



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS.”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO
BERNABÉ VILLÓN DARLING JOSUÉ

TUTOR:

Ing. JUAN MIGUEL RENDÓN MARCILLO Mg.

La Libertad - Ecuador

2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS.”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO

BERNABÉ VILLÓN DARLING JOSUÉ


TUTOR:

Ing. JUAN MIGUEL RENDÓN MARCILLO Mg.

La Libertad - Ecuador

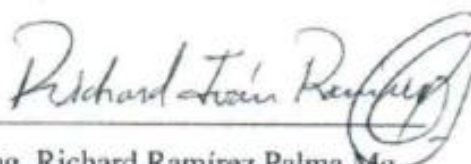
2024

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Jonny Villao Borbor MSc.
DIRECTOR(E) DE CARRERA

f. 
Ing. Juan Rendón Marcillo MSc.
DOCENTE TUTOR

f. 
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar PhD.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Richard Ramírez Palma Mg.
DOCENTE UIC

A mis Padres, abuelos y tíos, quienes fueron muy importantes brindándome su apoyo incondicional durante desarrollo de mi carrera universitaria.

BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO

Quiero dedicar. A mi madre Alba, a mi padre Juver y hermanos que han sido un apoyo incondicional y el motivo principal desde siempre.


BERNABÉ VILLÓN DARLING JOSUÉ

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS” elaborado por el BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO y BERNABÉ VILLÓN DARLING JOSUÉ, estudiantes egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente Tesis, se encuentra con un % de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto, reporte de similitud.

Atentamente:

f. 

Ing. Juan Rendón Marcillo MSc.

C.I. 0918542671

DOCENTE TUTOR

COPILATIO

2%
Textos sospechosos

1% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas

1% Idiomas no reconocidos

0% Textos potencialmente generados por la IA

<p>Nombre del documento: COPILATIO.docx ID del documento: 1f59e461f628aa4f4bbb36472bffa02f4bcb13f Tamaño del documento original: 353,68 kB Autores: []</p>	<p>Depositante: JUAN MIGUEL RENDON MARCILLO Fecha de depósito: 25/11/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 25/11/2024</p>	<p>Número de palabras: 12.768 Número de caracteres: 88.418</p>
---	--	---



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.geoportaligm.gob.ec	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
2	repositorio.udec.cl	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dialnet.unirioja.es	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
2	www.ecomexico.net	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
3	repositorio.udec.cl Estudio comparativo entre la topografía clásica con estación to...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
4	Documento de otro usuario #400122 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
5	repositorio.upla.edu.pe	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez Mgtr.

Celular: 0962183538

Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado **“ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS”**, de los estudiantes: **BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO y BERNABÉ VILLÓN DARLING JOSUÉ**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo con las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 18 de noviembre del 2024


Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.

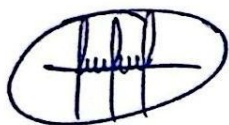
C.I. 0915036529
LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
N° DE REGISTRO DE SENESCYT 1050-2014-86052892

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO** y **BERNABÉ VILLÓN DARLING JOSUÉ** declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “**ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS**” no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

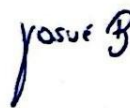


f. _____

Barriga Minuche Israel Guillermo

C.I. 0750685000

AUTOR DE TESIS



f. _____

Bernabé Villón Darling Josué

C.I. 0928226687

AUTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

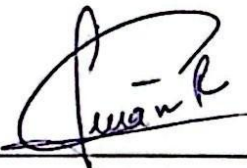
Ing. Juan Rendón Marcillo MSc

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **“ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS”** previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por **BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO** y **BERNABÉ VILLÓN DARLING JOSUÉ**, egresados de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado la presente Tesis de Grado, la apruebo en todas sus partes.

TUTOR

f. 

Ing. Juan Rendón Marcillo MSc.

C.I. 0918542671

DOCENTE TUTOR

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme dado fuerza e inteligencia para llegar hasta este punto de mi carrera. Su guía y bendiciones han sido fundamentales en mi camino.

A mis queridos padres, les agradezco profundamente por brindarme un apoyo inquebrantable. Ustedes han sido mi mayor inspiración, impulsándome y guiándome por el buen camino detrás de cada logro alcanzado.

A mis queridos abuelos, quienes han sido como unos segundos padres, quiero expresarles mi agradecimiento por su constante guía y apoyo durante mis estudios. Su amor y consejos han sido pilares importantes en mi vida.

A mis queridos tíos, les agradezco de corazón por brindarme su apoyo incondicional. Su presencia y respaldo han sido esenciales para alcanzar este importante logro académico.

A la universidad, quiero agradecerle por ser el espacio donde he podido formarme académica y profesionalmente, extendiendo mi más profundo agradecimiento a todos los maestros de la carrera, quienes con su dedicación, conocimientos y enseñanzas han contribuido significativamente a mi formación. Gracias a cada uno de ustedes por su entrega y compromiso, en especial a mi estimado docente tutor, el Ing. Juan Rendón, le expreso mi más sincero agradecimiento por su orientación, paciencia y dedicación durante este proceso de investigación. Su guía ha sido invaluable para la culminación y éxito de este trabajo.

BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme brindado el conocimiento y la sabiduría necesaria para avanzar en este camino. Su fortaleza me ha sostenido y me ha guiado en la búsqueda de mis sueños, permitiéndome alcanzar importantes logros a lo largo de esta etapa de formación profesional.

A mis padres, les expreso mi más profundo agradecimiento por ser un pilar fundamental en este proceso. Su apoyo moral y económico ha sido clave para superar los retos que he enfrentado, y sus conocimientos y experiencias han sido una fuente de inspiración constante para mí.

A mis amigos y familiares, quiero agradecerles por su confianza y apoyo incondicional durante este camino. Su compañía y palabras de ánimo me ayudaron a superar los momentos más difíciles, recordándome siempre que no estaba solo en esta travesía.

Asimismo, agradezco profundamente a la universidad por ser el espacio que me permitió crecer profesionalmente, a los maestros de la carrera por compartir sus conocimientos y ser una guía constante durante mi formación, y a mi tutor, el Ing. Juan Rendón, por su paciencia, dedicación y apoyo invaluable durante el desarrollo de este trabajo.

El recorrido no ha sido sencillo, pero cada obstáculo lo he superado gracias al motivo y esfuerzo que me han impulsado, siempre con la ayuda y respaldo de mi familia, quienes han sido mi fuerza para seguir adelante y alcanzar mis metas.

BERNABÉ VILLÓN DARLING JOSUÉ

INDICE

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	20
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	21
1.2. ANTECEDENTES.....	23
1.3. HIPÓTESIS.....	25
1.3.1. Hipótesis General.....	25
1.3.2. Hipótesis específicas.....	25
1.4. OBJETIVOS.....	26
1.4.1. Objetivo General.....	26
1.4.2. Objetivos específicos.....	26
1.5. ALCANCE.....	26
1.6. VARIABLES.....	27
1.6.1. Variables independientes.....	27
1.6.2. Variables Dependientes.....	27
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	28
2.1. TOPOGRAFÍA.....	28
2.2. TAQUIMETRÍA.....	29
2.3. MARCO DE REFERENCIA GEODÉSICO.....	29
2.4. VÍAS DE COMUNICACIÓN.....	31
2.5. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRADICIONAL.....	31
2.5.1. ESTACIÓN TOTAL.....	31
2.5.2. ERRORES INSTRUMENTALES EN LA ESTACION TOTAL ..	32
2.5.3. MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	33
2.5.3.1. <i>Método de Poligonal</i>	33
2.6. GEOREFERENCIACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL.....	35

2.6.1.	GPS Diferencial (DGPS).....	35
2.7.	GNSS (SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE) .	36
2.8.	LEVANTAMIENTO CON GPS DIFERENCIAL Y SISTEMA RTK..	36
2.9.	DRONES	37
2.9.1.	CLASIFICACIÓN DE DRONES	38
2.10.	LEVANTAMIENTO CON AEROFOTOGRAMETRÍA Y DRONES (RPAS) 41	
2.10.1.	MÉTODOS DE FOTOGRAMETRIA.	42
2.10.2.	ERRORES EN FOTOGRAMETRIA.....	42
2.11.	PRECISIÓN EN LOS EQUIPOS TOPOGRÁFICOS.....	43
2.12.	INNOVACIONES EN TECNOLOGIAS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.	43
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	45
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.1.1.	Tipo de investigación	45
3.1.2.	Nivel de investigación.....	46
3.2.	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INEVSTIGACIÓN	46
3.2.1.	Método	46
3.2.2.	Enfoque	47
3.2.3.	Diseño de la Investigación	47
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	47
3.3.1.	Población.....	47
3.3.2.	Muestra.....	48
3.3.3.	Muestreo.....	48
3.4.	METODOLOGÍA DEL O.E.1. REALIZAR LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS UTILIZANDO GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN EL PROYECTO DE LEVANTAMIENTOS TAQUIMETRICO Y	

PERFILES LONGITUDINALES SELECCIONADO, SIGUIENDO LOS PROCEDIMIENTOS PLANIFICADOS PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS MODELOS TOPOGRÁFICOS OBTENIDOS.	50
3.4.1. Selección de Equipos	50
3.4.2. Levantamiento 1 “Centro de Ancón, terreno Ondulado”	52
3.4.3. Levantamiento Topográfico con Estación Total	55
3.4.4. Levantamiento topográfico CON GNSS RTK.....	57
3.4.5. Levantamiento topográfico fotogramétrico con Drone.....	59
3.4.6. Levantamiento 2 “Ancón playa Acapulco, terreno Montañoso”	61
3.4.7. Levantamiento Topográfico con Estación Total.....	63
3.4.8. Levantamiento Topográfico con GNSS RTK	64
3.4.9. Levantamiento Topográfico Fotogramétrico con Drone.....	65
3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.2: EVALUAR LA EFICIENCIA DE CADA TECNOLOGÍA MEDIANTE EL ANÁLISIS Y CÁLCULO DE PRECISIONES CONSIDERANDO TIEMPOS, COSTOS ASOCIADOS Y FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN EN CONDICIONES REALES DE TRABAJO EN PROYECTOS.	66
3.5.1. Precisión.....	67
3.5.2. Tiempos de ejecución.....	67
3.5.3. Costos asociados	67
3.5.4. Facilidad de implementación.	67
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS	69
4.1. RESULTADOS DEL O.E.1. REALIZAR LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS UTILIZANDO GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN EL PROYECTO DE LEVANTAMIENTO TAQUIMETRICO Y PERFILES LONGITUDINALES SELECCIONADO, SIGUIENDO LOS PROCEDIMIENTOS PLANIFICADOS PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS MODELOS TOPOGRÁFICOS OBTENIDOS.	69

4.1.1.	Levantamiento 1: Ancón Centro.....	69
4.1.2.	Levantamiento 2 – Playa Acapulco (Vía).....	76
4.2.	METODOLOGÍA DEL O.E.2: EVALUAR LA EFICIENCIA DE CADA TECNOLOGÍA MEDIANTE EL ANÁLISIS Y CÁLCULO DE PRECISIONES CONSIDERANDO TIEMPOS, COSTOS ASOCIADOS Y FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN EN CONDICIONES REALES DE TRABAJO EN PROYECTOS.....	84
4.2.1.	Tiempo ejecutado en levantamientos topográficos.....	85
4.2.2.	Precisión: Levantamiento 1 – Ancón Centro.....	87
4.2.3.	Precisión levantamiento 2. Playa Acapulco.....	91
4.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS:.....	95
4.3.1.	Precisión y Eficiencia:.....	95
4.3.2.	Costos Asociados:.....	95
4.3.3.	Facilidad de Implementación:.....	96
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
5.1.	CONCLUSIONES.....	97
5.2.	RECOMENDACIONES:.....	98
6.	ANEXOS.....	104

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Red Nacional GPS del Ecuador.....	30
Figura 2. Poligonal cerrada	34
Figura 3. Método de radiación.	35
Figura 4. Receptor GNSS y Rover.....	36
Figura 5. Dron de ala alta.....	38
Figura 6. Dron de ala media.....	39
Figura 7. Dron de ala baja.....	39
Figura 8. Dron de ala volante.....	39
Figura 9. Dron de ala rotatoria.....	40
Figura 10. Dron hibrido.....	41
Figura 11. GNSS diferencial de doble frecuencia.....	51
Figura 12. Estación total Sookkia.	51
Figura 13. UAV Drone – DJI Air 2s.....	52
Figura 14. Colocación de puntos de partida.....	62
Figura 16. Levantamiento topográfico con estación total.....	73
Figura 17. Levantamiento Topográfico con Drone.....	74
Figura 18. Levantamiento Topográfico con Estación total.....	75
Figura 19. Ortomosaico - Fotogrametría georeferenciada.	76
Figura 20. Perfil de levantamiento topográfico con GNSS.....	78
Figura 21. Perfil de levantamiento topográfico con Drone.....	79
Figura 22. Perfil de levantamiento topográfico con Estación Total.....	80
Figura 23. Levantamiento topográfico con Drone.	81
Figura 24. Levantamiento topográfico con GNSS – RTK.....	82
Figura 25. Levantamiento Topográfico con estación total.....	83
Figura 26. Implantación de levantamientos.	84
Figura 15. Levantamiento topográfico Ancón centro – Flechas.....	87

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de operacionalización de las variables.	49
Tabla 2. Puntos de referencia utilizados.	52
Tabla 3. Puntos Utilizados en el levantamiento con estación total.	55
Tabla 4. Puntos de apoyo terrestre.	60
Tabla 5. Puntos para orientar el levantamiento.	61
Tabla 6. Puntos de apoyo terrestre para fotogrametría aérea con Drone UTM Z17S	66
Tabla 7. Levantamiento.	69
Tabla 8. Datos obtenidos del levantamiento con estación total.	70
Tabla 9. Datos obtenidos del levantamiento con GNSS RTK.	71
Tabla 10. Datos obtenidos del levantamiento con Drone.	72
Tabla 11. Tiempo de levantamiento.	77
Tabla 12. Cotas obtenidas de los levantamientos topográficos.	78
Tabla 13. Tiempo de ejecución de levantamientos.	86
Tabla 14. Desviación entre Estación total y GNSS RTK.	88
Tabla 15. Desviaciones entre Estación total y GNSS RTK.	88
Tabla 16. Desviación entre Estación total y Drone.	89
Tabla 17. Desviaciones entre Estación total y Drone.	89
Tabla 18. Desviación entre GNSS RTK y Drone.	90
Tabla 19. Desviaciones entre GNSS RTK y Drone.	90
Tabla 20. Desviación entre Estación total y GNSS RTK.	92
Tabla 21. Desviación entre Estación total y GNSS RTK.	92
Tabla 22. Desviación entre Estación total y Drone.	93
Tabla 23. Desviación entre Estación total y Drone.	93
Tabla 24. Desviación entre GNSS y Drone.	94
Tabla 25. Desviación entre GNSS y Drone.	94

“ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS”

Autores: Barriga Minuche Israel

Guillermo Bernabé Villón Darling Josué

Tutor: Ing. Juan Rendón Marcillo MSc.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se enfoca en el análisis comparativo de tres tecnologías de levantamiento topográfico: GNSS RTK, Estación Total y RPAS (drones), con el propósito de evaluar su eficiencia y aplicabilidad en distintos contextos de proyectos de ingeniería civil. Este estudio considera criterios clave como precisión, eficiencia operativa, costos asociados y facilidad de uso, proporcionando una visión integral sobre el desempeño de cada tecnología en diferentes escenarios. Mediante una metodología experimental, se llevaron a cabo levantamientos topográficos en dos proyectos específicos, donde se analizaron de manera exhaustiva las diferencias en términos de precisión de cotas, áreas cubiertas y tiempos de ejecución. Los resultados obtenidos incluyen un análisis detallado de los costos, recursos necesarios y tiempo invertido en cada levantamiento, así como un estudio de los puntos y perfiles longitudinales generados. Los productos obtenidos indican que, mientras la Estación Total y el GNSS RTK destacan por su alta precisión en áreas pequeñas y detalladas, los RPAS ofrecen una cobertura más amplia en un tiempo considerablemente menor, aunque con una precisión ligeramente inferior. Estos resultados sugieren que la selección de la tecnología más adecuada debe basarse en las características específicas del proyecto, incluyendo la complejidad de la topografía del terreno, las restricciones de tiempo y las demandas presupuestarias, optimizando así el uso de recursos y garantizando la eficacia del levantamiento topográfico en función de las necesidades del proyecto.

Palabras clave: drones, levantamiento topográfico, ingeniería civil, precisión, eficiencia, infraestructura.

“COMPARATIVE STUDY OF EFFICIENCY AND ACCURACY OF TOPOGRAPHIC EQUIPMENT: GNSS RTK, TOTAL STATION, AND RPAS IN TACHEOMETRIC SURVEYS”

Authors: Barriga Minuche Israel Guillermo
Bernabé Villón Darling Josué

Advisor: Ing. Juan Rendón Marcillo MSc.

ABSTRACT.

This research focuses on the comparative analysis of three topographic surveying technologies: GNSS RTK, Total Station, and RPAS (drones), with the purpose of evaluating their efficiency and applicability in various contexts of civil engineering projects. The study considers key criteria such as precision, operational efficiency, associated costs, and ease of use, providing a comprehensive overview of each technology's performance in different scenarios. Using experimental methodology, topographic surveys were conducted in two specific projects, where the differences in elevation precision, covered areas, and execution times were thoroughly analyzed. The results include a detailed analysis of the costs, resources required, and time invested in each survey, as well as a study of the points and longitudinal profiles generated. The findings indicate that while the Total Station and GNSS RTK stand out for their high precision in smaller and more detailed areas, RPAS offer broader coverage in significantly less time, albeit with slightly lower precision. These results suggest that the selection of the most suitable technology should be based on the specific characteristics of the project, including the complexity of the terrain's topography, time constraints, and budgetary demands, thereby optimizing resource utilization and ensuring the effectiveness of the topographic survey according to the project's requirements.

Keywords: *GNSS RTK, Total Station, RPAS, drones, topographic survey, civil engineering, accuracy, efficiency, infrastructure.*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La topografía desempeña un papel fundamental en la ingeniería civil. Sus fundamentos teóricos se basan principalmente en conceptos de geometría plana, geometría espacial, trigonometría y principios matemáticos generales (Montes de Oca, 1989). Según algunos expertos, la topografía se define como la ciencia y el arte de llevar a cabo mediciones necesarias para determinar la posición relativa de puntos en, sobre o bajo la superficie terrestre, así como para ubicar puntos en posiciones específicas (del Río Santana et al., 2020; Fernández Gómez, 2020) proporciona los datos necesarios para que los ingenieros civiles puedan planificar, diseñar y ejecutar proyectos de infraestructura de manera eficiente y precisa, asegurando la seguridad y funcionalidad de las obras de infraestructura, vitales para el desarrollo y bienestar de las sociedades (Crespo, 2004; Qian et al., 2022).

Como disciplina esencial en la ingeniería civil y otras ciencias afines, utiliza una variedad de herramientas y tecnologías para recolectar datos precisos sobre la superficie terrestre (Mannering & Washburn, 2020). Estas herramientas abarcan desde instrumentos tradicionales como la estación total y el nivel óptico hasta tecnologías avanzadas como el GNSS RTK (Sistema de Posicionamiento Global por Radio de Tiempo Real) y los RPAS (Sistemas Aéreos Pilotados a Distancia), comúnmente conocidos como drones (Martínez Valero, 2022). Cada una de estas herramientas tiene características y aplicaciones específicas, pero todas son cruciales para la obtención de datos topográficos precisos, los cuales son fundamentales para la planificación, diseño y construcción de proyectos de ingeniería civil y otras actividades relacionadas con la geodesia y el manejo del territorio (Montejo Fonseca, 2002; PIARC, 2016).

Mejorar la eficiencia, precisión y calidad de los levantamientos topográficos impacta positivamente la planificación, diseño, ejecución y mantenimiento del equipamiento urbano (García Navarro, 2013) e infraestructuras viales (Castañeda et al., 2022), siendo esencial para garantizar la seguridad y eficiencia de estas obras. La información topográfica precisa permite la elaboración de diseños detallados y

la ejecución adecuada de las obras, contribuyendo a la reducción de riesgos y costos durante todo el ciclo de vida del proyecto (Gutiérrez Arano, 2023).

El presente estudio se enfoca en realizar un análisis comparativo de los métodos de levantamiento topográfico empleados en proyectos civiles, específicamente evaluando tres tecnologías principales: GNSS RTK, estación total y RPAS (drones). El objetivo principal es determinar la eficiencia y precisión de cada uno de estos métodos, con el fin de identificar la opción más adecuada para diferentes contextos de ingeniería civil. El estudio incluye la recopilación y análisis de datos topográficos utilizando cada tecnología en un proyecto de levantamiento taquimétrico y perfil longitudinal específico. Se evaluarán aspectos clave como la exactitud de los datos, el tiempo requerido para los levantamientos, los costos involucrados y la factibilidad de implementación en terreno. A través de este análisis, se busca proporcionar una comprensión más profunda de cómo estas tecnologías pueden contribuir a mejorar el diseño, planificación y construcción de infraestructuras viales, optimizando así la eficiencia y precisión en el campo de la ingeniería civil.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La eficiencia y precisión en los levantamientos topográficos desempeñan un papel crucial en la planificación, diseño y construcción de proyectos civiles (American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2001). Sin embargo, la selección de la tecnología de levantamiento más adecuada sigue siendo un desafío para los ingenieros civiles debido a la variedad de opciones disponibles y a la necesidad de considerar múltiples factores, como la precisión de los datos, el tiempo requerido y los costos asociados (del Río Santana et al., 2020). Esta falta de claridad en la elección de la tecnología puede llevar a subutilización de recursos, retrasos en los proyectos y, en última instancia, a la insatisfacción con los resultados obtenidos (Chakrabarty, 2001). Además, las condiciones variables del terreno y los entornos de trabajo pueden influir en la eficiencia y precisión de las diferentes tecnologías de levantamiento (Sarmiento Ortiz, 2023). Por lo tanto, existe una necesidad urgente de investigar y comparar de manera sistemática la eficiencia y precisión de los levantamientos topográficos realizados con GNSS RTK, Estación Total y RPAS en proyectos, con el fin de proporcionar orientación práctica a los

ingenieros en la selección de la tecnología más adecuada para cada situación específica (Fajardo, Valero, 2023).

