construcción, 2024 el sistema NTRIP fue creado en Alemania de manera conjunta por la Agencia Federal de Cartografía y Geodesia (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, BKG) y la Universidad de Dortmund, esta tecnología consiste en la transmisión de correcciones GNSS en tiempo real. Su funcionamiento se basa en enviar información diferencial (RTCM) desde una red de estaciones base a receptores móviles, la conexión se basa en que el servidor NTRIP se conecta a una base de referencia GNSS la cual genera y transmite las correcciones a la base de monitoreo continuo (CORS), estas bases funcionan como puente, ya que recibe la información y la distribuye a los distintos clientes o dispositivos que lo están usando.

Por último, las correcciones las recibe un receptor móvil como puede ser un Rover GNSS, Dron, etc., estos dispositivos se conectan vía internet para recepcionar las correcciones en formato RTCM. Como resultado, los datos de posicionamiento llegan a ser centímetros o incluso milimétricos, esto es de gran ayuda para el levantamiento de información mediante la metodología de mapeo móvil.

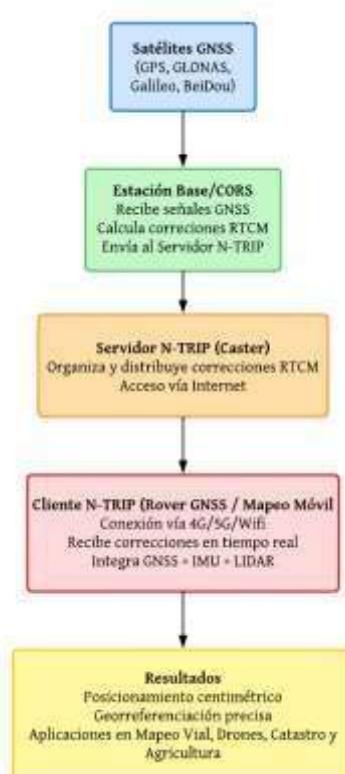


Figura 5. Arquitectura del Sistema GNSS-RTK con Protocolo N-TRIP para Aplicaciones de Mapeo Móvil de Alta Precisión

5.4 SOFTWARE HORUS

Horus es un software que nos permite realizar captura de datos, georreferenciación y visualización de datos, los programas principales para este proyecto son:

Tabla 1. Software de Horus - Programas y Funcionalidades

PROGRAMA	FUNCIONALIDADES
Horus Movie Maker	<ul style="list-style-type: none">1. Grabación de imágenes2. Registra GNSS/IMU3. Sincroniza datos4. Control QA/QC
Horus Movie Player	<ul style="list-style-type: none">1. Reproduce grabaciones georreferenciadas2. Visualiza trayectorias GNSS3. Permite inventarios e inspecciones4. Exporta a GIS u otros sistemas

5.4.1 HORUS MOVIE MAKER

Según el documento “Horus Inspection and Survey Suite, Movie Maker – User manual” la función de este es la sincronización de datos de video o imágenes con datos GNSS o de posicionamiento asegurando que las imágenes queden ligadas o georreferenciadas. También permite visualización de cámaras, posicionamiento, ruta y el progreso o estado de la misión, en pocas palabras, Horus Movie Maker es el encargado de correlacionar y registrar los datos de cámara, GNSS, y demás sensores post levantamiento de la información.

5.4.2 HORUS MOVIE PLAYER

Por otra parte, Horus Movie Player procesa y visualiza los archivos generados por Horus Movie Maker, permitiendo la reproducción sincronizada del levantamiento que incluye datos de video, información de posicionamiento y metadatos asociados. Esta plataforma facilita la creación y evaluación de diferentes capas temáticas, constituyendo una herramienta integral

para la ejecución de inventarios viales, inspecciones técnicas, mediciones precisas y extracción sistemática de información geoespacial.

Una vez completado el inventario y generadas las capas correspondientes, el sistema permite la exportación de datos en múltiples formatos estándar de la industria, incluyendo GeoJSON, Shapefile (SHP), AutoCAD (DWG) y Geodatabase, entre otros. Esta versatilidad en formatos de salida garantiza la compatibilidad e integración fluida con diversos programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitando el desarrollo y entrega de productos cartográficos especializados según los requerimientos específicos del proyecto.

5.5 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica constituyen herramientas tecnológicas que permiten la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos espaciales. Según el Ministerio de Educación Nacional, un SIG facilita la vinculación de cualquier tipo de información con su correspondiente localización geográfica, proporcionando capacidades analíticas avanzadas para la toma de decisiones. Los sistemas de Información Geográfica están compuestos por:

- Hardware, son servicios de computación centralizados en los diferentes computadores de escritorio
- Software, provee de funciones y herramientas necesarias para almacenar, analizar, y desplegar datos geográficos, además contiene herramientas para ingresar, manipular y consultar los datos.
- Datos, estos son datos de tipo localización tales como dirección, códigos postales, o coordenadas en x, y.
- Personas, son las encargadas de administrar la información, sus roles son desde administradores hasta las personas que trabajan en campo, el grupo humano es de vital importancia en estos sistemas, ya que sin ellos no se puede hacer control, registro y recolección de datos.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

Según Esri (s.f.) Los Sistemas de Información Geográfica abarcan una enorme capacidad, como lo es el análisis espacial, permitiendo que se pueda ir más allá de la visualización de datos, utilizando herramientas basadas en algoritmos para realizar o identificar tendencias, patrones y relaciones de datos. Por otra parte, nos permite hacer visualización y mapeo, permitiendo la observación de distintos datos procedentes de múltiples fuentes como hojas de cálculo, bases de datos y fuentes de datos en directo. También permite realizar diversas actividades como recolección y manejo de datos, imágenes y sensores remotos.

En el contexto del inventario vial rural, los SIG resultan especialmente relevantes para abordar problemáticas relacionadas con la planificación territorial, gestión de recursos y optimización de la infraestructura de transporte. Estas herramientas permiten integrar los datos recolectados mediante mapeo móvil con información adicional del territorio, facilitando análisis espaciales complejos y la generación de productos cartográficos especializados.

6. MARCO LEGAL

En Colombia, la gestión y el inventario de la infraestructura vial se rigen por un conjunto de normas y políticas que buscan garantizar la planificación, el mantenimiento y la seguridad de la red de transporte. El marco legal que regula el inventario vial está compuesto por distintas disposiciones jurídicas cuyo propósito es regular, planear, mantener y gestionar la infraestructura vial. Dichas normas establecen los lineamientos para el levantamiento y la recolección de la información de las diferentes vías, con el fin de mejorar la conectividad y la comunicación entre las comunidades, especialmente en las zonas rurales. En primera instancia, la Constitución Política de 1991, en sus artículos 2 y 3, establece la obligación del Estado de garantizar la movilidad y la prestación eficiente de los servicios públicos, lo que constituye la base jurídica para la gestión de la infraestructura vial. Posteriormente, la Ley 105 de 1993 dictó disposiciones básicas sobre el transporte y reglamentó la planeación en el sector, sentando un marco normativo más específico para la organización del transporte en el país. Mediante la Resolución 3700 de 2005, se fijaron parámetros técnicos para la caracterización vial y para la elaboración de inventarios. A partir de esta norma se impulsó la creación del Sistema Nacional de Información de Transporte (SNIT), con el fin de centralizar y gestionar los datos relacionados con la red vial.

Más adelante con la expedición de la Ley 1228 de 2008, se exigió la consolidación del inventario vial y su articulación con los diferentes niveles de gobierno. A su vez, el Decreto 1504 de 1998 estableció criterios para el manejo del espacio público, reconociendo a las vías como un componente fundamental para el desarrollo urbano y rural. En continuidad, la Resolución 412 de 2020 del Ministerio de Transporte adoptó la Metodología General para reportar la información que conforma el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras (SINC). Allí se estableció que:

“Las entidades territoriales y demás administradoras de red vial deberán reportar de manera periódica y bajo los lineamientos establecidos, la información relacionada con el inventario de las carreteras que conforman la jurisdicción del SINC” (Resolución 412 de 2020, art. 2). La misma resolución dispuso que el incumplimiento de esta obligación generaría sanciones de acuerdo con la Ley 1228 de 2008, reafirmando la necesidad de mantener la información vial actualizada.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

Finalmente, la Resolución 20243040058145 del 29 de noviembre de 2024 derogó la Resolución 412 de 2020 y adoptó la Metodología para reportar la información que conforma el SINC – Versión 5. Esta nueva normativa incorporó innovaciones técnicas, como el uso de segmentos entre puntos de referencia y polígonos, lo que permite representar de manera más precisa los activos viales. El inventario se consolidó como un sistema más detallado, estandarizado y georreferenciado. Además, fijó como plazo máximo el 30 de diciembre de 2025 para que las entidades responsables reporten la información con la nueva metodología. También dispuso que el SINC será de uso obligatorio en consultas para trámites urbanos o logísticos, convirtiéndose en un requisito previo para la expedición de licencias y permisos relacionados con la infraestructura vial.

7. METODOLOGÍA

La Figura 6 presenta el flujo de trabajo implementado. Inicialmente se estableció la fecha de la misión y se determinó la logística de acceso al municipio, incluyendo medios de transporte y equipos requeridos, diferenciando entre recursos propios del grupo de investigación y aquellos por alquilar. Posteriormente, se ejecutó la visita de campo para la captura de datos y cierre de la misión.

La fase de procesamiento en oficina comprendió el uso de software especializado para generar reportes topográficos sobre geometría vial, ubicación y sistemas de posicionamiento. Adicionalmente, se desarrollaron bases de datos y sistemas de información geográfica para documentar aspectos temáticos como condiciones del pavimento, obras de drenaje, sitios críticos, puentes, etc., cumpliendo con los lineamientos establecidos en la Resolución 412 de 2020.

La metodología propuesta será validada mediante un piloto de 100 kilómetros de red vial terciaria en La Palma, Cundinamarca, lo que representa una muestra estadísticamente significativa para evaluar la efectividad del sistema en condiciones reales de topografía andina colombiana.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

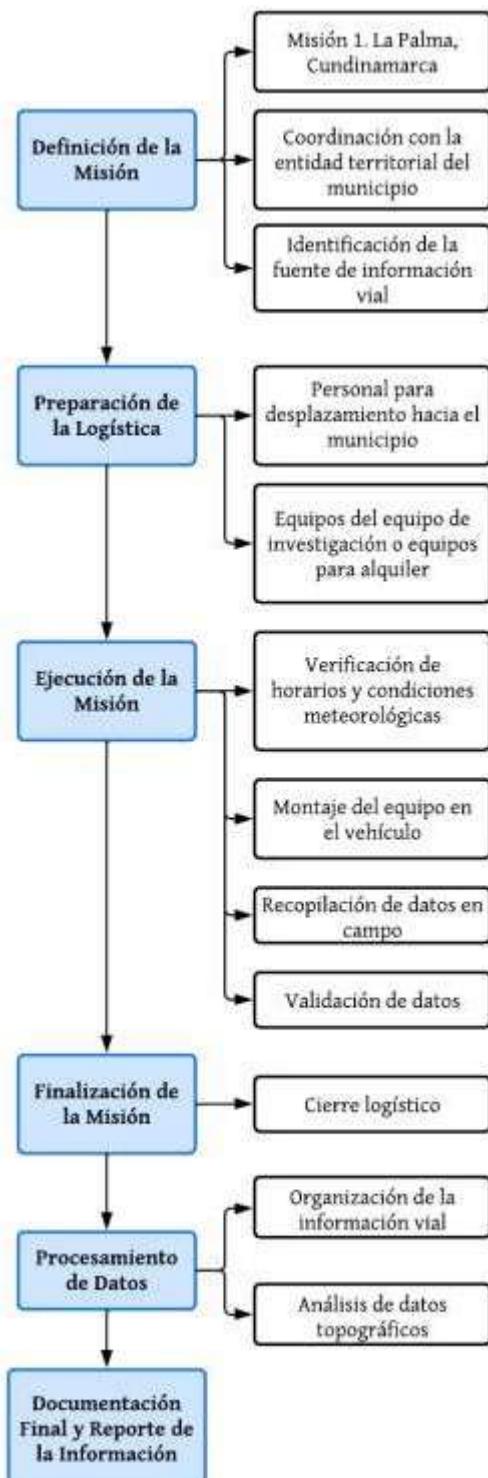


Figura 6. Flujo de trabajo

7.1 TRABAJO DE CAMPO

Antes de iniciar las misiones de recolección de datos, es imprescindible realizar una verificación integral de los equipos e insumos para garantizar su operatividad y evitar contratiempos. Los aspectos críticos para revisar incluyen:

- Estado de las baterías
- Capacidad y disponibilidad de almacenamiento

Posteriormente, se debe elaborar una lista de verificación que permita registrar tanto la salida como el retorno de los equipos, para evitar extravíos y garantizar el control del inventario.

Tabla 2. Lista de chequeo de equipos de Mapeo Móvil

Smart Delta		
Componentes	Estado	Observaciones
Base	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
Carcasa	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
Tornillería	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
Pano inteligente	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
GPS	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
Disco Externo	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
Power Bank	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
Cables de Comunicación	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
Cargadores	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
Tablet	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A

7.2 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- **MONTAJE DEL EQUIPO:**

Se instala el dispositivo de captura sobre el capó del vehículo, asegurando que la cámara esté orientada hacia la vía y cubra completamente el ancho de la calzada. Adicionalmente, se llevan a cabo mediciones sobre el terreno existente para más adelante en oficina comparar datos, las medidas a tener en cuenta son:

- Altura instrumental de la cámara
- Ancho de vía
- Ancho de cunetas o elementos constructivos sobre la vía



Figura 7. Montaje del equipo en el Vehículo

- **CONEXIÓN DEL SISTEMA:**

Para operar el equipo, es necesario realizar su encendido y establecer la vinculación con un dispositivo móvil (Smartphone, Tablet o Laptop) a través de una red wifi compartida, la cual puede generarse mediante la función hotspot del dispositivo o utilizando una red wifi preestablecida. Una vez que se establece exitosamente la conexión entre ambos dispositivos, el sistema Smart Delta procede a generar automáticamente una dirección IP específica que permite el acceso directo a su interfaz de configuración. A través de esta interfaz web, los usuarios pueden consultar el estado actual del equipo, así como modificar y ajustar los diversos parámetros y características técnicas del levantamiento topográfico de acuerdo con los requerimientos específicos del proyecto a ejecutar.

