



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD ENTRE ESTACIÓN TOTAL,
AEROFOTOGRAMETRÍA CON RPAS Y GPS DIFERENCIAL, APLICADO A
PROYECTOS DE MINERÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

AUTOR: MÓNICA DANIELA QUEZADA CALLE

DIRECTOR: ING. VICENTE EMMANUEL ORTEGA CÁRDENAS. MGS.

AZOGUES-ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO


*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*



Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Mónica Daniela Quezada Calle portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302703830**. Declaro ser el autor de la obra: **“Evaluación de confiabilidad entre estación total, aerofotogrametría con RPAs y GPS diferencial, aplicado a proyectos de minería”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **22 de septiembre de 2022**

F: 

Mónica Daniela Quezada Calle

C.I. 0302703830

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

Azogues, 16 de septiembre del 2022.

ASUNTO: Informe calificación trabajo de titulación.

Ingeniero.

Ricardo Romero G. Mgs.

**DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL – SEDE AZOGUES. UNIDAD
ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.**

De mi consideración.

Adjunto al presente, sírvase encontrar la rúbrica de evaluación del proceso de trabajo de titulación del estudiante QUEZADA CALLE MÓNICA DANIELA, que fue desarrollado bajo mi tutoría y que se denomina: “EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD ENTRE ESTACIÓN TOTAL, AEROFOTOGRAMETRÍA CON RPAS Y GPS DIFERENCIAL, APLICADO A PROYECTOS DE MINERÍA”. Me permito informar además que, el trabajo ha sido completado en su totalidad bajo mi supervisión y considero que es apto para continuar con los trámites correspondientes para su titulación. La nota final del trabajo escrito obtenida es de 50/50.

Sin otro particular.

Atentamente,



Ing. Vicente Emmanuel Ortega Cárdenas. MSc.

**DOCENTE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA – SEDE AZOGUES**

DEDICATORIA

Mi Trabajo de Titulación está dedicado especialmente a mi abuelita Dalila, que desde el cielo me acompaña y que, a pesar de no estar presente, sus enseñanzas, consejos y buenos ejemplos influyeron para obtener mi título profesional.

Con todo mi amor y cariño dedico a mis padres Javier y Lucía que han sido uno de los pilares fundamentales de mi vida; con su esfuerzo, dedicación, fortaleza, valores y amor que han invertido día a día en mi vida, hoy se refleja en las metas alcanzadas.

A mi hermana María José y mis tíos Cesar y Esperanza que han sido un apoyo incondicional en todo momento para ayudarme a obtener mis sueños.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme con la vida y salud, por guiarme a lo largo de mi existencia y ser la fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Gracias a mi familia y amigos que han sido los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado; de manera distintiva a mis padres que han sido la motivación de mi vida para crecer profesionalmente y personalmente con humildad y honestidad.

Mis agradecimientos a la Universidad Católica de Cuenca Campus Azogues, a la facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de manera especial a los docentes quienes me brindaron un aporte invaluable en mi formación profesional. A mi tutor Ing. Emmanuel Ortega que me ha brindado su apoyo, confianza y su capacidad para guiar mis ideas enmarcadas en su orientación y rugosidad que han sido la clave para un buen trabajo.

A mis amigas Dayana y Fabiola, que han llegado a mi vida como una mano derecha.

Resumen

El objetivo de este trabajo de titulación se encamina a evaluar de manera confiable los levantamientos topográficos con estación total y aerofotogrametría con RPA´s y GPS diferencial en la mina “Colina Verde” del cantón Azogues, con la finalidad de lograr una cartografía precisa, actualizada y eficiente que contribuya a la simplificación de las labores topográficas.

Esta investigación tiene la finalidad de generar una correcta metodología para el uso de los diferentes métodos con el apoyo de un estudio bibliográfico, analizando sus definiciones, usos y funcionamientos de cada técnica. Además, se compararán las ventajas y desventajas del uso de estas tecnologías y las variables tales como, la rapidez en obtención de datos en campo y en escritorio, precisión, eliminación de errores en proceso de registro, traspaso y almacenamiento de información, costos, seguridad del personal, influencia del clima, altimetría, planimetría, perfiles, modelos digitales MDT, MDS y volúmenes; dando así un criterio profesional de la topografía en la selección del método, que a su vez esclarece las dudas en las presentaciones de datos al momento de realizar un análisis de resultados. Los dos levantamientos topográficos tienen muchas semejanzas especialmente en las precisiones, pero, la principal diferencia es la generación del modelo topográfico que es esencial para la ejecución de las fases mineras, seguido de la seguridad del personal y la inaccesibilidad a los taludes por los cadeneros. Resultando con mayor versatilidad el método indirecto aerofotogramétrico.

Palabras clave: Estación total, minería, RPA´s, RTK, topografía

Abstract

The objective of this degree work is to reliably evaluate the topographic surveys with a total station and aerial photogrammetry with RPA's and differential GPS in the "Colina Verde" mine in Azogues canton to achieve an accurate, updated, and efficient cartography that contributes to the simplification of the topographic works.

This research aims to generate a correct methodology for using the different methods with the support of a bibliographic study, analyzing each technique's definitions, uses, and performance. In addition, it will compare the advantages and disadvantages of the use of these technologies and variables such as speed in obtaining data in the field and on the desktop, accuracy, elimination of errors in the registration process, transfer and storage of information, costs, personnel safety, the influence of climate, altimetry, planimetry, profiles, DTM and DMS digital models, and volumes. Thus, giving a professional criterion of topography in the selection of the method and clarifying the doubts in the presentation of data when performing an analysis of results. The two topographic surveys have many similarities, especially in accuracy. Still, the main difference is the generation of the topographic model, which is essential for executing the mining phases, followed by personnel safety and inaccessibility to the slopes by the chainmen. The indirect aerial photogrammetric method is more versatile.

Keywords: Total station, mining, RPA's, RTK, topography

ÍNDICE

CAPÍTULO I: GENERALIDADES	17
1.1. Introducción	17
1.2. El Problema	18
1.2.2. Formulación del Problema	18
1.2.3. Delimitación del Problema	19
1.2.3.1. Delimitación de la Zona de Estudio	20
1.3. Justificación	21
1.4. Objetivos	22
1.4.1. General	22
1.4.2. Específicos	23
1.5. Hipótesis	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	24
2.1. La Topografía	24
2.2. División de la Topografía	24
2.2.1. Planimetría	24
2.2.2. Altimetría	24
2.3. Aplicación de la Topografía en la Minería	25
2.4. Tierra	26
2.5. Geoide	26

2.6.	Elipsoide _____	27
2.7.	Datum _____	28
2.8.	Coordenadas Geográficas _____	28
2.8.1.	Latitud _____	29
2.8.2.	Longitud _____	29
2.9.	Proyección Cartográfica _____	29
2.9.1.	Proyecciones del Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM)	32
2.10.	Sistemas Geodésicos de Referencia _____	33
2.11.	Marco de Referencia Internacional Terrestre (ITRS) _____	34
2.11.1.	Sistemas de Navegación por Satélite (GNSS) _____	34
2.11.2.	Global Positioning System (GPS) _____	35
2.11.3.	Global Orbiting Navigation Satellite System (GLONASS) _____	38
2.11.4.	Galileo _____	40
2.11.5.	BEIDOU _____	41
2.12.	Método Directo Para Realizar un Levantamiento Topográfico _____	42
2.12.1.	Estación Total _____	42
2.12.2.	Componentes de una Estación Total _____	43
2.12.3.	Tipos de Estaciones Totales _____	44
2.13.	Método Indirecto Para Realizar un Levantamiento Topográfico _____	45
2.13.1.	Método Estático con GPS de Doble Frecuencia _____	45
2.13.2.	Método Dinámico con Cinemático en Tiempo Real (RTK) _____	46

2.13.3.	Fotogrametría con RPA´s _____	47
2.13.4.	Clasificación de la Fotogrametría _____	48
2.13.5.	Vehículos Aéreos no Tripulados (Dron) _____	49
2.13.5.1.	Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo Aéreo no Tripulado) _____	49
2.13.5.2.	Remotely Piloted Aircraft System (Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia) _____	49
2.13.6.	Elementos Principales del RPA´s _____	50
2.13.7.	Tipos de RPA´s _____	54
2.13.8.	Ventajas y Desventajas del RPA´s _____	56
2.13.9.	Métodos de Navegación _____	57
2.13.9.1.	Navegación a Simple Vista con Cartografía Disponible _____	57
2.13.9.2.	Navegación a Simple Vista sin Cartografía Previa _____	57
2.13.10.	Sistemas de Navegación Avanzados _____	58
2.13.11.	Recubrimiento y Traslapes _____	59
<i>CAPÍTULO III: METOGOLOGÍA</i> _____		62
3.1.	Levantamiento Topográfico con Estación Total _____	62
3.1.1.	Técnicas e Instrumentos Necesarios para la Recolección de Datos _____	62
3.1.2.	Método de Levantamiento Topográfico en Campo _____	62
3.1.3.	Método de Investigación en Gabinete. _____	69
3.2.	Fotogrametría con RPA _____	73
3.2.1.	Técnicas e Instrumentos Necesarios para la Recolección de Datos _____	73
3.2.2.	Medición con GPS de Doble Frecuencia FOIF A90 método RTK _____	74
3.2.3.	Normativa Ecuatoriana Para Vuelos con Drones. _____	84

3.2.4.	Recolección de Datos con la Técnica del Uso del Dron MAVIC 2 PRO _____	86
3.3.	Método de Investigación en Gabinete _____	93
3.3.1.	Post-Procesamiento de Imágenes mediante el software Pix4Dmapper _____	93
3.3.1.1.	Primera Etapa _____	96
3.3.1.2.	Segunda Etapa _____	98
3.3.1.3.	Tercera Etapa _____	100
3.3.2.	Procesamiento de datos mediante CIVIL 3D _____	102
<i>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS</i> _____		104
4.1.	Análisis de Precisión _____	105
4.2.	Análisis de Volúmenes _____	107
4.3.	Análisis de Perfiles _____	107
4.4.	Análisis de Costos _____	108
4.5.	Análisis de Tiempos de Ejecución _____	110
4.6.	Ventajas y Desventajas de los Levantamientos Topográficos _____	112
4.6.1.	Levantamiento Topográfico con Estación Total _____	112
4.6.2.	Aerofotogrametría con Sistema RTK _____	113
<i>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i> _____		114
4.7.	Conclusiones _____	114
4.8.	Recomendaciones _____	115
<i>Bibliografía</i> _____		117
<i>ANEXOS</i> _____		<i>¡Error! Marcador no definido.</i>

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Recubrimiento recomendado para vuelos fotogramétricos _____	59
Tabla 2. Elementos esenciales que constituyen la Estación Total Trimble M3 para el levantamiento topográfico. _____	64
Tabla 3. Elementos esenciales que constituyen el RTK FOIF A90 para la toma de coordenadas	75
Tabla 4. Coordenadas obtenidas mediante el levantamiento topográfico con estación total de los GCP _____	105
Tabla 5. Coordenadas planas obtenidas mediante aerofotogrametría _____	105
Tabla 6. Desviación en metros de coordenadas entre estación total y aerofotogrametría ____	106
Tabla 7. Criterio de análisis de costos de un levantamiento topográfico con estación total y la aerofotogrametría con RTK _____	109
Tabla 8. Criterio de análisis de tiempos de ejecución de un levantamiento topográfico con Estación Total y la Aerofotogrametría con RTK _____	111

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mina "Colina Verde" ubicada en Javier Loyola del cantón Azogues. _____	21
Ilustración 2. Criterio de análisis de costos entre los dos métodos. _____	110
Ilustración 3. Criterio de análisis de tiempos de ejecución de cada método. _____	111

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Superficie geoide de la Tierra. _____	26
Figura 2. Ajuste del geoide a la superficie de la Tierra. _____	27
Figura 3. Parámetros de un elipsoide. _____	28
Figura 4. Sistema de coordenadas geográficas. _____	29
Figura 5. Proyección cilíndrica de la Tierra. _____	30
Figura 6. Proyección plana de la Tierra. _____	31
Figura 7. Proyección cónica de la Tierra. _____	31
Figura 8. Cuadrícula UTM, cada cuadrícula UTM se define mediante la fila como el número de usos y la columna como la letra de la Zona. _____	33
Figura 9. Funcionamiento del GNSS. _____	35
Figura 10. Constelación NAVSTAR. _____	36
Figura 11. Estaciones de control del sistema GPS. _____	37
Figura 12. Constelación GLONASS. _____	39
Figura 13. Constelación Galileo. _____	41
Figura 14. Constelación de satélites BEIDOU. _____	42
Figura 15. Componentes de una estación total. _____	44
Figura 16. Equipos receptores GPS en técnica de medición estática. _____	46
Figura 17. Clasificación de fotografías según el eje de la cámara. _____	49
Figura 18. Número de brazos de un dron. _____	50
Figura 19. Cuerpo de los RPA's. _____	51
Figura 20. Motor, hélices y controlador de velocidad. _____	51
Figura 21. Baterías de polímero de litio. _____	52

Figura 22. Gimbal de RPAs. _____	52
Figura 23. Tipos de controladores de vuelo de los RPAs. _____	53
Figura 24. Un ejemplo de un control y un receptor de un RPAs. _____	53
Figura 25. Ejemplos de instrumentos para la conexión del GPS. _____	54
Figura 26. Ejemplo de un sistema de emisión y recepción para el manejo de un RPAs mediante FPV. _____	54
Figura 27. Representación del giro de la aeronave durante el vuelo. _____	55
Figura 28. Tipos de RPA. _____	56
Figura 29. Solape longitudinal y transversal. _____	60
Figura 30. Patrón de vuelo fotogramétrico tradicional. _____	61
Figura 31. Planteo y nivelación de la Estación Total. _____	66
Figura 32. Pantalla con el proyecto abierto para empezar a medir. _____	67
Figura 33. Medición de la altura del equipo en campo. _____	67
Figura 34. Toma del Norte con la Estación Total desde un dispositivo móvil. _____	68
Figura 35. Configuración de la hoja de trabajo con los objetivos del proyecto. _____	69
Figura 36. Pantalla del Civil 3D para sustentar la creación de la superficie. _____	70
Figura 37. Polígono resultante con las curvas de nivel correspondientes. _____	71
Figura 38. Clasificación de puntos de acuerdo a los diferentes volúmenes, creación de las superficies y cálculo del volumen. _____	72
Figura 39. Ventana para crear el perfil de superficie de la alineación designada. _____	73
Figura 40. Receptor base nivelado y centrado en la mina "Colina Verde". _____	79
Figura 41. Equipo Róver nivelado sobre el punto de control para lograr una solución fija. ____	80
Figura 42. Verificación de la altura del sistema RTK con un flexómetro. _____	81

Figura 43. Comprobación de la conexión del receptor móvil al encenderse la luz del Bluetooth..	82
Figura 44. Pantalla de configuración del receptor móvil.	83
Figura 45. Pantalla para realizar la toma de coordenadas y verificar la ubicación de la base y los puntos.	83
Figura 46. Señalización de los puntos de control (GCP).	84
Figura 47. Polígono de vuelo creado para el levantamiento topográfico de la mina "Colina Verde".	89
Figura 48. Configuración del dron Mavic 2 Pro.	90
Figura 49. Cambio de baterías en el punto "start".	92
Figura 50. Pantalla desplegada al crear un "New Project".	94
Figura 51. Propiedades de las imágenes del proyecto "Mina Colina Verde".	95
Figura 52. Pantalla previa al procesamiento.	97
Figura 53. Ingreso de los puntos de control de manera manual al software.	98
Figura 54. Recorte del polígono para iniciar con el procesamiento de la segunda etapa..	99
Figura 55. Resultado de la ejecución del paso 2.	100
Figura 56. Resultado del orto mosaico generado por Pix4dmapper.	101
Figura 57. Cálculo de volúmenes en el software Pix4Dmapper.	102
Figura 58. Curvas de nivel por fotogrametría.	103
Figura 59. Perfil generado por Civil 3D con estación total.	107
Figura 60. Perfil generado por Civil 3D con aerofotogrametría.	107
Figura 62. Perfil longitudinal generado en Civil 3D con aerofotogrametría.	108
Figura 61. Perfil longitudinal generado en Civil 3D con estación total.	108

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

En la actualidad nos encontramos en una época donde el avance tecnológico permite aplicar métodos alternativos de obtención de datos, especialmente en el campo de la topografía; el levantamiento topográfico es la primera fase de estudio técnico y descriptivo de un terreno que trata de examinar la superficie cuidadosamente teniendo en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del mismo. El presente trabajo investigativo se encamina a evaluar de manera confiable los levantamientos topográficos con estación total y aerofotogrametría con RPA's (Remotely Piloted Aircraft System) y el GPS (Global Positioning System) diferencial en la mina "Colina Verde" del cantón Azogues, con la finalidad de lograr una cartografía precisa, actualizada y eficiente que contribuya a la simplificación de las labores topográficas.

El desarrollo de un proyecto minero comprende las etapas de exploración, planeación, preparación de sitio, construcción, explotación y cierre, que van de la mano con la topografía para ofrecer al entorno una minería con pocos o nulos efectos negativos; de hecho, es posible afirmar que no podría darse el desarrollo de la minería sin la existencia de la topografía. De cierta manera no se cuenta con suficiente información documentada en base a optimización de costos y tiempos, indicando si el método de fotogrametría con tecnología GNSS (Sistemas de Navegación por Satélite) es más eficiente y preciso que el uso de equipos electro-ópticos o viceversa, en el campo de obra civil dentro de aplicaciones mineras.

El tipo de investigación es aplicada, de diseño no experimental, con un nivel descriptivo-explicativo que se enfoca de forma cuantitativa. La muestra está conformada por los levantamientos topográficos de la mina "Colina Verde", empleando equipos de última generación

para asegurar óptimos resultados de precisión y realizar las comparaciones técnicas sobre tiempo y costo de operaciones al cumplir las metodologías de trabajo.

Este escrito tiene la finalidad de comparar las ventajas y desventajas del uso de estas tecnologías tales como, la rapidez tanto en campo como en escritorio, precisión, eliminación de errores en proceso de registro, anotación, traspaso y almacenamiento de información, costos de operación y seguridad del personal minero, dando así un criterio profesional apropiado para la presentación de datos de los dos métodos al realizar un análisis de resultados.

1.2. El Problema

1.2.2. Formulación del Problema

La topografía viene evolucionando por las necesidades productivas y de rendimientos en los últimos años, exigiendo a los profesionales encargados tener los conocimientos previos sobre la recolección de información en el campo topográfico para que, de esta manera puedan tomar una elección del método que garantice seguridad laboral, bajos costos, calidad en el trabajo y cortos tiempos de ejecución en un proyecto minero ingenieril.

El levantamiento topográfico mediante el uso de estaciones totales y sistemas globales de navegación por satélite, permiten obtener información precisa en áreas extensas y pequeñas; las técnicas de levantamientos tradicionales no son aptas para conseguir información en zonas con altas pendientes o lugares que simplemente son inaccesibles arriesgando la seguridad de los operarios, por ello la necesidad de implementar y conocer las nuevas tecnologías para la obtención de datos topográficos según las características del terreno.

El artículo “Soluciones Generadas por Drones en Minería”, indica que el mismo trabajo con drones es 20 veces más rápido que con una estación total. La información se puede obtener

en imágenes digitales 2D y ser procesadas mediante softwares aplicativos para dar una simulación de visión humana mediante objetos en tres dimensiones, llamando la atención por la autonomía, velocidad y bajos costos que presentan estos equipos al enfrentarse a un proyecto [1].

Es conveniente investigar, estudiar y documentar, si el método de fotogrametría con tecnología GNSS es más seguro y preciso que el empleo de estación total o viceversa en las diferentes etapas mineras, surgiendo la necesidad de un comparativo entre los dos métodos, para solventar el escepticismo por parte de los profesionales en usar cualquier procedimiento como apoyo para obtener una topografía que le permita ver los problemas desde una perspectiva diferente y que no tengan problemas en el uso e interpretación correcta de los datos obtenidos.

En ese sentido, realizar la evaluación de confiabilidad ayuda a sentar bases profesionales e intensificar el conocimiento previo a pequeños y grandes mineros para una selección acertada del método en el planeamiento y ejercicio racional de las actividades mineras sostenibles; por ello, la importancia de actualizarse constantemente para caminar a mano de la tecnología que cambia día a día y brinda mayor calidad en el trabajo.

1.2.3. Delimitación del Problema

El presente trabajo tiene el propósito de realizar un análisis de confiabilidad entre levantamientos topográficos, la técnica tradicional con estación total y la técnica moderna de fotogrametría con RPA's de bajo costo, con un sistema de navegación y posicionamiento de alta precisión denominado RTK (Cinemático en Tiempo Real), en la minería "Colina Verde" ubicada en la parroquia Javier Loyola del cantón Azogues; centrándose esencialmente en la evaluación de que método es más preciso y fiable en la captura de información mediante los levantamientos topográficos realizados en las diferentes etapas mineras, así como crear información teórica

confiable a partir de prácticas realizadas y cumpliendo con el nuevo reglamento que norma la “Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPA´s)” de la República del Ecuador.

Esta investigación tiene la finalidad de generar una correcta metodología para el uso de los diferentes métodos con el apoyo de un estudio bibliográfico, analizando sus definiciones, usos y funcionamientos de cada técnica. Además, se compararán las ventajas y desventajas del uso de estas tecnologías y las variables tales como, la rapidez en obtención de datos en campo y en escritorio, precisión, eliminación de errores en proceso de registro, traspaso y almacenamiento de información, costos, seguridad del personal, influencia del clima, altimetría, planimetría, perfiles, modelos digitales MDT (Modelo Digital de Terreno), MDS (Modelo Digital de Superficie) y volúmenes; dando así un criterio acertado para profesionales de la topografía en la selección del método, que a su vez esclarece las dudas en las presentaciones de datos al momento de realizar un análisis de resultados.

1.2.3.1. Delimitación de la Zona de Estudio

Como se observa en la Ilustración 1, la zona de estudio se ubica en la parte alta de la zona de El Descanso, cantón Azogues, muy cerca al límite entre las provincias de Azuay y Cañar. Para acceder al terreno minero se toma una vía de tercer orden que parte en la autopista Azogues – Cuenca pasando el puente sobre el río Déleg. Las coordenadas UTM 17S del predio son:

Altitud: 2346m

Norte: 9686408

Este: 735423

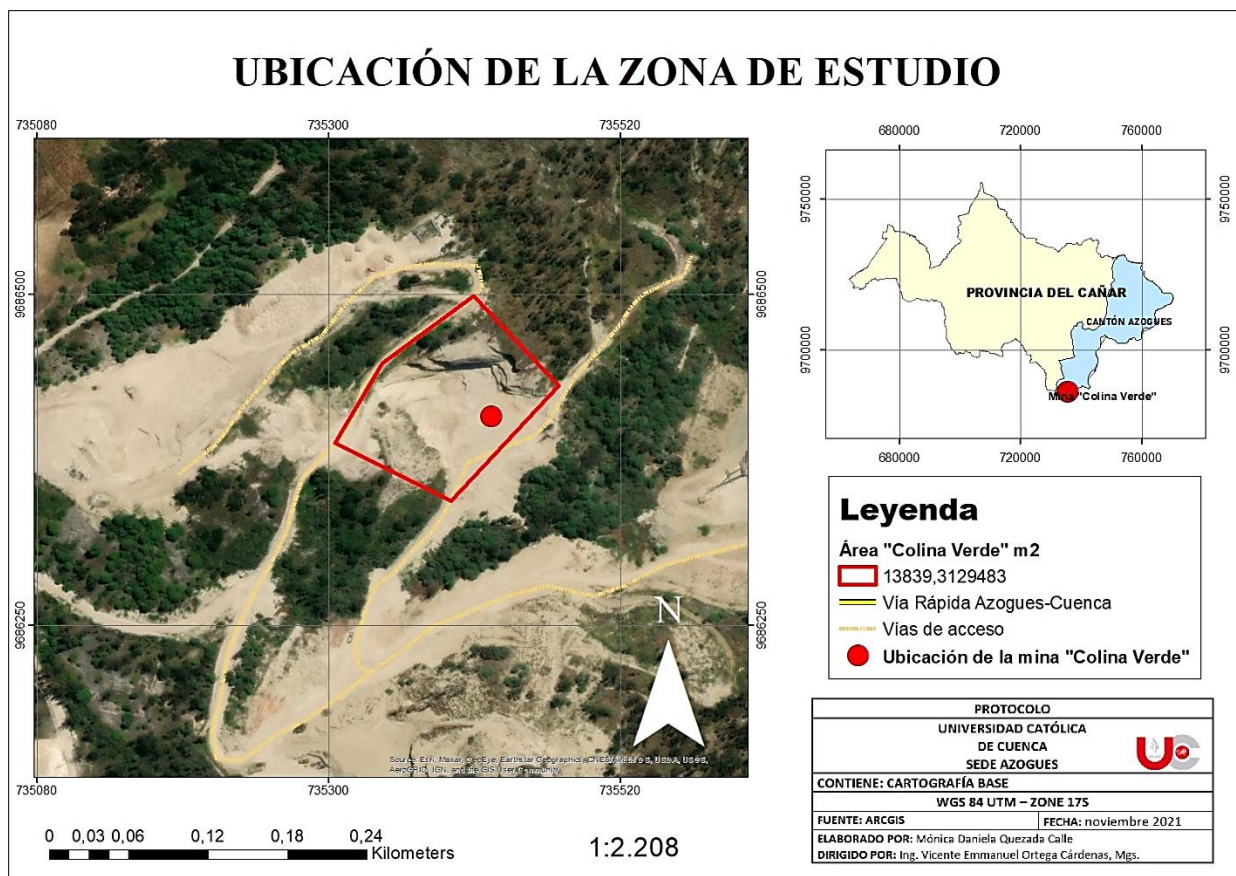


Ilustración 1. Mina "Colina Verde" ubicada en Javier Loyola del cantón Azogues. **Fuente:** Autor

1.3. Justificación

Existen varias técnicas para llevar a cabo levantamientos topográficos, mediante la estación total y el GPS, los cuales se innovan tecnológicamente de forma constante con el fin de obtener con gran facilidad y velocidad las posiciones en el terreno. Hoy en día, con el uso de los vehículos aéreos no tripulados pero controlados remotamente en la minería, los receptores GNSS de doble frecuencia que consecuentemente mejora la precisión de las coordenadas absolutas de toda la red geodésica establecida, permitiendo la determinación de correcciones ionosféricas con precisión centimétrica; razón por la cual, no se tiene documentación de un análisis comparativo de esta técnica con los métodos tradicionales, con el fin de observar que tan funcional, preciso y viable puede llegar a ser el uso de los métodos en precisiones, costos y tiempos de ejecución.

La ejecución de una obra minera comprende varias etapas que deben ser monitoreadas hasta el cierre de la misma, justificando la importancia de la topografía en estos tipos de proyectos ingenieriles para que el profesional encargado tenga un registro a detalle de los cambios existentes en todo el desarrollo del proyecto; es importante señalar que, aunque existen métodos establecidos para llevar a cabo los trabajos, éstos generalmente sufren cambios o adaptaciones. El presente escrito ofrece una solución rápida, precisa, con una correcta interpretación de los datos obtenidos en campo, para dicha información procesar mediante softwares de apoyo según el instrumento y demás herramientas necesarias para su correcta aplicación.

La justificación del proyecto se vuelve fundamental para un estudio comparativo entre altimetría, planimetría, perfiles, modelos digitales MDT, MDS y volúmenes que este pueda presentar utilizando ambos métodos de captura de información. La metodología usada puede ser empleada en proyectos que requieren el uso de diferentes técnicas para levantamientos topográficos, en iguales o similares situaciones, también ayudará a la formación profesional creando un criterio válido en el topógrafo para la elección de cualquier técnica.

Desde el punto de vista logístico, el presente proyecto es de factible ejecución, debido a que se puede contar con la facilidad de acceso a la minería “Colina Verde”, con la colaboración del propietario del terreno; también, se cuenta con los instrumentos adecuados para ejecutar los levantamientos topográficos, procesamiento y análisis; Dichos equipos necesarios son proporcionados y asistidos por la Universidad Católica de Cuenca Campus Azogues.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Evaluar la confiabilidad y precisión de los levantamientos topográficos con estación total y aerofotogrametría con RPA´s y GPS diferencial en la mina “Colina Verde” con la finalidad de

valorar una cartografía actualizada y eficiente que permita avanzar en la simplificación de las labores topográficas y costos en proyectos mineros.

1.4.2. Específicos

- Levantar topográficamente la zona de estudio utilizando estación total, dron y tecnología GNSS para obtener los datos necesarios y realizar el análisis comparativo de métodos.
- Detallar las etapas de los levantamientos topográficos de los diferentes métodos propuestos, con la finalidad de establecer bases teóricas, implicaciones prácticas y parámetros técnicos de estas.
- Comparar coordenadas obtenidas de los levantamientos topográficos, para determinar márgenes de error y precisión en cada método propuesto.
- Obtener una comparación de las ventajas, desventajas, aplicabilidad, rendimientos, precisión, costos, tiempos de recolección de información en campo y post procesamiento en oficina con el uso de softwares y hardware necesarios, para determinar el método más viable en la ejecución de proyectos mineros mediante una matriz comparativa.
- Generar los planos topográficos de la mina, con los datos obtenidos en campo y mediante softwares que ayuden al procesamiento de información, para evaluar técnicamente los resultados de la comparación de los métodos y emitir las conclusiones pertinentes.

1.5. Hipótesis

¿La fotogrametría digital inteligente con el uso del GPS de alta precisión es igual de preciso que un método directo como la estación total; la presentación, tiempos, costos y recolección de información alcanzan una variación significativa entre métodos?

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. La Topografía

La topografía es una arte antigua e importante que estudia procedimientos para fijar puntos con posiciones relativas o absolutas sobre la Tierra y debajo de la misma, mediante la agrupación de los tres elementos del espacio: distancia, dirección y elevación. El principal objetivo de la topografía es determinar la planimetría y altimetría de una parte de la Tierra para realizar planos y mapas a escala según sus características geográficas, así como las operaciones en campo y métodos para el procesamiento de datos [2].

2.2. División de la Topografía

2.2.1. Planimetría

La planimetría también conocida como taquimetría o control horizontal en el campo de la topografía, es la encargada del cálculo de distancias, direcciones y ángulos de modo horizontal, despreciando la elevación en la ubicación de los puntos. Las distancias se pueden medir por métodos directos e indirectos, el primero hace referencia a equipos como la cinta métrica, el distanciómetro y el odómetro; la taquimetría es el procedimiento más usado por el método indirecto. Para mediciones de las orientaciones, distancias y direcciones se usan equipos topográficos inteligentes, entre los más comunes se puede manifestar brújulas, teodolitos y estaciones totales [2].

2.2.2. Altimetría

La altimetría se designa también con el nombre de control vertical, su definición nace al ubicar puntos sobre una proyección vertical para determinar las diferencias de nivel existentes en la zona levantada topográficamente. Se describe dos métodos para el cálculo de las diferencias de nivel, el método directo que comprende la nivelación diferencial y en el método indirecto está la

planimetría y la nivelación barométrica. Es de mucha importancia tener puntos de control o de referencia en los levantamientos topográficos, que deben ser definidos de manera arbitraria o tomados de un banco de coordenadas según demande el proyecto [2].

2.3. Aplicación de la Topografía en la Minería

Las labores topográficas en minería deben adecuarse al ritmo de las actividades de explotación, minimizando su impacto al predecir y desarrollar medidas para las modificaciones en la morfología del lugar con la extracción de la materia prima, creando hoyos considerables que en ocasiones vuelven a llenarse y si no es el caso se crean vertederos cuya forma y dimensiones varían en lo que avanza la explotación. Se considera indispensable los levantamientos topográficos en tres etapas de la actividad minera, la inicial se refiere a los trabajos topográficos que proporcionan las bases cartográficas para la explotación, investigación geológica, adquisición de terrenos. La segunda fase consiste en proporcionar apoyo para la elaboración del proyecto, indagación geológica para la modelización y diseño de explotación, diseño de vertederos terminando con el plan de rehabilitación [3].

El cierre es la última etapa del ciclo minero que se debe tratar desde el inicio de la explotación, para evitar desarrollar medidas de culminación costosas con largos tratamientos; esta fase tiene como objetivo la ejecución de acciones necesarias para garantizar un ambiente saludable, seguro y apropiado a las personas del entorno a largo plazo. La rehabilitación y factibilidad constan en el plan de cierre minero para cumplir con los criterios acordados en el proyecto, con el fin de proteger el medio ambiente y la salud de las personas, con la aproximación de volver a las condiciones anteriores al funcionamiento minero [4].

2.4. Tierra

El autor [5] define que la Tierra es “una masa fluida homogénea sometida a las leyes de gravitación universal que gira alrededor de un eje (llamado polar), es un elipsoide de revolución aplastado por los polos. Sin embargo, si se tienen en cuenta otras pequeñas deficiencias, la forma de la tierra queda representada mediante un cuerpo ideal conocido con el nombre de geoide”.

2.5. Geoide

Es la superficie equipotencial imaginaria de la Tierra que encadena todos los puntos que tienen la misma gravedad, para sustentar esta teoría suponen que los océanos están en reposo y se prolonga por debajo de los continentes. El autor [5] afirma que “En cualquier punto del geoide su superficie es perpendicular a la fuerza de la gravedad”.

En la Figura 1 se observa que la superficie desde el punto de vista gravitacional es irregular con protuberancias de más o menos 100 metros respecto al elipsoide geocéntrico, producto de las distintas densidades resultantes de las composiciones minerales existentes en el interior de la tierra que cambian la fuerza de la atracción gravitacional [5].

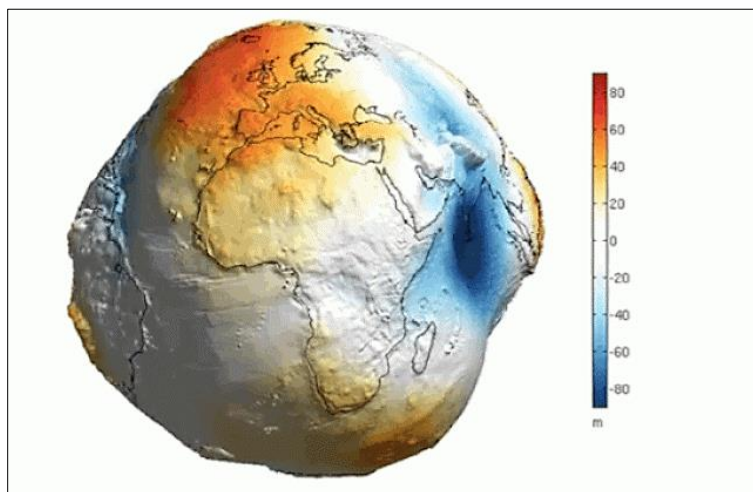


Figura 1. Superficie geoide de la Tierra. **Fuente:** [5]

2.6. Elipsoide

Los autores [6] definen “El Elipsoide es el cuerpo geométrico más simple que se ajusta a la forma real de la tierra”. Una elipse se obtiene de acuerdo a la deformación de la circunferencia ya que la Tierra tiene sus polos achatados con la línea ecuatorial abultada, y al hacer girar la figura en uno de sus dos ejes se obtiene el elipsoide. Como indica la Figura 2 de manera general el geoide queda por encima del elipsoide en la zona continental y por debajo en la zona oceánica.

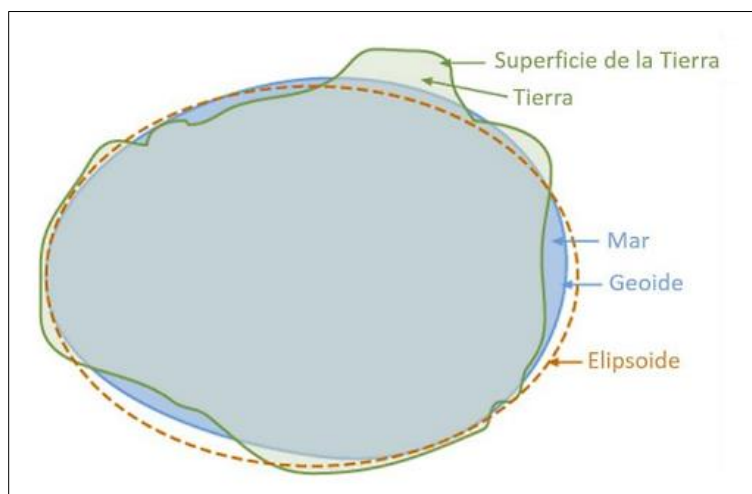


Figura 2. Ajuste del geoide a la superficie de la Tierra. **Fuente:** [6]

Existen dos tipos de elipsoides, el primero que se menciona como global se aproxima a la forma de la Tierra y asegura que los ejes de inercia concuerden y los elipsoides locales que se ajustan a una zona determinada del mundo. Un elipsoide global se define matemáticamente según la Figura 3 en función del radio ecuatorial (a), el radio menor (b) y el factor de aplanamiento ($f=1-(b/a)$); en el Ecuador actualmente se utiliza el elipsoide WGS 84 [6].

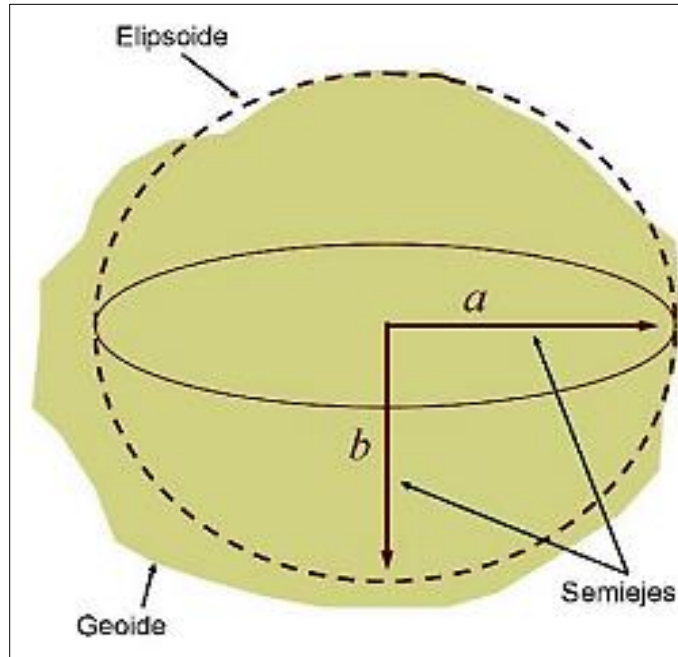


Figura 3. Parámetros de un elipsoide. Fuente: [6]

2.7. Datum

Es la superficie de referencia que sirve para determinar y calcular coordenadas a partir de datos iniciales, es fundamental como punto de partida para la creación de la cartografía. El datum es el resultado de la conformación de un elipsoide con el punto donde el elipsoide y geoide son tangentes, coincidiendo las coordenadas astronómicas y geodésicas en dicho punto [6].

Generar un solo datum para el mundo era una tarea difícil, mencionando de forma puntual los puntos en donde el geoide y elipsoide no eran tangentes, por lo que se ha creado varios elipsoides locales según el datum correspondiente. El Sistema de Posicionamiento Global por la necesidad de crear un datum global, crea el sistema WGS (World Geodetic System) que está vigente hasta la actualidad; el WGS84 estima un error de cálculo menor a los dos centímetros [5].

2.8. Coordenadas Geográficas

Se define como coordenadas geográficas a la posición de un punto sobre la superficie de la Tierra que está delimitado por la latitud del paralelo y longitud del meridiano [5].

2.8.1. Latitud

La latitud de un punto es el ángulo formado por el plano ecuatorial y la línea que une el punto con el centro de la tierra como indica la Figura 4. La latitud en la línea ecuatorial es 0° y puede aumentar hasta los 90° al subir o bajar por los hemisferios Norte (N) y Sur (S) [5].

