

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Agronomía

Generación de cartografía básica a detalle (escala 1:1.000) mediante levantamiento aero-fotogramétrico con sistemas de aeronave pilotada a distancia (RPAS) para la granja de Irquis

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo


Autores:

Jefferson Eduardo Gómez Flores

Paul Sebastián Tacuri Ulloa

Director:

Víctor Eduardo Tacuri Espinoza

ORCID:  0000-0002-4094-209X

Cuenca, Ecuador

2023-08-1

Resumen

El presente proyecto técnico se desarrolló en la granja Irquis, perteneciente a la Universidad de Cuenca, la misma que ofrece servicios académicos, de investigación y vinculación con la sociedad a través de sus actividades agrícolas y pecuarias. Al analizar la información cartográfica disponible para esta zona, se observó que la mejor escala disponible era la 1:5000; la cual no cumple con los parámetros técnicos necesarios para una adecuada planificación a nivel de parcela. Es por esta razón, se optó actualizar y mejorar la resolución de la información topográfica, para lo cual se realizó el levantamiento aerofotogramétrico mediante un Sistema de Aeronaves Piloteado a Distancia (RPAS). El proyecto incluyó la planificación del vuelo, que comprende el cálculo de parámetros técnicos como la altura, el número de fotos y el tamaño de píxel, la colocación de puntos de apoyo y control, el vuelo propiamente dicho y el procesamiento de la información obtenida en campo, para finalmente obtener productos como el Modelo Digital de Superficie (MDS), Modelo Digital del Terreno (MDT), ortofotografía, altimetría y planimetría, que podrán ser usados por la dirección académica de la granja.

Palabras clave: fotogrametría, elevaciones, ortofoto, planimetría, altimetría



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The following technical project was developed at Irquis Farm, which belongs to the University of Cuenca. The university provides academic, research, and community engagement services through its agricultural and livestock activities. Upon analyzing the available cartographic information for this area, it was observed that the best scale available was 1:5000, which does not meet the necessary technical parameters for proper plot planning. For this reason, it was decided to update and improve the resolution of the topographic information by conducting an aerial photogrammetric survey using a Remotely Piloted Aircraft System (RPAS). The project included flight planning, which involved calculating technical parameters such as altitude, number of photos, and pixel size, as well as placing ground control points, conducting the actual flight, and processing the field data to obtain products such as the Digital Surface Model (DSM), Digital Terrain Model (DTM), orthophotography, altimetry, and planimetry. These products will be used by the academic management of the farm.

Keywords: photogrammetry, elevations, orthophoto, planimetry, altimetry



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Introducción.....	13
1. El problema	14
1.1 Justificación	14
1.2 Objetivo General.....	15
1.3 Objetivos Específicos	15
2. Fundamentación.....	16
2.1 Fundamentación social.....	16
2.2 Fundamentación legal	16
2.3 Fundamentación Teórica	16
2.3.1 Cartografía	16
2.3.2 Topografía	23
2.3.3 Otros métodos de obtención topográfica	26
3. Diseño del proyecto	32
3.1 Materiales y equipos.....	34
3.2 Metodología.....	37
3.2.1 Planificación del vuelo	37
3.2.2 Georreferenciación de los puntos de apoyo y control	50
3.2.3 Ejecución del vuelo.....	56
3.2.4 Procesamiento fotogramétrico	59
3.2.5 Generación de productos cartográficos	64
4. Resultados	73
4.1 Modelo Digital de Superficie (MDS)	74
4.2 Modelo Digital del Terreno (MDT) y sus respectivos curvados.....	76
4.3 Ortofotos.....	78
4.4 Planimetría	80
4.5 Validación de la información cartográfica.....	82
4.6 Actividades complementarias	85
Conclusiones.....	95
Recomendaciones.....	96
Referencias.....	97
Anexos	103
Anexo A. Monografía Hito A.....	103

Anexo B.	Monografía Hito B.....	104
Anexo C.	Monografía de Estación de Monitoreo Continuo de la Ciudad de Cuenca	105
Anexo D.	Reporte de la corrección diferencial de las bases en el software Leica Infinity 106	
Anexo E.	Reporte de la corrección diferencial de los puntos de apoyo y control en el software Leica Infinity	107
Anexo F.	Mapa de ortofotos.....	108

Índice de tablas

Tabla1.	Materiales empleados durante el levantamiento Aerofotogramétrico	34
Tabla2.	Tiempo de recepción de cada sesión de acuerdo a la distancia de línea base	42
Tabla3.	Resumen de las correcciones diferenciales proporcionado por el software Leica Infinity	44
Tabla4.	Planificación con el Software EMotion 3 para la zona 1	45
Tabla5.	Planificación con el software AUTEL EXPLORER para la zona 2 y 3	47
Tabla6.	Puntos de apoyo y control para cada zona	49
Tabla7.	Planificación en Software Emotion 3 para la zona 1	56
Tabla8.	Planificación en Software AUTEL EXPLORER para la zona 2.....	58
Tabla9.	<i>Clasificación por uso de suelo y cobertura vegetal</i>	65
Tabla10.	Codificación para las capas	70
Tabla11.	Análisis de la planimetría	83
Tabla12.	Cálculo de la componente planimetría (RMSEr) y del coeficiente de exactitud posición horizontal	83
Tabla13.	Análisis de la altimetría	84

Índice de figuras

Figura 1.	Ubicación a nivel nacional	32
Figura 2.	Ubicación a nivel cantonal	33
Figura 3.	Delimitación de las zonas del levantamiento en la granja Irquis.....	33
Figura 4.	Visualización de la plataforma en línea de Agisoft Cloud	35
Figura 5.	Reconocimiento en oficina de la zona de estudio.	38
Figura 6.	Configuración del equipo GNSS EMLID Reach RS2 con la aplicación móvil Emlid Flow	41
Figura 7.	Línea base entre el Hito A y la Estación de Monitoreo Continuo (CUEC)	43
Figura 8.	Misión planificada para la zona 1 con el software Emotion 3	46
Figura 9.	Planificación del vuelo para el RPAS Autel EVO II.....	47
Figura 10.	Ubicación de puntos de apoyo y control en la zona 1	51
Figura 11.	Distribución espacial de los puntos de apoyo y control en la Aplicación Locus Map	51
Figura 12.	Configuración para la recepción de datos brutos (RTK) en los receptores GNSS Emlid Reach RS2 mediante aplicación móvil Emlid Flow	53
Figura 13.	Levantamiento RTK de la zona 3.....	54
Figura 14.	Desplazamiento de la base del proyecto a la base de anclaje	55
Figura 15.	Desplazamiento de los puntos de apoyo y control a la coordenada de la base de anclaje	56
Figura 16.	Diagrama de flujo del procesamiento fotogramétrico	59
Figura 17.	Adición de fotografías a Agisoft Metashape	60
Figura 18.	Alineación de fotografías en Agisoft Metashape	61
Figura 19.	Adición de puntos de apoyo y marcadores	62
Figura 20.	Nube densa de puntos.....	63
Figura 21.	Zonas de complementación de información.....	66
Figura 22.	Levantamiento de hidrantes.....	67
Figura 23.	Digitalización de infraestructura	67
Figura 24.	Topología	68
Figura 25.	Corrección de errores topológicos	69
Figura 26.	Generación de las curvas de nivel.....	72
Figura 27.	Zonas de levantamiento aerofotogramétrico	74
Figura 28.	Modelo Digital de Superficie de la zona 1 (Zona Baja).....	75
Figura 29.	Modelo Digital de Superficie de la zona 2 (Zona de reservorio)	75

Figura 30.	Modelo Digital de Superficie de la zona 3 (Zona de Patacocha)	76
Figura 31.	Modelo Digital del Terreno de la zona 1 (Zona Baja)	77
Figura 32.	Modelo Digital del Terreno de la zona 2 (Zona de reservorios)	77
Figura 33.	Modelo Digital del Terreno de la zona 3 (Zona de Patacocha).....	78
Figura 34.	Ortofoto zona 1	79
Figura 35.	Ortofoto zona 2.....	79
Figura 36.	Ortofoto zona 3.....	80
Figura 37.	Planimetría de la zona 1	81
Figura 38.	Planimetría de la zona 2	81
Figura 39.	Planimetría de la zona 3	82
Figura 40.	Mapa de pendientes de la zona 1	86
Figura 41.	Mapa de pendientes de la zona 2	86
Figura 42.	Mapa de pendientes de la zona 3.....	87
Figura 43.	Mapa de potreros de zona 1	88
Figura 44.	Mapa de potreros de zona 2.	88
Figura 45.	Mapa de potreros de zona 3	89
Figura 46.	Mapa de ubicación de hidrantes en la zona 1	90
Figura 47.	Mapa de cobertura vegetal para la zona 1	91
Figura 48.	Mapa de cobertura vegetal para la zona 2.....	91
Figura 49.	Mapa de cobertura vegetal para la zona 3.....	92
Figura 50.	Mapa de uso de suelo para la zona 1	93
Figura 51.	Mapa de uso de suelo para la zona 2	93
Figura 52.	Mapa de uso de suelo para la zona 3	94