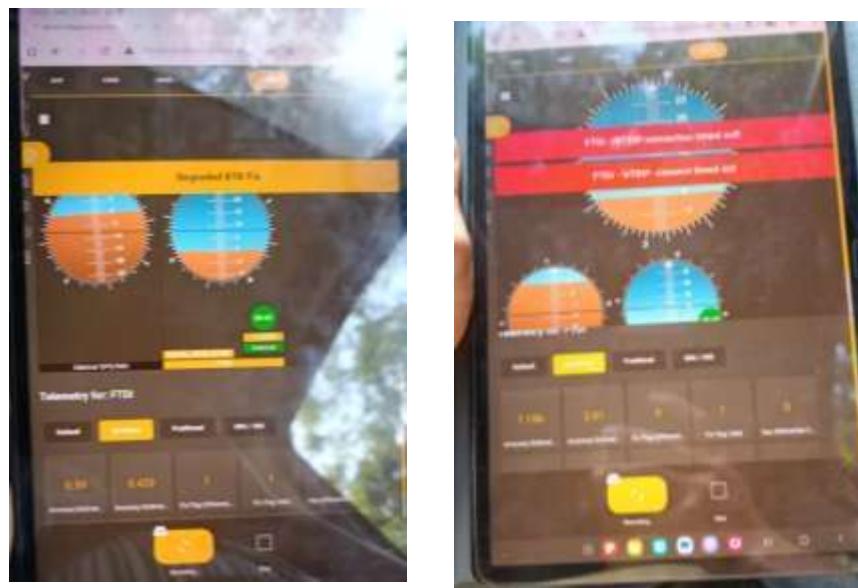


Figura 8. Interfaz del sistema “Smart Postprocessor”

- **CONFIGURACIONES ESENCIALES DE VERIFICACIÓN:**

- ❖ **Destino de almacenamiento:** Asegurar que los datos se almacenen en el disco externo conectado al dispositivo.
- ❖ **Conectividad GNSS y servicio NTRIP:** Verificar conexión al servicio NTRIP para correcciones en tiempo real.
- ❖ **Nombre de la misión:** Establecer un identificador claro (idealmente el nombre de la vía).
- ❖ **Monitoreo de batería y almacenamiento:** Supervisar estos parámetros constantemente.

Durante el recorrido, debe mantener supervisión constante del equipo. En caso de falla, el proceso debe detenerse en el punto de error para realizar las correcciones necesarias y continuar desde allí.

Al finalizar la jornada, se lleva a cabo un nuevo control de los equipos y se procede al respaldo de la información del disco duro del dispositivo a un disco duro externo, liberando espacio para futuras misiones.

7.3 TRABAJO DE OFICINA

Con los datos transferidos al disco externo, se inicia el procesamiento mediante la aplicación **Smart Postprocessor**. Este proceso genera múltiples salidas, entre ellas:

- **Archivo QGIS:** Contiene los puntos GPS que definen la geometría de la vía. Exportado en formato Shapefile.
- **Archivo Excel:** Incluye coordenadas geográficas, fecha y hora. Se corrige la altura elipsoidal con el Sistema de Referencia Magna-SIRGAS.
- **Registro fotográfico:** Procesado con Horus Media Maker para vincular imágenes a coordenadas y etiquetarlas.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

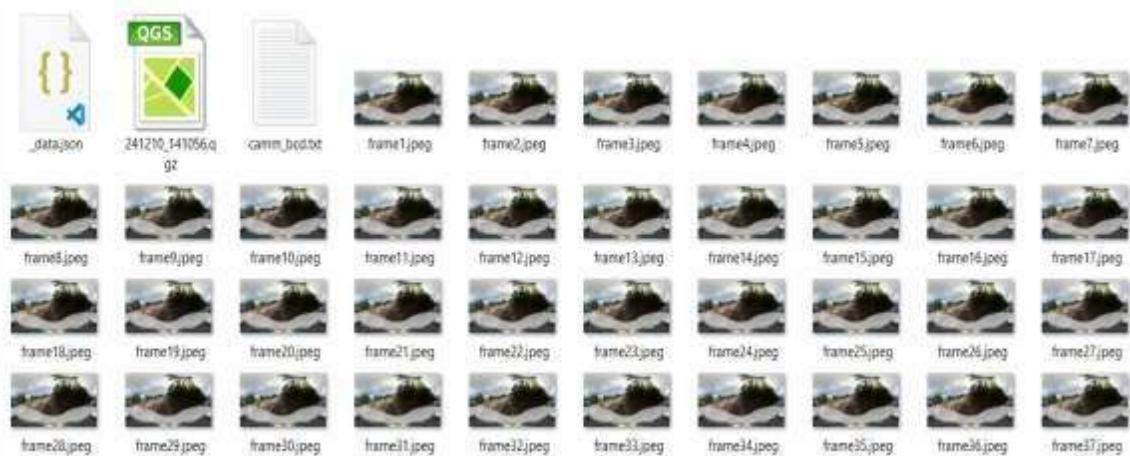
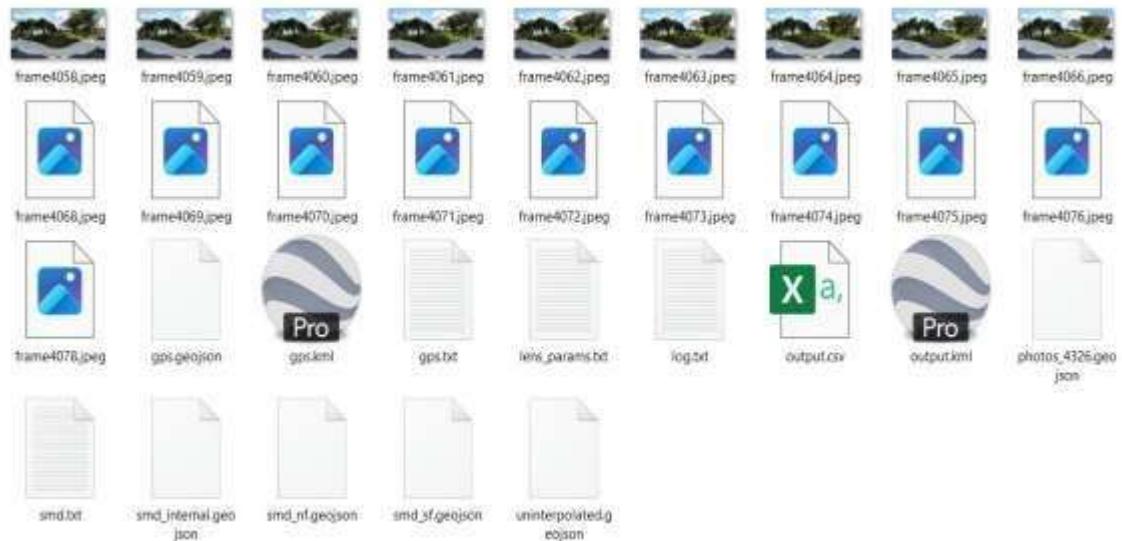


Figura 9. Salidas gráficas de Postproceso

7.3.1 PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS

A continuación, se desarrollarán las fases para el procesamiento de los datos a partir de los archivos generados en el postproceso, como se muestra en la Figura 10.

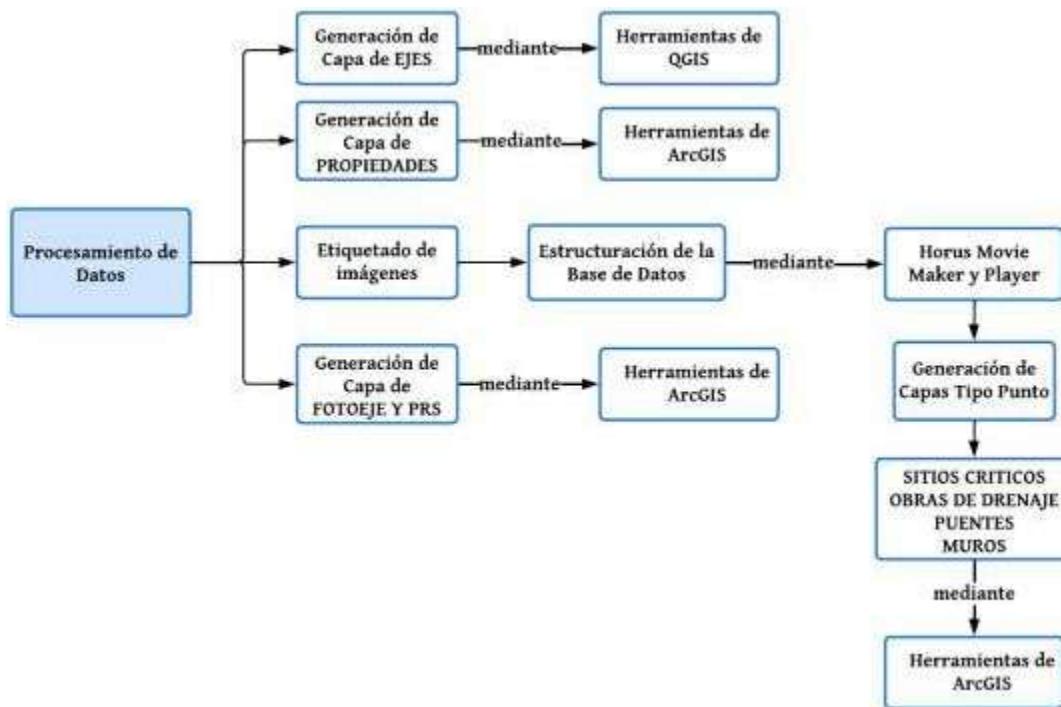


Figura 10. Esquema del Procesamiento de Datos

7.3.1.1 GENERACIÓN DE CAPA SHAPEFILE “EJES”

Utilizando el archivo Shapefile de puntos en programas como QGIS o ArcGIS, se emplea la herramienta de polilínea para conectar consecutivamente los puntos y generar el eje vial. Este proceso se ejecuta para cada Shapefile generado por municipio, complementándose con la creación de una base de datos en Excel que contiene información de los ejes y se exporta en formato CSV (Valores Separados por Comas).

Cada misión genera un Shapefile de puntos individual, requiriendo la misma cantidad de polilíneas correspondientes. Para consolidar todos los ejes en una única capa, se utiliza la herramienta "Unión de Capas Vectoriales" en QGIS, que permite combinar múltiples entidades vectoriales en una sola base de datos.

