



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO EN
LAS ORILLAS DE QUEBRADAS URBANAS, UTILIZANDO LEVANTAMIENTO
TOPOGRÁFICO TRADICIONAL CON ESTACIÓN TOTAL, GNSS
DIFERENCIAL Y DRONES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros Civiles

AUTORES: MARIO SEBASTIÁN CUEVA QUIMBITA
BRYAN ALEXIS ULCO COYAGO

TUTOR: CÉSAR IVÁN ÁLVAREZ MENDOZA

Quito - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Mario Sebastián Cueva Quimbita con documento de identificación N° 1752672277 y Bryan Alexis Ulco Coyago con documento de identificación N° 1728165919 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 13 de agosto del 2024

Atentamente,



Mario Sebastián Cueva Quimbita

1752672277



Bryan Alexis Ulco Coyago

1728165919

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Mario Sebastián Cueva Quimbita con documento de identificación N° 1752672277 y Bryan Alexis Ulco Coyago con documento de identificación N° 1728165919, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Evaluación de la precisión del modelo digital de terreno en las orillas de quebradas urbanas, utilizando levantamiento topográfico tradicional con Estación Total, GNSS Diferencial y drones”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 13 de agosto del 2024

Atentamente,



Mario Sebastián Cueva Quimbita

1752672277



Bryan Alexis Ulco Coyago

1728165919

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, César Iván Álvarez Mendoza con documento de identificación N° 1720100922, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO EN LAS ORILLAS DE QUEBRADAS URBANAS, UTILIZANDO LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRADICIONAL CON ESTACIÓN TOTAL, GNSS DIFERENCIAL Y DRONES**, realizado por Mario Sebastián Cueva Quimbita con documento de identificación N° 1752672277 y Bryan Alexis Ulco Coyago con documento de identificación N° 1728165919, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de agosto del 2024

Atentamente,



Ing. César Iván Álvarez Mendoza, PhD.

1720100922

DEDICATORIA

A mi familia, por su amor incondicional, su apoyo constante y su paciencia infinita. A mis padres Mario Cueva y Nelly Quimbita por ser mi inspiración y mi guía en cada paso de este camino, por inculcarme los valores del esfuerzo y la perseverancia.

A mis hermanos Allison Cueva y Julián Cueva, por su compañía, por su comprensión y por ser siempre un pilar fundamental en mi vida.

Este logro es tanto mío como de ustedes.

Finalmente, a mis amigos, que con su amistad y apoyo han hecho de este camino una experiencia inolvidable.

Mario Sebastián Cueva Quimbita

A mis padres Patricio Ulco y Gloria Coyago, gracias por su inquebrantable apoyo, paciencia y comprensión a lo largo de este arduo camino. Su ejemplo de perseverancia y dedicación ha sido mi mayor fuente de inspiración.

Gracias por siempre creer en mí, incluso en los momentos en los que yo dudaba de mí mismo, y por sus innumerables sacrificios que han hecho posible que llegue hasta aquí, les estoy eternamente agradecido. Sus palabras de aliento y su confianza en mis capacidades me han dado la fuerza para seguir adelante.

Este logro es tan suyo como mío. Con todo mi cariño.

A mis amigos por estar siempre presentes cuando los necesitaba, su amistad ha sido un pilar fundamental en mi vida, brindándome ánimo y motivación en los momentos más desafiantes.

Las risas compartidas, las conversaciones interminables y su constante compañía han hecho que este camino sea más llevadero y lleno de recuerdos inolvidables.

Bryan Alexis Ulco Coyago

EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO EN LAS ORILLAS DE QUEBRADAS URBANAS, UTILIZANDO LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRADICIONAL CON ESTACIÓN TOTAL, GNSS DIFERENCIAL Y DRONES

EVALUATION OF THE ACCURACY OF THE DIGITAL TERRAIN MODEL ON THE SHORES OF URBAN STREAMS, USING TRADITIONAL TOPOGRAPHIC SURVEY WITH TOTAL STATION, DIFFERENTIAL GNSS AND DRONES

Mario Cueva-Quimbita¹, Bryan Ulco-Coyago², Cesar Álvarez-Mendoza³

Resumen

La investigación titulada "Evaluación de la precisión del modelo digital de terreno en las orillas de quebradas urbanas, utilizando levantamiento topográfico tradicional con Estación Total, GNSS diferencial y drones" se centra en comparar la precisión y eficiencia de diferentes tecnologías de levantamiento topográfico. Realizada por Mario Sebastián Cueva Quimbita y Bryan Alexis Ulco Coyago en la Universidad Politécnica Salesiana, esta investigación explora el uso de Estación Total, GNSS diferencial y drones equipados con LiDAR para mapear terrenos en áreas urbanas.

El estudio destaca la evolución de las herramientas topográficas, pasando de métodos tradicionales como el uso de cintas métricas y teodolitos antiguos a tecnologías avanzadas como LiDAR y drones. Se resalta la importancia de la precisión en los levantamientos topográficos, esencial para la creación de modelos detallados del terreno. La tecnología LiDAR, especialmente cuando se integra con drones, ofrece ventajas significativas en términos de precisión, eficiencia y reducción de riesgos operativos.

Abstract

The research titled "Evaluation of the precision of the digital terrain model on the banks of urban ravines, using traditional topographic survey with Total Station, differential GNSS and drones" focuses on comparing the precision and efficiency of different surveying technologies. Done by Mario Sebastián Cueva Quimbita and Bryan Alexis Ulco Coyago at the Salesiana Polytechnic University, this research explores the use of Total Station, differential GNSS and LiDAR-equipped drones to map terrain in urban areas.

The study highlights the evolution of surveying tools, moving from traditional methods such as the use of tape measures and old theodolites to advanced technologies such as LiDAR and drones. The importance of precision in topographic surveys is highlighted, essential for the creation of detailed terrain models. LiDAR technology, especially when integrated with drones, offers significant advantages in terms of precision, efficiency, and operational risk reduction.