Índice de fotografías

Fotografía 1.	Reconocimiento de la zona de estudio en campo.....	38
Fotografía 2.	Hitos A y B tipo IGM-B.....	39
Fotografía 3.	Receptor T300 acoplado a una base nivelante sobre un trípode	39
Fotografía 4.	Configuración del equipo GNSS EMLID Reach RS2 en la aplicación móvil Emlid Flow 41	
Fotografía 5.	Ubicación de las dianas fotoidentificables.....	50
Fotografía 6.	Georreferenciación de los puntos de apoyo y control	52
Fotografía 7.	Recepción de información en el hito A.....	52
Fotografía 8.	Ejecución del vuelo para la zona 1 con el equipo Ebee RTK	57
Fotografía 9.	Ejecución de vuelo para el equipo Autel EVO II para la zona 2	58

Índice de anexos

Anexo A.	Monografía Hito A.....	103
Anexo B.	Monografía Hito B.....	104
Anexo C.	Monografía de Estación de Monitoreo Continuo de la Ciudad de Cuenca	105
Anexo D.	Reporte de la corrección diferencial de las bases en el software Leica Infinity 106	
Anexo E.	Reporte de la corrección diferencial de los puntos de apoyo y control en el software Leica Infinity	107
Anexo F.	Mapa de ortofotos.....	108

Dedicatorias

Este trabajo se lo dedico a mis padres, María y Christian que demostraron su apoyo total a lo largo de todo este camino sin importar los percances que existieron para así poder alcanzar mi formación profesional.

A mis tíos que se encuentran en el exterior, que me apoyaron a pesar de la distancia para poder lograr mi objetivo.

A mi familia, que estuvieron en cada momento incentivando a seguir adelante y no darme por vencido, y además a mis amistades que estuvieron en todo este proceso aportando directa e indirectamente en mi formación.

Paul

El presente trabajo va dedicado, Dios quien me ha brindado el don de la vida, a mis padres Luis y Rosa, a mis hermanos, Karen y John y todos mis familiares quienes me han apoyado incondicionalmente durante este caminar de mi vida académica.

Jefferson

Agradecimientos

Agradecer a nuestros padres, hermanos y tíos por ser parte de este proceso apoyando y aportando para poder lograr nuestro objetivo de ser profesionales.

A la Universidad de Cuenca y sus docentes por ser los pilares fundamentales para nuestra formación compartiendo sus experiencias y conocimientos.

A nuestro director de proyecto de grado Ing. Eduardo Tacuri, por permitir la ejecución del trabajo denominado “Generación de cartografía...” y al Ing. Mateo López por ayudarnos en el desarrollo del mismo ya que su intervención fue muy importante durante el proceso.

A nuestros amigos, conocidos y compañeros de carrera que luego de tantos años llegaron a ser personas importantes en lo académico y la vida.

Introducción

El avance tecnológico ha permitido la incorporación de diversas técnicas de generación de información cartográfica, entre las que destacan es la combinación de los RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) con las técnicas fotogramétricas. Esta combinación de tecnologías se basa en el uso RPAS, dotados de sensores que permiten capturar imágenes aéreas y georreferenciadas; mediante estas imágenes se pueden obtener datos tridimensionales de alta resolución, por lo que puede obtener mapas topográficos, MDT (Modelo Digital del Terreno), MDE (Modelo Digital de Elevaciones), nube de puntos, ortofotos, etc., y cualquier otro tipo de documento geoespacial de interés (Pérez et al., 2022).

Según Galcerá et al. (2015) mediante la fotogrametría aérea se puede generar cartografía detallada; permite la optimización de recursos económicos y el talento humano. La principal ventaja de la fotogrametría es que se puede generar información cartografía de grandes áreas de terreno en tiempos reducidos. Los proyectos de generación de cartografía detallada mediante fotogramétrico son cruciales para la planificación medioambiental, estudios geológicos, planificación biofísica de áreas de pastos y forrajes de la granja, y diversa información que se puede plasmar mediante mapas temáticos.

El presente proyecto combina las técnicas de fotogrametría y RPAS (Sistemas de aeronave pilotado a distancia) para generar cartografía básica detallada a escala 1: 1000 de la zonas de producción agropecuaria de la granja Iruquis de la Universidad de Cuenca. Además, contó con el asesoramiento del Laboratorio de Geomática de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, facilitando la prestación de los diferentes equipos para el levantamiento de información y el procesamiento fotogramétrico. Dentro del levantamiento se desarrollarán actividades como la planificación del vuelo, ubicación de los puntos de control y apoyo, el vuelo en campo. En cuanto al procesamiento fotográfico, consistió en la obtención de la ortofotografía, Modelo Digital de Superficie (MDS), Modelo Digital del Terreno (MDT), las curvas de nivel y digitalización de la planimetría.

Finalmente, los resultados obtenidos tanto en altimetría y planimetría fueron validados en base a la normativa técnica emitida por el IGM, se compararon las coordenadas levantadas en campo con las que se obtuvieron a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT). De acuerdo al IGM(2009), es recomendable emplear el test de la NSSDA para cumplir con las normas internacionales al evaluar la altimetría.

1. El problema

La granja Irquis presta servicios académicos, de investigación y vinculación con la sociedad, a través del desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias; sin embargo, al analizar la información cartográfica disponible para las actividades de planificación, vemos que existe información cartográfica a escala 1:5000 del año 2015 (SIGTIERRAS, 2017), la cual no cumple con parámetros técnicos requeridos para realizar diseños hidráulicos de riego eficientes y llevar a cabo prácticas biofísicas apropiadas en sus áreas de pastizales por lo que, este proyecto tiene como objetivo actualizar la información cartográfica mediante la generación de geo-información básica a escala 1:1000.

1.1 Justificación

El presente trabajo generará información cartográfica, entendida la misma como una expresión de la superficie terrestre en donde los diversos fenómenos geográficos permitirán conocer y explicar la evolución de los recursos tanto biofísicos y ambientales (Galvis, 2006). Es importante recalcar que el nivel de resolución de la información cartográfica depende del tamaño de la escala empleada, en este sentido la escala se relaciona con el nivel de resolución; cuando se trabaja con escalas grandes se refiere a un nivel de alta resolución, por otro lado, al hablar de escalas pequeñas se refiere a niveles de baja resolución al momento de la representación cartográfica (Galvis, 2006). Por lo tanto, el presente proyecto mejorará el tamaño de la escala de la información, generando cartografía a escala 1: 1000, obteniendo una representación más detallada de las características topográficas y de las variaciones altitudinales del terreno (Costa et al., 2020).

El programa SIGTIERRAS, que fue ejecutado por Ministerio de Agricultura, Ganadería (MAG), realizaron la toma de fotografía aérea y generación de cartografía a escala 1: 5.000 con el objetivo de generar insumos destinado para actividades de cartografía y de catastro (SIGTIERRAS, 2017). Sin embargo, esta información presenta un tamaño de escala menor, por lo que con el presente proyecto se busca mejorar y actualizar el nivel de precisión y obtener información cartográfica de alta resolución para la zona de pastos de la granja Irquis.

La tecnología de los RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), hace referencia a todos los componentes y dispositivos involucrados en la manipulación de vehículos aéreos no tripulados. Las principales ventajas de la aerofotogrametría con RPAS, se basa en la recolección de datos en el menor tiempo y cubrir amplias zonas de estudios (Brinda et al., 2021). En este sentido, empleando una correcta metodología al procesamiento de la misma se pueden obtener cartográfica detallada de alta resolución y nivel de precisión (Castillo y Escobar, 2017).

El acceso a la información georreferenciada de calidad debe ser accesible y estar en conocimiento de toda la población, generando análisis del mismo encaminados a la toma de decisiones basados en sustentabilidad técnica por lo cual es imprescindible la generación de cartografía (SENPLADES, 2009). Por tal motivo, la generación de información cartográfica actualizada el área de pastos de la granja Irquis permitirá a futuro realizar la planificación biofísica del área de pastos y forrajes de la granja arrancando con el sistema de riego, acorde a los requerimientos actuales y tecnología existente, dejando momentáneamente de lado la zona boscosa de la granja pues su uso está destinado a producción forestal y no es prioridad en este momento debido a que con la escala 1: 5000 existente se garantiza cualquier análisis que requiera la dirección académica de la granja.

