

## USE OF GEOGRAPHICAL INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE CHARACTERIZATION OF THE ZAPAYÁN - EL BONGO ROAD, MAGDALENA, COLOMBIA

## USO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VÍA ZAPAYÁN - EL BONGO, MAGDALENA, COLOMBIA

**GALVIS-DAZA J. E.; OLIVELLA-BENDECK, E. A.; ARAUJO-  
MEDINA, L.C.**

- <sup>1</sup> **Jorge Eliecer Galvis. Profesor Auxiliar, Programa de Ingeniería de minas, Facultad de Ingeniería y ciencias básicas, Fundación Universitaria del Área Andina, e-mail:** [jgalvis@areandina.edu.co](mailto:jgalvis@areandina.edu.co) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2950-9770>.
- <sup>2</sup> **Esteban Alberto Olivella Bendeck. Profesor Auxiliar, Programa de Ingeniería de minas, Facultad de Ingeniería y ciencias básicas, Fundación Universitaria del Área Andina, e-mail:** [esolivella@areandina.edu.co](mailto:esolivella@areandina.edu.co) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0216-3378>
- <sup>3</sup> **Luis Carlos Araujo Medina. Profesor Agregado, Programa de Ingeniería de minas, Facultad de Ingeniería y ciencias básicas, Fundación Universitaria del Área Andina, e-mail:** [laraujo@areandina.edu.co](mailto:laraujo@areandina.edu.co) ORCID: [https:// orcid.org/0000-0001-5422-4809](https://orcid.org/0000-0001-5422-4809)

**Entidad**  
**Fundación Universitaria del Área Andina**  
Calle 5 No. 21B-40 Callejas, Valledupar, Facultad  
de Ingeniería,  
Colombia.  
PBX: + (605) 5897879

**Recibido: 15/01/2023 / Aceptado: 08/05/2023**

### Resumen

El estado de la infraestructura vial contribuye al desarrollo socioeconómico de las comunidades facilitando el intercambio de bienes y servicios. La actualización de la base de datos de la red vial es una labor dispendiosa que involucra entidades gubernamentales, no gubernamentales e instituciones de educación. La presente investigación tiene por objetivo realizar la caracterización de la vía que comunica el casco urbano del municipio de Zapayán y el corregimiento El Bongo. Se utilizó la metodología general para reporte de información que conforma el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras, mediante la integración de tecnologías de información geográfica. Los resultados obtenidos muestran que los datos de geometría de la vía presentaron precisión centimétrica vertical y horizontal de  $\pm 8$  centímetros, demostrando confiabilidad para la generación de una base de datos detallada y fiable permitiendo la toma de decisiones con miras a la planeación, ejecución y mantenimiento de proyectos viales.

**Palabras clave:** Caracterización, Geoespacial, Zapayán, precisión, modelo digital de superficie.

### Abstract

The condition of the road infrastructure contributes to the socioeconomic development of communities by facilitating the exchange of goods and services. Updating the road network database is a time-consuming task that involves governmental and non-governmental entities and educational institutions. The objective of this research is to characterize the road that connects the urban area of the municipality of Zapayán and the village of El Bongo. The general methodology was used to report information that conforms the National Integral System of Road Information, through the integration of geographic information technologies. The results obtained show that the road geometry data presented vertical and horizontal centimeter accuracy of  $\pm 8$  centimeters, demonstrating reliability for the generation of a detailed and reliable database allowing decision making for planning, execution and maintenance of road projects.

**Keywords:** Characterization, Geospatial, Zapayán, precision, digital surface model.

## 1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial juega un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico, industrial, cultural y ambiental de un país (Gianfranco *et al.*, 2023); cumpliendo la función de transporte de personas, productos, bienes y servicios favoreciendo el bienestar general de las comunidades que acceden a ellas (Zuo & Birkin, 2019).

Para toda nación es de vital importancia contar con datos detallados y confiables de la red de transporte, con miras a la toma de decisiones informadas que permitan una adecuada planeación, ejecución y mantenimiento de proyectos viales (Landicho, 2018; Nautiyal & Sharma, 2021; Niño Rondón *et al.*, 2021).

La actualización de los datos asociados a las características de una vía requiere del uso de nuevas tecnologías que faciliten la adquisición, gestión y análisis de información necesarios para la toma de decisiones (Puc Hernández, 2019; Silva-Balaguera *et al.*, 2018), tal es el caso de equipos como los drones y receptores de posicionamiento satelital GNSS (Outay *et al.*, 2020); estas tecnologías proporcionan alta precisión y confiabilidad de datos levantados (Akgul *et al.*, 2018).

En Colombia el Ministerio de Transporte es el ente gubernamental encargado de diseñar políticas, aplicar estrategias, formular proyectos y regular la económica en el ámbito de infraestructura y transporte (Ministerio de Transporte, 2011). La información de la Red vial en Colombia es registrada en el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras "SINC", especificando su categoría, localización, longitud, puentes, estado, proyectos nuevos e intervenciones futuras (Ministerio de Transporte, 2008).