¹ Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: mcuevag1@est.ups.edu.ec

² Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: bulcoc1@est.ups.edu.ec

³ Docente de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: calvarezm@ups.edu.ec

Se realizaron levantamientos topográficos en la Universidad Politécnica Salesiana, utilizando diferentes métodos. Los resultados mostraron que cada tecnología presenta niveles de precisión y eficiencia variables. El GNSS diferencial proporcionó datos precisos, pero el uso de drones con LiDAR demostró ser más eficiente en términos de tiempo y seguridad. La investigación concluye que, aunque existen diferencias en la precisión obtenida por cada método, la integración de nuevas tecnologías como LiDAR y drones en la educación topográfica es crucial para mejorar la formación de los futuros ingenieros civiles.

Palabras Clave: Levantamiento topográfico, LiDAR, GNSS diferencial, drones, precisión, modelo digital de terreno, quebradas urbanas, fotogrametría.

Topographic surveys were carried out at the Salesian Polytechnic University, using different methods. The results showed that each technology presents varying levels of precision and efficiency. Differential GNSS provided accurate data, but using drones with LiDAR proved to be more efficient in terms of time and safety. The research concludes that, although there are differences in the precision obtained by each method, the integration of new technologies such as LiDAR and drones into surveying education is crucial to improve the training of future civil engineers.

Keywords: Topographic survey, LiDAR, differential GNSS, drones, precision, digital terrain model, urban ravines, photogrammetry.

1. Introducción

La topografía es fundamental en el campo de la Ingeniería, proporcionando la base crucial para diversas disciplinas y actividades humanas. Esta disciplina permite planificar y ejecutar proyectos en una amplia gama de áreas, desde la construcción y la agricultura hasta la gestión ambiental y la defensa. Sin información topográfica, sería extremadamente difícil.

En la actualidad, existen diversas herramientas para realizar levantamientos topográficos, como antenas GPS, antenas GNSS, brújulas, cintas métricas y estaciones totales, entre otras. Cada una de estas herramientas ofrece distintos niveles de eficiencia en los resultados obtenidos. Por ello, esta investigación se centró en evaluar la eficiencia de la tecnología de drones equipados con LiDAR para la realización de levantamientos topográficos.

Es crucial entender la precisión alcanzada en un levantamiento topográfico, ya que determina la exactitud de los puntos capturados en el terreno, esenciales para la posterior creación de planos detallados. Con el paso de los años, la tecnología topográfica ha evolucionado notablemente en beneficio de la humanidad. En tiempos pasados, se empleaban métodos como el uso de cintas métricas, pasos contados y teodolitos antiguos para medir terrenos. Hoy en día, gracias a las nuevas tecnologías, se obtienen datos más precisos y representaciones detalladas del terreno, lo que conlleva una notable reducción en el tiempo necesario para llevar a cabo un levantamiento.

El LIDAR ha emergido como una tecnología indispensable gracias a su precisión, eficiencia y versatilidad en una amplia gama de proyectos. Esta innovación se fundamenta en la emisión de pulsos láser para capturar mediciones detalladas, creando una nube de puntos que facilita la cartografía del terreno y la generación de modelos y mapas 3D de alta resolución. Esta capacidad se potencia significativamente cuando se integra con drones, optimizando el tiempo empleado en levantamientos topográficos y reduciendo los riesgos asociados a la operación manual. En conjunto, el LIDAR no solo mejora la seguridad

y la rapidez del trabajo, sino que también representa un ahorro significativo. [1]

Según Martínez y Bermeo [2]. En su estudio, buscan mediante el uso de diversas tecnologías topográficas analizar y comparar la precisión que se obtiene al realizar un levantamiento topográfico. Finalmente llegan a la conclusión de que existen pequeñas desviaciones tanto en el norte, este y elevación, entre las diferentes técnicas topográficas empleadas.

Jiménez, Soriano y Magaña [3], realizaron un estudio sobre el Análisis comparativo entre levantamientos topográficos tanto con métodos indirectos como directos, una vez concluido el estudio, determinaron que mediante el uso de ambos métodos existen diferencias en la obtención de las coordenadas, estas diferencias varían en un intervalo de 1 a 5 cm. Mencionan también que, los resultados expuestos pueden variar dependiendo la topografía que presente el terreno que se requiere estudiar. Es por ello que destacan que el método indirecto es más eficaz para realizar un proyecto.

Yamasqui [4], mediante su estudio el cual se basa en una evaluación y comparación de realizar un levantamiento topográfico con el uso de métodos tradicionales y con fotogrametría, obtiene como resultado que, en la planimetría del terreno, usando cualquier método se pueden obtener valores similares, es decir sin un gran margen de error en sus coordenadas, puesto que para el norte obtiene una diferencia de 2,4 cm y para el este es un valor de 2,1 cm. Mientras que para la altimetría menciona que existe una gran diferencia en los resultados obtenidos, presentando una desviación de 44,8 cm, concluyendo así que para este tipo de proyectos no se recomienda el uso de estos métodos, pues no cumple con la precisión establecida.

Según Hinojosa [5], en su estudio realizado sobre la obtención de los errores que se presentan en levantamientos topográficos, mediante el uso del Dron y GPS, logra determinar que, mediante el uso del segundo método mencionado, para la altimetría se obtienen valores más exactos, ya que se presenta un error máximo de 67,4 cm. Por otra parte, para la planimetría también es un método

confiable, puesto que presenta un error máximo de 0,7 cm. Sin embargo, menciona que en el aspecto económico y en el tiempo de ejecución del proyecto, el dron presenta cierta ventaja.

Finalmente, Kotlarz, Siejka y Mika [6], en su estudio realizado, el cual se basa en poder demostrar que mediante el uso del LIDAR, como también de topografía tradicional, se puede obtener resultados precisos en los cauces de los ríos. Como resultado demostraron que, en las secciones más profundas del cauce existen diferencias considerables, mencionan así que esto se debe a que el LIDAR no permite realizar mediciones bajo el agua. Por último, con los resultados previamente que obtuvieron, llegan a la conclusión de que, la diferencia de alturas que se presentan se debe a los niveles altos del cauce y también por obstáculos presentes en el terreno.