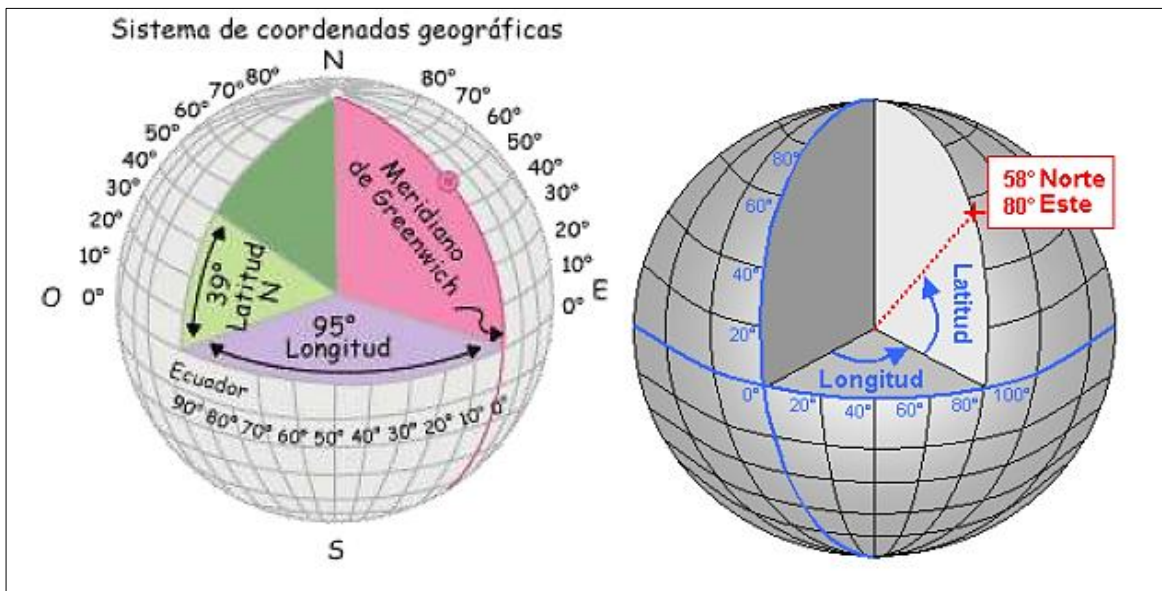


Figura 4. Sistema de coordenadas geográficas. Fuente: [5]

2.8.2. Longitud

Es el ángulo formado por el plano del meridiano que pasa por el punto y el meridiano origen que es el de Greenwich. La longitud empieza en 0° y aumenta hasta 180° ya sea en dirección de los hemisferios Este (E) u Oeste (O) [5].

2.9. Proyección Cartográfica

El autor [5] define “La proyección cartográfica o proyección geográfica es un sistema de representación gráfico que establece una relación ordenada entre los puntos de la superficie curva de la Tierra y los de una superficie plana (mapa). Estos puntos se localizan auxiliándose en una

red de meridianos y paralelos, en forma de malla. En un sistema de coordenadas proyectadas, los puntos se identifican por las coordenadas cartesianas”.

Las proyecciones cartográficas han desarrollado un papel fundamental para evitar de manera significativa la deformación de la Tierra, mediante el uso de figuras geométricas como el cono o el cilindro. Existen tres tipos de proyecciones [6]:

- **Proyección cilíndrica.** El planeta Tierra está inscrita dentro de un cilindro y sobre esta figura geométrica se representa la superficie terrestre. Las deformaciones aumentan a medida que los territorios se alejan de la zona ecuatorial, mientras que los que se encuentran cerca de esta mantienen proporciones ideales como indica la Figura 5.

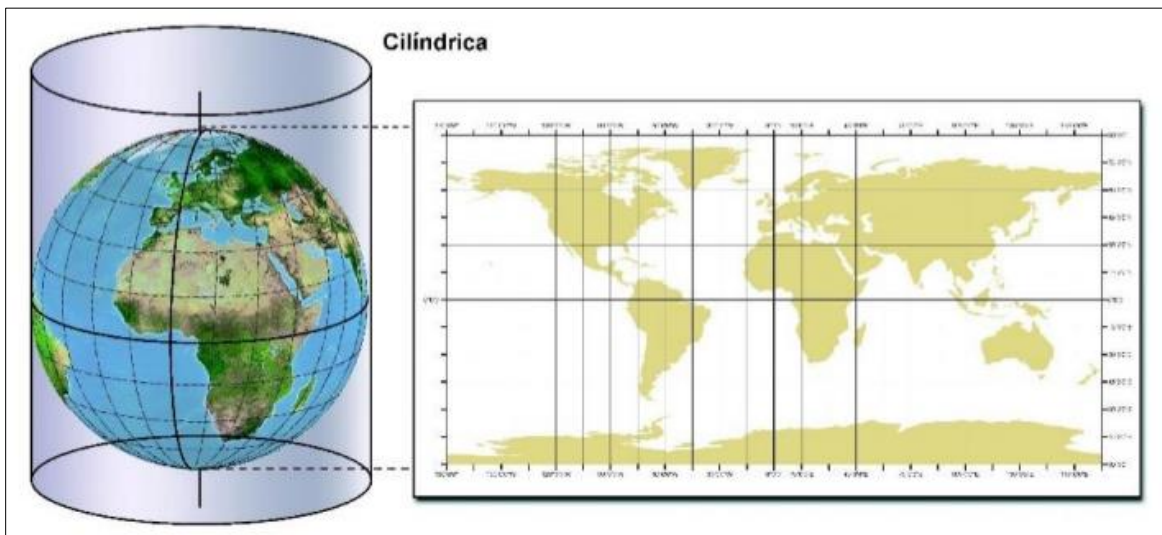


Figura 5. Proyección cilíndrica de la Tierra. Fuente: [6]

- **Proyección plana.** La Tierra tiene un solo punto de unión con una hoja de papel indicado en la Figura 6, en donde solo se puede observar la mitad de la superficie terrestre. La topografía es el campo que se define con esta proyección, porque tiene la característica de representar superficies pequeñas y no influye la esfericidad del planeta.

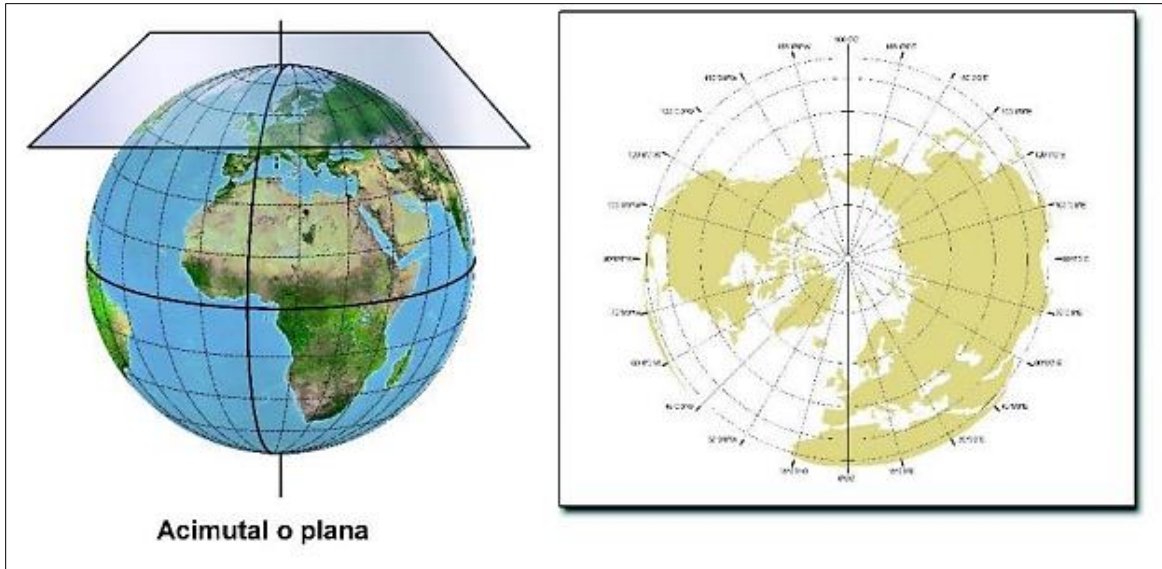


Figura 6. Proyección plana de la Tierra. Fuente: [6]

- **Proyección cónica.** Un cono es la figura geométrica que encierra la mitad del mundo y la representación exacta de la superficie terrestre es donde las dos partes se chocan, las deformaciones aumentan en los puntos alejados de lo anterior mencionado, como indica la Figura 7.

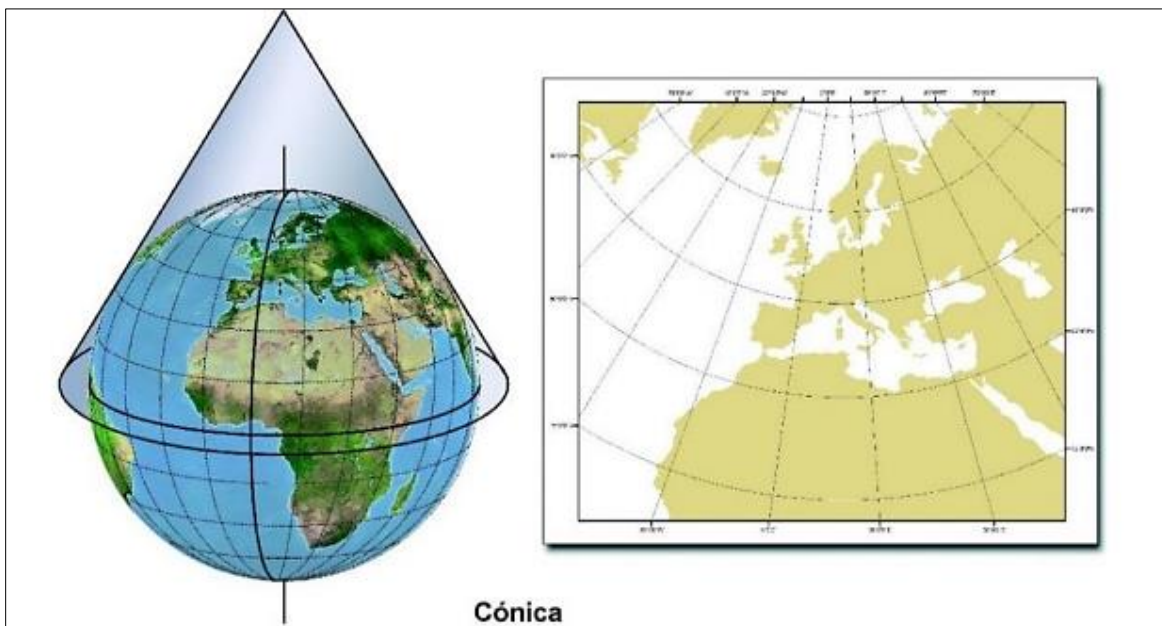


Figura 7. Proyección cónica de la Tierra. Fuente: [6]

2.9.1. Proyecciones del Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM)

Las proyecciones UTM, es un sistema lanzado en 1940 por las necesidades militares estadounidenses. Se usan las proyecciones cilíndricas, donde el eje del cilindro coincide con el eje ecuatorial y perpendicular al eje polar; en el meridiano elegido como origen, el cilindro es tangente al planeta Tierra [5].

La utilidad de las proyecciones es recomendable casi a nivel mundial para representaciones geodésicas conservando los ángulos excepto a áreas situadas a $\pm 80^\circ$ de latitud. La esfera se divide en 360° , cada Huso resulta con 6° de longitud con un meridiano central equidistante 3° de los extremos, la numeración de los 60 Husos es de sentido Oeste a Este [5].

Como indica la Figura 8, la superficie terrestre no sólo está dividida en Husos sino también en zonas que se encuentran entre dos paralelos sucesivos con 8° grados de diferencia de latitud de la línea ecuatorial alcanzando hasta los 80° de latitud al Norte y Sur. Las letras van desde la “C” hasta la “X” en cada hemisferio. La ubicación de un punto en una zona está determinada por coordenadas rectangulares, el mismo que si está en un área superior de la letra “N” o igual a la misma, se encuentra en el hemisferio norte y por consiguiente las zonas que están en el hemisferio sur tienen las letras anteriores a la “N” [6].

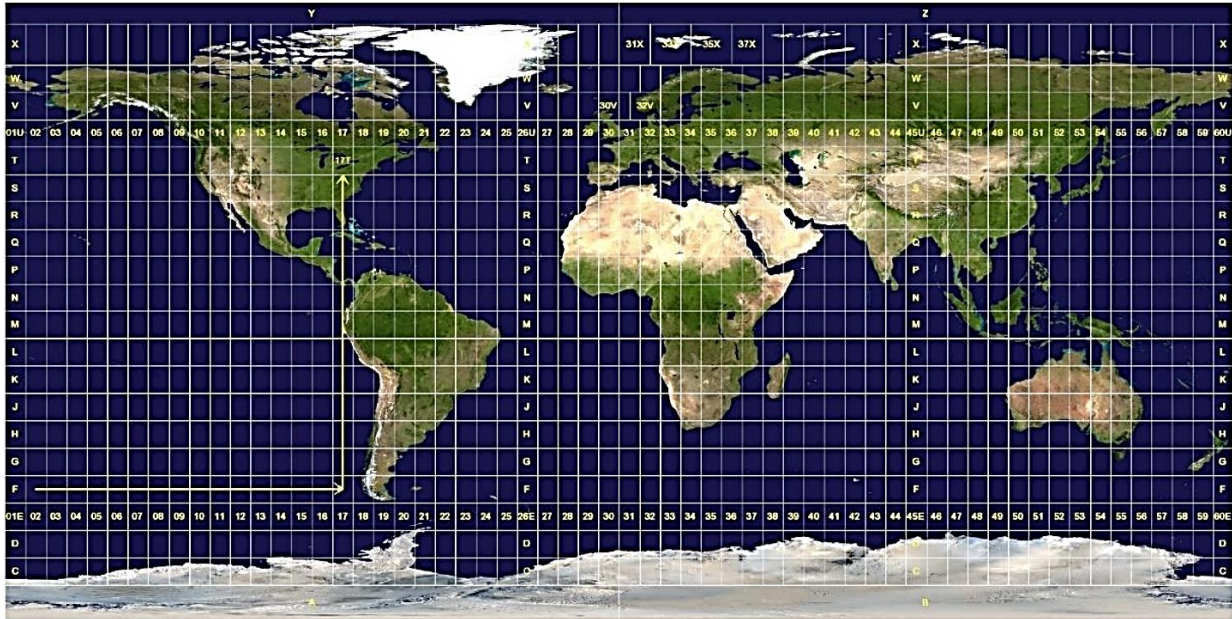


Figura 8. Cuadrícula UTM, cada cuadrícula UTM se define mediante la fila como el número de usos y la columna como la letra de la Zona. **Fuente:** [6]

2.10. Sistemas Geodésicos de Referencia

Estos sistemas son imprescindibles y necesarios para el progreso de diferentes ciencias, como la Cartografía, Topografía, Navegación sobre la faja de la Tierra, Geodesia, Geodinámica, Geofísica; además del movimiento y deformaciones de la corteza terrestre, estudia la localización de coordenadas en cualquier parte de la Tierra [7].

Los sistemas geodésicos de referencia globales han sido creados por organismos internacionales al caracterizarse por poseer un origen geocéntrico de las coordenadas cartesianas, plano meridiano, plano ecuatorial y ejes X, Y y Z. La característica principal de estos sistemas es el control geodésico en tres dimensiones en cualquier punto de la Tierra [7].

2.11. Marco de Referencia Internacional Terrestre (ITRS)

El marco de referencia internacional terrestre es geocéntrico tridimensional que gira con la Tierra, su origen es el centro de masas con una precisión en centímetros y su orientación es ecuatorial. Antón [7] afirma que “Para conseguir una realización práctica de un marco geodésico global de referenciarse tienen que establecer una serie de puntos con un conjunto de coordenadas. El ITRF (Marco de Referencia Terrestre Internacional), es la materialización del ITRS, definido por un conjunto de puntos físicamente establecidos con sus coordenadas cartesianas tridimensionales geocéntricas o geográficas y sus velocidades, junto con la matriz varianza covarianza de su solución”.

2.11.1. Sistemas de Navegación por Satélite (GNSS)

Los GNSS son sistemas de navegación por constelaciones de satélites orbitales en la Tierra, que proporcionan información continua y sincronizada del posicionamiento geoespacial en cualquier parte del mundo, con un rendimiento del 95% al 99%. Los sistemas de navegación por satélite poseen tres segmentos fundamentales y definidos que son: espacial, control y de usuario [8].

El segmento espacial está conformado por satélites de navegación como de comunicación en su sistema. Los primeros, para garantizar una cobertura global en cada instante debe hospedar en diferentes planos orbitales un número considerable de satélites, así ofreciendo información de manera redundante y con un posicionamiento preciso, en el caso de que deje de funcionar algún satélite. Los satélites de comunicación son específicos en cada país y también son conocidos como sistemas de aumento; ayudan a la corrección de errores originados en el segmento de control, intensificando la precisión del sistema como indica la Figura 9 [9].

Las estaciones que residen en tierra y captan los datos de los satélites, se denominan segmentos de control y son propios de cada país o asociación de países. El autor [9] afirma que “Sus funciones son garantizar las prestaciones del sistema mediante monitoreo del segmento espacial y aplicar correcciones de posición orbital y temporal a los satélites, enviando información de sincronización de relojes atómicos y correcciones de posicionamiento de órbitas a los distintos satélites”. Por último, el segmento de usuario son los equipos GNSS que reciben las señales del segmento espacial, están formados por una antena receptora y un receptor.



Figura 9. Funcionamiento del GNSS. Fuente: [9]

2.11.2. Global Positioning System (GPS)

El sistema GPS es desarrollado por el servicio militar en la Guerra Fría desencadenada en el siglo XX, nace a partir del sistema TRANSIT que le pertenece a EEUU y a la NASA que, aunque tenía una cobertura mundial no funcionada las 24 horas como el sistema GNSS. El sistema pasó a

estar completamente activo en el año 1994, con 24 satélites del campo espacial y varias estaciones de control en el mundo, ejemplificado en la Figura 10 [9].



Figura 10. Constelación NAVSTAR. Fuente: [10]

El sistema está establecido por tres bloques [10]:

- **Bloque espacial.** La constelación NAVSTAR forma parte de este bloque, brinda una disponibilidad de cobertura a nivel global y funciona continuamente. Tiene 24 satélites distribuidos uniformemente en seis planos orbitales con respecto a ecuador que, garantiza a los usuarios la disponibilidad de al menos cuatro satélites en cualquier punto del mundo. Están situados a una altura aproximada de 20200

kilómetros; en abril del 2022 la página oficial GPS afirma que cuenta con 30 satélites operacionales.

- **Bloque de control.** Son instalaciones terrestres que se encuentran situadas de forma estratégica por toda la Tierra para rastrear satélites, controlar las funciones, analizar datos, enviar comandos y datos a la constelación GPS, la localización se puede observar en la Figura 11. La Fuerza Aérea Norteamericana es la institución encargada de controlar la constelación del GPS.

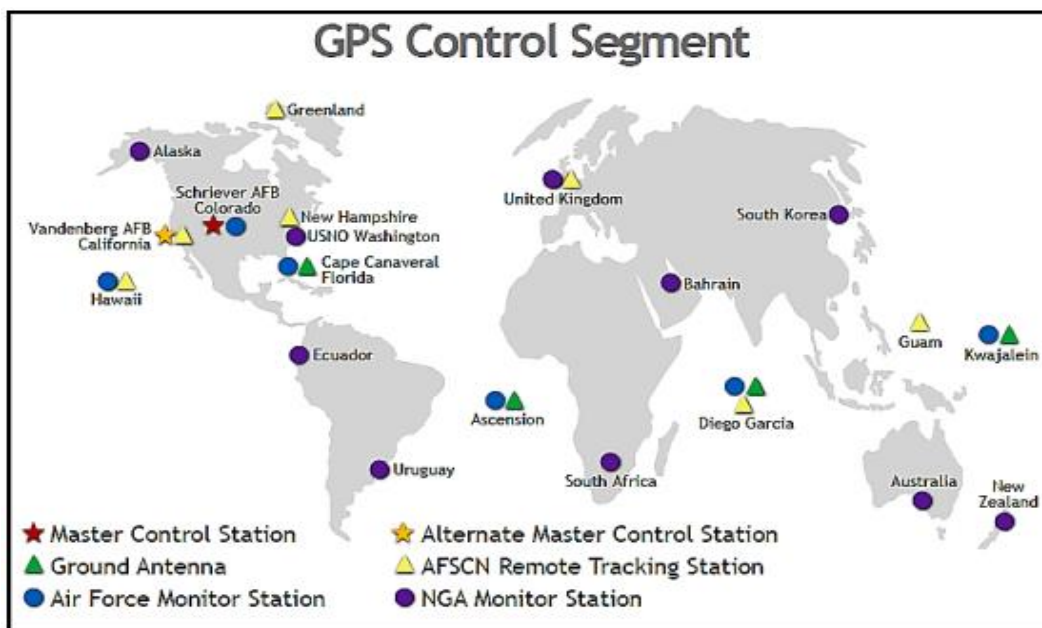


Figura 11. Estaciones de control del sistema GPS. **Fuente:** [10]

- **Bloque de Usuario.** Son receptores GPS que determinan la posición de un punto al recibir la señal de los satélites. En el mundo existen miles de receptores de acuerdo a los objetivos de una actividad, como celulares, sistemas de navegación, relojes inteligentes, cartografía, topografía, transporte, entre otros. Los equipos tienen una antena para conectarse con los satélites y un receptor que decodifica la información de los satélites, los mismos que se complementan con aplicaciones para facilitar el trabajo.

Los errores en la precisión del posicionamiento con estos tipos de equipos van desde un centímetro hasta varios metros y dependen de varios factores como: el equipo receptor, temporal de medición, técnicas usadas para la recolección de datos y los programas empleados para el procesamiento de los mismos. Es importante mencionar que las fallas en la precisión aumentan en las coordenadas verticales o cotas cinco veces más, que las coordenadas horizontales. La precisión de los relojes atómicos varía en los satélites de 10^{-12} a 10^{-14} segundos y en el dispositivo receptor es de 10^{-16} [11].

2.11.3. Global Orbiting Navigation Satellite System (GLONASS)

El sistema de navegación GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) plasmado en la Figura 12, fue desarrollado por la Unión Soviética en 1980 y es usado por la Federación Rusa y en todo el mundo. En 1993 el gobierno ruso puso a disposición de las Fuerzas Militares de su país el sistema que fue declarado oficialmente como operativo; en dos años de funcionamiento alcanzó una constelación de 24 satélites de primera generación, que por la falta de fondos económicos en el año 2002 sólo constaba con 7 satélites que eran insuficientes para una eficiente cobertura de precisión. GLONASS-K apareció en el año 2002 para renovar, modernizar y preservar los satélites, garantizando una precisión igual a los GPS [10].

El plan de renovación denominado “Mantenimiento, Desarrollo y uso de GLONASS para 2012-2020” emitido por la administración rusa del 2012, tiene como objetivo mejorar las prestaciones que ofrece el sistema de navegación por satélite, para lograr colocarse como líder competitivamente a nivel internacional. Las particularidades del sistema de navegación por satélite GLONASS son:

- Las órbitas circulares se encuentran a una altitud de 19100 kilómetros de la tierra, y en ellas se encuentran 24 satélites. Para cubrir la navegación se tienen tres planos orbitales separados a 120°, con 8 satélites que tardan 11 horas y 15 minutos en completar un período.
- La consistencia de los relojes GLONASS es $1 \cdot 10^{-13} / 5 \cdot 10^{-13}$, en GLONASS-M $1 \cdot 10^{-13} / 5 \cdot 10^{-14}$ y los satélites GLONASS-K o K2 están alcanzado un rango de $1 \cdot 10^{-14} / 5 \cdot 10^{-15}$.
- Las señales de acceso abierto GLONASS son L1OF; L1OF, L2OF, L3OC para GLONASS-M; las frecuencias mencionadas añadiremos L2OC para GLONASS-K y de la misma manera para GLONASS-K2 más L3OC [10].

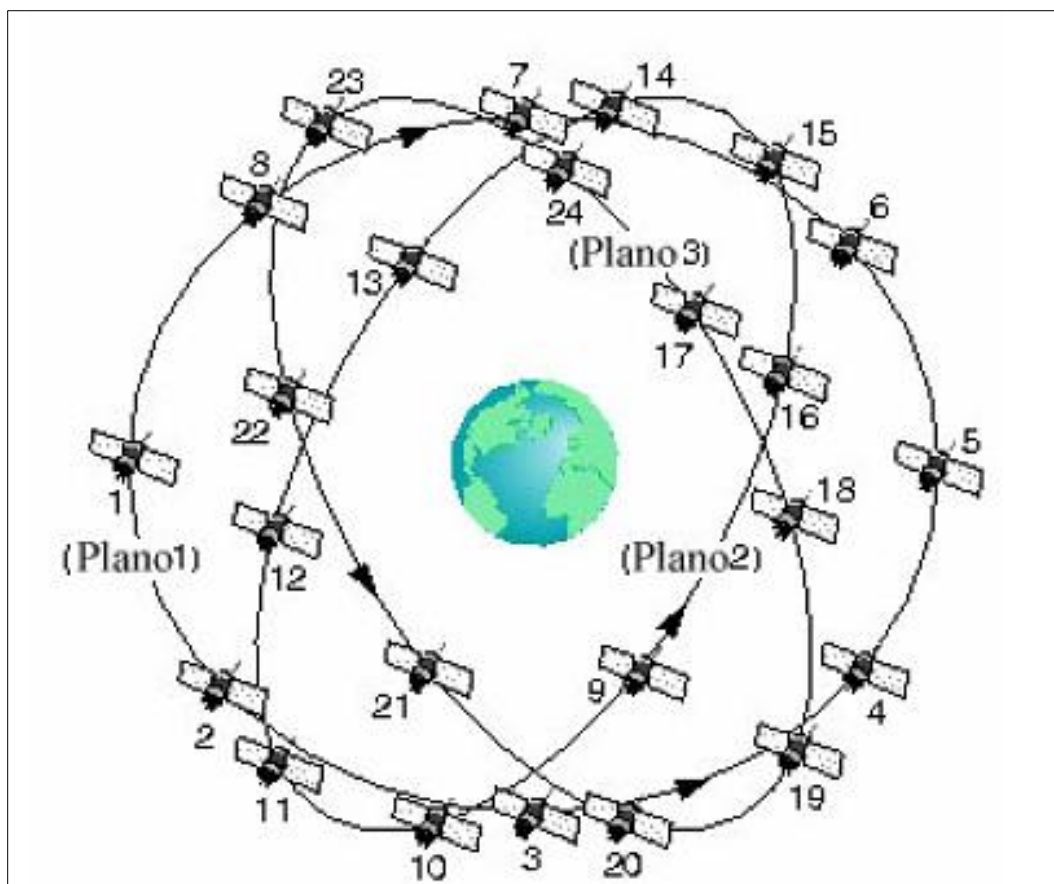


Figura 12. Constelación GLONASS Fuente: [9]

2.11.4. Galileo

Europa ha planteado este sistema para ser independiente de los sistemas GPS Y GLONASS, pero también pretende complementarlos y permitir la interoperabilidad entre ellos. La peculiaridad del sistema es la forma de trabajar conjuntamente con otros países que han buscado la forma de alejarse, en el año 2007 hubo un consenso de 27 países de la Unión Europea. Actualmente la explotación de esta constelación está dirigida por Galileo Industries S.A, ejemplificado en la Figura 13 [9].

Las particularidades del sistema de navegación por satélite Galileo son:

- El sistema está formado por 30 satélites ubicados a 23.222 kilómetros de distancia desde la tierra y distribuidos en tres planos. En completar una órbita a la Tierra se demora 14 horas, con simetría esférica.
- Galileo es interoperable con el sistema americano y ruso; al menos 4 satélites serán visibles en cualquier zona del planeta Tierra y en la mayoría de zonas de 6 a 8 satélites [9].

El sistema ofrece cuatro servicios importantes para todo el mundo que son: Servicio Abierto (SO) que es gratuito y ofrece valores de posicionamiento y temporización, el Servicio Público Abierto (PRS) es restringido por el gobierno, el mismo que será usado para circunstancias delicadas; los servicios de valor agregado pertenecen al Servicio Comercial (CS) y el Servicio de Búsqueda y Salvamento (SAR) dirigido a la localización [10].



Figura 13. Constelación Galileo. Fuente: [9]

2.11.5. BEIDOU

El Sistema de Demostración de Navegación por Satélite BEIDOU tuvo su inicio en 1994, el mismo que se puso en marcha en el año 2000 con la emisión del primer satélite geostacionario de órbita terrestre BEIDOU-1A el 30 de octubre, el 20 de diciembre del mismo año con la emisión del BEIDOU-1B y para mejorar el beneficio del método se lanzó un tercer satélite BEIDOU-1C a órbita el 25 de mayo del 2013. El proyecto tiene tres bandas de frecuencia B1, B2 y B3, que están en el área de la banda L, como algunas señales de la constelación GNSS [10].

Para el año 2020 tuvo como objetivo una constelación de 37 satélites en órbita para brindar una cobertura de los servicios a nivel global. En la órbita geostacionaria están 5 satélites

BEIDOU-G, 27 satélites BEIDOU-M en la órbita terrestre media y en las órbitas geosincrónicas inclinadas 3 satélites BEIUDOU-I indicados en la Figura 14 [10].

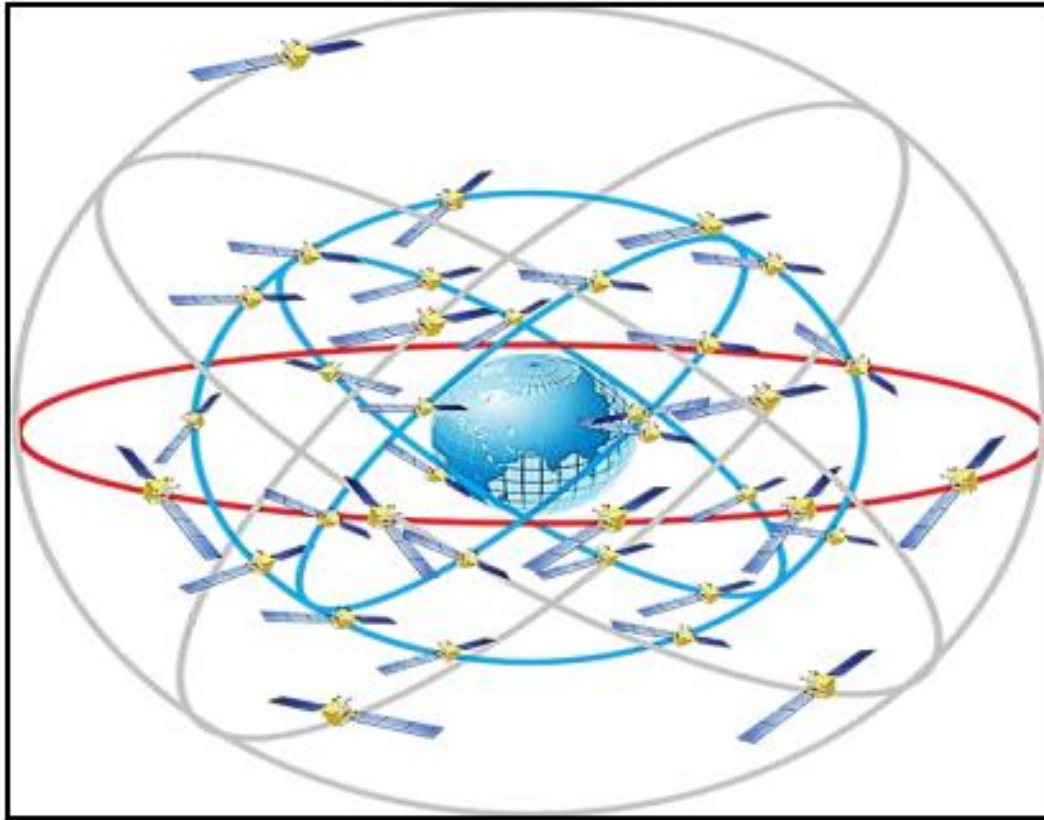


Figura 14. Constelación de satélites BEIDOU. Fuente: [10]

2.12. Método Directo Para Realizar un Levantamiento Topográfico

2.12.1. Estación Total

La estación total es un equipo que integra diversos instrumentos para el cálculo de ángulos como distancias y un procesador para almacenar los datos obtenidos. En la actualidad estos dispositivos poseen, un distanciómetro óptico electrónico y un medidor de ángulos electrónico que facilitan el cálculo automático de distancias horizontales, verticales y las coordenadas; los programas integrados modernos hacen que los procesos sean sencillos, óptimos y realizados en corto tiempo para la posterior digitalización del levantamiento mediante softwares [12].

El funcionamiento de la estación total se basa en un principio fundamental de la geometría designada como triangulación, que determina geográficamente las coordenadas de un punto a partir de otros dos conocidos o asumidos. Los puntos antes mencionados son llamados coordenadas de la estación, al punto en el que se nivela el equipo y en donde se conoce o se asume las coordenadas; la vista atrás, es el primer punto en el que se realizará la primera observación con la estación total. Por último, la observación que es el punto al que se le quiere determinar las coordenadas y puede estar localizado a conveniencia del topógrafo para futuras toma de datos [11].

La estación total tiene incorporada un microprocesador que ayuda con cálculos directos que Vidal [2] alude “se puede mencionar la corrección electrónica de distancias mediante constantes de prismas, presión atmosférica y temperatura, corrección de refracción y temperatura en nivelación trigonométrica, cálculo de elevaciones de puntos”.

2.12.2. Componentes de una Estación Total

Las características primordiales adicionales que la diferencian de un teodolito son una pantalla alfanumérica LCD, luz independiente de la tecnología solar, distanciómetro, calculadora y un dispositivo electrónico para guardar la información, adicionalmente en la Figura 15 se puede apreciar más componentes de la estación total [11].

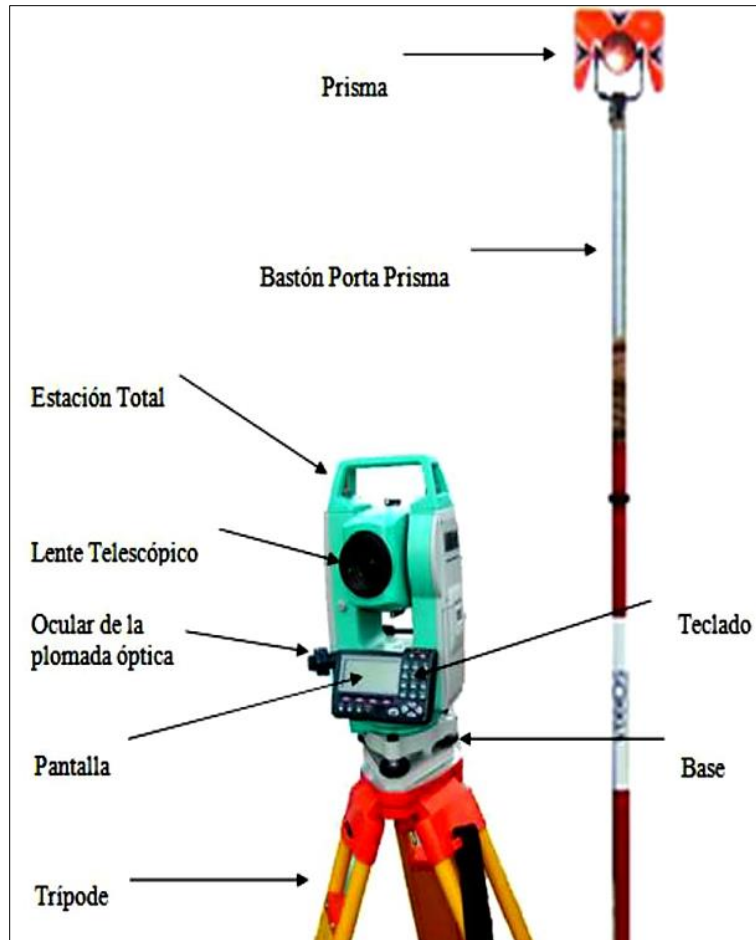


Figura 15. Componentes de una estación total. Fuente: [11]

2.12.3. Tipos de Estaciones Totales

Las primeras estaciones totales en aparecer son las manuales y no se pueden guardar datos, el topógrafo era el encargado de ir anotando manualmente sus puntos en un dibujo para luego trabajar con los datos obtenidos en campo. Luego se incorporaron las estaciones totales semiautomáticas que tenían la capacidad de guardar solo lecturas del círculo vertical pero no del horizontal, con el pasar de los años por la necesidad humana en acelerar procesos topográficos reemplazaron los equipos antes mencionados por las estaciones totales automáticas y robóticas [1].

Las estaciones totales automáticas son las más usadas en este momento para delimitar terrenos, en la construcción y todo lo relacionado con topografía en zonas no extensas. Estos equipos traen incorporadas tarjetas de almacenamiento que hacen que todos los datos tomados en campo sean exportados en una nube de puntos con sus respectivas componentes, cabe recalcar que la medición se realiza mediante rayos infrarrojos que tienen un alcance de 800 a 2000 m. La precisión de estos instrumentos topográficos varía desde $\pm 1\text{mm}$ a $\pm 5\text{mm}$ [1].

Un instrumento más sofisticado y completo hoy en día es la estación total robótica, que puede ser manipulada para obtener datos topográficos por un solo operario que se sitúa en el prisma, haciendo los levantamientos topográficos más sencillos, eficientes y rápidos. El equipo está formado por una baliza, un prisma y un sistema telemétrico para la comunicación entre el robot y el teclado; el instrumento central de medición interactúa con el prisma hasta distancias muy largas o pocos visibles. El autor [2] recomienda el uso de esta estación total:

Para levantamientos de obras donde se esté haciendo movimiento masivo de tierra, lo que incluye cortes y rellenos, más no para levantamientos convencionales catastrales; la razón principal es porque al momento de que el topógrafo se mueva hacia una estación a esperar de que el equipo lo encuentre, el aparato hace un barrido de 360° en sentido de las agujas del reloj para poder encontrarlo; si el topógrafo se mueve en sentido contrario, el equipo debe dar casi una vuelta completa lo cual aumenta el tiempo de trabajo.

2.13. Método Indirecto Para Realizar un Levantamiento Topográfico

2.13.1. Método Estático con GPS de Doble Frecuencia

El método es considerado de alta precisión, pero por lo general se usa para distancias mayores a 20 kilómetros. Primero se debe planear el lugar del levantamiento para luego seguir con

la etapa de monumentación de los puntos y empezar las mediciones en la zona; la última etapa que es el post proceso se corrige los errores en las coordenadas, indicado en la Figura 16[11].

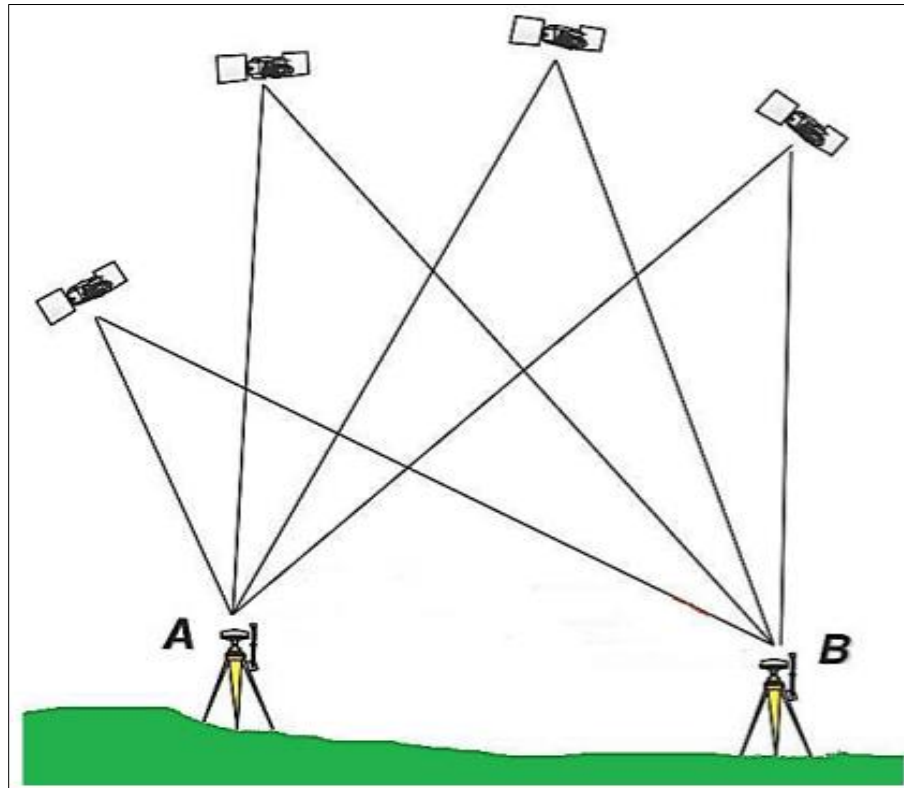


Figura 16. Equipos receptores GPS en técnica de medición estática. Fuente: [11]

2.13.2. Método Dinámico con Cinemático en Tiempo Real (RTK)

La técnica RTK tiene como objetivo principal la corrección instantánea de las señales transmitidas por los GNSS, logrando una precisión centimétrica hasta milimétrica. Esta técnica se fundamenta en la colocación de uno o varios receptores GNSS en puntos que las coordenadas son conocidas o asumidas para fijar los datos iniciales en la estación permanente y *rover*, generando un modelo de corrección de errores por cada satélite. Esta metodología permite obtener las coordenadas de los puntos directamente en el sistema UTM o cualquier otro sistema geodésico que se requiera según la localidad en que se realice el levantamiento [8].