La red vial de Colombia está conformada por 205.745 Km de carretera, distribuidos así: 9 % en la red primaria o vías arteriales, 22 % red secundaria o intermunicipales y 69 % terciaria o vías veredales (Ministerio de Transporte, 2022). Su actualización es una labor ardua a cargo de la nación, departamentos, municipios y la academia.

El sistema de carreteras en el departamento del Magdalena cuenta con 709 km de red primaria, 1.135 km secundaria y 4.809,6 km terciaria; la calidad del pavimento o su ausencia es un problema que afecta al 90,9% de la red vial del departamento (Gobernación del Magdalena, 2020). Esta investigación tiene por objetivo usar tecnologías de información geográfica para la

caracterización de la vía Zapayán - el Bongo, Magdalena, Colombia.

## 2. METODOLOGÍA

Inicialmente se realizó una revisión documental en bases de datos académicas y científicas. Posteriormente, se desarrolló trabajo de campo para reconocimiento y recolección de datos de acuerdo a la metodología general para reporte de información que conforma el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras (SINC) (Ministerio de Transporte, 2020) utilizando la herramienta Survey123 permitiendo capturar información geográfica georreferenciada (información del eje, propiedades de la vía, puentes, sitios críticos de inestabilidad y obras de drenaje) (Bolívar *et al.*, 2019; Mahecha *et al.*, 2020; Hidalgo-Crespo *et al.*, 2023). Para la georreferenciación de los datos de la encuesta se utilizaron los módulos de posicionamiento RTK REACH M2 (Fernández Álvarez *et al.*, 2021); la integración de estos módulos con Survey123 permiten la geolocalización de puntos con precisión centimétrica (Emlid, 2021; Bonilla *et al.*, 2021).

Las características de geometría del eje de la vía se obtuvieron mediante la combinación de fotogrametría y uso de los módulos RTK GNSS M2. Para el vuelo fotogramétrico se empleó Phantom 4 pro con altura de vuelo de 90 metros, solapamiento frontal y lateral de 75%, capturando 1650 imágenes. Para el procesamiento de las fotos se utilizó el software Agisoft Metashape generando ortoimagen y modelo digital de superficie (DSM) de alta resolución (Sattineni & Hindman, 2017; Xiang *et al.*, 2018); los

módulos RTK GNSS M2 se utilizaron para colocar puntos de control en el terreno (Akturk & Altunel, 2019; Wang *et al.*, 2020) y proporcionarle mayor precisión al DSM (Nota *et al.*, 2022; Ruzgiené *et al.*, 2015).

### Localización

El área de estudio se encuentra ubicada al nororiente de Colombia, departamento del Magdalena, municipio de Zapayán, vía que comunica la población de Zapayán y corregimiento El Bongo, al suroeste de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) (Figura 1).

## 3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Eje de la vía

Los vehículos aéreos no tripulados han sido ampliamente utilizados en la medición de datos de geometría (Ahmed & Mahmud, 2022), obteniendo resultados con margen de error centimétrico en la medición de distancias mediante el uso de ortofoto (Agüera-Vega *et al.*, 2017), permitiendo el ahorro costos sin perder precisión (Mesas-Carrascosa *et al.*, 2014); estas características lo hacen confiable a la hora de extraer datos de geometría de un trayecto vial. El análisis de la ortofoto muestra que vía Zapayán – El bongo presenta calzada sencilla, con longitud de 10.5734 kilómetros y no cuenta con ningún tipo de señalización ni iluminación a lo largo del tramo.

### Propiedades

El modelo digital de superficie (DSM) generado a partir del vuelo fotogramétrico muestra que la vía se caracteriza por presentar terrenos planos y ondulados a lo largo de su recorrido, alturas entre 33.7 y

72.4 m.s.n.m y pendientes menores a 8.7 % (figura 2).