Es por ello que, esta investigación busca incorporar esta nueva tecnología en las clases de topografía para los jóvenes universitarios, con el objetivo de que adquieran un conocimiento adecuado sobre los beneficios del uso de drones en la realización de obras como infraestructura de transporte, levantamientos topográficos, gestión de riesgos, entre otros. [7]

Con los antecedentes mencionados y analizando las características que cada uno de ellos presentan, se busca investigar y estudiar nuevas tecnologías para realizar los levantamientos topográficos, los cuales faciliten el trabajo, adaptándose al entorno y al tipo de terreno y así identificar la precisión que presentan estas tecnologías, en comparación a las herramientas convencionales. También, basándose en los antecedentes se puede tener una idea de los resultados que se esperan obtener; los cuales existe la posibilidad que sean similares a los obtenidos en las investigaciones ya realizadas o a su vez diferentes. Finalmente, servirá como una guía para el estudio que se plantea; pues esta información proviene de fuentes confiables.

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de Estudio

El área de estudio se encuentra en la ciudad de Quito, en una quebrada urbana ubicada en el sector de Chillogallo, específicamente dentro del campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS). El terreno presenta una topografía accidentada con pendientes muy pronunciadas en algunos tramos. Además, un río de aguas servidas atraviesa la zona de estudio.



Figura 1. Ubicación del proyecto y delimitación del área de estudio.

En la figura 2 se presenta el diagrama de flujo, en el cual se detalla claramente el procedimiento y el procesamiento que se realizó en el trabajo y mediante que métodos fue posible.

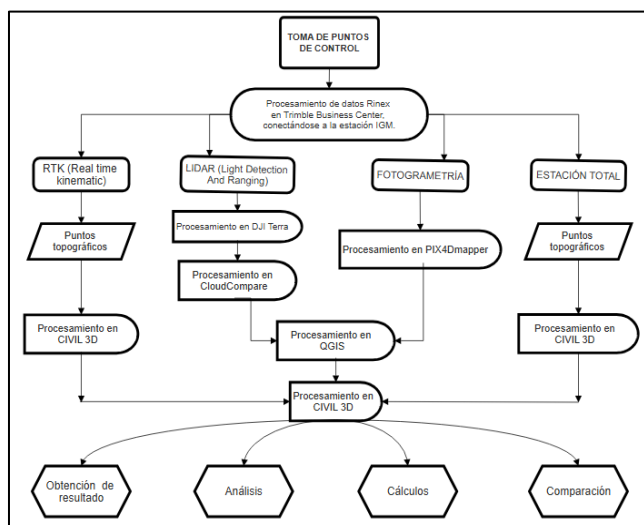


Figura 2. Diagrama de flujo.

Es importante tener en cuenta que para llevar a cabo este trabajo se aplicó el método analítico-sintético. Después de realizar el levantamiento topográfico con cada uno de los equipos mencionados, se procedió a analizar los resultados obtenidos por separado, con el fin de comparar y sintetizar los métodos utilizados. [8]

A continuación, se detallarán los materiales y métodos utilizados para el levantamiento topográfico de la quebrada, ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en la UPS.

2.2. Levantamiento GNSS Estático y RTK

El GNSS (Global Navigation Satellite System) es un receptor ampliamente utilizado en la actualidad, no solo por su versatilidad y facilidad de uso, sino también por su capacidad para proporcionar datos precisos y confiables al determinar coordenadas. Esto se debe a su capacidad para corregir errores que pueden presentarse en la señal. [9]

Con ayuda del equipo mencionado, el primer paso que se realizó fue la toma de puntos de control, los cuales nos servirán posteriormente para realizar el levantamiento topográfico con los otros métodos que se mencionarán más adelante.

La toma de puntos de control se realizó mediante el método estático, el cual se basa en que se debe posicionar el equipo (base), en el lugar en el que se desea obtener el punto de control, durante un mínimo de tiempo de 2 horas, ya que entre más tiempo se deje al equipo existirá mayor precisión en los datos a obtener. Una vez realizado este paso, el equipo nos entrega un archivo en formato Rinex 2.10, de los datos que tomo durante todo el tiempo que se posicionó el equipo.

Posteriormente estos datos obtenidos son procesados en el programa Trimble Business Center, en el cual se puede realizar el ajuste de los datos tomados con el GNSS en modo estático, para ello se debe colocar como base la estación más cercana del IGM (Instituto Geográfico Militar), en este caso se tomó como base la estación EPEC-ESPE. Los datos que se tenían en el formato Rinex 2.10 se los toma como móvil y se realiza el procesamiento junto con la base en el programa mencionado, para así poder obtener nuestros puntos de control que son presentados en el apartado de resultados y discusión.

Una vez obtenidos los puntos de control, para la toma de los puntos topográficos de la quebrada, se utilizó el método RTK, el cual consiste en que se debe colocar el equipo base en un punto de control, el cual permanecerá en dicho lugar, seguidamente con ayuda del rover que utiliza los datos de la base para obtener datos precisos, se procedió a tomar todos los puntos que fueron accesibles en la quebrada, tomando así puntos de borde, taludes, quiebres, cauce y desniveles.

Con los puntos topográficos ya tomados, se procede a trabajar en el programa Civil 3D, en el cual podemos crear la superficie del terreno en base a los puntos. Finalmente se obtienen los cortes longitudinales y transversales de la superficie, para posteriormente realizar las comparaciones con los otros métodos.



Figura 3. GNSS Diferencial E300 Pro.

2.3. Levantamiento con el Dron

Este procedimiento se llevó a cabo con la ayuda del dron DJI Matrice 300 RTK, un dispositivo tecnológicamente avanzado que permite obtener datos con gran precisión. Este dron es muy útil debido a su capacidad para realizar vuelos prolongados, con una duración estimada de 55 minutos, y se destaca por su capacidad para transportar sensores y cámaras de gran peso. [10]

También se utilizó la cámara Zenmuse L1, diseñada específicamente para ser utilizada con el dron mencionado anteriormente. Esta cámara cuenta con un sensor LiDAR y se combina con una cámara RGB de alta resolución. Entre sus principales características destacan su precisión en las mediciones de distancia, con un margen de error de hasta ± 3 cm, y su capacidad de escaneo de 240,000 puntos por segundo. Esto permite obtener capturas rápidas y precisas, que posteriormente se pueden utilizar para generar nubes de puntos del terreno y crear modelos en 3D. [11]

Una vez realizada la configuración adecuada a estos dos equipos, se debe delimitar el área específica en la cual se realizará el levantamiento, para así programar un plan de vuelo en el cual se debe tener en consideración las condiciones climáticas para que de esa manera el dron no tenga dificultades u obstrucciones en la toma de datos. Este trabajo se lo realizó con los métodos RTK y PPK, para el primer método se debe tener un punto base, el cual para este caso se usó el punto de control 3. Mientras que para el método PPK no se toma en consideración ningún punto base.