De acuerdo a Sobral (2010), la cartografía a escala 1: 5000 es empleada para estudios más generales, planificación territorial, análisis regional, impacto ambiental y análisis de riesgos naturales.

1.2 Objetivo General

Generar cartografía básica a detalle (escala 1:1.000) mediante levantamiento aerofotogramétrico con RPAS para la granja de Irquis.

1.3 Objetivos Específicos

Generar el MDS (Modelo Digital de Superficie) de zona de estudio.

Generar el MDT (Modelo Digital del Terreno) de la zona de estudio.

Generar el ortomosaico de la zona de estudio.

Generar las curvas de nivel de la zona de estudio.

2. Fundamentación

2.1 Fundamentación social

Los principales beneficiarios de estos productos cartográficos serán los estudiantes, docentes, investigadores y la dirección académica de la granja de la Universidad de Cuenca que podrán planificar y desarrollar un manejo de potreros eficiente en base a los recursos disponibles dentro de los predios de la granja Irquis.

Se obtendrá información cartográfica básica detallada a escala 1:1000 de la zona destinada a la producción agropecuaria de la granja Irquis, consecutivamente en base a la información que se generará, se podrá realizar una planificación biofísica del área de pastos y forrajes delimitada por potreros.

2.2 Fundamentación legal

La cartografía es una herramienta indispensable para la planificación del desarrollo y la seguridad nacional de un país. Es fundamental que los trabajos cartográficos y geográficos que se lleven a cabo en el Ecuador se ajusten a las recomendaciones técnicas internacionales. En este sentido, El Instituto Geográfico Militar (IGM) será el organismo encargado y responsable de planificar, organizar, dirigir, coordinar, ejecutar, aprobar y controlar las actividades relacionadas con la creación de la Cartografía Nacional y la compilación del Archivo de Datos Geográficos y Cartográficos del país (Ley de Cartografía Nacional, 2009). Por otro lado, la operación, aplicabilidad y responsabilidades del manejo de los RPAS se rigen de acuerdo a la Resolución DGAC-DGAC-2020-0110-R en la que se presentan artículos que deberán ser adoptados (Dirección General de Aviación Civil, 2020). En este sentido, tomando en cuenta la ley y resolución anteriormente mencionadas no existiera ningún impedimento para la realización del presente proyecto.

2.3 Fundamentación Teórica

2.3.1 Cartografía

A lo largo de la historia la cartografía ha tomado un papel protagonista en la historia de la Humanidad, permitiendo la representación del entorno que lo rodea. La cartografía ha evolucionado pasando desde los mapas más antiguos hasta el manejo de herramienta digitales como los SIG, que han permitido la exploración, la navegación, planificación y toma de decisiones en diversos campos que se emplea la cartografía (Fallas, 2003).

2.3.1.1 Generalidades

La cartografía se define como la práctica o disciplina que se encarga de la elaboración de métodos, técnicas y acciones para el diseño de mapas, con el afán de su propia utilización y manejo para poder así comprender, captar y analizar de manera óptima la realidad propiamente vista de un territorio, dichos mapas pueden facilitar la comprensión de fenómenos, de los hechos y de los objetos geográficos que se producen en la superficie de la Tierra, tanto de índole natural como humana. Como el resultado final de dicha disciplina se obtiene un mapa, el mismo cumple con la representación geométrica plana, simplificada y convencional de toda la superficie de un territorio con la relación de similitud que se la denomina como escala; que según Maass & Pérez (2003), la define como la constante que existe entre las distancias lineales medidas sobre un mapa y las distancias lineales medidas sobre el terreno, pueden ser representadas de tres maneras: palabras y cifras (ej. 1 cm = 1 km), representación gráfica y fracción representativa (1:100 000), esta última la más utilizada en el medio.

Según Hernández & Diéguez (2011), todo producto final (mapa), debe tener su control de calidad en cuanto a su precisión o exactitud, es por ello que el objetivo es garantizar que la precisión ofertada en el mapa cumpla con los valores de las medidas en la realidad, por ello se dice que un mapa cumple con los requisitos de precisión cuando las diferencias entre las magnitudes geométricas, obtenidas a partir de la información del mapa y de los valores reales obtenidos sobre el terreno, no sobrepasen un límite fijado por el parámetro de precisión (Sevilla, 1991).

2.3.1.2 Símbolos cartográficos

El cartógrafo se enfrenta a la tarea de satisfacer al lector con la idea principal que se maneja en el mapa. Para lograr esto, es fundamental crear una cartografía que no sólo contenga símbolos que permitan entender una leyenda, sino también que esté organizada de manera clara y coherente para transmitir información verídica al público que utiliza los mapas. Los mapas son una herramienta de comunicación importante entre el cartógrafo y el usuario, por lo que los símbolos son esenciales para que el mensaje sea entendido de forma correcta y sin confusiones. En resumen, el desafío del cartógrafo es crear mapas que sean efectivos en la comunicación y que reflejen su conocimiento y habilidades en la elaboración de cartografías (Pereira, 1999).

2.3.1.3 Productos fotogramétricos

Desde el punto de vista fotogramétrico, la generación de modelos digitales de superficie y ortofotos es un proceso principal para la elaboración de cartografía a diferentes escalas de medida (Jaraba et al., 2018).

2.3.1.4 Planos vectoriales

Los planos vectoriales son empleados en topografía para representar la ubicación de un objeto o elementos en el terreno, empleando un sistema de coordenadas. Los datos vectoriales son un tipo de información que se utiliza en los SIG para representar objetos espaciales. Estos objetos pueden tener diferentes formas geométricas, como puntos, líneas o polígonos, y se emplean para representar diversos elementos de la superficie como edificios, ríos o carreteras, etc. Cada objeto vectorial tiene información adicional como su nombre, tamaño o forma, etc. (Qgis Documentation, s. f.).

2.3.1.5 Modelos digitales de elevación

Un modelo de elevación digital son datos geográficos para representar las variaciones altimétricas de elevación de la superficie de la Tierra. Los modelos digitales de elevación se emplean para modelar atributos que predisponga distribución espacialmente en la superficie de la Tierra, generalmente es empleado para modelado topográfico. Las aplicaciones de los DEM se aprecian en el mapeo de áreas de protección ambiental, el monitoreo de la biomasa

forestal, el modelado hidrológico, la estimación de pérdidas de superficie, mapeo geomorfológico, y clasificación geomorfológica (Morais et al., 2017).

2.3.1.6 Ortofotografía

Los productos finales de todo el procesamiento de los vuelos fotogramétricos son las denominadas ortofotos (fotografías rectificadas y georreferenciadas) y también Modelo Digital de Elevación (MDE); los mismos son modelos espaciales georreferenciados que permiten adquirir u obtener datos reales, por lo que, la combinación de RPAS, software (SfM) y equipo GPS, permite obtener por medio del procesamiento de imágenes aéreas, ortofotos y MDE georreferenciados de alta resolución Najera Ramos (2021), la cual se la define como una fotografía aérea digital que fue procesada, eliminando diferentes deformaciones causadas por la óptica de la cámara y como también el desplazamiento del relieve, se consideran fuente de datos las cuales combinan características de la fotografía aérea con las cualidades geométricas cartográficas (Ancira & Treviño Garza, 2015).

2.3.1.7 Mosaico de las ortofotografías

Para cubrir toda la zona y realizar la ortofoto, se recurre al vuelo fotogramétrico, y es necesario la imagen digital y su georreferenciación, las imágenes deben tener un archivo de georreferenciación con la orientación interna y externa, consistente en la posición absoluta del centro de proyección en el momento de la toma y los ángulos respecto de los ejes de coordenadas, una vez calculadas cada una de las ortofotos, se debe realizar la unión de todas para generar un único archivo conocido como mosaico de ortofotos, debido a los problemas geométricos y radiométricos la unión no puede ser realizada en cualquier lugar, ya que se necesita de un algoritmo que busque las zonas con mayor similitud para poder generar de forma automática la línea de unión (Arranz, 2013). Por lo que los mosaicos de ortofotografías ajustados radiométricamente proporcionan una base geométrica precisa en la cual se puede medir distancias y superficies con precisión (Vales et al., 2010).