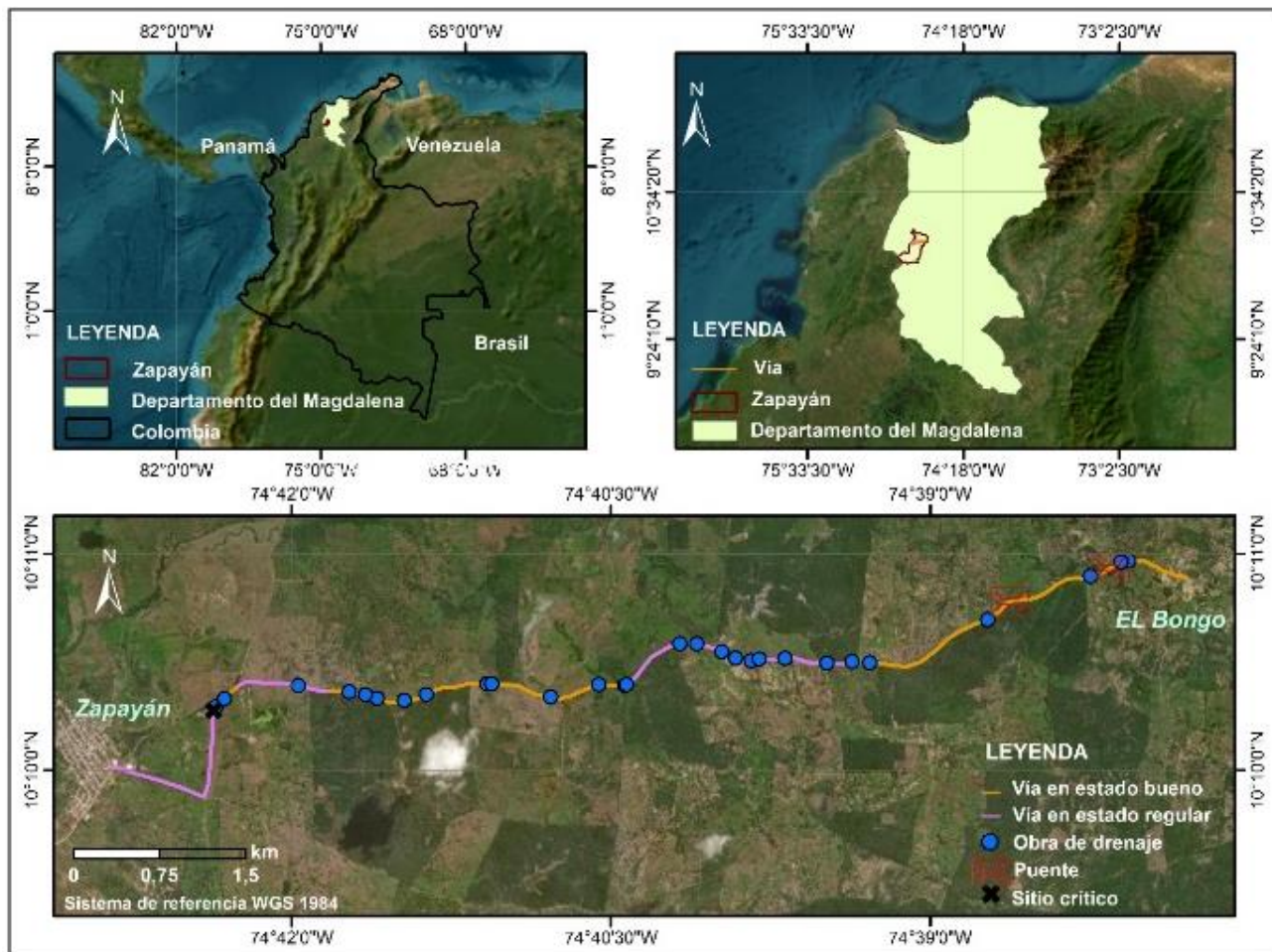


Figura 1. Localización del área de estudio.

La validación de las elevaciones para determinar la fiabilidad y precisión de resultados de la modelación, proporciono valores de hasta 7 cm de error, concordante con resultados obtenidos por otros autores (Agüera-Vega *et al.*, 2017; Pinzón, 2019; Dubbini *et al.*, 2016; Guerrero *et al.*, 2021).

La superficie de la carretera no presenta ningún tipo de revestimiento a lo largo del tramo vial, con variaciones de bueno a regular (Figura 3); la imagen 3A visualiza un tramo en estado regular con abundante presencia de grava; la imagen 3B muestra la transición entre un tramo en estado

regular un tramo en buen estado; la imagen 3C detalla un tramo en buen estado; La imagen 3D muestra el tramo pavimentado en El Bongo. El 57.2% de la carretera se encuentra en buen estado mientras el 42.8% en estado regular; al finalizar el tramo caracterizado inicia una sección de 174 metros de longitud la cual se encuentra pavimentada y corresponde a la vía principal de El Bongo. Estos datos fueron obtenidos mediante análisis visual en la ortofotografía y validado mediante trabajo de campo (Fendi *et al.*, 2014; Saad & Tahar, 2019; Castellanos *et al.*, 2020).

La ortofoto e imágenes adquiridas por el dron proporcionaron una vista detallada del área lo que permitió identificar las zonas aledañas a la vía que se encuentran inundadas (Silva *et al.*, 2017; Terrero *et al.*, 2020) y alta probabilidad de inestabilidad. Durante el periodo invernal se depositó gran cantidad de agua a lado y lado de la vía, en

la temporada de mayor precipitación del año (octubre, noviembre y diciembre) se presenta erosión hídrica generando desgaste de la superficie; el tramo de inestabilidad se extiende en tramo aproximado de 350 m entre las abscisas K1+520 y K1+870 (Figura 4).