Una vez finalizado el plan de vuelo y recopilados todos los datos, se procede a

procesarlos utilizando programas especializados como: DJI Terra, CloudCompare, QGIS, Pix4Dmapper y, finalmente, Civil 3D; tanto para obtener resultados por Fotogrametría como por LiDAR.



Figura 4. Dron DJI Matrice 300 RTK.



Figura 5. Cámara Zenmuse L1.

2.4. Levantamiento con Estación Total

Este equipo es ampliamente utilizado en los campos de la ingeniería y la topografía para llevar a cabo diversos proyectos, debido a su capacidad para medir distancias, ángulos horizontales y verticales con alta precisión en solo 2 segundos. Basándose en los ángulos y distancias registrados, el equipo puede calcular las coordenadas de los puntos requeridos en el terreno, lo cual es esencial para conocer las características del terreno, como la planimetría y la altimetría. Todo esto se logra gracias a la colaboración entre la estación total y el prisma, ya que este último proporciona una referencia visual al operador para obtener los datos necesarios. [12]

Para realizar la toma de puntos topográficos de la quebrada, primero se debe colocar la estación total en uno de los puntos de control ya establecidos, esto se lo ubicará dependiendo que punto cuente con mayor visibilidad hacia el área de estudio. En el caso de que exista abundante vegetación que obstruya la visión de la estación total con el prisma, se debe realizar un cambio de base; que fue lo que se realizó en el presente trabajo, esto utilizando el método de trisección, el

cual se basa en que, mediante la ayuda de trigonometría, se toma dos puntos desconocidos cercanos al lugar a donde se requiere realizar el cambio, formando un triángulo, de allí su nombre llamado trisección. Se debe tomar en cuenta que los puntos que fueron tomados para realizar el cambio, se los debe poder visualizar de igual manera en el lugar a donde se requiere cambiar, para poder tomar sus coordenadas y mediante ello obtener los datos del punto en donde se ubicará la estación total.

Una vez finalizado el levantamiento topográfico, se procede a realizar el procesamiento de los puntos obtenidos del terreno, en el programa Civil 3D. Finalmente se crea la superficie del terreno y se obtienen los cortes longitudinales y transversales del mismo.



Figura 6. Estación Total SPECTRA FOCUS 2.

En la Tabla 1 se presentan los equipos utilizados, detallando el equipo, la marca, el modelo y la precisión de cada uno.

Tabla 1. Equipos utilizados.

Equipo	Marca	Modelo	Precisión	
Estación Total	Spectra Precisión	Focus 2	2 segundos	
			Precisión Estática	Horizontal 2.5 mm+0.5 ppm
GNSS Diferencial	eSurvey	eSurvey E300 Pro	Precisión RTK	Vertical 5 mm+0.5 ppm
				Horizontal 8 mm+1 ppm
Dron	DJI	Matrice 300 RTK	Horizontal	± 1 cm + 1 ppm
			Vertical	± 1.5 cm + 1 ppm
Cámara Lidar	DJI	Zenmuse L1	Horizontal	10 cm (RMS)
			Vertical	5 cm (RMS)

3. Resultados y Discusión

Para obtener los resultados de este trabajo, el primer paso fue la obtención de los puntos de control, como se mencionó anteriormente. Estos puntos se presentan en la Tabla 2, junto con su ubicación exacta dentro de la Universidad.

Tabla 2. Puntos de control.

Descripción	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Prec. H (m)	Prec. V (m)
PUNTO 1	772525.250	9968782.302	2885.959	0.009	0.036
PUNTO 2	772613.615	9968809.646	2884.333	0.008	0.036
PUNTO 3	772642.721	9968822.893	2884.053	0.010	0.042
PUNTO 4	772711.544	9968849.396	2877.827	0.009	0.042
PUNTO 5	772752.905	9968938.282	2876.867	0.011	0.050

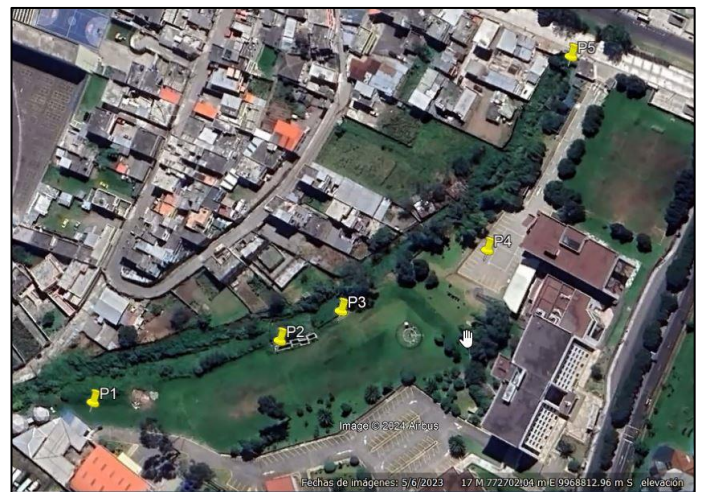


Figura 7. Ubicación puntos de control.

Con base en la metodología aplicada por cada método, se obtuvieron los cortes transversales de la quebrada de la UPS, lo que nos permite visualizar cómo varía la elevación a lo largo de una sección específica. Estos cortes son fundamentales para analizar, comparar e identificar las diferencias en el levantamiento topográfico realizado con cada método.

Para los resultados se han seleccionado tres tipos de cortes, los cuales representan las diferentes precisiones que existen en distintos tramos de la quebrada. A continuación, se presenta el primer corte, en el cual se puede

evidenciar que existe una menor diferencia a comparación de los otros dos cortes que se presentaran más adelante.