Esta investigación puede enmarcarse principalmente en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 9, donde (Naciones Unidas, 2023) "Industria, Innovación e Infraestructura". Este ODS se centra en la construcción de infraestructuras resilientes, promoviendo la industrialización sostenible y fomentando la innovación tecnológica para el desarrollo (Organización de las Naciones Unidas, 2018). La investigación sobre la eficiencia y precisión de los levantamientos topográficos en proyectos viales contribuye directamente a este objetivo al mejorar la calidad y sostenibilidad de las infraestructuras viales, mediante el uso de tecnologías más avanzadas y eficientes (ONU Habitat, 2016). Además, al optimizar los recursos y reducir los costos asociados con los levantamientos topográficos, se promueve una infraestructura más accesible, segura y sostenible para las comunidades (Organización de Estados Americanos (OEA), 2000).

El problema de investigación puede enmarcarse en la siguiente pregunta general de investigación: P.G. ¿Cuál de las tecnologías de levantamiento topográfico (GNSS RTK, Estación Total y RPAS) demostrará ser la más eficiente y precisa para la realización de levantamientos en proyectos de levantamiento taquimétrico y perfiles longitudinales?, de la cual se derivan tres preguntas específicas: **P.E.1.** ¿Cómo afectará la planificación detallada de los procedimientos de levantamiento topográfico a la eficiencia y precisión de la recopilación de datos en proyectos de levantamiento taquimétrico y perfiles longitudinales? **P.E.2.** ¿Cómo afectará la implementación de los procedimientos planificados en la obtención de modelos topográficos utilizando GNSS RTK, Estación Total y RPAS en proyectos de levantamiento taquimétrico y perfiles longitudinales? y **P.E.3.** ¿Cómo se compararán la eficiencia, los costos asociados y la facilidad de implementación de GNSS RTK, Estación Total y RPAS en condiciones reales de trabajo en proyectos de levantamiento taquimétrico y perfiles longitudinales mediante análisis estadísticos y cálculos de precisiones?

1.2. ANTECEDENTES

Los antecedentes sirven para establecer la base sobre la cual se construye la investigación actual, ayudando a los investigadores a comprender el estado del arte en su área de estudio, identificar lagunas en el conocimiento, formular preguntas de investigación pertinentes y justificar la importancia y relevancia del estudio que se va a realizar (García Ramírez, 2019). Se destacan antecedentes de tipo internacional, nacional y local.

En el ámbito internacional, el autor (Ojeda Molina, 2023) en la memoria de título ***“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA TOPOGRAFÍA CLÁSICA CON ESTACIÓN TOTAL Y LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL MEDIANTE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT) EN MINERÍA A CIELO ABIERTO”*** se analizó la precisión y eficiencia de la topografía con estación total frente a la fotogrametría digital mediante drones en minería a cielo abierto. Utilizando posicionamiento relativo diferencial GNSS, se evaluaron las precisiones y tiempos de ambos métodos. Los resultados mostraron que la fotogrametría obtuvo coordenadas más precisas (menos de 10 cm en horizontal y 35 cm en vertical) y tiempos consistentes independientemente del número de puntos a determinar, a diferencia de la topografía. Aunque los costos de inversión para la fotogrametría fueron ligeramente mayores (7% más), se considera una opción económica y rápida para levantamientos en áreas extensas, con capacidad de acceso a zonas inaccesibles y sin riesgo para el personal, siendo ideal para aplicaciones en minería a gran escala.

En la tesis de grado del autor (Sabogal Lemus, 2016) titulado: ***“MEDIDAS DE CALIDAD APLICADAS A LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS EN COLOMBIA”*** se presenta como una investigación crucial para el ámbito de la topografía en el país. Su propuesta metodológica busca llenar un vacío significativo al abordar la evaluación de calidad de datos levantados en campo, comenzando por revisar detalladamente los antecedentes de la topografía y los sistemas de referencia cartográfica específicos de Colombia. Este enfoque contextual es fundamental para entender cómo se aplican y comparan diferentes tipos de coordenadas en los levantamientos topográficos. El documento estructura su contenido de manera ordenada, comenzando con la explicación de los tipos de coordenadas utilizadas,

seguido de las metodologías de trabajo y los instrumentos asociados necesarios para llevar a cabo dichos levantamientos. Además, se destaca la importancia de adherirse a normas técnicas internacionales en la evaluación de la calidad de los datos geográficos, utilizando el proyecto Pacifico-1 como un caso de estudio representativo. Un aspecto destacable es la necesidad identificada en el estudio de establecer una metodología clara y uniforme en Colombia para la evaluación de calidad de datos geográficos, dado que, hasta el momento de la investigación, no existían guías definitivas que orientaran a productores y consumidores de información georreferenciada en el país. Esto convierte al documento en una propuesta pionera que busca llenar este vacío, proporcionando directrices claras basadas en estándares internacionales reconocidos.

El título ***"EVALUACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO OBTENIDO MEDIANTE TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRÍA CON VANT Y CON TÉCNICAS GNSS APLICADOS A PROYECTOS VIALES EN ZONAS DE MEDIANA VEGETACIÓN"*** de los autores (Lalangui Jaramillo & Zárate Torres, 2020) donde realizan una investigación de tipo cuantitativo con el objetivo de obtener un modelo digital de superficie en caminos de montaña utilizando un vehículo aéreo no tripulado (VANT). En un entorno con vegetación mediana, se capturaron imágenes desde una altura de 100 m con un VANT, con un intervalo de aproximadamente 2 s entre tomas. Estas imágenes fueron procesadas utilizando software basado en el algoritmo SfM, que permite generar un modelo digital de terreno a partir de múltiples fotografías. Para cumplir con el objetivo, se comparó este modelo digital de terreno obtenido por fotogrametría con el derivado de técnicas GNSS diferencial. Los resultados evidenciaron similitudes entre los modelos digitales obtenidos, aunque se observaron variaciones significativas en áreas con vegetación densa. Este estudio subraya la importancia de reducir las discrepancias entre ambos tipos de levantamientos para mejorar la precisión de los levantamientos topográficos en zonas de vegetación densa, contribuyendo así a realizar evaluaciones ambientales más precisas y oportunas en proyectos viales.

En el ámbito nacional los autores (Baque Solís & Cuadrado Torres, 2022), llevaron a cabo un estudio detallado titulado ***"ANÁLISIS COMPARATIVO TOPOGRÁFICO SOBRE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS CON RTK GNSS, ESTACIÓN TOTAL Y DRONE EN MANTA"***, con el objetivo de explorar

y comparar exhaustivamente la precisión y fiabilidad de distintos métodos de levantamientos topográficos altimétricos. Este trabajo se centra en tres ubicaciones específicas dentro de la ciudad de Manta. Inicialmente, se abordó una revisión teórica para fundamentar el estudio, destacando la importancia de cada método en el contexto de la topografía moderna. Posteriormente, se llevaron a cabo los levantamientos utilizando equipos como RTK GNSS, Estación Total y drones, cada uno con sus respectivas metodologías de captura de datos. Los resultados obtenidos fueron meticulosamente analizados y comparados utilizando herramientas avanzadas como el software Agisoft, el cual permitió integrar y procesar los datos recolectados de manera coherente y precisa. Este enfoque no solo demostró la capacidad de cada tecnología para obtener datos altimétricos confiables, sino que también subrayó la importancia de la integración de datos para mejorar la precisión final de los levantamientos topográficos. En conclusión, el estudio no solo proporciona una evaluación comparativa significativa entre las tecnologías de RTK GNSS, Estación Total y drones, sino que también destaca la relevancia de la aplicación práctica de estos métodos en entornos geográficos diversos.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General.

Los levantamientos topográficos realizados con GNSS RTK, Estación Total y RPAS presentan diferencias significativas en cuanto a eficiencia y precisión, lo que permitirá identificar la tecnología más adecuada para aplicaciones específicas en proyectos.

1.3.2. Hipótesis específicas.

H.E.1: La implementación de los procedimientos planificados para realizar levantamientos topográficos con GNSS RTK, Estación Total y RPAS resultará en la obtención de modelos topográficos precisos y consistentes en proyectos.

H.E.2: El análisis estadístico y el cálculo de precisiones de GNSS RTK, Estación Total y RPAS permitirán identificar la tecnología más eficiente y rentable para su aplicación en condiciones reales de trabajo en proyectos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

Evaluar y comparar la eficiencia y precisión de los levantamientos topográficos realizados mediante GNSS RTK, Estación Total y RPAS en levantamientos taquimétrico y perfiles longitudinales, con el fin de determinar la mejor opción para aplicaciones específicas dentro del campo de la ingeniería civil.

1.4.2. Objetivos específicos.

O.E.1: Realizar los levantamientos topográficos utilizando GNSS RTK, Estación Total y RPAS en el proyecto de levantamientos taquimétrico y perfiles longitudinales seleccionado, siguiendo los procedimientos planificados para el procesamiento de los modelos topográficos obtenidos.

O.E.2: Evaluar la eficiencia de cada tecnología mediante el análisis estadístico y cálculo de precisiones considerando tiempos, costos asociados y facilidad de implementación para determinar su aplicación en condiciones reales de trabajo en levantamiento taquimétrico y perfiles longitudinales.

1.5. ALCANCE.

El alcance del tema de tesis se centra en realizar un estudio comparativo de la eficiencia y precisión de los levantamientos topográficos utilizando GNSS RTK, Estación Total y RPAS en proyectos civiles. Este estudio incluirá la recopilación y análisis de datos topográficos en un proyecto de levantamientos taquimétricos y perfiles longitudinales específico, siguiendo los procedimientos planificados para cada tecnología. Se evaluarán aspectos como la precisión de los datos obtenidos, el tiempo requerido para completar el levantamiento, los costos asociados y la facilidad de implementación en el terreno.

Comprende la comparación de estas tres tecnologías en diferentes escenarios constructivos, considerando factores como el tipo de terreno, la ubicación del proyecto y las condiciones ambientales. Además, se analizará la eficiencia de cada tecnología mediante el análisis estadístico y el cálculo de precisiones, con el

objetivo de proporcionar recomendaciones prácticas para la selección de la tecnología más adecuada en diferentes situaciones. Es importante tener en cuenta que este estudio se enfocará específicamente en la comparación de GNSS RTK, Estación Total y RPAS en levantamientos topográficos.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables independientes.

Tecnología de Levantamiento Topográfico:

- GNSS RTK
- Estación Total
- RPAS (drones)

Parámetros de Levantamiento:

- Número de puntos de control
- Configuración de equipos
- Metodología de trabajo

1.6.2. Variables Dependientes

Eficiencia del Levantamiento:

- Tiempo requerido para completar el levantamiento
- Costos asociados al levantamiento
- Facilidad de implementación en el terreno

Precisión del Levantamiento:

- Error acumulado en la representación del terreno

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

El marco teórico, también conocido como marco conceptual o marco de referencia, constituye un componente esencial en cualquier investigación científica. Este componente proporciona el contexto teórico y conceptual necesario para comprender el problema de investigación y establecer las bases sobre las cuales se desarrollará el estudio (García Ramírez, 2021).

2.1. TOPOGRAFÍA

La topografía es una ciencia que se ocupa de los métodos y procedimientos para determinar las posiciones relativas de puntos sobre la superficie terrestre y debajo de ella (Montes de Oca, 1989). Para esto, se miden tres elementos fundamentales: distancia, elevación y dirección. Esta disciplina combina conocimientos matemáticos y geométricos para definir con precisión la ubicación y características de los puntos en un terreno, siendo esencial en el estudio detallado del suelo y sus características físicas (Ojeda Molina, 2023b).

Además de su función descriptiva, la topografía tiene como objetivo representar los accidentes naturales y artificiales del terreno mediante dibujos o planos, permitiendo plasmar de manera gráfica la forma y disposición de los elementos que componen la superficie terrestre. Esta representación es crucial tanto para entender los rasgos naturales del terreno como para gestionar las intervenciones humanas en el paisaje. Los levantamientos topográficos son esenciales en áreas como la ingeniería, la arquitectura, la geología y la planificación territorial, proporcionando la base para el diseño y construcción de infraestructuras, así como el análisis del terreno.

En términos prácticos, la topografía emplea una variedad de equipos, como estaciones totales, GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) y, más recientemente, drones (RPAS). Estos permiten obtener mediciones detalladas que son la base de cualquier análisis de infraestructura o planificación urbana, facilitando proyectos de construcción, diseño de carreteras y estudios geoespaciales.

2.2. TAQUIMETRÍA

La taquimetría es una técnica topográfica que combina la medición de ángulos y distancias para determinar la posición precisa de puntos en un terreno. Su principal objetivo es simplificar y agilizar los levantamientos topográficos, ofreciendo una solución eficiente y precisa para tareas como el replanteo de obras civiles (Koolhaas, 2015).

Uno de los mayores retos en taquimetría son los errores que pueden producirse durante la visualización del punto de interés o la lectura del círculo angular, afectando la precisión final. Para trabajos de alta precisión, como la instalación de grandes estructuras, se recomienda el uso de estaciones totales con una apreciación angular de 10 segundos o menos. Por ejemplo, en el replanteo de grandes bulones para soportar una estructura de acero, el uso de una estación total con estas características es esencial. La taquimetría es especialmente relevante en proyectos de construcción civil donde se necesita precisión en el replanteo de elementos estructurales.

2.3. MARCO DE REFERENCIA GEODÉSICO.

La Red Nacional Geodésica del Ecuador (RENAGE) constituye una de las principales infraestructuras geodésicas del país, diseñada como parte del esfuerzo por densificar el Marco Geocéntrico de Referencia Nacional. Esta red desempeña un papel crucial al proporcionar un sistema de referencia estable y preciso para una variedad de actividades técnicas, científicas y económicas en el Ecuador. Está compuesta por estaciones pasivas distribuidas estratégicamente a lo largo del territorio nacional, lo que asegura una cobertura completa y uniforme para facilitar el trabajo georreferencial en diferentes áreas.

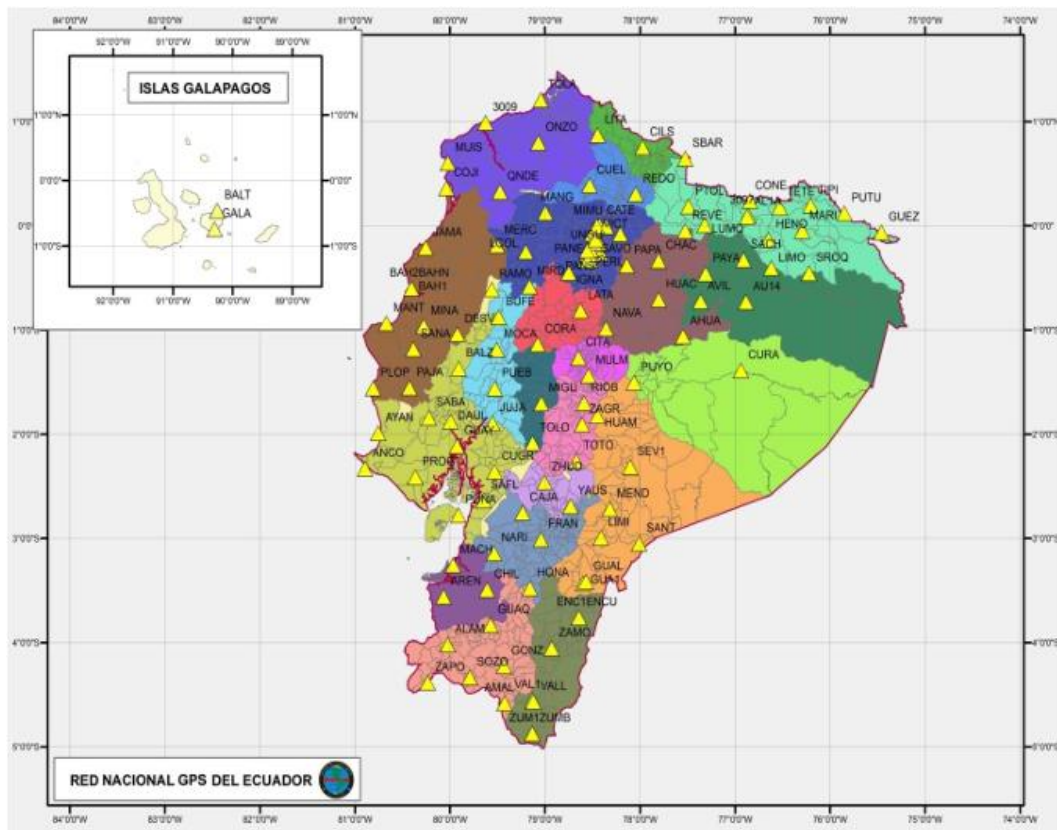
Las estaciones pasivas de RENAGE se caracterizan por ser mojones de concreto que albergan una referencia física en su núcleo, establecida mediante una placa de aluminio. Estas placas permiten la ubicación precisa de los puntos mediante cálculos geodésicos avanzados que determinan las coordenadas oficiales de cada estación. Actualmente, la red cuenta con un total de 135 mojones principales, que han sido posicionados de manera estratégica para optimizar su accesibilidad y

funcionalidad en diversas condiciones geográficas y climáticas del Ecuador (Cisneros Revelo, 2020).

La infraestructura de RENAGE no solo es esencial para la creación y actualización de mapas cartográficos, sino que también juega un papel crítico en múltiples proyectos e investigaciones que requieren una georreferenciación precisa, como la planificación urbana, el diseño de infraestructura, el monitoreo de riesgos naturales y el desarrollo de estudios científicos sobre el comportamiento tectónico de la región. Además, RENAGE es una herramienta clave para la integración de sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), como GPS, GLONASS y Galileo, permitiendo a los usuarios locales acceder a servicios de posicionamiento y navegación con una mayor exactitud.

Figura 1.

Red Nacional GPS del Ecuador.



Nota. La figura muestra los puntos de la red Nacional GPS del Ecuador “Red Nacional GPS del Ecuador” [Fotografía] por RENAGE .

2.4. VÍAS DE COMUNICACIÓN

Las vías terrestres, como carreteras y caminos, son infraestructuras diseñadas para facilitar el desplazamiento de vehículos y personas entre diferentes puntos geográficos (American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1993; Real Academia Española (RAE), 2023, 2024) . Estas vías no solo permiten la conectividad, sino que también juegan un papel crucial en el desarrollo económico y social de una región. Su diseño y construcción requieren un estudio detallado del terreno, para lo cual la topografía es esencial, ya que permite la evaluación precisa del relieve y las condiciones del suelo, garantizando la estabilidad y funcionalidad de la vía (American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2001).

2.5. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRADICIONAL

El levantamiento topográfico tradicional comprende una serie de métodos que emplean instrumentos convencionales, como la cinta métrica, el teodolito y la estación total, para medir y representar la superficie terrestre. Con el avance de la tecnología, estos procedimientos se han optimizado, permitiendo que las estaciones totales combinen mediciones angulares y de distancia en un solo equipo, aumentando así la eficiencia en el trabajo de campo. No obstante, el levantamiento topográfico tradicional continúa siendo esencial, especialmente en áreas pequeñas o en terrenos donde el acceso a tecnologías avanzadas, como drones o GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite), es limitado (Cabrera & Valero, 2015a).

2.5.1. ESTACIÓN TOTAL

La estación total es un equipo electroóptico utilizado ampliamente en trabajos de topografía. Este instrumento integra un teodolito electrónico con un distanciómetro y un microprocesador, lo que permite realizar cálculos de coordenadas directamente en el campo. Con la estación total, se pueden replantear puntos de manera precisa y calcular rumbos y distancias con facilidad, lo que la hace indispensable para levantamientos topográficos detallados y confiables. La ubicación de un punto específico se determina mediante un par de coordenadas,

utilizando una combinación de línea y ángulo para definir su posición. Las coordenadas cartesianas, por otro lado, requieren dos líneas en un sistema ortogonal para especificar el punto.

2.5.2. ERRORES INSTRUMENTALES EN LA ESTACION TOTAL

Error instrumental se refiere a las desviaciones o imprecisiones inherentes a los instrumentos de medición que afectan la exactitud de los resultados obtenidos. Estos errores surgen debido a defectos de fabricación, desgaste, calibración incorrecta o limitaciones propias del diseño del instrumento. Durante el uso de la estación total, pueden surgir ciertos errores instrumentales que es importante reconocer y corregir. Entre ellos se encuentran:

2.5.2.1. Inclinación del eje vertical:

La inclinación del eje vertical es un error instrumental que se produce cuando la línea de plomada, que debería estar perfectamente alineada con la gravedad, no coincide con el eje vertical del instrumento topográfico. Este desajuste puede ser causado por factores como la falta de calibración del equipo, superficies irregulares que afectan la estabilidad del trípode o vibraciones externas debido al viento o al movimiento cercano. Este error es crítico porque introduce imprecisiones en las mediciones angulares y, por consiguiente, en las coordenadas calculadas. Para corregirlo, es esencial nivelar cuidadosamente el instrumento mediante los tornillos de nivelación antes de iniciar las mediciones.

2.5.2.2. Error del eje de puntería o error de colimación:

También conocido como error de colimación, ocurre cuando el eje de puntería del instrumento no es perpendicular al eje de inclinación, lo que significa que el telescopio está desalineado en su configuración ideal. Este problema puede surgir debido a defectos de fabricación, desgaste por uso prolongado o falta de calibración regular. El error de colimación genera un sesgo constante en las lecturas angulares, afectando la precisión de las

mediciones. Para mitigar este problema, se debe realizar una colimación del telescopio, ajustando su alineación óptica con el eje de inclinación siguiendo procedimientos técnicos establecidos.

2.5.2.3. Error del eje de inclinación:

Se presenta cuando este eje, que debe ser perpendicular al eje vertical, muestra una desviación. Esto puede ser consecuencia de deficiencias estructurales, golpes o impactos sufridos por el instrumento, o una nivelación inadecuada durante su instalación. Este tipo de error resulta especialmente perjudicial en levantamientos que requieren alta precisión, como los relacionados con infraestructuras críticas o la georreferenciación de puntos de control. Para minimizarlo, es fundamental revisar y nivelar correctamente el equipo antes de cada uso, realizar verificaciones periódicas de los ejes y, si el problema persiste, someter el instrumento a calibración técnica especializada. Mantener estos controles asegura la precisión y confiabilidad de las mediciones topográficas.