Una vez solucionado los errores iniciales del receptor base, los receptores itinerantes se pueden mover y reciben de forma instantánea la corrección de errores en las mediciones de coordenadas, por ello no se necesitará un postproceso sino son datos definitivos. La comunicación entre receptores se da por la tecnología de telecomunicaciones de radio frecuencia, por ello la importancia de ubicar el receptor de referencia con el método estático en el punto más alto cercano a la zona en donde se va a efectuar la medición con la técnica RTK, evitando problemas en la comunicación entre receptores. La distancia entre los equipos receptores no debe exceder los 10 kilómetros, y esta distancia varía según la tecnología y potencia que tenga la radio [11].

2.13.3. Fotogrametría con RPA´s

La fotogrametría es la perspectiva de dar una simulación de la visión humana mediante objetos en tres dimensiones. En las fotografías proyectadas de forma ortogonal sobre un plano de referencia tomadas con cámaras digitales que tengan sensores CMOS (Semiconductor Complementario de Óxido Metálico), se puede determinar características geográficas y métricas del terreno de manera precisa y confiable. El principio de la fotogrametría asume que la proyección central es perfecta implicando que la desviación de los rayos solares que atraviesan los lentes es nula, la imagen debe ser adaptada en una superficie plana y por consiguiente la colinealidad [7].

El Remotely Piloted Aircraft System permite a través de imágenes fotográficas determinar las propiedades geométricas bidimensionales de los objetos y las situaciones espaciales. La técnica de medición de coordenadas 3D es fundamental en este campo de medición, se basa en el trabajo con dos fotos de la misma zona logrando tener información tridimensional al tener una visión estereoscópica [13].

El levantamiento fotogramétrico, otorga la facilidad de obtener la geometría del objeto bidimensional al trabajar con una sola foto. También ofrece una visión estereoscópica si se trabajar

con dos fotos en la zona de solape, fundamentalmente es una técnica de medición de coordenadas en tres dimensiones. Mediante el uso de softwares especiales para la fotogrametría, se logra una ortofotografía georreferenciada que permite mediciones y cálculos volumétricos, así como también la generación de modelos digitales DSM (Modelo Digital de Superficie) y DTM (Modelo Digital de Terreno), nubes de puntos, perfiles, líneas de curvas, etc. [11].

2.13.4. Clasificación de la Fotogrametría

La fotogrametría se divide según el lugar de captura y son [14]:

- **Fotogrametría Terrestre.** Las fotografías con capturadas desde la superficie terrestre, de manera que el eje de la cámara es horizontal y paralelo al terreno.
- **Fotogrametría Aérea.** Son fotografías obtenidas mediante un dron, donde el eje óptico de la cámara es perpendicular a la superficie terrestre; los ángulos varían entre 90° , 60° y 120° según el campo angular de la lente. Por la inclinación del lente óptico con relación a la vertical se clasifica en fotografía vertical y oblicua, la primera el eje óptico del dispositivo fotográfico coincide con la vertical del terreno; la fotografía oblicua se refiere a un ángulo existente entre la vertical del terreno y el eje óptico de la cámara, si la inclinación del eje vertical es hasta 30° se determina oblicua baja y si es el valor del ángulo es mayor son oblicuas altas como muestra la Figura 17.

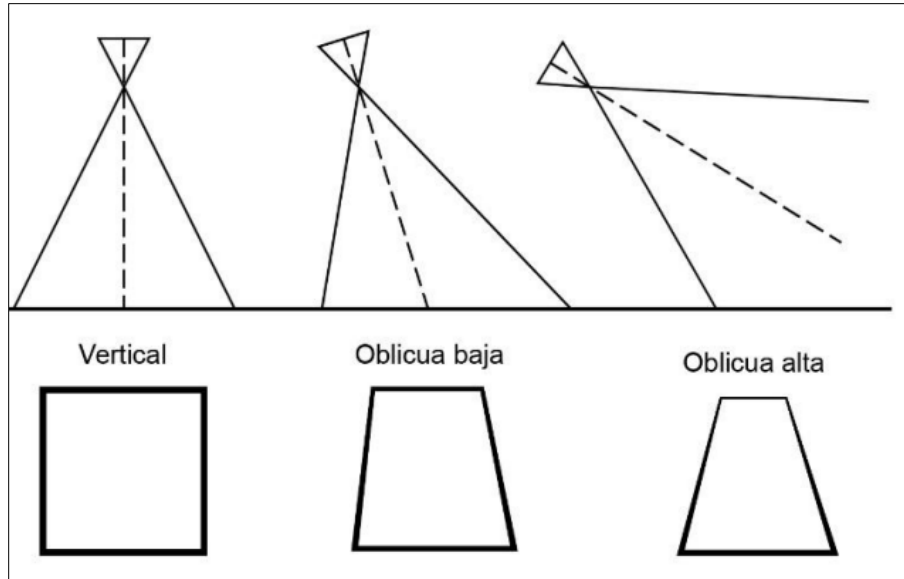


Figura 17. Clasificación de fotografías según el eje de la cámara. **Fuente:** [14]

2.13.5. Vehículos Aéreos no Tripulados (Dron)

2.13.5.1. Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo Aéreo no Tripulado)

También son conocidos como UAV, en los años 90 se conoció a las aeronaves robóticas como vehículo aéreo no tripulado, que cuenta con fuerzas aerodinámicas para sustentar la teoría de vuelo autónomo o controlado por un control remoto, que puede trasladar una carga de pago letal o no [6].

2.13.5.2. Remotely Piloted Aircraft System (Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia)

Llamados propiamente como RPA's del origen inglés, son equipos no tripulados pero pilotados por control remoto con varios motores, que por medio de la propulsión e impulsión se elevan y se mueven. Para que el movimiento se efectúe, la mitad de sus hélices giran en un sentido y las restantes en sentido contrario, pero al mismo tiempo para que pueda elevarse y estabilizarse [15].

Se puede afirmar que los RPA´s son aeronaves autónomas que garantiza seguridad evitando accidentes y asignan responsabilidad ante un suceso evento desfavorable.

Las aplicaciones en la ingeniería civil son muy extensas como en aplicaciones topográficas mediante la creación de mapas cartográficos a partir de las ortofotos, investigación y explotación de los recursos mineros, en la hidrología, control y evaluación de obras. Como todo proceso existen limitaciones como limitaciones de peso de los equipos a bordo, dificultad de tomas fotográficas en áreas de alta vegetación, dependencia de un control en tierra y tener un clima idóneo [11].

2.13.6. Elementos Principales del RPA´s

Un dron está compuesto por las siguientes partes principales [15]:

- **Número de Brazos.** En la Figura 18 se puede observar la cantidad de brazos que posee el dron determinando su nombre y son llamados tricóptero, cuadricóptero, hexacóptero u octacóptero.



Figura 18. Número de brazos de un dron. Fuente: [26]

- **Marco.** Es el esqueleto del equipo en donde se incorporan las partes faltantes y le da forma al dron, ejemplificado en la Figura 19; pueden ser de diferentes materiales y diseños.



Figura 19. Cuerpo de los RPA's. **Fuente:** [27]

- **Motores y Hélices.** Es la pieza esencial para que el dron pueda volar y mantenerse en el mismo, los giros a alta velocidad de los motores están conectados con las hélices para lograr el objetivo del RPA. Hay dos tipos de drones según la ubicación de los motores, toma el nombre de normal si los motores están en la parte superior y coaxiales si los motores residen en la parte superior e inferior, como indica la Figura 20.



Figura 20. Motor, hélices y controlador de velocidad. **Fuente:** [15]

- **Batería.** Es la energía que necesita el equipo para volar, esta pieza clave debe cumplir la característica de relación peso/capacidad para el funcionamiento óptimo

del RPA´s; las baterías más usadas con las de polímero de litio indicado en la Figura 21.



Figura 21. Baterías de polímero de litio. **Fuente:** [15]

- **Gimbal.** Es el accesorio más importante en las tomas aéreas porque sujeta la cámara y tiene que proporcionarle estabilidad en la hora del vuelo, proporcionando estabilidad para lograr fotografías nítidas, limpias y en alta calidad. Se recomienda que el gimbal sea de fibra de carbono y que tenga dos o tres ejes indicados en la Figura 22.



Figura 22. Gimbal de RPAs. **Fuente:** [15]

- **Controlador de Vuelo.** Es el cerebro del equipo ya que controla el RPA´s y enlaza todos los elementos electrónicos, ejemplificado su modelo en la Figura 23.



Figura 23. Tipos de controladores de vuelo de los RPAs. **Fuente:** [15]

- **Radio Receptor-Emisor.** El receptor recibe la onda radial emitida por el usuario mediante el control remoto; son los elementos básicos para ejecutar coordinadamente cambios, algunos modelos están ejemplificados en la Figura 24.



Figura 24. Un ejemplo de un control y un receptor de un RPAs. **Fuente:** [15]

- **GPS.** Este elemento se conecta al controlador de vuelo para determinar la altitud, ubicación y velocidades del RPA's como indica la Figura 25; según el software del controlador se puede definir la dirección, velocidad de vuelo, vuelo estático y un vuelo a puntos definidos.



Figura 25. Ejemplos de instrumentos para la conexión del GPS. **Fuente:** [27]

- **Vuelo en primera persona (FPV).** Es un sistema que transmite el video en tiempo real para que el usuario pueda observar lo que ve el dron, es importante esta función al momento de realizar vuelos de gran altura o distancia y poder realizar mejores capturas, un ejemplo se visualiza en la Figura 26.



Figura 26. Ejemplo de un sistema de emisión y recepción para el manejo de un RPAs mediante FPV. **Fuente:** [15]

2.13.7. Tipos de RPA's

El Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia se clasifican en:

- **RPA de Ala Fija.** Son equipos similares a los aviones, pero en dimensiones pequeñas que facilitan un buen desempeño aerodinámico que incrementa su

autonomía de vuelo a tiempos grandes por la mínima resistencia al aire. Estos drones están diseñados para volar superficies hasta de 1200 hectáreas, ostentando una buena estabilidad en el vuelo y alcanzando una velocidad de 110 km/h [16]. El RPA´s de ala fija sustenta el vuelo mediante la velocidad que toma el dron al moverse hacia adelante por medio de una hélice girada por un motor, provocando la elevación del equipo y brinda una resolución de imagen en cm/píxel [6]. Los alerones, un ascensor y un timón con medios de control que tiene un ala para que el usuario tenga un control del RPA´s, permitiéndole girar en tres ejes perpendiculares el uno del otro que parten del centro de gravedad de la aeronave como indica la Figura 27 [6].

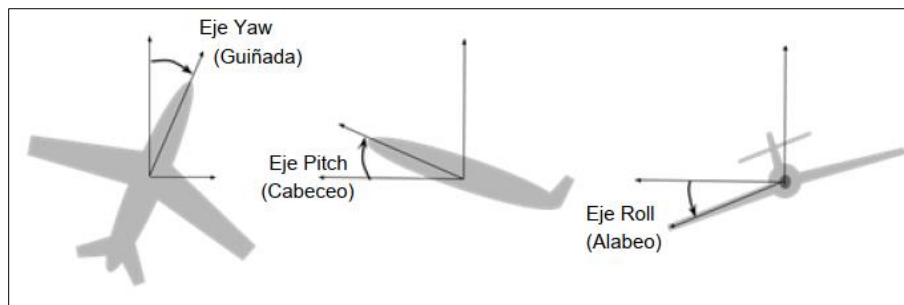


Figura 27. Representación del giro de la aeronave durante el vuelo. **Fuente:** [6]

- **RPA Multirrotores.** También es conocido como ala rotatoria; el nombre de estos varía según el número de hélices, desde dos hélices como helicóptero hasta ocho hélices como octocóptero. Son equipos muy livianos, económicos, fáciles de transportar y de pequeñas dimensiones, implicando ser drones muy comunes en el medio, pero la autonomía de vuelo se limita a tiempos menores que un dron de ala fija, al tener una resistencia al viento y baja velocidad de vuelo. El aterrizaje tanto

como el despegue son mucho más sencillos que un ala fija porque no necesitan mucho espacio y ofrecen una resolución de imagen en mm/píxel [16].

La elevación del equipo se genera por la rotación de las hélices provocadas por los motores, produciendo el aire necesario sobre su superficie de sustentación [11].

- **RPA Híbridos.** Son equipos que acarrean cámaras de alta resolución y receptores GNSS por ser una combinación de drones de ala fija con multirrotores. Tienen una gran autonomía de vuelo, es ideal para levantamientos topográficos a 4000 msnm porque vuela como avión con buena precisión en el aterrizaje y despegue. Uno de sus modelos ejemplificadores se encuentra en la Figura 28 [16].

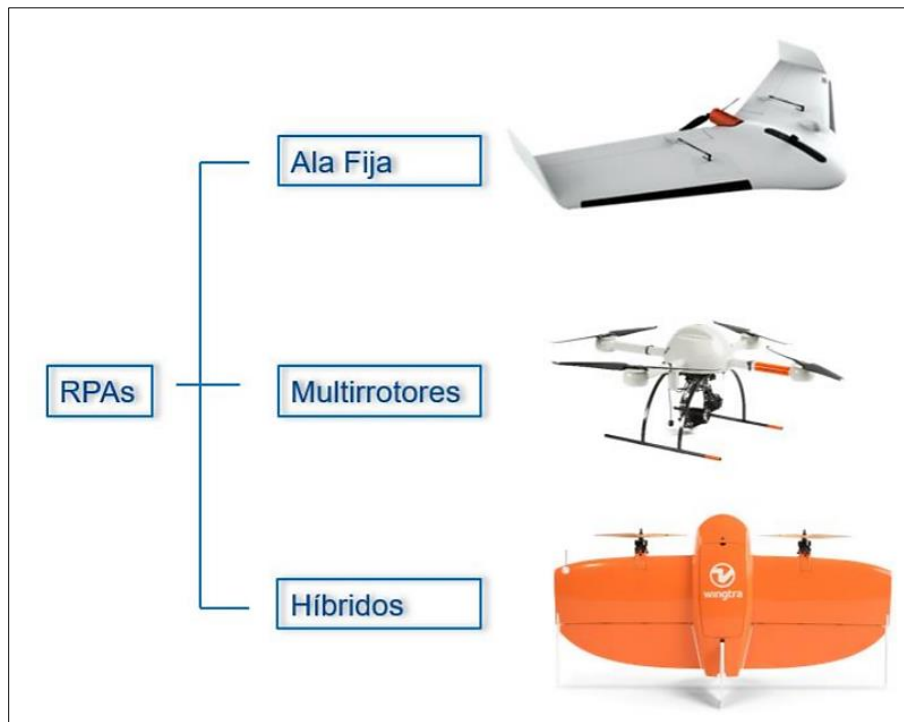


Figura 28. Tipos de RPA. Fuente: [16]

2.13.8. Ventajas y Desventajas del RPA's

La ventaja más importante es la facilidad de acceso en zonas de difícil acceso o de riesgo, costos más bajos y el tiempo de ejecución en proyectos topográficos ingenieriles son menores, mayor calidad y utilidad, captura mayor cantidad de puntos. Entre las desventajas presenta una

limitación de vuelo, amenaza a la privacidad, posibilidad de error en la comunicación del dron con el operario [11].

2.13.9. Métodos de Navegación

2.13.9.1. Navegación a Simple Vista con Cartografía Disponible

El autor [11] expresa “Se representan los ejes de vuelo o pasadas y los puntos principales de los fotogramas, sobre los mapas-índices, con el menor error posible. Mediante UAV se podrá realizar a través de apoyo terrestre mediante una navegación guiada por puntos de referencia conocidos (puntos cardinales, alineamientos, etc.)”.

2.13.9.2. Navegación a Simple Vista sin Cartografía Previa

No existe cartografía en el lugar o es muy antigua e inexacta, necesitando una cobertura total fotogramétrica y para ello existen varios métodos de navegación [11]:

- **Sobre Vuelo a Mayor Nivel.** Las fotografías son tomadas desde una gran altitud y a menor escala en zonas estimadas pequeñas para garantizar excelentes resultados. Sobre las fotografías resultantes se marcan las pasadas fotográficas a la escala elegida para el vuelo final, fundamentándose el vuelo en información obtenida.
- **Navegación de Línea Lateral.** La zona de vuelo se debe planificar más grande lo necesario y se debe realizar una o varias pasadas principales para cumplir con la línea lateral y procesar las imágenes; no olvidar que primero se debe realizar los vuelos de prueba. Primero se traza el eje de vuelo para luego seguir con los ejes paralelos con el recubrimiento especificado lateral, y por último de efectúa el último vuelo para obtener los fotogramas de las

nuevas pasadas que tienen como referencia la línea del recubrimiento lateral.

2.13.10. Sistemas de Navegación Avanzados

En este método se conoce todo el tiempo de vuelo las coordenadas del dron en el terreno, enviando al equipo a los puntos establecidos en la planificación del vuelo; se destacan los siguientes sistemas:

- **VLFOmega.** Se establece las coordenadas del dron en el punto de partida, y a partir de este el sistema calcula los movimientos en X y Y; presenta al operador la posición, velocidad, errores y la deriva del vuelo.
- **Doppler.** Se basa en el fundamento de VLFOmega; el operador mide la distancia y rumbo desde un punto de coordenadas conocidas.
- **INS.** También fundamentado en los dos sistemas anteriores, mide los cambios relativos de dirección del avión para estimar los puntos X y Y desde coordenadas conocidas.
- **GNSS.** Este sistema permite conocer las coordenadas de cualquier punto en la Tierra y es el más usado la fotogrametría por permitir obtener coordenadas X, Y y Z.
- **GSD (Ground Sample Distance) y Altura de Vuelo.** La altura de vuelo depende del tipo de dron a usar, por ello la importancia de una relación entre el GSD y la altura de vuelo, los vuelos de mapeado en 3D tienen resoluciones de 1.00 a 10.00 cm/píxel y alturas que van desde los 80 hasta los 200 metros [11].

Para realizar una fotogrametría precisa es recomendable realizar la toma de fotografías desde la misma altura de vuelo para que el GSD no cambie al usar la misma cámara digital, facilitando la coincidencia de puntos primordiales y nivel de detalles. Como todo va evolucionando, existen softwares como el Pix4Dmapper que procesa imágenes con diferentes GSD, pero con la restricción que el GSD alto sea menor que dos veces el GSD menor [11].

2.13.11. Recubrimiento y Traslapes

El vuelo fotogramétrico toma varias fotos con un tiempo entre ellas, por lo tanto, el recubrimiento cubre la distancia entre los puntos principales de dos fotografías principales para poder aplicar el principio de la visión estereoscópica enlazando longitudinalmente y transversalmente dos fotografías consecutivas como indica la Figura 29. En la Tabla 1 se muestra los recubrimientos recomendados para un vuelo fotogramétrico tradicional y en condiciones ideales [11].

Tabla 1. *Recubrimiento recomendado para vuelos fotogramétricos*

Recubrimiento %		
Tipo de terreno	Longitudinal	Transversal
Llano	60	25
Ondulado	65-70	25-30
Montañoso	70-80	30-35

Fuente [11]

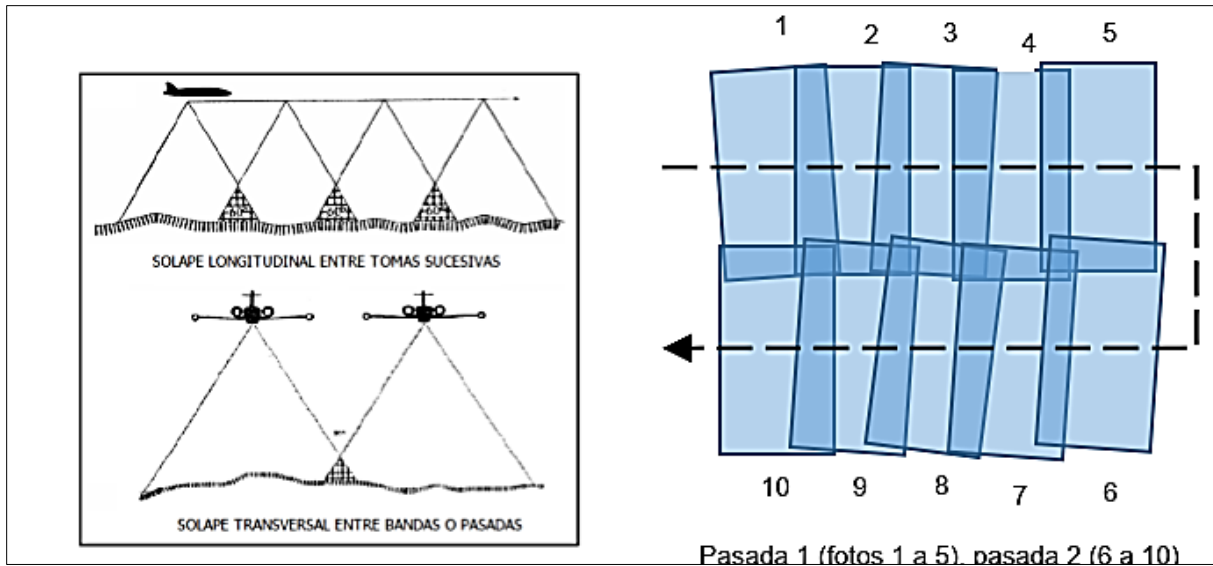


Figura 29. Solape longitudinal y transversal. **Fuente:** [11]

Cabe mencionar que varios autores recomiendan un recubrimiento del 75% para la mayoría de casos en la dirección del vuelo y 50% de solapamiento lateral. En bosques, áreas llenas de nieve, selvas, etc. se sugiere del 60% al 85% [6].

Para obtener puntos 3D más precisos se debe tener una gran superposición entre dos imágenes, coincidiendo puntos significativos entre sí; por ello entre las imágenes debe existir un alto traslape según el tipo de terreno o zona a recobrar. Para proyectos que no requieran un alto nivel de reconstrucción, la superposición es de al menos el 75% de solapamiento en dirección al vuelo y 60% lateral; en la Figura 30 nos da un ejemplo que explica que las fotografías deben ser tomadas en cuadrículas rectangulares, con un GSD constante sobre toda la zona de vuelo [6].

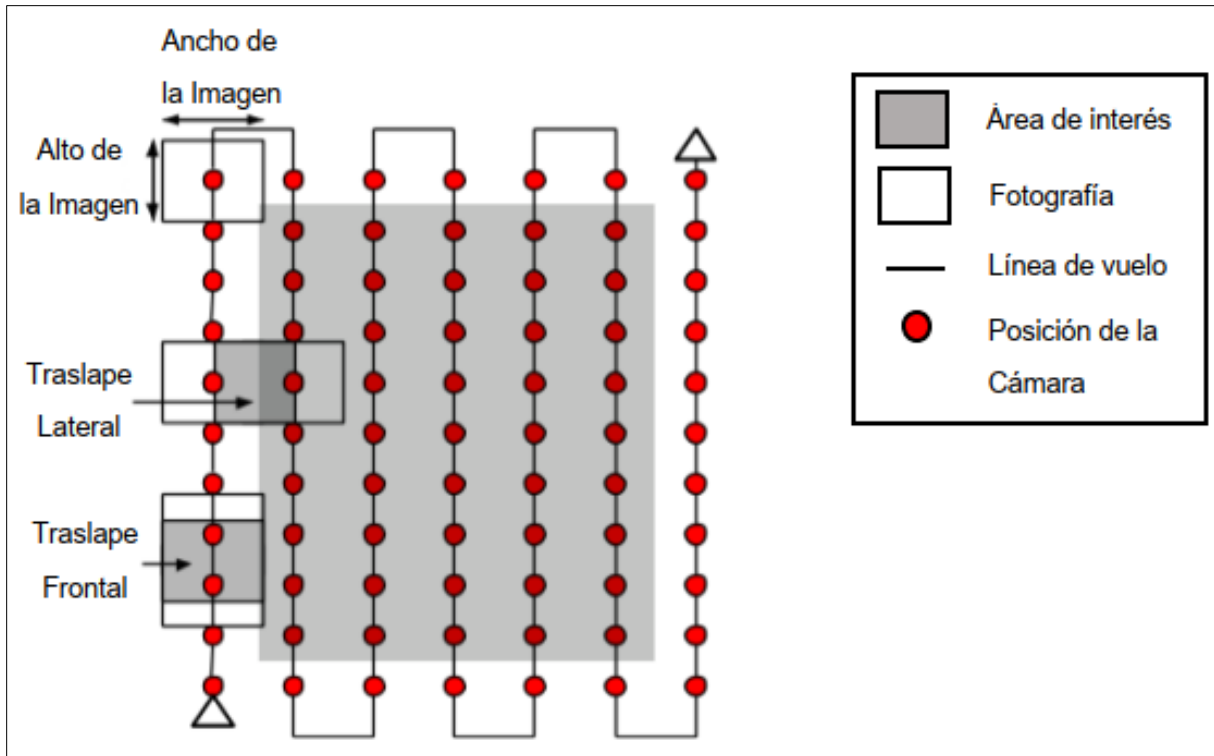


Figura 30. Patrón de vuelo fotogramétrico tradicional. Fuente: [6]

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Levantamiento Topográfico con Estación Total

3.1.1. Técnicas e Instrumentos Necesarios para la Recolección de Datos

El inicio de un estudio técnico se fundamenta con la observación realizada en la visita a la zona de estudio para establecer cualitativamente tanto el tipo de vegetación, como la geografía característica y aplicar con el análisis un plan de trabajo topográfico que se adapte a las condiciones presentes en la mina “Colina Verde”. En la ejecución del levantamiento con estación total se usaron los métodos de la radiación con la lectura de prismas para la toma de datos y por consiguiente la georreferenciación usando Navegador.

En el reconocimiento del terreno también se identificaron los puntos estratégicos para la colocación del dispositivo Trimble M3, los mismos que tenían que cumplir con una óptima visibilidad para realizar el mayor número de observaciones posibles y que garanticen una seguridad tanto al personal como al equipo.

3.1.2. Método de Levantamiento Topográfico en Campo

La estación total Trimble M3 es un equipo confortable que brinda al usuario los parámetros necesarios para realizar un trabajo óptimo en condiciones rigurosas; es ligero, compacto y eficiente. El dispositivo incluye el Trimble Access que es un software moderno diseñado para respaldar los datos de los trabajos en campo, la interfaz es muy fácil de usar con herramientas eficaces para la captura de datos y obtención de resultados [17].

Las características técnicas de la estación total Trimble M3 son [17]:

- Pequeña y liviana.
- El alcance con los prismas con diana reflectante de 5x5 es desde 1.5 cm a 270 m y con un prisma de 6,25 cm el alcance es desde 1.5 m a 5 000 m.
- La precisión del equipo con prisma es $\pm (2+2 \text{ ppm} * D)$ mm y sin prisma $\pm (3+2 \text{ ppm} * D)$ mm.
- Los intervalos en las mediciones con modo prisma es desde 0,8 s a 1,6 s y modo sin prisma es de 1 s a 2.1 s.
- La precisión DIN 18723 en la medición de ángulos es de $1''$, $2''/0.5 \text{ mgon}$.
- El aumento del telescopio es de 30x (18x/16).
- El puntero láser tiene una luz roja coaxial.
- La distancia de enfoque del telescopio es de 1.5 m.
- Dos baterías de Li-ión internas de larga duración, hasta 26 horas de funcionamiento continuo.
- Conexión inalámbrica Bluetooth estándar.
- Pantalla táctil QVGA, color 16 bits, LCD TFT, con retroiluminación.
- Pantalla de la cara 2 con LCD gráfica con retroiluminación.
- Plomada óptica y láser.
- El rango de temperatura de funcionamiento es desde los -20°C a $+60^{\circ}\text{C}$.
- Protección contra el polvo y permeabilidad.

Tabla 2. Elementos esenciales que constituyen la Estación Total Trimble M3 para el levantamiento topográfico.

Nombre del Elemento	Imagen	Descripción
Trípode		<p>Es un objeto que tiene tres patas móviles para ajustarse al tamaño requerido y en la parte superior cuenta con un asiento de forma triangular para asentar la base nivelante dar una estabilidad al equipo receptor base.</p>
Jalón		<p>En el jalón es un tubo que contiene altitudes hasta los 2.65 m que se pueden graduar y un ojo nivelante que se debe centrar para la toma acertada de los puntos.</p>
Prismas		<p>Cuando el prisma es observado por la estación total capta el láser de la misma y rebota el punto hacia el aparato. Prisma GRAIN de 30 mm.</p>

Estación Total



El equipo tiene incorporado el Trimble Access, es ligero, compacto y eficiente. trabaja a temperaturas extremadamente bajas y altas. Viene incorporado la base nivelante con el ojo circular y tubular.

Flexómetro



Esta herramienta es necesaria para medir la altura de la Estación Total.

Luego de conocer las partes y características del equipo, el levantamiento topográfico con inicia con el estacionamiento del trípode sobre en punto BM ya establecido anteriormente con la visita in situ. Debido a la pendiente en la que se encuentra la zona y optando por puntos en donde se vea el mayor número posible de datos a tomar, se realizaron 4 cambios de estación.

El trípode debe establecerse a una altura cómoda para el topógrafo, el mismo que debe ser centrado observando desde orificio de su cabeza hacia el punto señalado y luego ejercer presión sobre las patas del instrumento para dejarlo estable en el terreno.

Como indica la Figura 31 la estación total debe ser colocada sobre el trípode para ajustarlo con el tornillo de fijación, el equipo se centra con la plomada láser sobre el punto BM. Una vez logrado lo dicho anteriormente, se procede a la nivelación mediante el ojo circular con el movimiento de las patas del trípode y el nivel tubular con los tornillos niveladores que se encuentran en la base del dispositivo.



Figura 31. Planteo y nivelación de la Estación Total. **Fuente:** Autor.

La forma de medición se realiza en los siguientes pasos:

1. En la pantalla principal del equipo, se crea una nueva plantilla de trabajo con el nombre “colinaverde” y guardar para empezar a medir.



Figura 32. Pantalla con el proyecto abierto para empezar a medir. **Fuente:** Autor.

2. De manera consecutiva se selecciona el recuadro “Medir” para empezar con la configuración. Se coloca el nombre del punto en donde está plantado el equipo, la altura del mismo como se evidencia en la Figura 33 y aceptar.



Figura 33. Medición de la altura del equipo en campo. **Fuente:** Autor.

3. Por consecuente al aceptar el paso 2, se debe ingresar las coordenadas X, Y y Z del punto de coordenadas conocidas y aceptar.
4. De manera inmediata el software proyecta la medición del “Acimut por Defecto”, para consumir este paso se debe tener una brújula y señalar el Norte en el equipo como indica la Figura 34. Al cumplir con lo especificado se procede a la toma de datos.
5. Se ingresa a la pantalla mostrada en la Figura 32 para “Medir” y “Medir Topo”. Los campos que pide la pestaña deben ser llenados para una ordenada topografía, siempre se debe verificar en la toma de cada punto la altura del prisma para evitar errores.
6. Para realizar el cambio de estación, en el levantamiento se debe medir el punto en el cual se ubicará la estación nueva y almacenar.
7. En el último punto medido, se debe repetir el proceso anterior de planteo y nivelación de la estación total para empezar con el proceso. Se ingresa en “Medir”, “Configuración de la Estación”, colocar el nombre del sitio de referencia, buscar el último punto medido, colocar la altura del instrumento y aceptar. Para empezar a medir los nuevos puntos se debe medir el punto de referencia que es el punto de la estación anterior.



Figura 34. Toma del Norte con la Estación Total desde un dispositivo móvil. **Fuente:** Autor.

3.1.3. Método de Investigación en Gabinete.

El programa Civil 3D permite gestionar y disponer de un proyecto en todo su ciclo de vida, desde la planeación, el diseño, construcción, mantenimiento y cierre del mismo. Encaminándose al mundo de la ingeniería, este software optimiza tiempo valioso en el diseño de proyectos aplicando normativas vigentes en cada país y también realiza cotejos de viabilidad e impacto; los modelos pueden ser actualizados en tiempo real, generando informes de acuerdo a los estándares exigidos en el plan ingenieril [18].

1. Como primer paso en el programa Civil 3D 2020 se debe configurar la hoja de trabajo en “Espacio de herramientas” con las alternativas de acuerdo a los objetivos del proyecto y sistema de coordenadas en las que se desea trabajar, en el caso del proyecto se usó el sistema UTM, WGS84 Datum – 17Sur, evidenciado en la Figura 35 .

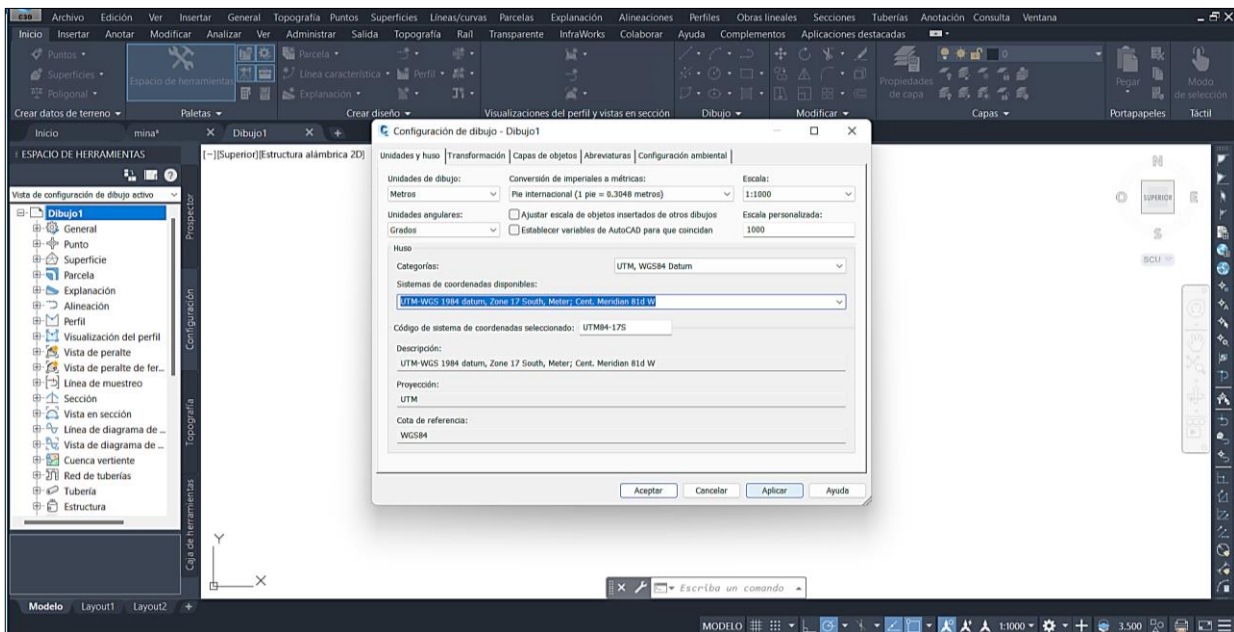


Figura 35. Configuración de la hoja de trabajo con los objetivos del proyecto. **Fuente:** Autor.

2. Una vez configurada la hoja de trabajo se importan los puntos al software. En “Insertar” se elige la nube de datos obtenida en campo especificando el formato del archivo y aceptar. Para que los puntos se visualicen en la pantalla de trabajo, se debe escribir “ZE” en la barra de comando.
3. En el caso de estudio, se va a trazar las vías de acceso a la mina mediante polilíneas en los puntos tomados con la estación total.
4. En la parte “Prospector” de la pantalla se debe seleccionar “Superficie” para crear una nueva plantilla; se llena los datos de la superficie y aceptar. Nuevamente al escoger “Superficie” el software emerge a la zona creada con el nombre “Mina”. Como siguiente paso se despliega la opción “Definición”, para crear mediante “Grupo de puntos” y finalmente “Añadir”. La superficie creada está fundamentada con la Figura 36.

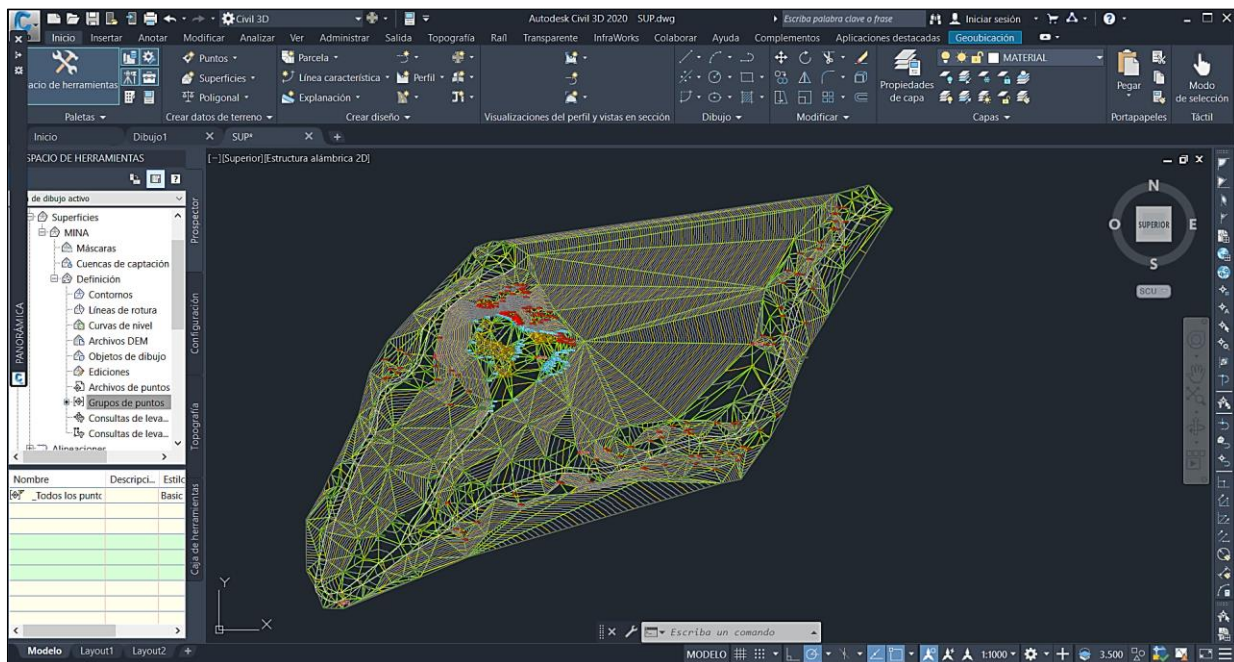


Figura 36. Pantalla del Civil 3D para sustentar la creación de la superficie. **Fuente:** Autor.

5. La triangulación de los puntos se realiza de acuerdo a la topografía del terreno visualizado en la visita in situ y al comparar con la imagen conceptual en 3D del polígono. Para cambiar la triangulación, se va acomodando líneas de acuerdo a la experiencia del dibujante para dar un resultado esperado mostrado en la Figura 37.