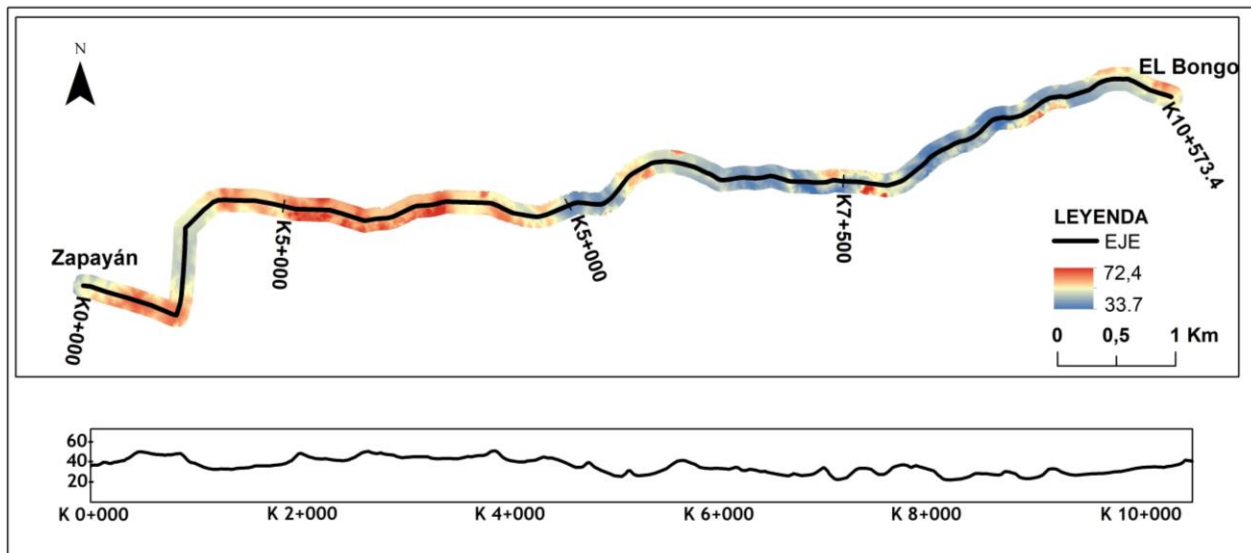


Figura 2. Modelo digital de elevaciones y perfil longitudinal del terreno.

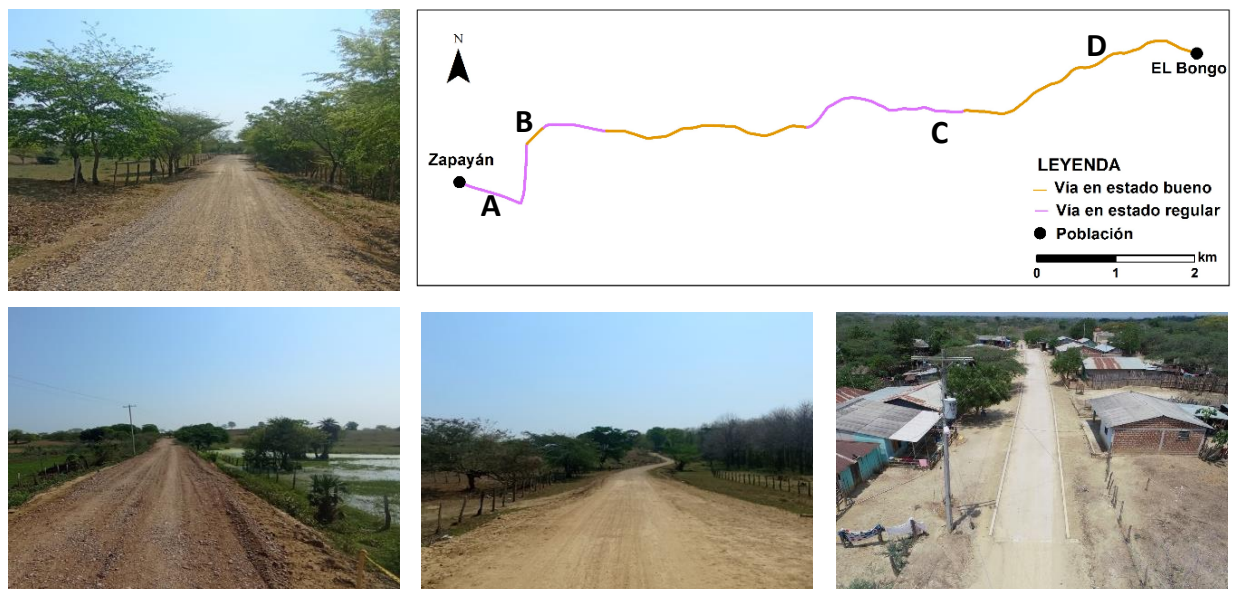


Figura 3. Estado de la vía Zapayán – El Bongo

Debido a la alta precipitación del área de estudio son usados múltiples obras de drenaje a lo largo de la vía; en este tramo se encuentran dos obras de drenaje para facilitar el paso de agua de un lado a otro, generalmente estas se taponan en la temporada invernal (Figura 4).