2.3.1.8 Calidad de las ortofotografías

La calidad de la ortofotografía se ve influenciada por la calidad del MDE, generalmente el primer error que suele manifestarse es el conocido como el “arrastre de la imagen”, ocasionado porque el MDE tiene errores en las cotas por lo cual la fotografía es forzada a acoplarse lo que genera deformaciones. Otro error ocasionado por MDE es cuando se trata de representar las elevaciones de diversos elementos presentes en el terreno, ya que estos no suelen quedar representados correctamente en la imagen. Finalmente, la ubicación geométrica es el principal atributo para categorizar la calidad de la ortofotografía (Quirós, 2015)

2.3.1.9 Aerofotogrametría

Se puede clasificar según tipo de fotografía (terrestre y aérea) y tipo de tratamiento (analógica, analítica y digital); en lo que respecta a fotogrametría terrestre se dice que es el principio básico de toma de fotografías desde la superficie de la tierra, como lo conocemos comúnmente, en tanto que la fotogrametría aérea representa a todas aquellas fotografías aéreas que son tomadas con una cámara de toma de vistas, específicamente en una plataforma conocida como RPAS (Mamani & Platero, 2021). Por lo que la fotogrametría digital aérea de bajo costo se ha vuelto crucial en el campo topográfico, gracias a su amplio uso en la creación de modelos topográficos tridimensionales. Los algoritmos de triangulación y extracción del terreno basados en imágenes han mejorado significativamente la calidad de los datos del terreno obtenidos a partir de pares estereoscópicos superpuestos (Westoby et al., 2012).

2.3.1.10 Sistemas de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS)

Los RPAS (Sistema de Aeronaves Pilotadas Remotamente) permiten una manipulación dinámica, ya que se enlazan mediante comunicación con control remoto externo, utilizando una estación de control. Esto ha mejorado varios sectores, como la seguridad, la observación, el control y los estudios de zonas, así como los levantamientos topográficos. A diferencia de los drones autónomos con vuelos programados, los RPAS realizan vuelos con un operador en tierra (Pedraza, 2019). Según Pérez et al. (2022), la planificación de los vuelos debe tener en cuenta la autonomía de vuelo de los RPAS y la extensión del predio a estudiar, dividiéndola en varios vuelos. Estos vehículos aéreos, combinados con cámaras, permiten la adquisición

de datos en áreas específicas, ya sean pequeñas o grandes, de manera rápida y económica, lo que beneficia y hace posible la toma de decisiones precisas (Flores & Diaz, 2020)

2.3.1.11 Receptor GNSS T300 Plus

El receptor GNSS T300 Plus tiene un tamaño pequeño que le brinda versatilidad en el manejo y la movilidad. Este receptor es compatible con todas las constelaciones GNSS en modo RTK y posee una gran capacidad de resistir interferencia, lo que permite realizar trabajos a pesar que las condiciones ambientales no sean adecuadas. El receptor tiene una durabilidad de batería de 3,5 horas si se usa como base y de 8 horas en modo móvil. El receptor funciona como un dispositivo de almacenamiento externo lo que permite conectar a una computadora mediante un cable USB y transferir la información. La capacidad de almacenamiento interno del receptor es de 8GB (Timble Navigation Limited, 2017).

2.3.1.12 Receptor Emlid Reach RS2

El Emlid Reach RS2 es un receptor GNSS RTK utilizado para topografía, cartografía y navegación con precisión centimétrica. Soporta múltiples sistemas de navegación y tiene un módem 3.5G incorporado con una duración de batería de hasta 22 horas. El software Reach View se utiliza para la recopilación de datos, replanteo y control de todas las funciones del receptor Reach y es compatible con varios sistemas de coordenadas y aplicaciones de terceros. Proporciona datos en NMEA estándar que pueden ser utilizados por diferentes aplicaciones (SCS Equipos, s. f.).

2.3.1.13 Tipos de RPAS de ala fija y rotatoria

Este tipo de vehículos se caracteriza por tener siempre despegue horizontal. Si se observa la geometría de las alas, es posible encontrar diferentes diseños: convencional, “canard”, ala volante, delta, “joined wing”, “box-wing”, “blended-wing-body” (BWB), rectangular o trapezoidal, con o sin flecha, ala alta, a la media o a la baja. También es posible establecer otra clasificación en función de la geometría de la cola: estabilizador horizontal de cola, cola en V, y doble cola o en forma de H (Rejado et al., 2016).

2.3.1.14 Equipo Ebee RTK

Ebee RTK es un vehículo aéreo no tripulado, fabricado por SenseFly, es un vehículo aéreo de cartografía diseñado para actividades de exploración, que captura fotografías aéreas para producir orto-mosaicos y modelos 3D de alta precisión, pesa 730 g aproximadamente, mide 96 cm, utiliza para propulsión una hélice propulsora eléctrica, tienen batería recargable, un control remoto, para su funcionamiento tienen una autonomía de vuelo de 40 minutos, alcanza un radio de 3 Km y resiste una velocidad de viento hasta de 45 Km/h, además de un sistema anti colisiones. Para poner en vuelo se lo agita y se lanza al aire, gracias a su inteligencia analiza los datos de la unidad de medición inercial y el GPS para controlar el vuelo, tiene una precisión de hasta 3 cm, mencionar que el software de planificación y control de vuelo se puede conectar a la estación base para correcciones (Sensefly, s. f.).

2.3.1.15 Digitalización en pantalla

Para la digitalización en pantalla tomamos como referencia el estudio de Calles (2015), en el que utiliza un procedimiento para digitalización descrito a continuación. Parte con el almacenamiento de la información en formato ráster, posteriormente se diseñó las capas a través de la asignación de las propiedades como son nombre, unidades de mapa y unidades de distancia, estos pueden ser centímetros hasta kilómetros, cada una de las capas posee diversos atributos particulares como color y formas, y dentro de esta última como embalses, vialidad, poblados, entre otros, dicha metodología es clave ya que solo se generan las capas que el autor crea conveniente, tomando en consideración todo aspecto geográfico que se visualice claramente en la imagen georreferenciada para así generar archivos vectoriales con el diseño de polígonos, líneas y puntos, por ejemplo vialidad, vegetación, hidrografía y otras, teniendo en cuenta que todo deriva el archivo ráster. Dicho estudio, digitaliza la vegetación según su tipo, que va desde selvas hasta pastizales, presentándose en diferentes colores debido a la densidad de la vegetación, ya que se pueden aglomerar y a la vez tener espacios descubiertos por su ausencia, y finalmente, determinó la concentración y distribución de la población, referente al aspecto humano.

2.3.1.16 Sistemas de coordenadas geográficas

Un sistema de coordenadas permite definir analíticamente la ubicación de un objeto o un fenómeno, estos sistemas son creados de manera artificial (Pérez & Botella, 2011). El sistema de coordenadas geográficas o geodésicas permite definir objetos o fenómenos mediante el empleo de una superficie esférica tridimensional, los objetos o cualquier punto de sobre la superficie de la tierra son definidos mediante dos ángulos que son tomados como referencia desde el centro de la tierra, conocidos como latitud y longitud (A. Pérez & Botella, 2011)

Longitud: es el ángulo medido a lo largo de la línea equinoccial o ecuatorial desde cualquier punto de la tierra. Son líneas imaginarias verticales que pasan por los polos y se llaman meridianos, el meridiano principal es el de Greenwich (Pérez & Botella, 2011).

Latitud: ángulo medido desde el centro de la tierra hacia el norte y entre el ecuador. Son líneas imaginarias horizontales conocidas como paralelos, toman como referencia el Ecuador terrestre (Pérez & Botella, 2011).

2.3.1.17 Sistemas de coordenadas proyectadas

El sistema de coordenadas proyectadas representa la superficie terrestre en dos dimensiones o en una superficie plana, la ubicación de las coordenadas se realiza en una malla (grid). El origen se ubica en el centro de la malla, los valores tomarán como referencia el centro y son conocido como “x” y “y”, los cuales dan a conocer la posición horizontal y vertical respectivamente (A. Pérez & Botella, 2011).

2.3.2 Topografía

La topografía es una rama de las ciencias geodésicas, las mismas que tienen por objeto determinar la precisión relativa de puntos en la superficie de la tierra, con el fin de conocer su figura y dimensión, por lo que se le atribuye a la topografía el objetivo del estudio de los métodos necesarios para poder llegar a representar un terreno con todos sus detalles naturales o creados por el hombre, conjuntamente con el conocimiento de los instrumentos necesarios para lograr los fines (Peralta et al., 2020).

2.3.2.1 Altimetría

Es la topografía especializada en la medición de altura, la cual abarca diversos procesos, metodologías y técnicas para la determinación y representación de la altura de un punto, en referencia de un plano, así posibilita la representación del relieve y la altitud (Del Río et al., 2020).