2.5.3. MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

El uso de la estación total en levantamientos topográficos, aunque ampliamente reconocido por su precisión y versatilidad, presenta ciertas limitaciones que pueden influir en su aplicación en diversos proyectos. Una de las principales restricciones es su dependencia de la visibilidad directa entre el instrumento y los puntos a medir, lo que dificulta su uso en terrenos accidentados, áreas densamente forestadas o zonas urbanas con obstrucciones. Dentro de este método se utilizan diversas técnicas, las más extendidas y populares son el método de radiación y el método poligonal.

2.5.3.1. Método de Poligonal

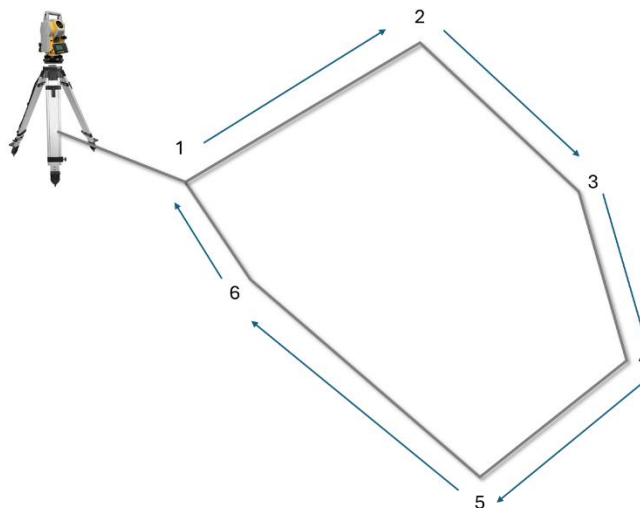
El método de poligonal es un procedimiento topográfico en el cual se establecen una serie de puntos conectados en el terreno, formando un polígono cerrado o abierto. A partir de estos puntos, se calculan las

coordenadas de cada vértice mediante la medición de ángulos y distancias. En una poligonal abierta no cuenta con verificación por cierre, ya que no es posible detectar errores lineales o angulares. En este tipo de poligonal, el punto de inicio y el punto de llegada no coinciden. En este contexto, el punto de partida puede tener coordenadas conocidas, formar parte de una línea base cuyos extremos cuentan con coordenadas conocidas, o estar orientado. En consecuencia, la única forma de validar la precisión de esta poligonal es repetir las mediciones realizadas o efectuar el levantamiento nuevamente en dirección contraria.

En una poligonal cerrada, el último punto coincide con el primero, permitiendo verificar la precisión del levantamiento mediante un balance de cierre. Este método es ideal para definir límites y crear representaciones precisas de áreas extensas, y se utiliza en estudios de planificación urbana y construcción de obras (Cabrera & Valero, 2015b).

Figura 2.

Poligonal cerrada



Nota. La Poligonal abierta parte desde un punto que será de inicio y final.

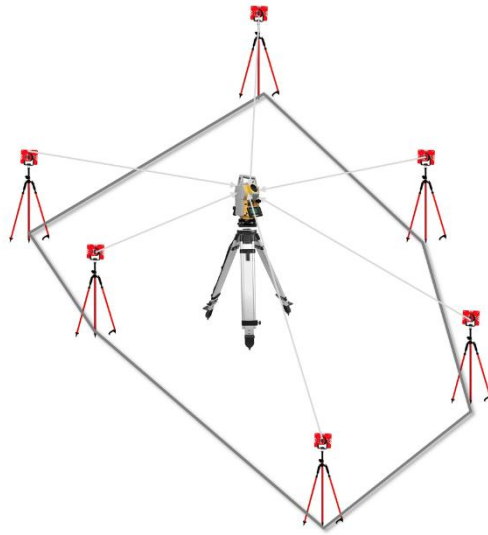
2.5.3.2. Método de Radiación

El método de radiación es un proceso en el cual se ubica una estación en un punto conocido y se toma una serie de puntos desde esa estación, radiando en varias direcciones para obtener las coordenadas de esos puntos de interés.

Este método es rápido y eficaz para áreas pequeñas o para detalles cercanos a la estación, y se suele usar junto al método de poligonal para complementar los datos en zonas específicas (Zhang et al., 2022).

Figura 3.

Método de radiación.



Nota. El método de radiación ubica diferentes puntos a partir de un solo punto donde se ubica la estación total.

2.6. GEOREFERENCIACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL

La georeferenciación de puntos de control es un proceso que asegura que los puntos medidos en el terreno estén vinculados a un sistema de coordenadas geográficas preciso. Este paso es crucial para garantizar la coherencia y precisión del levantamiento topográfico, permitiendo que los datos recogidos puedan integrarse con otras fuentes de información geoespacial, como cartografía digital o modelos tridimensionales del terreno (Juan Pérez-Paredes et al., 2021).

2.6.1. GPS Diferencial (DGPS)

La georeferenciación mediante el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) es una técnica que incrementa la precisión del GPS al corregir los errores de señal satelital utilizando una estación base de referencia. En esta metodología, un receptor móvil mide las coordenadas de puntos de control en campo y recibe correcciones en tiempo real de la estación base, permitiendo reducir

el margen de error a unos pocos centímetros. Esta precisión es fundamental en proyectos que requieren exactitud, como levantamientos catastrales y estudios en áreas urbanas o rurales, asegurando una localización precisa y confiable (Ramos et al., 2007).

Figura 4.

Receptor GNSS y Rover.



Nota. “Receptor GNSS y Rover” [Fotografía] obtenida de Leyca Geosystems.

2.7. GNSS (SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE)

El GNSS es una tecnología que permite la determinación precisa de la posición de un punto en la superficie terrestre mediante señales emitidas por satélites. Consta de varios sistemas, como GPS (Estados Unidos), GLONASS (Rusia), Galileo (Europa) y BeiDou (China). Esta tecnología ha revolucionado la topografía moderna, permitiendo levantamientos rápidos y precisos en grandes áreas, especialmente en terrenos de difícil acceso (Štroner et al., 2021).

2.8. LEVANTAMIENTO CON GPS DIFERENCIAL Y SISTEMA RTK

El GPS diferencial es una técnica que mejora significativamente la precisión de los datos obtenidos mediante receptores GPS estándar. Este sistema se basa en el uso de una o varias estaciones de referencia, que calculan y aplican correcciones a las

señales satelitales recibidas, reduciendo errores provocados por factores como la atmósfera, el reloj satelital y las trayectorias *multipath*.

El sistema RTK, una evolución del GPS diferencial permite obtener estas correcciones en tiempo real, logrando precisiones subcentimétricas. Este sistema ha revolucionado los levantamientos topográficos modernos, debido a su rapidez, precisión y adaptabilidad a diferentes escenarios (Ocampo, 2018).

2.9. DRONES

La tecnología de drones brinda grandes ventajas y posibilidades en diversas áreas. Estos dispositivos apoyan actividades como la topografía, labores humanitarias, gestión de riesgos ante desastres, investigación y transporte (Ayamga et al., 2021).

Según la Organización de Aviación Civil Internacional (Oliveira, 1950), un dron o vehículo aéreo no tripulado (UAV, por sus siglas en inglés) se define como una aeronave que opera sin un piloto humano a bordo. En un sentido más amplio, el término Sistema de Aeronave No Tripulada (UAS) se refiere al conjunto que incluye tanto el dron como el controlador basado en tierra y el sistema de comunicación que permite la interacción entre ambos. En 2015, la OACI amplió esta clasificación introduciendo dos conceptos clave: (i) el Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS), que se compone de una aeronave operada de manera remota, una o varias estaciones de control en tierra, los enlaces de comando y control necesarios, y otros componentes según el diseño del sistema, y (ii) la Aeronave Pilotada a Distancia (RPA), que se refiere a una aeronave no tripulada manejada desde una estación remota en tierra.

Todos estos términos hacen referencia a drones controlados a distancia por un operador o preprogramados para seguir rutas específicas de vuelo (Nelson & Gorichanaz, 2019). De acuerdo con, los drones se clasifican principalmente en dos tipos: (i) drones de ala fija, los cuales generan sustentación al desplazarse, permitiéndoles mantener velocidad y estabilidad en el aire, ideales para vuelos de largo alcance; y (ii) drones de rotor, caracterizados por su alta maniobrabilidad, capacidad de flotar en el aire y rotar, controlados mediante un sistema de vuelo avanzado. Cada tipo presenta ventajas y limitaciones particulares en relación con

su alcance o resistencia de vuelo, la capacidad de la batería y la carga útil que puede transportar (Ayamga et al., 2021).

2.9.1. CLASIFICACIÓN DE DRONES

La tecnología de drones, también conocida como RPAS (Sistemas de Aeronave Pilotada a Distancia), ha revolucionado la manera en que se llevan a cabo levantamientos topográficos y proyectos de cartografía. Dependiendo de su diseño y funcionalidad, los drones se clasifican en diferentes categorías, cada una con características, ventajas y limitaciones particulares que los hacen adecuados para aplicaciones específicas (Ayamga et al., 2021).

2.9.1.1. Drones de Ala Fija.

Los drones de ala fija tienen un diseño aerodinámico que les permite mantenerse en vuelo gracias a las alas, similares a las de los aviones convencionales. Son ligeros, eficientes y ofrecen una mayor autonomía, lo que les permite cubrir grandes distancias. Sin embargo, requieren estar en movimiento constante para mantenerse en el aire y generalmente necesitan una pista de despegue y aterrizaje o sistemas de lanzamiento especializados (Carrillo Villalobos et al., 2018).

- a. Ala alta:** Las alas están posicionadas en la parte superior del fuselaje, proporcionando mayor estabilidad durante el vuelo, especialmente en condiciones de viento.

Figura 5.

Dron de ala alta



Nota. “Dron de ala alta” [Fotografía] obtenida de Revista de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua

- b. Ala media:** Las alas se ubican en la parte central del fuselaje, ofreciendo un equilibrio entre estabilidad y maniobrabilidad.

Figura 6.

Dron de ala media



Nota. “Dron de ala media” [Fotografía] obtenida de Revista de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua

- c. Ala baja:** Las alas se encuentran en la parte inferior del fuselaje, favoreciendo una mayor velocidad y agilidad.

Figura 7.

Dron de ala baja



Nota. “Dron de ala baja” [Fotografía] obtenida de Revista de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua

- d. Ala volante:** No poseen un fuselaje definido, ya que las alas constituyen toda la estructura del dron, optimizando la aerodinámica y reduciendo el peso.

Figura 8.

Dron de ala volante



Nota. “Dron de ala volante” [Fotografía] obtenida de Revista de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua

2.9.1.2. Drones de Ala rotatoria

Son dispositivos aéreos no tripulados que utilizan múltiples hélices para generar sustentación y movimiento, permitiéndoles despegar y aterrizar de manera vertical, mantenerse estacionarios en el aire y maniobrar con precisión. Estas características los hacen versátiles para aplicaciones como filmación aérea, vigilancia, inspección de infraestructuras y entrega de paquetes (DRONING, 2014).

Su estabilidad en vuelo se debe a un sistema de control avanzado que ajusta la velocidad de los motores en tiempo real para mantener el equilibrio, incluso ante condiciones ambientales adversas (Carrillo Villalobos et al., 2018). La estructura básica incluye un frame que soporta componentes como motores, hélices, batería y sensores, siendo el carbono un material común por su resistencia y ligereza (DRONING, 2014).

Figura 9.

Dron de ala rotatoria



Nota. “Dron de ala rotatoria” [Fotografía] obtenida de Droning page

2.9.1.3. Drones Híbridos

Los drones híbridos combinan las características de los drones de ala fija y los de ala rotatoria. Están diseñados para despegar y aterrizar de manera vertical como los multirrotores, pero una vez en el aire pueden volar a alta velocidad como los de ala fija. Aunque son más costosos y requieren de tecnologías avanzadas, su versatilidad los hace ideales para misiones que demandan autonomía y maniobrabilidad. Este tipo de dron es utilizado en aplicaciones complejas, como levantamientos en terrenos mixtos, inspección de áreas remotas y transporte de cargas en distancias largas (Carrillo Villalobos et al., 2018).

Figura 10.

Dron híbrido



Nota. “Dron híbrido” [Fotografía] obtenida de satuav.com

2.10. LEVANTAMIENTO CON AEROFOTOGRAMETRÍA Y DRONES (RPAS)

La aerofotogrametría es una técnica que utiliza fotografías aéreas para obtener información detallada del terreno y generar modelos tridimensionales. Con la introducción de drones, esta técnica ha ganado en precisión y rapidez. Los drones permiten capturar imágenes aéreas de alta resolución, que luego se procesan para generar ortofotos y modelos tridimensionales del terreno. El uso de puntos de control terrestre (GCP) mejora aún más la precisión de los datos obtenidos (Caballos Reina, 2023).

2.10.1. MÉTODOS DE FOTOGRAMETRIA.

La fotogrametría, como técnica de levantamiento y análisis topográfico, emplea imágenes capturadas desde distintas perspectivas para generar modelos tridimensionales y mediciones precisas. Sus métodos se clasifican según la posición de las cámaras, la resolución de las imágenes y la tecnología utilizada.

2.10.1.1. *Fotogrametría de Objeto Cercano.*

Este enfoque se centra en capturar imágenes a corta distancia de los objetos, utilizando cámaras de alta resolución para detalles finos. Según (Emilio Mata de Castro, 2015), las mejoras en la automatización de los procesos de fotogrametría de objeto cercano han optimizado su precisión y reducido los tiempos de procesamiento. Estas técnicas son fundamentales en áreas como la conservación del patrimonio cultural y la inspección industrial.

2.10.1.2. *Fotogrametría Convergente.*

En este método, las cámaras se colocan con diferentes ángulos de inclinación para capturar un mayor volumen de información de un objeto o estructura. (García León Josefina, 2015) señala que este enfoque es especialmente útil en fotogrametría arquitectónica, ya que permite registrar detalles intrincados de edificios y monumentos históricos con gran fidelidad.

2.10.2. ERRORES EN FOTOGRAMETRIA

A pesar de los avances tecnológicos, la fotogrametría enfrenta diversas fuentes de error que pueden comprometer la precisión de los modelos y mediciones obtenidos. Estos errores suelen originarse en etapas clave del proceso, como la captura de imágenes, la calibración de los equipos o el procesamiento de datos. Detectar y gestionar estos errores es esencial para garantizar resultados confiables. En una comparación con métodos tradicionales Jorge Armando Cuque Castañeda, (2020) evaluó la precisión de los levantamientos fotogramétricos en relación con los realizados mediante teodolitos. Esta investigación identificó problemas

recurrentes en la georreferenciación, la superposición de imágenes y la calidad de los puntos de control terrestre (GCP). Los resultados enfatizan la importancia de una planificación adecuada y de la calibración de los equipos para minimizar las imprecisiones.

Por otro lado, (Matilde Balaguer Puig, 2015) analizó los errores específicos que afectan los estudios de erosión hídrica en laboratorio mediante técnicas fotogramétricas. Entre las principales limitaciones, se encontraron distorsiones causadas por condiciones atmosféricas y baja resolución en áreas críticas. Estas deficiencias pueden abordarse con configuraciones de vuelo optimizadas, cámaras de mayor calidad y mejoras en los algoritmos de procesamiento. En conjunto, estas investigaciones destacan que, aunque la fotogrametría ofrece numerosas ventajas frente a métodos tradicionales, su efectividad depende de una ejecución técnica rigurosa y el uso de tecnologías adecuadas para cada contexto.

2.11. PRECISIÓN EN LOS EQUIPOS TOPOGRÁFICOS

La precisión en los equipos topográficos varía según la tecnología utilizada. El GNSS RTK proporciona precisiones subcentimétricas, mientras que las estaciones totales ofrecen precisiones milimétricas en la medición de distancias y ángulos. Los drones, si bien no alcanzan la misma precisión, ofrecen un rango de exactitud planimétrica en el orden de los centímetros, lo que es suficiente para la mayoría de los proyectos topográficos en áreas grandes o de difícil acceso.

2.12. INNOVACIONES EN TECNOLOGIAS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.

El levantamiento topográfico ha evolucionado significativamente con la incorporación de tecnologías avanzadas, como drones, software especializado y modelos colaborativos. Estas herramientas han optimizado la precisión, la eficiencia y la capacidad de análisis en proyectos de diversa índole.

2.12.1.1. *Comparación entre Drones y Métodos Tradicionales*

Según un estudio de la Universidad Cooperativa de Colombia (Salas Rojas, 2022), los drones presentan ventajas notables frente a los métodos

convencionales de levantamiento topográfico. Se destacan por su rapidez, cobertura amplia y facilidad para operar en áreas de difícil acceso. Mientras los drones permiten abarcar grandes extensiones en menos tiempo y con menores recursos, los métodos tradicionales continúan ofreciendo mayor precisión en trabajos de pequeña escala o que requieren detalles específicos.

2.12.1.2. Integración con Metodologías Avanzadas

La investigación de la Universidad Católica del Perú (Fernández Muñoz, 2024) explora la combinación de drones y software como ISTRAM con la metodología BIM (Building Information Modeling). Este enfoque crea un flujo de trabajo más eficiente, mejorando la precisión y la velocidad en la generación de modelos tridimensionales. Además, fomenta la colaboración entre equipos multidisciplinarios, facilitando el diseño y ejecución de proyectos de infraestructura con un enfoque más integrado y coordinado.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El tipo y nivel de investigación son las consideraciones iniciales esenciales al diseñar la metodología para las variables del estudio. Es crucial seleccionar el tipo y nivel adecuados para abordar de manera efectiva una pregunta de investigación o un problema particular.

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación se clasifica según su propósito y enfoque (C. Ramos-Galarza, 2021). En términos generales, se pueden distinguir dos categorías principales: investigación básica e investigación aplicada. La investigación básica se orienta hacia el desarrollo de teorías y la ampliación del conocimiento científico sin buscar una aplicación práctica inmediata.

Su objetivo es incrementar la comprensión de fenómenos fundamentales, lo que puede generar nuevos paradigmas o conceptos en diversas disciplinas. Por otro lado, la investigación aplicada tiene un enfoque práctico y se centra en la resolución de problemas específicos. Busca la implementación de soluciones concretas que mejoren procesos, tecnologías o metodologías en contextos particulares. Este tipo de investigación se utiliza frecuentemente en áreas como la ingeniería, la medicina y las ciencias sociales, donde los resultados pueden tener un impacto directo en la sociedad o en la industria.

El tema de estudio pertenece a una investigación aplicada, busca comparar la eficiencia y precisión de distintas tecnologías (GNSS RTK, estación total y RPAS) con un fin práctico, es decir, mejorar o seleccionar la mejor metodología para proyectos de levantamientos taquimétricos y perfiles longitudinales. Este también tiene un componente práctico pudiéndose considerar investigación experimental o de campo, ya que se realizarán levantamientos topográficos utilizando las diferentes tecnologías para luego comparar los resultados obtenidos.

3.1.2. Nivel de investigación.

El nivel de investigación hace referencia al grado de profundidad con el que se aborda el problema de estudio (C. A. Ramos-Galarza, 2020). Los niveles más comunes incluyen la investigación exploratoria, descriptiva, correlacional y explicativa. En el caso del estudio sobre la eficiencia y precisión de levantamientos topográficos con GNSS RTK, estación total y RPAS, se utilizan varios de estos niveles (Koolhaas, 2015). Este se clasificaría en el nivel correlacional y explicativo, ya que no solo busca describir los métodos utilizados, sino también comparar y analizar la relación entre las diferentes tecnologías (correlacional), y explicar cuál de ellas es más eficiente y precisa en el contexto de proyectos de levantamiento taquimétrico y perfil longitudinal (explicativo).

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El método, el enfoque y el diseño de la investigación son componentes esenciales para realizar estudios rigurosos y sistemáticos en cualquier disciplina académica. Estos elementos proporcionan la estructura y las directrices necesarias para abordar el problema de investigación de manera coherente y precisa, garantizando la validez de los resultados obtenidos y facilitando su replicabilidad en otros contextos. Además, la correcta elección y aplicación de estos aspectos es crucial para asegurar que los objetivos del estudio sean alcanzados de forma efectiva y que las conclusiones derivadas sean confiables y fundamentadas.

3.2.1. Método

El método de investigación se refiere a las estrategias y procedimientos utilizados para la recopilación y análisis de datos (Rodríguez Jiménez & Pérez Jacinto, 2017). En términos amplios, los métodos de investigación pueden clasificarse en cualitativos, cuantitativos o mixtos. En el caso del estudio sobre la eficiencia y precisión de levantamientos topográficos con GNSS RTK, estación total y RPAS, se utiliza un método cuantitativo. Este enfoque es adecuado ya que implica la medición y comparación de variables como la precisión, la eficiencia y

los tiempos de operación, proporcionando datos numéricos que permiten analizar y comparar objetivamente las distintas tecnologías.

3.2.2. Enfoque

El enfoque de la investigación se refiere a la orientación general con la que se aborda el estudio, y puede ser cualitativo, cuantitativo o una combinación de ambos (Nieto, 2018). Un enfoque cuantitativo se enfoca en la medición objetiva y el análisis de datos numéricos. En el caso del estudio que compara la eficiencia y precisión de levantamientos topográficos con GNSS RTK, estación total y RPAS, el enfoque es cuantitativo. Esto se debe a que el análisis se basa en la recolección de datos numéricos, como tiempos, márgenes de error y precisión de cada tecnología, con el fin de realizar comparaciones objetivas y establecer conclusiones basadas en cifras.