**Figura 4.** Sitio de inestabilidad por erosión hídrica

### Obras de drenaje y puentes

El inventario realizado a obras drenaje y puentes mediante Survey123 mejoró la gestión de los datos tomados en campo, reduciendo los errores durante la recolección y facilitando el mapeo debido a la capacidad de la aplicación de la diagramación tiempo real de los datos levantados (Herrera-Cuenca *et al.*, 2022; Ogbe & Lujala, 2021). Se localizaron 28 alcantarillas, conformada con tubos de concreto con diámetro de 900 mm. Estas

cumplen la función de permitir el paso de agua de un lugar a otro, en todas circula agua de escorrentía. El estado general de las estructuras de drenaje es bueno, ninguna presenta daños significativos que puedan derivar en un futuro colapso; sin embargo 5 se encuentran parcialmente tapadas con sedimentos y/o material vegetal (Figura 5). En la tabla 1 se presenta un resumen de las obras de drenaje caracterizadas.



**Figura 5.** Alcantarillas parcialmente tapadas

ID	TIPO	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	ABSCISA	OBSERVACIONES
1	Alcantarilla	5.6	0.9	K1+611.9	Tapado
2	Alcantarilla	5.7	0.9	K1+672.5	Tapado
3	Alcantarilla	5.8	0.9	K2+395	
4	Box culvert	6.5	0.9	K2+839.2	
5	Alcantarilla	6.6	0.9	K2+981.4	
6	Box culvert	6.2	0.9	K3+084.1	
7	Alcantarilla	6.5	0.9	K3+328.4	
8	Alcantarilla	6.3	0.9	K3+529.1	Parcialmente tapado por sedimentos y vegetación
9	Alcantarilla	6.1	0.9	K4+061.5	Parcialmente tapado por sedimentos y vegetación
10	Box culvert	6.4	0.9	K4+104.4	

11	Alcantarilla	6.3	0.9	K4+625.5	
12	Box culvert	6.4	0.9	K5+062.2	
13	Box culvert	6.3	0.9	K5+287.8	
14	Box culvert	6.2	1.2	K5+308.2	
15	Alcantarilla	6.3	0.9	K5+891.5	
16	Alcantarilla	6.4	0.9	K6+039.3	
17	Box culvert	6.4	1.2	K6+264.8	
18	Box culvert	6.3	1.2	K6+394.6	
19	Alcantarilla	6.1	0.9	K6+534.5	Parcialmente tapadopor sedimentos y vegetación
20	Box culvert	6.0	0.9	K6+609.4	
21	Alcantarilla	5.9	0.9	k6+831.6	
22	Alcantarilla	6.1	0.9	k7+196.2	
23	Alcantarilla	6.1	0.9	k7+417.4	
24	Alcantarilla	6.0	0.9	k7+569.4	
25	Box culvert	6.1	0.9	k8+703	
26	Alcantarilla	5.9	0.9	k9+691.9	
27	Alcantarilla	6.0	0.9	k9+985.4	
28	Box culvert	6.1	0.9	K10+050.5	

Se localizaron dos puentes tipo Box culvert en el tramo caracterizado, en la figura 6 se observan los puentes sobre la vía, donde la imagen que se encuentra del lado izquierdo permite el paso del arroyo El Cerezo y el de la derecha la circulación del arroyo Bongo; estos son de carácter intermitente y tienen presencia de agua durante el periodo invernal. La estructura y el estado de la capa de rodadura se encuentran en buen

estado. En la tabla 2 se presentan las características de los puentes.



Figura 6. Puentes en el tramo caracterizado.

Tabla 2. Características de los puentes

ID	LONGITUD (m)	ARROYO	ANCHO TABLER O (m)	ESTADO CAPA RODADURA	ESTADO ESTRUCTURA	ABSCISA
1	4.6	Arroyo El Cerezo	4	Bueno	Bueno	K8+950
2	4.6	Arroyo Bongo	4	Bueno	Bueno	K9+898

#### 4. CONCLUSIONES

El uso de las tecnologías de los sistemas de información geográfica para la adquisición de los parámetros presentes en la

metodología general de reporte de datos al Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras SINC, permitió la generación de una base de datos detallada y confiable que facilita a entes gubernamentales la toma de

decisiones informadas con miras a una adecuada planeación, ejecución y mantenimiento de proyectos viales.

Los productos cartográficos generados a partir del vuelo fotogramétrico facilitan la obtención de características del terreno y datos de geometría del eje de la vía, disminuyendo el tiempo de trabajo en campo y reduce costos.