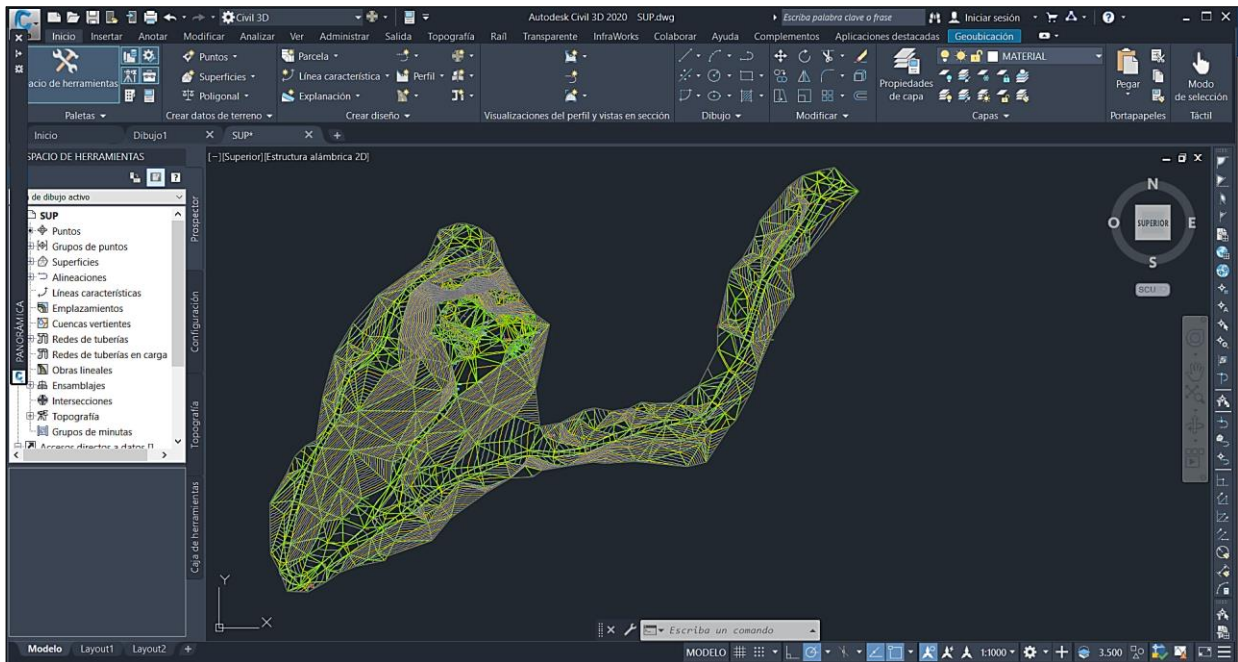


Figura 37. Polígono resultante con las curvas de nivel correspondientes. **Fuente:** Autor.

6. Una vez obtenido el polígono, se crea los planos topográficos requeridos para emitir resultados y conclusiones. El plano planimétrico es la primera lámina en donde se evidenciará la vegetación, volúmenes, nube de puntos, polígono de estudio, vías de acceso, etc. que está evidenciado en el Anexo 2.
7. Para plasmar la altimetría del levantamiento topográfico de manera correcta se debe añadir a la superficie las curvas de nivel con las cotas necesarias mediante etiquetas para que el lector pueda interpretar de manera sencilla el plano. “Añadir etiquetas de superficie” en el software según la visión del dibujante justificado en el Anexo 3.

8. En la automatización de los siete volúmenes, se necesita clasificar los puntos en grupos para luego determinar los puntos base e internos de cada cuerpo, cabe recalcar que en el grupo de puntos internos se deben incluir también los puntos base para posteriormente crear superficies con cada conjunto de datos. Para que no haya errores en el momento de crear la superficie volumétrica se debe trazar polilíneas en cada grupo de puntos base para luego modificar las superficies creadas con la opción de insertar “Contornos” que brinda la interfaz “Prospector”. En la ventana “Analizar” del programa, se crea las superficies de volúmenes en la ventana “centro de control de volúmenes” mediante la comparación de la superficie base con la superficie creada con todos los puntos del bloque de material, evidenciado el resultado en la Figura 38.

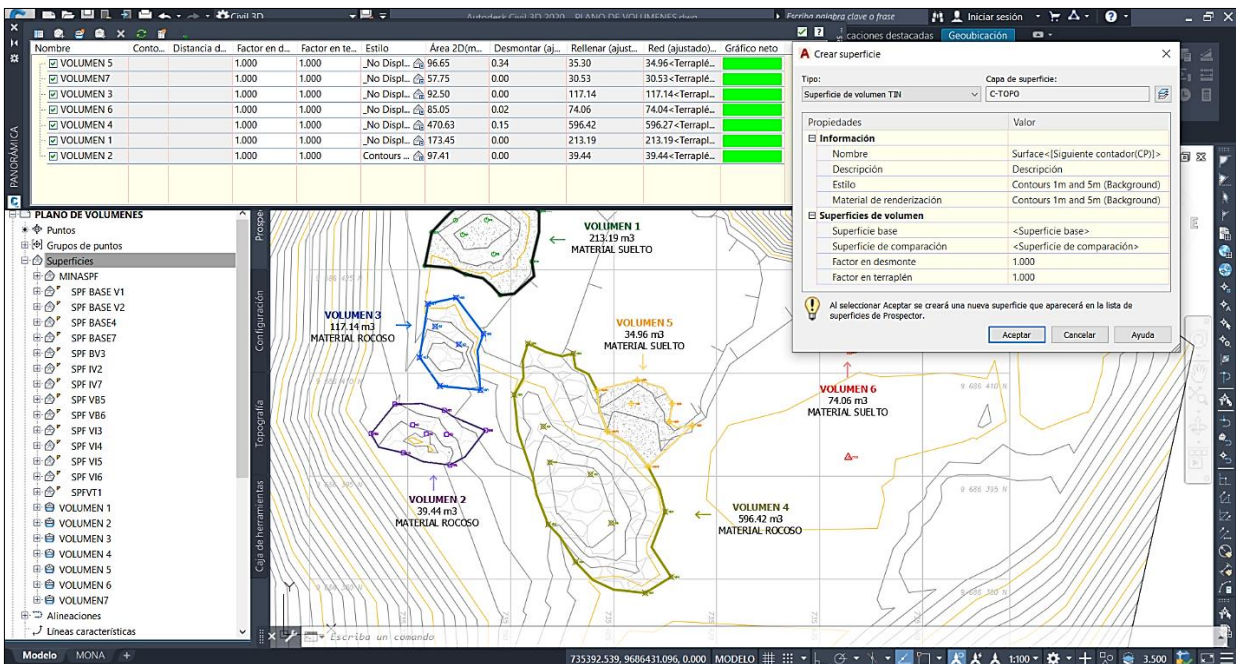


Figura 38. Clasificación de puntos de acuerdo a los diferentes volúmenes, creación de las superficies y cálculo del volumen. **Fuente:** Autoría.

9. Como último análisis se generó dos perfiles estratégicos expuestos en el Anexo 5 y 6, donde se evidenciará el relieve de la zona minera y de un tramo de las vías de acceso. Mediante dos puntos definidos se trazó una polilínea que será convertida en una

alineación básica para generar el perfil de la superficie en la ventana que se despliega al marcar la alineación como muestra la Figura 39. La visualización del perfil dependerá siempre de los objetivos del proyecto y del gusto del dibujante.

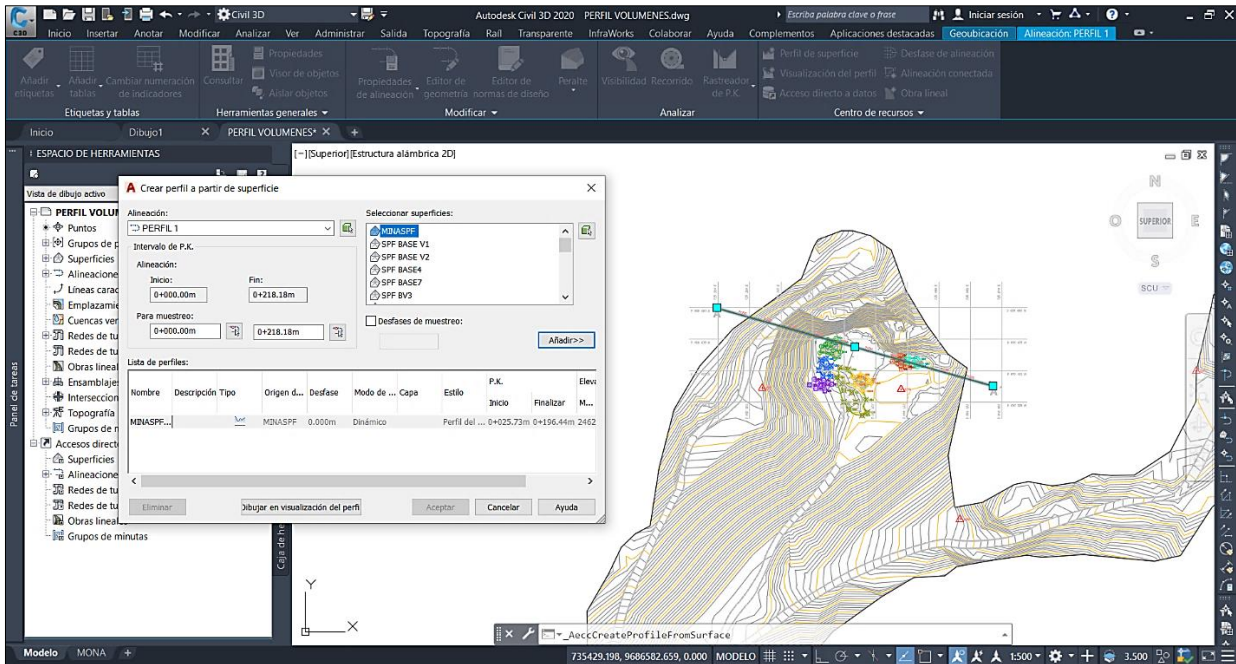


Figura 39. Ventana para crear el perfil de superficie de la alineación designada. **Fuente:** Autoría.

3.2. Fotogrametría con RPA

3.2.1. Técnicas e Instrumentos Necesarios para la Recolección de Datos

Al realizar la propuesta de un levantamiento fotogramétrico se debe emplear primordialmente la técnica cualitativa de visión en situ de la mina “Colina Verde”, para determinar la morfología del terreno y zonas vulnerables para el dron como son los árboles, cableado eléctrico, postes, entre otros, con el objetivo de evitar inconvenientes al momento de ejecutar el vuelo. Gracias a la inspección realizada en campo, también se puede delimitar el polígono del área de estudio para una acertada planificación de vuelo, colocando los puntos de apoyo terrestres, los mismos que sus coordenadas serán determinadas por medio de un sistema de navegación cinética

en tiempo real (RTK) con el fin de corregir errores y obtener mejores resultados en la modelización de la superficie.

Una vez planificado el vuelo, se necesitan los GCP (Ground Control Points) para poder georreferenciar el modelo digital consiguiendo una precisión centimétrica en altimetría y planimetría. Para obtener una solución fija de los puntos de control se usó el GPS de doble frecuencia RTK FOIF A90.

3.2.2. Medición con GPS de Doble Frecuencia FOIF A90 método RTK


Para la topografía se hace un recorrido por los suelos de la mina determinando las características físicas, geográficas y accidentes topográficos para poder posicionar los puntos de control mediante criterios técnicos y generar la poligonal que cubra la zona a ser levantada. La toma de coordenadas georreferenciadas se usó el método cinemático RTK, con dos receptores de la marca FOIF modelo A90.

El sistema de posicionamiento GPS FOIF A90 tiene un tamaño pequeño y liviano que ayuda al trabajo realizado en campo, además cuenta con bluetooth, radio inalámbrico, red móvil y WIFI que hace que las comunicaciones de datos para la medición sean a gran escala. Las características técnicas más importantes son [19]:

- Cuenta con 555 números de canales de recepción.
- Procesa datos mediante satélites BEIDOU, GPS, GLONASS, SBAS y Galileo.
- La precisión del RTK es de $\pm 8\text{mm Hz}$.
- La precisión del Post Procesamiento es de $2.5\text{mm} + 1.0\text{ppm}$ horizontal y vertical es de $5\text{mm} + 1.0\text{ppm}$.
- La precisión en posicionamientos largos es de $\pm 2.5\text{mm} + 1.0\text{ppm}$.

- La duración de las baterías es de 13 horas de duración y trabajan 2 de modo simultaneo.
- El almacenamiento es de 400 horas a 15 segundos.
- El equipo opera en temperaturas desde -30°C hasta 65°C.
- Los datos son recopilados automáticamente al centrar el equipo móvil.
- El rango de comunicación entre receptores es de 8 a 10 km.

Tabla 3. *Elementos esenciales que constituyen el RTK FOIF A90 para la toma de coordenadas*

Nombre del Elemento	Imagen	Descripción
Trípode		<p>Es un objeto que tiene tres patas móviles para ajustarse al tamaño requerido y en la parte superior cuenta con un asiento de forma triangular para colocar la base nivelante dar una estabilidad al equipo receptor base.</p>

Base Nivelante



La base nivelante se coloca sobre el trípode, su función principal es equilibrar y estabilizar el receptor base para no tener errores en la toma de los puntos.

Jalón



En el jalón de fibra de carbono se incorpora el receptor GPS móvil, cuenta con un tubo de altitudes que se puede graduar y un ojo nivelante que se debe centrar para la toma acertada de los puntos.

Antenas UHF



La función esencial de las antenas es captar la señal transmitida por los satélites y amplificarla para que el receptor la transforme a datos.

Extensión



La extensión tiene 30cm de longitud y su función principal es conectar el adaptador del receptor base con la base nivelante.

Receptores GPS FOIF A90 (base y móvil)



Estos receptores son resistentes al agua IP67 y a caídas de dos metros de altura, en ellos se coloca las antenas, tarjeta de memoria, dos baterías, una tarjeta receptora GPS y una pantalla de luces que nos ayudan a monitorear el funcionamiento del equipo.

Baterías BP-5S



Las baterías trabajan 2 de manera simultánea en cada receptor y tienen una duración de 13 horas. Son baterías extraíbles de 7.2V, 6800mAh.

Controlador



Es el elemento electrónico que sirve para programar el proyecto a realizar mediante el RTK, con la aplicación SurPad; cabe mencionar que tiene un sistema Android y una pantalla táctil.

Flexómetro



Esta herramienta es necesaria para tomar la medida del equipo base.

Al conocer las características principales del RTK, se arma correctamente el equipo para la recolección de los puntos. El equipo base se colocó en la parte más alta del terreno para que no haya interferencia en la emisión de las ondas a larga distancia en un rango de 8 a 10 kilómetros con el equipo móvil. A continuación, se detallará la descripción del trabajo realizado en campo de la toma de coordenadas de los puntos de control terrestres:

1. El equipo receptor base se plantó más alta de la zona de estudio, en un punto de coordenadas conocidas, el mismo que permanecerá fijo, centrado y nivelado como se indica en la Figura 40.



Figura 40. Receptor base nivelado y centrado en la mina "Colina Verde". **Fuente:** Autoría.

2. El equipo móvil mostrado en la Figura 41, es instalado en un bastón con burbuja nivelante para tener errores mínimos al momento de pretender una solución fija del punto GCP, los mismos que fueron colocados según el criterio técnico al realizar un estudio de la morfología del terreno.



Figura 41. Equipo Róver nivelado sobre el punto de control para lograr una solución fija. **Fuente:** Autoría.

3. Para iniciar con la programación de los dispositivos, se debe pulsar el botón de encendido de la base un par de segundos. En varios segundos debe iluminarse de color verde el satélite que se encuentra en la pantalla del equipo base para determinar la posición inicial y empezar con la configuración; puede tardar entre 2 a 5 minutos en conectarse todos los satélites.
4. Se ingresa en la aplicación FOIF SurPad que se encuentra en el controlador del equipo para generar un nuevo proyecto con el nombre “puntosmina”, no hay que olvidar de verificar que el sistema de coordenadas sea el deseado. En el caso del proyecto se usó WGS84 - UTM Zone 17S.
5. Al regresar a la pantalla principal una vez que aceptamos el sistema de coordenadas, como primer paso hay que conectar el Bluetooth del equipo base. Para ello se orienta a

“Comunicación”, “Dispositivo”, seleccionar la numeración correspondiente al dispositivo y conectar.

6. Al ejecutar con éxito el paso 5, en la pantalla principal la opción “Base” debe mostrarse con letras de color azul y de igual manera prenderse en la pantalla del receptor el ícono del Bluetooth. En el controlador se ingresa a “Base” e “inferir coordenadas base” para crear un nuevo punto.
7. Al retornar a la pantalla anterior, en “Parámetros Antena” y en “Altura Medida(m)” se introduce la medida del equipo base que se toma mediante un flexómetro como evidencia está la Figura 42 y finalmente “Ok”.



Figura 42. Verificación de la altura del sistema RTK con un flexómetro. **Fuente:** Autoría.

8. La aplicación se redirige a “Base Coordinates Settings”, que en la parte inferior izquierda de la pantalla hay que “Salvar” y verificar que los datos del nuevo punto estén correctos. La opción “Grabar datos brutos” debe estar encendida y una vez verificado que las cifras

estén correctas “Parar” y cotejar que el equipo base esté recibiendo y grabando la información con la titulación de las dos luces del lado izquierdo.

9. En la segunda parte de la programación del equipo se prende el rover. Con el controlador se repite el proceso de “Comunicación” hablado en el numeral 6 y evidenciado su correcta conexión con la Figura 43.



Figura 43. Comprobación de la conexión del receptor móvil al encenderse la luz del Bluetooth. **Fuente:** Autoría.

10. En la pantalla principal se elige “Rover”, donde se despliega varias opciones, pero se elige “Configuración del modo Rover” para comprobar que los parámetros estén correctos como indica la Figura 44.

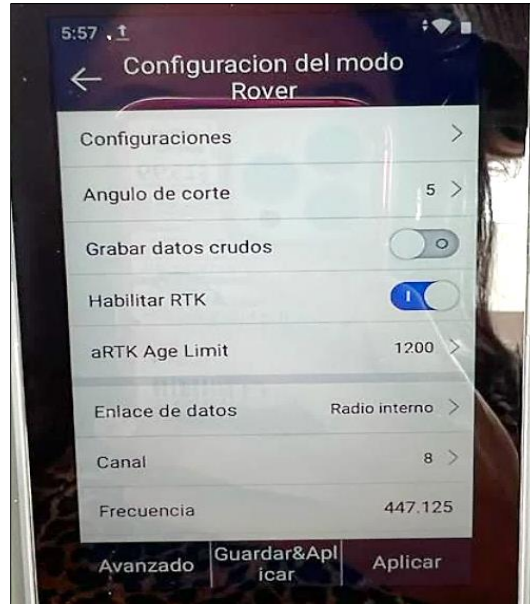


Figura 44. Pantalla de configuración del receptor móvil. **Fuente:** Autoría.

11. Como último paso para proceder a realizar las mediciones, en el controlador se selecciona “Levantamiento”, “Levantar Puntos” para observar la ubicación de la Base1 y decir que la programación se realizó con éxito como indica la Figura 45. En la sección de “Parámetros de Antena”, se introduce la altura del equipo móvil y finalmente “OK”.

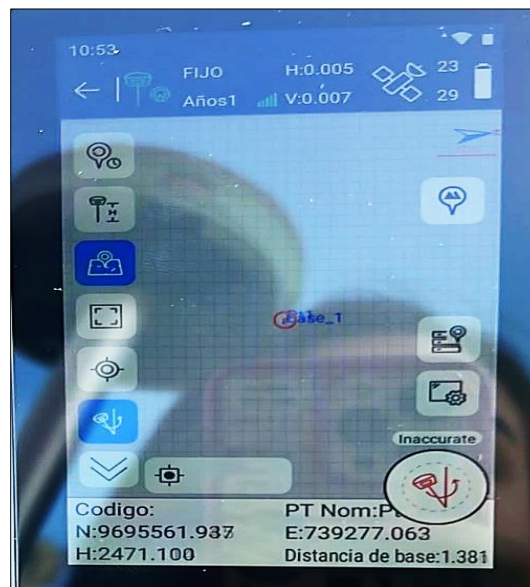


Figura 45. Pantalla para realizar la toma de coordenadas y verificar la ubicación de la base y los puntos. **Fuente:** Autoría.

En el proyecto se tomaron coordenadas de 6 puntos de control que se ubicaron aproximadamente cada 50 metros a lo largo de las 13 hectáreas levantadas, esto está fundamentado mediante criterios técnicos y teóricos dicho anteriormente. Para la señalización de los puntos de control se usó cal, con la misma se formó una “X” de 2x2 metros como indica en la Figura 46, para que en las fotografías capturadas en el vuelo aéreo se puedan observar claramente los GCP y no tener inconvenientes al momento de visualizar y marcar dichos puntos en la aplicación Pix4Dmapper.



Figura 46. Señalización de los puntos de control (GCP). **Fuente:** Autoría.

3.2.3. Normativa Ecuatoriana Para Vuelos con Drones.

La Dirección General de Aviación Civil en la resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R de 2020 aprueba el nuevo reglamento de “Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPA´s)” resuelve los siguientes articulados [20]:

- La persona encargada debe hacerse responsable ante cualquier accidente que se produzca desde el momento que la aeronave está lista para despegar hasta el momento que aterriza y apaga su sistema.
- La operación de aeronaves con más de 150 kilogramos queda prohibida.
- La operación de la aeronave debe realizarse en condiciones donde no se ponga en peligro la flora, fauna y la seguridad de las personas y cuando el operador vea que está en riesgo algún factor debe suspender el vuelo.
- Ningún operador debe iniciar o continuar el vuelo si conoce que el RPA no se encuentra en condiciones óptimas para su operación.
- El operador no podrá volar sin que su aeronave se encuentre debidamente registrado como establece el reglamento.
- Ninguna persona puede operar la aeronave si se encuentra fatigado, en estado etílico, bajo el consumo de sustancias psicotrópica o con condiciones físicas y mentales que afecten la operación.
- El operador debe tener un contacto visual con la aeronave durante todo el vuelo.
- Una persona debe controlar un solo RPA en vuelo.
- La aeronave tiene que ser operada entre la salida y puesta de sol y en condiciones meteorológicas óptimas.
- La altura de vuelo no debe exceder los 122 metros de altura.
- Un RPA no puede ser operado a una distancia mayor a 9 kilómetros de los linderos de un aeródromo o zonas de seguridad del Estado y a un a una distancia mayor a los 0.9 km de los helipuertos.

- El RPA no puede ser operado dentro de un radio de 9 kilómetros en una zona de incendio forestal, cerca de personas o familias que resulten vulnerables y a una distancia menor a los 150 metros de los centros de privación de la libertad o rehabilitación social.
- El operador debe asegurarse antes de realizar el vuelo que la zona donde se realizará el vuelo ha sido inspeccionada y limitada, la aeronave está en óptimas condiciones y que no existan interferencias de señales de radio en el vuelo.

3.2.4. Recolección de Datos con la Técnica del Uso del Dron MAVIC 2 PRO

Para conseguir productos topográficos con dron, es esencial cumplir con un recorrido por la zona a levantar y determinar la presencia de vegetación, morfología del terreno, cableados eléctricos, zonas restringidas para el vuelo que están especificados en la “Normativa Ecuatoriana para Vuelos con Drones”. Hay que destacar que para realizar un levantamiento con dron se necesitan puntos de control (GCP) para cumplir con una precisión y exactitud tanto en planimetría como en altimetría solicitada en el proyecto, esto se logra gracias a la georreferenciación al modelo digital en Pix4Dmapper; los puntos fueron obtenidos con la metodología RTK.

El dron MAVIC 2 Pro es un dispositivo para vuelo de gran calidad tanto por el tipo de material como por su construcción, lo que conceptúa al usuario que el desgaste del dron no va a ser notorio con el tiempo. El diseño es dúctil, pequeño, liviano, atractivo al ojo humano que su transporte será muy presto y sencillo; el gimbal es muy sólido con menos partes frágiles a la vista. Este dron tiene sistema de detección de obstáculos omnidireccional y motores con una potencia eficaz para un vuelo deseado [21]. Las especificaciones técnicas son:

- Sensor de píxeles efectivos: 20 millones. CMOS de 1".
- Peso de 907 gr.
- 6 000 metros sobre el nivel del mar es la altura máxima de vuelo.
- La batería es intercambiable con autonomía máxima de 31 minutos según las condiciones de vuelo.
- 72 km/h es la velocidad máxima de vuelo.
- El dron se conecta a los satélites GPS y Glonass.
- Las fotografías tienen una resolución máxima de 5472 x 3648 (JPG y DNG).
- El almacenamiento interno es de 8 GB, con microSD extraíble hasta 128 GB.
- Obturador electrónico: 8-1/8000s.
- Horquillado de exposición automática (AEB): 3/5 fotogramas entre corchetes a un intervalo de polarización de 0,7 EV.
- Resolución de video 4K, 2.7K y FHD.
- Resistencia al viento de 29-38 km/h.
- Funciona en un rango de temperaturas de -10°C a 40°C.
- La precisión de vuelo estacionario vertical es de ± 0.5 m y horizontal de 1.5m [22].

Para empezar con la planeación de vuelo se usaron las aplicaciones móviles DJI GO 4 y DroneDeploy, cabe mencionar que la elección de cualquier aplicación para planificación de vuelo depende de la marca del RPA a usar y de los objetivos del proyecto, ya que en el mercado existe una variedad muy extensa. La interfaz de las aplicaciones usadas es muy sencilla y fácil de usar, brindan un buen servicio al usuario gratuitamente.

DroneDeploy es una plataforma que permite programar y realizar vuelos fotogramétricos con casi todos los drones existentes en el medio. DroneDeploy cuenta con tres componentes: programación, ejecución de vuelos y procesamiento de mosaicos [23].

En la planificación y ejecución de vuelo se asume los siguientes pasos:

1. La primera etapa de planeación de vuelo se forma con el software DroneDeploy para IOs, creando una cuenta de usuario si no se la tiene. Una vez ingresada el usuario y contraseña se genera un “New Project” para establecer el área a levantar, características de vuelo necesarias para cumplir con los propósitos del proyecto.
2. En el mapa que provee el programa, se localiza el lugar a ser levantado topográficamente y se crea un polígono que cubra el área, es necesario para no tener problemas en el procesamiento en gabinete que el trazo del polígono no sea justamente por los linderos del proyecto sino se considere varios metros fuera de los mismos. El punto “Start” hay que posicionarlo en la parte más alta del proyecto y en un lugar muy cercano de donde se va a colocar el dron por la autonomía que brindan las baterías y aprovechar de la mejor manera el tiempo de vuelo como indica la Figura 47.

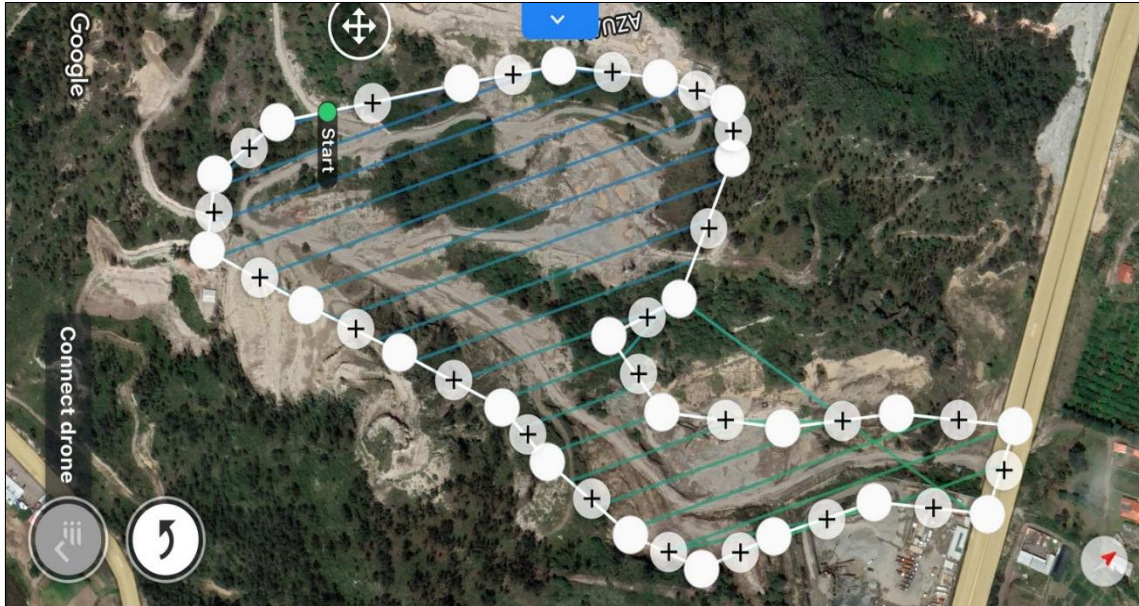


Figura 47. Polígono de vuelo creado para el levantamiento topográfico de la mina "Colina Verde".
Fuente: Autoría.

3. Para preparar de manera correcta el equipo Mavic 2 Pro, se enciende primero la aeronave, continuamente el control de mando y se conecta al dispositivo móvil. En DJI GO 4 se calibra la brújula, color de la imagen, punto de partida y si es el caso la actualización del equipo para no tener problemas durante el vuelo o en el peor de los casos se pierda o se desplome, con la evidencia en la Figura 48.



Figura 48. Configuración del dron Mavic 2 Pro.
Fuente: Autoría.

4. Se retorna a la interfaz de DroneDeploy para continuar con las configuraciones de vuelo que son muy importantes para personalizar el vuelo de acuerdo al equipo, que en el caso del proyecto se generaron 13 hectáreas. Un punto fundamental para un vuelo exitoso es encender la opción “Terrain Awareness” para que el levantamiento se realice según la altura del relieve y se mantenga un GSD constante y no variable, la altitud del vuelo depende del estado físico del lugar estableciendo 90m por los árboles y cableados eléctricos presentes en la zona.
5. En opciones avanzadas se enciende “Automatic Settings”, para evitar que el dron se estalle con obstáculos gracias a los sensores que dispone. El traslape o superposición es aconsejable que no sea menor en 75% en frontal y 65% lateral, ya que traslapes muy

- bajos afectarían los píxeles deseados de las fotografías y por ende una mala comparación de puntos en común.
6. La velocidad del vuelo no debe considerarse la máxima sino una intermedia, para que el dron pueda realizar una captura de imágenes nítidas y no exista errores en píxeles a pesar que el equipo está diseñado para trabajar a una máxima potencia con una luz adecuada.
 7. La inclinación de la cámara depende del detalle que requiera el proyecto, de manera general se trabaja con vuelos ortogonales. Es necesario completar una trayectoria de doble cuadrícula, es decir, completar una trayectoria como para el caso de una ortofoto y continuar con otra semejante a 90 grados.
 8. Antes de empezar con el vuelo se debe verificar los parámetros ambientales: pronóstico de lluvia, dirección del viento, temperatura, punto de inicio, condiciones de luz. En los parámetros de la aeronave se verifica: tarjeta SD, carga de las baterías, hélices aseguradas, conexión de satélites, altura máxima de vuelo y distancia máxima establecida.
 9. Al realizar un vuelo en 3D, se generó 417 imágenes que deberán ser voladas en 23:51 minutos, pidiendo el software cambio de batería. El dron regresa al lugar “Start” para realizar el cambio de batería y continuar con el vuelo fotogramétrico como indica la Figura 49.



Figura 49. Cambio de baterías en el punto "start".

Fuente: Autoría.

Para aumentar la precisión absoluta y relativa en el proyecto fotogramétrico se debe establecer puntos de control (GCP) tomados con RTK. Por ello la importancia que los mismos sean vistos de manera clara y colocados estratégicamente.

- La precisión relativa es la comparación de características individuales en un modelo con otras características en el mismo modelo, se considera alta si la distancia entre dos puntos modelo coincide con la medida en la realidad [24].
- La precisión absoluta es la diferencia de la ubicación de las características de un mapa con la posición real [24].

3.3. Método de Investigación en Gabinete

3.3.1. Post-Procesamiento de Imágenes mediante el software Pix4Dmapper

Pix4Dmapper de manera primordial da sustento a equipos DJI; es un programa de escritorio que permite transformar fotografías tomadas en aire y tierra a ortomosaicos de alta calidad, modelos 3D, modelos digitales de superficie y en nube de puntos con unos cortos pasos. En la interfase del software por sus diversas plantillas se puede modificar, mejorar, evaluar e interpretar los resultados obtenidos, así como, el operario tener el control en cualquier momento de todos los puntos de control para adaptar las plantillas a los objetivos [25].

Pix4Dmapper soporta fotografías tomadas con cámaras compactas ligeras, DSLR, de gran formato, de acción y con soporte, no importa las especificaciones espectrales de la cámara para su procesamiento, es decir, cámaras RGB, NIR, térmicas, etc. Para generar las ortofotos en 3D el programa usa cualquier fotografía tomada en el vuelo y orientadas a la superficie como entrada, el software procesa mediante triangulación el área para emparejar imágenes y crear los puntos de paso. El proceso continúa con la densificación de la nube de puntos para clasificarlos según las dimensiones y crear las mallas 3D texturizadas; posteriormente se crea el ortomosaico. No se puede olvidar que el software ofrece varios formatos finales para poder ser ocupados en otros [11].

El primer paso muy básico es crear una carpeta con las fotografías y los puntos de control correspondientes al levantamiento consumado en campo en el ordenador, para tener la información ordenada y evitar pérdidas de información. Una vez estudiada la interfase del software Pix4Dmapper Capture versión 4.6.4. y adquirida su licencia por 15 de días de prueba, el procedimiento se inicia con la creación de un nuevo proyecto con el nombre “Mina Colina Verde” e ingresar la carpeta que se conceptúa en el primer paso como indica la Figura 50.

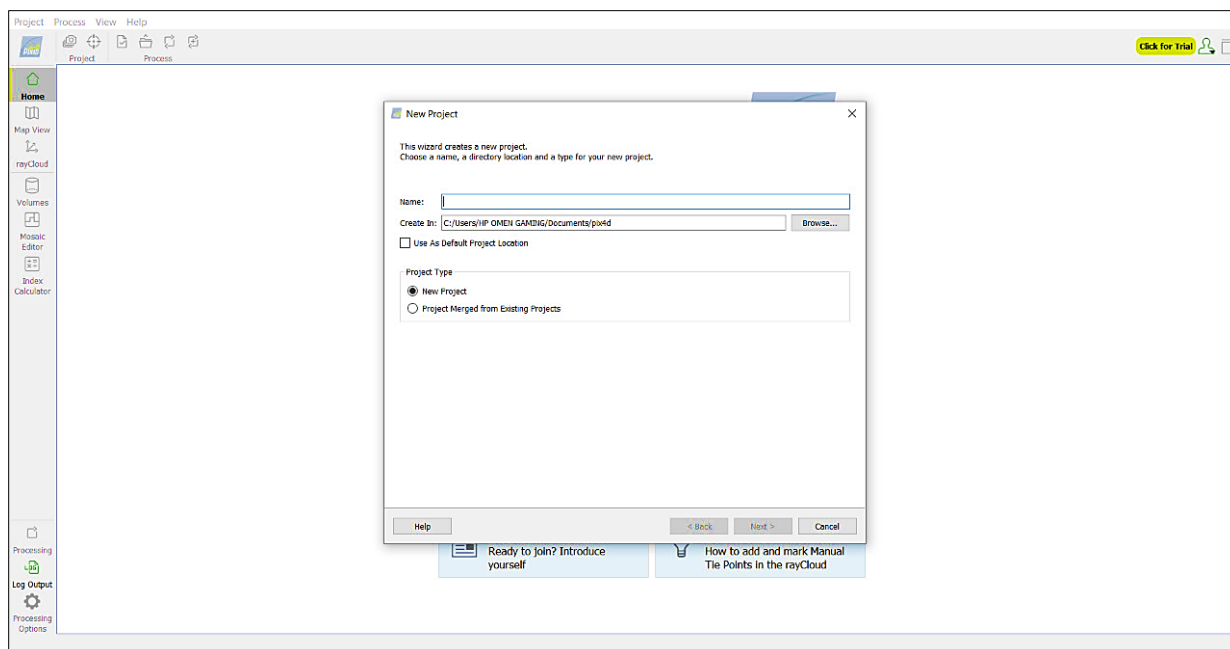


Figura 50. Pantalla desplegada al crear un "New Project". **Fuente:** Autoría.

Luego se elige la opción “Añadir Imágenes” para ingresar todas las fotografías captadas con el RPA’s en el proyecto de vuelo fotogramétrico; una vez seleccionadas todas las 474 se presiona en “Next”. Cabe mencionar que luego de crear el proyecto no habrá como añadir imágenes al proceso ni moverlas de la carpeta contendora, ya que el funcionamiento del programa no se efectuará con éxito.

La ventana mostrada en la Figura 51 ejemplifica la geolocalización, sistema de coordenadas de cada fotografía. Pix4Dmapper tiene en su base de datos la mayor parte de los equipos DJI, por ende, reconoce automáticamente el tipo de cámara usada, los parámetros internos del modelo y lee los datos EXIF (Exchangeable Image File Format) de cada imagen.

Al elegir la precisión de geolocalización estándar se asume como datos iniciales precisiones de 5m en la horizontal y 10m en la vertical, debido a que el equipo usado es considerado de gama baja a media y no brinda la precisión de las fotografías capturadas. La exactitud del proyecto se irá determinando en el transcurso del proceso.

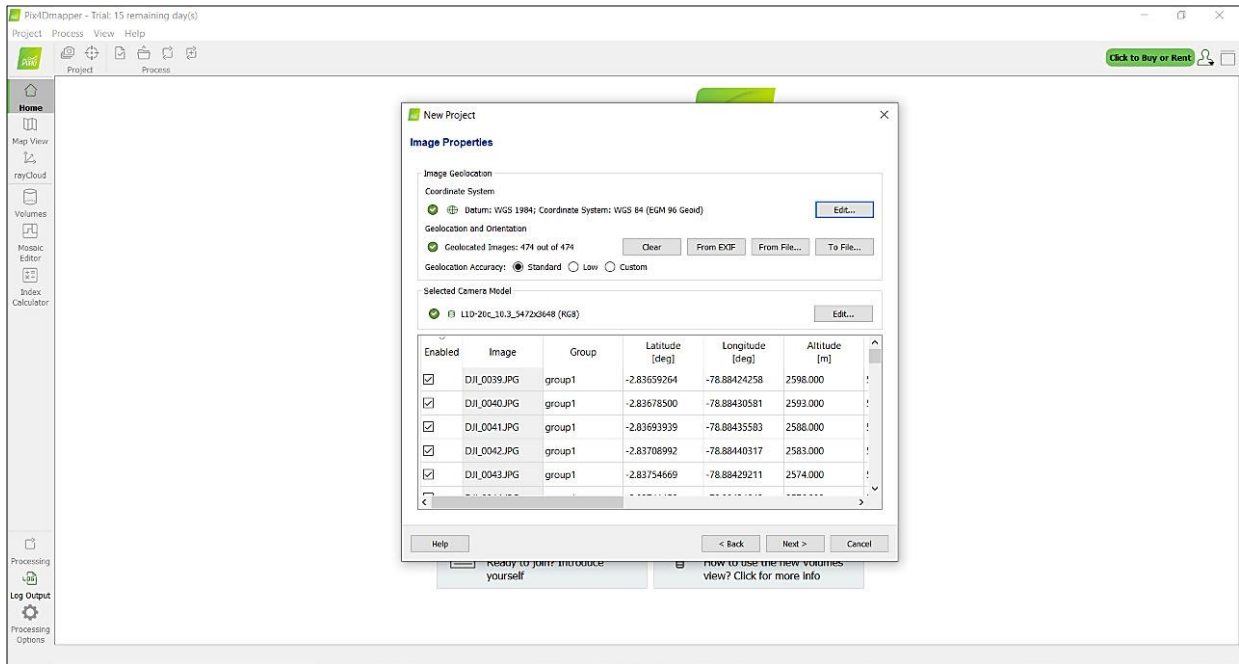


Figura 51. Propiedades de las imágenes del proyecto "Mina Colina Verde". Fuente: Autoría.