3.2.3. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación se refiere al plan o estrategia seleccionada para responder a las preguntas planteadas en el estudio (García Ramírez, 2019). Este diseño puede incluir enfoques como el experimental, correlacional, descriptivo, entre otros, dependiendo de los objetivos y la naturaleza del problema de investigación. En el caso del estudio que analiza la eficiencia y precisión de levantamientos topográficos con GNSS RTK, estación total y RPAS, el diseño adoptado sería correlacional-comparativo. Esto se debe a que el objetivo principal es comparar las tres tecnologías y analizar la relación entre sus variables clave, como precisión, eficiencia y tiempos de operación, sin intervenir directamente en el proceso, sino observando y midiendo sus diferencias bajo condiciones similares.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población

En un estudio de investigación, la población se define como el conjunto completo de elementos o sujetos que tienen las características que se desean analizar (Lind et al., 2012). La población en este caso se refiere al conjunto total de levantamientos topográficos o proyectos civiles en los que se podrían aplicar las

tres tecnologías mencionadas (GNSS RTK, estación total y RPAS). Es decir, serían todos los levantamientos topográficos realizados en proyectos de perfil longitudinal utilizando estas técnicas dentro del área geográfica o temporal definida por los autores.

3.3.2. Muestra

La muestra es un grupo representativo de la población que se elige para llevar a cabo el estudio (De La Cruz Casaño, 2016). La muestra es un subconjunto de esta población que será utilizado en el estudio. En este caso, la muestra estaría compuesta por un número determinado de proyectos de levantamientos taquimétricos y perfil longitudinal o levantamientos topográficos específicos, en este caso ubicados en el cantón Santa Elena donde se van a aplicar y comparar las tres tecnologías. Esta muestra debe ser representativa de la población para que los resultados puedan ser generalizables.

3.3.3. Muestreo

El muestreo es el procedimiento utilizado para seleccionar la muestra de una población, y puede ser de tipo probabilístico o no (Casal & Mateu, 2003). En este estudio, se emplea un muestreo intencional o no probabilístico, donde se seleccionan proyectos o levantamientos que cumplan con ciertos criterios específicos, como el tipo de terreno, la extensión del proyecto, o la accesibilidad para el uso de las tres tecnologías. Alternativamente, se podría usar un muestreo probabilístico estratificado si se desea asegurarse de que diferentes tipos de proyectos viales (urbanos, rurales, en diferentes condiciones topográficas) estén representados en la muestra.

Tabla 1.

Cuadro de operacionalización de las variables.

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	
<i>Variable Independiente:</i>	<i>Parámetro de levantamiento</i>	Cuantificar la dependencia de un levantamiento sobre otro	Análisis de requerimientos para realizar un levantamiento con cada instrumento de topografía.	Puntos de control	Número de puntos de control	puntos
				Puntos por hectárea	Nube de puntos	puntos
				Levantamiento	Hectáreas de levantamiento	Ha
<i>Tecnología Utilizada</i>	Instrumento de topografía utilizado	Acorde a manuales de cada equipo.	Tecnología Utilizada	Instrumento de topografía	GNSS RTK / Estación Total / RPAS (drones)	
<i>Variable dependiente:</i>	<i>Eficiencia</i>	Contempla el tiempo, costo y la facilidad de implementación del levantamiento	Relación de costo - tiempo	Tiempo	Minutos	min
				Costos asociados.	Precio unitario del levantamiento por Ha	\$
				Facilidad de implementación.	Periodo de Retorno	años
<i>Precisión</i>	Error acumulado	Cuantificar el error acumulado por hectárea de cada levantamiento	Error acumulado por hectárea	Porcentaje de error por hectárea	%	

3.4. METODOLOGÍA DEL O.E.1. REALIZAR LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS UTILIZANDO GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN EL PROYECTO DE LEVANTAMIENTOS TAQUIMETRICO Y PERFILES LONGITUDINALES SELECCIONADO, SIGUIENDO LOS PROCEDIMIENTOS PLANIFICADOS PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS MODELOS TOPOGRÁFICOS OBTENIDOS.

En esta etapa se realizó el diseño y planificación detallada de los procedimientos a aplicar en el levantamiento topográfico utilizando las tecnologías GNSS RTK, estación total y RPAS, y para poder realizar el estudio comparativo de planteo analizar en dos sitios con distintas características topográficas que: i) Centro de Ancón, terreno Ondulado; ii) Playa Acapulco en Ancón, terreno montañoso. Este proceso incluyó la selección de equipos, definición de puntos de control, metodología de trabajo y los criterios de precisión requeridos.

3.4.1. Selección de Equipos

Cada tecnología requirió equipos específicos, seleccionados según las características del área de estudio y los objetivos del proyecto:

3.4.1.1. GNSS RTK:

Se utilizaron receptores GNSS diferencial de doble frecuencia marca SINOGNSS modelo Comnav N5, un bastón con burbuja de nivelación, trípode para instalación de base y una laptop con software especializado para la descarga y procesamiento de datos. La Figura 11 nos brinda una imagen referencial del equipo utilizado.

3.4.1.2. Estación Total:

Se empleó una estación total Sokkia iM50 Series junto con un trípode, un prisma, una cinta métrica de 5 metros y una libreta de campo para registros manuales. La figura 12, brinda una imagen del equipo utilizado.

Figura 11.

GNSS diferencial de doble frecuencia.



Nota. “GNSS diferencial de doble frecuencia” [Fotografía] obtenida de SINOGNSS

Figura 12.

Estación total Sokkia.



Nota. “Estación Total Sokkia iM50” [Fotografía] obtenida de SOKKIA.

3.4.1.3.RPAS (Drones):

Se utilizó un dron DJI Air 2S con todo el equipamiento necesario de baterías, hélices, un dispositivo iOS para control y planificación de vuelo equipado con la aplicación móvil de Drone Deploy, y para la fase de procesamiento una laptop equipada con el software Agisoft Metashape para procesar las imágenes y generar modelos digitales de terreno.

Figura 13.

UAV Drone – DJI Air 2s



Nota. “DJI Air 2s” [Fotografía] obtenida de DJI Fly.

3.4.2. Levantamiento 1 “Centro de Ancón, terreno Ondulado”

Para iniciar este levantamiento topográfico se empleó las tecnologías tecnologías GNSS RTK y estación total, con un enfoque en la precisión y la integración de datos. Se partió de dos puntos conocidos posicionados con el método NTRIP, que garantiza correcciones en tiempo real para las coordenadas geodésicas. Estos puntos incluyeron una placa municipal registrada y un punto de partida adicional. Sin embargo, debido a trabajos de construcción previos en la zona, la placa municipal había sido removida, lo que requirió el reposicionamiento del punto original utilizando el protocolo NTRIP, reforzado con un segundo punto adicional como apoyo.

3.4.2.1. Coordenadas de Referencia.

Las coordenadas iniciales obtenidas para el levantamiento en el área céntrica fueron las siguientes:

Tabla 2.

Puntos de referencia utilizados.

Punto	Nombre	Este	Norte	Elevación
1	PLACA MUNICIPAL	516177.09	9743644.8	36.828
2	P. PARTIDA	516179.37	9743626.8	37.358

Estos puntos de referencia fueron fundamentales para el desarrollo del levantamiento, ya que establecieron la orientación inicial y garantizaron la precisión en las mediciones subsecuentes. La corrección y validación de estos puntos se realizó a través de una poligonal cerrada, método que asegura la coherencia y precisión de las coordenadas obtenidas.

3.4.2.2. Procedimiento para el Posicionamiento con GNSS NTRIP.

El procedimiento para establecer los puntos de partida y garantizar la orientación correcta de los equipos siguió un enfoque técnico estructurado:

- a) **Montaje del Equipo GNSS:** El receptor GNSS se instaló sobre los puntos seleccionados con el objetivo de capturar las coordenadas geodésicas necesarias. Se garantizó la nivelación precisa del equipo mediante ajustes en el trípode, considerando las condiciones del terreno.
- b) **Configuración del Protocolo NTRIP:** El equipo GNSS fue configurado y enlazado a la red de monitoreo de Santa Elena utilizando el protocolo NTRIP. Este protocolo permitió la transmisión de datos en tiempo real, corrigiendo las coordenadas obtenidas de manera continua para garantizar la precisión requerida.
- c) **Colocación de Puntos de Apoyo Terrestre:** En el área céntrica, se establecieron puntos de apoyo con estación total. Se empleó una poligonal cerrada para corregir las mediciones, asegurando la precisión angular y lineal de los puntos. La estructura de los hitos se construyó con material de madera, incorporando un clavo central como referencia fija para mejorar la estabilidad y la repetibilidad de las mediciones.
- d) **Validación y Ajuste de Poligonales:** Una vez obtenidos los datos iniciales, se realizaron cierres de poligonales en las mediciones, comparando las coordenadas calculadas con las reales. Esto permitió ajustar cualquier desviación menor y garantizar la confiabilidad de los puntos establecidos.

3.4.2.3. Georreferenciación con GNSS NTRIP

El proceso de georreferenciación consistió en establecer vértices geodésicos mediante el protocolo NTRIP. Este método, que utiliza estaciones base permanentes como referencia, permitió transmitir datos desde puntos específicos y aplicar correcciones en tiempo real. La base de referencia empleada fue la antena ubicada en el cantón La Libertad, provincia de Santa Elena, que forma parte de la red GNSS local. Este protocolo aseguró la coherencia de las coordenadas obtenidas a lo largo del levantamiento, facilitando la integración de los datos recolectados con otras tecnologías, las ventajas de implementar el protocolo NTRIP son:

- a) **Corrección en tiempo real:** Se minimizan los errores en las coordenadas al aplicar ajustes diferenciales de forma inmediata.
- b) **Alta precisión:** Las mediciones alcanzaron una precisión sub centimétrica, ideal para trabajos de ingeniería de alta exigencia.
- c) **Eficiencia operativa:** La facilidad de implementación y el acceso a una red GNSS permanente optimizaron los tiempos de trabajo.

3.4.2.4. Detalles del Levantamiento con Estación Total

Además de los puntos obtenidos con GNSS RTK, se colocaron puntos de apoyo terrestre utilizando una estación total. Estos puntos sirvieron para realizar ajustes y validaciones adicionales en el área céntrica de Ancón, siguiendo una metodología de alta precisión:

- a) **Estructura de hitos:** Los puntos de apoyo fueron marcados con hitos contruidos en madera, reforzados con un clavo central para mantener la estabilidad durante las mediciones.
- b) **Método de corrección:** Se aplicó una poligonal cerrada, ajustando las mediciones angulares y lineales para garantizar la precisión dentro de los márgenes requeridos.

- c) **Integración de datos:** Los puntos obtenidos con la estación total se integraron con las coordenadas GNSS, permitiendo una visualización completa del área levantada.

3.4.3. Levantamiento Topográfico con Estación Total

Para la obtención de coordenadas en el área de estudio, se utilizó el método de poligonal abierta, el cual permite definir una secuencia de puntos con referencia inicial y final, ideal para áreas con fácil acceso y donde la continuidad es prioritaria. Este método fue implementado tomando como referencia los puntos de orientación previamente establecidos mediante GNSS RTK y el protocolo NTRIP.

El método de poligonal abierta aplicado durante el levantamiento topográfico permitió obtener datos confiables y precisos sobre el terreno. Los equipos utilizados y el personal requerido garantizaron un desarrollo eficiente del proceso, asegurando que las coordenadas obtenidas fueran representativas y adecuadas para el análisis posterior. Este levantamiento constituye un insumo clave para la elaboración de modelos topográficos y para la planificación del proyecto de perfil longitudinal en el área de estudio.

Las mediciones realizadas se estructuraron en estaciones intermedias que conectaron los puntos de partida y los puntos de interés del levantamiento. Cada estación fue configurada cuidadosamente para garantizar la precisión en la captación de ángulos y distancias, logrando una descripción geográfica precisa del terreno. La tabla 3. resume las coordenadas utilizadas durante el levantamiento:

Tabla 3.

Puntos Utilizados en el levantamiento con estación total.

Punto	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)	Elevación (m)
1	516177.09	9743644.80	36.828
2	516179.37	9743626.80	37.358

3.4.3.1. Equipos Utilizados:

Durante el desarrollo del levantamiento topográfico, se emplearon los siguientes equipos especializados:

- a) **Estación total:** Marca Sokkia iM50 Series, la cual permitió captar con precisión los ángulos horizontales, verticales y las distancias.
- b) **Trípode:** Utilizado para estabilizar la estación total durante las mediciones.
- c) **Prisma:** Para reflejar las señales emitidas por la estación y capturar las lecturas necesarias.
- d) **Cinta métrica de 5 m:** Usada para mediciones manuales de distancias cortas y ajustes en el campo.
- e) **Libreta de campo:** Herramienta clave para registrar manualmente las observaciones y datos recolectados.

3.4.3.2. Personal Requerido

El levantamiento demandó un equipo básico de personal calificado, compuesto por:

- a) **Operador de equipo topográfico:** Responsable de configurar y operar la estación total, así como de realizar las mediciones angulares y de distancia.
- b) **Cadenero:** Encargado de manejar el prisma, asegurar la alineación adecuada y colaborar en la validación de mediciones en el campo.

3.4.3.3. Procedimiento

El procedimiento detallado del levantamiento topográfico con estación total inició con la preparación inicial, en la cual se establecieron los puntos de orientación inicial y final tomando como referencia los puntos previamente georreferenciados mediante GNSS RTK. Posteriormente, se colocó la estación total sobre el trípode y se niveló cuidadosamente para garantizar estabilidad y precisión en las mediciones. En la fase de configuración de la estación total, se definieron las coordenadas de referencia iniciales

necesarias para orientar correctamente el equipo, además de programar los parámetros requeridos para la medición de ángulos y distancias.

Durante las mediciones, el operador apuntó al prisma reflejante colocado en cada estación intermedia, realizando las lecturas de los ángulos horizontales, verticales y las distancias entre puntos. Cada medición fue verificada y registrada en una libreta de campo para su posterior análisis y procesamiento. Finalmente, en la etapa de ajuste de datos, se corrigieron las lecturas obtenidas considerando posibles errores acumulados, asegurando que las coordenadas finales cumplieran con los estándares de precisión establecidos para el proyecto. Este proceso permitió garantizar la calidad y confiabilidad de los datos recolectados.

3.4.4. Levantamiento topográfico CON GNSS RTK.

El levantamiento con GNSS RTK ofreció una solución precisa y eficiente para la recolección de datos topográficos en el área de estudio. La combinación de un equipo especializado y personal calificado permitió realizar mediciones con corrección en tiempo real, asegurando la precisión y confiabilidad de las coordenadas obtenidas. Este método resulta especialmente ventajoso en proyectos que demandan alta precisión en la definición de puntos geodésicos y en áreas donde las condiciones del terreno permiten el uso de tecnología GNSS.

3.4.4.1. Equipo Utilizado.

Para este levantamiento, se emplearon equipos y herramientas diseñados para garantizar la precisión de los datos recolectados. La lista de equipos incluye:

- a) **Dos receptores GPS diferenciales:** doble frecuencia marca SINOGNSS modelo Comnav N5, con sus respectivos accesorios.
- b) **Un colector de datos** de la marca SINOGNSS, encargado de almacenar y gestionar la información recolectada por los receptores.
- c) **Un trípode**, utilizado para estabilizar el receptor base.
- d) **Un bastón** con burbuja de nivelación para el rover.

- e) **Cinta métrica** de 5 m, útil para realizar mediciones manuales de referencia.
- f) **Una laptop**, empleada para descargar y procesar la información registrada por los receptores GPS.

3.4.4.2. Personal Requerido

El equipo de trabajo necesario para ejecutar este levantamiento fue el siguiente:

- a) **Un operador del equipo topográfico:** Responsable de configurar y operar los receptores GPS, así como de supervisar el proceso de levantamiento y garantizar la calidad de los datos recolectados.
- b) **Un auxiliar en topografía:** Encargado de asistir al operador, posicionar el rover en los puntos de levantamiento y verificar la nivelación de los equipos.

3.4.4.3. Procedimiento

El levantamiento topográfico mediante la tecnología GNSS RTK comenzó con la instalación de un receptor GPS como base. Este receptor permaneció en una posición fija sobre un punto conocido, encargado de recibir y enviar información corregida en tiempo real. El receptor móvil, conocido como rover, fue montado en un bastón con burbuja de nivelación, y se posicionó en los diferentes puntos a levantar.

Antes de iniciar las mediciones, se configuraron tanto la base como el rover, estableciendo la conexión necesaria para recibir correcciones de datos a través de canales específicos. Una vez completada la configuración, se procedió con el levantamiento de información en el área de estudio, obteniendo coordenadas geodésicas precisas para su posterior análisis.

3.4.5. Levantamiento topográfico fotogramétrico con Drone.

El levantamiento topográfico con drone es una metodología eficiente y precisa para áreas extensas o de difícil acceso. La combinación de vuelos planificados y puntos de apoyo terrestre permite obtener resultados confiables, como modelos tridimensionales, curvas de nivel y datos georreferenciados con alta precisión. Además, el uso de herramientas avanzadas como Agisoft Metashape garantiza un procesamiento de datos rápido y detallado.

Este método, aunque eficiente, debe realizarse cumpliendo estrictamente las normativas locales, como la obtención de licencias de vuelo y la matriculación del drone en la Dirección General de Aviación Civil de Ecuador. Estas regulaciones aseguran que las operaciones sean legales y seguras, protegiendo tanto al personal involucrado como al entorno de trabajo. Si necesitas agregar diagramas o ejemplos visuales para complementar esta información, puedo prepararlos.

3.4.5.1. Equipo Utilizado

El levantamiento topográfico con drone requirió los siguientes equipos y herramientas:

- a) **Drone DJI Air 2S**, con todos sus accesorios, para la captura de imágenes aéreas de alta resolución.
- b) **Laptop**, para descargar y procesar los datos recolectados.
- c) **Software Agisoft Metashape**, empleado para el procesamiento y análisis de los datos.
- d) **Dispositivo iOS**, utilizado para controlar el drone y configurar los planes de vuelo.
- e) **Software DroneDeploy**, para la planificación y optimización de las rutas de vuelo.

3.4.5.2. Personal Requerido

El personal involucrado en la ejecución del levantamiento incluyó:

- a. **Operador de equipo topográfico:** Responsable de coordinar las actividades en campo, supervisar el funcionamiento del dron y garantizar la calidad de las imágenes capturadas.
- b. **Auxiliar y técnico en planificación de vuelo para drones:** Encargado de planificar las rutas de vuelo, verificar las configuraciones del equipo y apoyar en el procesamiento inicial de los datos recolectados.

3.4.5.3.Procedimiento

El levantamiento topográfico con dron se realizó mediante la planificación de vuelos predefinidos para garantizar la correcta alineación de las imágenes capturadas y obtener información detallada del área de estudio. Los vuelos fueron diseñados considerando la superposición entre las imágenes para asegurar una cobertura completa y precisa.

Para la orientación del dron y la generación de datos confiables, se emplearon puntos de apoyo terrestre establecidos previamente. Estos puntos fueron determinados utilizando una estación total, con un levantamiento mediante poligonal cerrada para asegurar la precisión requerida. Los puntos de apoyo terrestre proporcionaron una base sólida para la calibración y georreferenciación de las imágenes capturadas por el dron.

Tabla 4.

Puntos de apoyo terrestre.

N°	Nombre	Tipo de Monumento	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)
1	EST1	Placa de madera con perno	516179.37	9743626.8	37.358
2	ARC	Placa de madera con perno	516149.37	9743646.5	36.905
3	PP2	Placa de madera con perno	516179.10	9743502.6	42.652
4	PP3	Placa de madera con perno	516152.47	9743197.7	45.454
5	PP5	Placa de madera con perno	516163.62	9743092.1	47.188

En Ecuador, es importante destacar que el uso de drones requiere que el operador cuente con una licencia emitida por la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), y el dron debe estar matriculado conforme a la

normativa vigente. Esto garantiza que las operaciones cumplan con los estándares legales y de seguridad establecidos.

El procesamiento de la información obtenida se llevó a cabo utilizando el software **Agisoft Metashape**, el cual permitió generar curvas de nivel y tablas de puntos con coordenadas y elevaciones de interés. Además, el software facilitó la creación de modelos digitales del terreno y ortofotos georreferenciadas, brindando resultados detallados y precisos.

3.4.6. Levantamiento 2 “Ancón playa Acapulco, terreno Montañoso”

En el levantamiento topográfico realizado en Playa Acapulco, dentro de la parroquia Ancón, se enfrentaron desafíos relacionados con las condiciones del terreno natural, lo que dificultó la determinación precisa de las coordenadas de ciertos puntos. Las variaciones inherentes entre los equipos topográficos utilizados hacen que los resultados de las mediciones puedan diferir ligeramente. Para este análisis, la comparación se realizará trazando un perfil longitudinal en el software Civil 3D, utilizando los datos recolectados. Este perfil permitirá evaluar y diferenciar las respectivas elevaciones obtenidas con cada tecnología.

3.4.6.1. Coordenadas de Referencia.

El levantamiento comenzó con dos puntos conocidos posicionados mediante el protocolo NTRIP, los cuales sirvieron como base para orientar y desarrollar las mediciones. Adicionalmente, se corrigió uno de los puntos utilizando una poligonal cerrada, lo que aseguró la precisión necesaria para el estudio.

Tabla 5.

Puntos para orientar el levantamiento.