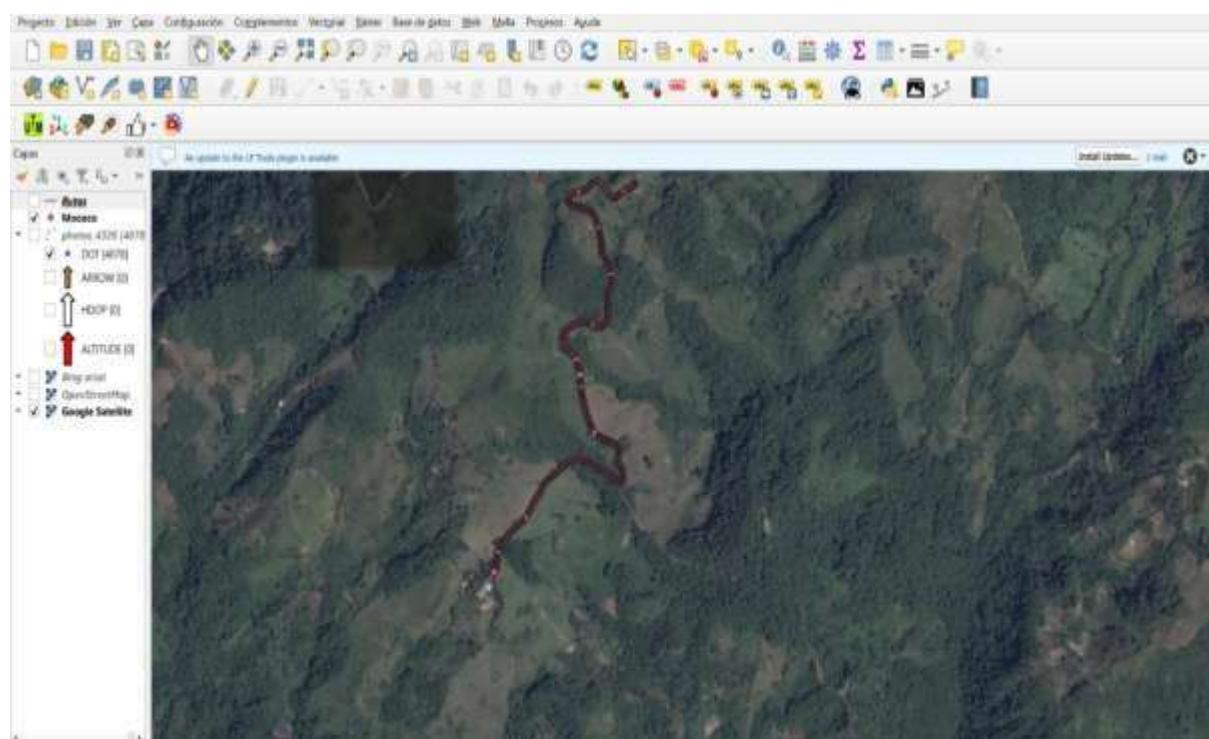


Figura 11. Capa de Puntos en QGIS

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

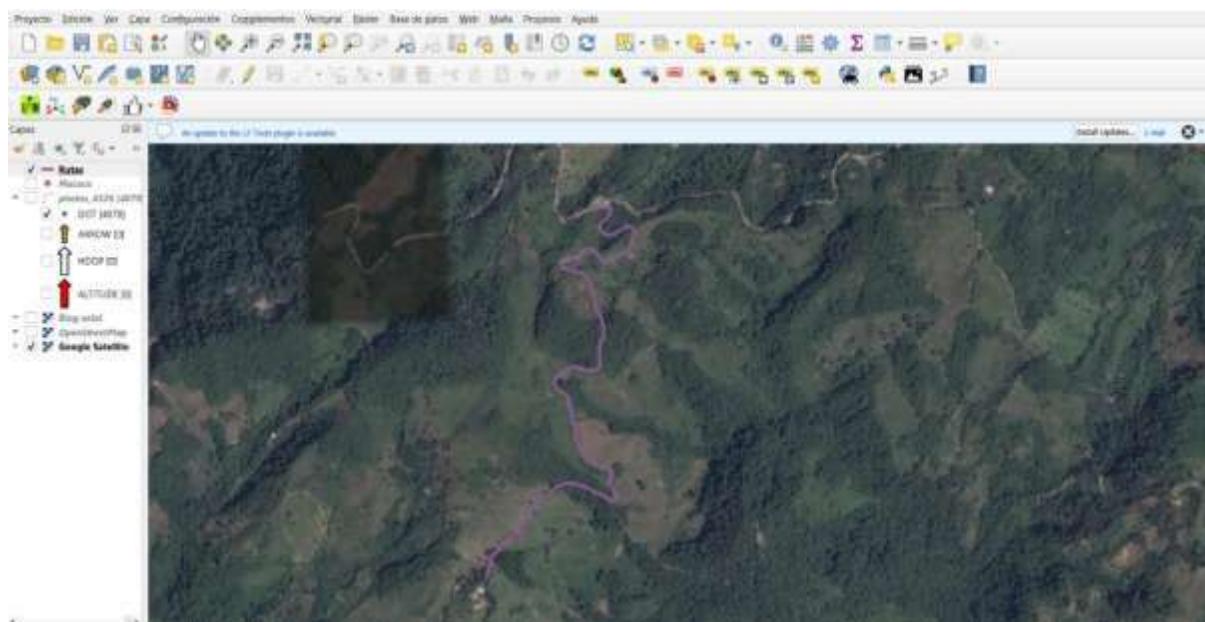


Figura 12. Generación de Ruta en QGIS

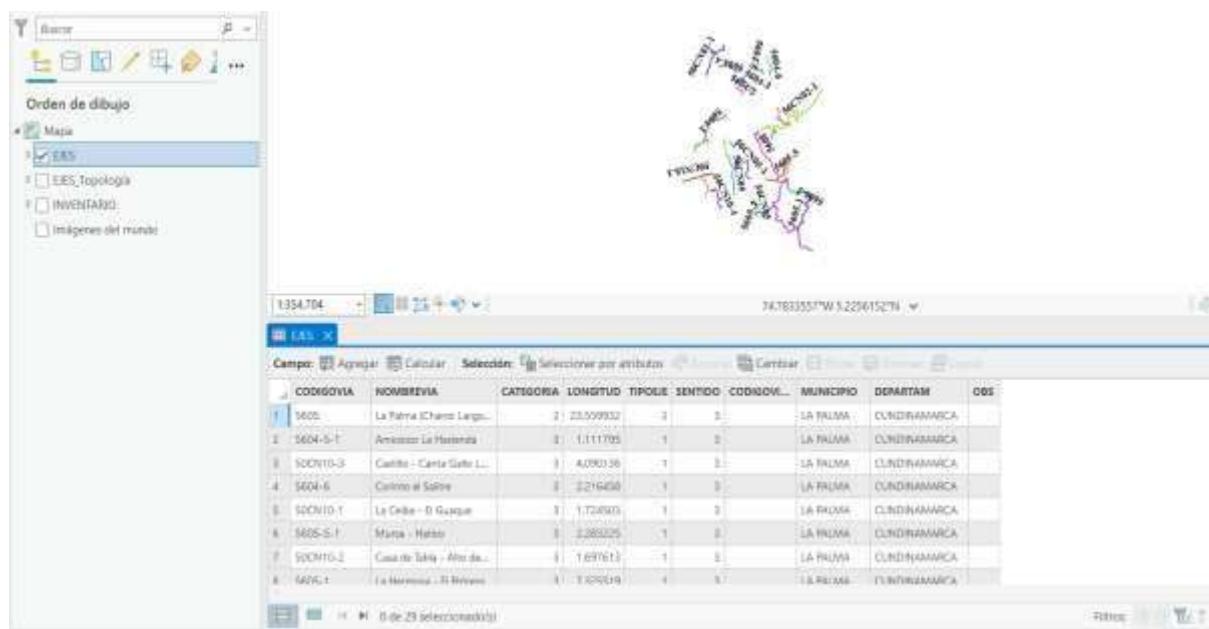


Figura 13. Estructura de campos de la Capa Shapefile de EJES en ArcGIS Pro

Por otro parte, la capa de ejes resultante inicialmente carece de atributos, por lo que se procede a vincularla con la base de datos CSV mediante la función "Unir Tabla" en ArcGIS. Este proceso conecta ambos archivos, enriqueciendo la capa geométrica con la información alfanumérica correspondiente.

7.3.1.2 ETIQUETADO DE IMÁGENES

Utilizando la descarga de datos inicial, se accede al archivo que contiene el registro fotográfico capturado durante el levantamiento. Mediante el programa Horus Movie Maker, se procede a la concatenación y procesamiento de todos los fotogramas obtenidos durante la misión. Como resultado de este proceso de unión y sincronización, se genera un archivo con extensión. IDX, el cual constituye el elemento central que habilita múltiples funcionalidades dentro del programa Horus Movie Player para el análisis y extracción de información geoespacial.

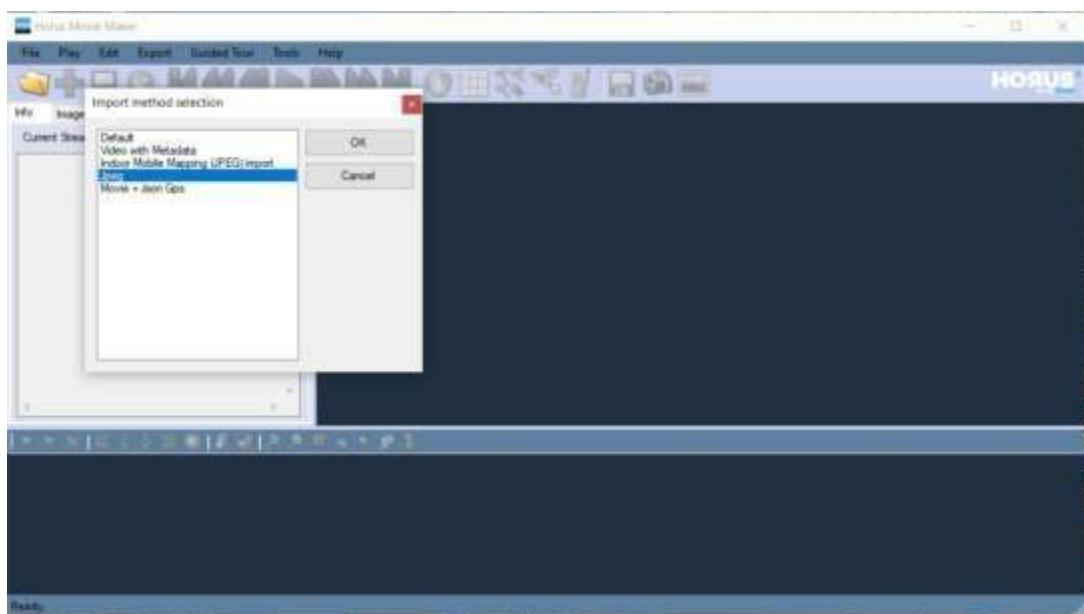


Figura 14. Interfaz de Horus Movie Maker

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

Una vez generado el archivo .IDX, se procede en Horus Movie Player a la creación de capas temáticas para el etiquetado y clasificación de los elementos viales establecidos en la Resolución 412 del Ministerio de Transporte. Estas capas soportan múltiples geometrías incluyendo puntos, líneas, polilíneas y polígonos.

Para el inventario vial se emplean principalmente dos tipos de geometrías: puntos para la geolocalización precisa de elementos específicos, y líneas para la medición de componentes que requieren dimensionamiento, tales como ancho de calzada, longitud de obras de drenaje, distancias entre elementos de señalización, entre otros parámetros métricos relevantes para la caracterización de la infraestructura vial.

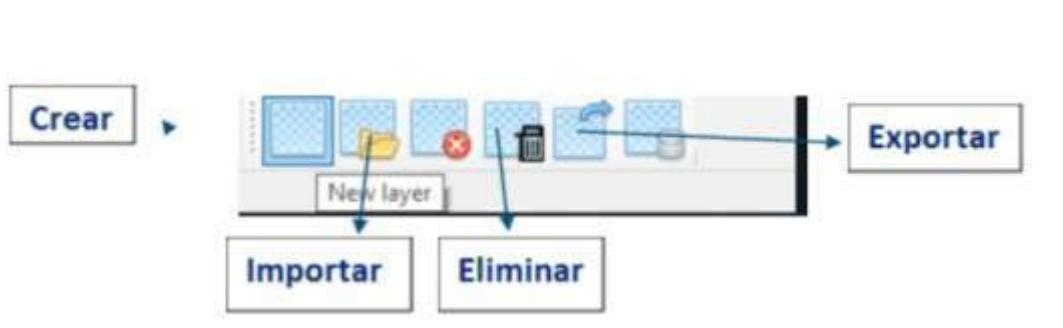


Figura 15. Barra de Capas en Horus Movie Player

Durante la creación de las capas, se deben configurar los campos de la base de datos correspondientes a cada capa específica, incluyendo atributos como nombre de vía, longitud, tipo de daño, entre otros elementos definidos para el inventario vial.

Es fundamental que la tipología de estos campos coincida exactamente con las especificaciones establecidas en la Resolución 412 del Ministerio de Transporte. Si la normativa define que el campo "nombre de vía" debe ser de tipo texto, la base de datos debe configurarse con esa misma tipología, garantizando así que el sistema únicamente permita el ingreso de caracteres alfanuméricos y rechace automáticamente datos numéricos o de fecha que no correspondan al tipo de campo establecido.

Esta correspondencia en los tipos de datos asegura la integridad de la información capturada y el cumplimiento normativo durante el proceso de inventario vial.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

Tabla 3. Estructura de Campos para el inventario de Sitios Críticos

Fuente: Resolución 412 de 2020 del Ministerio de Transporte

SITIOS CRÍTICOS: TIPO DE GEOMETRÍA: PUNTO				
Nombre	Tipo	Descripción	Dominio	Oblig.
CODIGOVIA	Texto	CODIGOVIA del registro asociado a la capa EJES	Texto de 4 a 15 caracteres	SI
FECHA	Texto	Fecha de toma de información en campo asociada al registro	Texto de 10 caracteres en formato: AAAA-MM-DD	SI
LADO	Entero	Lado de la vía en el que se encuentra el sitio crítico	1 = Lado derecho en sentido definido para la vía 2 = Lado izquierdo en sentido definido para la vía	SI
TIPO	Entero	Tipo de sitio crítico	1 = Hundimientos de subbase o pérdida de la banca 2 = Detritos en la vía 3 = Abultamiento sobre o bajo la carretera 4 = Cambios de forma 5 = Deformación de estructuras adyacentes 6 = Erosión 7 = Derrumbes 8 = Deslizamientos 9 = Grietas de tracción en carreteras o en los taludes	SI
SEVERIDAD	Entero	Severidad del sitio crítico	1 = Sin daño o daño insignificante 2 = Daño pequeño, reparación no necesaria 3 = Daño pequeño, reparación necesaria 4 = Daño grave, reparación urgente	SI
FOTO	Texto	Nombre de la foto.	Texto de 4 a 15 caracteres	SI
RUTAFOTO	Texto	URL de ubicación del archivo fotográfico en formato JPG	Texto de 4 a 250 caracteres	SI
MUNICIPIO	Texto	Nombre del Municipio	Texto de 4 a 25 caracteres	SI
DEPARTAM	Texto	Nombre del Departamento	Texto de 4 a 25 caracteres	SI
OBS	Texto	Observación. Se puede usar para almacenar información adicional del registro que de ninguna manera se pueda incluir en los demás campos.	Texto de 10 a 250 caracteres	NO

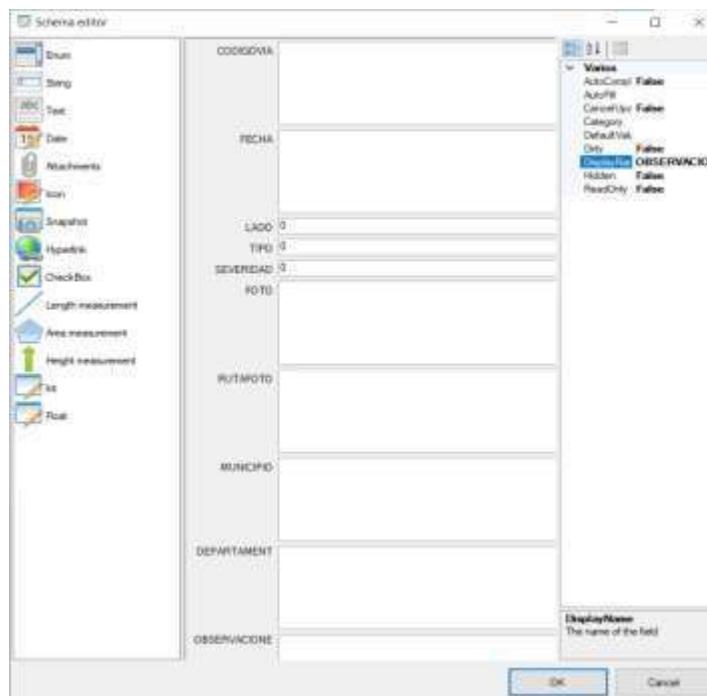


Figura 16. Base de Datos para el inventario de Sitios Críticos en Horus Movie Player

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

Una vez establecidas las diferentes capas temáticas, se procede al etiquetado de elementos sobre las imágenes capturadas. El primer paso consiste en ajustar la altura instrumental utilizando el valor registrado durante el trabajo de campo.

Posterior a esta configuración, aparece en pantalla un cursor de geometría circular cuya coloración indica el nivel de precisión disponible para la captura de información geoespacial en cada punto específico del levantamiento.



Figura 17. Barra de ajustes en Horus Movie Player

Nivel de precisión a partir del cursor:

- ROJO: Baja precisión
- AMARILLO: Precisión media
- AZUL/VERDE: Buena precisión

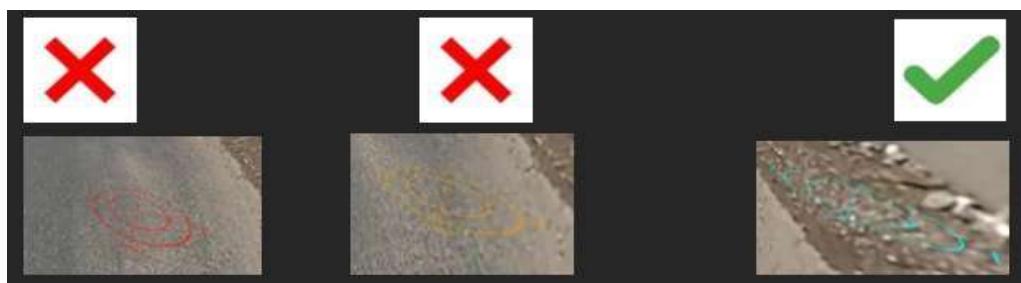


Figura 18. Nivel de Precisión a partir del Cursor en Horus Movie Player

Siguiendo los criterios de precisión establecidos, la captura de datos se ejecuta exclusivamente con cursor de coloración azul o verde. Para cada elemento vial identificado, se selecciona la capa temática correspondiente y se procede al etiquetado mediante puntos georreferenciados, completando simultáneamente los campos de la base de datos asociada.

Finalizado el etiquetado, las capas se exportan en formato Shapefile con sistema de referencia WGS84, habilitando su procesamiento posterior en QGIS o ArcGIS. Los archivos se organizan en carpetas identificadas con el nombre de la misión para facilitar su localización y posibles correcciones. La exportación genera archivos individuales por cada elemento registrado; si una capa contiene 20 sitios críticos, se crean 20 archivos Shapefile independientes. Para mantener la estructura requerida de una capa por tipo de elemento vial, se utiliza la herramienta "Unión de Capas Vectoriales" en QGIS, consolidando los múltiples archivos en una sola entidad geoespacial.