2.3.2.2 Planimetría

La planimetría se dedica al estudio de los procedimientos y métodos para lograr representar a escala los detalles de un terreno sobre una superficie plana, dejando a un lado el relieve y la altitud para poder lograr una representación en dirección horizontal (Del Río et al., 2020).

2.3.2.3 Instrumentos de medición

Estación total: son instrumentos de medición electrónicos utilizados en la topografía que incluyen la electrónica para la medición de distancias (EDM). Esta característica permite la medición precisa de ubicaciones tridimensionales con un alto nivel de exactitud y precisión (Rick, 2018).

GPS (Sistema de Posicionamiento Global): Es una tecnología de navegación por satélite que permite determinar la posición precisa de un punto en la Tierra. Para ello, el GPS utiliza una constelación de satélites en órbita alrededor de la Tierra que transmiten señales a un receptor GPS en la superficie terrestre. Estas señales son procesadas por el receptor para determinar la ubicación exacta del punto, en términos de latitud, longitud y altitud. Además, son sistemas de almacenamiento que se caracterizan por incorporar aspectos espaciales (Reyes et al., 2022).

2.3.2.4 Escalas

Un mapa es una representación a escala del mundo real, el conocer la escala nos permite determinar o medir distancias, áreas y comparaciones entre diferentes objetos presentes, por lo que la escala expresa la razón de ampliación o reducción entre una distancia en un mapa y una distancia propia o equivalente en el terreno, y la misma puede expresarse en una escala numérica, que es una fracción (1:1000 o 1/1000, en nuestro caso) en donde el numerador se lo conoce como módulo y el denominador fracción representativa; y gráfica lineal, se expresa en forma de barra el cual se divide en segmentos de igual longitud para indicar la distancia en el mapa (Fallas, 2003).

2.3.2.5 Escala 1: 1000

En la escala 1: 1000 se representan de manera más precisa las características geomorfológicas del terreno, obteniendo de manera más detallada la variación del terreno y los cambios altitudinales (Costa et al., 2020). El tamaño de la escala 1: 1000 permite analizar e interpretar de manera más precisa la cartografía en contraste con escalas menores.

2.3.2.6 Escala 1: 5000

Según Jaraba et al. (2018), la cartografía 1:5000 está encaminada a ser utilizada y aplicada en referente a catastros en zonas urbanas. La escala 1:5000 proporciona una representación cartográfica de nivel o grado de detalle intermedio, y es más utilizada para estudios más generales del territorio (Sobral, 2010).

2.3.2.7 Exactitud posicional de los posibles errores

En los productos de cartografía se pueden encontrar diversos errores de posición y distorsiones geométricas en los respectivos mapas topográficos y sus DEM, generalmente se producen por una deficiencia en el control terrestre y el empleo de técnicas de navegación que no son las adecuadas. Estos errores ocasionan que las características topográficas no estén en la ubicación geográfica correcta (Liu et al., 2004).

2.3.2.8 Posibles errores que presentan estas mediciones

Es importante que los criterios de precisión de un mapa deben establecerse en términos de error entendibles y cuantificables por los productores de mapas y los usuarios que lo consumen, para mapas topográficos de gran escala, los criterios de calidad se referirán fundamentalmente a los errores en las coordenadas planimétricas X e Y en la coordenada altimétrica Z . Los errores resultantes del levantamiento y ajuste de la red de control deben ser menores, como menciona (Sevilla, 1991), que los límites de error establecidos para mapas de calidad superior (escala 1: 1000) son, en precisión planimétrica corresponde a 0,250 metros en la desviación típica, en tanto que en altimetría el intervalo de curvas de nivel a 1 metro debe presentar una desviación o error inferior a 0,30 metros.

2.3.3 Otros métodos de obtención topográfica

La fotogrametría es una técnica utilizada para obtener información cartográfica de manera precisa y detallada, es un campo de la teledetección que permite realizar diversas aplicaciones, sin embargo, es necesario un procesamiento riguroso para proporcionar resultados controlados (Rosnell & Honkavaara, 2012). La principal ventaja de la fotogrametría con RPAS reside en la versatilidad en la obtención de información con un mínimo trabajo de campo, además permite la posibilidad de inspeccionar zonas inaccesibles y peligrosas, obteniendo modelos digitales de elevación, ortofotografías, datos vectoriales y cartografía en general. (Jiménez et al., 2021).

2.3.3.1 Introducción a la fotogrametría

Etimológicamente la palabra Fotogrametría viene del griego: *photon* (luz), *graphos* (descripción) y *metron* (mediciones), es decir, son las mediciones que se pueden realizar mediante el empleo de fotografías, por lo que a la fotogrametría se le entiende como una ciencia que emplea sensores para adquirir imágenes que consecuentemente permitirá generar información confiable. Es una metodología económica y accesible que emplea instrumentos como: cámaras digitales y RPAS (Angulo, 2014). En particular la fotogrametría ha revolucionado la calidad de los modelos digitales de elevación (MDE), ampliando drásticamente la extensión espacial, resolución y precisión (Westoby et al., 2012).

La fotogrametría permite obtener tres productos que son:

1. Planos vectoriales.
2. Modelos digitales del terreno.
3. Ortofotografías.

Permite detectar propiedades geométricas de los objetos o situaciones espaciales, a partir de imágenes por medio de una visión estereoscópica (información tridimensional), es decir, es una técnica de medición de coordenadas 3D, que utiliza fotografías y puntos de referencia topográficos sobre el terreno; mide de forma remota y rápida grandes áreas (J. Pérez et al., 2022).

2.3.3.2 Elementos y principios básicos de la fotogrametría

La fotogrametría se encarga de los procesos y las tecnologías de obtención de imágenes digitales aéreas, con el objetivo de obtener medidas geométricas precisas, exactas y fiables para la producción de cartografía, se basa en reconstruir, a partir de una imagen bidimensional, las relaciones espaciales entre la cámara, la imagen y el objeto en el momento de la toma. Esto se logra mediante la geometría perspectiva tridimensional para determinar la posición y orientación de los objetos en el espacio tridimensional. El resultado es una imagen en proyección ortogonal con corrección de distorsiones teniendo como principio básico el denominado desplazamiento radial, es decir, el desplazamiento en la posición de un punto en una imagen a medida que cambia la posición de la cámara, el mismo puede afectar la precisión y no garantizar los productos (Quirós, 2015).

2.3.3.3 Resolución

La resolución indica la calidad de una imagen digital, lo cual depende del tamaño del píxel. Mientras más grande sea el tamaño del píxel la imagen pierde calidad y por lo tanto información, por otro lado, si el tamaño de píxel es pequeño la calidad de la imagen aumenta y de igual manera se incrementa el espacio necesario para el almacenamiento digital. La resolución se mide en píxeles por pulgada (ppp). La resolución en las imágenes aéreas se conoce como “resolución espacial” y está relacionado con el tamaño del píxel en el terreno. El tamaño del píxel en el terreno indica la calidad de resolución espacial de acuerdo a la capacidad de representar detalles y características de la superficie del terreno (Quirós, 2015).

2.3.3.4 Dimensión

La dimensión de la imagen se refiere a su tamaño en términos de ancho y alto, y puede ser expresado en diferentes unidades de medida, tales como centímetros, pulgadas o píxeles (Quirós, 2015).

2.3.3.5 Visión estereoscópica

La capacidad humana para apreciar objetos se basa en la visión estereoscópica natural, este fenómeno se produce cuando cada ojo captura una imagen del mismo objeto y, a través de la mente, ambas imágenes se unen para producir una sola imagen en el relieve, es decir, se produce una percepción de profundidad generada a partir de la combinación de dos imágenes ligeramente diferentes de un mismo objeto captadas por cada ojo. En cambio, la artificial se basa en una imitación de la anterior, en donde el observador no fija al objeto, sino que se observan dos imágenes tomadas desde puntos de vista diferentes, dando resultado la visión del relieve u objeto (Quirós, 2015).

2.3.3.6 Ventajas y desventajas de la fotogrametría

Como pilares fundamentales de la fotogrametría en relación a la topografía clásica, los levantamientos son más rápidos en referencia a su restitución, tener en cuenta que la climatología es relativa y el vuelo fotogramétrico puede postergarse (Quirós, 2014). Por otro lado, si el acceso a la zona es complicado la fotogrametría es el método adecuado, puesto que no sería necesario el ingreso para el vuelo, lo primordial es visitar las zonas donde se establezcan los puntos de control y apoyo, así disminuyendo los costos operativos y asegurando un modelo más preciso, creando cartografía de alta resolución y una cobertura amplia (Pérez et al., 2021).