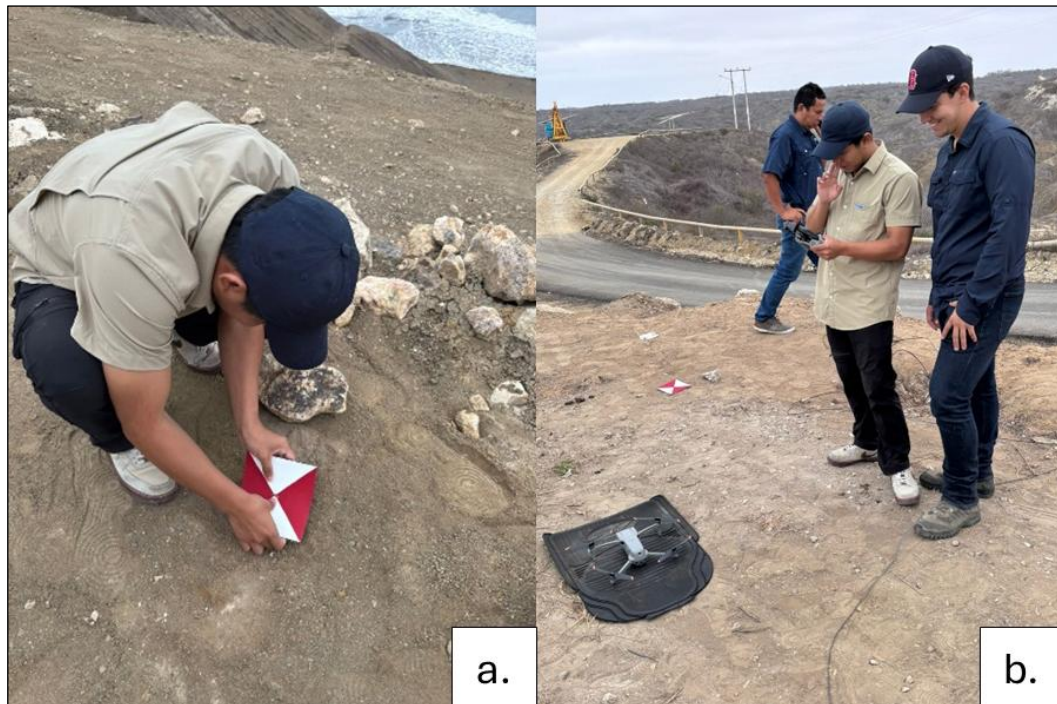
Punto	Nombre	Este	Norte	Elevación
1	PB1	515535.43	9742619.6	46.169
2	PB2	515535.59	9742621.3	16.188

3.4.6.2. Procedimiento de Colocación de Puntos de Partida con GNSS NTRIP

Para establecer los puntos de partida que sirvieron como referencia para orientar los equipos, se instaló un receptor GNSS sobre los puntos seleccionados, obteniendo información geodésica precisa necesaria para la orientación de los equipos. El receptor GNSS se enlazó a la red de monitoreo de Santa Elena mediante el protocolo NTRIP. Este protocolo permitió obtener mediciones corregidas en tiempo real, garantizando datos consistentes y precisos.

Figura 14.

Colocación de puntos de partida.



3.4.6.3. Estructura de los Hitos para Puntos de Apoyo Terrestre

En el área de Playa Acapulco, los puntos de apoyo terrestre fueron establecidos utilizando una estación total y ajustados mediante poligonales cerradas para garantizar la precisión de las mediciones. Los hitos se construyeron con estructuras de madera, reforzadas con un clavo central que servía como punto de referencia. Esta configuración proporcionó

estabilidad y repetibilidad en las mediciones, a pesar de las condiciones variables del terreno.

3.4.6.4. Georreferenciación por Método GNSS NTRIP

La georreferenciación del levantamiento fue realizada utilizando el protocolo NTRIP, el cual permite transmitir datos de puntos específicos y aplicar correcciones en tiempo real. Este método garantiza que las coordenadas obtenidas sean coherentes y confiables. En este caso, los vértices geodésicos fueron establecidos utilizando como base de referencia la antena ubicada en el cantón La Libertad, provincia de Santa Elena. Este sistema aseguró una orientación precisa para todo el levantamiento topográfico y facilitó la integración de los datos entre las distintas tecnologías utilizadas.

3.4.7. Levantamiento Topográfico con Estación Total.

El levantamiento topográfico en Playa Acapulco se realizó utilizando el método de poligonal cerrada, que permite obtener alta precisión en mediciones angulares y de distancias. Este método se implementó tomando como referencia los puntos de orientación establecidos previamente mediante GNSS protocolo NTRIP, lo que aseguró la integración de datos entre las diferentes tecnologías utilizadas en el proyecto.

3.4.7.1. Equipo Utilizado

Para este levantamiento se utilizaron una estación total Sokkia iM50 Series, un trípode para estabilizar el equipo, un prisma para reflejar las señales de la estación total, una cinta métrica de 5 metros para realizar mediciones manuales y ajustes de campo, y una libreta de campo para registrar las observaciones y datos obtenidos en el terreno.

3.4.7.2. Personal Requerido

El personal técnico estuvo compuesto por un operador de equipo topográfico, responsable de manejar la estación total, realizar las mediciones y registrar los datos, y un cadenero, encargado de manejar el

prisma y asistir al operador en la alineación y ubicación de puntos en el terreno.

3.4.7.3.Procedimiento

El procedimiento comenzó con la preparación inicial, en la cual se instalaron y nivelaron los equipos en los puntos de partida establecidos mediante GNSS protocolo NTRIP. Las condiciones del terreno fueron verificadas para garantizar estabilidad y confiabilidad en las mediciones. Posteriormente, el operador utilizó la estación total para captar ángulos horizontales, verticales y distancias desde los puntos de partida hasta los puntos de interés en el área de estudio. Las mediciones se ajustaron mediante la poligonal cerrada para garantizar coherencia y precisión. Finalmente, todos los datos recolectados fueron registrados en la libreta de campo y transferidos para su análisis y procesamiento en gabinete.

3.4.8. Levantamiento Topográfico con GNSS RTK

El levantamiento topográfico en Playa Acapulco mediante GNSS RTK utilizó el protocolo NTRIP para obtener correcciones en tiempo real. Este método resultó clave para la georreferenciación de puntos base y la orientación de las demás tecnologías empleadas en el proyecto.

3.4.8.1.Equipo Utilizado

El equipo utilizado incluyó dos receptores GNSS diferenciales de doble frecuencia marca SINOGNSS modelo Comnav N5 con sus accesorios, un colector de datos SINOGNSS para gestionar y almacenar la información, un trípode para estabilizar el receptor base, un bastón para posicionar el rover, y una laptop para descargar y procesar la información recolectada.

3.4.8.2.Personal Requerido

El equipo de trabajo estuvo conformado por un operador de equipo topográfico, encargado de configurar y operar los receptores GNSS, y un auxiliar en topografía, responsable de asistir al operador y posicionar el rover en los puntos de levantamiento.

3.4.8.3.Procedimiento

El levantamiento inició con la instalación del receptor base sobre un punto conocido, utilizando el protocolo NTRIP para obtener correcciones en tiempo real. El receptor rover fue configurado y enlazado con la base, lo que permitió capturar las coordenadas geodésicas de los puntos de interés. Una vez configurado el sistema, el rover fue desplazado a través del área de estudio para registrar las coordenadas de cada punto con precisión subcentimétrica. Los datos obtenidos se descargaron en la laptop y se procesaron en software especializado para su análisis y posterior integración en los modelos topográficos.

3.4.9. Levantamiento Topográfico Fotogramétrico con Drone.

El levantamiento fotogramétrico en Playa Acapulco se realizó mediante vuelos planificados que garantizaron la alineación adecuada de las imágenes capturadas. Para asegurar la georreferenciación de las fotografías, se emplearon puntos de apoyo terrestre establecidos con estación total y ajustados mediante poligonales cerradas.

3.4.9.1.Equipo Utilizado

El equipo empleado incluyó un dron DJI Air 2S con todos sus accesorios, una laptop equipada con software para el procesamiento de datos, un dispositivo Android utilizado para controlar el dron y planificar los vuelos, y el software Agisoft Metashape para procesar las imágenes y generar productos topográficos como modelos digitales de terreno y curvas de nivel.

3.4.9.2.Personal Requerido

El levantamiento contó con un operador de equipo topográfico, encargado de controlar el dron y supervisar las operaciones, y un auxiliar y técnico en planificación de vuelo, responsable de diseñar las rutas, verificar los

parámetros del equipo y asistir en el procesamiento inicial de los datos recolectados.

3.4.9.3.Procedimiento

El procedimiento comenzó con la planificación de las rutas de vuelo, asegurando una superposición adecuada de imágenes para garantizar una cobertura completa del área de estudio. Posteriormente, se establecieron y ajustaron puntos de apoyo terrestre con estación total para mejorar la precisión en la georreferenciación de las imágenes capturadas, acorde a la tabla.

Tabla 6.

Puntos de apoyo terrestre para fotogrametría aérea con Drone UTM Z17S

NOMBRE	ESTE	NORTE	ELEVACION
P1	515535,592	9742621,269	46,18
P2	515469,196	9742641,383	38,27
P3	515286,58	9742687,747	21,70
P4	515408,074	9742580,529	9,22

Durante los vuelos, el dron capturó imágenes aéreas de alta resolución siguiendo las rutas planificadas. Una vez finalizada la captura de datos, las imágenes fueron procesadas en Agisoft Metashape, generando modelos tridimensionales, curvas de nivel y tablas de puntos con coordenadas y elevaciones precisas para el análisis del terreno.

3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.2: EVALUAR LA EFICIENCIA DE CADA TECNOLOGÍA MEDIANTE EL ANÁLISIS Y CÁLCULO DE PRECISIONES CONSIDERANDO TIEMPOS, COSTOS ASOCIADOS Y FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN EN CONDICIONES REALES DE TRABAJO EN PROYECTOS.

El objetivo de esta etapa fue evaluar la eficiencia de las tecnologías empleadas en los levantamientos topográficos (GNSS RTK, estación total y drones) mediante un análisis integral que consideró la precisión, los tiempos de ejecución, los costos

asociados y la facilidad de implementación. Este análisis permitió determinar la aplicabilidad de cada tecnología en condiciones reales de trabajo para proyectos topográficos y de ingeniería civil. Los parámetros de evaluación considerados en el análisis incluyeron la precisión, los tiempos de ejecución, los costos asociados y la facilidad de implementación.

3.5.1. Precisión

En cuanto a la precisión, se analizaron los errores acumulados en las mediciones realizadas por cada tecnología. Esto incluyó la comparación de las coordenadas y elevaciones obtenidas en puntos comunes, el trazado de perfiles longitudinales en Civil 3D para identificar discrepancias en las elevaciones, y un análisis de los errores estándar mediante ajustes en poligonales y correcciones en tiempo real.

3.5.2. Tiempos de ejecución

Respecto a los tiempos de ejecución, se midió el tiempo promedio requerido por cada tecnología para completar el levantamiento topográfico en un área definida, registrando actividades como la preparación y calibración de los equipos, el levantamiento de los puntos de interés, y la descarga y procesamiento de los datos recolectados.

3.5.3. Costos asociados

Los costos asociados se calcularon tomando en cuenta la adquisición o alquiler de los equipos utilizados, el software necesario para el procesamiento de datos, los recursos humanos requeridos para operar cada tecnología y el tiempo total de trabajo tanto en campo como en oficina.

3.5.4. Facilidad de implementación.

La facilidad de implementación evaluó la adaptabilidad de cada tecnología a diferentes tipos de terreno (urbano, natural o accidentado), así como la necesidad de permisos, licencias o certificaciones para operar los equipos, destacando el caso del dron, que requiere matrícula y licencia de la Dirección General de Aviación

Civil del Ecuador, además de considerar la complejidad en la configuración y manejo de los equipos.

El procedimiento de evaluación incluyó la recolección de datos durante los levantamientos realizados en Ancón Centro y Playa Acapulco, garantizando uniformidad en las condiciones de trabajo para facilitar la comparación. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo cruzado de los parámetros definidos, utilizando gráficos y tablas para visualizar las diferencias entre las tecnologías. Esto abarcó gráficas de tiempo versus precisión, la comparación de costos por hectárea levantada y un resumen de ventajas y desventajas en términos de facilidad de implementación. Además, se seleccionó un perfil longitudinal en Playa Acapulco como estudio de caso para comparar la precisión de las elevaciones obtenidas por cada tecnología. Finalmente, se estableció una relación costo-beneficio, considerando la precisión alcanzada por cada tecnología frente al costo y el tiempo requerido para obtener los resultados, proporcionando un análisis integral para determinar la tecnología más eficiente según las condiciones del proyecto.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DEL O.E.1. REALIZAR LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS UTILIZANDO GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN EL PROYECTO DE LEVANTAMIENTO TAQUIMETRICO Y PERFILES LONGITUDINALES SELECCIONADO, SIGUIENDO LOS PROCEDIMIENTOS PLANIFICADOS PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS MODELOS TOPOGRÁFICOS OBTENIDOS.

Se desarrollaron procedimientos meticulosamente diseñados para la realización de levantamientos topográficos utilizando tecnologías de GNSS RTK, Estación Total y RPAS. Este proceso incluyó la selección cuidadosa de equipos, la definición de puntos de control, una metodología de trabajo claramente estructurada y la adopción de criterios de precisión ajustados a las necesidades del proyecto seleccionado.

4.1.1. Levantamiento 1: Ancón Centro.

Siguiendo los procedimientos previamente establecidos, se realizaron levantamientos topográficos en Ancón Centro, utilizando tecnologías GNSS RTK y Estación Total. Los datos recopilados se procesaron para generar modelos topográficos detallados, la Tabla 8.

Tabla 7.

Levantamiento.

AREA (m2)	TIPO DE TERRENO	Altura (MSNM)
36066,00	ONDULADO	35,00

Las tablas 8, 9 y 10 contienen los datos de los puntos específicos de las puntas de las flechas de la calle, obtenidos a través de tres diferentes metodologías,

cada tabla muestra las coordenadas 'Este', 'Norte' y 'Elevación' para cada punto marcado como 'FLEC'.

Tabla 8.

Datos obtenidos del levantamiento con estación total.

PUNTO	NOMBRE	ESTE	NORTE	ELEVACION
1	FLEC1	516174,461	9743627,553	37,017
2	FLEC2	516175,335	9743616,056	37,378
3	FLEC3	516175,905	9743595,093	38,533
4	FLEC4	516173,290	9743523,470	42,099
5	FLEC5	516171,926	9743498,955	42,758
6	FLEC6	516168,473	9743443,024	43,161
7	FLEC7	516166,492	9743416,081	43,379
8	FLEC8	516165,633	9743404,407	43,637
9	FLEC9	516163,916	9743378,145	44,329
10	FLEC10	516158,951	9743294,100	43,537
11	FLEC11	516157,313	9743267,282	43,235
12	FLEC12	516157,266	9743227,932	44,162
13	FLEC13	516155,608	9743173,534	45,990
14	FLEC14	516150,368	9743073,307	46,696
15	FLEC15	516154,787	9743075,606	46,818
16	FLEC16	516158,839	9743149,541	46,603
17	FLEC17	516159,877	9743176,319	45,903
18	FLEC18	516161,098	9743230,652	44,008
19	FLEC19	516161,030	9743270,038	43,153
20	FLEC20	516162,413	9743296,482	43,487
21	FLEC21	516167,994	9743380,584	44,315
22	FLEC22	516169,808	9743406,146	43,627
23	FLEC23	516170,488	9743417,906	43,383
24	FLEC24	516172,559	9743445,719	43,159
25	FLEC25	516175,881	9743501,471	42,694
26	FLEC26	516177,525	9743525,035	42,031
27	FLEC27	516181,450	9743596,752	38,260
28	FLEC28	516184,423	9743619,290	37,035
29	FLEC29	516187,605	9743638,839	36,687

Tabla 9.

Datos obtenidos del levantamiento con GNSS RTK

PUNTO	NOMBRE	ESTE	NORTE	ELEVACION
1	FLEC1	516174,461	9743627,525	37,021
2	FLEC2	516175,279	9743616,069	37,353
3	FLEC3	516175,891	9743595,059	38,523
4	FLEC4	516173,250	9743523,480	42,099
5	FLEC5	516171,906	9743499,004	42,753
6	FLEC6	516168,550	9743443,041	43,159
7	FLEC7	516166,552	9743416,140	43,360
8	FLEC8	516165,698	9743404,462	43,637
9	FLEC9	516163,983	9743378,195	44,326
10	FLEC10	516159,027	9743294,211	43,536
11	FLEC11	516157,375	9743267,360	43,236
12	FLEC12	516157,350	9743228,047	44,166
13	FLEC13	516155,695	9743173,698	45,989
14	FLEC14	516150,466	9743073,486	46,697
15	FLEC15	516154,871	9743075,784	46,832
16	FLEC16	516158,908	9743149,695	46,598
17	FLEC17	516159,918	9743176,416	45,900
18	FLEC18	516161,152	9743230,739	44,026
19	FLEC19	516161,094	9743270,103	43,160
20	FLEC20	516162,472	9743296,570	43,484
21	FLEC21	516168,091	9743380,636	44,309
22	FLEC22	516169,816	9743406,178	43,611
23	FLEC23	516170,504	9743417,945	43,375
24	FLEC24	516172,544	9743445,729	43,147
25	FLEC25	516175,851	9743501,538	42,668
26	FLEC26	516177,469	9743525,086	42,023
27	FLEC27	516181,436	9743596,770	38,240
28	FLEC28	516184,372	9743619,333	37,016
29	FLEC29	516187,559	9743638,816	36,685

Estos levantamientos son cruciales no solo para la documentación y el diseño inicial, sino también para las fases de implementación y mantenimiento posterior, asegurando que todas las acciones se basen en datos precisos y fiables. Además, la evaluación de las desviaciones entre las tecnologías ayuda a entender mejor las limitaciones y ventajas de cada una, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones técnicas y la mejora continua en la metodología de levantamiento topográfico.

Tabla 10.

Datos obtenidos del levantamiento con Drone.

PUNTO	NOMBRE	ESTE	NORTE	ELEVACION
1	FLEC1	516174,451	9743627,583	36,998
2	FLEC2	516175,323	9743616,114	37,391
3	FLEC3	516175,922	9743595,125	38,483
4	FLEC4	516173,252	9743523,514	42,083
5	FLEC5	516171,836	9743499,027	42,709
6	FLEC6	516168,449	9743442,984	43,096
7	FLEC7	516166,480	9743416,070	43,342
8	FLEC8	516165,625	9743404,450	43,674
9	FLEC9	516163,947	9743378,250	44,421
10	FLEC10	516158,991	9743294,342	43,613
11	FLEC11	516157,360	9743267,418	43,201
12	FLEC12	516157,350	9743228,014	44,163
13	FLEC13	516155,617	9743173,538	46,002
14	FLEC14	516150,380	9743073,341	46,403
15	FLEC15	516154,810	9743075,617	46,596
16	FLEC16	516158,843	9743149,518	46,667
17	FLEC17	516159,841	9743176,250	46,000
18	FLEC18	516161,133	9743230,730	44,051
19	FLEC19	516161,078	9743270,248	43,200
20	FLEC20	516162,446	9743296,700	43,609
21	FLEC21	516168,023	9743380,677	44,442
22	FLEC22	516169,782	9743406,168	43,687
23	FLEC23	516170,443	9743417,885	43,400
24	FLEC24	516172,484	9743445,691	43,025
25	FLEC25	516175,827	9743501,523	42,667
26	FLEC26	516177,487	9743525,091	42,019
27	FLEC27	516181,445	9743596,743	38,172
28	FLEC28	516184,400	9743619,283	37,018
29	FLEC29	516187,576	9743638,834	36,688

Figura 15.

Levantamiento topográfico con estación total.

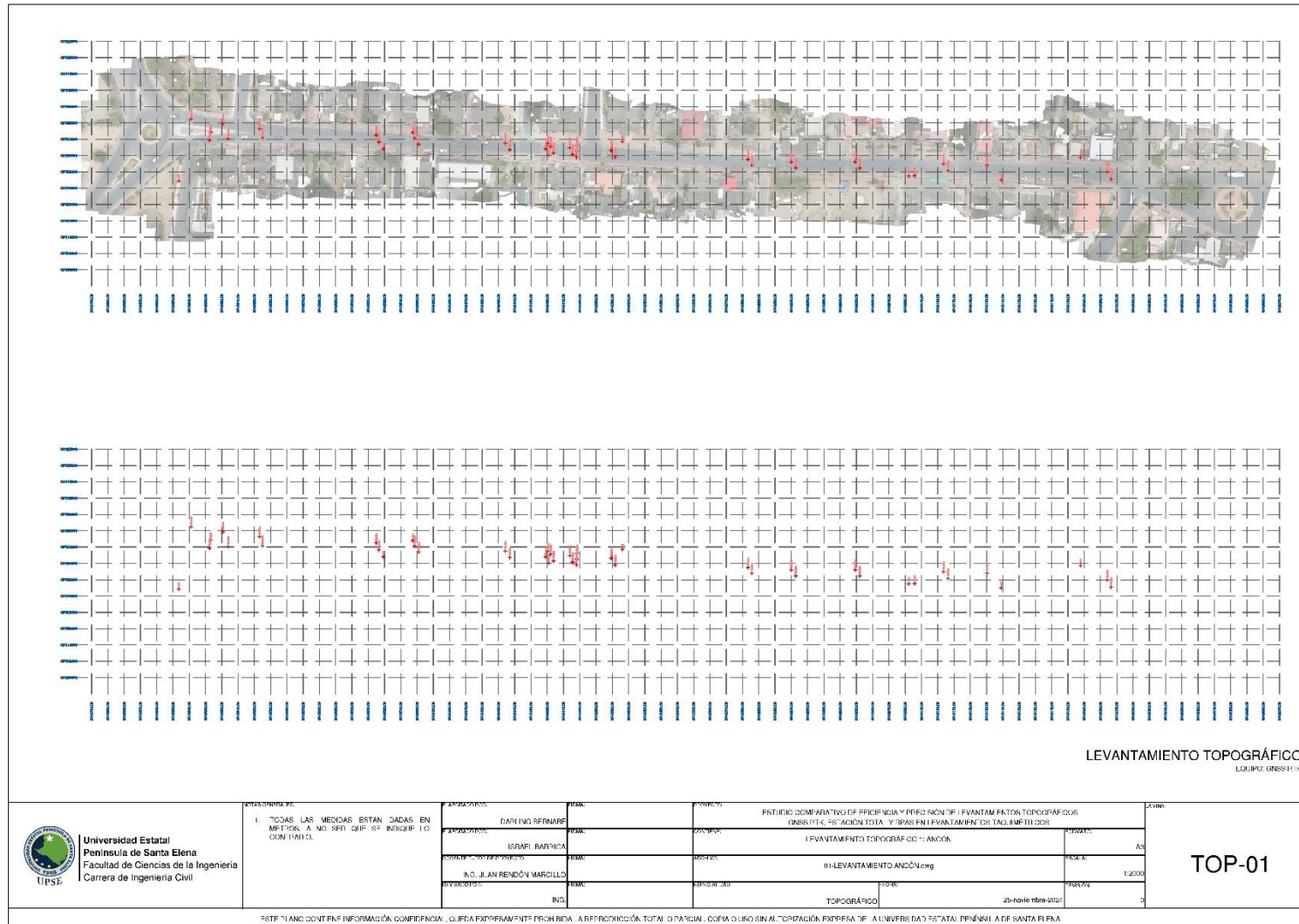


Figura 16.