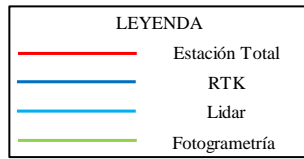


Figura 8. Cuadro de Leyendas.

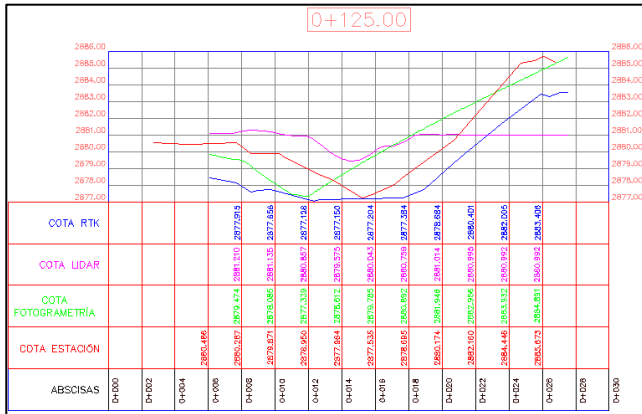


Figura 9. Corte 1 Abscisa 0+125.00.

Como se puede observar en la Figura 9 mediante los datos de cada perfil que fueron elaborados en el Civil 3D, se puede hallar las diferencias de precisión que existen entre cada uno de los métodos, cabe mencionar que la estación total fue el punto base de comparación con los demás métodos que fueron mencionados. Para ello se hizo uso de la ecuación 1, en la que el Δ representa la diferencia que existe, z_1 es la cota de la estación total y por último z_x hace referencia a la cota del RTK, LIDAR o fotogrametría.

$$\Delta = |z_1 - z_x| \quad (1)$$

En la Tabla 3 se presenta las diferencias que fueron calculadas para cada método en la Abscisa 0+125.00.

Tabla 3. Diferencias Abscisa 0+125.00

ABSCISAS	DIFERENCIA ESTACIÓN TOTAL-RTK	DIFERENCIA ESTACIÓN TOTAL - LIDAR	DIFERENCIA ESTACIÓN TOTAL - FOTOGAMETRÍA
0+006	1.93	0.594	0.637
0+008	2.372	0.923	0.813
0+010	2.215	1.264	1.786
0+012	1.822	1.907	1.611
0+014	0.814	1.611	0.648
0+016	0.331	2.508	2.25
0+018	1.311	2.061	2.197
0+020	1.49	0.84	1.772
0+022	1.759	1.165	0.796
0+024	2.441	3.454	0.514
0+026	2.267	4.681	0.782

Ahora se presenta el corte 2, en el cual se puede evidenciar que existe un poco más de diferencia en comparación al corte 1, esto se debe a que en ese lugar existía la presencia de poca vegetación que obstruía la señal o visión de los equipos.

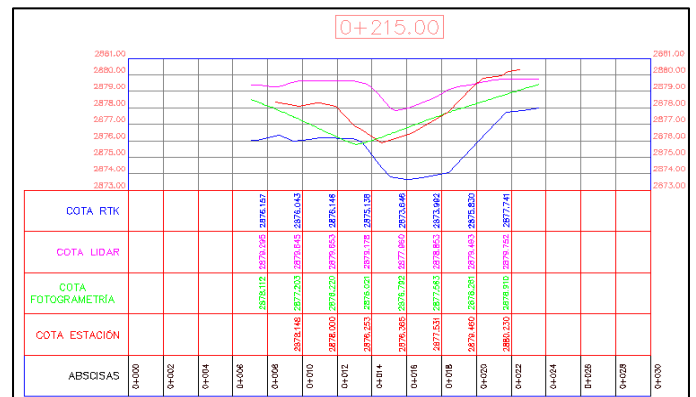


Figura 10. Corte 2 Abscisa 0+215.00.

De igual manera se presenta la tabla con las diferencias que fueron calculadas en base a la figura 10, utilizando la ecuación 1.

Tabla 4. Diferencias Abscisa 0+215.00

ABSCISAS	DIFERENCIA ESTACIÓN TOTAL-RTK	DIFERENCIA ESTACIÓN TOTAL - LIDAR	DIFERENCIA ESTACIÓN TOTAL - FOTOGAMETRÍA
0+008	2.073	1.065	0.118
0+010	2.105	1.497	0.945
0+012	1.854	1.653	1.78
0+014	1.115	2.925	0.232
0+016	2.719	1.595	0.427
0+018	3.539	1.322	0.032
0+020	3.63	0.033	1.199
0+022	2.489	0.478	1.32

Finalmente se presenta el corte 3, en el cual se puede observar que existe mucha más diferencia a comparación con los dos cortes presentados antes, esto se debe a que en esa zona existía abundante vegetación y esto impidió obtener resultados más eficientes.

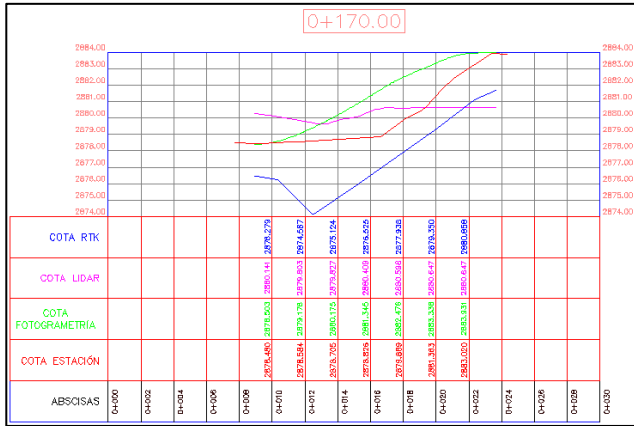


Figura 11. Corte 3 Abscisa 0+170.00.