La fotogrametría brinda el registro continuo de todo el terreno teniendo todos los detalles registrados en la fotografía, a diferencia de un levantamiento clásico el cual solo se dispondrán coordenadas de puntos medidos en campo. Por el contrario, presenta ciertas limitaciones como el ocultamiento de ciertos elementos por la vegetación presente en la zona, por lo que sería necesario un registro de coordenadas de estos elementos desconocidos con una medición en campo (Quirós, 2015).

2.3.3.7 Fotogrametría digital

La fotogrametría digital es un campo que abarca todo el proceso de trabajo, desde la planificación de un vuelo fotogramétrico hasta la generación de productos cartográficos digitales necesarias para la toma de decisiones. Este proceso profesional se realiza con un alto nivel de precisión y exactitud para garantizar resultados confiables y precisos (Quirós, 2014). El uso masivo de este método, se debe en gran medida a su capacidad para producir productos digitales rectificación y ortorrectificación de manera sencilla. El primero se utiliza para escenarios con objetos planos, mientras que el segundo es ideal para superficies con relieve (Lerma et al., 2013).

2.3.3.8 Flujo de procesamiento fotogramétrico

El flujo de fotogrametría digital combina técnicas tradicionales de fotogrametría con técnicas avanzadas de visión por computadora, la cual consiste, en primer lugar, en la detección de puntos característicos en las imágenes, las mismas se enlazan entre imágenes que presentan traslape, en donde el grupo de imágenes con puntos enlazados, se proyectan en un espacio tridimensional para conformar una nube dispersa de puntos, y con los detalles de arreglo de imágenes a partir de la nube dispersa, se puede extraer una nube densa de puntos que posteriormente deriva a otros productos fotogramétricos como orto-mosaicos y modelos digitales de elevación precisos y de alta calidad (Rímolo et al., 2021).

Dicho procesamiento se basa en el algoritmo clave para la reconstrucción de la escena conocido como Structure from Motion (SfM), el cual consiste en un método que sirve para la reconstrucción de la estructura 3D a partir de proyecciones en una serie de imágenes (Imágenes 2D) que son tomadas desde diferentes puntos de vista (Schonberger & Frahm, 2016). Funciona con los principios básicos de la fotogrametría estereoscópica, esto quiere decir que sirve para poder ver dos imágenes que se relacionan entre sí, continuas y que presenten solape, todo esto a partir de imágenes superpuestas y desplazadas, que generen una nube de puntos densa (Westoby et al., 2012).

2.3.3.9 Alineación y orientación

El primer paso del software consiste en alinear las fotografías, obteniendo como producto una nube densa de puntos dispersos (Carapellese et al., 2020). En esta etapa las imágenes fotográficas serán empleadas como base para construir el modelo digital. El software identifica los puntos homólogos de fotografías tomadas de diferentes ángulos y crea puntos de referencia basándose en los colores de los píxeles homólogos de las fotografías (Moyano, 2017). El resultado del procesamiento de este algoritmo es una nube de puntos sin escala ni orientación.

2.3.3.10 Construcción de nube de puntos

En esta fase del proceso, se lleva a cabo la tarea más exigente en términos de recursos computacionales y tiempo. La creación de la nube de puntos densa requiere la selección de la calidad del mismo. Esto suele oscilar entre una calidad extra alta que utiliza la máxima resolución de imagen disponible y resoluciones más bajas que sub-muestran la información disponible. Además, se deben seleccionar opciones de filtrado de profundidad de la nube, en donde un filtrado moderado proporciona resultados óptimos en zonas con una gran cantidad de vegetación. Una vez finalizado el proceso, se mostrará la cantidad de puntos generados. A partir de la nube de puntos densa, se pueden generar diversos productos, como modelos digitales de elevación y ortomosaicos (Rímolo et al., 2021).

2.3.3.11 Generación del Modelo digital de elevación

Los modelos digitales de elevación es un producto del post procesamiento fotogramétrico en cual se han filtrado los puntos que no corresponde a la superficie del terreno o que no sean tierra, a este proceso se lo conoce como filtrado de tierra (Serifoglu & Gungor, 2018). La creación del modelo digital de elevación es importante en numerosas aplicaciones que representan la topografía del terreno, por lo cual se depuran factores externos como vegetación y estructuras edificadas, realizando una clasificación de los puntos que corresponden a la superficie de la tierra y otros de objetos que no corresponden, consecutivamente se realiza una interpolación de los puntos clasificados y se obtiene un modelo de la superficie de la tierra desnudo (Jiménez et al., 2021). La precisión de los modelos está directamente influenciada y depende en gran medida del trabajo realizado en campo (Moyano, 2017).

2.3.3.12 Controles en aerofotogrametría

Una ortofoto es la imagen generada a través de computador a partir de una fotografía aérea de la cual se eliminaron los desplazamientos debidos a la orientación de la cámara y al relieve del terreno (Jaraba et al., 2018). La ortofoto se genera en el flujo de trabajo en el proceso llamado Crear ortomosaico, en el proceso se escogen, entre las imágenes disponibles las secciones proyectadas que mejor reconstruyen el mosaico (Rímolo et al., 2021).

2.3.3.13 Control vertical y horizontal

Los controles en fotogrametría son puntos de referencia que se levantan en campo y no intervienen en el proceso fotogramétrico, se emplean para establecer una relación entre las fotografías y el terreno. La principal función es georreferenciar las imágenes aéreas para determinar la posición, orientación y elevación de los objetos y características del terreno en los productos de la fotogrametría. Con los controles tanto horizontal y vertical se establece el error de la diferencia entre los valores generados a partir del proceso fotogramétrico y valores reales levantados a campo, garantizando la precisión y la calidad de los productos fotográficos (Quirós, 2015).

2.3.3.14 Control vertical

El realizar el control de calidad posicional, nos ofrece una última verificación antes de entregar los productos, estos tendrán un valor añadido ofreciendo una garantía final en la cartografía dando la ubicación de los elementos representativos en el terreno (*Los diferentes test para el control de calidad posicional en cartografía*, 2001).

2.3.3.15 Control horizontal

Los controles de calidad permiten determinar la precisión de la posición “verdadera” del MDE en base a un sistema de referencia. La calidad de la precisión posicional de un MDE está estrechamente relacionada con la aplicación que se pretende dar (Jiménez, et. al, 2021). Es importante llevar el control de calidad empleando los puntos de control levantados en campo pero que no intervengan en el proceso post-fotogramétrico, ya que al emplear los mismos

puntos estos se adaptaran al MDE obteniendo resultados erróneos de la precisión posicional (Rock et al., 2012).

3. Diseño del proyecto

El presente proyecto se desarrolló en la granja de Irquis perteneciente a la Universidad de Cuenca. La granja Irquis está ubicada en la vía Girón-Cuenca en el Km 23, en la parroquia Victoria del Portete, cantón Cuenca (figura 1 y 2). El presente proyecto se centró en levantar y generar información cartográfica en las áreas destinadas a producciones agropecuarias, las cuales cuentan con una extensión aproximada de 63,56 ha, divididas en tres zonas (figura 3).