Las coordenadas de salida son usadas por defecto, es decir el programa detecta el Word Geodetic System 84, Zone 17S por la ubicación de la mina en el Ecuador - provincia del Cañar en las proyecciones UTM. “Siguiendo” sería la opción a tomar si no hay la necesidad de cambiar las coordenadas y trabajarlas por auto detectado. Como siguiente paso se despliega una pantalla que propone varias plantillas como opciones para el procesamiento de datos, para cumplir con lo especificado en el proyecto de estudio se eligió 3D MAPS.

En la parte inferior izquierda de la pantalla se encuentra “Opciones de Procesamiento”, que tienen tres etapas. En la fase inicial la escala de imagen para puntos claves nos propone tres

ventanas para determinar la calidad de los megapíxeles que se pueden usar para el procesamiento de las imágenes, al elegir “Full” se conserva el tamaño de las imágenes de manera original y la calidad de resolución no se va a ver afectada; las otras opciones aceleran el tiempo de procesamiento, pero disminuye la calidad de resolución y la identificación de los puntos en común entre las imágenes, volviéndolo dificultoso al trazar el efectuado de luz. Se debe generar el informe de calidad para comprobar la eficacia de la fotogrametría sin puntos de control que se encuentra en el Anexo1.

La segunda etapa “Nube de Puntos y Malla” se debe configurar la pestaña para la creación de la malla 3D con textura con la resolución media que es recomendado para la mayoría de proyectos, ya que ofrece un eficiente equilibrio de tamaño, tiempo de cálculo y nivel de detalla en la malla 3D texturizada. Los formatos de salida son FBX, DXF, OBJ y PDF 3D.

3.3.1.1. Primera Etapa

En la Figura 52 se indica la primera etapa del procesamiento de datos, en donde el software averigua los Tie Points que son las coincidencias entre las fotografías y genera la nube de puntos previa a la modelización en 3D. El círculo que se encuentra de mayor tamaño es el punto de partida del dron y las líneas verdes es la trayectoria del vuelo.

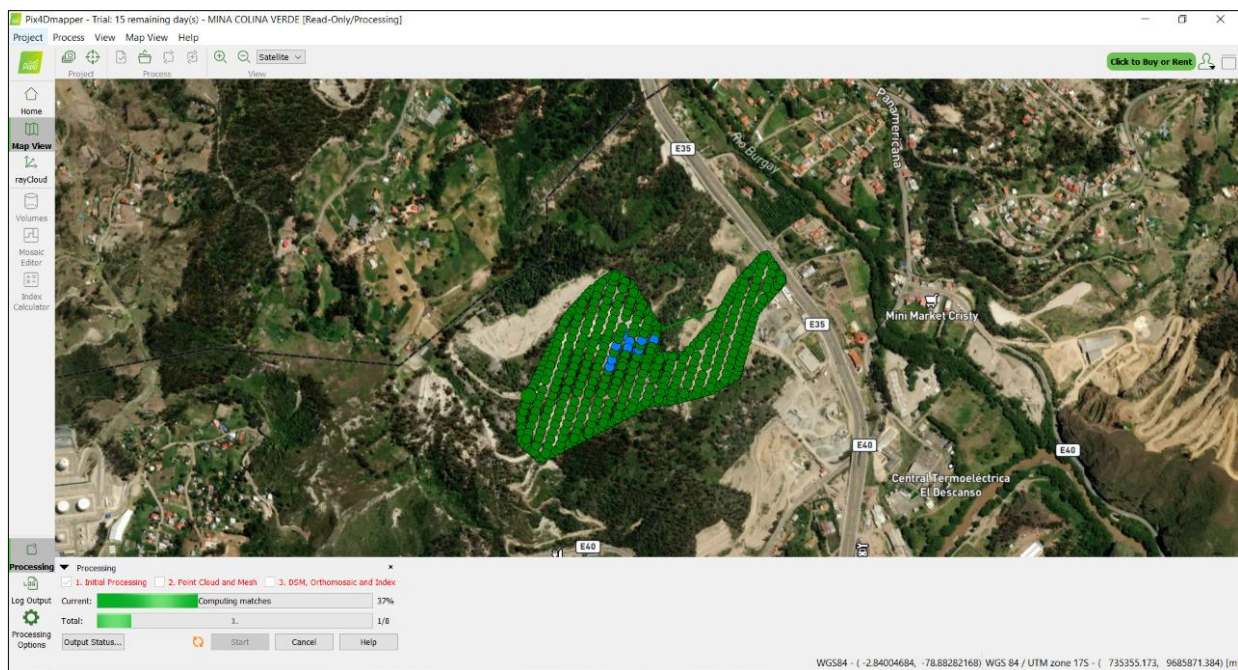


Figura 52. Pantalla previa al procesamiento. **Fuente:** Autoría.

Es importante contar con puntos de apoyo que permitan mejorar los resultados del programa, para ello se han tomado puntos georreferenciados mediante RTK. Para ingresar de forma manual una vez identificado el lugar de ubicación del punto de apoyo presionar en la opción “Tie Point” seguido de “3D punto de apoyo” e ingresar los valores de X, Y y Z correspondientes ejemplificado en la Figura 53; en la parte inferior derecha de la pantalla del programa se despliegan todas las imágenes en las que debemos emparejar el punto de apoyo 3D en mínimo 8 imágenes. El mismo procedimiento se deberá aplicar para todos los puntos de apoyo.

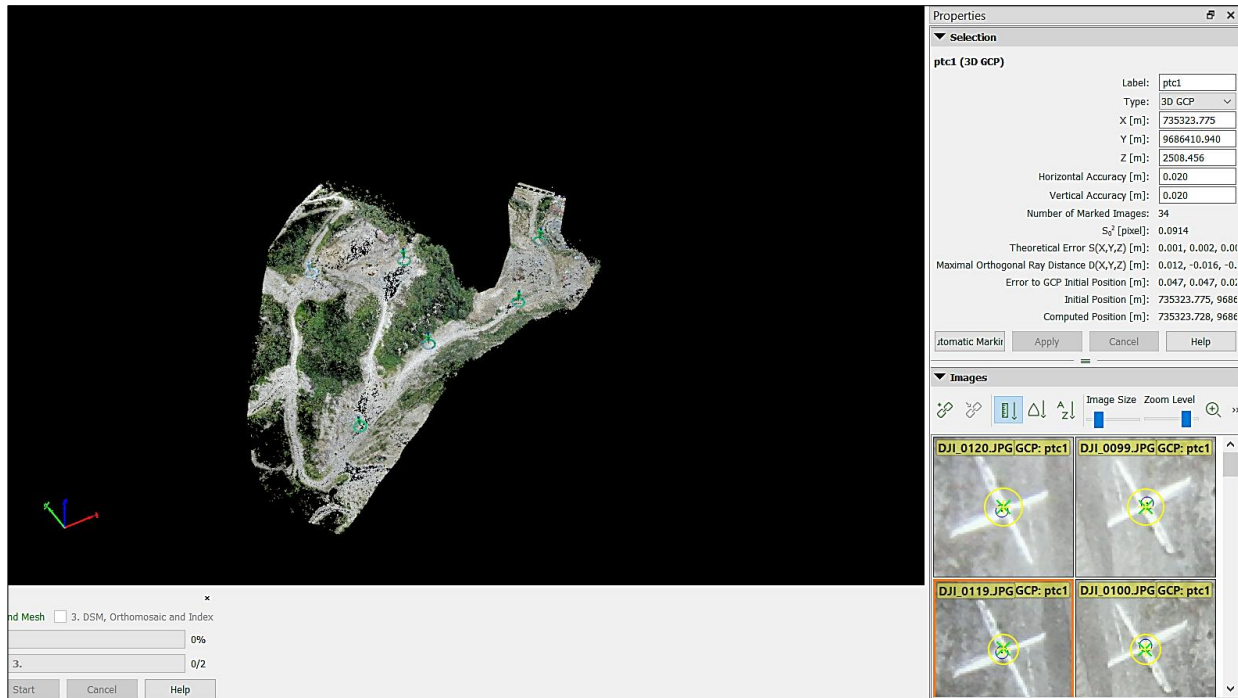


Figura 53. Ingreso de los puntos de control de manera manual al software. **Fuente:** Autoría.

Una vez ingresados todos los puntos de apoyo, dar clic en “Re-optimizar” y generar nuevamente el proceso inicial; revisar el reporte de calidad y verificar que haya mejorado mediante la revisión de errores, es decir, que estos no sean muy altos.

3.3.1.2. Segunda Etapa

Se debe comenzar recortando el área de trabajo necesaria mediante la opción “Vista de Mapa” seguido de “Área de procesamiento” y “Dibujar”, se finaliza con clic derecho como indica la Figura 54.

Dirigirse a la opción “Procesamiento”, seguido de “Opciones de Procesamiento”, seleccionar la opción “Nube de puntos y malla”, verificar que estén activadas las opciones “Clasificar la nube de puntos”, exportar “LAS” y “Fusionar teselas en un solo archivo”; en la pestaña “Malla 3D con textura” verificar las opciones “Generar malla 3D con textura”, “Usar

balanceado de color para texturas” y los formatos de exportación “FBX” y “OBJ”, clic en “Aceptar” e “Inicio”.

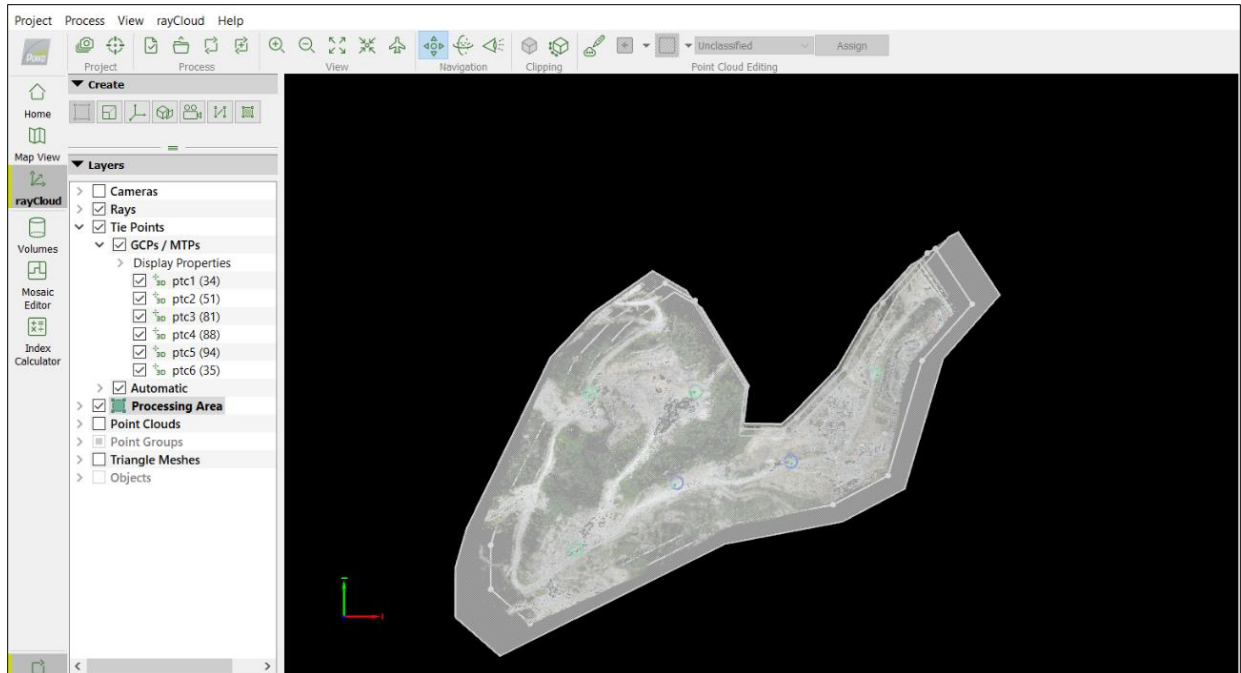


Figura 54. Recorte del polígono para iniciar con el procesamiento de la segunda etapa. **Fuente:** Autoría.

Al finalizar el segundo procesamiento es posible activar las opciones “Nube de puntos” y “Malla de triángulos” que se despliegan en la parte izquierda de la pantalla, las que permiten visualizar toda el área levantada a detalle como indica la Figura 55.

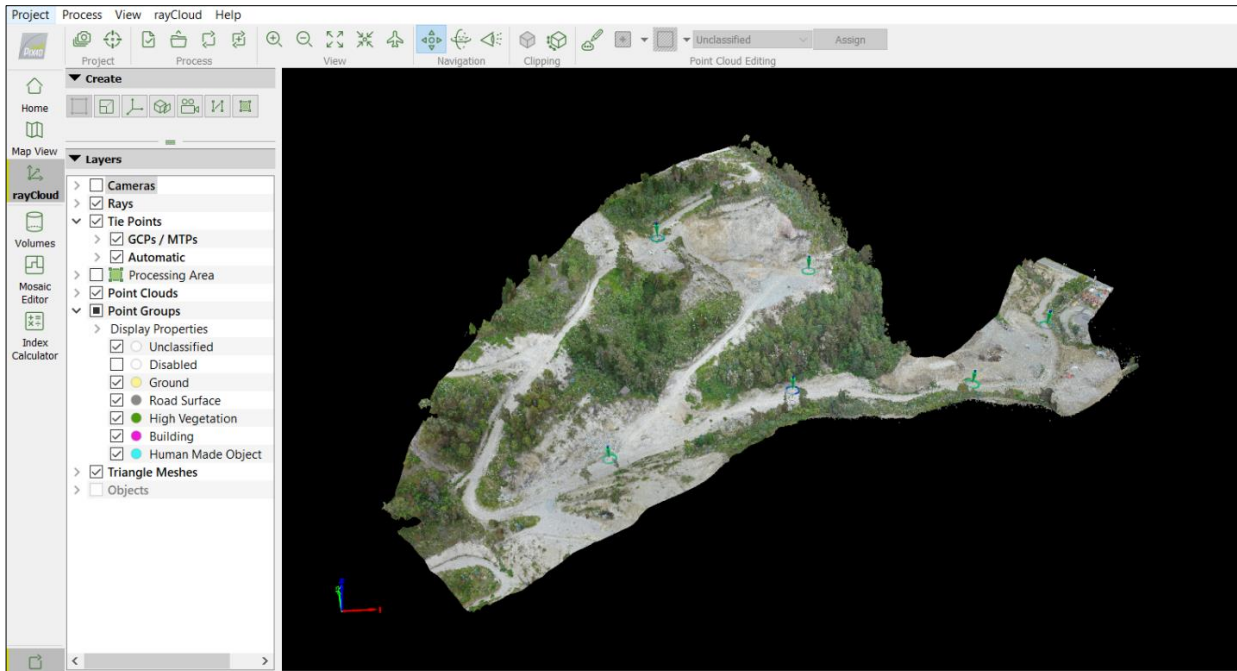


Figura 55. Resultado de la ejecución del paso 2. **Fuente:** Autoría.

3.3.1.3. Tercera Etapa

Para el tercer procesamiento dirigirse a “Procesamiento”, “Opciones de procesamiento” y en la nueva pantalla desplegada seleccionar “MDS, Ortomosaico e Índices”; en la pestaña “MDS y Ortomosaico” verificar que estén activas las opciones de “Resolución automática”, “usar filtro de ruido”, “usar suavizado de superficie” “Geo TIFF” y “Fusionar Teselas”; en la pestaña “Resultados adicionales” revisar que estén marcadas las opciones “Geo TIFF” – “Fusionar teselas”, Resolución Raster MDT “Automático”, Curvas de nivel en formatos “SHP” y “DXF” y que los intervalos de altura estén a un metro. No es necesario realizar ningún cambio en la pestaña “Calculadora de Índices”, para finalizar clic en “Aceptar” e “Inicio”.

Al finalizar el tercer procesamiento es posible visualizar la ortofoto de la zona obtenida mediante proyecciones ortogonales en formato TIFF para ser utilizado en diferentes softwares; además se obtienen las curvas de nivel en formato PDF, SHP y DXF ejemplificado en la Figura 56.



Figura 56. Resultado del orto mosaico generado por Pix4dmapper. **Fuente:** Autoría.

Para el cálculo de los volúmenes una vez terminadas las tres etapas, se identifica los puntos base de cada volumen mediante polilíneas que emite el mismo software; a pesar de ello, hay que verificar que en los cuerpos no se presentes zonas verdes para que no haya errores en la generación de los valores en m^3 como se puede plasmar en la Figura 57.

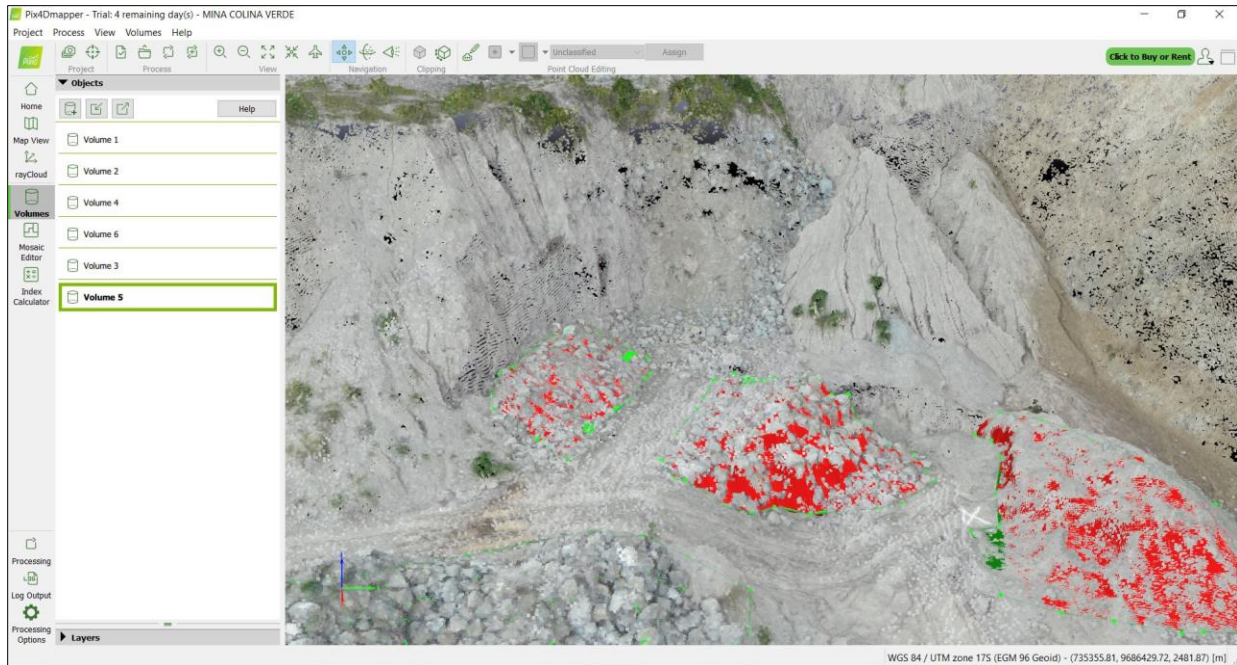


Figura 57. Cálculo de volúmenes en el software Pix4Dmapper. **Fuente:** Autoría.

3.3.2. Procesamiento de datos mediante CIVIL 3D

1. La ortofoto dsm generada en Pix4Dmapper en formato TIF mediante el comando “Mapiinsert” se inserta al modelo para dibujar y especificar lo que se visualiza como vías, vehículos livianos, vehículos pesados, maquinaria pasada, infraestructura, volúmenes, cableado eléctrico, entre otros para la conceptualización del plano planimétrico especificado en el Anexo 6.
2. Pix4Dmapper genera una carpeta con el nombre del proyecto con todos los archivos necesarios para su lectura y procesamiento; por esta razón, en la carpeta de contornos se encuentra las curvas de nivel en formato dxf. La superficie es creada mediante las curvas de nivel, donde se verifica que estén correctas o se procede en la edición necesaria, luego

para entendimiento del lector se añaden las cotas mediante etiquetas en las zonas necesarias como indica la Figura 58.

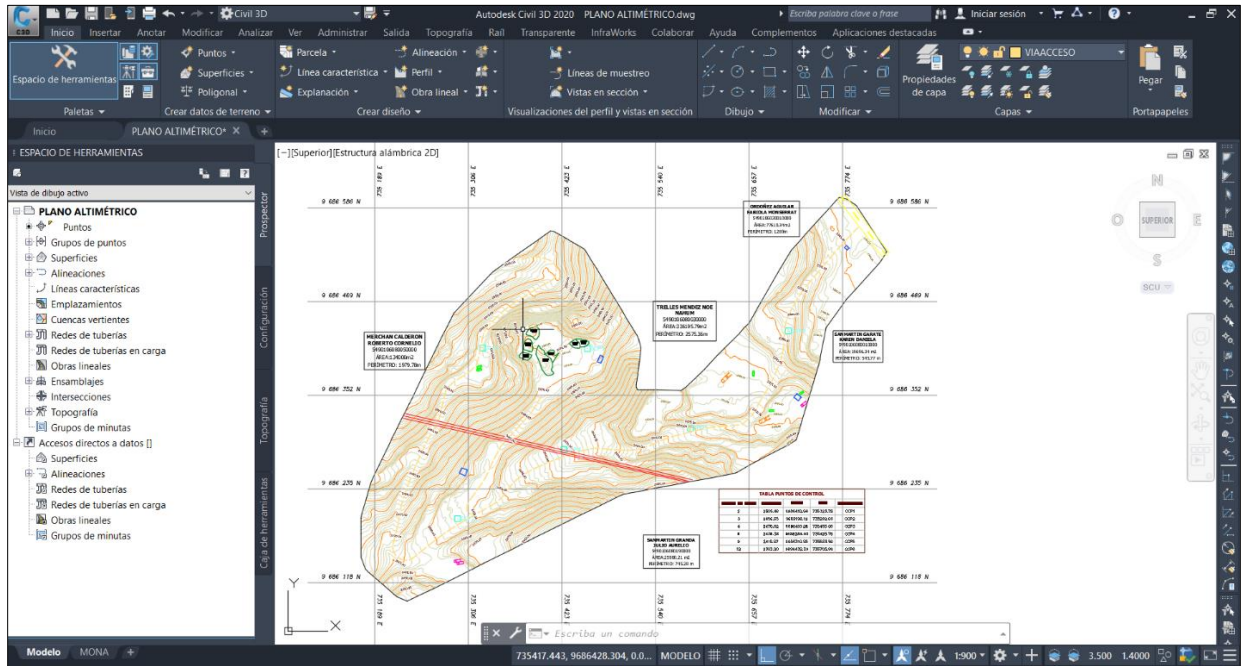


Figura 58. Curvas de nivel por fotogrametría. **Fuente:** Autoría.

3. Una vez generado las curvas de nivel en el procedimiento anterior, se crea los perfiles de la superficie como esta en el enunciado 3.1.3. enunciado 9.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados logrados conforme a los objetivos del trabajo de titulación, metodologías en campo, técnicas topográficas, equipos topográficos de alta y media gama, softwares especializados para lograr modelizaciones topográficas, personal eficiente, que han sido integrados con lazos muy estrechos para exponer y fundamentar la finalidad de la publicación.

En el método de la estación total se hizo 4 cambios de estación con la toma de 636 puntos, que en su mayoría se encuentran distribuidos en las vías de acceso y zona minera del polígono de estudio. La condición de la topografía del terreno es muy accidentada, con grandes pendientes y una vegetación abundante que dificultaba la toma de datos y el acceso a los cadeneros a las zonas requeridas; por consiguiente, se ejecutaron en dos días laborables.

Para la aerofotogrametría se usó el sistema de navegación cinética satelital en tiempo real (RTK) para la obtención de los GCP y poder corregir los errores relativos y absolutos del levantamiento topográfico con dron en el procesador Pix4Dmapper. Se trazaron 6 marcas en forma de “X” de 2x2 metros en diferentes puntos estratégicos de la zona de estudio para dar una reconstrucción más precisa de la ortofoto.

4.1. Análisis de Precisión

Tabla 4. *Coordenadas obtenidas mediante el levantamiento topográfico con estación total de los GCP*

Número GCP	Norte	Este	Elevación
1	9686410.9415	735323.7265	2508.9412
2	9686198.1201	735292.6416	2456.4872
3	9686410.3083	735454.9757	2470.8421
4	9686284.5688	735425.8825	2436.7125
5	9686310.8462	735583.5581	2410.4731
6	9686432.3785	735705.9625	2383.6469

Tabla 5. *Coordenadas planas obtenidas mediante aerofotogrametría*

Número GCP	Norte	Este	Elevación
1	9686410.940	735323.775	2508.456
2	9686198.116	735292.688	2456.653
3	9686410.282	735455.002	2470.623
4	9686284.599	735425.789	2436.383
5	9686310.853	735583.589	2410.873
6	9686432.389	735705.989	2383.205

Tabla 6. *Desviación en metros de coordenadas entre estación total y aerofotogrametría*

Número GCP	Δ Norte	Δ Este	Δ Elevación
1	0.0015	-0.0485	0.4852
2	0.0041	-0.047	-0.1658
3	0.0263	-0.0263	0.2191
4	-0.0302	0.0935	0.3295
5	-0.0068	-0.0309	-0.3999
6	-0.0105	-0.0265	0.4419

Mayor desviación Norte: -0.0302 m.

Mayor desviación Este: 0.0935 m.

Mayor desviación Elevación: 0.4852 m.

Las precisiones de los dos métodos planteados para el análisis de los levantamientos topográficos se consideran la de los equipos, visto que, las desviaciones calculadas en los puntos son muy pequeñas, por lo tanto, las dos técnicas presentan buenas precisiones. La estación total tiene una precisión de 5 segundos; mientras que la precisión del mapeo aéreo reconstruido correctamente en el software Pix4Dmapper tiene una precisión relativa de tres veces el GSD, la precisión absoluta en X y Y es el valor del GSD, mientras que en el plano Z se considera dos o tres veces el GSD. El valor del GSD es de 2.64cm fundamentado en el Anexo 1, que significa que un pixel en la imagen representa 2.6 cm lineales en el suelo.

4.2. Análisis de Volúmenes

Los planos topográficos de las láminas 3 - 6 expuestos en los Anexos 4 y 5, se analizan los volúmenes obtenidos por el método de estación total con la aerofotogrametría, resultando una desviación mayor de 0.03 m^3 que está en los rangos de errores admisibles, afirmando que los dos levantamientos cumplen con los estándares del proyecto ingenieril.

4.3. Análisis de Perfiles

Para realizar el análisis de los perfiles longitudinales se trazaron alineaciones en lugares estratégicos de la zona de estudio, como primera comparación se consideran taludes y volúmenes de la mina indicados en la Figura 59, Figura 60 y en la Figura 62, Figura 61 un perfil vial. Los Anexos 5,6,10,11 se presentan los planos para una mejor deducción.

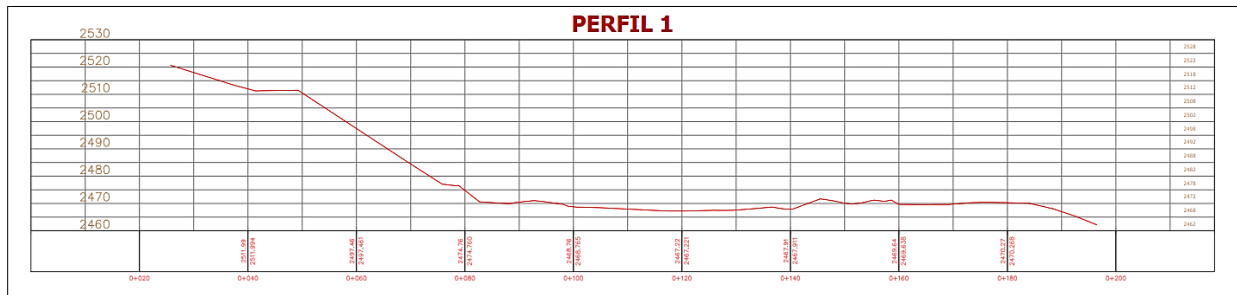


Figura 59. Perfil generado por Civil 3D con estación total. **Fuente:** Autoría.

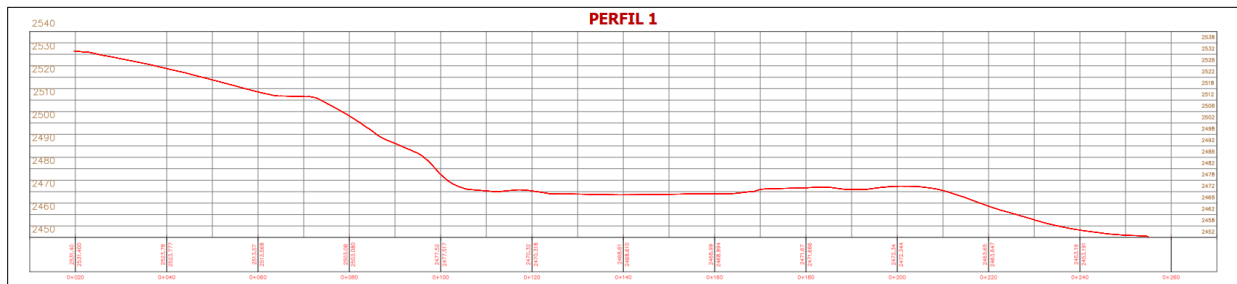


Figura 60. Perfil generado por Civil 3D con aerofotogrametría. **Fuente:** Autoría.

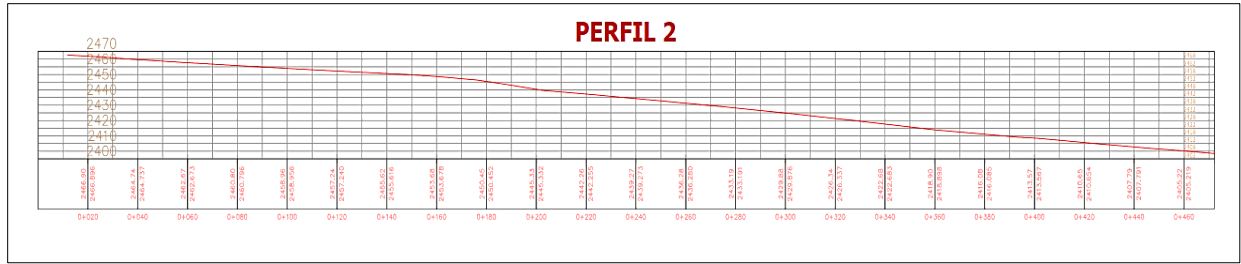


Figura 62. Perfil longitudinal generado en Civil 3D con estación total. **Fuente:** Autoría.

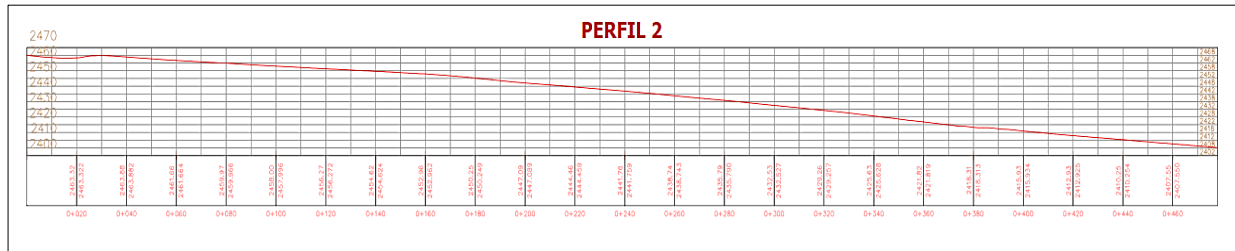


Figura 61. Perfil longitudinal generado en Civil 3D con aerofotogrametría. **Fuente:** Autoría

Con la exposición de estos gráficos se garantiza una comparación en altimetría minuciosa y pulida de un área estratégica, como resultado se puede deducir que el levantamiento con estación total presenta un perfil pungido resultado de la falta de puntos continuos en toda la zona de estudio y de manera especial en los taludes y volúmenes; en caso contrario, la aerofotogrametría genera miles de puntos en la superficie modelando perfiles más cercanos a la realidad.

En la comparación de los perfiles viales se deduce que, por la toma cercana y continua de los puntos con estación total a lo largo de todo el eje vial se visualiza un perfil mucho más parecido a la realidad como genera la aerofotogrametría.

4.4. Análisis de Costos

Para comparar los precios de cada levantamiento, se hace un análisis de los valores usados en el medio profesional, así como precios actuales de los instrumentos.

Tabla 7. Criterio de análisis de costos de un levantamiento topográfico con estación total y la aerofotogrametría con RTK

Componentes con tiempos de ejecución	Estación Total (16 horas)	Aerofotogrametría con sistema RTK (3 horas)
Personal topográfico	1 topógrafo (9 ha.): \$1080 + 4 cadeneros por las zonas áridas: \$160	1 topógrafo (13ha.): \$780 + 1 ayudante: \$10
Equipo Topográfico	Estación Total Trimble M3: \$80	Dron Mavic 2Pro: \$2200 + Sistema RTK FOIF A90 (costo por punto \$100): \$600
Softwares para el procesamiento	Civil 3D: \$305 por mes	Pix4D Mapper: \$350 por mes + Civil 3D: \$305 por mes
Equipo para gabinete	DELL Inspiron 15 5000 core i7 \$1000	Hp OMEN GAMING Core I i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz \$1600
Total, de costo	\$ 2625	\$ 5845

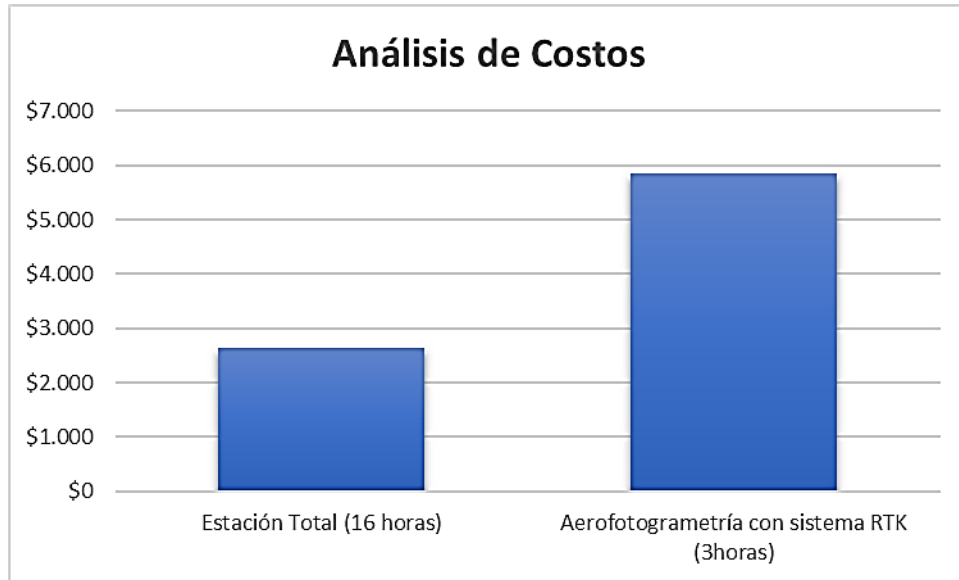


Ilustración 2. Criterio de análisis de costos entre los dos métodos. Fuente: Autoría.

El análisis de costos se realizó con la ayuda de profesionales topógrafos que se desempeñan en estas competencias, determinando un promedio de los precios que se están ordenando hoy en día como indica la Ilustración 2. La aerofotogrametría se necesita equipos topográficos mucho más caros para lograr las precisiones deseadas, los equipos deben tener softwares y hardware más especializados para el procesamiento de datos; en comparación con la estación total.

Nota: En el presupuesto se toma en cuenta el costo total del equipo volador ya que no se encuentran disponibles para arriendo por su alta probabilidad de tener cualquier tipo de accidente, además aquí en el país aún no existen empresas que aseguren los equipos.

4.5. Análisis de Tiempos de Ejecución

El tiempo de reconocimiento de la zona de estudio no fue considerado en ningún método analizado. Las condiciones climáticas y topográficas con las que se cumplió los dos métodos del levantamiento topográfico, son las siguientes:

- **Clima:** Intervalos nubosos con lluvias débiles.
- **Topografía del terreno:** Montañoso, fuertemente socavado con vegetación densa.
- **Diferencia de altitudes:** 2550 – 2360 aproximadamente.
- **Área media:** 11ha (cabe mencionar que varía por cada método a ejecutar).

Tabla 8. Criterio de análisis de tiempos de ejecución de un levantamiento topográfico con Estación Total y la Aerofotogrametría con RTK

Tiempos de Ejecución (horas)		
Tipo de Trabajo	Estación Total	Aerofotogrametría con sistema RTK
Trabajo en Campo	16	3
Trabajo en Gabinete	24	32
Total	40 horas	35 horas

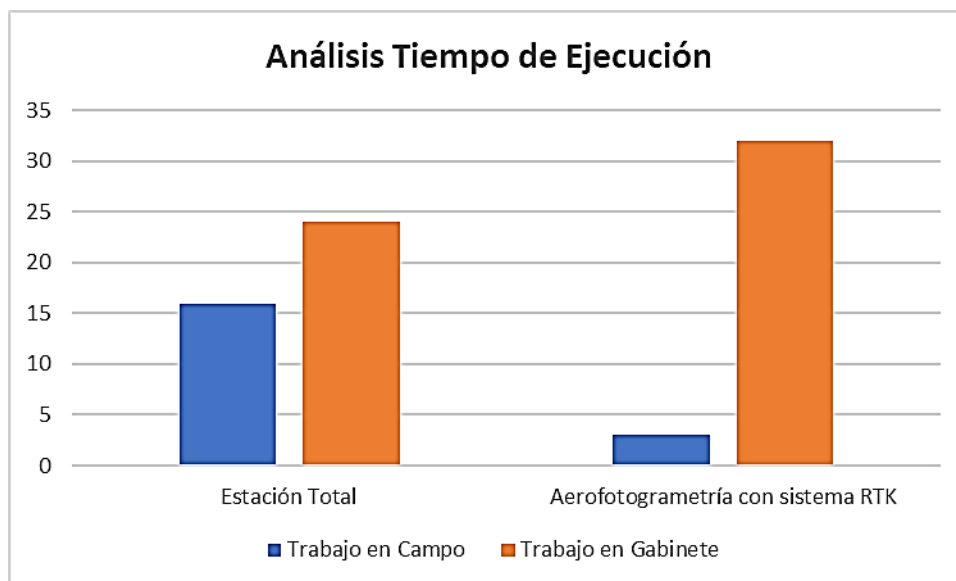


Ilustración 3. Criterio de análisis de tiempos de ejecución de cada método. Fuente: Autoría

Los tiempos de ejecución de cada método han sido considerados en base a criterios técnicos y teóricos expuestos en el Capítulo III. Cabe recalcar que el terreno presenta vegetación muy densa por lo que fue difícil el acceso de los cadeneros a ciertas zonas mineras, por consiguiente, el tiempo de práctica en campo incrementó de manera considerable.

La diferencia entre los tiempos de ejecución en campo es muy significativa entre los dos levantamientos topográficos, sobresaliendo la aerofotogrametría con sistema RTK con una reducción del 81.25% respecto al levantamiento con estación total. En gabinete la aerofotogrametría excede en un 15% por el procesamiento y corrección de imágenes digitales, clasificación de datos en los programas conceptualizados para este método evidenciado en la .

4.6. Ventajas y Desventajas de los Levantamientos Topográficos

4.6.1. Levantamiento Topográfico con Estación Total

Este levantamiento topográfico enfocado a la minería tiene muchas limitantes, sustancialmente en la generación de modelaciones topográficas de manera puntual, esto es, en los objetivos específicos que requiere el proyecto sin un análisis global de la zona. Las altas pendientes de la zona no se pueden modelar por formar ángulos rectos.

Debido a la extensión del proyecto se necesitan varios operarios cadeneros, en donde hay que velar por la seguridad de ellos por las zonas de altas pendientes, vegetación densa y espinosa, accesos tardados y cansados por la constitución del suelo; existen muchas zonas inaccesibles para la toma de puntos, especialmente en bermas y taludes como en zonas de vegetación que son muy importantes para las fases mineras para definir una viabilidad técnico-económica. El personal topográfico no puede estar operando al mismo tiempo que la maquinaria minera, como primer punto porque los conductores no pueden visualizar a los operarios y la caída de material por la extracción.