Tabla 5. Diferencias Abscisa 0+170.00

ABSCISAS	DIFERENCIA ESTACIÓN TOTAL-RTK	DIFERENCIA ESTACIÓN TOTAL - LIDAR	DIFERENCIA ESTACIÓN TOTAL - FOTOGRAMETRÍA
0+010	2.201	1.661	0.023
0+012	4.017	1.219	0.592
0+014	3.581	1.122	1.47
0+016	2.301	1.583	2.519
0+018	1.951	0.709	2.587
0+020	2.013	0.716	1.975
0+022	2.162	2.373	0.911

A continuación, se presenta el diagrama de barras elaborado de los tres cortes, en donde se puede observar mediante que método se obtuvo menos error en base a la comparación con los resultados obtenidos con la estación total, para ello se utilizó las tablas antes mencionadas, específicamente la columna de las diferencias. Es por eso que se tuvo que hallar la media de los valores de la diferencia, utilizando la ecuación 2, en donde x_m es el valor de la media, $\sum x_i$ pertenece a la sumatoria de todos los datos de la diferencia de altura entre la estación total y los demás métodos y N es el número de datos que se tienen en la columna.

$$x_m = \frac{\sum x_i}{N} \quad (2)$$

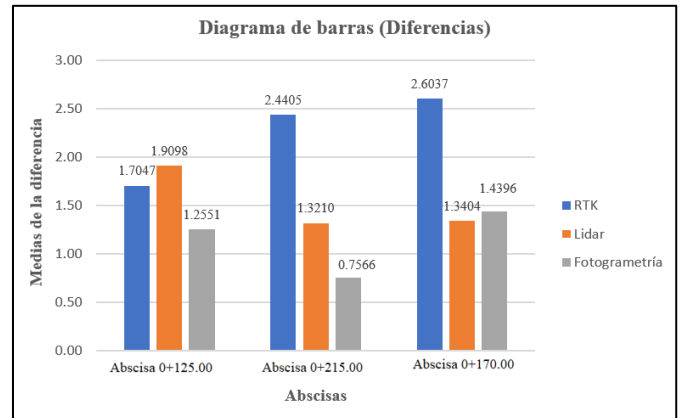


Figura 12. Diagrama de barras (Diferencias).

De igual manera se procedió a obtener la desviación estándar con los resultados obtenidos, ya que esta es una medida estadística la cual nos indica que tan dispersos se encuentran los valores individuales del conjunto de datos, con respecto a la media de los mismos y así proporcionándonos una comprensión adecuada de la distribución de estos valores.

Para lo cual se hizo uso de la ecuación 2 presentada anteriormente en donde calculamos el valor de la media, por otra parte, para calcular el valor de la desviación estándar se hará uso de la ecuación 3, en donde σx es el valor de la desviación estándar.

$$\sigma x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_m)^2}{N - 1}} \quad (3)$$

A continuación, se presentan las tablas con los resultados obtenidos mediante el uso de las ecuaciones 2 y 3 respectivamente, de los tres cortes que se realizaron.

Tabla 6. Desviación Estándar Abscisa 0+125.00.

Estación Total vs RTK.		
ABSCISAS	Xi	(Xi - Xm) ^2
0+006	1.93	0.0507
0+008	2.372	0.4453
0+010	2.215	0.2604
0+012	1.822	0.0138
0+014	0.814	0.7934
0+016	0.331	1.8871
0+018	1.311	0.1550
0+020	1.49	0.0461
0+022	1.759	0.0029
0+024	2.441	0.5421
0+026	2.267	0.3162
x_m	1.7047 m	
Suma:		4.5130 m
σ_x		0.6718 m

Tabla 7. Desviación Estándar Abscisa 0+125.00.

Estación Total vs Lidar.		
ABSCISAS	Xi	(Xi - Xm) ^2
0+006	0.594	1.7314
0+008	0.923	0.9738
0+010	1.264	0.4171
0+012	1.907	0.0000
0+014	1.611	0.0893
0+016	2.508	0.3578
0+018	2.061	0.0229
0+020	0.84	1.1445
0+022	1.165	0.5548
0+024	3.454	2.3845
0+026	4.681	7.6794
x_m	1.9098m	
Suma:		15.3555 m
σ_x		1.2392 m

Tabla 8. Desviación Estándar Abscisa 0+125.00.

Estación Total vs Fotogrametría.		
ABSCISAS	Xi	(Xi - Xm) ^2
0+006	0.637	0.3820
0+008	0.813	0.1954
0+010	1.786	0.2819
0+012	1.611	0.1267
0+014	0.648	0.3686
0+016	2.25	0.9898
0+018	2.197	0.8872
0+020	1.772	0.2672
0+022	0.796	0.2108
0+024	0.514	0.5492
0+026	0.782	0.2238
x_m	1.2551 m	
Suma:		4.4826 m
σ_x		0.6695 m

Tabla 9. Desviación Estándar Abscisa 0+215.00.

Estación Total vs RTK.		
ABSCISAS	Xi	(Xi - Xm) ^2
0+008	2.073	0.1351
0+010	2.105	0.1126
0+012	1.854	0.3440
0+014	1.115	1.7570
0+016	2.719	0.0776
0+018	3.539	1.2067
0+020	3.63	1.4149
0+022	2.489	0.0024
x_m	2.4405m	
Suma:		5.0501 m
σ_x		0.8494 m

Tabla 10. Desviación Estándar Abscisa 0+215.00.

Estación Total vs Lidar.		
ABSCISAS	Xi	(Xi - Xm) ^2
0+008	1.065	0.0655
0+010	1.497	0.0310
0+012	1.653	0.1102
0+014	2.925	2.5728
0+016	1.595	0.0751
0+018	1.322	0.0000
0+020	0.033	1.6589
0+022	0.478	0.7106
x_m	1.3210m	
Suma:		5.2242 m
σ_x		0.8639 m

Tabla 11. Desviación Estándar Abscisa 0+215.00.

Estación Total vs Fotogrametría.		
ABSCISAS	Xi	(Xi - X _m) ^2
0+008	0.118	0.4078
0+010	0.945	0.0355
0+012	1.78	1.0473
0+014	0.232	0.2752
0+016	0.427	0.1087
0+018	0.032	0.5251
0+020	1.199	0.1957
0+022	1.32	0.3174
X_m	0.7566 m	
Suma:		2.9127 m
σ_x		0.6451 m

Tabla 12. Desviación Estándar Abscisa 0+170.00.