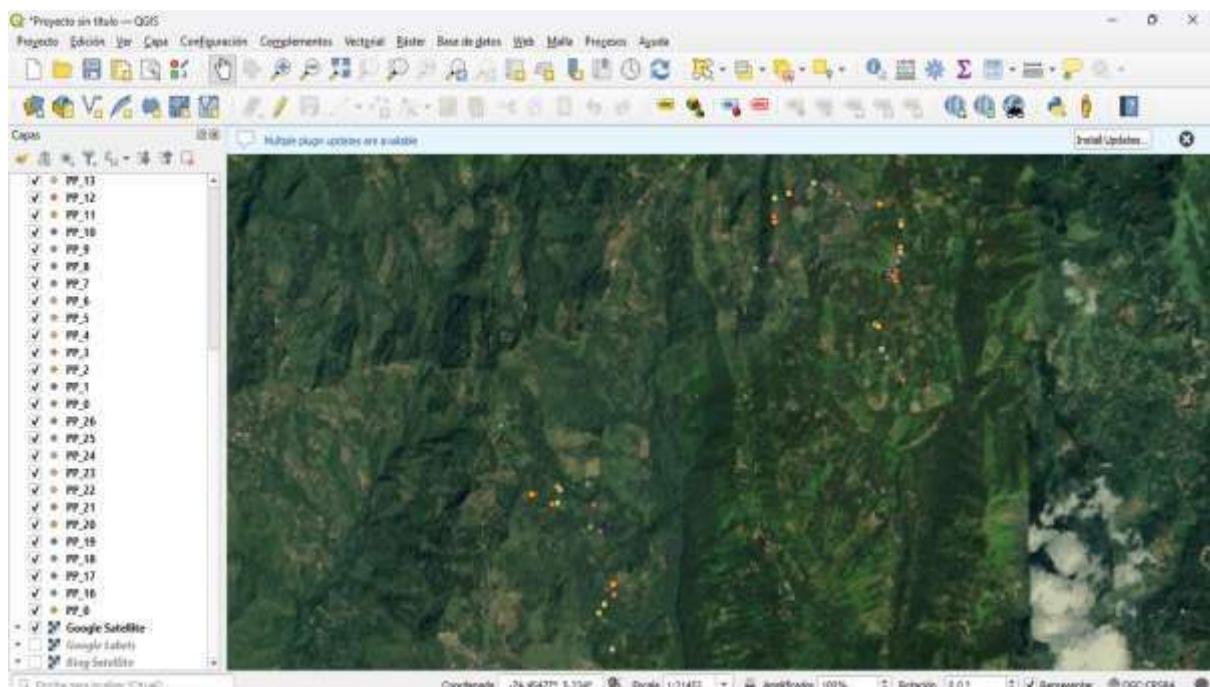


Figura 19. Capas de Puntos generados por Horus Movie Player en QGIS

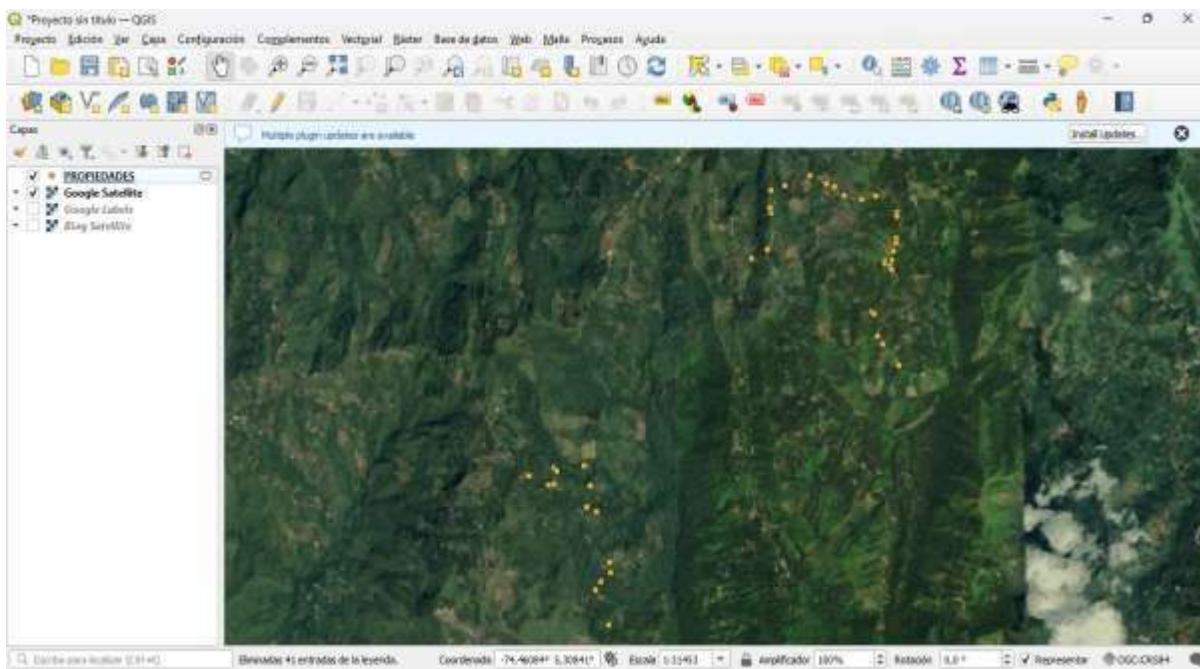


Figura 20. Unión de Capas Tipo Punto en QGIS

7.3.1.3 GENERACIÓN DE CAPA SHAPFILE “PROPIEDADES”

El Shapefile generado por Horus de la capa de propiedades, es un Shapefile de tipo punto, pero según la Resolución 412 de 2020 la capa propiedades debe ser una capa tipo línea, que debe ser idéntica en cuanto geometría y longitud a la capa ejes, el procedimiento es el siguiente:

- La capa de ejes se debe duplicar y reescribir la base de datos a la capa de propiedades.
- La capa de propiedades generada en Horus es un Shapefile de puntos, esta se debe acercar a la capa duplicada de ejes que ahora es de propiedades, este acercamiento se debe hacer con dos pasos:
 1. Mediante la herramienta **Near** en ArcGIS Pro, calcula la distancia entre una o más entidades y determina la entidad más cercana.
 2. Mediante una línea de código de Python, toma estas distancias calculadas de la función Near y traslapa una capa con la otra.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

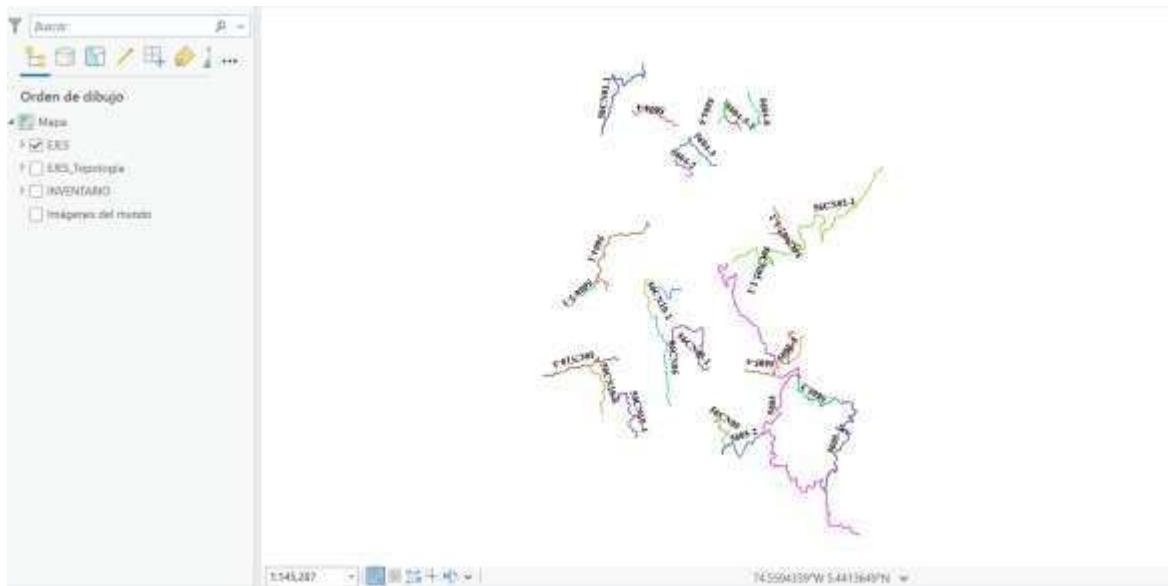


Figura 21. Capa Shapefile de Ejes en ArcGIS Pro

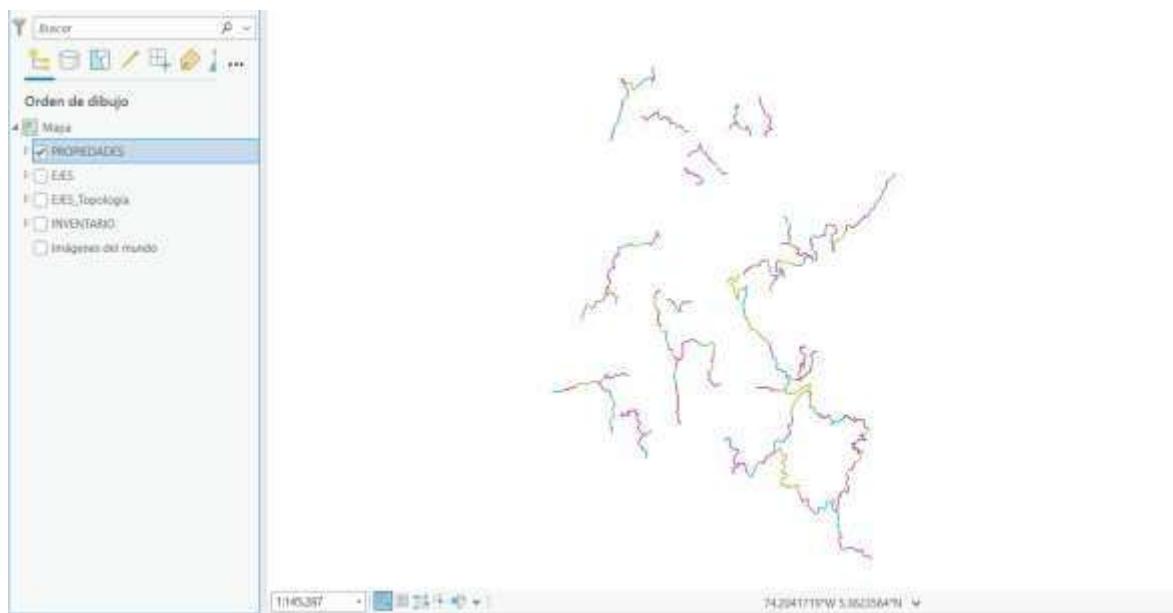


Figura 22. Capa Shapefile de Propiedades en ArcGIS Pro

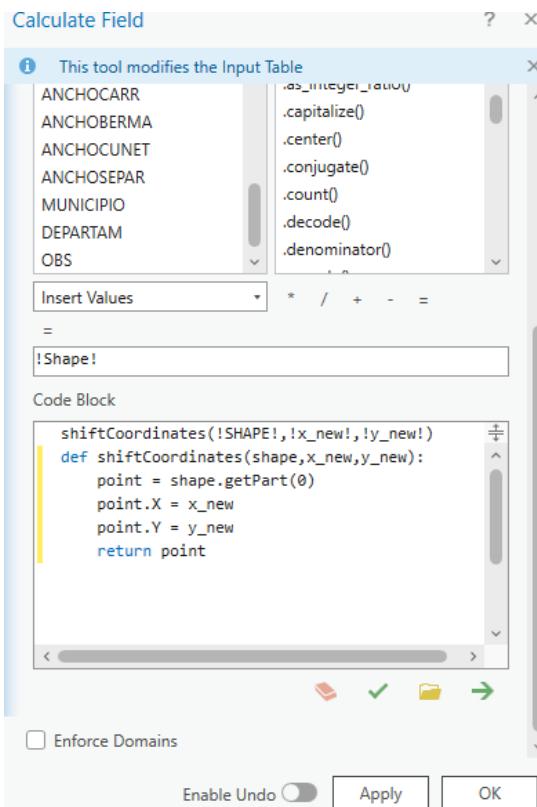


Figura 23. Código de Python para superponer Capas en ArcGIS Pro

El código de Python observado en la Figura 26 implementa una función denominada **shiftCoordinates** que permite desplazar las coordenadas geográficas de elementos espaciales dentro de ArcGIS Pro. La función recibe tres parámetros: La geometría original del elemento (**!SHAPE!**), y los valores de desplazamiento en las coordenadas X e Y (**!x_new!, !y_new!**). El proceso consiste en extraer el punto centroide de la geometría mediante **shape.getPart (0)**, crear un nuevo punto sumando los valores de desplazamiento a las coordenadas originales, y retornar el punto con las coordenadas corregidas. Esta herramienta es especialmente útil para realizar correcciones de posicionamiento sistemático en capas geográficas, permitiendo ajustar la ubicación de elementos cuando se detectan errores de georreferenciación o cuando es necesario alinear datos provenientes de diferentes fuentes o sistemas de coordenadas.

Tras superponer ambas capas y aplicar la función **Split line at point**, que segmenta la línea en sus intersecciones con los puntos, se generan múltiples tramos que heredan automáticamente los atributos del Shapefile de puntos en sus respectivos campos.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

Con la tabla de atributos completada, se procede al cálculo de la pendiente expresada en grados sexagesimales, conforme a los requerimientos establecidos en la resolución del Ministerio de Transporte. El procedimiento consiste en aplicar la fórmula estándar para determinar la pendiente porcentual y posteriormente convertir este valor a la unidad angular solicitada.

La fórmula base para el cálculo de pendiente es:

$$\text{Pendiente (\%)} = (\text{Diferencia de elevación} / \text{Distancia horizontal}) \times 100$$

Posteriormente, para la conversión a grados sexagesimales se utiliza:

$$\text{Pendiente (°)} = \text{arctan (Pendiente \% / 100)}$$

Este cálculo se implementa directamente en la calculadora de campos de ArcGIS, generando automáticamente los valores de pendiente para cada segmento según las especificaciones normativas. El proceso de cálculo de pendiente se debe realizar en cada segmento generado mediante el corte de la polilínea, puesto que debe evaluar el tipo de terreno al que corresponde la propiedad de la vía, y este tipo de terreno se clasifica mediante la pendiente correspondiente a cada tramo.

Tabla 4. Cálculo de Pendiente para Tramos en Excel

PENDIENTE EN GRADOS SEXAGESIMALES				
FID	PENDIENTE	TIPOTERR	TIPO_TERRENO_CAL	PEND_SeXages
0	8.414	3	1	4.809
1	-7.6	2	2	-4.346
2	6.7	2	2	3.833

Tabla 5. Cálculo de Pendiente para Tramos en Excel

PENDIENTE EN PORCENTAJE		
COTA 1	89	PORCENTAJE
COTA 2	28	8.414
DISTANCIA H	725	

7.3.1.4 GENERACIÓN DE CAPAS SHAPFILE “TIPO PUNTO”

La generación de capas Shapefile tipo punto son clave en la estructuración del inventario vial georreferenciado, donde se procesan sistemáticamente todos los elementos identificados durante el levantamiento mediante el sistema de mapeo móvil. Como se observó anteriormente cada elemento pasa por un proceso de etiquetado donde se asignan los atributos temáticos correspondientes según las especificaciones técnicas del inventario. Posteriormente, se ejecuta la exportación individual de cada categoría de elementos, generando archivos Shapefile independientes que conservan la información geométrica y alfanumérica. Este procedimiento se replica de manera uniforme para todos los elementos viales tipo punto contemplados en la metodología. Una vez completado el proceso integral, se obtienen cuatro capas Shapefile de tipo punto que conforman el inventario vial, estas son:

- **SITIOSCRITICOS**
- **OBRASDRENAJE**
- **MUROS**
- **PUENTES**

7.3.1.5 GENERACIÓN DE CAPA SHAPFILE “FOTOEJES”

Según la Resolución 412 de 2020 en la capa Shapefile de FOTOEJE se debe presentar un registro fotográfico digital, en donde se capture el inicio y fin de cada vía, así mismo el eje o sección transversal de la misma cada 200 metros aproximadamente, obteniendo un registro visual claro que permita verificar las condiciones reportadas en la capa PROPIEDADES. Para generar esta capa es necesario usar la capa de EJES como insumo y aplicar herramientas de ArcGIS Pro de la siguiente forma:

- Crear una nueva capa o Shapefile tipo punto que se llame FOTOEJE.
- En la cinta, hacer clic en la pestaña **Editar**. En el grupo **Entidades**, hacer clic en **Crear** .
- En el panel **Crear entidades**, hacer clic en la entidad de punto FOTOEJE.
- Hacer clic en la herramienta **Crear puntos a lo largo de la línea** .