Figura 1. Ubicación a nivel nacional

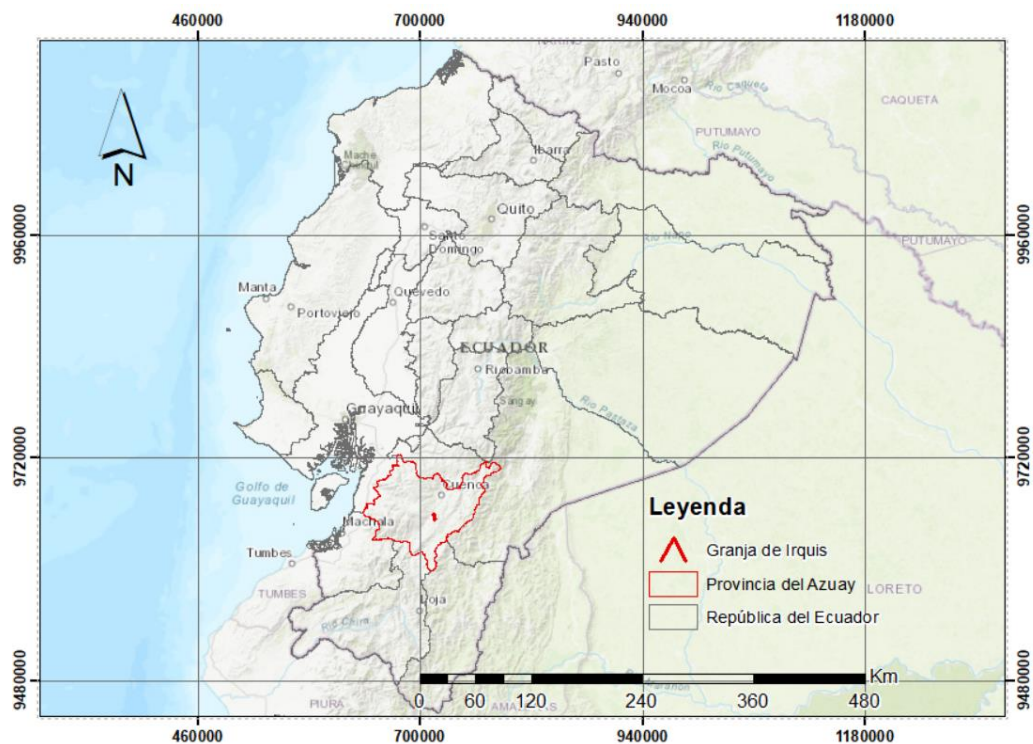


Figura 2. Ubicación a nivel cantonal

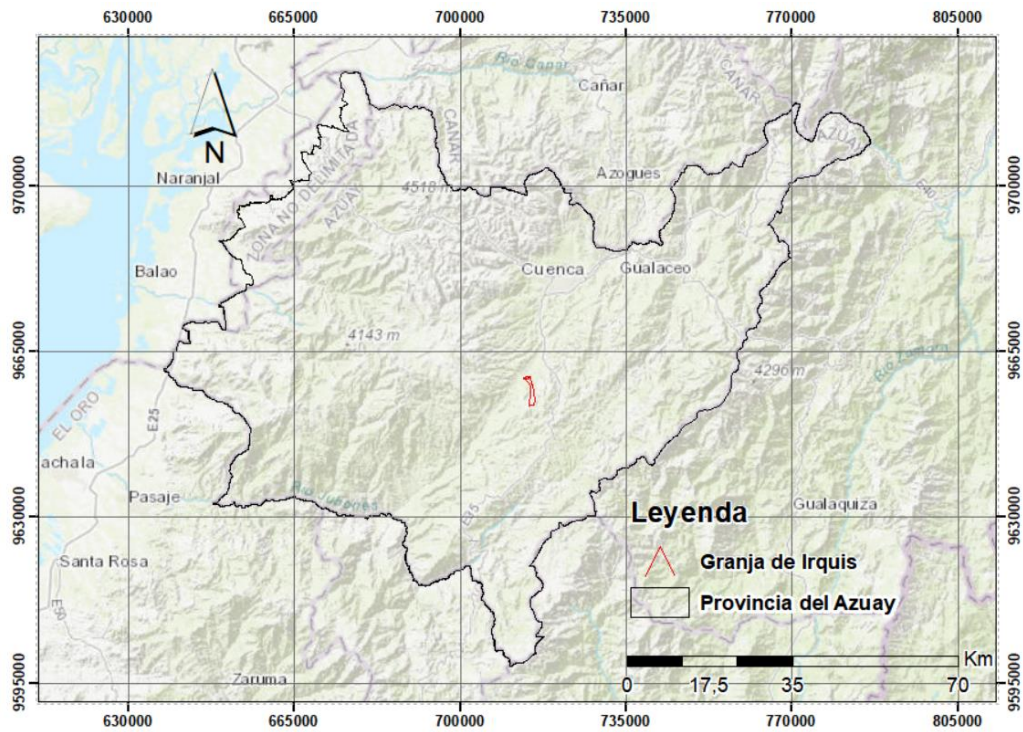
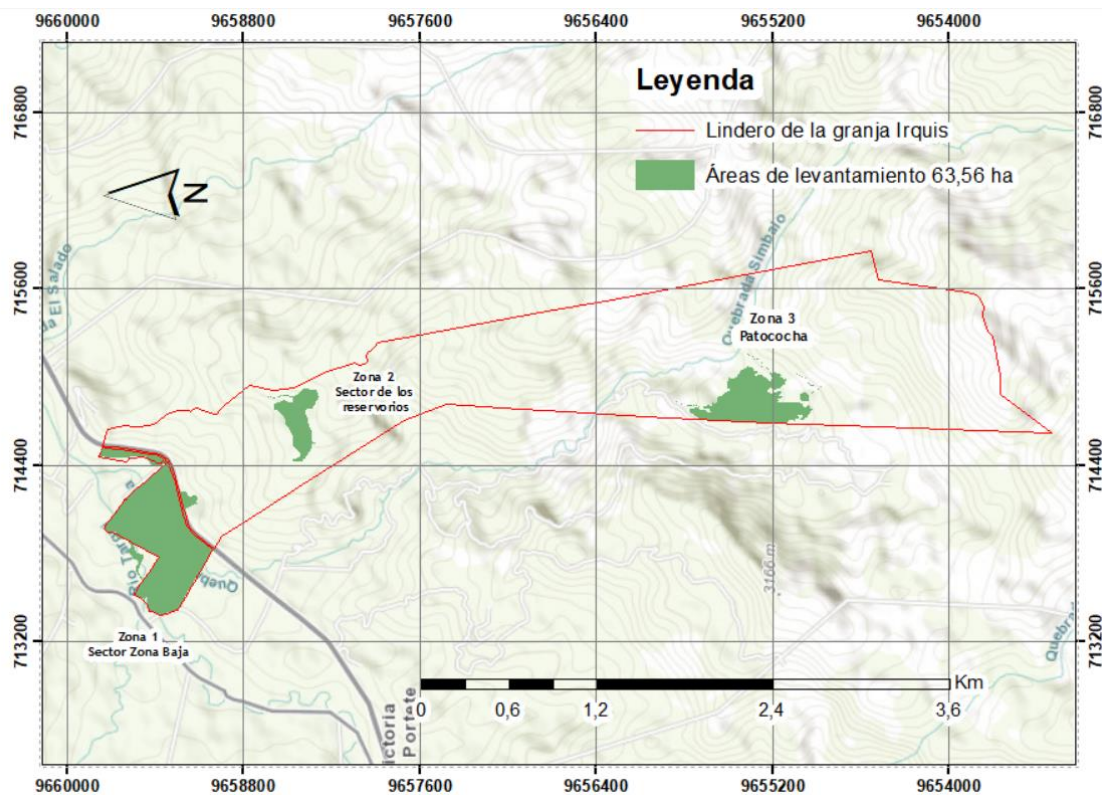


Figura 3. Delimitación de las zonas del levantamiento en la granja Irquis



3.1 Materiales y equipos

Los diferentes equipos y materiales fueron facilitados por el laboratorio de Geomática de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca. En la tabla 1, se enlistan los materiales utilizados. Además, para el procesamiento fotogramétrico se utilizó la plataforma en línea Agisoft Cloud (figura 4), con el objetivo de reducir el tiempo de procesamiento de la información.

Tabla1. Materiales empleados durante el levantamiento Aerofotogramétrico

Materiales de Campo	Materiales de Oficina	
	Equipos	Software
RPAS EBEE	Computadora: CPU 32V2,7 GHz, INTEL I7	ArcMap
Equipo Autel Evo II (20 mpx)	XEON E5 2686v4; RAM 244	Emlid Flow
Cámara (S.O.D.A Corridor) 20mpx		Locus Map
Receptores GNSS		Leica Infinity
Lonas foto-identificables de 1m X 1m		Civil 3D Agisoft Metashape Agisoft Cloud
Estacas		
Clavos		

Fundas

Trípodes


Cintas métricas

Nota. En el procesamiento fotogramétrico se empleó una computadora de una plataforma en línea, que presta servicios por suscripción mediante Agisoft Cloud. Las características del procesador se encuentran descritas en la columna de equipos.


Figura 4. *Visualización de la plataforma en línea de Agisoft Cloud*

Welcome, ml90 ml90!


My plan: **Non-Commercial** [Subscribe to Commercial Plan](#)


Storage
Unlimited term

22.2 GB / 50 GB 44.3% used


Processing Hours
Renews monthly

18 hr 6 min left

Hardware 

Currently, the service uses two types of computing nodes. The type of computing node for each individual processing is selected randomly.

CPU	GPU	RAM
TYPE 1: 32 vCPU 2.7 GHz, Intel Xeon E5 2686 v4	2 x NVIDIA Tesla M60	244 GB
TYPE 2: 32 vCPU 3.3 GHz, AMD EPYC 7R32	2 x AMD Radeon Pro V520	128 GB

Free of charge Non-Commercial Plan provides limited storage space and processing time renewing each calendar month for trial or educational use. For any questions, please email support@agisoft.com

[Go to My Projects](#) →

Agisoft Cloud
ml90 ml90

[My projects \(2\)](#)

[Shared with me \(0\)](#)

[Support](#)

Storage
22.2 GB / 50 GB 44.3% used

Processing Hours
18 hr 6 min left

My projects

Search

Create Project ?