Estación Total vs RTK.		
ABSCISAS	Xi	(Xi - X _m) ^2
0+010	2.201	0.1622
0+012	4.017	1.9974
0+014	3.581	0.9551
0+016	2.301	0.0916
0+018	1.951	0.4260
0+020	2.013	0.3489
0+022	2.162	0.1951
X_m	2.6037 m	
Suma:		4.1764 m
σ_x		0.8343 m

Tabla 13. Desviación Estándar Abscisa 0+170.00.

Estación Total vs Lidar.		
ABSCISAS	Xi	(Xi - X _m) ^2
0+010	1.661	0.1028
0+012	1.219	0.0147
0+014	1.122	0.0477
0+016	1.583	0.0588
0+018	0.709	0.3987
0+020	0.716	0.3899
0+022	2.373	1.0662
X_m	1.3404 m	
Suma:		2.0789 m
σ_x		0.5886 m

Tabla 14. Desviación Estándar Abscisa 0+170.00.

Estación Total vs Fotogrametría.		
ABSCISAS	Xi	(Xi - X _m) ^2
0+010	0.023	2.0067
0+012	0.592	0.7184
0+014	1.47	0.0009
0+016	2.519	1.1652
0+018	2.587	1.3166
0+020	1.975	0.2867
0+022	0.911	0.2794
X_m	1.4396 m	
Suma:		5.7738 m
σ_x		0.9810 m

Finalmente, se presenta la superficie de la quebrada de la UPS, obtenida mediante el programa Civil 3D. En esta superficie se pueden observar las curvas de nivel y las secciones donde se realizaron los respectivos cortes, de los cuales, como se mencionó anteriormente, se eligieron tres.

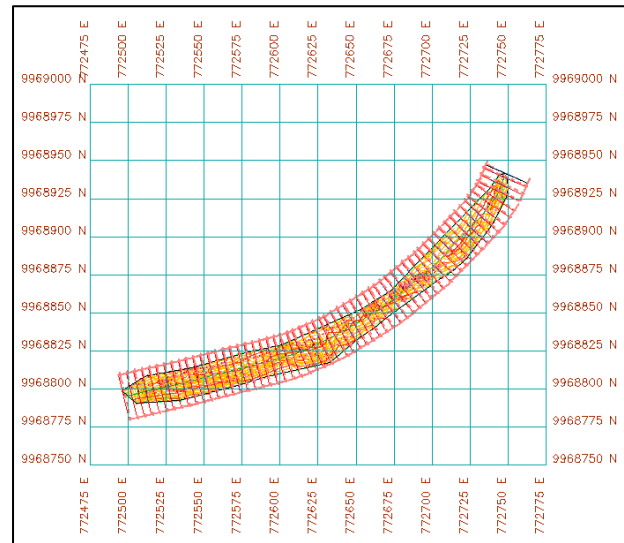


Figura 13. Resultado final de la superficie.

4. Conclusiones

Basándonos en los diagramas de barras presentados, en el corte 1 de la sección transversal de la quebrada, ubicada en la abscisa 0+125.00 del eje longitudinal, se observa que el método de Fotogrametría muestra un menor margen de error en comparación con los datos obtenidos mediante

Estación Total, que son la referencia principal del proyecto.

Además, en el corte 2 de la sección transversal de la quebrada, situado en la abscisa 0+215.00 del eje longitudinal, se puede observar una menor discrepancia al emplear el método de Fotogrametría, similar a lo observado en el corte 1 anteriormente presentado.

Por otro lado, en el tercer corte de la sección transversal de la quebrada, ubicado en la abscisa 0+170.00 del eje longitudinal, se evidencia un menor margen de error utilizando el método del LiDAR. Esto se debe a la densa vegetación presente en esta zona, que dificultaba la toma de datos con la Estación Total debido a la obstrucción del prisma. A su vez, el láser del LiDAR no puede penetrar a través de la vegetación, lo cual lleva a la conclusión de que los datos obtenidos son comparativamente similares en esta situación.

Según las tablas presentadas, la desviación estándar revela que en el corte 1 el valor más bajo es 0.6695 m, en el corte 2 es 0.6451 m, y en el corte 3 es 0.5886 m. Estos valores indican cuánto varían o se dispersan los datos en relación con su promedio. Es crucial destacar que una desviación estándar baja señala que los datos están próximos al promedio, mientras que una alta indica una mayor dispersión.

El método LiDAR proporciona coordenadas precisas en X, Y, Z para cualquier cantidad de puntos en el terreno de manera rápida y eficiente. Además, el procesamiento de los datos recolectados se realiza de manera eficaz utilizando diversos programas especializados. Una ventaja significativa de este método es su bajo costo, especialmente para áreas extensas en comparación con métodos de medición directa. Es importante destacar que el LiDAR es particularmente efectivo en terrenos planos o ligeramente ondulados. Sin embargo, es menos eficaz en áreas con presencia de agua, ya que no puede penetrar el agua y, por lo tanto, no puede recolectar datos en esas zonas.

Una limitación significativa durante la ejecución de este trabajo fue la inaccesibilidad en

ciertas áreas de la quebrada debido a la densa vegetación. Esta situación impidió la recopilación de datos en esos lugares, lo que afectó la precisión de los resultados presentados.

Los datos obtenidos mediante cada método deben ser procesados utilizando los programas específicos mencionados anteriormente. Cada programa está diseñado con características únicas que se ajustan a los métodos implementados. Estas herramientas son fundamentales para detectar y corregir posibles errores en los datos recolectados. Además, permiten la creación de modelos tridimensionales del terreno, lo cual facilita la visualización y el análisis detallado de las características topográficas.

Finalmente, como se puede observar en los cortes de las secciones transversales de la quebrada, las disparidades en la altitud de los puntos obtenidos por cada método son significativamente mayores en áreas inaccesibles debido a obstáculos naturales del terreno. Por lo tanto, se recomienda explorar alternativas adecuadas que faciliten la obtención de datos más precisos en estas condiciones.