Como ventaja es que para el procesamiento de datos no se necesita un procesador y softwares muy sofisticados y caros, en comparación con la modelización de otros levantamientos topográficos de los últimos 10 años.

4.6.2. Aerofotogrametría con Sistema RTK

Como principal punto la aerofotogrametría se realiza en campo con una reducción de tiempo del 80% aproximadamente referido a la Estación Total, con personal propio para el cuidado de los equipos y en características afables para los operarios porque no es necesario adherirse a zonas peligrosas con vegetación densa o altas pendientes, en otros términos, es un método que no provoca impactos ambientales.

Las fases del proyecto minero a cielo abierto demandan de mucha información topográfica a detalle que la aerofotogrametría con una buena precisión cubre estos requerimientos ingenieriles, dado que, facilita la obtención de imágenes digitales, puntos en cualquier zona de la superficie y una densificación en modelos digitales para ser usadas en cualquier software de procesamiento de datos. Brinda modelaciones en 3D encaminadas a una representación real del sitio, en donde no sería necesario tener un recorrido in situ para conocer el lugar de estudio y cumplir con un correcto trabajo en gabinete.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.7. Conclusiones

- Los dos levantamientos topográficos tienen muchas semejanzas especialmente en las precisiones, pero, la principal diferencia es la generación del modelo topográfico que es esencial para la ejecución de las fases mineras, seguido de la seguridad del personal y la inaccesibilidad a los taludes por los cadeneros. Resultando con mayor versatilidad el método indirecto aerofotogramétrico.
- La mina “Colina Verde” tiene una topografía accidentada con altas pendientes, una vegetación densa y espinosa que dificultó la correcta toma de datos con el método tradicional de la estación total, faltando detalles topográficos esenciales para la modelización del terreno por la inaccesibilidad de los cadeneros a varias zonas como los taludes y vegetación; por el contrario, la aerofotogrametría con sistema RTK no presentó esos inconvenientes al momento de realizar el levantamiento topográfico. Por lo tanto, se afirma que la aerofotogrametría en proyectos mineros brinda una seguridad al personal topográfico por la facilidad en la captura de imágenes digitales con el vehículo aéreo no tripulado pero controlado remotamente, generando millones de puntos en toda la zona de estudio, para crear un modelo digital 3D cercano a la realidad por los objetivos mineros de definir una viabilidad técnico - económica.
- Una de las etapas esenciales para lograr un acertado levantamiento topográfico por cualquier método es el reconocimiento del lugar de estudio, de manera general la topografía del terreno, altura y densidad de la vegetación, postes de luz, puntos BM; en el caso de la aerofotogrametría, permite una correcta planeación de vuelo, estacionamiento de los GCP (Group Control Points), delimitación del polígono de estudio. Con la estación total se

establece los cambios de estación especialmente por la visibilidad entre ellos y la estipulación del personal necesario.

- Las desviaciones entre los puntos analizados fueron centimétricas, por lo tanto, los dos métodos de levantamiento topográfico tienen una buena precisión. La estación total tiene una precisión de 5 segundos, mientras que la aerofotogrametría con sistema RTK alcanza una precisión del GSD que es 2,64 centímetros en X-Y y tres veces el GSD para Z.
- En el tiempo de ejecución en campo la aerofotogrametría le supera en un 80% a la estación total, mientras que en el trabajo en gabinete la estación total tiene un mejor rendimiento de un 15%. La aerofotogrametría tiene un tiempo menor, pero en el procesamiento de datos es mucho más tardado, dado que, necesita un procesamiento de imágenes en softwares especializados para generar un modelo digital con un detalle más puntual que la estación total, por ende, los costos en los equipos exceden en un 45%.
- En el levantamiento con estación total se tomaron 636 puntos, mientras que la aerofotogrametría generó 46 694 421, resultando ser un levantamiento topográfico a detalle en toda la zona de estudio, con perfiles, curvas de nivel y planimetría semejantes a la realidad.

4.8. Recomendaciones

- Los equipos topográficos se deben asegurar por cualquier situación adversa como, pérdida del dron al momento de vuelo, vientos que derriben los equipos, lluvias abundantes no predecibles, delincuencia de la zona, animales que dañen los equipos, entre otras.
- Los equipos para procesamiento de datos en la aerofotogrametría deben ser de alta gama, con buenos softwares y hardware que garanticen un tiempo corto en escritorio.

- Los GCP deben ser tomados en buenas condiciones climatológicas y mínimo con 30 minutos de estacionamiento para la conexión de los satélites, por ende, generar una precisión deseada al momento de rectificar las precisiones absolutas y relativas de las imágenes digitales generadas en el vuelo fotogramétrico.
- La aerofotogrametría siempre se complementa para brindar precisiones deseadas con métodos de toma de puntos tradicionales, ya sea con estación total, GPS, sistema RTK, entre otros.

Bibliografía

- [1] P.D.P. Solution, “Soluciones generadas por drones para minería,” *PwC Drone Powered Solution*, no. Polonia, 2019.
- [2] A. Vidal, “Análisis Comparativo de Levantamientos Altimétricos por GPS, Estación Total y Método de Nivelación Diferencial,” Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2018.
- [3] A. García, “AMPLIACIÓN DE TOPOGRAFÍA MINERA.”
- [4] A. L. Morales and M. H. Domas, “Guía metodológica de cierre de minas,” Santiago, 2020. [Online]. Available: www.cepal.org/apps
- [5] A. B. Bello, “Fotogrametría con drones aplicada a minería,” Jul. 2020. [Online]. Available: www.argentta.com
- [6] R. A. Claros Zelaya, A. E. Guevara Aguilar, and N. R. Pacas Cruz, “APLICACIÓN DE FOTOGAMETRÍA AÉREA EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS,” El Salvador, Aug. 2016.
- [7] M. Antón, “MONITORIZACIÓN DE FENÓMENOS GEODINÁMICOS APLICANDO TÉCNICAS GNSS,” Valencia, Mar. 2014.
- [8] D. Vásquez, “Evaluación de la exactitud del geoposicionamiento a partir de receptores GNSS y NTRIP en el CADET,” Universidad Central del Ecuador, Quito, 2020.
- [9] D. García, “Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM),” Madrid, Jan. 2008.
- [10] E. Cano, “Aplicación de los Servicios Proporcionados por una Red Geodésica Activa en Ingeniería Civil y Minería,” Córdoba, Jan. 2020. [Online]. Available: <https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>
- [11] N. Jimenez, A. Magaña, and E. Soriano, “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON ESTACIÓN TOTAL COMO MÉTODO DIRECTO Y EL USO DE DRONES Y GPS COMO MÉTODOS INDIRECTOS.,” Salvador, Mar. 2019.
- [12] W. Jimenez and J. Prado, “ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LOS MÉTODOS TOPOGRÁFICOS TRADICIONALES Y EL MÉTODO DE AEROFOTOGAMETRÍA CON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO,” Quito, 2017.
- [13] R. Florentino, “Aplicación de Fotogrametría con RPAS para Mejorar la Efectividad en Cuantificación de la Explotación en la Cantera Santa Genoveva,” Perú, 2017.
- [14] H. I. Ramírez Canales, “Restitución fotogramétrica a partir de fotografía aérea de pequeño formato,” Ensenada, 2013.

- [15] R. Tajadura, “USO DE DRONES EN LA INSPECCIÓN PARA LA REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO. IGLESIA DE LA MERCED,” Burgos, May 2017.
- [16] R. Pari and F. Sedano, “ANÁLISIS, DESARROLLO Y COMPARACIÓN DE UN LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO CON UN RPA FRENTE A UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL CON GNSS - MINA BARRICK, 2018,” Universidad Privada del Norte, Lima, 2019.
- [17] Trimble Inc., “ESTACIÓN TOTAL TRIMBLE M3,” Westminster, 2016. [Online]. Available: www.trimble.com
- [18] Ismagal, “Autocad Civil 3D - Soluciones BIM para proyectos de ingeniería civil,” Oct. 18, 2021. <https://imasgal.com/autocad-civil-3d-soluciones-bim-proyectos-ingenieria-civil/> (accessed Jan. 05, 2022).
- [19] FOIF, “A90 Intelligent GNSS Receiver,” *TU EQUIPO S.A.S*, Accessed: Apr. 19, 2022. [Online]. Available: <https://www.tuequipo.co/producto/sistema-de-posicionamiento-gps-foif-a90>
- [20] Dirección General de Aviación Civil, *Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)*. Quito, 2020.
- [21] P. Santamaría, “DJI Mavic 2 Pro, análisis: un nuevo nivel en calidad de video y foto con dron,” *Xacata*, Sep. 22, 2018. xataka.com/analisis/dji-mavic-2-pro-analisis-nuevo-nivel-calidad-video-foto-dron (accessed Jun. 13, 2022).
- [22] DJI, “Mavic 2 Pro y Mavic 2 Zoom,” *MAVIC 2 Especificaciones*, Aug. 23, 2018. <https://www.dji.com/mavic-2/info#specs> (accessed Jun. 13, 2022).
- [23] R. Vázquez, “Tutorial - Planear vuelo fotogramétrico con DroneDeploy y Google Earth (Principiantes),” *GeoAsset Blog*, Aug. 10, 2018. <https://geoasset.blog/2018/10/08/tutorial-dronedeploy/> (accessed Jun. 14, 2022).
- [24] PIX4D, “¿Cuál es la precisión relativa y absoluta del mapeo de drones?,” *Conocimientos de fotogrametría*, 2018. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558889-What-is-the-relative-and-absolute-accuracy-of-drone-mapping> (accessed Jun. 14, 2022).
- [25] I. Sanchez, “DETERMINAR EL GRADO DE CONFIABILIDAD DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRON EN LA PLAZA SAN LUIS-2017,” Universidad César Vallejo, Perú, 2017.
- [26] NOVODRONE, “Tipos de drones,” *NOVODRONE*, 2021. <https://novodrone.com/tipos-de-drones/> (accessed May 10, 2022).
- [27] DRONING, “¿Qué partes componen un dron multirrotor?,” *Equipos de vuelo*, Nov. 2014. <https://droningpage.wordpress.com/2014/10/19/que-partes-componen-un-drone-multirrotor/> (accessed May 10, 2022).

Anexos

Anexo 1

Informe de calidad de la
Aerofotogrametría, por el
software Pix4Dmapper

- !** **Important:** Click on the different icons for:
- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
 - i** Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary i

Project	MINA COLINA VERDE
Processed	2022-06-23 14:49:15
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.64 cm / 1.04 in
Area Covered	0.330 km ² / 33.0488 ha / 0.13 sq. mi. / 81.7077 acres
Time for Initial Processing (without report)	49m:14s

Quality Check i

? Images	median of 73761 keypoints per image	✓
? Dataset	450 out of 450 images calibrated (100%), all images enabled	✓
? Camera Optimization	3.91% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
? Matching	median of 27697.6 matches per calibrated image	✓
? Georeferencing	yes, 6 GCPs (6 3D), mean RMS error = 0.057 m	⚠

? Preview i

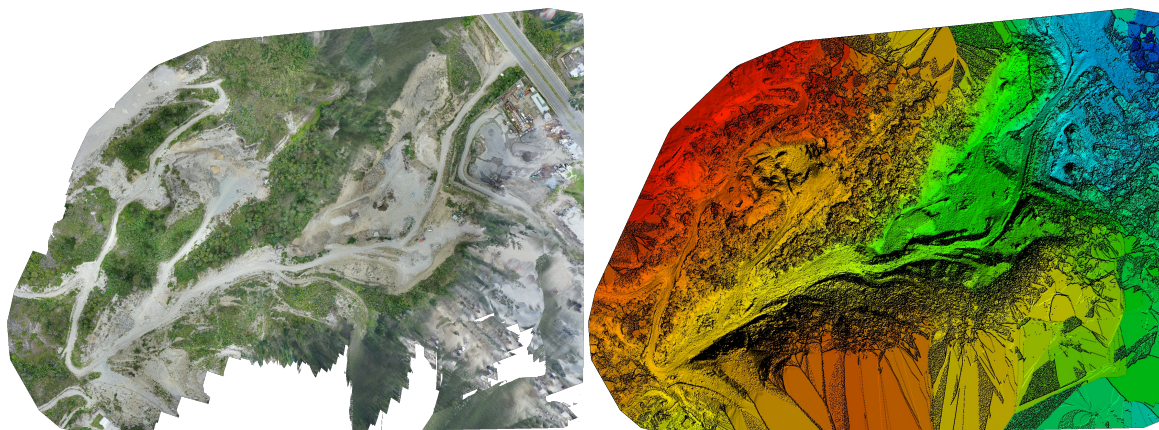


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details i

Number of Calibrated Images	450 out of 450
Number of Geolocated Images	450 out of 450

Initial Image Positions

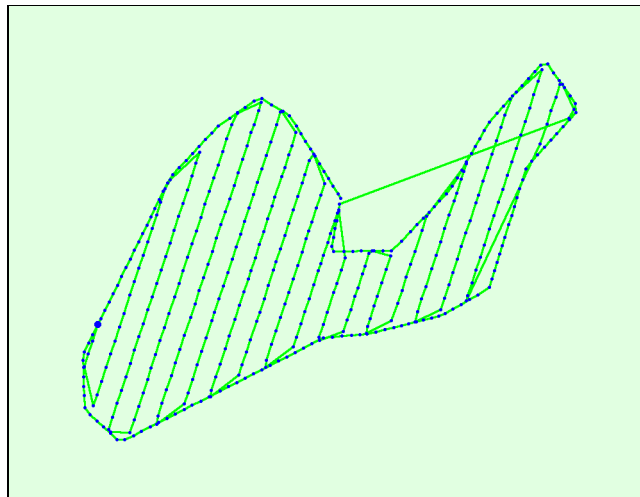
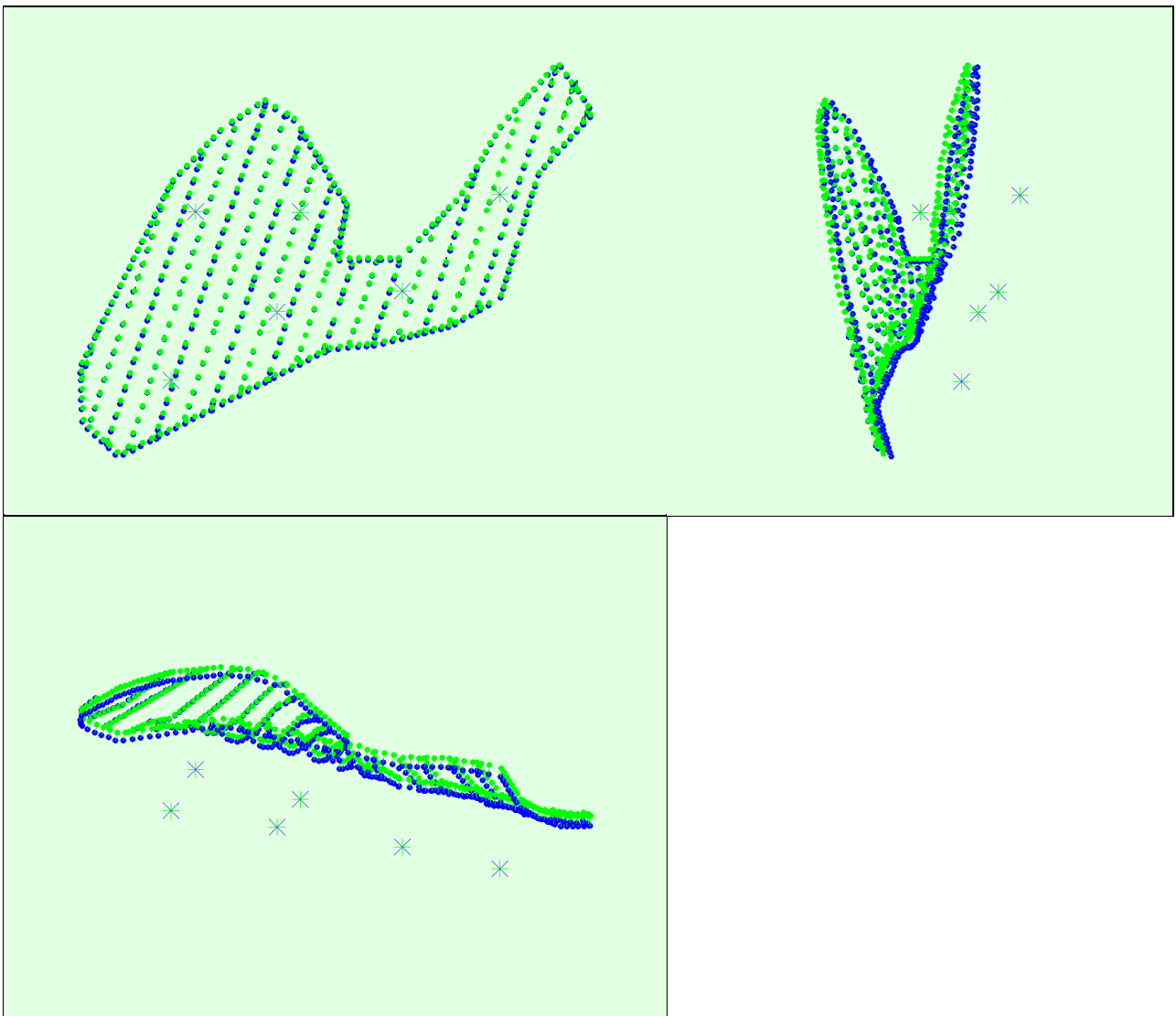


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 100x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

🔍 Absolute camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.012	0.020	0.010	0.011	0.006	0.005	0.005	0.005	0.011
Sigma	0.004	0.010	0.003	0.006	0.003	0.002	0.001	0.001	0.004

🔍 Overlap

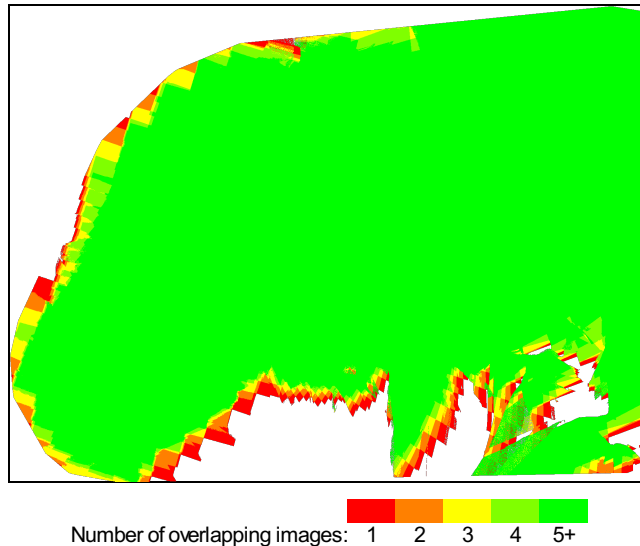


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	11944977
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	3634066
Mean Reprojection Error [pixels]	0.171

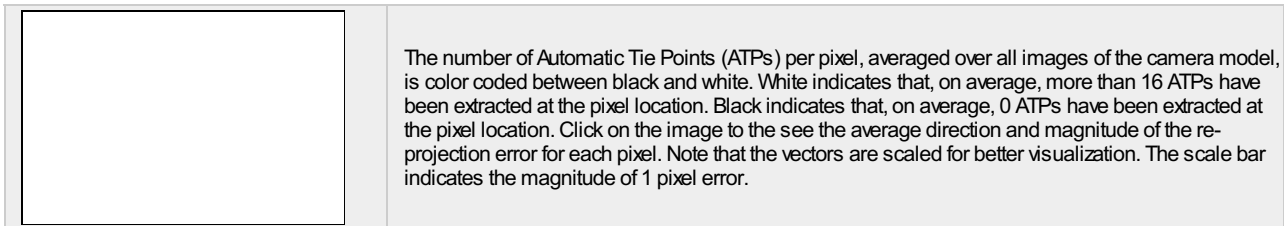
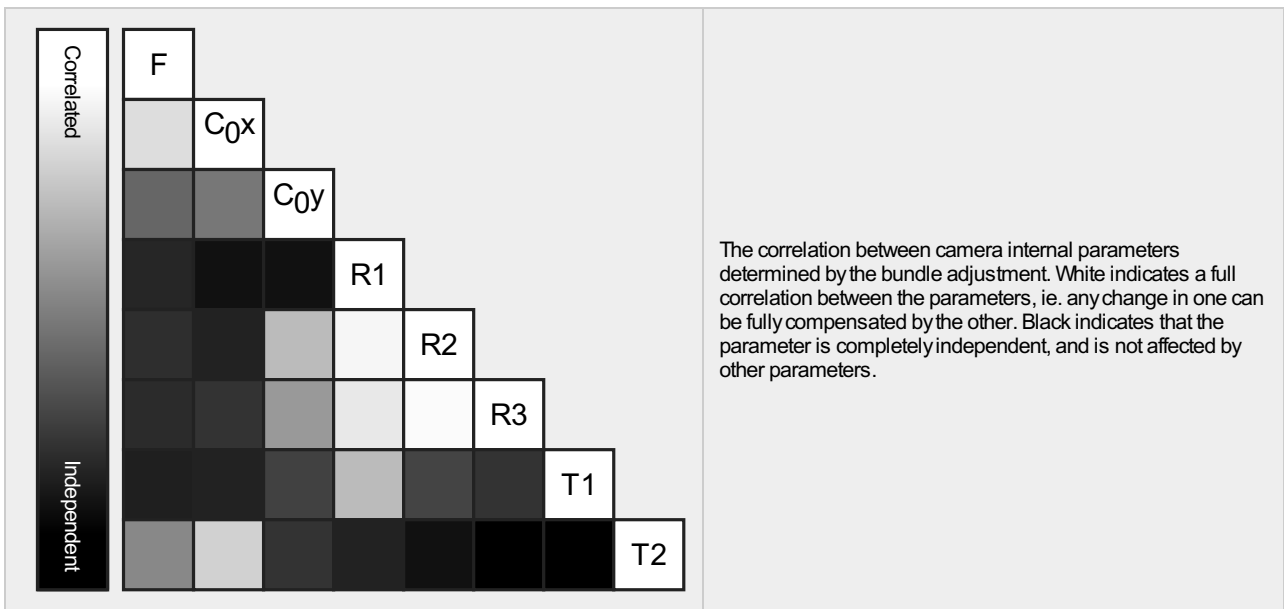
🔍 Internal Camera Parameters

📷 L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]



EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2736.000 [pixel] 6.412 [mm]	1824.000 [pixel] 4.275 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4295.667 [pixel] 10.068 [mm]	2710.690 [pixel] 6.353 [mm]	1786.287 [pixel] 4.187 [mm]	-0.006	0.017	-0.020	-0.002	-0.001
Uncertainties (Sigma)	0.173 [pixel] 0.000 [mm]	0.090 [pixel] 0.000 [mm]	0.188 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	73761	27698
Mn	48044	4500
Max	83243	41078
Mean	71021	26544

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	2219204
In 3 Images	603298
In 4 Images	274382
In 5 Images	153479
In 6 Images	97976
In 7 Images	66731
In 8 Images	47526
In 9 Images	34836
In 10 Images	26329
In 11 Images	19785
In 12 Images	15462
In 13 Images	12314
In 14 Images	9937
In 15 Images	7916
In 16 Images	6506
In 17 Images	5708
In 18 Images	4608
In 19 Images	3979
In 20 Images	3295
In 21 Images	2872
In 22 Images	2362
In 23 Images	2154

In 24 Images	1773
In 25 Images	1580
In 26 Images	1344
In 27 Images	1133
In 28 Images	945
In 29 Images	830
In 30 Images	778
In 31 Images	637
In 32 Images	556
In 33 Images	520
In 34 Images	434
In 35 Images	364
In 36 Images	346
In 37 Images	292
In 38 Images	237
In 39 Images	228
In 40 Images	169
In 41 Images	164
In 42 Images	138
In 43 Images	133
In 44 Images	92
In 45 Images	76
In 46 Images	73
In 47 Images	70
In 48 Images	58
In 49 Images	57
In 50 Images	47
In 51 Images	38
In 52 Images	37
In 53 Images	31
In 54 Images	23
In 55 Images	27
In 56 Images	22
In 57 Images	22
In 58 Images	13
In 59 Images	20
In 60 Images	7
In 61 Images	10
In 62 Images	7
In 63 Images	3
In 64 Images	11
In 65 Images	12
In 66 Images	7
In 67 Images	3
In 68 Images	6
In 69 Images	6
In 70 Images	2
In 71 Images	2
In 72 Images	1
In 73 Images	2
In 74 Images	4
In 75 Images	4
In 76 Images	2
In 77 Images	5
In 78 Images	1
In 79 Images	1
In 81 Images	1
In 82 Images	3

2D Keypoint Matches

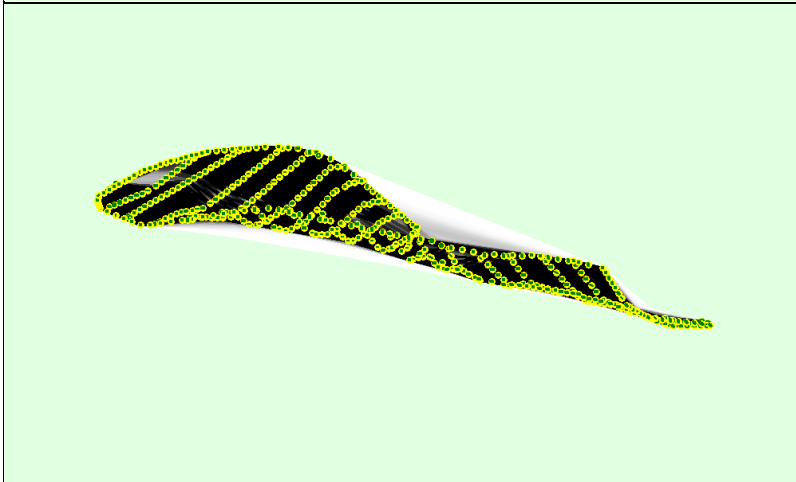
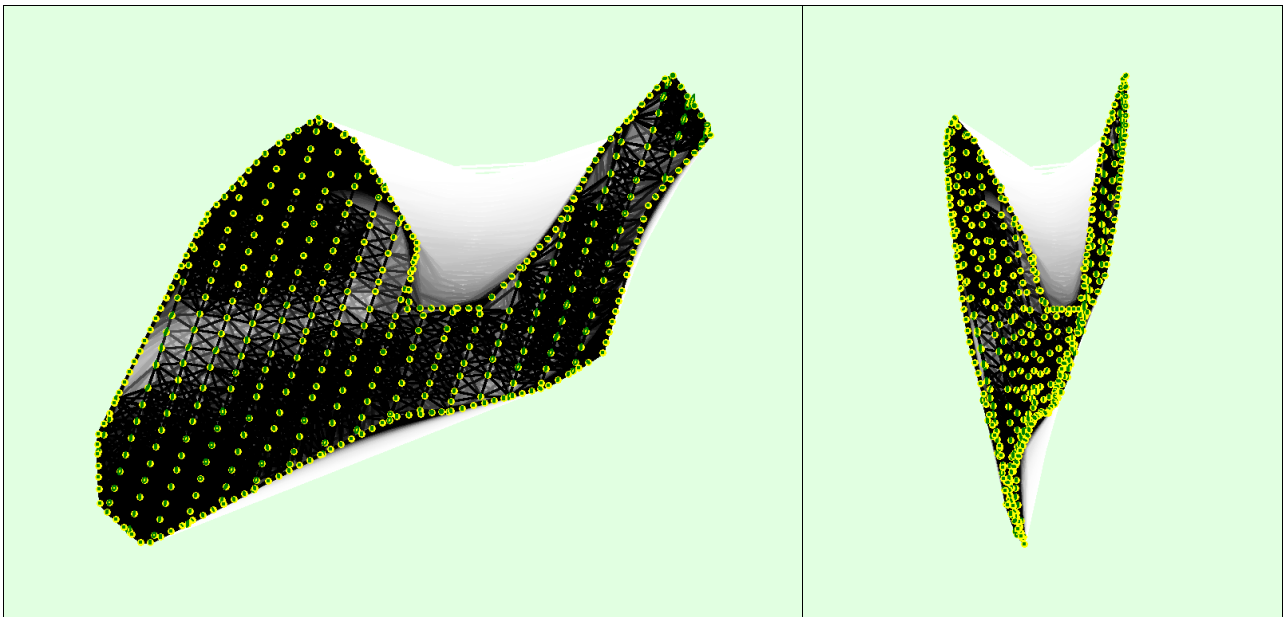


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.012	0.019	0.009	0.011	0.006	0.005	0.005	0.005	0.011
Sigma	0.004	0.009	0.004	0.006	0.003	0.002	0.001	0.001	0.004

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z[m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
ptc1 (3D)	0.020/0.020	0.047	0.047	0.024	0.351	34 / 34
ptc2 (3D)	0.020/0.020	0.044	0.016	-0.058	0.474	51 / 51

ptc3 (3D)	0.020/0.020	0.015	0.011	-0.063	0.379	81 / 81
ptc4 (3D)	0.020/0.020	-0.126	-0.118	0.099	0.395	88 / 88
ptc5 (3D)	0.020/0.020	0.034	0.028	-0.032	0.393	94 / 94
ptc6 (3D)	0.020/0.020	-0.010	0.019	0.027	0.315	35 / 35
Mean [m]		0.000602	0.000389	-0.000550		
Sigma [m]		0.060014	0.054220	0.056989		
RMS Error [m]		0.060017	0.054221	0.056992		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

? Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	30.67
-3.00	0.00	55.78	52.89	37.78
0.00	3.00	44.22	46.89	3.33
3.00	6.00	0.00	0.22	3.11
6.00	9.00	0.00	0.00	25.11
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.726286	-2.527450	-7.395485
Sigma [m]		0.779747	1.401888	4.362381
RMS Error [m]		1.065596	2.890206	8.586242

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.726286	-2.527450	-7.395485

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

? Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	2.167
Phi	2.237
Kappa	3.975

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

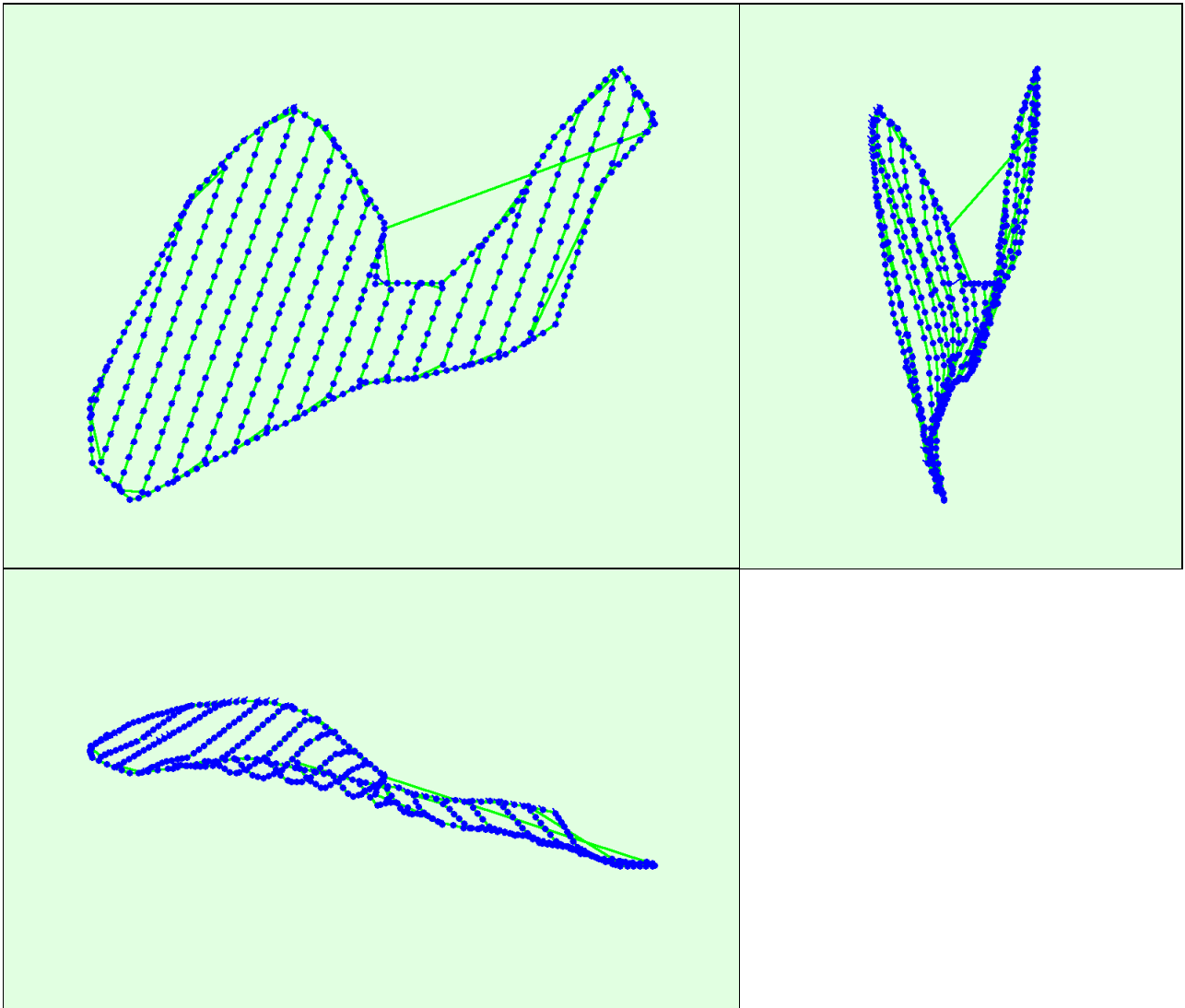


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	6.1779 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.3268 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	55.0783 [ms]

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz RAM: 16GB GPU: NVIDIA GeForce GTX 1660 Ti (Driver: 30.0.15.1179)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 17S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 17S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: yes
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	04h:49m:20s
Time for Point Cloud Classification	09m:09s
Time for 3D Textured Mesh Generation	34m:24s

Results



Number of Processed Clusters	2
Number of Generated Tiles	4
Number of 3D Densified Points	46694421
Average Density (per m ³)	194.48

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.64 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: yes
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (2.64 [cm/pixel])

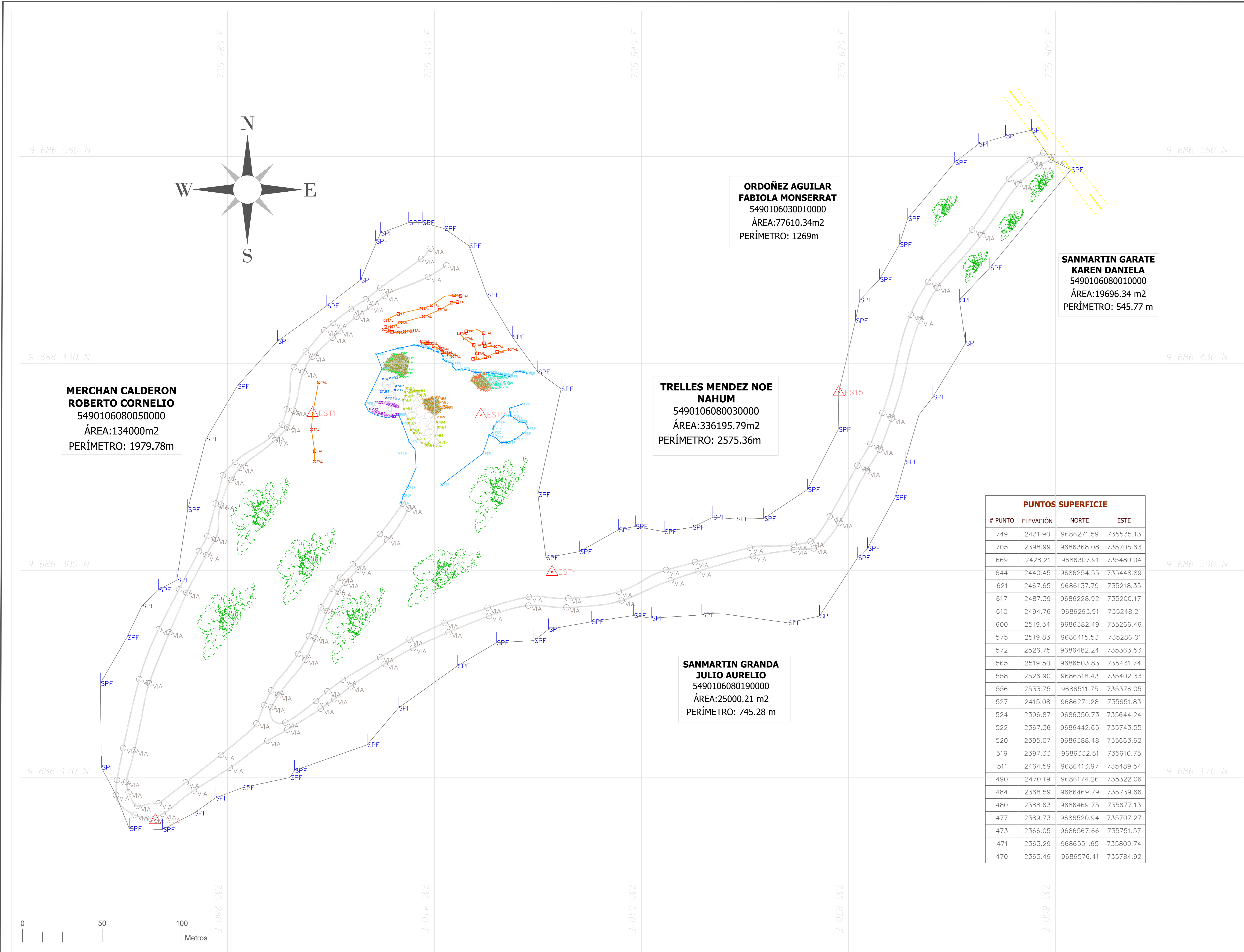
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 1 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 20
Time for DSM Generation	30m:26s
Time for Orthomosaic Generation	01h:26m:39s
Time for DTM Generation	07m:37s
Time for Contour Lines Generation	05s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Anexo 2

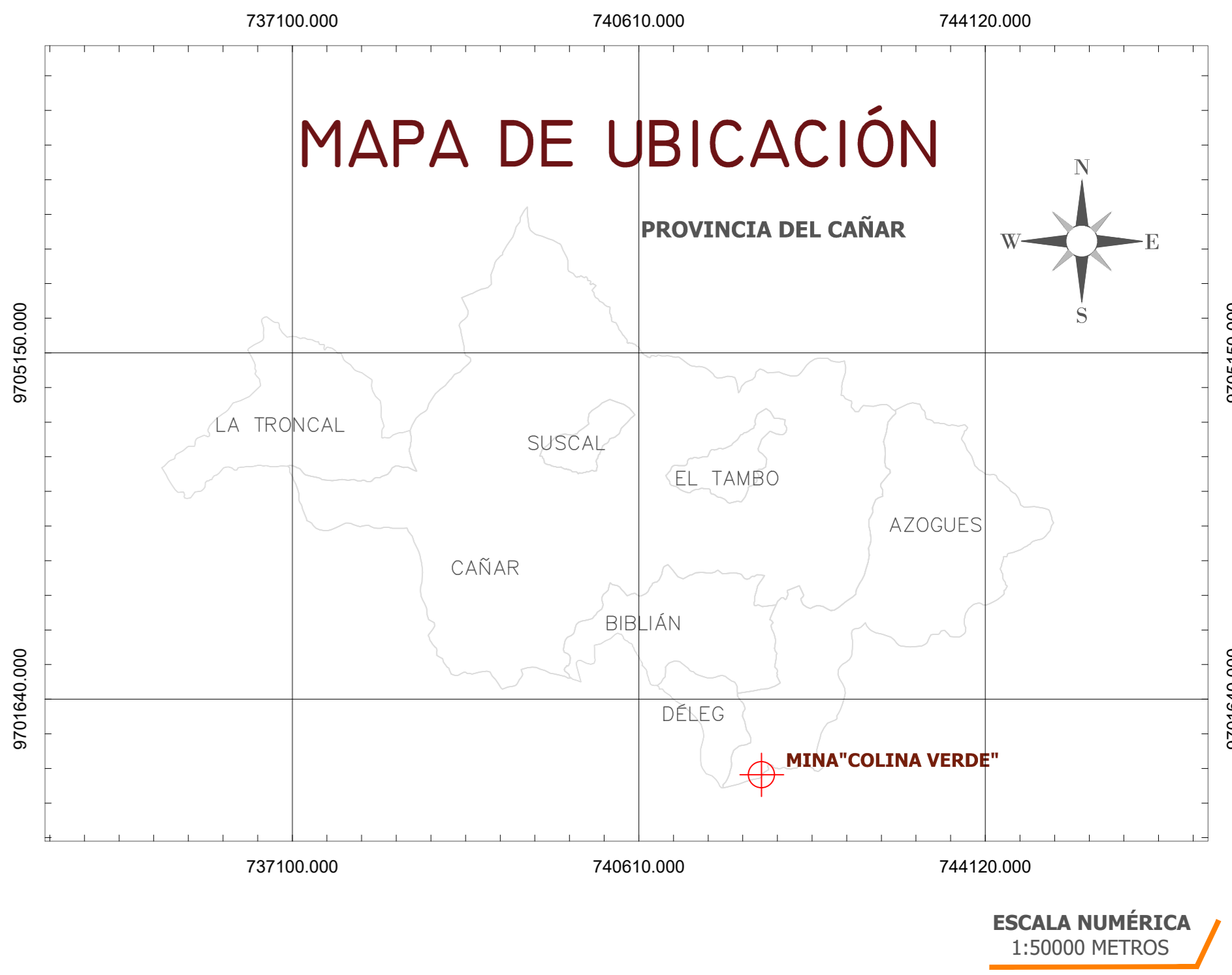
Plano Planimétrico

(Estación Total)