- Seleccionar una entidad de polilínea, en este caso, el eje vial que requiere la creación de FOTOEJES.
- Hacer clic en la pestaña **Distancia igual** .
- Haga clic en el botón **Orientación** para especificar el extremo final a partir del cual se mide la entidad de puntos. El botón muestra la orientación actual.
- En el cuadro **Distancia**, escribir la distancia entre la que se debe crear cada entidad. En este caso, cada 200 metros y al inicio del eje vial. La herramienta calcula la cantidad de entidades de puntos que se debe crear.
- Hacer clic en **Crear**.

Una vez completado este proceso, se generan automáticamente los puntos de FOTOEJE distribuidos uniformemente a lo largo del eje vial seleccionado. Estos puntos servirán como referencia geográfica para la posterior captura y vinculación del registro fotográfico digital. Es importante verificar que la cantidad de puntos generados sea coherente con la longitud del tramo vial. Posteriormente, se procede a la asignación de los atributos correspondientes a cada punto creado, siguiendo las especificaciones establecidas en la Resolución 412 de 2020. Este procedimiento se debe repetir para cada eje vial presente en el proyecto, asegurando que todos los tramos cuenten con la distribución de puntos FOTOEJE correspondientes.

7.3.1.6 GENERACIÓN DE CAPA SHAPEFILE “PRS”

La generación de la capa Shapefile PRS (Puntos de Referencia del Sistema) constituye un componente esencial del inventario vial georreferenciado, siguiendo la misma metodología aplicada para las capas tipo punto explicada anteriormente en el documento. Según la Resolución 412 de 2020 la capa PRS almacena información de puntos de referencia desde el inicio de una vía en términos de la distancia recorrida a través de cada una de sus calzadas, establecidos en intervalos de aproximadamente 1 km. Para algunas vías del país, los puntos ya están definidos y existe un elemento físico asociado denominado poste de referencia; en estos casos, los puntos a reportar serán los existentes. En este caso, no hay puntos previamente definidos, y éstos se deberán establecer de forma uniforme cada 1 km desde el inicio de la vía.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

Por ejemplo, una vía de 15 km tendrá 16 puntos asociados por calzada y una de 12,7 km tendrá 13 puntos; lo anterior para el caso de vías de calzada sencilla o de calzada doble cuyas calzadas sean paralelas a través de toda la vía.

El proceso de creación sigue los mismos pasos metodológicos descritos anteriormente: creación de la capa Shapefile tipo punto denominada "PRS", aplicación de las herramientas de ArcGIS Pro para crear puntos a lo largo de la línea, configuración de distancia igual (en este caso 1000 metros), y asignación de los atributos correspondientes. Este procedimiento se replica para cada eje vial del proyecto, garantizando la estandarización y coherencia en la distribución de los puntos de referencia del sistema vial.

7.4 SISTEMA DE REFERENCIA

Establecer un sistema de coordenadas adecuado constituye un elemento esencial para asegurar la exactitud y uniformidad de la información geográfica en cualquier proyecto de cartografía. En este caso, se seleccionó el sistema EPSG:4686, denominado Magna-SIRGAS, el cual representa el marco de referencia oficial establecido en Colombia y es frecuentemente empleado para asegurar la congruencia de los datos espaciales a nivel nacional. Su aplicación correcta garantiza que las coordenadas reflejen con exactitud la posición geográfica real de los elementos territoriales. El proceso de verificación del sistema de referencia EPSG:4686 implicó confirmar que todas las capas de información geográfica procesadas se encontraran configuradas bajo este sistema, asegurando así la homogeneidad y exactitud de la información espacial. Este sistema EPSG:4686 corresponde a una proyección geodésica que se encuentra alineada con el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), y esta diseñada para reducir al mínimo las deformaciones al trabajar con información a nivel de superficie terrestre, fundamental para desarrollos de infraestructura y transporte. Considerando que el sistema de cartografía móvil empleado para la captura de información geográfica produce coordenadas crudas, fue indispensable verificar que estas se encontraran correctamente proyectadas bajo el sistema EPSG:4686 para garantizar su exactitud espacial. Las actividades principales dentro de esta verificación son:

- **COMPROBACIÓN DE LA PROYECCIÓN DE COORDENADAS**

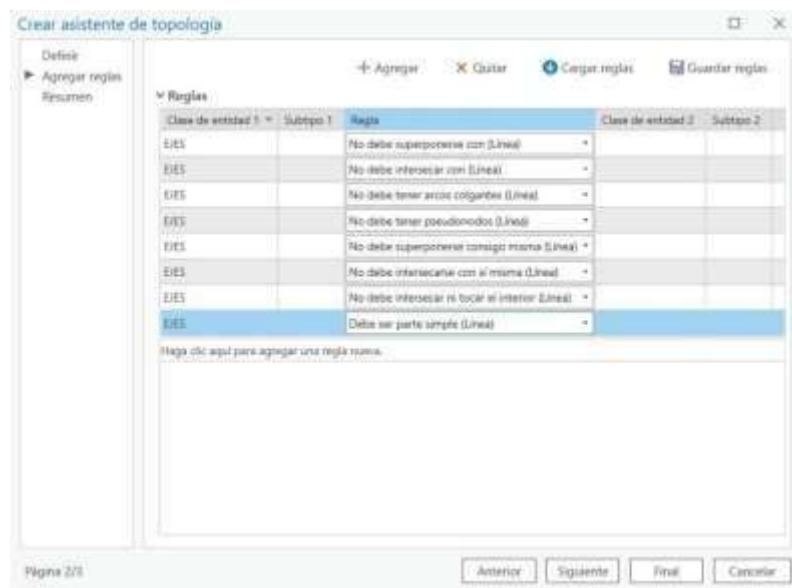
Se revisó que cada una de las capas geográficas estuviera correctamente proyectada en el sistema EPSG:4686, lo que implicó una comparación detallada entre las coordenadas registradas por el sistema de mapeo móvil y las coordenadas correctas según el estándar geodésico; esto debido a que cualquier desviación podría haber causado errores en la interpretación y el uso de los datos geográficos, lo que afectaría la precisión.

• REVISIÓN DE LA TOPOLOGÍA

Finalmente, se ejecuta una validación topológica para identificar y corregir errores geométricos como traslapes, discontinuidades, duplicaciones o conexiones faltantes. Esta revisión garantiza que los ejes mantengan continuidad espacial, conexiones correctas entre segmentos y ausencia de vacíos, asegurando la integridad y precisión de la capa vial final.

La topología es un conjunto de reglas espaciales que definen cómo deben relacionarse entre sí las entidades geográficas, incluye un modelo de datos topológicos con un formato de almacenamiento abierto para entidades simples (clases de entidad de puntos, líneas y polígonos), reglas topológicas y coordenadas topológicamente integradas entre las entidades con geometría compartida, con esto se puede definir reglas de integridad que permite visualizar cómo se comportan las distintas entidades.

Desde ArcGIS Pro con las distintas capas que tenemos podemos mostrar las reglas topológicas que hay entre ellas, además de poder ver y corregir los distintos errores que se encuentren. Al momento de hacer la validación de errores, la topología hace una validación de las reglas así detecta inconsistencias.



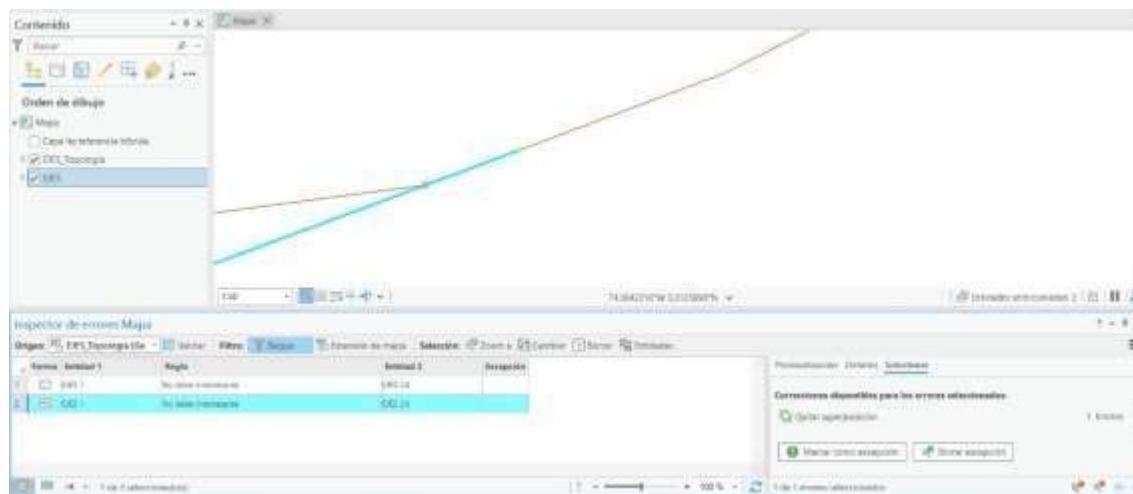


Figura 24. Topología de la capa Shapefile de EJES en ArcGIS Pro

• CONEXIÓN Y COHERENCIA ENTRE SEGMENTOS VIALES:

Un elemento fundamental en la revisión topológica consistió en confirmar la adecuada conexión entre los tramos viales. Este proceso implicó revisar que no se presentaran interrupciones o vacíos entre los tramos, y que los puntos de encuentro entre distintos segmentos mantuvieran una unión apropiada. Cuando se presentan fallas en la conectividad, pueden surgir inconvenientes en el estudio de las redes de transporte, comprometiendo la creación de rutas y el cálculo de distancias. Complementando la revisión topológica individual de cada capa, se desarrolló un análisis de compatibilidad espacial entre las diversas capas geográficas. Se confirmó que las relaciones espaciales entre las capas mantuvieran coherencia y lógica.

• CONSISTENCIA TEMÁTICA

La coherencia temática en este trabajo comprendió una serie de procedimientos fundamentales, orientados a garantizar que los datos geoespaciales fueran confiables y se ajustarán a los requerimientos del estudio de redes viales. Entre las principales tareas ejecutadas se encontraron:

- **REVISIÓN DE LOS ATRIBUTOS VINCULADOS A CADA SHAPEFILE:**

Cada capa geográfica posee una tabla de atributos que almacena información temática pertinente, como el código de la vía, el tipo de superficie, su condición de mantenimiento, y otros aspectos esenciales para el registro vial. Se efectuó una revisión detallada de esta tabla de atributos para garantizar que todos los valores mantuvieran coherencia y estuvieran apropiadamente vinculados con las geometrías respectivas.

8. RESULTADOS

Como resultado se obtiene el inventario vial completo y la consolidación de una base de datos estructurada, preparada para su integración al SINC en cumplimiento con los estándares establecidos por la Resolución 412 de 2020. Esta base de datos proporciona una caracterización detallada de la infraestructura vial en La Palma, Cundinamarca, constituyendo un recurso estratégico para la planificación y gestión de proyectos de mejoramiento vial. La metodología implementada garantiza que los datos sean accesibles, actualizables y reutilizables para futuras intervenciones, fortaleciendo la capacidad municipal para la toma de decisiones informadas sobre su infraestructura vial.

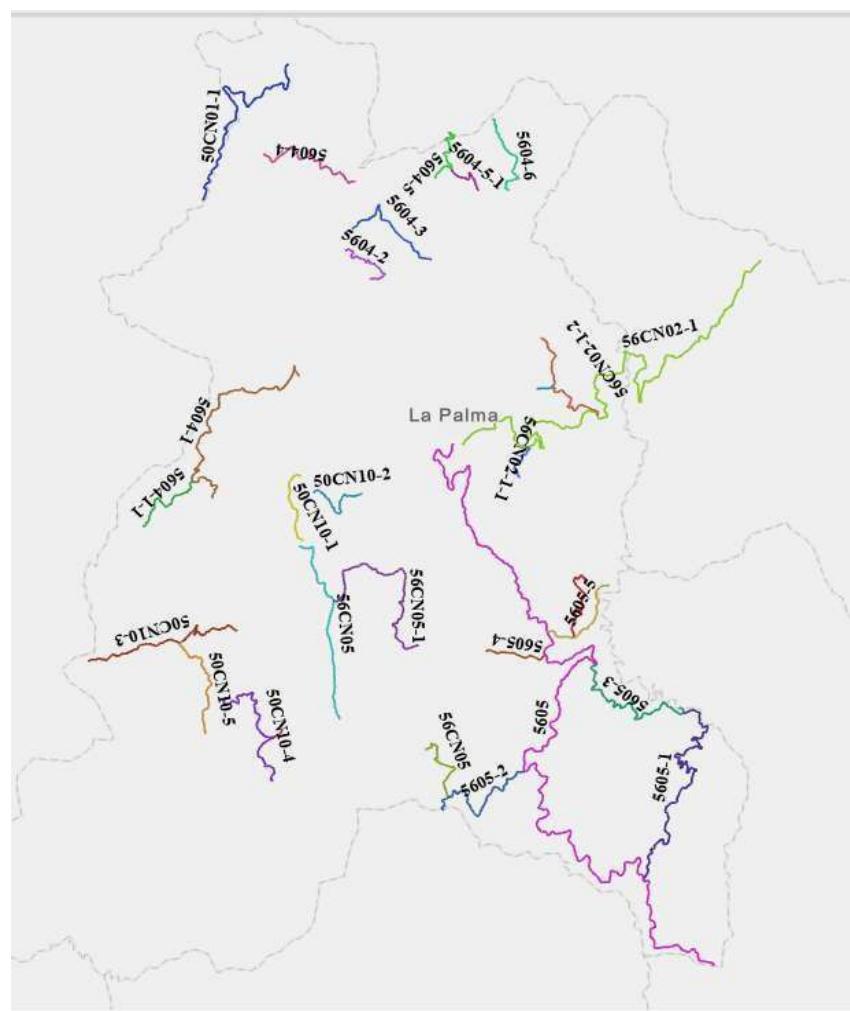


Figura 25. Vías Inventariadas en La Palma, Cundinamarca

Tabla 6. Total, de Kilómetros Inventariados en La Palma, Cundinamarca

CODIGOVIA	NOMBREVIA	LONG (KM)
5605	La Palma (Charco Largo) - Pacho Zipaquirá	23.559932
5604-5-1	Amococo La Hacienda	1.111795
50CN10-3	Castillo - Canta Gallo Las Vueltas	4.090136
5604-6	Corinto el Salitre	2.216458
50CN10-1	La Ceiba - El Guaque	1.724503
1/05/5605	Murca - Hatico	2.283225
50CN10-2	Casa de Tabla - Alto de Salinas	1.697613
5605-1	La Hermosa - El Potrero	7.325519
5604-1	La Montaña - Supane	6.000571
50CN01-1	Río Pata - MinaSal	5.710937
5604-5	Entrada Amococo	1.842047
56CN05	Altodelsaca	2.029251
50CN10-4	El Hato Marcha	3.952313
50CN10-4-1	EL Hato Marcha - La Piscina	0.239691
56CN05-1	Portachuelo - La Laguna	4.661638
1/01/5604	La Montaña - Sabaneta	1.909803
50CN10-5	El Hato - Las Vueltas	2.541884
5604-4	Loma de Medio - Escuela	2.875884
5604-2	Minipi deTrianas Parcelas	1.739143
56CN05	Minipi Hoya de Tudela	4.318478
5605-4	Murca - Alpujarra	1.37067
5605-5	Murca - Río Arriba	2.26776
56CN02-1	La Palma Naranjal	14.530436
5605-3	Puerto Leticia - La Curva	4.038578
56CN02-1-1	Sarrapopa - Escuela	0.96519
5605-2	Hinche el Bosque	3.355972
56CN02-1-2	Taucury 1 - Escuela	2.975549
56CN02-1-2-1	Taucury 2 - Camino Real	0.367848
5604-3	Cerro 26 - Minipi de Trianas	2.796384
TOTAL DE INVENTARIO EN KM		114.499