La validación de los datos elevación y distancia de la vía Zapayan – Bongo extraído mediante el uso de tecnologías geoespaciales presentaron un margen de error centimétrico  $\pm 8$  centímetros, garantizando que la información a representar en los mapas es fiable y útil para los tomadores de decisiones.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos agradecimientos a la Fundación Universitaria del Área Andina sede Valledupar y a la Alcaldía del municipio de Zapayán por todo su apoyo, comprensión y amabilidad en el desarrollo de esta investigación.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P. (2017). Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement*, 98, 221–227. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2016.12.002>

Ahmed, R., & Mahmud, K. H. (2022). Potentiality of high-resolution topographic survey using unmanned aerial vehicle in Bangladesh. *Remote*

*Sensing Applications: Society and Environment*, 26, 100729. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100729>

Akgul, M., Yurtseven, H., Gulci, S., & Akay, A. E. (2018). Evaluation of UAV- and GNSS-Based DEMs for Earthwork Volume. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(4), 1893–1909. <https://doi.org/10.1007/S13369-017-2811-9/METRICS>

Akturk, E., & Altunel, A. O. (2019). Accuracy assessment of a low-cost UAV derived digital elevation model (DEM) in a highly broken and vegetated terrain. *Measurement*, 136, 382–386. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.101>

Bolivar, W., Quintero Ibañez, J. O., & Herrera Vásquez, E. (2019). VULNERABILIDAD FÍSICA EN LAS EDIFICACIONES DEL SECTOR DE BOCAGRANDE, CARTAGENA DE INDIAS; ANTE UN EVENTO DE TSUNAMI. *Boletín Científico CIOH*, 38(2). <https://doi.org/10.26640/22159045.2019.508>

Castellanos, L., Serrano, S. y Becerra, W. M. (2020). Preferencia por morfoespecies de babosas en diferentes cultivos y ambientes del municipio Pamplona, Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.356>

Dubbini, M., Curzio, L. I., & Campedelli, A. (2016). Digital elevation models from unmanned aerial vehicle surveys for archaeological interpretation of terrain anomalies: case study of the Roman castrum of Burnum (Croatia). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 8,



- 121–134.  
<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.05.054>
- Emlid. (2021). Integración de ArcGIS Survey123 | Reach RS2/RS2+. <https://docs.emlid.com/reachrs2/es/tutorials/integration/arcgis-survey123/>
- Fendi, K. G., Adam, S. M., Kokkas, N., & Smith, M. (2014). An Approach to Produce a GIS Database for Road Surface Monitoring. *APCBEE Procedia*, 9, 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.01.042>
- Fernández Álvarez, H., Álvarez-Narciandi, G., García-Fernández, M., Laviada, J., Álvarez López, Y., & Las-Heras Andrés, F. (2021). A Portable Electromagnetic System Based on mm-Wave Radars and GNSS-RTK Solutions for 3D Scanning of Large Material Piles. *Sensors*, 21(3), 757. <https://doi.org/10.3390/S21030757>
- Gianfranco, F., Mariangela, D., Patrizia, S., Edoardo, P., & Massimiliano, P. (2023). A GIS-supported methodology for the functional classification of road networks. *Transportation Research Procedia*, 69, 368–375. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.184>
- Gobernación del Magdalena. (2020). Plan de Desarrollo Departamental: Magdalena renace 2020-2023.
- Herrera-Cuenca, M., Landaeta-Jiménez, M., Hernandez, P., Sifontes, Y., Ramírez, G., Vásquez, M., & Maingon, T. (2022). Exploring food security/insecurity determinants within Venezuela's complex humanitarian emergency. *Dialogues in Health*, 1, 100084. <https://doi.org/10.1016/j.dialog.2022.100084>
- Hidalgo-Crespo, J., Velastegui-Montoya, A., Zwolinski, P., Riel, A., & Amaya-Rivas, J. L. (2023). Formalization of recyclable waste transfer stations within the Grand Guayaquil. *Procedia CIRP*, 116, 456–461. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2023.02.077>
- Landicho, J. A. (2018). A web-based geographical project monitoring and information system for the road and highways. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 5(2), 252–261. <https://doi.org/10.1016/J.JESIT.2016.10.011>
- Mahecha, J. G., Castellanos, L. y Céspedes, N. (2020). Alternativas para Suplir la Carencia de Fósforo en Fresa y Disminuir la Contaminación Ambiental en Pamplona Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 10(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.384>
- Mesas-Carrascosa, F. J., Notario-García, M. D., Meroño de Larriva, J. E., Sánchez de la Orden, M., & García-Ferrer Porras, A. (2014). Validation of measurements of land plot area using UAV imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33, 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.06.009>
- Ministerio de Transporte. (2011, January 17). DECRETO 87 DE 2011.
- Ministerio de Transporte. (2020, February). Resolución 0000412 del 26 de febrero de 2020.
- Ministerio de Transporte. (2022). Transporte enCifras 2021: Anuario Nacional de Transporte. <https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/9443/transporte-en-cifras/>