Levantamiento Topográfico con Drone.

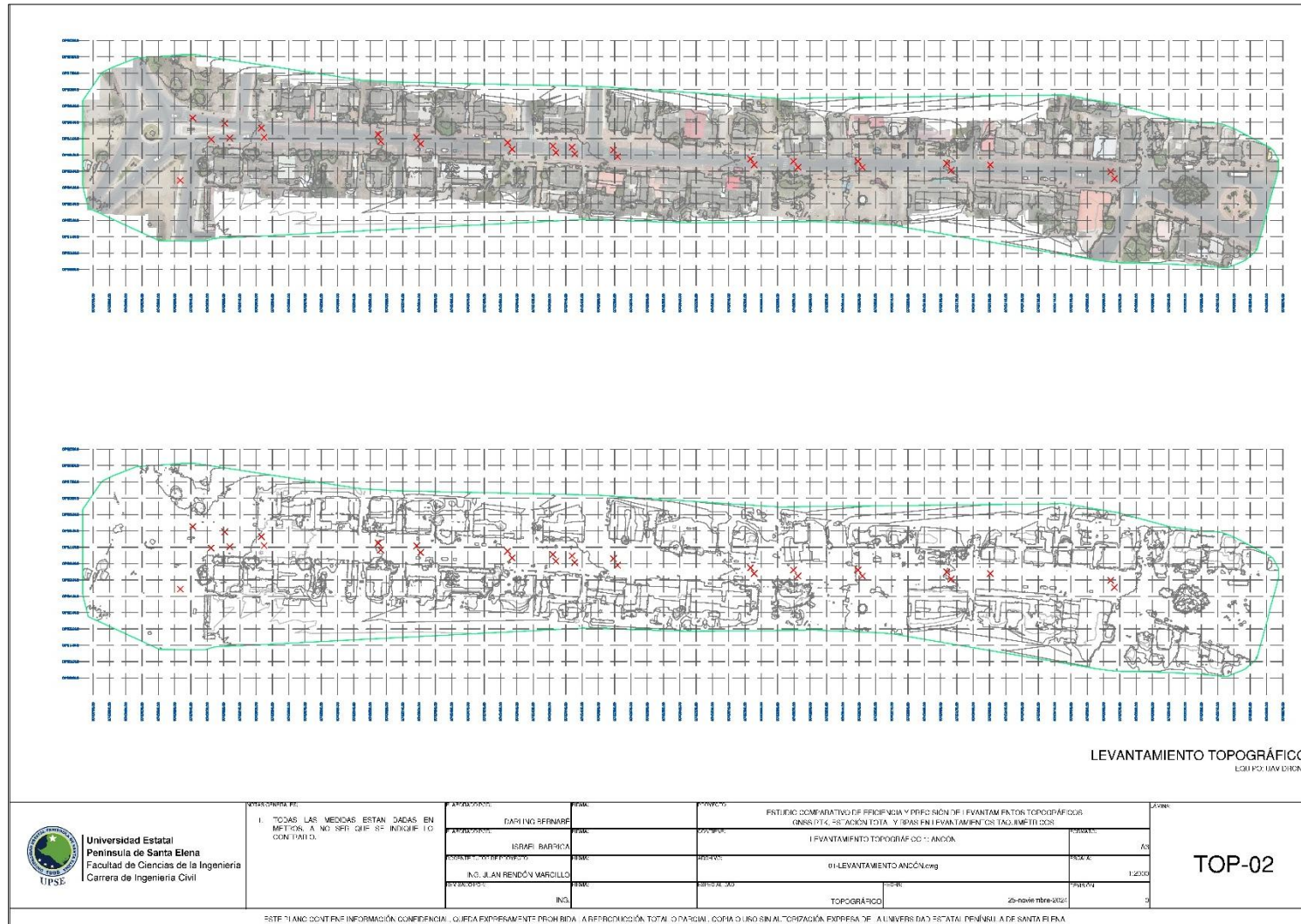
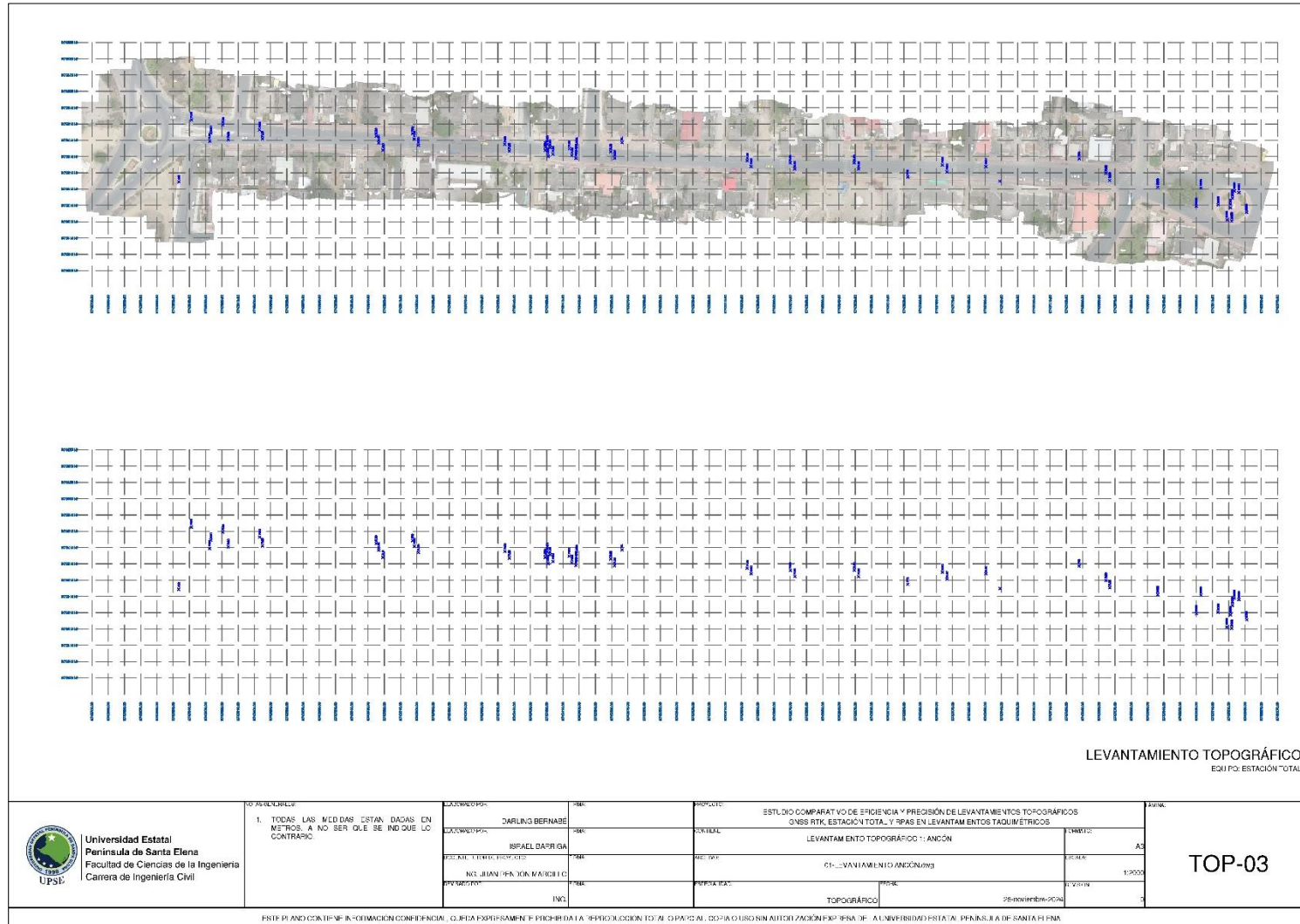



Figura 17.

Levantamiento Topográfico con Estación total.



 <p>Universidad Estatal Península de Santa Elena Facultad de Ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil</p>	<p>1. TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN DADAS EN METROS, A NO SER QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.</p>	<p>COORDINADOR: DARLING BERNABE</p>	<p>PROFESOR: ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS</p>	<p>FECHA: 2024</p>
	<p>COORDINADOR: ISRAEL GARRIGA</p>	<p>TÍTULO: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 1: ANCON</p>	<p>FECHA: 2024</p>	<p>FECHA: 2024</p>
	<p>PROFESOR: ING. JUAN PABLO MARQUEZ</p>	<p>TÍTULO: LEVANTAMIENTO GNSS</p>	<p>FECHA: 2024</p>	<p>FECHA: 2024</p>
	<p>PROFESOR: ING.</p>	<p>TÍTULO: TOPOGRÁFICO</p>	<p>FECHA: 2024</p>	<p>FECHA: 2024</p>

TOP-03

Figura 18.

Ortomosaico - Fotogrametría georeferenciada.



Nota. “Ortomosaico Ancón - Centro” Obtenida de levantamiento fotogramétrico con DJI Mavic Air 2 s. Formato. tiff

4.1.2. Levantamiento 2 – Playa Acapulco (Vía)

En el levantamiento de Playa Acapulco, se ubicaron los puntos a lo largo de la abscisa de la calle para obtener el perfil longitudinal de la carretera. Este levantamiento proporciona tablas que detallan las coordenadas y elevaciones a intervalos específicos a lo largo del eje de la vía, permitiendo así construir un perfil detallado de la carretera. La tabla ilustra una comparación directa de las áreas cubiertas y los tiempos de operación requeridos por diferentes tecnologías de levantamiento topográfico: Estación Total, GNSS RTK y Drone. Este análisis es parte del levantamiento 2 realizado en Playa Acapulco, destacando la eficiencia y la cobertura de cada método en el contexto del proyecto. La tabla 11. muestra dos parámetros clave medidos durante el levantamiento:

4.1.2.1. Área:

Representa el total de la superficie cubierta por cada tecnología.

- a) **Estación Total y GNSS RTK:** Ambas tecnologías cubrieron exactamente 10,255 m², indicando un enfoque más concentrado y posiblemente más detallado en áreas específicas.

- b) **Drone:** Cubrió un área mucho más amplia de 39,883 m², lo que subraya su capacidad para realizar levantamientos extensos en un tiempo significativamente menor.

4.1.2.2. Tiempo:

Refleja el tiempo total invertido en realizar el levantamiento con cada tecnología.

- a) **Estación Total:** Requirió 2 horas y 5 minutos, lo que sugiere un método detallado y posiblemente más laborioso.
- b) **GNSS RTK:** Redujo el tiempo a 1 hora y 20 minutos, ofreciendo una mejora en la eficiencia sin sacrificar la cobertura.
- c) **Drone:** Demostró ser extremadamente eficiente, necesitando solo 20 minutos para cubrir casi cuatro veces el área de las tecnologías basadas en tierra.

Tabla 11.

Tiempo de levantamiento.

	ESTACION TOTAL	GNSS RTK	DRONE
AREA	10255 m ²	10255 m ²	39883 m ²
TIEMPO	125 min	60 min	20 min

La tabla 12. proporcionada ofrece una comparación detallada de las mediciones realizadas con Estación Total, GNSS RTK y UAV Drone a lo largo de la carretera en Playa Acapulco. El objetivo de este levantamiento es obtener y comparar los perfiles longitudinales de la carretera para evaluar la efectividad de cada tecnología en condiciones de terreno real. Esta comparación es esencial para determinar la precisión y la aplicabilidad de cada método en la captura de detalles topográficos precisos. La tabla muestra las cotas obtenidas en los puntos marcados a lo largo de la carretera, designados por sus abscisas, desde 0+000 hasta 0+380 metros. Cada columna en la tabla corresponde a una tecnología de medición diferente, y cada fila muestra la elevación medida en ese punto específico:

Tabla 12.

Cotas obtenidas de los levantamientos topográficos.

ABSCISA	COTAS		
	ESTACIÓN TOTAL	GNSS RTK	UAV DRONE
0+000	41,634	41,635	43,362
0+020	39,444	39,443	40,948
0+040	37,961	37,869	40,111
0+060	36,526	36,516	40,040
0+080	35,101	35,154	41,121
0+100	33,680	33,701	42,034
0+120	32,138	32,195	43,391
0+140	30,437	30,528	44,239
0+160	28,839	28,737	45,786
0+180	27,135	27,147	45,685
0+200	25,409	25,404	43,386
0+220	23,690	23,725	37,579
0+240	22,288	22,238	27,817
0+260	20,796	20,710	17,867
0+280	20,040	19,976	11,464
0+300	19,318	19,456	6,022
0+320	17,801	17,943	1,948
0+340	15,725	15,673	-1,247
0+360	12,952	12,968	-11,579
0+380	10,259	10,364	-34,702

Figura 19.

Perfil de levantamiento topográfico con GNSS

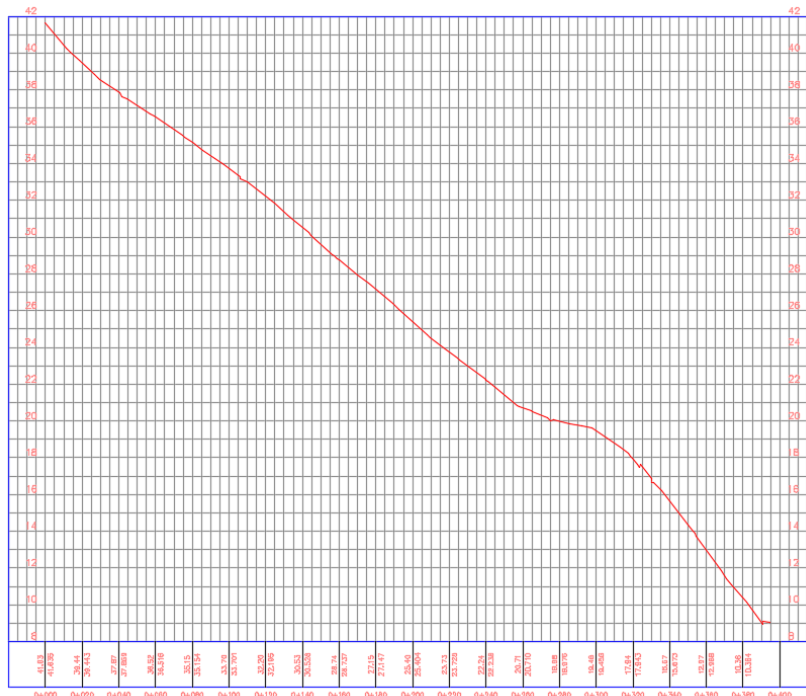


Figura 20.

Perfil de levantamiento topográfico con Drone.



Figura 21.

Perfil de levantamiento topográfico con Estación Total.

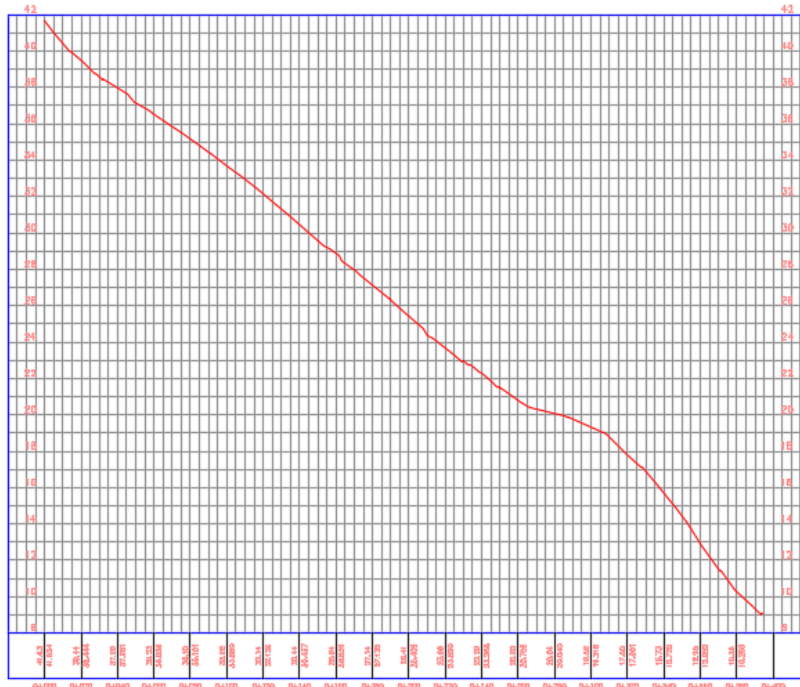


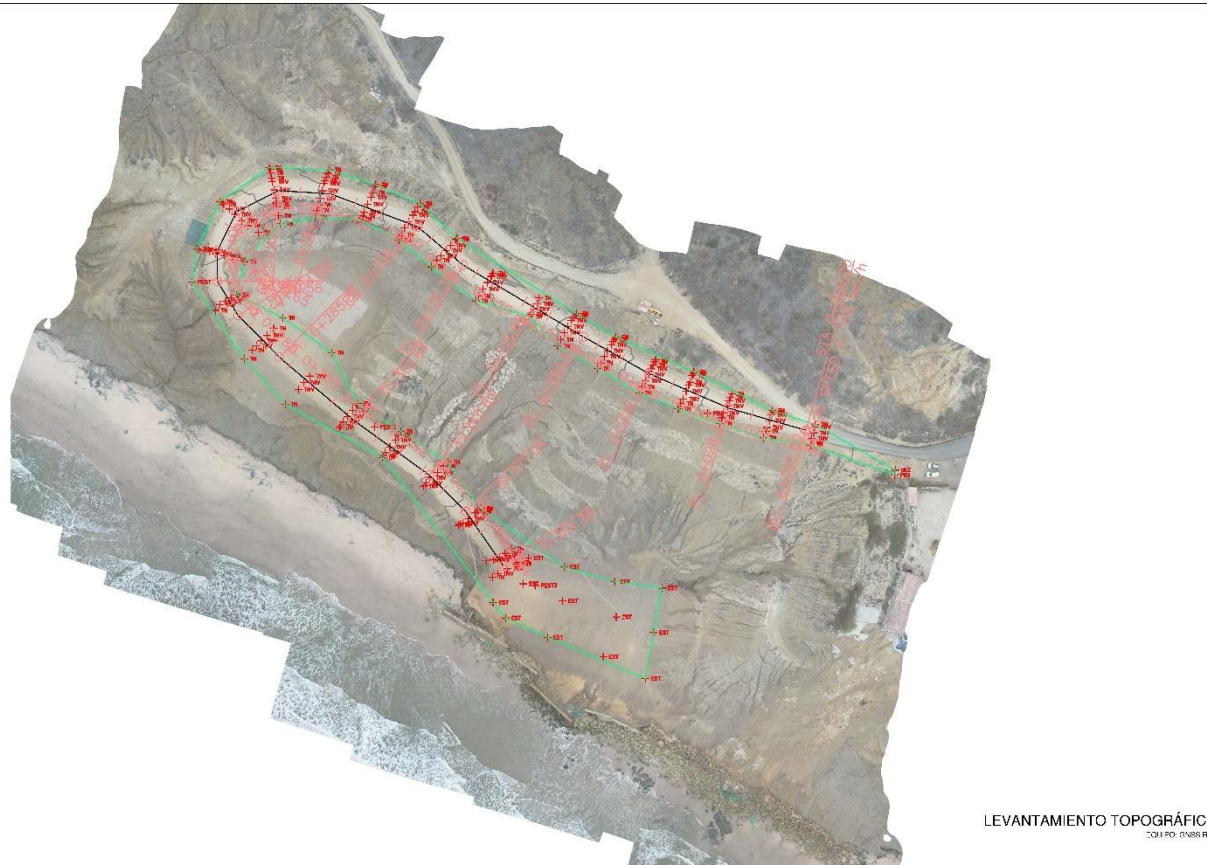
Figura 22.

Levantamiento topográfico con Drone.



Figura 23.

Levantamiento topográfico con GNSS – RTK.