En la figura 25 y en la tabla 6 se presentan los resultados del inventario vial realizado en el municipio de La Palma, Cundinamarca, detallando la extensión total de la red vial inventariada. El inventario abarcó 29 tramos viales identificados mediante códigos CODIGOVIA únicos. La longitud promedio de los tramos es de aproximadamente 4.58 km, evidenciando la diversidad de la infraestructura vial del municipio que incluye tanto conexiones principales de gran longitud como accesos locales de menor extensión. El inventario consolidó un total de **114.499 kilómetros** de red vial, representando una caracterización integral de la infraestructura de transporte terrestre del municipio. Esta extensión total proporciona una base cuantitativa sólida para la planificación vial y la toma de decisiones relacionadas con el mantenimiento, mejoramiento y gestión de la red de carreteras locales de La Palma.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

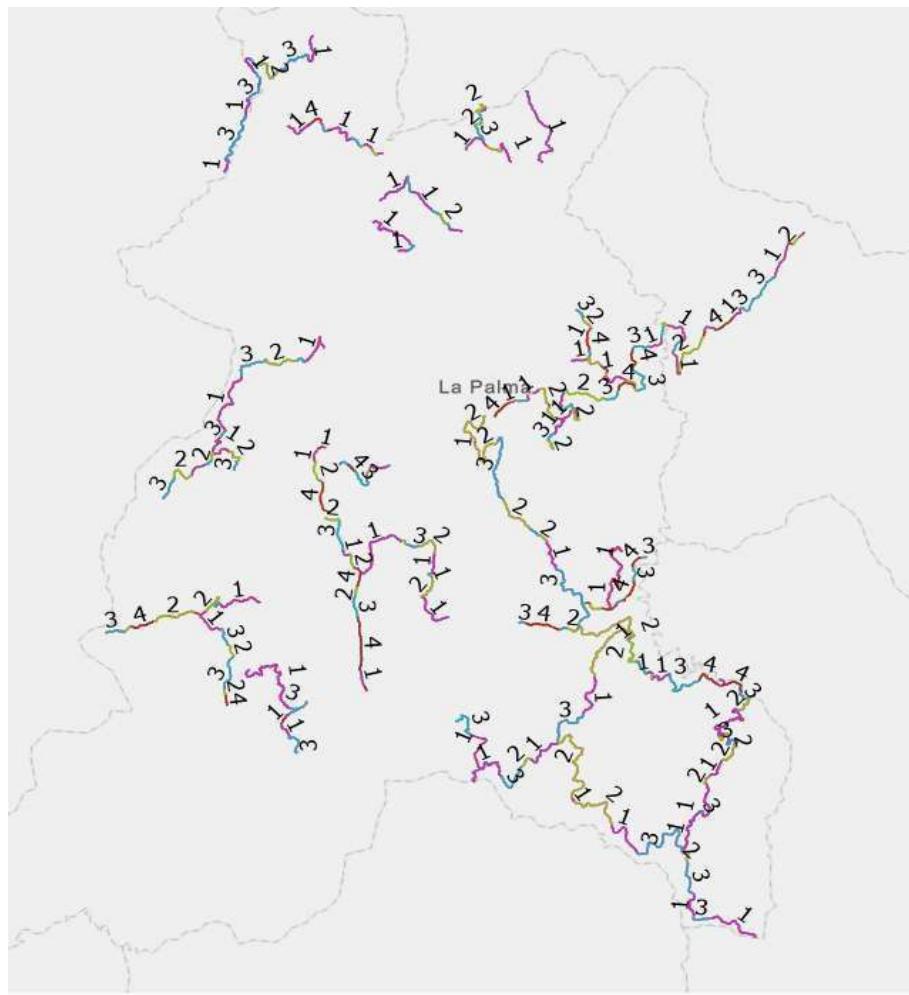


Figura 26. Propiedades Inventariadas en La Palma, Cundinamarca

Tabla 7. Propiedades en La Palma, Cundinamarca

CODIGOVIA	LONGITUD	TIPOTERR	PENDIENTE	TIPOSUPERF	ESTADO	ANCHOCARR	ANCHOCUNET
5605	336.244978	1	-6.284	3	1	2.14	0
5605	890.682398	1	5.264	3	1	2.13	0.4
5605	763.06905	3	1.877	3	1	2.14	0.4
5605	602.97709	1	5.597	3	1	2.14	0.4
5605	387.393781	3	2.367	1	2	2.5	0
5605	343.30846	2	-4.335	3	1	2.14	0.35
5605	1110.164579	1	5.506	3	1	2.14	0.35

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

5605	1292.509816	3	2.615	3	1	2.2	0.4
5605	597.409931	3	-2.135	3	1	2.1	0.35
5605	61.415888	1	5.618	1	2	2.2	0
5605	123.083369	1	4.648	1	2	1.9	0
5605	370.647048	2	4.328	3	1	2.14	0.4
5605	929.383134	2	3.569	3	1	2.13	0.3
5605	1054.955554	2	3.8	3	1	2.14	0.4
5605	1075.853845	3	-2.982	3	1	2.1	0.3
5605	1245.885642	2	4.099	3	1	2.16	0.4
5605	630.00698	1	-6.071	3	2	2.15	0.3
5605	1237.400361	2	-4.253	3	2	2	0.3
5605	107.206695	1	-7.454	1	2	1.8	0
5605	238.196174	1	-8.13	3	1	2.14	0.3
5605	110.702015	1	12.308	1	2	2	0
5605	537.472567	3	-1.92	3	1	2.15	0.3
5605	2270.86682	2	-4.16	3	1	2.2	0.4
5605	1257.490959	3	3.319	3	1	2.16	0.3
5605	728.081256	1	4.809	3	1	2.14	0.4
5605	798.226976	2	3.442	3	1	2.14	0.3
5605	187.260476	3	2.45	1	2	1.8	0
5605	214.50963	2	-3.476	3	1	2.14	0.3
5605	1550.089205	3	1.774	3	1	2.15	0.3

En la tabla 7 y en la figura 26 permitió caracterizar un total de **416 propiedades** en la red vial terciaria del municipio de La Palma, consolidando información técnica clave para la gestión de la infraestructura. Los resultados muestran una longitud total aproximada de **114,5 km**. En cuanto a las condiciones físicas, se identificaron diferentes tipos de terreno (plano, onulado y montañoso), con pendientes variables que inciden directamente en la transitabilidad.

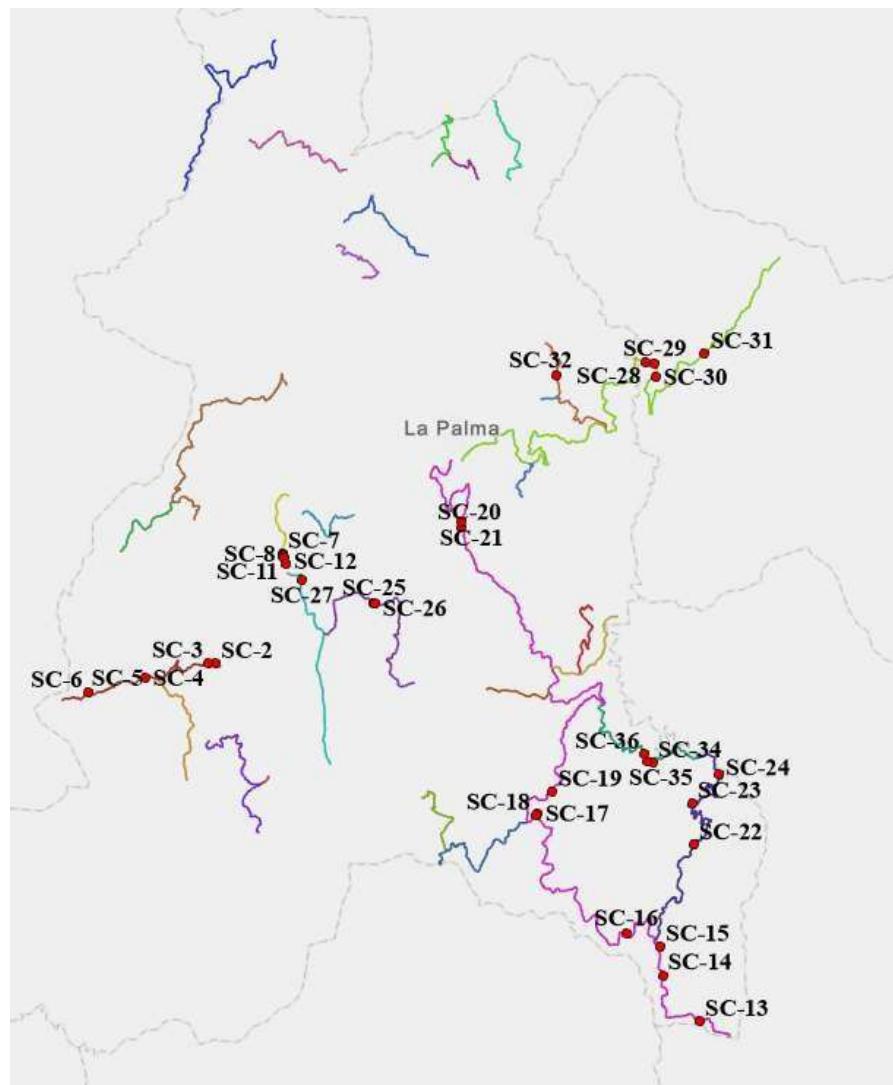


Figura 27. Sitios Críticos Inventariados en La Palma, Cundinamarca

Tabla 8. Sitios Críticos en La Palma, Cundinamarca

CODIGOVIA	LADO	TIPO	SEVERIDAD	FOTO
50CN10-1	1	1	3	SC-9
50CN10-1	1	1	3	SC-8
50CN10-1	1	2	2	SC-7
50CN10-3	2	1	4	SC-6
50CN10-3	1	1	4	SC-5
50CN10-3	1	1	2	SC-4
5605-3	1	1	4	SC-36
5605-3	1	1	3	SC-35
5605-3	1	1	2	SC-34
56CN02-1-2	1	1	4	SC-32
56CN02-1	1	1	3	SC-31
56CN02-1	1	1	4	SC-30
50CN10-3	1	1	2	SC-3
56CN02-1	2	1	3	SC-29
56CN02-1	1	1	4	SC-28
56CN05	1	1	3	SC-27
56CN05-1	1	1	4	SC-26
56CN05-1	1	1	3	SC-25
5605-1	1	1	3	SC-24
5605-1	1	1	3	SC-23
5605-1	2	1	3	SC-22
5605	2	1	4	SC-21
5605	2	1	4	SC-20
50CN10-3	2	1	2	SC-2
5605	2	1	4	SC-19
5605	2	1	4	SC-18
5605	2	1	3	SC-17
5605	1	1	4	SC-16
5605	1	1	3	SC-15
5605	2	1	3	SC-14
5605	2	1	4	SC-13
50CN10-1	2	1	2	SC-12
50CN10-1	1	1	2	SC-11
50CN10-1	1	1	4	SC-10
TOTAL DE SITIOS CRÍTICOS INVENTARIADOS				34

En la tabla 8 y en la figura 27 se presenta el inventario de sitios críticos identificados en La Palma, Cundinamarca. Se registraron un total de **34 sitios críticos** distribuidos a lo largo de la red vial inventariada, cada uno georreferenciado y clasificado según los parámetros normativos. Los sitios críticos inventariados se ubican principalmente en el lado izquierdo de la vía (LADO = 1). La clasificación por tipo de sitio crítico (TIPO) muestra una predominancia del tipo 1, que según la Resolución 412 corresponde a hundimientos de subsanante o pérdida de calzada, evidenciando problemas estructurales recurrentes en la infraestructura vial del municipio. En cuanto a la severidad, la mayoría de sitios presenta niveles 3 y 4, indicando condiciones que requieren atención prioritaria. La documentación fotográfica (campo FOTO) se realizó de manera sistemática con códigos como SC-35, SC-31, SC-28, garantizando la trazabilidad visual de cada sitio crítico conforme a los estándares normativos.