- Ministerio de Transporte. (2008, July 16). Ley 1228 de 2008.
- Nautiyal, A., & Sharma, S. (2021). Condition Based Maintenance Planning of low volume rural roads using GIS. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127649. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127649>
- Niño Rondón, C. V., Castro Casadiego, S. A. y Ortíz Fonseca, D. M. (2021). Análisis de herramientas para desarrollar un sistema de apoyo ambiental para identificar residuos sólidos. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2572/3136>
- Nota, E. W., Nijland, W., & de Haas, T. (2022). Improving UAV-SfM time-series accuracy by co-alignment and contributions of ground control or RTK positioning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 109, 102772. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102772>
- Ogbe, M., & Lujala, P. (2021). Spatial crowdsourcing in natural resource revenue management. *Resources Policy*, 72, 102082. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102082>
- Outay, F., Mengash, H. A., & Adnan, M. (2020). Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 141, 116–129. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2020.09.018>
- Puc Hernández, F. Á. (2019). ANÁLISIS DEL ESTADO SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. *Ava Cient*, 7(2), 25–37. <http://www.chetumal.tecnm.mx/images/2019/12DICIEMBRE/AVACIENT/1/3.pdf>
- Ruzgienė, B., Berteška, T., Gečyte, S., Jakubauskienė, E., & Aksamitauskas, V. Č. (2015). The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. *Measurement*, 73, 619–627. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.04.018>
- Saad, A. M., & Tahar, K. N. (2019). Identification of rut and pothole by using multicopter unmanned aerial vehicle (UAV). *Measurement*, 137, 647–654. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.093>
- Sattineni, A., & Hindman, J. (2017). Photogrammetric Models using Oblique Aerial Imagery for Construction Site Surveying.
- Silva-Balaguera, A., Leguizamón, O. D., & Valiente, L. L. (2018). Gestión de pavimentos basado en Sistemas de Información geográfica (SIG): una revisión. *Ingeniería Solidaria*, 14(26). <https://doi.org/10.16925/in.v14i26.2417>
- Silva, L. de O., de Mello Bandeira, R. A., & Gouvêa Campos, V. B. (2017). The use of UAV and geographic information systems for facility location in a post-disaster scenario. *Transportation Research Procedia*, 27, 1137–1145. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.031>
- Wang, J., Wang, L., Jia, M., He, Z., & Bi, L. (2020). Construction and optimization method of the open-pit mine DEM based on the oblique photogrammetry generated DSM. *Measurement*, 152, 107322. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107322>

- Xiang, J., Chen, J., Sofia, G., Tian, Y., & Tarolli, P. (2018). Open-pit mine geomorphic changes analysis using multi-temporal UAV survey. *Environmental Earth Sciences*, 77(6), 1–18. <https://doi.org/10.1007/S12665-018-7383-9/FIGURES/9>
- Zuo, C., & Birkin, M. (2019). Modelling the economic and demographic impacts of major transport infrastructure provision: A case study of UK regions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 125, 207–222. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.01.025>
- Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P. (2017). Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement*, 98, 221–227. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMEN T.2016.12.002>
- Ahmed, R., & Mahmud, K. H. (2022). Potentiality of high-resolution topographic survey using unmanned aerial vehicle in Bangladesh. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26, 100729. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100729>
- Akgul, M., Yurtseven, H., Gulci, S., & Akay, A. E. (2018). Evaluation of UAV- and GNSS-Based DEMs for Earthwork Volume. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(4), 1893–1909. <https://doi.org/10.1007/S13369-017-2811-9/METRICS>
- Akturk, E., & Altunel, A. O. (2019). Accuracy assessment of a low-cost UAV derived digital elevation model (DEM) in a highly broken and vegetated terrain. *Measurement*, 136, 382–386. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.101>
- Bolivar, W., Quintero Ibañez, J. O., & Herrera Vásquez, E. (2019). VULNERABILIDAD FÍSICA EN LAS EDIFICACIONES DEL SECTOR DE BOCAGRANDE, CARTAGENA DE INDIAS; ANTE UN EVENTO DE TSUNAMI. *Boletín Científico CIOH*, 38(2). <https://doi.org/10.26640/22159045.2019.508>
- Dubbini, M., Curzio, L. I., & Campedelli, A. (2016). Digital elevation models from unmanned aerial vehicle surveys for archaeological interpretation of terrain anomalies: case study of the Roman castrum of Burnum (Croatia). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 8, 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.05.054>
- Emlid. (2021). Integración de ArcGIS Survey123 | Reach RS2/RS2+. <https://docs.emlid.com/reachrs2/es/tutorials/integration/arcgis-survey123/>
- Fendi, K. G., Adam, S. M., Kokkas, N., & Smith, M. (2014). An Approach to Produce a GIS Database for Road Surface Monitoring. *APCBEE Procedia*, 9, 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.01.042>
- Fernández Álvarez, H., Álvarez-Narciandi, G., García-Fernández, M., Laviada, J., Álvarez López, Y., & Las-Heras Andrés, F. (2021). A Portable Electromagnetic System Based on mm-Wave Radars and GNSS-RTK Solutions for 3D Scanning of Large Material Piles. *Sensors*, 21(3), 757. <https://doi.org/10.3390/S21030757>
- Gianfranco, F., Mariangela, D., Patrizia, S., Edoardo, P., & Massimiliano, P. (2023).