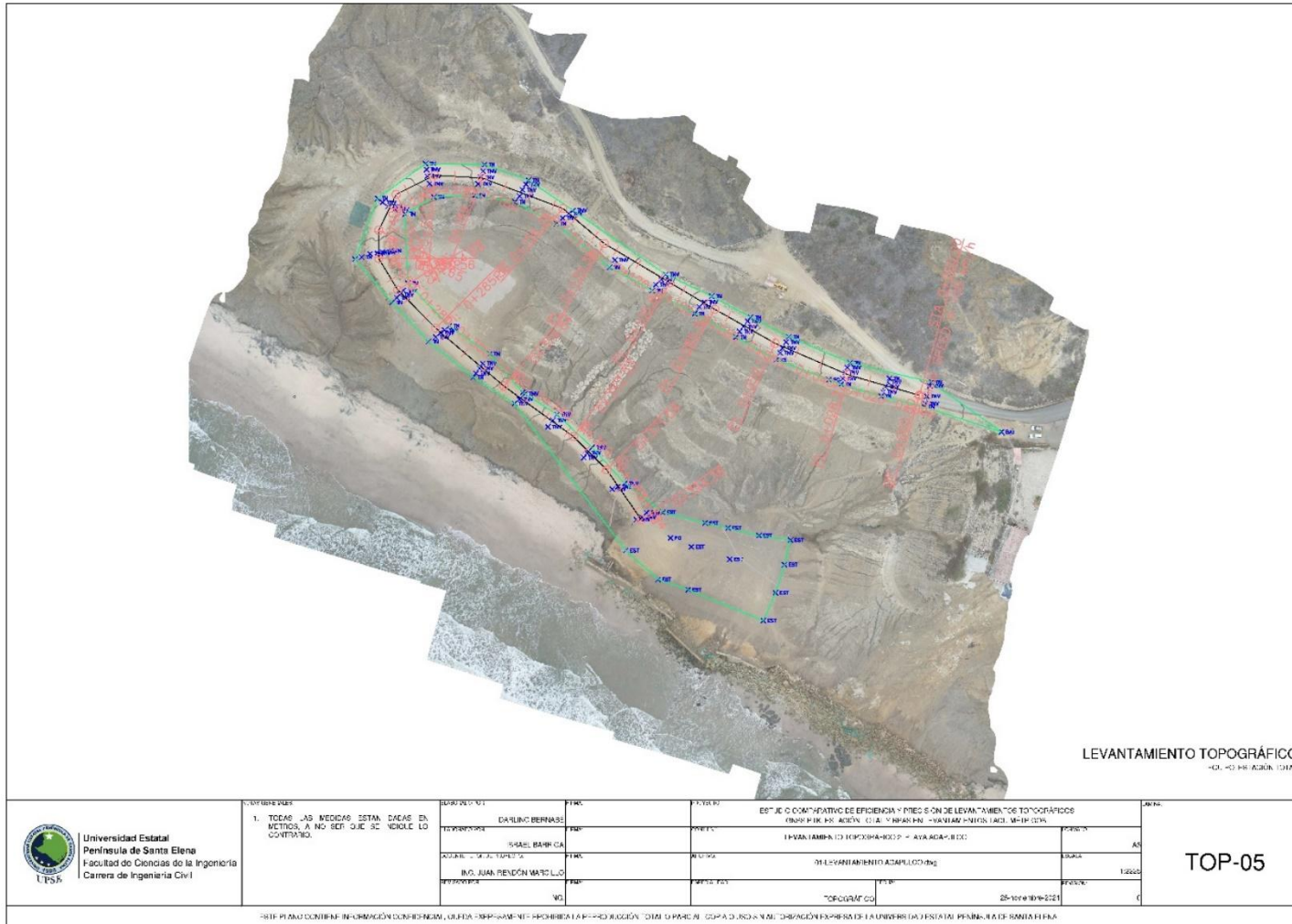
 <p>Universidad Estatal Península de Santa Elena Facultad de Ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil</p>	<p>1. TOMAR LAS MEDIDAS DE LAS DISTANCIAS EN METROS, A NO SER QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.</p>	<p>PROFESOR: INGENIERO EN INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROFESOR: INGENIERO EN INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON GNSS RTK, ESTACION TOTAL Y BRAS EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.</p>	<p>FECHA: 25/11/2024</p>
	<p>COORDINADOR: RAFAEL BARRERA</p>	<p>COORDINADOR: RAFAEL BARRERA</p>	<p>OBJETIVO: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</p>	<p>OBJETIVO: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</p>	<p>FECHA: 25/11/2024</p>
	<p>INSTRUMENTOS: GNSS RTK</p>	<p>INSTRUMENTOS: GNSS RTK</p>	<p>ESPACIO: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</p>	<p>ESPACIO: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</p>	<p>FECHA: 25/11/2024</p>
	<p>PROFESOR: INGENIERO EN INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>PROFESOR: INGENIERO EN INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>ESPACIO: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</p>	<p>ESPACIO: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</p>	<p>FECHA: 25/11/2024</p>

TOP-06

ESTE PLANO CONTIENE INFORMACIÓN CONFIDENCIAL QUE HA EXPRESADO SU FECHA DE EMISIÓN Y SU VIGENCIA. TODA COPIA O USO SIN LA AUTORIZACIÓN EXPRESA DE LA UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA.

Figura 24.

Levantamiento Topográfico con estación total.

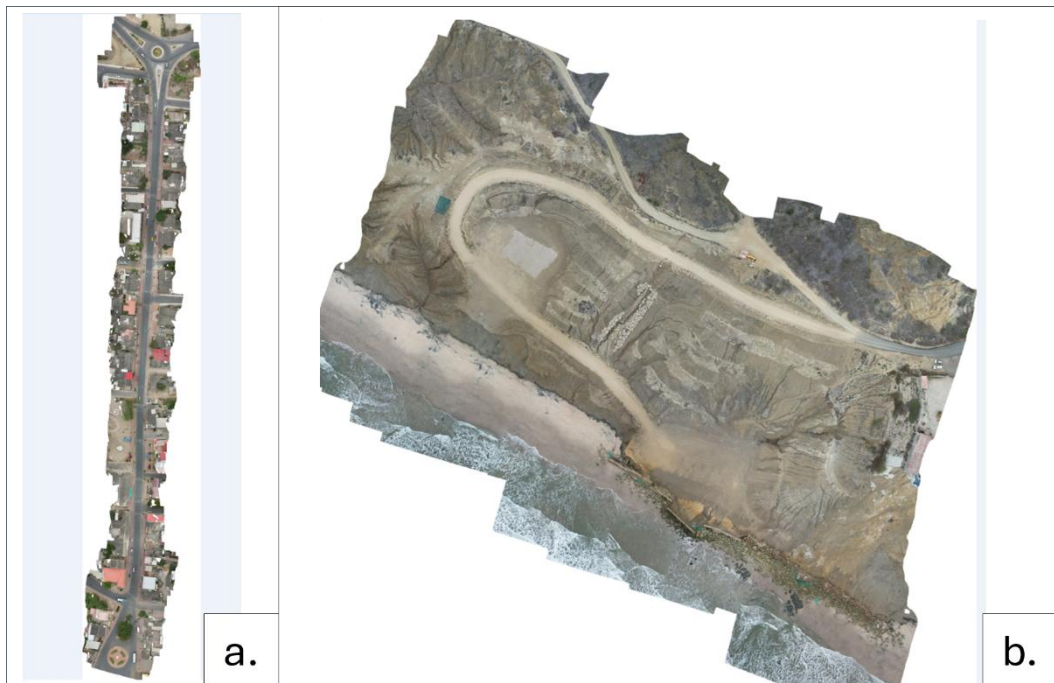


4.2. RESULTADOS DEL O.E.2: EVALUAR LA EFICIENCIA DE CADA TECNOLOGÍA MEDIANTE EL ANÁLISIS Y CÁLCULO DE PRECISIONES CONSIDERANDO TIEMPOS, COSTOS ASOCIADOS Y FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN EN CONDICIONES REALES DE TRABAJO EN PROYECTOS.

Los resultados muestran los datos comparativos de las precisiones, el análisis de los tiempos de operación y considerar la facilidad de implementación de cada método. El propósito es determinar la viabilidad y efectividad de estas tecnologías bajo condiciones reales de trabajo, optimizando su aplicación en proyectos futuros. La Figura 26 muestra los orto mosaicos de los levantamientos ejecutados.

Figura 25.

Implantación de levantamientos.



En la evaluación de las tecnologías de levantamiento topográfico, se ha documentado minuciosamente el tiempo dedicado tanto en campo como en oficina para cada método utilizado: Estación Total, Drone y GNSS RTK. Los resultados reflejan diferencias significativas en la distribución del tiempo requerido para completar las tareas asignadas, lo que incide directamente en la eficiencia operativa

de cada tecnología. El levantamiento topográfico realizado en el proyecto vial ha incorporado tecnologías avanzadas para obtener mediciones de alta precisión, necesarias para la planificación y ejecución precisa de infraestructuras relacionados con los perfiles longitudinales. Los datos recolectados mediante estación total, GNSS RTK y levantamientos fotogramétricos con drones se centraron en las puntas de las flechas de la calle, como puntos de referencia para el análisis de su respectivo perfil longitudinal. Cada tecnología aportó una perspectiva única en la captura de datos, reflejada en las tablas proporcionadas.

4.2.1. Tiempo ejecutado en levantamientos topográficos.

El análisis comparativo de las tecnologías utilizadas en levantamientos topográficos permite evaluar su eficiencia en términos de tiempo y esfuerzo operativo. En este contexto, se consideraron tres métodos principales: Estación Total, drones (RPAS) y GNSS RTK, cada uno con características y tiempos de operación particulares. Se analizaron tanto las actividades de campo como las de oficina en la playa de Acapulco porque para este caso el área a levantar estaba en terreno natural sin vegetación, condición que permite utilizar cualquier de los tres equipos, incluyendo la recolección de datos y su procesamiento. Los resultados obtenidos destacan las diferencias significativas en el tiempo invertido entre las tecnologías, evidenciando ventajas específicas de cada una según el escenario de aplicación.

4.2.1.1. Estación Total:

- a) **Tiempo en campo:** Se registraron 2:05 horas de operación en campo, destacando la labor intensiva de medición y recolección de datos topográficos.
- b) **Tiempo en oficina:** Se dedicaron 2 horas a tareas de procesamiento y análisis de datos, evidenciando un equilibrio entre las actividades de campo y oficina.
- c) **Total:** El tiempo total invertido fue de 4:05 horas, indicativo de un proceso que, aunque tradicional, sigue siendo integral en proyectos que requieren alta precisión en mediciones detalladas.

4.2.1.2.Drone:

- a) **Tiempo en campo:** Notablemente, sólo se invirtieron 0:20 horas en la recolección de datos aéreos, lo que subraya la rapidez y la capacidad de los drones para cubrir amplias áreas en tiempos reducidos.
- b) **Tiempo en oficina:** Sin embargo, el tiempo de oficina ascendió a 5 horas, reflejando un proceso extenso de procesamiento y análisis de las imágenes y datos capturados.
- c) **Total:** El tiempo global fue de 5:20 horas, resaltando una eficiencia notable en términos de cobertura de área versus tiempo dedicado en campo.

4.2.1.3.GNSS RTK:

- a) **Tiempo en campo:** Fueron necesarias 1 hora para realizar mediciones con tecnología GNSS RTK, lo que denota una eficacia moderada en la recopilación de datos.
- b) **Tiempo en oficina:** Similar a la Estación Total, se emplearon 2 horas para el análisis y procesamiento de los datos.
- c) **Total:** Con un total de 3 horas, el GNSS RTK se posiciona como una opción eficiente, equilibrando la precisión y el tiempo operativo necesario para la ejecución de levantamientos.

Los datos de la Tabla 13. ilustran las características operativas de cada tecnología y la distribución del esfuerzo laboral entre las tareas de campo y oficina

Tabla 13.

Tiempo de ejecución de levantamientos.

DESCRIPCION	TIEMPO (h)		
	ESTACION TOTAL	DRONE	GNSS RTK
TRABAJO EN CAMPO	2:05 h	0:20 h	1 h
TRABAJO EN OFICINA	2 h	5 h	2 h
TOTAL	4:05 h	5:20 h	3 h

4.2.2. Precisión: Levantamiento 1 – Ancón Centro.

Las tablas proporcionan una comparativa entre diferentes tecnologías de levantamiento topográfico empleadas para medir las puntas de las flechas de la calle. Este análisis se realizó utilizando Estación Total, GNSS RTK y levantamientos con Drone, mostrando las diferencias en las mediciones de las coordenadas de este y norte, así como de la elevación. Cada tabla muestra las desviaciones entre los datos obtenidos por la Estación Total en comparación con Drone y GNSS RTK en comparación con Drone. Se indican las desviaciones promedio, las más altas y las más bajas para cada set de datos, lo que ayuda a evaluar la precisión y la consistencia de los equipos en aplicaciones reales.

Figura 26.

Levantamiento topográfico Ancón centro – Flechas.



Tabla 14.

Desviación entre Estación total y GNSS RTK.

ESTACION TOTAL - GNSS RTK				
PUNTO	NOMBRE	ESTE	NORTE	ELEVACION
1	FLEC1	0,000	0,028	-0,004
2	FLEC2	0,056	-0,013	0,025
3	FLEC3	0,014	0,034	0,010
4	FLEC4	0,040	-0,010	0,000
5	FLEC5	0,020	-0,049	0,005
6	FLEC6	-0,077	-0,017	0,002
7	FLEC7	-0,060	-0,059	0,019
8	FLEC8	-0,065	-0,055	0,000
9	FLEC9	-0,067	-0,050	0,003
10	FLEC10	-0,076	-0,111	0,001
11	FLEC11	-0,062	-0,078	-0,001
12	FLEC12	-0,084	-0,115	-0,004
13	FLEC13	-0,087	-0,164	0,001
14	FLEC14	-0,098	-0,179	-0,001
15	FLEC15	-0,084	-0,178	-0,014
16	FLEC16	-0,069	-0,154	0,005
17	FLEC17	-0,041	-0,097	0,003
18	FLEC18	-0,054	-0,087	-0,018
19	FLEC19	-0,064	-0,065	-0,007
20	FLEC20	-0,059	-0,088	0,003
21	FLEC21	-0,097	-0,052	0,006
22	FLEC22	-0,008	-0,032	0,016
23	FLEC23	-0,016	-0,039	0,008
24	FLEC24	0,015	-0,010	0,012
25	FLEC25	0,030	-0,067	0,026
26	FLEC26	0,056	-0,051	0,008
27	FLEC27	0,014	-0,018	0,020
28	FLEC28	0,051	-0,043	0,019
29	FLEC29	0,046	0,023	0,002

Tabla 15.

Desviaciones entre Estación total y GNSS RTK.

	PROMEDIO	-0,0285	-0,0619	0,0050
DESVIACIÓN	MAYOR	-0,0980	-0,1790	0,0260
	MENOR	0,0000	0,0010	0,0000

Tabla 16.

Desviación entre Estación total y Drone.

ESTACION TOTAL - DRONE				
PUNTO	NOMBRE	ESTE	NORTE	ELEVACION
1	FLEC1	0,010	-0,030	0,019
2	FLEC2	0,012	-0,058	-0,013
3	FLEC3	-0,016	-0,032	0,050
4	FLEC4	0,038	-0,044	0,016
5	FLEC5	0,090	-0,071	0,049
6	FLEC6	0,024	0,040	0,065
7	FLEC7	0,012	0,011	0,037
8	FLEC8	0,008	-0,043	-0,037
9	FLEC9	-0,030	-0,105	-0,092
10	FLEC10	-0,040	-0,242	-0,076
11	FLEC11	-0,047	-0,136	0,034
12	FLEC12	-0,084	-0,081	-0,001
13	FLEC13	-0,009	-0,004	-0,012
14	FLEC14	-0,012	-0,034	0,293
15	FLEC15	-0,023	-0,010	0,222
16	FLEC16	-0,004	0,023	-0,064
17	FLEC17	0,036	0,069	-0,097
18	FLEC18	-0,035	-0,078	-0,043
19	FLEC19	-0,048	-0,210	-0,047
20	FLEC20	-0,033	-0,217	-0,122
21	FLEC21	-0,029	-0,093	-0,127
22	FLEC22	0,026	-0,022	-0,060
23	FLEC23	0,045	0,021	-0,017
24	FLEC24	0,075	0,028	0,134
25	FLEC25	0,054	-0,052	0,027
26	FLEC26	0,039	-0,056	0,012
27	FLEC27	0,005	0,009	0,088
28	FLEC28	0,023	0,007	0,017
29	FLEC29	0,029	0,005	-0,001

Tabla 17.

Desviaciones entre Estación total y Drone.

	PROMEDIO	0,0040	-0,0485	0,0088
DESVIACIÓN	MAYOR	0,0900	0,2420	0,2930
	MENOR	0,0040	0,0040	0,0010

Tabla 18.

Desviación entre GNSS RTK y Drone.

GNSS RTK - DRONE				
PUNTO	NOMBRE	ESTE	NORTE	ELEVACION
1	FLEC1	0,010	-0,058	0,023
2	FLEC2	-0,044	-0,045	-0,038
3	FLEC3	-0,030	-0,066	0,040
4	FLEC4	-0,002	-0,034	0,016
5	FLEC5	0,070	-0,022	0,044
6	FLEC6	0,101	0,057	0,063
7	FLEC7	0,072	0,070	0,018
8	FLEC8	0,073	0,012	-0,037
9	FLEC9	0,036	-0,055	-0,095
10	FLEC10	0,036	-0,131	-0,077
11	FLEC11	0,015	-0,058	0,035
12	FLEC12	0,000	0,034	0,003
13	FLEC13	0,078	0,160	-0,013
14	FLEC14	0,086	0,145	0,294
15	FLEC15	0,061	0,168	0,236
16	FLEC16	0,065	0,177	-0,069
17	FLEC17	0,077	0,166	-0,100
18	FLEC18	0,019	0,009	-0,025
19	FLEC19	0,016	-0,145	-0,040
20	FLEC20	0,026	-0,129	-0,125
21	FLEC21	0,068	-0,041	-0,133
22	FLEC22	0,034	0,010	-0,076
23	FLEC23	0,061	0,060	-0,025
24	FLEC24	0,060	0,038	0,122
25	FLEC25	0,024	0,015	0,001
26	FLEC26	-0,018	-0,005	0,004
27	FLEC27	-0,009	0,027	0,068
28	FLEC28	-0,028	0,050	-0,002
29	FLEC29	-0,017	-0,018	-0,003

Tabla 19.

Desviaciones entre GNSS RTK y Drone.

	PROMEDIO	0,0325	0,0134	0,0038
DESVIACIÓN	MAYOR	0,1010	0,1770	0,2940
	MENOR	-0,0020	0,0090	0,0010

4.2.3. Precisión levantamiento 2. Playa Acapulco.

Los datos pertenecientes al levantamiento 2 realizado en Playa Acapulco, cuyo objetivo fue capturar y evaluar las variaciones en el perfil longitudinal de la carretera se presentan en las tablas 21, 23 y 24. La tabla compara detalladamente las diferencias en las mediciones obtenidas a través de tres métodos de levantamiento topográfico: Estación Total comparada con GNSS RTK, Estación Total comparada con Drone, y GNSS RTK comparado con Drone.

La comparación de las desviaciones en las cotas (elevaciones) en puntos específicos a lo largo de la carretera, marcados por las abscisas desde 0+000 hasta 0+380. Las diferencias se muestran para entender cómo cada tecnología registra las características del terreno:

4.2.3.1. Estación Total vs. GNSS RTK:

Las desviaciones son mínimas, lo que sugiere que ambas tecnologías proporcionan mediciones consistentes y están bien alineadas en términos de precisión.

4.2.3.2. Estación Total vs. Drone:

Aquí se observan desviaciones mucho más significativas, indicando que el Drone captura variaciones en la elevación que pueden diferir considerablemente de las mediciones más tradicionales.

4.2.3.3. GNSS RTK vs. Drone:

Similar a la comparación con la Estación Total, el Drone muestra grandes diferencias en comparación con GNSS RTK, especialmente en puntos donde la topografía es probablemente más compleja.

Tabla 20.

Desviación entre Estación total y GNSS RTK

Estación Total - GNSS RTK		
Punto	Abscisa	Cota
1	0+000	-0,001
2	0+020	0,001
3	0+040	0,092
4	0+060	0,01
5	0+080	-0,053
6	0+100	-0,021
7	0+120	-0,057
8	0+140	-0,091
9	0+160	0,102
10	0+180	-0,012
11	0+200	0,005
12	0+220	-0,035
13	0+240	0,05
14	0+260	0,086
15	0+280	0,064
16	0+300	-0,138
17	0+320	-0,142
18	0+340	0,052
19	0+360	-0,016
20	0+380	-0,105

Tabla 21.

Desviación entre Estación total y GNSS RTK

	PROMEDIO	-0,01045
DESVIACIÓN	MAYOR	-0,142
	MENOR	0,001

Tabla 22.

Desviación entre Estación total y Drone

Estación Total - DRONE		
Punto	Abscisa	Cota
1	0+000	-1,728
2	0+020	-1,504
3	0+040	-2,15
4	0+060	-3,514
5	0+080	-6,02
6	0+100	-8,354
7	0+120	-11,253
8	0+140	-13,802
9	0+160	-16,947
10	0+180	-18,55
11	0+200	-17,977
12	0+220	-13,889
13	0+240	-5,529
14	0+260	2,929
15	0+280	8,576
16	0+300	13,296
17	0+320	15,853
18	0+340	14,478
19	0+360	1,373
20	0+380	-24,443

Tabla 23.

Desviación entre Estación total y Drone

	PROMEDIO	-4,45775
DESVIACIÓN	MAYOR	-24,443
	MENOR	1,373

Tabla 24.

Desviación entre GNSS y Drone

GNSS RTK - DRONE		
Punto	Abscisa	Cota
1	0+000	-1,727
2	0+020	-1,505
3	0+040	-2,242
4	0+060	-3,524
5	0+080	-5,967
6	0+100	-8,333
7	0+120	-11,196
8	0+140	-13,711
9	0+160	-17,049
10	0+180	-18,538
11	0+200	-17,982
12	0+220	-13,854
13	0+240	-5,579
14	0+260	2,843
15	0+280	8,512
16	0+300	13,434
17	0+320	15,995
18	0+340	-9,327
19	0+360	1,389
20	0+380	-24,338

Tabla 25.

Desviación entre GNSS y Drone

	PROMEDIO	-5,63495
DESVIACIÓN	MAYOR	-24,338
	MENOR	1,389

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

En la evaluación de las tecnologías de levantamiento topográfico empleadas en Playa Acapulco, la investigación ha mostrado diferencias notables en términos de precisión, eficiencia y coste entre la estación total, GNSS RTK y RPAS (Drones). Los análisis subrayan que cada tecnología posee características intrínsecas que influyen en su aplicabilidad según el contexto del proyecto.

4.3.1. Precisión y Eficiencia:

Las **tablas de desviación** entre las tecnologías indican que tanto la **estación total como GNSS RTK** ofrecen una gran precisión con mínimas desviaciones en las mediciones, especialmente en comparación con los drones. Esto se evidencia en las desviaciones promedio cercanas a cero en muchas de las abscisas medidas, lo que sugiere que estas tecnologías son adecuadas para trabajos que requieren una alta exactitud.

Por otro lado, el **RPAS** destaca en la **cobertura de grandes áreas** en tiempos reducidos, como se observa en las áreas levantadas y los tiempos asociados: los drones cubrieron casi cuatro veces el área de las tecnologías basadas en tierra en una fracción del tiempo. Esto resalta su utilidad en levantamientos rápidos y en condiciones donde otras tecnologías podrían resultar impracticables o más costosas de implementar.

4.3.2. Costos Asociados:

Los **costos operativos** de cada tecnología no solo están vinculados a la adquisición y mantenimiento de equipos, sino también al tiempo humano invertido y la necesidad de repetir mediciones en caso de error. La estación total y GNSS RTK, siendo más tradicionales y precisas, podrían implicar mayores costos operativos y de personal en comparación con RPAS, que, aunque pueda requerir menos tiempo de operación, necesita una inversión inicial significativa en equipos y software de procesamiento.

4.3.3. Facilidad de Implementación:

La facilidad de implementación de RPAS es notablemente superior en entornos desafiantes o de difícil acceso, lo que permite realizar levantamientos en condiciones que de otra manera requerirían extensas preparaciones logísticas con tecnologías más convencionales.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES

Como conclusión general a facilidad de implementación de cada tecnología muestra que los RPAS son superiores en entornos desafiantes y accesibles, ofreciendo la capacidad de levantar datos topográficos en áreas que de otra manera serían inaccesibles o peligrosas para equipos basados en tierra. Sin embargo, en entornos urbanos densos o áreas con muchas obstrucciones, las tecnologías tradicionales como GNSS RTK y estaciones totales son preferibles debido a su mayor resistencia a las interferencias y su capacidad para producir datos de alta fidelidad.