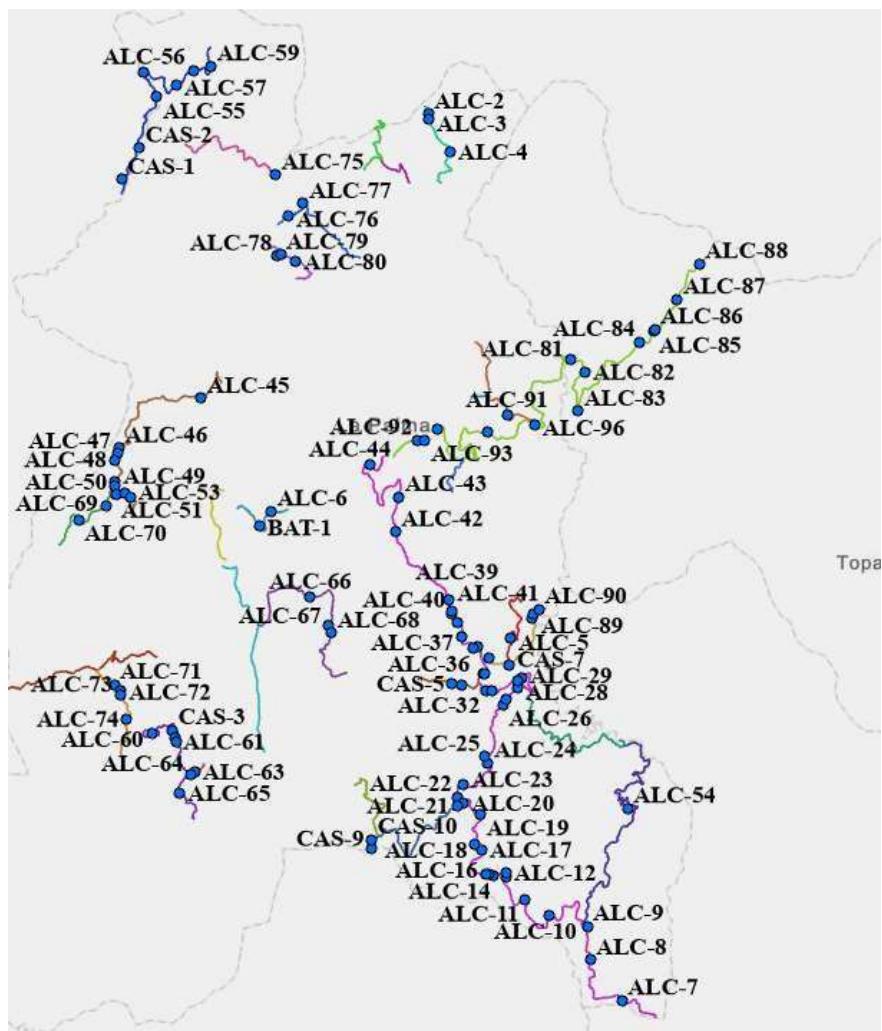


Figura 28. Obras de Drenaje Inventariadas en La Palma, Cundinamarca

Tabla 9. Obras de Drenaje en La Palma, Cundinamarca

CODIGOVIA	ESTADOSERV	ESTADOGEN	TIPO	LONGITUD	FOTO
5605	2	2	2	5	ALC-7
5605-5-1	2	2	2	3	ALC-5
5605	2	2	2	5	ALC-22
5605-1	1	2	2	3.6	ALC-54
50CN10-2	2	1	3	1.7	BAT-1
5604-6	2	2	2	4	ALC-2
5604-1	1	2	2	3.5	ALC-45
50CN01-1	2	2	4	3	CAS-1
5696	3	2	2	5	ALC-8
5604-6	2	2	2	3.8	ALC-3
5605	2	2	2	4.7	ALC-23
50CN10-2	2	2	2	4	ALC-6
50CN01-1	1	2	4	5	CAS-2
5604-1	1	2	2	4	ALC-46
5605	3	1	2	5.7	ALC-32
5605	2	2	2	4.5	ALC-17
5605	3	1	2	5	ALC-33
5605	2	2	2	4.4	ALC-18
5605	2	2	2	5	ALC-19
5605	3	1	2	4.8	ALC-34
5605	2	1	2	4.5	ALC-35
5605	2	2	2	4.8	ALC-20
5605	2	2	2	5.4	ALC-21
5605	3	1	2	4.7	ALC-36
5605	2	1	2	4.5	ALC-37
5605	2	1	2	4.8	ALC-38
5605	3	1	2	4.8	ALC-39
5605	2	1	2	4.7	ALC-40
5605	3	1	2	5	ALC-41
5605	2	1	2	5.5	ALC-24
50CN01-1	2	2	2	3.5	ALC-55
5605	3	1	2	5.7	ALC-9
5604-6	3	2	2	3.5	ALC-4
5604-1	2	2	2	3.7	ALC-47
5605	2	1	2	4.9	ALC-42
5605	2	2	2	4.8	ALC-43
5605	2	2	2	4.7	ALC-44
5604-1	1	2	2	4	ALC-48

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

5605	3	1	2	5.6	ALC-10
5605	3	1	2	6.3	ALC-25
50CN01-1	2	2	2	3.6	ALC-56
5604-1	2	2	2	3.6	ALC-49
5605	3	1	2	4.5	ALC-11
50CN01-1	2	1	2	3.7	ALC-57
5605	3	1	2	5.6	ALC-26
50CN01-1	1	2	2	4	ALC-58
5605	2	2	2	5.8	ALC-27
5604-1	2	1	2	3.6	ALC-50
5605	3	1	2	5.4	ALC-12
5605	2	1	2	6	ALC-13
50CN01-1	1	2	2	3.2	ALC-59
5605	2	2	2	4.8	ALC-28
5604-1	1	1	2	4.2	ALC-51
5606	3	2	2	4.6	ALC-29
5604-1	1	2	2	3.6	ALC-52
5605	2	1	2	5.8	ALC-14
5604-1	3	1	2	3.8	ALC-53
5605	2	2	2	5	ALC-15
5605	3	1	2	46	ALC-30
5605	3	2	2	4.7	ALC-31
5605	1	1	2	5	ALC-16
5604-3	2	2	2	3.7	ALC-76
56CN02-1-2	2	2	2	4	ALC-91
56CN02-1	1	2	2	3.5	ALC-81
5604-2	3	2	2	4	ALC-78
5605-5	3	2	4	3.5	CAS-6
50CN10-4	1	2	2	4.2	ALC-60
5604-4	2	2	2	3.8	ALC-75
50CN10-5	2	3	2	4.2	ALC-71
56CN05-1	2	2	2	3	ALC-66
5605-4	3	2	4	2	CAS-4
5605-2	2	2	4	3.4	CAS-9
1/01/5604	1	2	2	3.4	ALC-69
5605-2	2	2	4	3	CAS-10
5605-4	2	2	4	0.8	CAS-5
5604-3	2	2	2	3.8	ALC-77
50CN10-4	2	1	4	2.3	CAS-3
50CN10-5	2	2	2	4	ALC-72
56CN02-1	2	2	2	3.8	ALC-82
5604-2	2	2	2	3.8	ALC-79
5605-5	2	2	4	3.7	CAS-7

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

56CN05-1	2	2	2	3.2	ALC-67
1/01/5604	1	2	2	3	ALC-70
5604-2	2	1	2	3.7	ALC-80
50CN10-4	1	2	2	3.8	ALC-61
56CN02-1	2	2	2	3.2	ALC-83
50CN10-5	1	1	2	4.2	ALC-73
56CN05-1	2	2	2	3	ALC-68
5605-5	3	2	4	3.5	CAS-8
5605-5	3	1	2	3.5	ALC-89
56CN02-1	1	2	2	3.3	ALC-84
50CN10-4	1	3	2	3.8	ALC-62
50CN10-5	1	2	2	4	ALC-74
5605-5	2	2	2	3.5	ALC-90
50CN10-4	2	3	2	3.7	ALC-63
56CN02-1	1	2	2	3.4	ALC-85
56CN02-1	2	1	2	3.5	ALC-86
50CN10-4	2	2	2	3.8	ALC-64
50CN10-4	2	1	2	3.8	ALC-65
56CN02-1	2	1	2	3.4	ALC-87
56CN02-1	3	1	2	3.4	ALC-88
56CN02-1	2	2	2	4.4	ALC-92
56CN02-1	2	1	2	3.9	ALC-93
56CN02-1	1	2	2	4.0	ALC-94
56CN02-1	1	2	2	3.9	ALC-95
56CN02-1	2	2	2	5	ALC-96

TOTAL DE OBRAS DE DRENAJE INVENTARIADAS **106**

En la tabla 9 y en la figura 28 se presenta el inventario de obras de drenaje identificadas en La Palma, Cundinamarca. Se registraron un total de **106 obras de drenaje** distribuidas estratégicamente a lo largo de la red vial inventariada, cada una clasificada y georreferenciada según los estándares normativos. El inventario revela una predominancia de alcantarillas como principal tipo de obra de drenaje. Las obras de drenaje se encuentran principalmente en estado de servicio “**Colmatada**”. En cuanto al estado general, la mayoría de las obras presenta condiciones regulares.

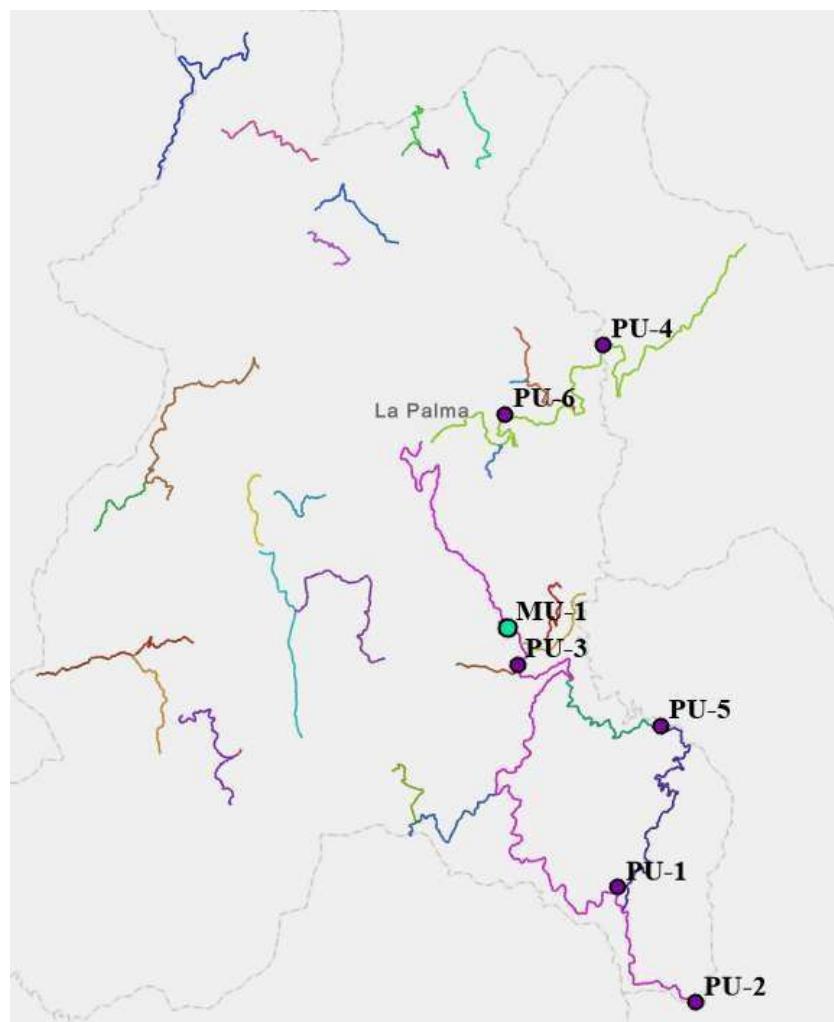


Figura 29. Puentes y Muros Inventariados en La Palma, Cundinamarca

Tabla 10. Muros en La Palma, Cundinamarca

CODIGOVIA	LONGITUD	DISTINI	LADO	ANCHCOR	ALTURA	FOTO
5605	9	16850.776	1	1	2	MU-1
TOTAL DE MUROS INVENTARIADOS						1

Tabla 11. Puentes en La Palma, Cundinamarca

CODIGOVIA	LONGITUD	NOMBRE	ESTADOSUP	ESTADOEST	FOTO	
56CN02-1	11	PUENTE-NARANJAL-2	3	3	PU-6	
56CN02-1	14	PUENTE-NARANJAL	3	2	PU-4	
5605-3	13	PUENTE_PUERTOLETICIA	1	2	PU-5	
5605	14	PUENETEMURCA	1	2	PU-3	
5605	13	PUENTECHARCOLARGO	1	1	PU-1	
5605	15	PUENTERIONEGRO	1	2	PU-2	
TOTAL DE PUENTES INVENTARIADOS						6

En la tabla 10, 11 y en la figura 29 se presenta el inventario de muros y puentes identificados en La Palma, Cundinamarca. Se documentó **1 Muro** ubicado en el CODIGOVIA 5605, con una longitud de 9 metros. En cuanto a puentes, se inventariaron **6 estructuras** distribuidas en diferentes tramos viales. Todas las estructuras presentan una sola luz y estados regulares. Las longitudes de los puentes oscilan entre 3.3 y 5 metros, indicando que se trata principalmente de estructuras menores para el cruce de corrientes hídricas locales.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