Referencias

- [1] M. Jácome, “Drone LiDAR: Todo lo que necesitas saber sobre Lidar en UAVs” [online]. El Salvador: YellowScan, 2023 Disponible en: <https://www.yellowscan.com/es/knowledge/lidar-drone/>
- [2] J. Martínez, V. Bermeo, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRECISIÓN Y EFICIENCIA DE TECNOLOGÍAS TOPOGRÁFICAS PARA LEVANTAMIENTOS: FOTOGRAMETRÍA Y LIDAR AEROTRANSPORTADO CON DRON Y RECEPTOR GNSS (MODO RTK), APLICADO AL PARQUE EL PARAÍSO DE LA CIUDAD DE CUENCA”, Trabajo de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2023.

- [3] N. Jiménez, A. Magaña, E. Soriano, “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON ESTACIÓN TOTAL COMO MÉTODO DIRECTO Y EL USO DE DRONES Y GPS COMO MÉTODOS INDIRECTOS”, Trabajo de Titulación, Universidad de El Salvador, Ciudad Universitaria, El Salvador, 2019.
- [4] J. Yamasqui, “EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS MEDIANTE AEROFOTOGRAMETRÍA Y MÉTODOS TRADICIONALES, UTILIZANDO ESTACIÓN TOTAL O GPS DIFERENCIAL”, Trabajo de Titulación, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2022.
- [5] P. Hinostroza, “EVALUACIÓN DE ERRORES MAXIMOS PERMISIBLES ENTRE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO EMPLEANDO DRON Y SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL DIFERENCIAL”, Trabajo de Titulación, Universidad Peruana los Andes, Huancayo, Perú, 2021.
- [6] P. Kotlarz, M. Siejka, M. Mika, “Evaluación de la precisión del modelo DTM del lecho del río utilizando mediciones topográficas clásicas y LiDAR: un estudio de caso en Polonia”, SURVEY REVIEW, vol. 52, no. 372, pp. 246-252, Abril 2019.
- [7] B. Martínez, “Importancia de la Topografía”, Trabajo de Titulación, Instituto Tecnológico de Tehuacán, Tehuacán, México, 2021.
- [8] A. Sosa, “El Método Analítico-sintético” [online]. Ecuador: Prezi, 2013 Disponible en: <https://prezi.com/c3cu3jwuax79/el-metodo-analitico-sintetico/>
- [9] J. Mendoza, “GNSS RTK Ref. E300 Pro V2.0 Marca e-Survey” [online]. Medellín: JM EQUIPOS, 2021 Disponible en: <https://jmequipos.com/detalle.php?id=191#:~:text=eSurvey%20E300%20Pro%20es%20un,las%20constelaciones%20y%20sat%C3%A9lites%20presentes>
- [10] MATRICE 300 RTK Manual de usuario, Asistencia técnica de DJI, 2020.
- [11] S. Cotto, “DJI ZENMUSE L1 para escaneo láser LiDAR” [online]. México: Hobby Tuxtla, 2009 Disponible en: <https://www.hobbytuxtla.com/camaras-accesorios/zenmuse-11/#:~:text=La%20DJI%20Zenmuse%20Serie%20L1,elevaci%C3%B3n%20precisas%20en%20tres%20dimensiones>
- [12] J. Padilla, “Topografía Moderna con Estación Total”, Proyecto de Titulación, Universidad Nacional Autónoma de México, Monterrey, México, 2004.
- [13] K. Puyol, “Convierte el mundo en tu activo digital” [online]. España: DJI TERRA, 2019 Disponible en: <https://enterprise.dji.com/dji-terra>
- [14] L. Morondo, “Formatos LAS y LAZ en LiDAR” [online]. Pamplona: Geo innova, 2022 Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/formatos-las-y-laz-en-lidar-y-como-usar-laszip/>
- [15] J. Pereira, “CloudCompare, análisis de nubes de puntos para fotogrametría” [online]. España: DIGITALHERITAGE, 2012 Disponible en: <http://www.jpereira.net/software-revisiones-y-consejos/cloudcompare-analisis-de-nubes-de-puntos-para-fotogrametria>
- [16] I. Benítez, “Pix4D: ¿Qué es y para qué sirve?” [online]. República de Panamá: UAV Latam, 2023 Disponible en: <https://uavlatam.com/pix4d-que-es-para-que-sirve-ejemplos/>

- [17] Bienvenido a la documentación de Pix4DMapper, Manual de usuario support, 2020. Universidad de la Guajira, Riohacha, Colombia, 20
- [18] J. Quelal, “¿Qué es Civil 3d? todo lo que debes saber” [online]. España: RF AEEO Competence Center, 2019 Disponible en: <https://www.rfaeco.com/civil-3d/#:~:text=Civil%203D%20se%20utiliza%20ampliamente,rotondas%20y%20otros%20elementos%20viales>
- [19] Spectra Precision FOCUS 2 Series Total Station, User Guide, 2014.
- [20] Receptor GNSS E300 Pro, Manual de Usuario, 2020.
- [21] Manual de Operación de la Estación Total, Enseñanza de la Topografía, 2011.
- [22] G. Torres, “Fotogrametría vs LIDAR: que sensor elegir para una aplicación determinada” [online]. Suiza: Wingtra AG, 2023 Disponible en: <https://wingtra.com/es/dron-fotogrametria-vs-lidar/>
- [23] P. Vitorino, “Qué es para qué sirve AutoCAD Civil 3D” [online]. Perú: Konstruedu, 2021 Disponible en: <https://konstruedu.com/es/blog/que-es-y-para-que-sirve-autocad-civil-3d>
- [24] E. Aldaz, “Introducción a Lidar360: Software de post-procesamiento para Zenmuse L1” [online]. España: dji ENTERPRISE, 2022 Disponible en: <https://enterprise-insights.dji.com/es/introduccion-lidar360#:~:text=LiDAR360%20es%20un%20software%20profesional,de%20datos%20para%20muchas%20industrias.>
- [25] J. Escobar, A. Nardini, L. Iglesias “Evaluación del uso de topografía LiDAR en el modelado de inundaciones urbanas con MODCEL. Aplicación a la ciudad costera de Riohacha, La Guajira (Caribe Colombiano)”, Trabajo de Titulación,