1. Comparación de Precisión y Eficiencia entre Tecnologías: La investigación ha revelado diferencias significativas en la precisión y eficiencia de las tecnologías evaluadas. La estación total y GNSS RTK demostraron altos niveles de precisión en mediciones puntuales, con desviaciones mínimas en comparación con los drones. Estos métodos son esenciales para aplicaciones que requieren gran detalle y exactitud, como la construcción de infraestructuras y la planificación urbana donde errores mínimos pueden tener implicaciones significativas.

Por otro lado, los RPAS se destacaron en la cobertura rápida y eficiente de grandes áreas. Aunque no alcanzan la misma precisión en las elevaciones que la estación total o GNSS RTK, su capacidad para recolectar rápidamente grandes volúmenes de datos los hace invaluable para el monitoreo de vastas áreas y la realización de levantamientos preliminares, donde la velocidad puede ser más crítica que la precisión milimétrica.

2. Análisis de Costos y Eficiencia Operativa: Los costos asociados a cada tecnología varían significativamente. Los drones, aunque requieren una inversión inicial más alta y costos de mantenimiento relacionados con tecnología avanzada, reducen los costos operativos a largo plazo debido a la menor necesidad de personal

y el menor tiempo de campo requerido por levantamiento. En contraste, la estación total y GNSS RTK, aunque posiblemente más económicas en términos de equipo, incurren en mayores costos de operación y tiempo debido a la necesidad de mediciones más detalladas y repetitivas para asegurar precisión.

5.2. RECOMENDACIONES:

1. Para llevar a cabo un levantamiento topográfico con un vehículo aéreo no tripulado (Drones), es necesario colocar puntos de apoyo terrestre para mejorar su precisión, específicamente en puntos donde tenemos desniveles críticos, ya que son puntos donde los sensores de los drones tienen problemas para detectar la cota real o aproximada de la superficie.
2. En caso de los equipos GNSS, para obtener un levantamiento topográfico con el error mínimo, debemos tener en consideración el estado del clima, es recomendable trabajar con el equipo en un ambiente libre de obstáculos por encima del receptor GPS diferencial, el cielo debe estar totalmente despejado, esto nos garantiza un error mínimo al momento de obtener coordenadas y elevaciones.
3. Se recomienda llevar a cabo una buena planificación y análisis del área a estudiar antes de realizar un levantamiento topográfico, y tomar como consideración el estado del terreno, ver su accesibilidad y viabilidad para seleccionar una tecnología adecuada para realizar el respectivo estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). *Diseño de Pavimentos* (Tercera).
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2001). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*.
- Ayamga, M., Akaba, S., & Nyaaba, A. A. (2021). Multifaceted applicability of drones: A review. In *Technological Forecasting and Social Change* (Vol. 167). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120677>
- Baque Solis, J. E., & Cuadrado Torres, L. M. (2022). *Análisis comparativo topográfico sobre levantamientos altimétricos con RTK GNSS, Estación Total y Drone en Manta*. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i8>
- Caballeros Reina, A. (2023). *Guía de aplicación: fotogrametría para levantamientos topográficos con drones y GPS*. Universidad de Sevilla.
- Cabrera, F., & Valero, C. (2015a). Tipificación de error en un levantamiento planimétrico por el método de poligonal cerrada. *Yachana Revista Científica*, 4.
- Cabrera, F., & Valero, C. (2015b). Tipificación de error en un levantamiento planimétrico por el método de poligonal cerrada. *Yachana Revista Científica*, 4.
- Carrillo Villalobos, J. L., Juárez Menchaca, A. E., López Terrazas, A., & Madrigal Vázquez, F. (2018). El mundo de los drones: tipos de drones y sus principales usos. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La Universidad Autónoma de Chihuahua*.
- Casal, J., & Mateu, E. (2003). TIPOS DE MUESTREO. In *Rev. Epidem. Med. Prev* (Vol. 1).
- Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., & Mejía, G. (2022). Highway Planning Trends: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 14(9), 5544. <https://doi.org/10.3390/su14095544>
- Chakrabarty, B. K. (2001). Urban Management. *Cities*, 18(5), 331–345. [https://doi.org/10.1016/S0264-2751\(01\)00026-9](https://doi.org/10.1016/S0264-2751(01)00026-9)
- Crespo, C. (2004). *Vías de Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos*. (3a.). Limusa.

- De La Cruz Casaño, C. (2016). La realidad de la metodología de la investigación en ingeniería. *Ingenium*, 1(2 SE-Editorial).
- del Río Santana, O., Gómez Córdova, F. de J., López Carrillo, N. V., Saenz Esqueda, J. A., & Espinoza Fraire, A. T. (2020). Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 14(2).
- DRONING. (2014). *¿Qué partes componen un dron multirrotor?* Equipos de Vuelo. <https://droningpage.wordpress.com/2014/10/19/que-partes-componen-un-drone-multirrotor/>
- Emilio Mata de Castro. (2015). *Análisis, mejora y automatización de métodos de apoyo para fotogrametría de objeto cercano.*
- Fajardo, Valero, C. L. (2023). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL Y LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON DRON.*
- Fernández Gómez, W. D. (2020). Calidad de datos en levantamientos topográficos. *Azimuth*, 2.
- Fernández Muñoz, M. A. (2024). *Propuesta de aplicación de fotogrametría con drones y software ISTRAM integrados a la metodología BIM. Tesis PUCP.*
- García Leon Josefina. (2015). *Principios y aplicación de la fotogrametría convergente en la fotogrametría arquitectónica.*
- García Navarro, J. (2013). Sostenibilidad en la construcción, Curso de introducción a la construcción sostenible. *Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.*
- García Ramírez, Y. (2019). *Cómo redactar una tesis en Ingeniería Civil* (Primera Ed).
- García Ramírez, Y. (2021). *Guía para la elaboración de planes de tesis en Ingeniería Civil* (UTPL, Ed.; Primera).
- Gutierrez Arano, J. M. (2023). *Técnicas de construcción para proyectos de integración viales: topografía y mecánica de suelos.* Universidad Mayor de San Andrés.
- Jorge Armando Cuque Castañeda. (2020). *Determinación del grado de precisión de un levantamiento fotogramétrico respecto a un procedimiento topográfico con teodolito para la medición de terrenos y otras aplicaciones.* Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Juan Pérez-Paredes, I. J., López-Canteñs, G. J., Velázquez-López, N., & López-Cruz, I. L. (2021). Artículo original Agricultura de Precisión Evaluación de un prototipo de RPAS para el levantamiento topográfico con imágenes RGB Evaluation of a prototype RPAS for surveying with RGB images. *Revista Ingeniería Agrícola, 11*(Evaluación de un prototipo de RPAS para el levantamiento topográfico con imágenes RGB).
- Koolhaas, M. (2015). Planimetría y taquimetría. In *Curso de Riego en EEMAC*.
- Lalangui Jaramillo, Y. J., & Zárate Torres, B. amador. (2020). *Evaluación del modelo digital de terreno obtenido mediante técnicas de fotogrametría con VANT y con técnicas GNSS aplicados a proyectos viales en zonas de mediana vegetación*.
- Lind, D., Marchal, W., & Wathen, S. (2012). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. The McGraw-Hill.
- Mannering, F., & Washburn, S. (2020). *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*. John Wiley & Sons.
- Martinez Valero, M. X. (2022). *Uso de levantamientos topográficos como apoyo para la investigación y reconstrucción de accidentes de tránsito*. Universidad Estatal Francisco José de Caldas.
- Matilde Balaguer Puig. (2015). *ANÁLISIS EMPÍRICO DE SOLUCIONES FOTOGRAMÉTRICAS EN ESTUDIOS DE EROSIÓN HÍDRICA EN LABORATORIO*.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Editorial Universidad Católica de Colombia.
- Montes de Oca, F. (1989). *Topografía*. Alfa y Omega.
- Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- Nelson, J., & Gorichanaz, T. (2019). Trust as an ethical value in emerging technology governance: The case of drone regulation. *Technology in Society, 59*. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.04.007>
- Nieto, N. E. (2018). Tipos de Investigación. *Universidad Santo Domingo de Guzmán, 1*(1), 1–4.
- Ocampo, M. (2018). Nomenclatura y clasificación. *INCyTU*.
- Ojeda Molina, F. A. (2023a). *ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA TOPOGRAFÍA CLÁSICA CON ESTACIÓN TOTAL Y LA*

FOTOGRAMETRÍA DIGITAL MEDIANTE VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS (VANT) EN MINERÍA A CIELO ABIERTO.

- Ojeda Molina, F. A. (2023b). *ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA TOPOGRAFÍA CLÁSICA CON ESTACIÓN TOTAL Y LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL MEDIANTE VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS (VANT) EN MINERÍA A CIELO ABIERTO.*
- Oliveira, J. D. (1950). La Organización de Aviación Civil Internacional (O. A. C. I.). *Revista de Economía y Estadística*, 3(1–2). <https://doi.org/10.55444/2451.7321.1950.v3.n1-2.3270>
- ONU Habitat. (2016). *Guía de Resiliencia Urbana.*
- Organización de Estados Americanos (OEA). (2000). *Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños.*
- Organización de las Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe.* CEPAL.
- PIARC. (2016). *State of the Art in Monitoring Road Condition and Road/Vehicle Interaction.*
- Qian, G., Wang, C., Gong, X., Zhou, H., & Cai, J. (2022). Design of Constructed Wetland Treatment Measures for Highway Runoff in a Water Source Protection Area. *Sustainability*, 14(10), 5951. <https://doi.org/10.3390/su14105951>
- Ramos, A. M., Análise, I. E., Metodologia, D. A., & Krueger, C. P. (2007). APLICAÇÃO, INVESTIGAÇÃO E ANÁLISE DA METODOLOGIA DE REDUÇÕES BATIMÉTRICAS ATRAVÉS DO METODO GPS DIFERENCIAL PRECISO Dissertação. *Boletim de Ciências Geodesicas*, 15(4).
- Ramos-Galarza, C. (2021). Editorial: Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>
- Ramos-Galarza, C. A. (2020). Alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1–6. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Real Academia Española (RAE). (2023). Definición de Carretera. In *Diccionario de la Lengua Española.*
- Real Academia Española (RAE). (2024). Definición de tránsito. In *Diccionario de la Lengua Española.*

- Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 82, 175–195. <https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>
- Sabogal Lemus. (2016). *MEDIDAS DE CALIDAD APLICADAS A LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS EN COLOMBIA*.
- Salas Rojas, J. D. (2022). *Análisis comparativo sobre levantamientos topográficos mediante drones respecto a levantamientos topográficos convencionales*. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Sarmiento Ortiz, J. (2023). *Manual de procedimientos en Topografía para la formulación de proyecto de infraestructura INVIAS de la carretera Transversal del Carare, Tunja-BarbosaPuerto Araujo en los Departamentos de Boyacá y Santander*.
- Štroner, M., Urban, R., Seidl, J., Reindl, T., & Brouček, J. (2021). Photogrammetry using UAV-mounted GNSS RTK: Georeferencing strategies without GCPs. *Remote Sensing*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/rs13071336>
- Zhang, J., Wen, W., Huang, F., Wang, Y., Chen, X., & Hsu, L. T. (2022). GNSS-RTK Adaptively Integrated with LiDAR/IMU Odometry for Continuously Global Positioning in Urban Canyons. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/app12105193>

ANEXOS

A. ANEXO FOTOGRÁFICO

B. ANEXOS GRÁFICOS

C. REPORTE DE LEVANTAMIENTO FOTOGAMÉTRICO.

ANEXO A:



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA: "ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS"

TUTOR: ING. JUAN RENDÓN MARCILLO

TESISTAS:

- BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO
- BERNABÉ VILLÓN DARLIN JOSUÉ

ANEXO FOTOGRÁFICO

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO ANCÓN - ACAPULCO





UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA: "ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS"

TUTOR: ING. JUAN RENDÓN MARCILLO

TESISTAS:

- BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO
- BERNABÉ VILLÓN DARLIN JOSUÉ

ANEXO FOTOGRÁFICO

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO ANCÓN CENTRO





UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA: "ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS"

TUTOR: ING. JUAN RENDÓN MARCILLO

TESISTAS:

- BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO
- BERNABÉ VILLÓN DARLIN JOSUÉ

ANEXO FOTOGRÁFICO

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO ANCÓN CENTRO





**UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



TEMA: "ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS"

TUTOR: ING. JUAN RENDÓN MARCILLO

- TESISTAS:**
- BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO
 - BERNABÉ VILLÓN DARLIN JOSUÉ

ANEXO FOTOGRÁFICO

MONOGRAFIA DE VERTICE DE CONTROL GEODÉSICO

MONOGRAFIA DE VERTICE DE CONTROL GEODÉSICO					
PROYECTO: GAD SANTA ELENA- Actualización del Catastro Urbano					VÉRTICE
UBICACIÓN					VÉRTICE R47
PAIS	PROVINCIA	CANTÓN	PARROQUIA/RECTORADO/SECTOR		
Ecuador	Santa Elena	Santa Elena	Añón		
TIPO DE MARCA, ROTULO Y UBICACIÓN, ACCESO					DATOS DEL POSICIONAMIENTO
Placa de aluminio de 8 cm de diámetro, empotrada en el bordillo del distribuidor de ingreso a Añón conocido como Rotonda, en el Barrio Bellavista. Contiene la siguiente leyenda: "GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN SANTA ELENA- SE PROHIBE DESTRUIR-RED GEODESICA- MARZO DE 2017- ECUADOR, VERTICE R47."					Fecha: 15 de marzo de 2018 Red GPS Ajustada mediante redondeación Geodésica, a partir de los vértices "SABIC" y "SUSIC" de la RED GNSS DE MONITOREO CONTINIO DEL ECUADOR del IGM, ubicada en la terraza del Laboratorio Geodésico del INCCIAI (Instituto Oceanográfico de la Armada) en el Cantón La Libertad Prov. de Bol. Eneña y en la Terreta del INCCIAI en la Sane Nueva Sur de Guayaquil Prov. del Guayas, respectivamente.
					SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA HORIZONTAL (ITRF 2008, Epoca de Referencia SIRGAS 2016.436) DATUM: ELIPSOIDE CUADRICULA ZONA SIRGAS GRS80 UTM 17 Sur a=6378137.000m; b=6356752.314m; 19=298.25722
COORDENADAS GEOGRÁFICAS			COORDENADAS UTM		
LATITUD:	S2°19'09.49988"		NORTE:	9743644.817 mN	
LONGITUD:	O80°51'16.20858"		ESTE:	516177.085 mE	
Altura Referida:	47.757 m		Zona	MC	Fact de Esc. Comb. Convex Merid
			17 Sur	81° W	0.9995675 0°00'21"
Cota	Dátum Vertical	Fuente	Tipo de Nivelación	Altura Ortométrica	Modelo Geoidal
0.000m	La Libertad	Modelo Geoidal Geométrico del Ecuador (IGM)	Geom. Cravén	36.8280m	EGM 95
Fotografías y Gráfico de Ubicación del Vértice Geodésico					
Levantamiento: Ing. Juli Rivera P. Maza SISTEMA TÉCNICO GEODÉSICO - Fuente: IGM-GEOTOP0402.1					



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA: "ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS"

TUTOR: ING. JUAN RENDÓN MARCILLO

TESISTAS:

- BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO
- BERNABÉ VILLÓN DARLIN JOSUÉ

ANEXO FOTOGRÁFICO

LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE PRUEBA EN CAMPUS UNIVERSITARIO





UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA: "ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS"

TUTOR: ING. JUAN RENDÓN MARCILLO

TESISTAS:

- BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO
- BERNABÉ VILLÓN DARLIN JOSUÉ

ANEXO FOTOGRÁFICO

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO PLAYA ACAPULCO





UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA: "ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS"

TUTOR: ING. JUAN RENDÓN MARCILLO

TESISTAS:

- BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO
- BERNABÉ VILLÓN DARLIN JOSUÉ

ANEXO FOTOGRÁFICO

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO PLAYA ACAPULCO





UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA: "ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS"

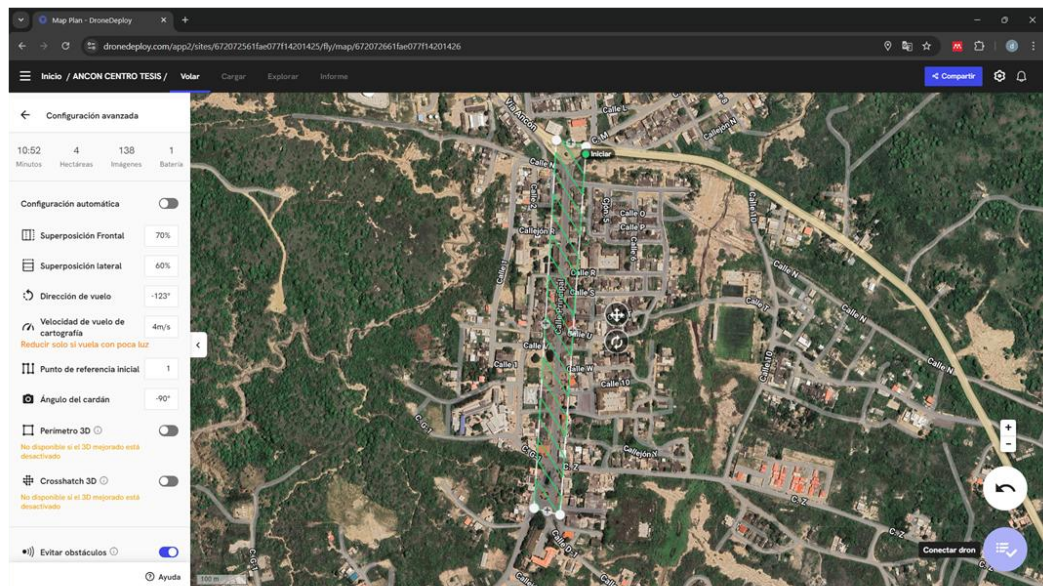
TUTOR: ING. JUAN RENDÓN MARCILLO

TESISTAS:

- BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO
- BERNABÉ VILLÓN DARLIN JOSUÉ

ANEXO FOTOGRÁFICO

PLAN DE VUELO ANCÓN CENTRO





**UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



TEMA: "ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS"

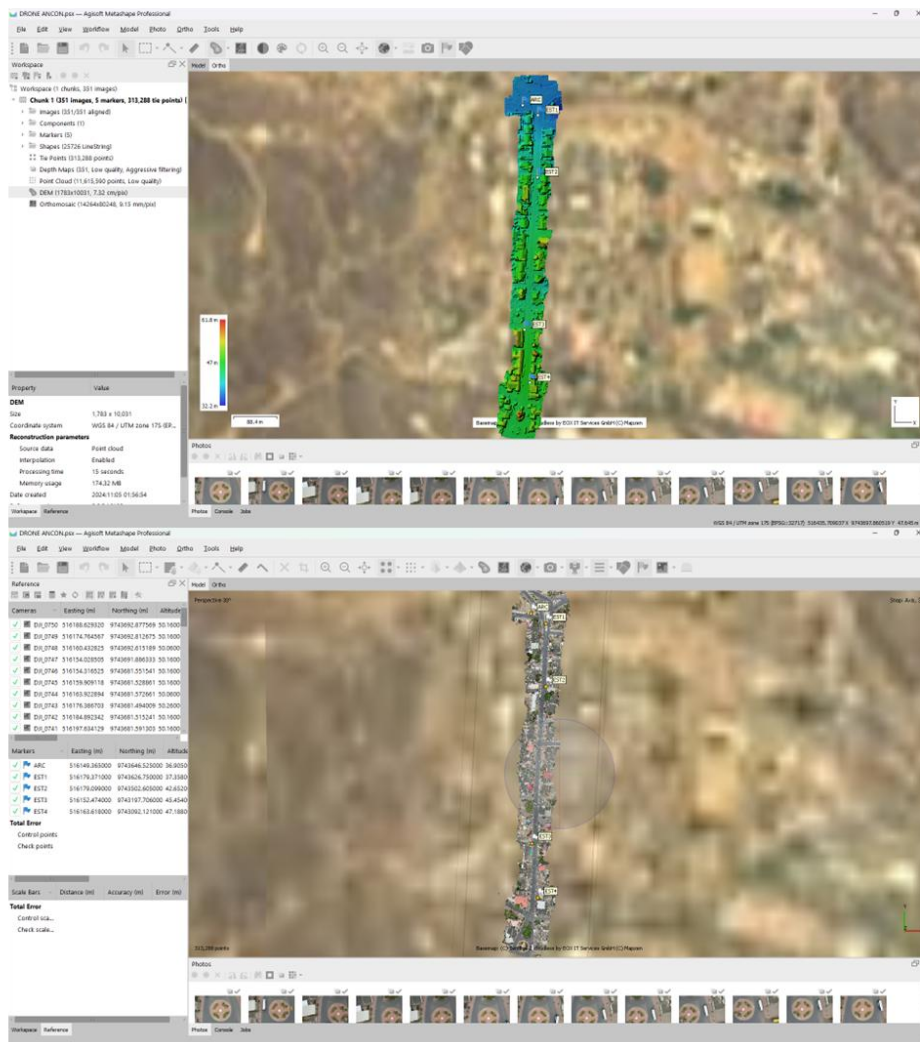
TUTOR: ING. JUAN RENDÓN MARCILLO

TESISTAS:

- BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO
- BERNABÉ VILLÓN DARLIN JOSUÉ

ANEXO FOTOGRÁFICO

ORTOMOSAICO ANCÓN CENTRO





UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA: "ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS GNSS RTK, ESTACIÓN TOTAL Y RPAS EN LEVANTAMIENTOS TAQUIMÉTRICOS"

TUTOR: ING. JUAN RENDÓN MARCILLO

TESISTAS:

- BARRIGA MINUCHE ISRAEL GUILLERMO
- BERNABÉ VILLÓN DARLIN JOSUÉ

ANEXO FOTOGRÁFICO

PLAN DE VUELO PLAYA ACAPULCO