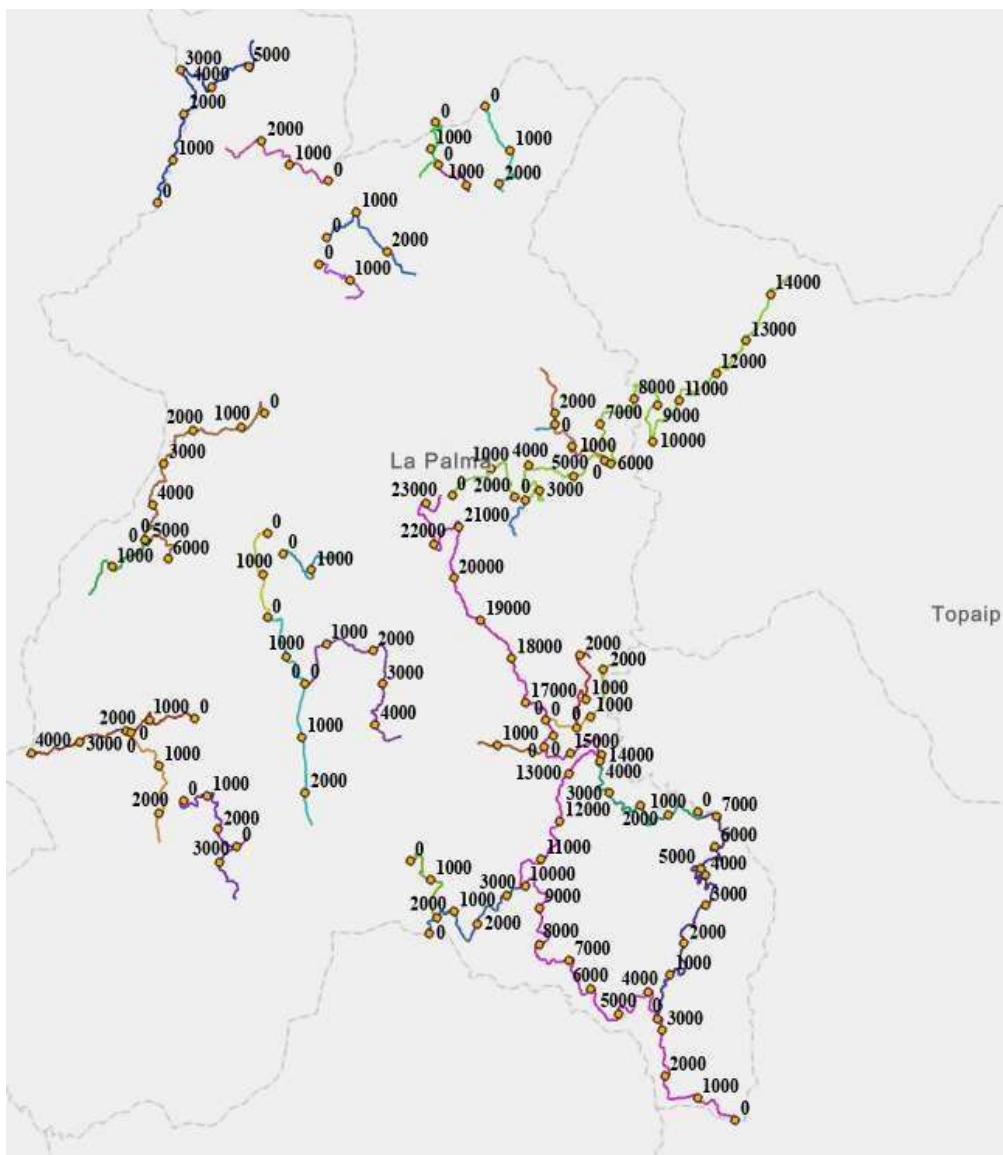


Figura 30. PRS Inventariados en La Palma, Cundinamarca

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

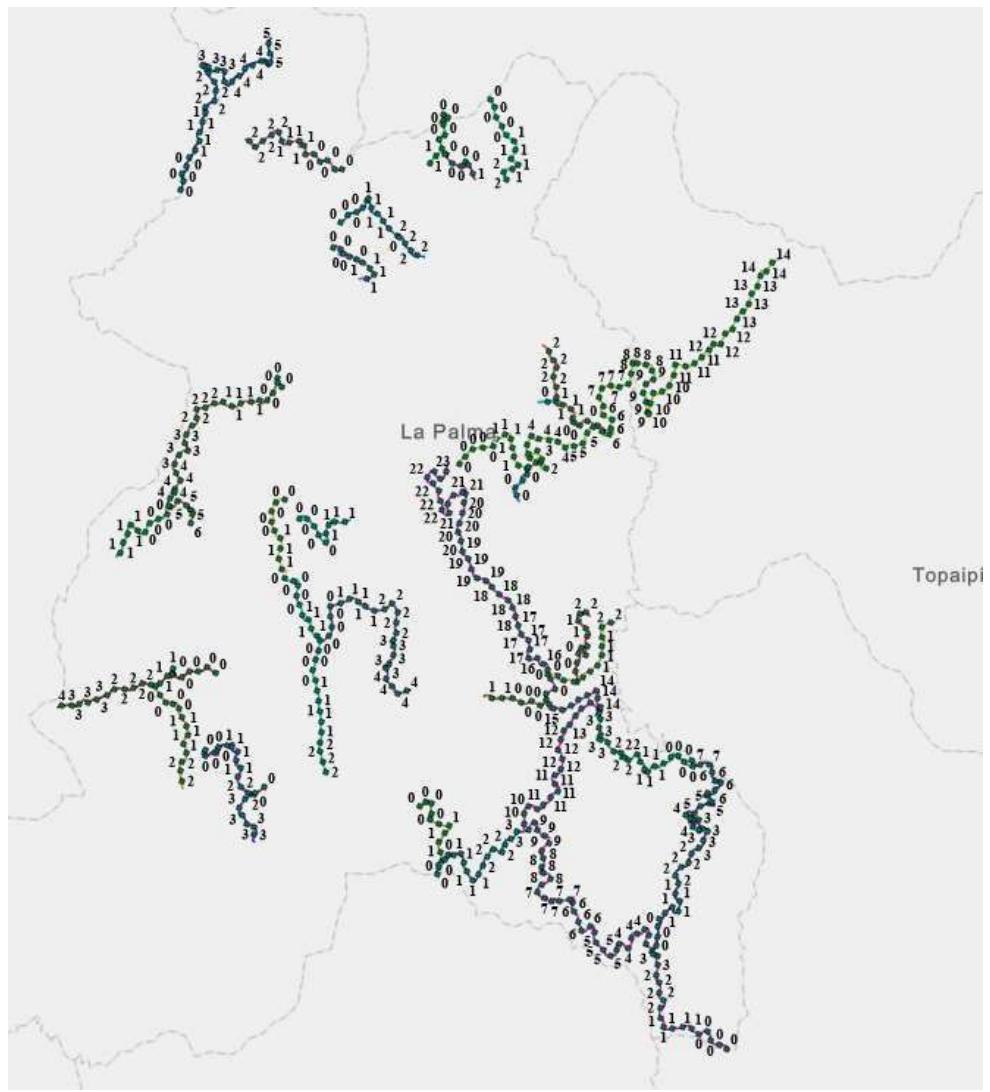


Figura 31. FotoEjes Inventariados en La Palma, Cundinamarca

Cómo se observa en las figuras 30 y 31 se generaron las diferentes capas de FOTOEJE y PRS con su respectiva base de datos, teniendo en cuenta la Resolución 412 de 2020. Fueron generados **588 fotoejes** y **133 PRS**, obteniendo un registro visual claro de las condiciones reportadas en la capa **PROPIEDADES**.

8.1 TIEMPOS DE CAPTURA Y PROCESAMIENTO DE DATOS

A continuación, se presenta el cronograma de actividades desarrolladas para la implementación de la metodología de inventario vial georreferenciado en el municipio de La Palma, Cundinamarca. En la tabla 12 y en la figura 32 se muestra la programación en días de las seis fases principales del proyecto, detallando la duración en días de cada actividad, sus fechas de inicio y finalización, y la secuencia lógica de ejecución. Este cronograma abarca desde la planificación inicial hasta la revisión y validación final de los datos, con una duración total de 39 días, evidenciando la distribución eficiente de los recursos temporales para el cumplimiento de los objetivos del inventario vial.

Tabla 12. Programación en días de las Fases del Proyecto

Actividad	Duración (días)	Inicio	Fin
Planificación	3	1	3
Levantamiento en campo	6	4	9
Procesamiento de datos GNSS	2	10	11
Elaboración inventario vial	15	12	26
Análisis en ArcGIS Pro	8	27	34
Revisión y validación de datos	4	35	39



Figura 32. Diagrama de los Tiempos de Captura y Procesamiento de Datos

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El inventario vial realizado en este proyecto haciendo uso de tecnologías de mapeo móvil con incorporación de GNSS con correcciones en tiempo real mediante el uso de NTRIP, permitió la captura de imágenes, trayectorias y atributos con precisiones centimétricas permitiendo realizar una integración en un entorno SIG para su análisis y representación cartográfica. Según Elhashash et al. (2022), señalan que los Sistemas de Mapeo Móvil, logran precisiones comparables a las de levantamientos topográficos tradicionales, en consecuencia y, a diferencia de los métodos tradicionales que en su mayoría emplean odómetros, estaciones etc., nuestro método empleado garantizo georreferenciación precisa, los tiempos y equipo de trabajo disminuyeron, además responde a lineamientos establecidos por el CONPES 3857 de 2016; Resolución 412 de 2020, que establece metodologías estandarizadas y digitalizadas.

Los métodos tradicionales de inventario vial se caracterizan por requerir altas inversiones de tiempo y recursos, debido a la naturaleza manual de sus procesos. Tal como lo señala la “*Guía práctica para la elaboración de inventarios de vías terciarias*” desarrollada por USAID Colombia, este enfoque implica un trabajo intensivo de levantamiento de información primaria, verificación en campo, validación institucional e interinstitucional y participación comunitaria (Narváez & Zarama, 2016). En la práctica, los equipos técnicos deben recorrer físicamente cada tramo vial utilizando herramientas básicas como GPS, navegadores, cintas métricas y vehículos de apoyo. El documento oficial indica que la toma de información de un solo tramo puede requerir entre 4 y 5 horas de trabajo en campo, ya que es necesario medir manualmente el ancho de la calzada, registrar coordenadas en distintos puntos, evaluar el estado de la superficie, inventariar estructuras complementarias (puentes, alcantarillas) y documentar sitios críticos (Narváez & Zarama, 2016). Además, esta metodología exige una planificación participativa extensa, que contempla la conformación de comités subregionales, reuniones de verificación con comunidades y la programación detallada de las actividades de campo. Aunque este proceso garantiza la validación social y local de la información, incrementa de forma significativa los tiempos totales de ejecución del inventario.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El uso de mapeo móvil integrado con GNSS permite un levantamiento eficiente de información vial, alcanzando rendimientos de 20 a 30 km/día en el procesamiento. El método garantiza la incorporación de datos geométricos, de superficie y de elementos de infraestructura (cunetas, drenajes, muros, puentes, túneles), lo que aporta a la caracterización integral de la red vial.
- El uso de GNSS en combinación con NTRIP permitió una georreferenciación precisa y la adecuada incorporación de los resultados en sistemas de información geográfica. En este sentido, la metodología aplicada para inventarios viales de la red terciaria, basada en mapeo móvil se evidencia como superior frente a las metodologías convencionales, ya que posibilita la captura de grandes volúmenes de información en menor tiempo. Esto demuestra su viabilidad para ser escalada a redes más extensas, siempre que se fortalezcan y adopten esquemas de datos estandarizados que garanticen la calidad y consistencia de la información.
- Fortalecer la capacitación técnica del personal en metodologías de inventario y en el uso de software para integrar video y GNSS.
- Mantener un control de calidad continuo sobre los datos incorporados en el SINC para asegurar consistencia temática y correspondencia con la realidad en campo y que permitan evaluar el impacto del mapeo móvil en la mejora de la infraestructura vial y ajustar las metodologías según sea necesario.

11. ANEXOS

Repository of the graphical outputs of the rural road inventory carried out in La Palma, Cundinamarca: [SALIDAS GRÁFICAS MAPEO MÓVIL INVENTARIO VIAL RURAL](#)

Presentation of the project: [METODOLOGÍA MAPEO MÓVIL INVENTARIO VIAL RURAL](#)

Control dashboard: [DASHBOARD LA PALMA ARCGIS ONLINE](#)

Some images collected from the rural road inventory carried out in La Palma, Cundinamarca.

Imágenes de la Capa PROPIEDADES



Imagen de la Capa de SITIOSCRITICOS



Imagen de la Capa de OBRASDRENAJE



Imagen de la Capa de PUENTES



BIBLIOGRAFÍA

BONDADES DEL USO DE LA TECNOLOGÍA NTRIP (Networked Transport of RTCM vía Internet Protocol) en el municipio de Vélez-Santander priorizado por el IGAC en la construcción de estaciones CORS. (2004).
<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/b35a624d-ab02-46df-8110-0fbcd7b34ab5/content>

Colombia. Congreso de la República. (2008). *Ley 1228 de 2008. Por la cual se dictan normas relacionadas con la infraestructura de transporte.* Diario Oficial No. 47.059.
https://apps.procuraduria.gov.co/gd_1952/docs/1228008.htm

Colombia. Ministerio de Transporte. (2013). *Resolución 1240 de 2013. Por la cual se adoptan especificaciones técnicas y criterios de clasificación de la red vial.*

Colombia. Ministerio de Transporte. (2013). *Resolución 1860 de 2013. Por la cual se reglamenta el reporte de la información del inventario vial al SINC.*

Colombia. Ministerio de Transporte. (2015). *Resolución 1067 de 2015. Por la cual se modifica la Resolución 1860 de 2013.*

Colombia. Ministerio de Transporte. (2018). *Resolución 1321 de 2018. Por la cual se actualiza la metodología de reporte de inventario vial al SINC.*

Colombia. Ministerio de Transporte. (2018). *Anuario estadístico.* Oficina Asesora de Planeación.

Colombia. Ministerio de Transporte. (2019). *Anuario estadístico de transporte.*
<https://www.mintransporte.gov.co>

Colombia. Ministerio de Transporte. (2020). *Resolución 412 de 2020. Por la cual se adopta la Metodología General para reportar la información que conforma el SINC.*
<https://mintransporte.gov.co/loader.php?id=23352&lFuncion=visorpdf&lServicio=Tools2&lTipo=descargas&pdf=1>

Departamento Nacional de Planeación. (2007, 23 de junio). *Política para el mejoramiento de la gestión vial departamental a través de la implementación del Plan Vial Regional (Documento CONPES 3480).* DNP.

Departamento Nacional de Planeación. (2023). *Inversión de recursos públicos en infraestructura de vías terciarias.* <https://www.dnp.gov.co>

Esri. (2024). ArcGIS Pro help: Welcome to the ArcGIS Pro app help.
<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/main/welcome-to-the-arcgis-pro-app-help.htm>

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

- Frentzos, E., Tournas, E., & Skarlatos, D. (2020). Developing an image based low-cost mobile mapping system for GIS data acquisition. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLIII-B1-2020*, 235–242. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020-235-2020>
- García, C., Vara, E., Medina, R., Llamas, J., Gómez, J., & Zalama, E. (2015). Sistema de inspección visual automática de carreteras mediante técnicas de procesamiento 2D/3D. *Asfalto y Pavimentación*, 5(19), 27–28.
- García, J., & López, F. (2018). Tecnologías emergentes para la recopilación de datos geoespaciales: El mapeo móvil como herramienta para la gestión del territorio. *Revista de Geografía y Tecnología*, 45(2), 54–68.
- Instituto Nacional de Vías. (2019). *Metodología para la determinación y calificación del estado de la red vial*. INVIAS. <https://www.inviias.gov.co>
- Karaim, M., Elsheikh, M., Noureldin, A., & Korenberg, M. J. (2014). Improving the accuracy of direct geo-referencing of smartphone-based mobile mapping systems using relative orientation and scene geometric constraints. *Sensors*, 17(2237). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5677268/#sec1-sensors-17-02237>
- Kulkarni, R., & Miller, R. (2003). Pavement management systems: Past, present, and future. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1853, 65–71.
- Narváez, L., & Zarama, J. F. (2016). *Guía práctica para elaboración de inventarios de vías terciarias*. Programa de Gobernabilidad Regional, USAID Colombia.
- Narváez, L. (2017). *Vías terciarias: Motor del desarrollo económico rural*.
- Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) V2. (2010). https://igs.bkg.bund.de/ntrip/?utm_source
- PAVEMETRICS. (s.f.). *Sistema de medición de grietas por láser LCMS-2: Sensor 3D para inspección de pavimentos*. <https://www.pavemetrics.com/applications/road-inspection/lcms2-en/>
- Pérez, R., Ramírez, C., & González, A. (2018). Tendencia mundial en tecnologías de sistemas de mapeo móvil implementadas con láser. *Revista Internacional de Geomática y Sistemas de Información Espacial*, 12(2), 45–59.
- Rodríguez, M., & Torres, J. (2022). Evaluación de sistemas de mapeo móvil para inventarios viales rurales. *Revista Colombiana de Ingeniería Civil*, 24(1), 51–68.
- Rondón, H., Fernández-Gómez, W., & Fuentes, L. (2012). *Evaluación de pavimentos flexibles: Generalidades*. Editorial Académica Española.
- Salazar, J., & Uribe, L. (2022). Una metodología para la captura y procesamiento de inventarios viales con mapeo móvil.

Metodología de Mapeo Móvil para Inventario Vial Rural

<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/c2c77daa-d626-47d2-8fed-60b771011ee5/content>

VR Pillco - Revista Técnica de la Construcción. (2024).
<https://revistas.usfx.bo/index.php/revistatecnicaconstruccion/article/view/1296/985>

RevistaSIPGH. (s.f.). Artículo académico en línea.
<https://www.revistasipgh.org/index.php/rcar/article/view/5845/6640>

Municipio de La Palma, Cundinamarca. (s.f.). Información institucional.
<https://lapalmacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/municipio/la-palma-cundinamarca-690242>

MDPI. (s.f.). Artículo en Sensors. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/11/4262>