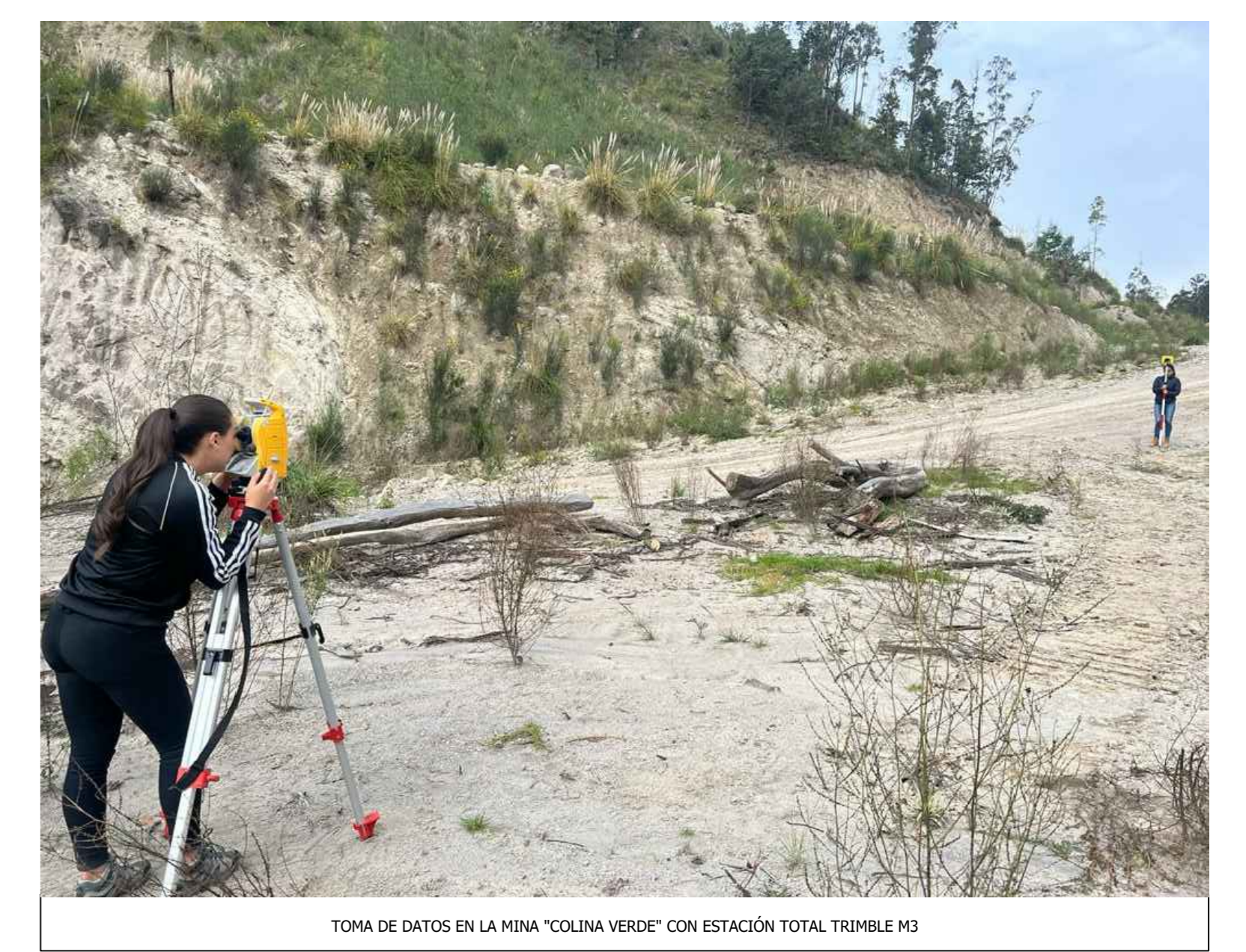
PLANO PLANIMÉTRICO DE LA MINA "COLINA VERDE"



PUNTOS SUPERFICIE			
# PUNTO	ELEVACIÓN	NORTE	ESTE
749	2431.90	9686271.59	735535.13
705	2398.99	9686368.08	735705.63
669	2428.21	9686307.91	735480.04
644	2440.45	9686254.55	735448.89
621	2467.65	9686137.79	735218.35
617	2487.39	9686228.92	735200.17
610	2494.76	9686293.91	735248.21
600	2519.34	9686382.49	735266.46
575	2519.83	9686415.53	735286.01
572	2526.75	9686482.24	735363.53
565	2519.50	9686503.83	735431.74
558	2526.90	9686518.43	735402.33
556	2533.75	9686511.75	735376.05
527	2415.08	9686271.28	735651.83
524	2396.87	9686350.73	735644.24
522	2367.36	9686442.65	735743.55
520	2395.07	9686388.48	735663.62
519	2397.33	9686332.51	735616.75
511	2464.59	9686413.97	735489.54
490	2470.19	9686174.26	735322.06
484	2368.59	9686469.79	735739.66
480	2388.63	9686469.75	735677.13
477	2389.73	9686520.94	735707.27
473	2366.05	9686567.66	735751.57
471	2363.29	9686551.65	735809.74
470	2363.49	9686576.41	735784.92



LEYENDA			
	VEGETACIÓN		POLÍGONO DE LA ZONA DE ESTUDIO
	VÍAS DE ACCESO		VÍA RÁPIDA AZOGUES-CUENCA
	TALUD		PERFIL MINERO
	MATERIAL ROCOSO		MATERIAL SUELTO
	PUNTO VÍA		PUNTO SUPERFICIE
	PUNTO TALUD		UBICACIÓN ESTACIÓN TOTAL
	PUNTOS PERFIL MINERO		VOLUMEN 1
	VOLUMEN 2		VOLUMEN 3
	VOLUMEN 4		VOLUMEN 5
	VOLUMEN 6		VOLUMEN 7



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA CAMPUS AZOGUES - FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

PLANO PLANIMÉTRICO DE LA MINA "COLINA VERDE" POR LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL

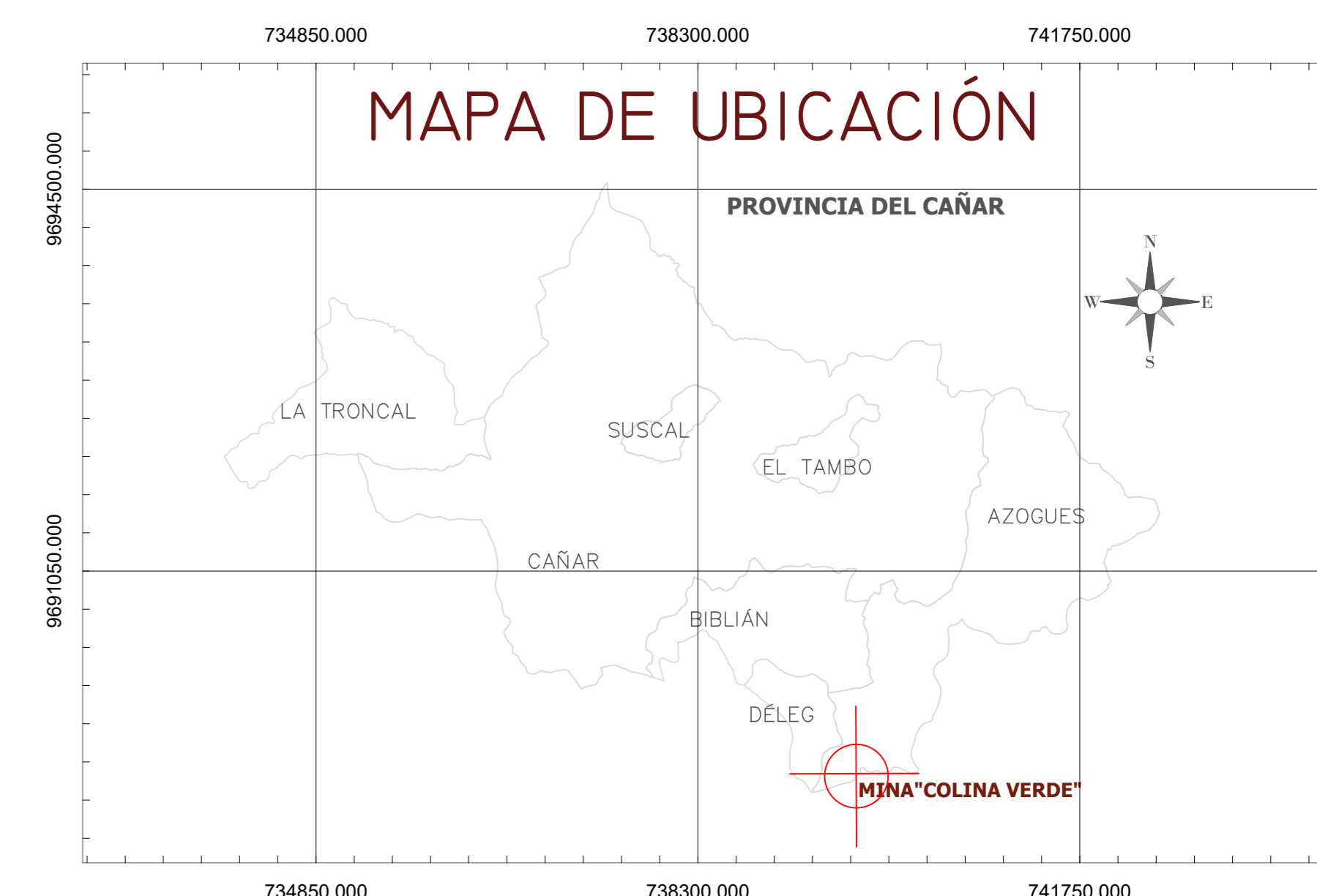
UNIDADES: metros	SISTEMA DE COORDENADAS : WGS-84 ZONA 17S	ELABORADO POR: MÓNICA DANIELA QUEZADA CALLE	LÁMINA NÚMERO: 1 / 10
ESCALA: 1:900	ÁREA DEL POLÍGONO DE ESTUDIO: 91505.98 m ² - 9.15 ha.	FECHA: 22/07/2022	
UBICACIÓN: PARTE ALTA DE LA PARROQUIA JAVIER LOYOLA, CANTÓN AZOGUES, MUY CERCA AL LÍMITE ENTRE LAS PROVINCIAS DE AZUAY CAÑAR.		PROPIETARIO: TRELLES MENDEZ NOE NAHUM	REVISADO POR: ING. VICENTE EMMANUEL ORTEGA CÁRDENAS

Anexo 3

Plano Altimétrico

(Estación Total)

PLANO ALTIMÉTRICO DE LA MINA "COLINA VERDE"



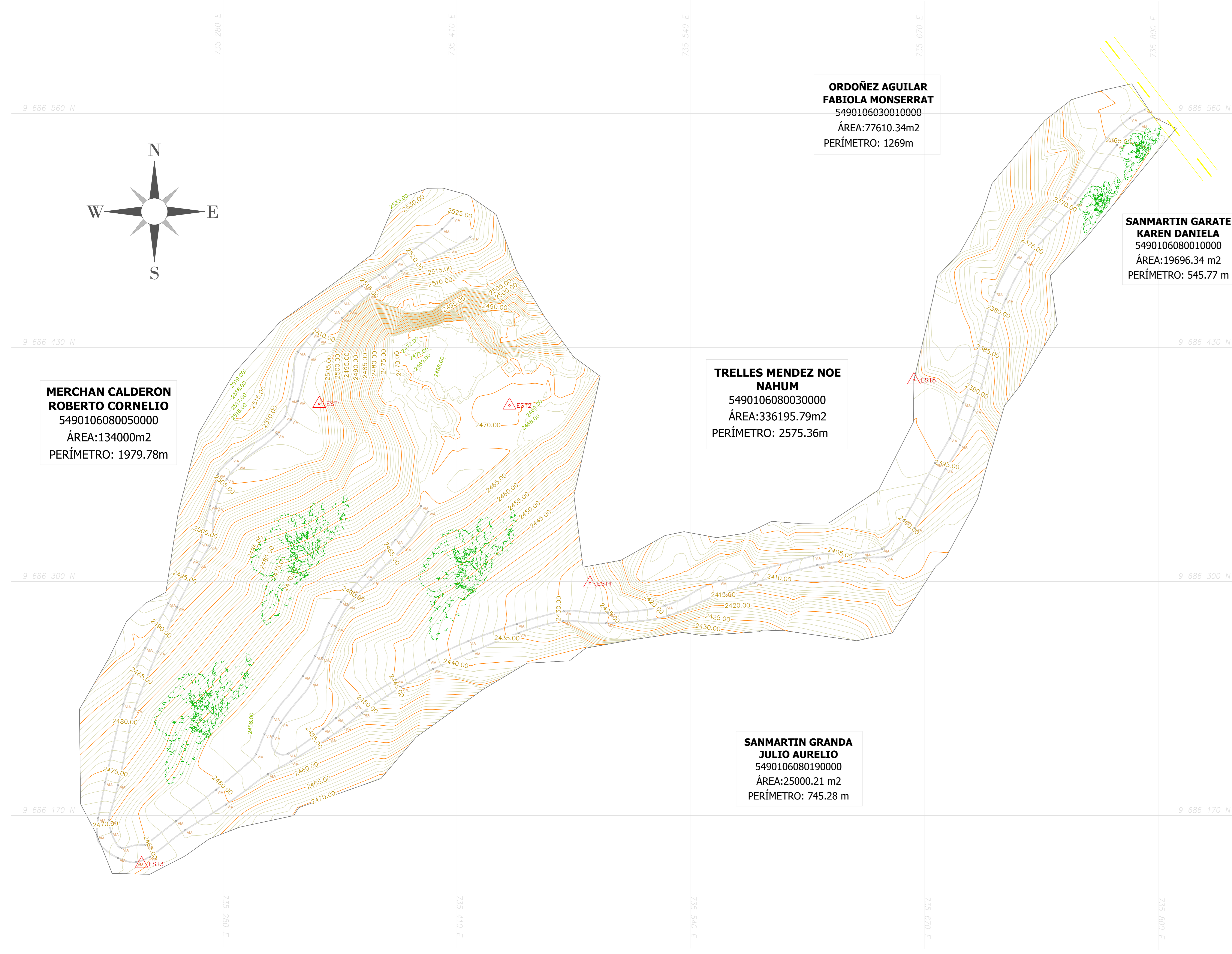
ESCALA NUMÉRICA
1:50000 METROS

LEYENDA

	VEGETACIÓN		VÍA RÁPIDA AZOGUES-CUENCA
	VÍAS DE ACCESO		POLÍGONO DE LA ZONA DE ESTUDIO
	UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN TOTAL		CURVAS DE NIVEL PRINCIPALES CADA CINCO METROS
	CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS CADA METRO		PUNTO VÍAS

EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO SE REALIZÓ CON EL EQUIPO CONOCIDO COMO ESTACIÓN TOTAL TRIMBLE M3 DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES. EL TIEMPO DE EJECUCIÓN CON UN TOPOGRAFO Y DOS CADENEROS DEL PRISMA FUE DE 2 DÍAS LABORABLES, CON LAS SIGUIENTES OBSERVACIONES:

1. PARA EJECUTAR LAS MEDICIONES SE ESTABLECIERON 5 PUNTOS ESTRATÉGICOS PARA COLOCAR LA ESTACIÓN TOTAL, DESDE LOS CUALES SE EXTENDÍA LA TOMA DE DATOS.
2. EN LA MINA EXPLOTADA EXISTIERON ZONAS INACCESIBLES PARA LOS CADENEROS DEBIDO QUE, PRESENTA ALTAS PENDIENTES EN LOS TALUDES Y POR LO TANTO, HUBO UNA FALTA DE INFORMACIÓN OBLIGATORIA PARA MONITOREAR LAS FASES MINERAS.
3. EN LAS ÁREAS DE VEGETACIÓN NO SE PUDIERON TOMAR LOS PUNTOS NECESARIOS PARA UNA TOPOGRAFÍA PRECISA, PORQUE SON ZONAS MUY DENSAS Y PELIGROSAS POR LA PRESENCIA DE PLANTAS TANTO ESPINOSAS COMO CORTANTES.
4. PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS EN GABINETE SE USÓ CIVIL CAD 3D 2020, EN DONDE SE PUDO EVIDENCIAR QUE EXISTEN ERRORES EN EL PROCESAMIENTO DEL MODELO TOPOGRÁFICO POR LOS INCOVENIENTES EXPUESTOS EN LOS PUNTOS ANTERIORES.



**ORDÓÑEZ AGUILAR
FABIOLA MONSERRAT**
5490106030010000
ÁREA: 77610.34m²
PERÍMETRO: 1269m

**SANMARTIN GARATE
KAREN DANIELA**
5490106080010000
ÁREA: 19696.34 m²
PERÍMETRO: 545.77 m

**TRELLES MENDEZ NOE
NAHUM**
5490106080030000
ÁREA: 336195.79m²
PERÍMETRO: 2575.36m

**MERCHAN CALDERON
ROBERTO CORNELIO**
5490106080050000
ÁREA: 13400m²
PERÍMETRO: 1979.78m

**SANMARTIN GRANDA
JULIO AURELIO**
5490106080190000
ÁREA: 25000.21 m²
PERÍMETRO: 745.28 m

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA CAMPUS AZOGUES - FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

PLANO ALTIMÉTRICO DE LA MINA "COLINA VERDE" POR LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL

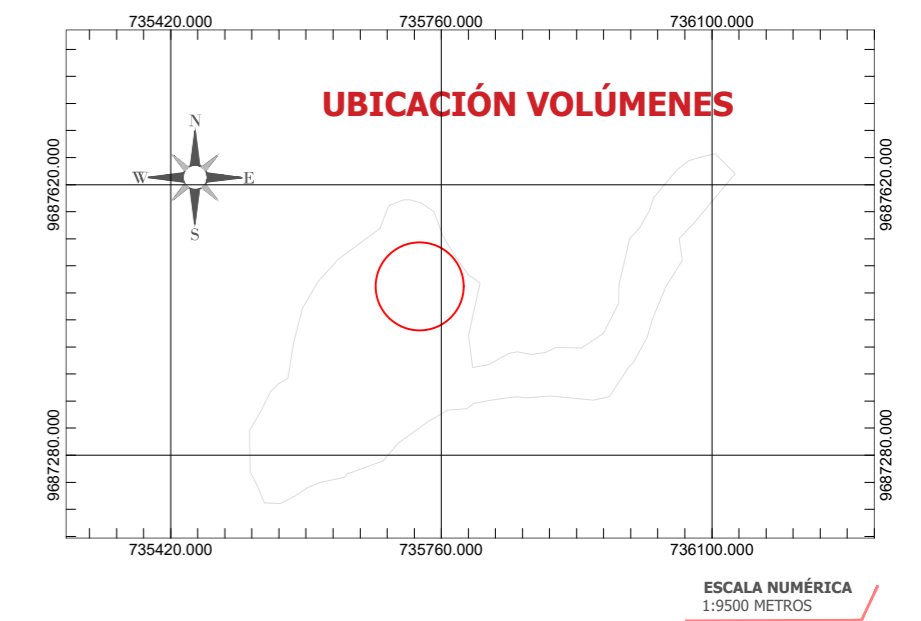
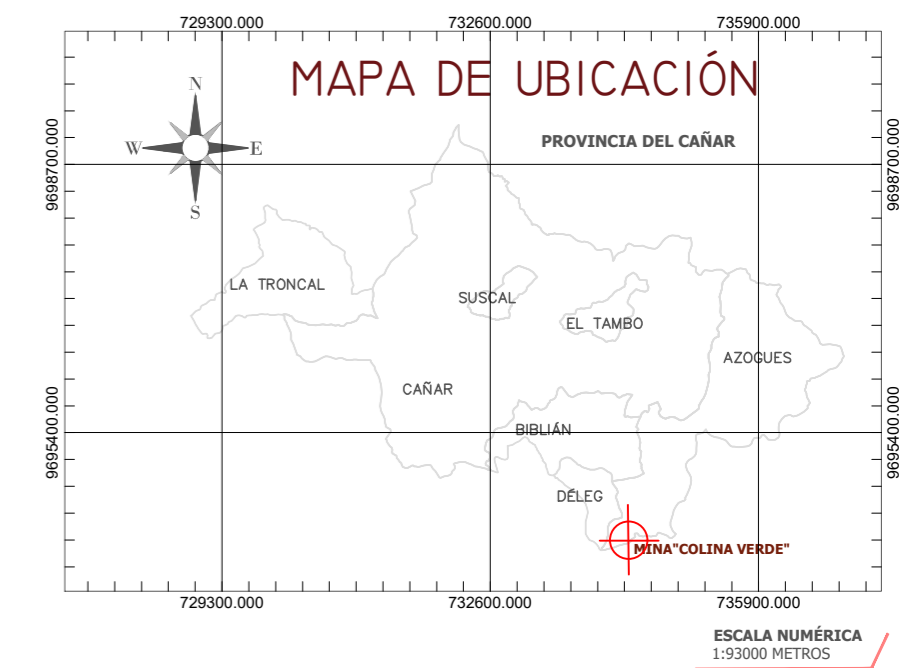
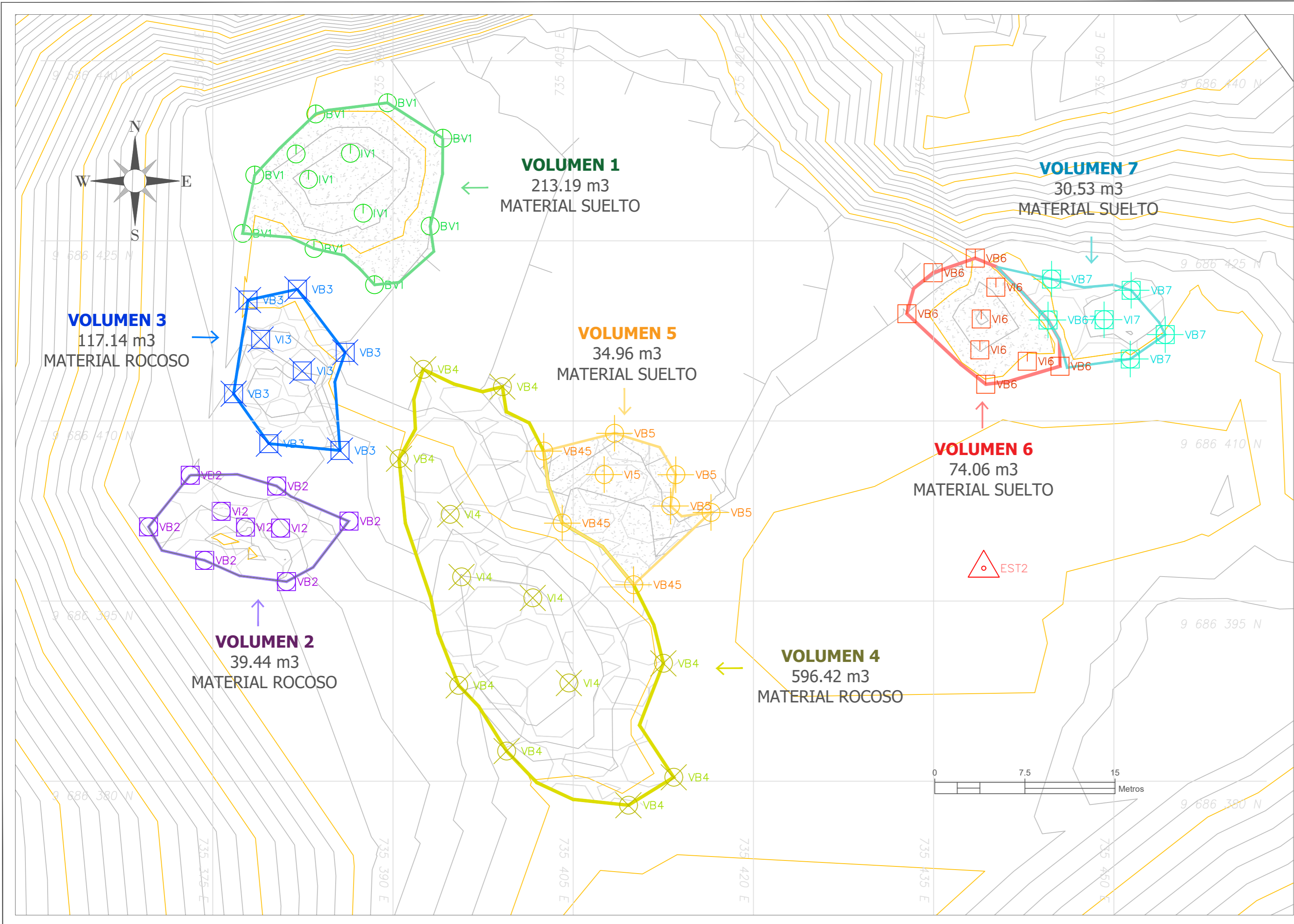
UNIDADES: metros	SISTEMA DE COORDENADAS : WGS-84 ZONA 17S		ELABORADO POR: MÓNICA DANIELA QUEZADA CALLE	LÁMINA NÚMERO: 2 / 10
ESCALA: 1:900	ÁREA DEL POLÍGONO DE ESTUDIO: 91505.98 m ² - 9.15ha.	FECHA: 28/07/2022		
UBICACIÓN: PARTE ALTA DE LA PARROQUIA JAVIER LOYOLA, CANTÓN AZOGUES, MUY CERCA AL LÍMITE ENTRE LAS PROVINCIAS DE AZUAY CAÑAR.		PROPIETARIO: TRELLES MENDEZ NOE NAHUM	REVISADO POR: ING. VICENTE EMMANUEL ORTEGA CÁRDENAS	

Anexo 4

Plano de Volúmenes

(Estación Total)

VOLÚMENES EXISTENTES EN LA MINA "COLINA VERDE"



LEYENDA			
	VÍAS DE ACCESO		UBICACIÓN ESTACIÓN TOTAL
	MATERIAL ROCOSO		MATERIAL SUELTO
	PUNTO VOLUMEN1		PUNTO VOLUMEN2
	PUNTO VOLUMEN3		PUNTO VOLUMEN4
	PUNTO VOLUMEN5		PUNTO VOLUMEN6
	PUNTO VOLUMEN7		SUPERFICIE VOLUMEN 1
	SUPERFICIE VOLUMEN 2		SUPERFICIE VOLUMEN 3
	SUPERFICIE VOLUMEN 4		SUPERFICIE VOLUMEN 5
	SUPERFICIE VOLUMEN 6		SUPERFICIE VOLUMEN 7

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES - FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

PLANO DE VOLÚMENES DE LA MINA "COLINA VERDE" POR LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL

UNIDADES: metros	SISTEMA DE COORDENADAS : WGS-84 ZONA 17S		ELABORADO POR: MÓNICA DANIELA QUEZADA CALLE	LÁMINA NÚMERO: 3 / 10
ESCALA: 1:250	ÁREA DEL POLÍGONO DE ESTUDIO: 91505.98 m ² - 9.15 ha.	FECHA: 02/08/2022	REVISADO POR: ING. VICENTE EMMANUEL ORTEGA CÁRDENAS	
UBICACIÓN: PARTE ALTA DE LA PARROQUIA JAVIER LOYOLA, CANTÓN AZOGUES, MUY CERCA AL LÍMITE ENTRE LAS PROVINCIAS DEL AZUAY Y CAÑAR.				

Anexo 5

Plano de Perfil 1

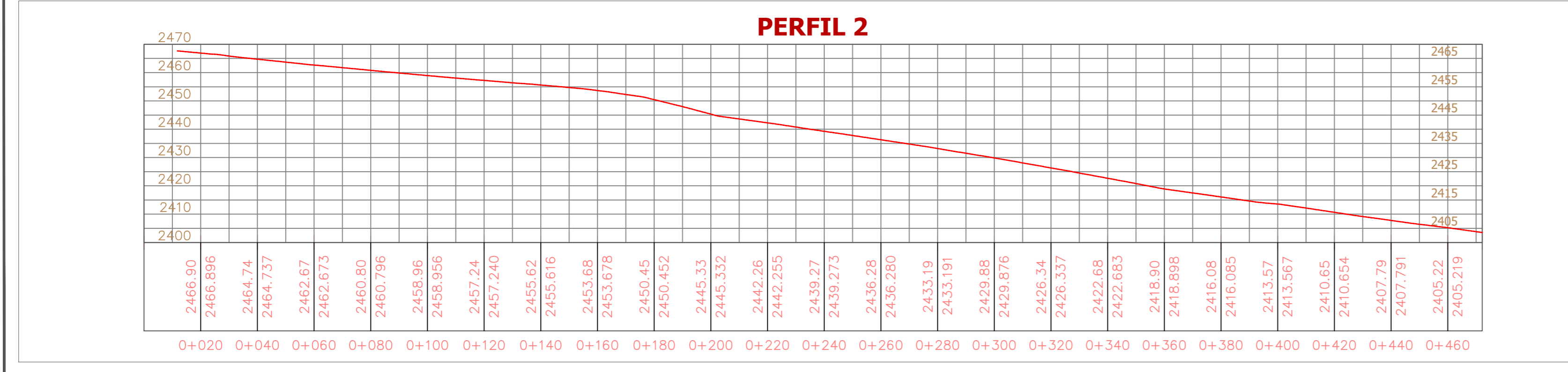
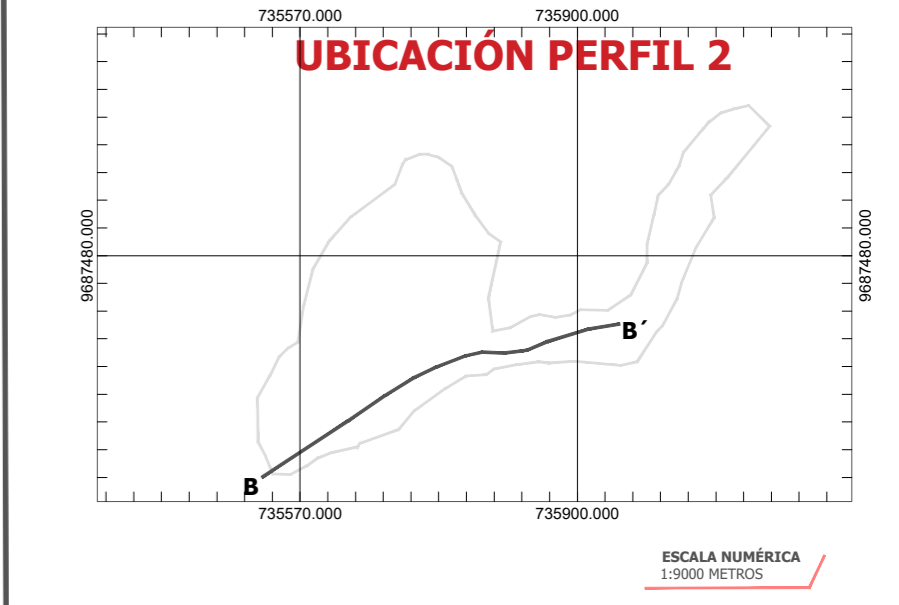
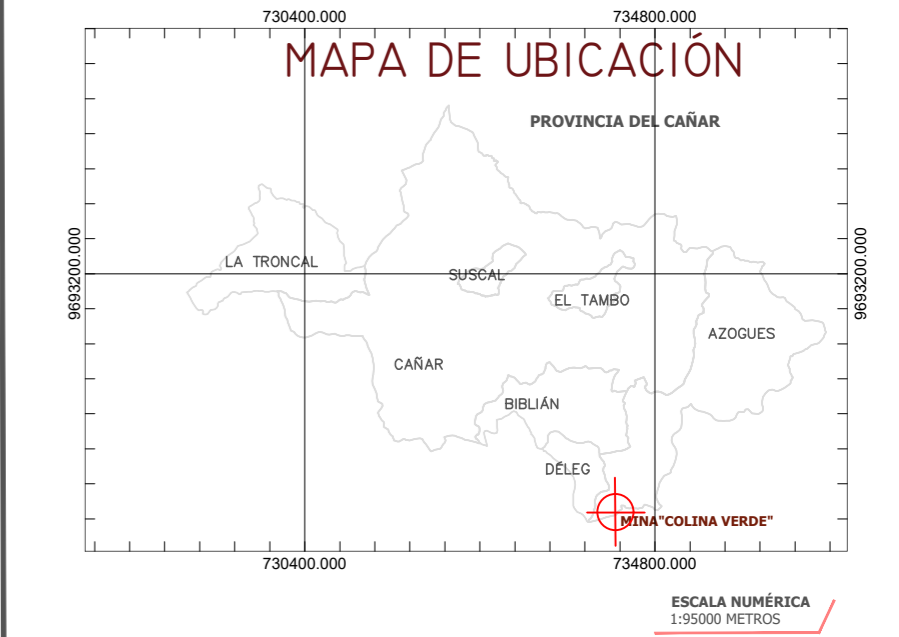
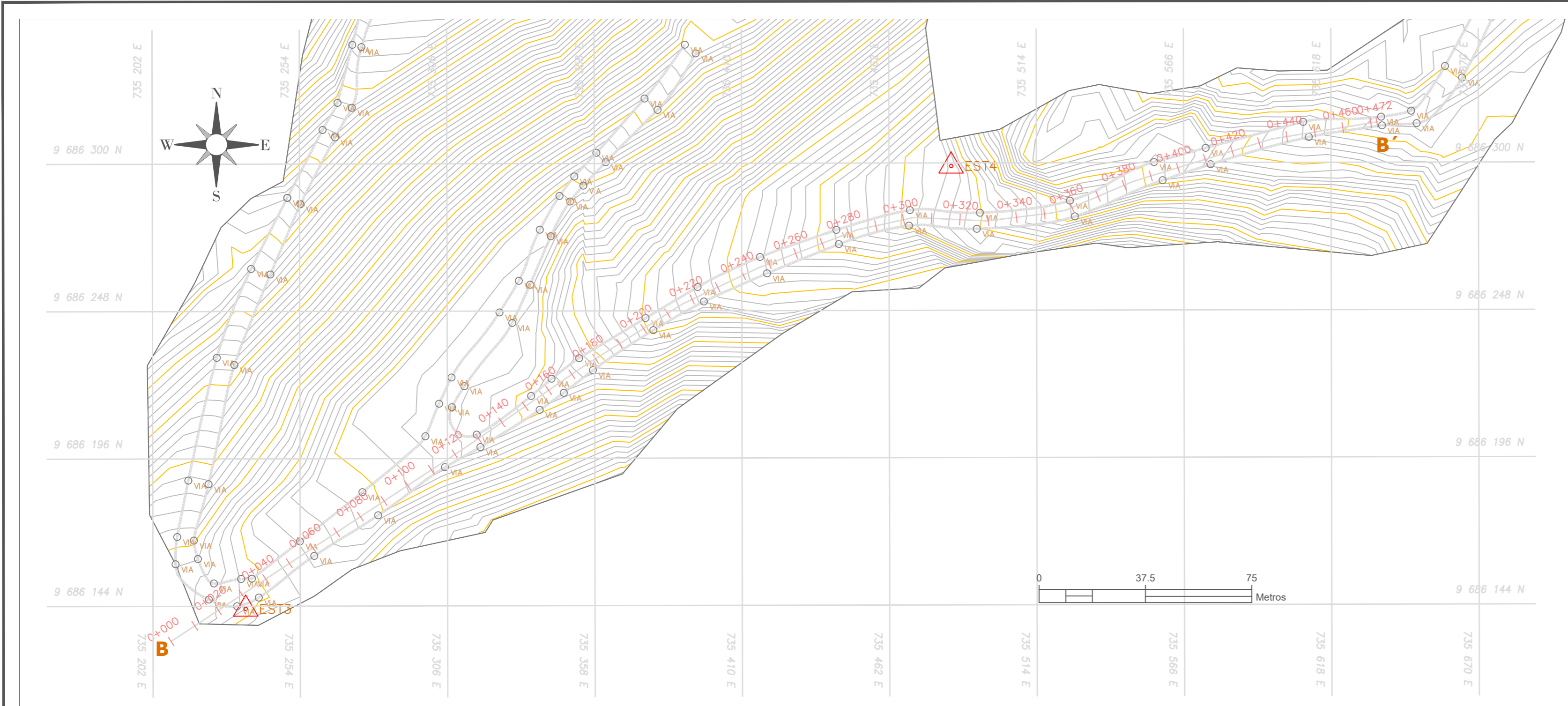
(Estación Total)

Anexo 6

Plano de Perfil 2

(Estación Total)

PERFIL 2 MINA "COLINA VERDE"



LEYENDA

	VÍAS DE ACCESO		UBICACIÓN ESTACIÓN TOTAL
	POLÍGONO DE LA ZONA DE ESTUDIO		ALINEACIÓN B-B'
	PUNTOS VIA		CURVA DE NIVEL PRINCIPAL CADA CINCO METROS
	CURVA DE NIVEL SECUNDARIA CADA METRO		

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES - FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

PERFIL VIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO "COLINA VERDE" POR LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL

UNIDADES: metros	SISTEMA DE COORDENADAS : WGS-84 ZONA 17S	ELABORADO POR: MÓNICA DANIELA QUEZADA CALLE	LÁMINA NÚMERO: 5 / 10
ESCALA: 1:1250	ÁREA DEL POLÍGONO DE ESTUDIO: 91505.98 m ²	FECHA: 03/08/2022	
UBICACIÓN: PARTE ALTA DE LA PARROQUIA JAVIER LOYOLA, CANTÓN AZOGUES, MUY CERCA AL LÍMITE ENTRE LAS PROVINCIAS DEL AZUAY Y CAÑAR.			
			REVISADO POR: ING. VICENTE EMMANUEL ORTEGA CÁRDENAS

Anexo 7

Plano Planimétrico (Aerofotogrametría)

PLANO PLANIMÉTRICO DE LA MINA "COLINA VERDE"



ESCALA NUMÉRICA
1:50000 METROS

LEYENDA			
	VIA RÁPIDA AZOGUES-CUENCA		POLIGONO DE LA ZONA DE ESTUDIO
	VÍAS DE ACCESO		PUNTOS DE CONTROL
	VEHÍCULOS LIVIANOS		MAQUINARIA PESADA
	CABLEADO ELÉCTRICO		VEHÍCULOS PESADOS
	VOLÚMENES		



**MERCHAN CALDERON
ROBERTO CORNELIO**
5490106080050000
ÁREA:13400m2
PERÍMETRO: 1979.78m

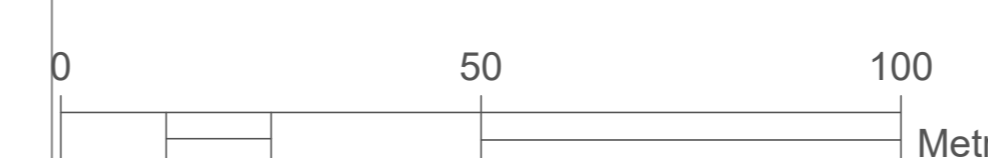
**ORDOÑEZ AGUILAR
FABIOLA MONSERRAT**
5490106030010000
ÁREA:77610.34m2
PERÍMETRO: 1269m

**TRELLES MENDEZ NOE
NAHUM**
5490106080030000
ÁREA:336195.79m2
PERÍMETRO: 2575.36m

**SANMARTIN GARATE
KAREN DANIELA**
5490106080010000
ÁREA:19696.34 m2
PERÍMETRO: 545.77 m

**SANMARTIN GRANDA
JULIO AURELIO**
5490106080190000
ÁREA:25000.21 m2
PERÍMETRO: 745.28 m

TABLA PUNTOS DE CONTROL				
NÚMERO DE PUNTO	ELEVACIÓN	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
2	2508.46	9686410.94	735323.78	GCP1
3	2456.65	9686198.12	735292.69	GCP2
4	2470.62	9686410.28	735455.00	GCP3
6	2436.38	9686284.40	735425.79	GCP4
9	2410.87	9686310.85	735583.59	GCP5
12	2383.20	9686432.39	735705.99	GCP6



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA CAMPUS AZOGUES - FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

PLANO PLANIMÉTRICO DE LA MINA "COLINA VERDE" MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA CON SISTEMA RTK



UNIDADES: metros	SISTEMA DE COORDENADAS : WGS-84 ZONA 17S	ELABORADO POR: MÓNICA DANIELA QUEZADA CALLE	LÁMINA NÚMERO: 6 / 10
ESCALA: 1:900	ÁREA DEL POLÍGONO DE ESTUDIO: 141621.759 m2 - 14.77 ha.	FECHA: 04/08/2022	
UBICACIÓN: PARTE ALTA DE LA PARROQUIA JAVIER LOYOLA, CANTÓN AZOGUES, MUY CERCA AL LÍMITE ENTRE LAS PROVINCIAS DE AZUAY CAÑAR.			