- A GIS-supported methodology for the functional classification of road networks. *Transportation Research Procedia*, 69, 368–375.  
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.184>
- Gobernación del Magdalena. (2020). Plan de Desarrollo Departamental: Magdalena renace 2020-2023.
- Guerrero, J., Hernández, B. y Castellanos, L. (2021). Calidad del agua para sistemas de riego en Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2).  
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2573/3137>
- Herrera-Cuenca, M., Landaeta-Jiménez, M., Hernandez, P., Sifontes, Y., Ramírez, G., Vásquez, M., & Maingon, T. (2022). Exploring food security/insecurity determinants within Venezuela's complex humanitarian emergency. *Dialogues in Health*, 1, 100084.  
<https://doi.org/10.1016/j.dialog.2022.100084>
- Hidalgo-Crespo, J., Velastegui-Montoya, A., Zwolinski, P., Riel, A., & Amaya-Rivas, J. L. (2023). Formalization of recyclable waste transfer stations within the Grand Guayaquil. *Procedia CIRP*, 116, 456–461.  
<https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2023.02.077>
- Landicho, J. A. (2018). A web-based geographical project monitoring and information system for the road and highways. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 5(2), 252–261.  
<https://doi.org/10.1016/J.JESIT.2016.10.011>
- Mesas-Carrascosa, F. J., Notario-García, M. D., Meroño de Larriva, J. E., Sánchez de la Orden, M., & García-Ferrer Porras, A. (2014). Validation of measurements of land plot area using UAV imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33, 270–279.  
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.06.009>
- Ministerio de Transporte. (2011, January 17). DECRETO 87 DE 2011.
- Ministerio de Transporte. (2020, February). Resolución 0000412 del 26 de febrero de 2020.
- Ministerio de Transporte. (2022). Transporte en Cifras 2021: Anuario Nacional de Transporte.  
<https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/9443/transporte-en-cifras/>
- Ministerio de Transporte. (2008, July 16). Ley 1228 de 2008.
- Nautiyal, A., & Sharma, S. (2021). Condition Based Maintenance Planning of low volume rural roads using GIS. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127649.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127649>
- Nota, E. W., Nijland, W., & de Haas, T. (2022). Improving UAV-SfM time-series accuracy by co-alignment and contributions of ground control or RTK positioning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 109, 102772.  
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102772>
- Ogbe, M., & Lujala, P. (2021). Spatial crowdsourcing in natural resource revenue management. *Resources Policy*, 72, 102082.  
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102082>
- Outay, F., Mengash, H. A., & Adnan, M. (2020). Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and

- highway infrastructure management: Recent advances and challenges. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 141, 116–129. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2020.09.018>
- Pinzón, L. F. (2019). Modelado de metales pesados en el flujo de agua y lodos del ecosistema bentónico del río Bogotá–Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 10(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v10i2.386>
- Puc Hernández, F. Á. (2019). ANÁLISIS DEL ESTADO SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. *Ava Cient*, 7(2), 25–37. <http://www.chetumal.tecnm.mx/images/2019/12DICIEMBRE/AVACIENT/1/3.pdf>
- Ruzgienė, B., Berteška, T., Gečyte, S., Jakubauskienė, E., & Aksamitauskas, V. Č. (2015). The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. *Measurement*, 73, 619–627. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.04.018>
- Saad, A. M., & Tahar, K. N. (2019). Identification of rut and pothole by using multirotor unmanned aerial vehicle (UAV). *Measurement*, 137, 647–654. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.093>
- Sattineni, A., & Hindman, J. (2017). Photogrammetric Models using Oblique Aerial Imagery for Construction Site Surveying.
- Silva-Balaguera, A., Leguizamón, O. D., & Valiente, L. L. (2018). Gestión de pavimentos basado en Sistemas de Información geográfica (SIG): una revisión. *Ingeniería Solidaria*, 14(26). <https://doi.org/10.16925/in.v14i26.2417>
- Silva, L. de O., de Mello Bandeira, R. A., & Gouvêa Campos, V. B. (2017). The use of UAV and geographic information systems for facility location in a post-disaster scenario. *Transportation Research Procedia*, 27, 1137–1145. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.031>
- Terrero, W., Castellanos, L. y Vicet, L. (2020). Potencialidades alelopáticas del residual paja de la caña de azúcar (SACCHARUM SPP., HYBRID) para el manejo de arvenses. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1) DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.357>
- Wang, J., Wang, L., Jia, M., He, Z., & Bi, L. (2020). Construction and optimization method of the open-pit mine DEM based on the oblique photogrammetry generated DSM. *Measurement*, 152, 107322. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107322>
- Xiang, J., Chen, J., Sofia, G., Tian, Y., & Tarolli, P. (2018). Open-pit mine geomorphic changes analysis using multi-temporal UAV survey. *Environmental Earth Sciences*, 77(6), 1–18. <https://doi.org/10.1007/S12665-018-7383-9/FIGURES/9>
- Zuo, C., & Birkin, M. (2019). Modelling the economic and demographic impacts of major transport infrastructure provision: A case study of UK regions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 125, 207–222. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.01.025>