REVISADO POR: ING. VICENTE EMMANUEL ORTEGA CÁRDENAS

Anexo 8

Plano Altimétrico

(Aerofotogrametría)

PLANO ALTIMÉTRICO DE LA MINA "COLINA VERDE"



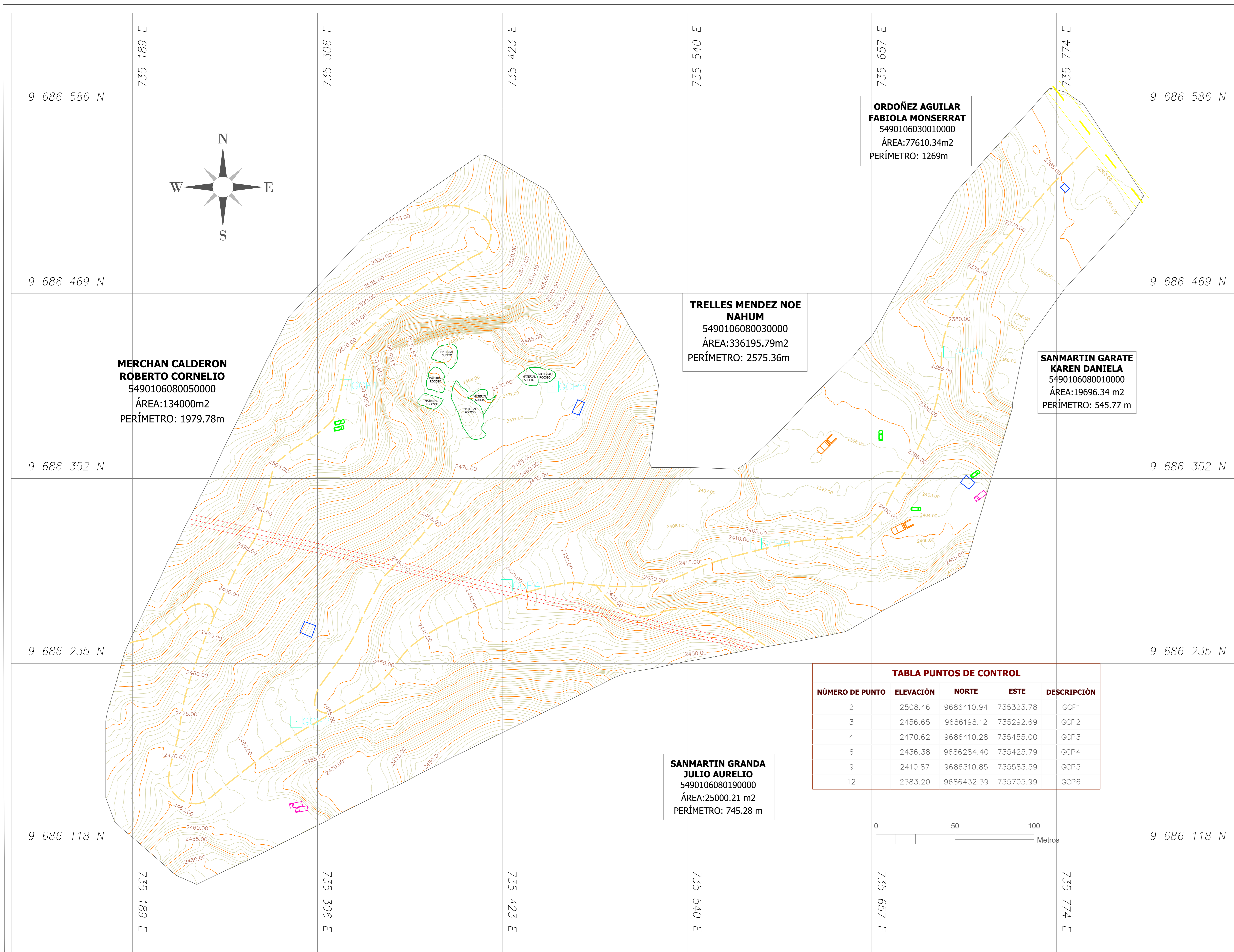
ESCALA NUMÉRICA
1:50000 METROS

LEYENDA

	VÍA RÁPIDA AZOGUES-CUENCA		POLÍGONO DE LA ZONA DE ESTUDIO
	VÍAS DE ACCESO		PUNTOS DE CONTROL
	VEHÍCULOS LIVIANOS		MAQUINARIA PESADA
	CABLEADO ELÉCTRICO		VEHÍCULOS PESADOS
	VOLÚMENES		INFRAESTRUCTURA
	CURVA DE NIVEL PRINCIPAL CADA CINCO METROS		CURVA DE NIVEL SECUNDARIA CADA METROS

EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO SE REALIZÓ CON EL MÉTODO CONOCIDO COMO AEROFOTOGRAMETRÍA CON SISTEMA RTK. LOS EQUIPOS USADOS FUERON FACILITADOS PARA CUMPLIR CON EL TRABAJO DE TITULACIÓN POR LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA CAMPUS AZOGUES EL TIEMPO DE EJECUCIÓN CON UN OPERADOR Y DOS AYUDANTES PARA EL DIBUJO DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN CAMPO FUE DE 3 HORAS CON BUENAS CONDICIONES CLIMÁTICAS, CON LAS SIGUIENTES OBSERVACIONES:

1. PARA OFRECER UN TRABAJO ÓPTIMO, EL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO SE ESTABLECIERON SEIS PUNTOS DE CONTROL (GCP) ESTRATÉGICOS DISTRIBUIDOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.
2. EL SISTEMA RTK FOIF A90, ES USADO PARA LA TOMA DE LOS DATOS DE LOS PUNTOS DE CONTROL. CABE MENCIONAR QUE EL RECEPTOR BASE ESTUVO ESTACIONADA 40MIN PARA TENER UNA CONEXIÓN DESEADA CON LOS SATÉLITES.
3. PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS EN GABINETE SE USÓ PARA GENERAR EL ORTOMOSAICO EL SOFTWARE PIX4Dmapper y CIVIL CAD 3D 2020 PARA LA GENERACIÓN DE LOS PLANOS.



**MERCHAN CALDERON
ROBERTO CORNELIO**
5490106080050000
ÁREA:13400m2
PERÍMETRO: 1979.78m

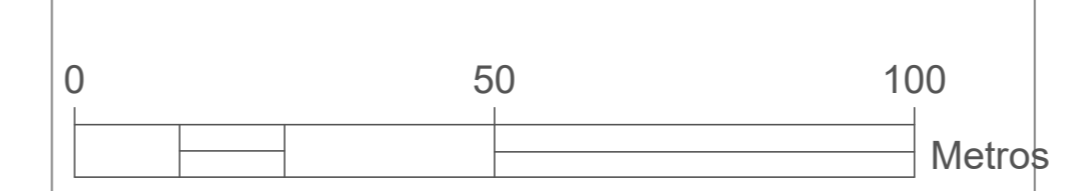
**ORDOÑEZ AGUILAR
FABIOLA MONSERRAT**
5490106030010000
ÁREA:77610.34m2
PERÍMETRO: 1269m

**TRELLES MENDEZ NOE
NAHUM**
5490106080030000
ÁREA:336195.79m2
PERÍMETRO: 2575.36m

**SANMARTIN GARATE
KAREN DANIELA**
5490106080010000
ÁREA:19696.34 m2
PERÍMETRO: 545.77 m

**SANMARTIN GRANDA
JULIO AURELIO**
5490106080190000
ÁREA:25000.21 m2
PERÍMETRO: 745.28 m

NÚMERO DE PUNTO	ELEVACIÓN	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
2	2508.46	9686410.94	735323.78	GCP1
3	2456.65	9686198.12	735292.69	GCP2
4	2470.62	9686410.28	735455.00	GCP3
6	2436.38	9686284.40	735425.79	GCP4
9	2410.87	9686310.85	735583.59	GCP5
12	2383.20	9686432.39	735705.99	GCP6



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA CAMPUS AZOGUES - FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

PLANO ALTIMÉTRICO DE LA MINA "COLINA VERDE" MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA CON SISTEMA RTK

UNIDADES: metros	SISTEMA DE COORDENADAS : WGS-84 ZONA 17S	ELABORADO POR: MÓNICA DANIELA QUEZADA CALLE	LÁMINA NÚMERO: 7 / 10
ESCALA: 1:900	ÁREA DEL POLÍGONO DE ESTUDIO: 141621.759 m2 - 14.77 ha.	FECHA: 04/08/2022	
UBICACIÓN: PARTE ALTA DE LA PARROQUIA JAVIER LOYOLA, CANTÓN AZOGUES, MUY CERCA AL LÍMITE ENTRE LAS PROVINCIAS DE AZUAY CAÑAR.			



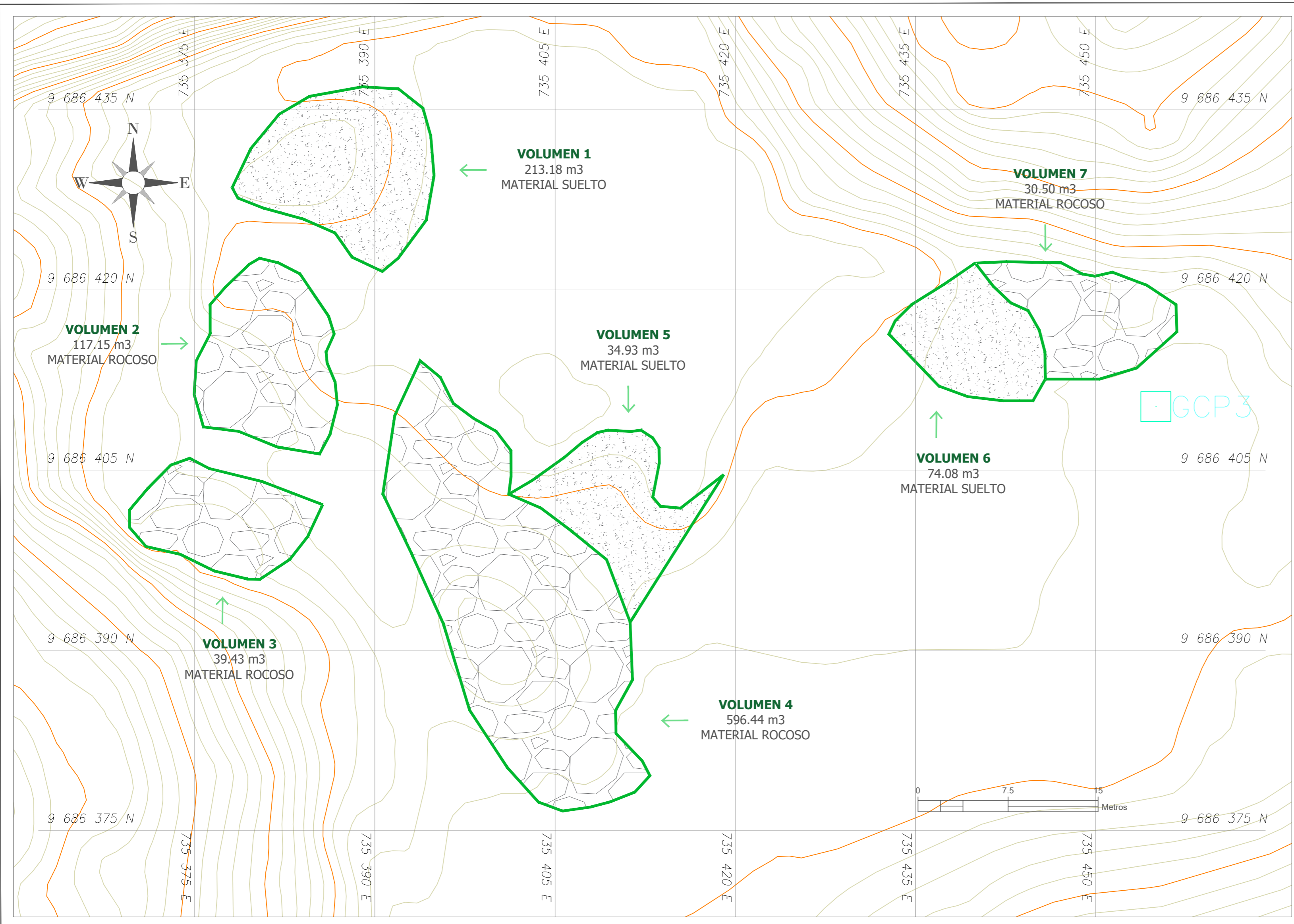
REVISADO POR: ING. VICENTE EMMANUEL ORTEGA CÁRDENAS

Anexo 9

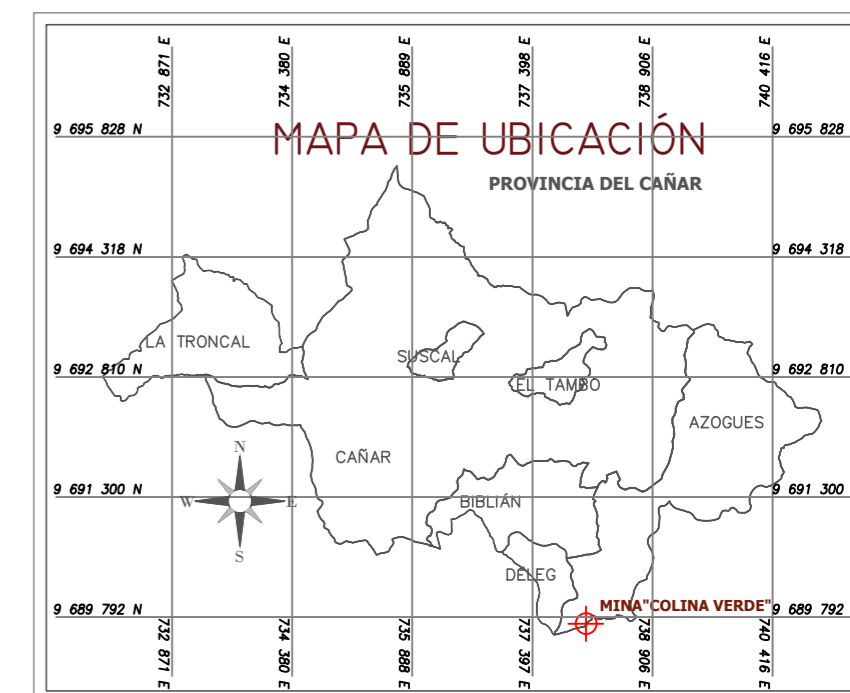
Plano de Volúmenes

(Aerofotogrametría)

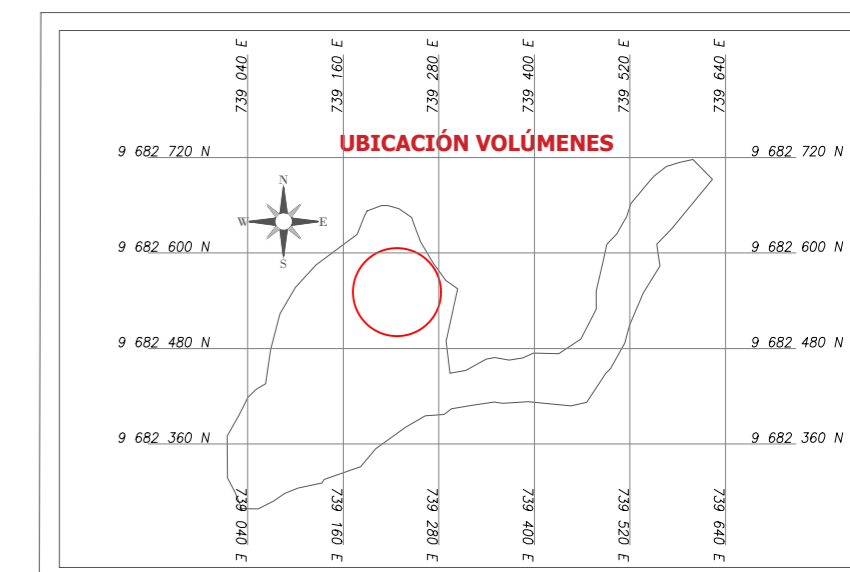
VOLÚMENES EXISTENTES EN LA MINA "COLINA VERDE"



Universidad
Católica
de Cuenca



ESCALA NUMÉRICA
1:93000 METROS



ESCALA NUMÉRICA
1:9500 METROS

LEYENDA

	VOLUMEN DE MATERIAL SÓLIDO		VOLUMEN DE MATERIAL SUELTO
	VOLUMENES		PUNTOS DE CONTROL (GCP)
	CURVA DE NIVEL PRINCIPAL CADA CINCO METROS		CURVA DE NIVEL SECUNDARIA CADA METROS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA CAMPUS AZOGUES - FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

PLANO DE VOLÚMENES DE LA MINA "COLINA VERDE" MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA CON SISTEMA RTK

UNIDADES: metros

SISTEMA DE COORDENADAS : WGS-84 ZONA 17S

ESCALA: 1:250

ÁREA DEL POLÍGONO DE ESTUDIO: 141621.759 m² - 14.77 ha.

FECHA: 02/08/2022

ELABORADO POR: MÓNICA DANIELA QUEZADA CALLE

UBICACIÓN: PARTE ALTA DE LA PARROQUIA JAVIER LOYOLA, CANTÓN AZOGUES, MUY CERCA AL LÍMITE ENTRE LAS PROVINCIAS DE AZUAY CAÑAR.

REVISADO POR: ING. VICENTE EMMANUEL ORTEGA CÁRDENAS



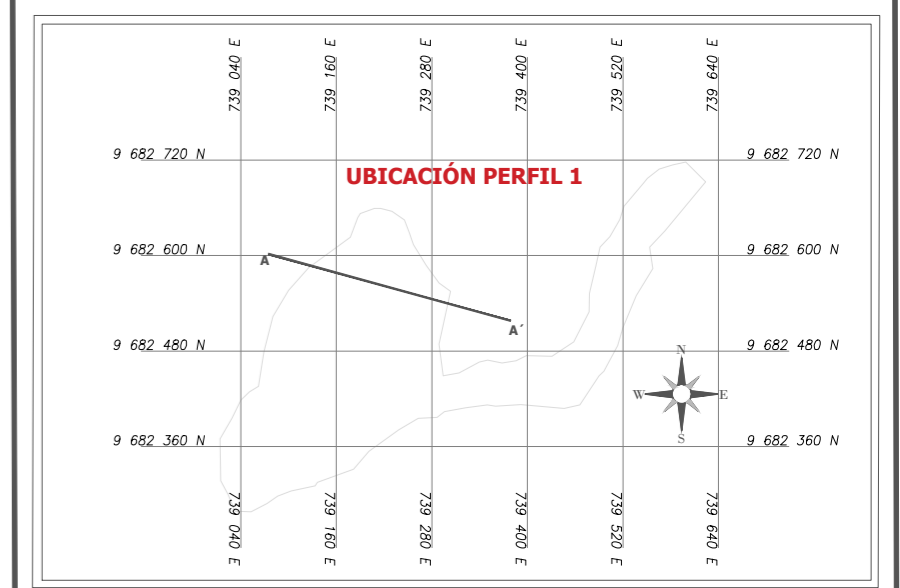
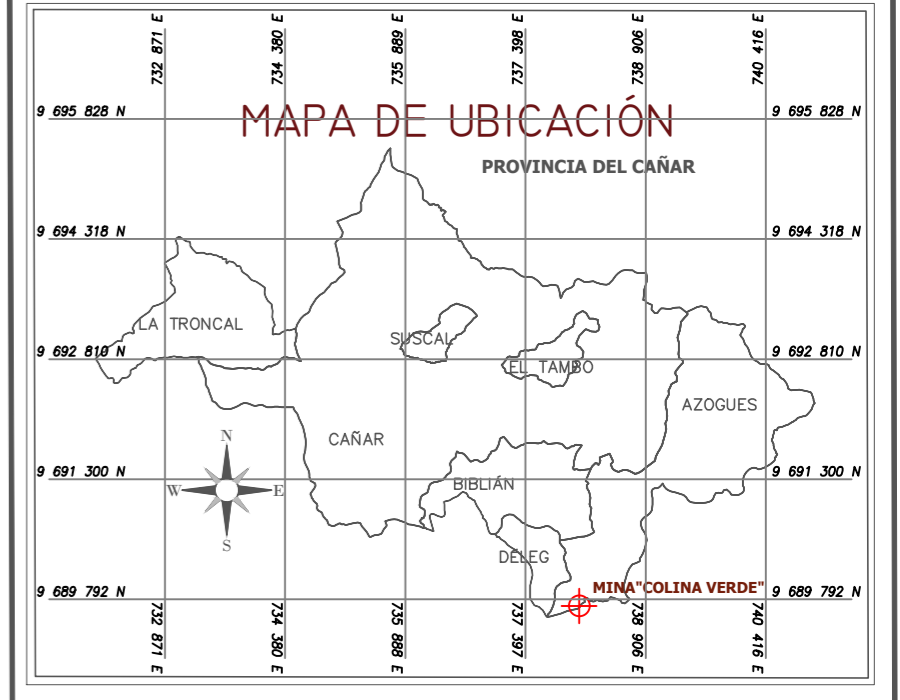
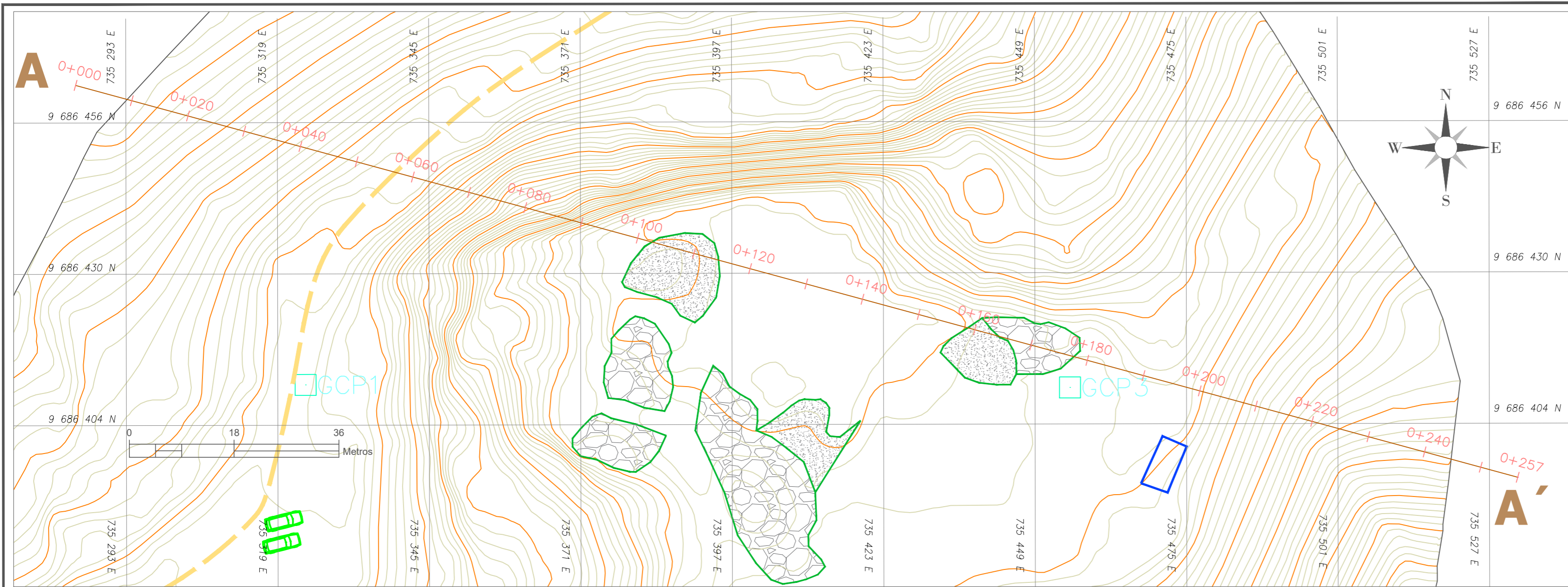
LÁMINA NÚMERO:
8 / 10

Anexo 10

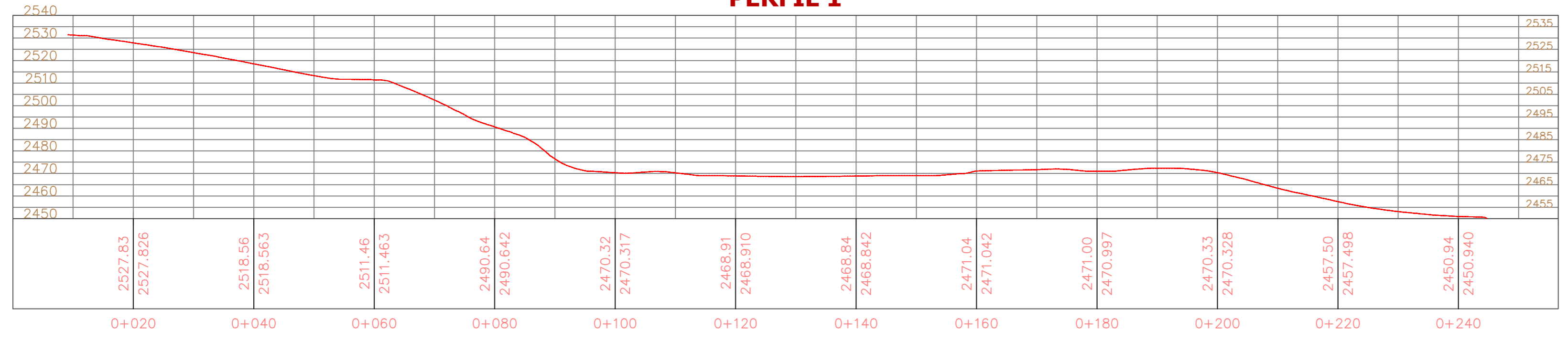
Plano Perfil 1

(Aerofotogrametría)

PERFIL 1 MINA "COLINA VERDE"



PERFIL 1



LEYENDA

	VOLUMEN DE MATERIAL SÓLIDO		VOLUMEN DE MATERIAL SUELTO
	VOLUMENES		PUNTOS DE CONTROL (GCP)
	CURVA DE NIVEL PRINCIPAL CADA CINCO METROS		CURVA DE NIVEL SECUNDARIA CADA METRO
	VÍAS DE ACCESO		INFRAESTRUCTURA
	VEHÍCULOS LIVIANOS		

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA CAMPUS AZOGUES - FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

PERFIL MINERO 1 DE LA ZONA DE ESTUDIO "COLINA VERDE" MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA CON SISTEMA RTK

UNIDADES: metros	SISTEMA DE COORDENADAS : WGS-84 ZONA 17S	ELABORADO POR: MÓNICA DANIELA QUEZADA CALLE	LÁMINA NÚMERO: 9 / 10
ESCALA: 1:600	ÁREA DEL POLÍGONO DE ESTUDIO: 141621.759 m ² - 14.77 ha.		
UBICACIÓN: PARTE ALTA DE LA PARROQUIA JAVIER LOYOLA, CANTÓN AZOGUES, MUY CERCA AL LÍMITE ENTRE LAS PROVINCIAS DE AZUAY CAÑAR.			

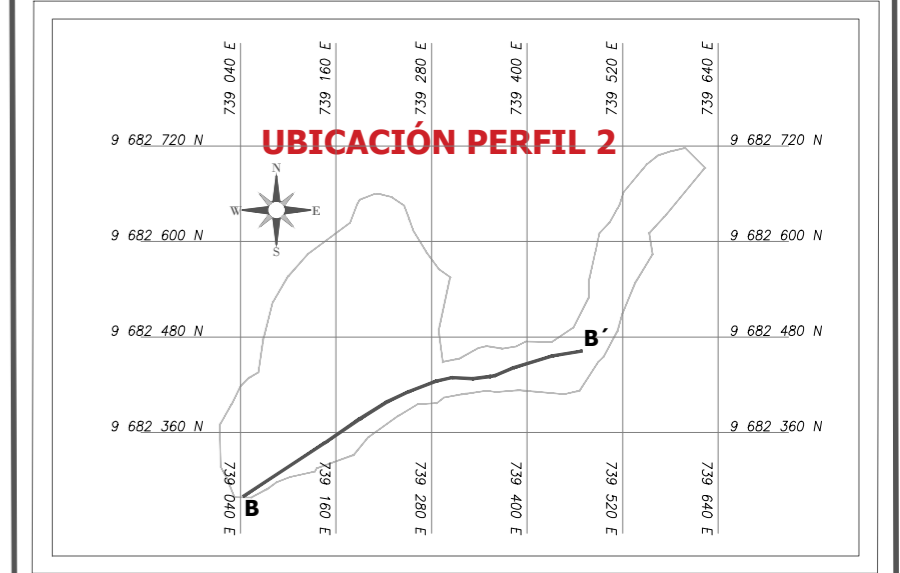
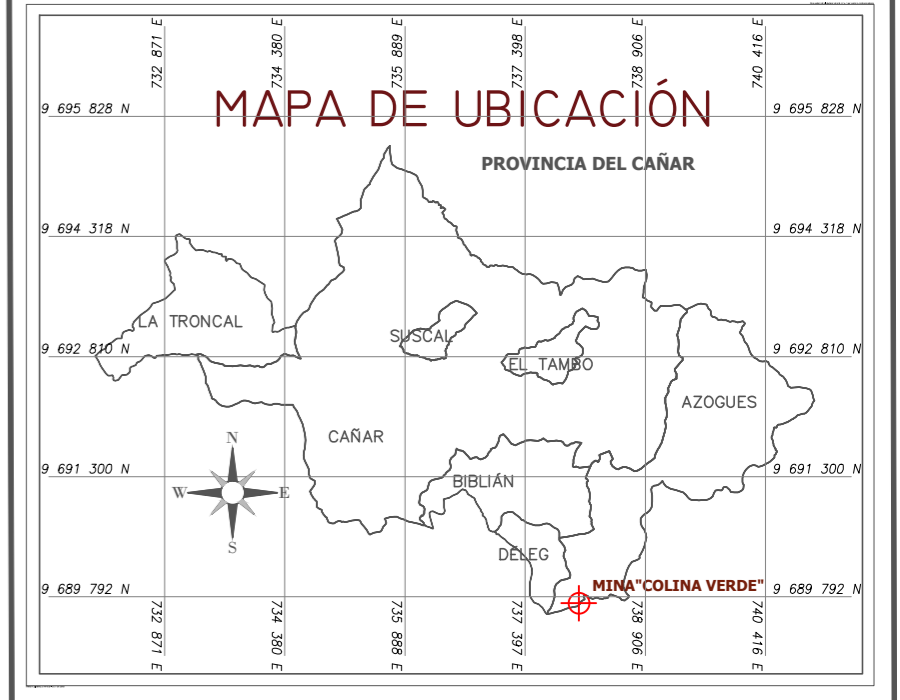
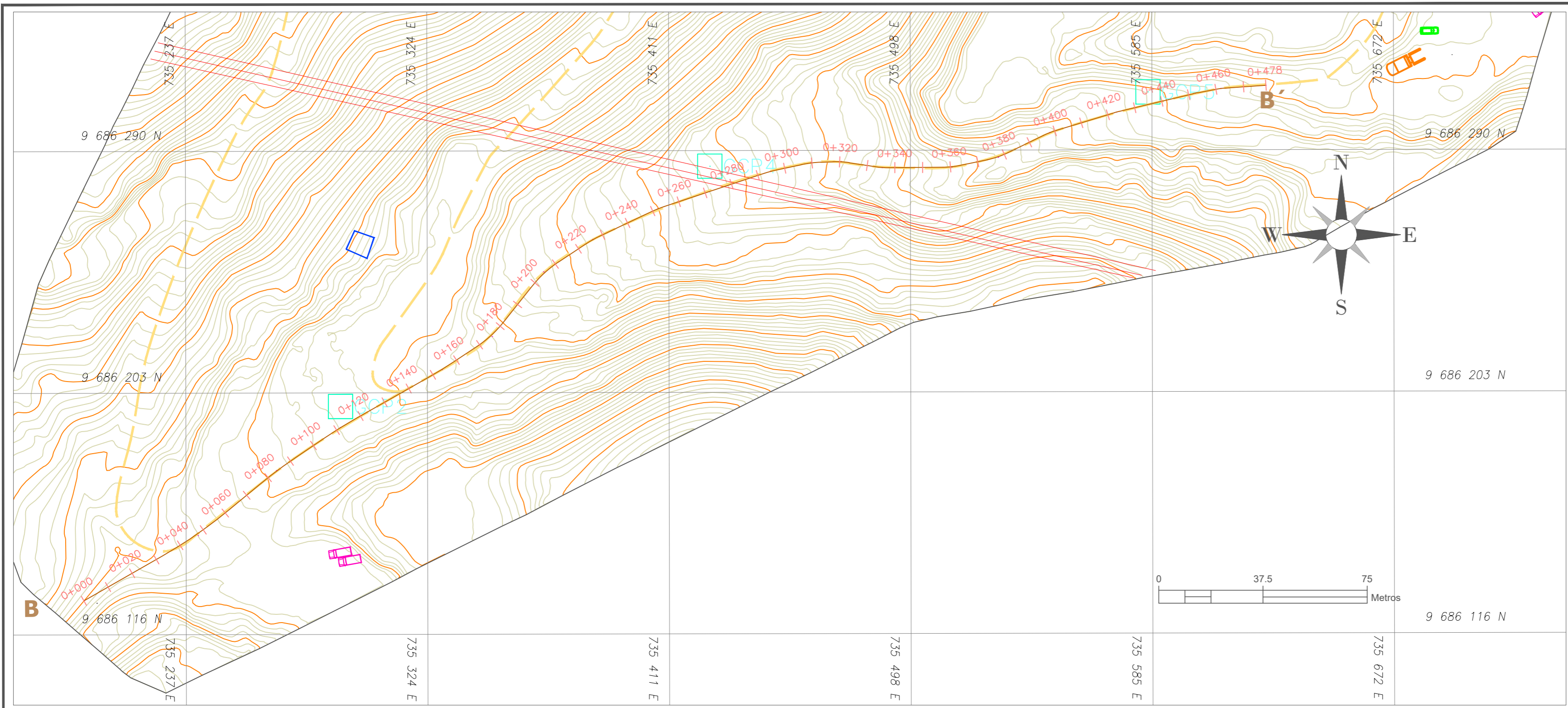


Anexo 11

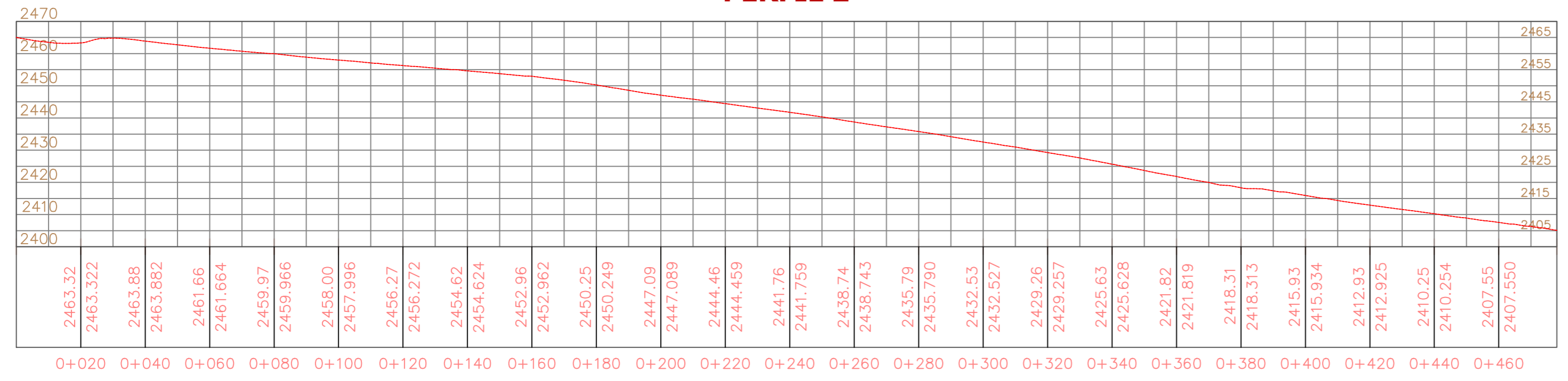
Plano Perfil 2

(Aerofotogrametría)

PERFIL 2 MINA "COLINA VERDE"



PERFIL 2



LEYENDA

	VOLUMEN DE MATERIAL SÓLIDO		VOLUMEN DE MATERIAL SUELTO
	VOLÚMENES		PUNTOS DE CONTROL (GCP)
	CURVA DE NIVEL PRINCIPAL CADA CINCO METROS		CURVA DE NIVEL SECUNDARIA CADA METRO
	VÍAS DE ACCESO		INFRAESTRUCTURA
	VEHICULOS LIVIANOS		ALINEACIÓN B-B'
	CABLEADO ELÉCTRICO		VEHICULOS PESADOS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA CAMPUS AZOGUES - FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

PERFIL VIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO "COLINA VERDE" MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA CON SISTEMA RTK

UNIDADES: metros	SISTEMA DE COORDENADAS : WGS-84 ZONA 17S	ELABORADO POR: MÓNICA DANIELA QUEZADA CALLE
ESCALA: 1:1250	ÁREA DEL POLÍGONO DE ESTUDIO: 141621.759 m2 - 14.77 ha.	FECHA: 08/08/2022
UBICACIÓN: PARTE ALTA DE LA PARROQUIA JAVIER LOYOLA, CANTÓN AZOGUES, MUY CERCA AL LÍMITE ENTRE LAS PROVINCIAS DE AZUAY CAÑAR.		REVISADO POR: ING. VICENTE EMMANUEL ORTEGA CÁRDENAS



LÁMINA NÚMERO:
10 / 10

Mónica Daniela Quezada Calle portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302703830**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Evaluación de confiabilidad entre estación total, aerofotogrametría con RPAs y GPS diferencial, aplicado a proyectos de minería**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, **22 de septiembre de 2022**

F: 

Mónica Daniela Quezada Calle

C.I. 0302703830