Add +

Preparing data
✕

19 min left...
15%

20230424_tarea2

24/04/2023 (Modified 5 minutes ago)

Size 4.26 GB

Tarea1_v4

29/03/2023 (Modified 2 days ago)

Size 17.89 GB

Fuente: (Agisoft Cloud, s. f.)

3.2 Metodología

En la aerofotogrametría con RPAS, para garantizar la calidad y precisión de la información se requiere emplear una metodología detallada. En el proyecto, se basó en metodologías de autores como: Martínez-Carricondo et al., (2023), Westoby et al. (2012) y Salandra et al. (2021), con diversos cambios acoplados al entorno y los recursos disponibles, con el objetivo de asegurar precisión de los resultados a generar. La metodología empleada se centra en seis puntos que son:

1. Planificación del vuelo
2. Georreferenciación de los puntos de apoyo y control
3. Ejecución de vuelo
4. Procesamiento fotogramétrico
5. Generación de productos cartográficos

3.2.1 Planificación del vuelo

- Reconocimiento de la zona del levantamiento

La actividad consistió en realizar un reconocimiento de la zona de estudio, tanto a nivel de oficina (figura 5) como con salidas a campo (fotografía 1), con el objetivo de conocer la topografía del terreno para identificar zonas foto-identificables y de fácil accesibilidad para la colocación tanto de los puntos de apoyo, control y los respectivos hitos.

Figura 5. *Reconocimiento en oficina de la zona de estudio.*



Nota: Las diferentes tomas obtenidas de Google Earth permiten realizar un recorrido virtual de todas las zonas de estudio, de forma versátil economizando recursos.

Fotografía 1. *Reconocimiento de la zona de estudio en campo*



- Implementación de los hitos

De acuerdo al IGM (2006), para cualquier trabajo geodésico o topográfico se debe revisar el control geodésico de la zona de estudio, por tal razón el IGM pone a disposición toda la Red Geodésica Nacional con el objetivo de garantizar las presiones de acuerdo a las necesidades,

en este sentido, debe existir una señalización que permita conocer la ubicación exacta de determinadas coordenadas, para lo cual se utilizó hitos en forma de mojones que fueron contruidos y georreferenciados dentro de los predios de la granja Irquis. El hito empleado en forma de mojón es el IGM-B, de acuerdo a la normativa las dimensiones son de base superior: 0,25 X 0,25 m, base inferior: 0,30 X 0,30 m, altura: 0,20 m y profundidad: 0,60 m. Se colocaron dos hitos, A y B (fotografía 2).

Fotografía 2. *Hitos A y B tipo IGM-B*



a) Hito A



b) Hito B

- Configuración del equipo GPS T300 Plus

El receptor GNSS T300 Plus, se utilizó como base para la obtención de datos brutos (PPK). El receptor se acopla a una barra de extensión para ser colocado sobre una base nivelante y un trípode (fotografía 3). El receptor se calibra sobre el hito (punto de referencia) y se mide la altura desde la base hasta el hito. Posteriormente, para el procesamiento de la información se conecta el receptor con un cable USB a la computadora y se transfiere los datos en formato RINEX para consecutivamente realizar la corrección diferencial.

Fotografía 3. *Receptor T300 acoplado a una base nivelante sobre un trípode*



- Configuración del equipo receptor GNSS EMLID Reach RS2

Este dispositivo GPS fue utilizado como base y móvil en toda la etapa de levantamiento de información en campo, puesto que para posicionarlo se siguió una secuencia de pasos descrita a continuación.

Paso 1. Se ajustó el jalón a 2 metros de altura para así montar el equipo con su antena y encenderlo.

Paso 2. Se colocó el equipo en un trípode en un punto determinado nivelado y manteniéndolo inmóvil (Fotografía 4).

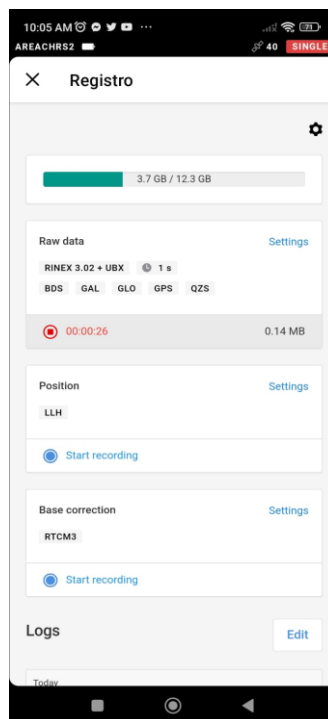
Paso 3. Mediante conexión wifi se conectó al equipo y conjuntamente con la aplicación Emlid Flow (ReachView 3), el cual se permite configurar de acuerdo a la información requerida (figura 6).

Paso 4. Al terminar con el levantamiento de información, se extraen los datos del equipo, a través de la misma conexión wifi, pero dentro de un navegador web colocando la dirección IP del equipo.

Fotografía 4. Configuración del equipo GNSS EMLID Reach RS2 en la aplicación móvil Emlid Flow



Figura 6. Configuración del equipo GNSS EMLID Reach RS2 con la aplicación móvil Emlid Flow



Nota: En la presente figura se aprecia la configuración para la obtención de datos brutos (PPK)

- Georreferenciación del Hito A y B

De acuerdo al IGM (2009), la georreferenciación de los hitos se debe emplear dispositivos receptores del GNSS de alta precisión y que de acuerdo a la distancia de la línea se establecerá un tiempo mínimo para la recepción de la información. En el caso de la georreferenciación de los hitos A y B ubicados en la granja Irquis, se estableció una línea base utilizando la Estación de Monitoreo Continuo del IGM con código CUEC ubicado en la Ciudad de Cuenca en el sector de Cristo Rey, se determinó una distancia de aprox. 21,3 Km. En la tabla 2 el IGM establece los rangos de tiempo de recepción de la información de acuerdo a la distancia existente entre las coordenadas de los hitos y las coordenadas de la Estación de Monitoreo Continuo, en el proyecto se estableció una línea base entre los hitos “A” y “B” y la Estación de Monitoreo Continuo de la ciudad de Cuenca (CUEC).

Tabla2. Tiempo de recepción de cada sesión de acuerdo a la distancia de línea base

Distancia (Km)	Minutos	Horas	Minutos
10	50	0	50
20	70	1	10
30	90	1	30
40	110	1	50
50	130	2	10
60	150	2	30
70	170	2	50
80	190	3	10
90	210	3	30
100	230	3	50

120	270	4	30
140	310	5	10
160	350	5	50
180	390	6	30
200	430	7	10

Nota. Fuente (IGM, 2006)

Según la normativa del IGM (2006), se debe establecer un tiempo de recopilación de información de 1: 30 minutos (tabla 2), no obstante, para el presente proyecto se recopiló información alrededor de 7 horas, se emplearon los receptores GNSS T300 Plus y Emlid Reach RS2. La información obtenida fue de datos brutos (PPK), que posteriormente se realizaron la corrección diferencial.

Con el objetivo de establecer líneas base más cortas con el resto de puntos de apoyo y control a levantar dentro de la granja, se georreferenciaron los hitos A y B (fotografía 2).

Figura 7. Línea base entre el Hito A y la Estación de Monitoreo Continuo (CUEC)



- Corrección diferencial de los Hitos para la zona 1

Georreferenciados los hitos A y B, se realizó la corrección diferencial mejorando la precisión de la información. La corrección diferencial consiste en utilizar una base con coordenadas conocidas (Estación de monitoreo continuo), que corregirá a una estación móvil (hitos A y B).

Al realizar la corrección diferencial se utiliza datos brutos (PPK). De acuerdo a Martínez et al. (2023), la información PPK realiza la corrección diferencial posterior al momento de recepción de la información, ya que ha existido interferencias de la señal.

Para la corrección diferencial de los hitos se empleó el software para ordenador Leica Infinity, el cual permite el procesamiento de datos topográficos levantados a campo, y a su vez emite un reporte (tabla 3) para conocer la presión de los datos corregidos (Leica, s. f.).

Tabla3. Resumen de las correcciones diferenciales proporcionado por el software Leica Infinity

Point Id	Use	Occupation Mode	Start Time	End Time	Duration	Antenna IGS Name	Receiver Name
CUEC	Reference	Static	08/02/20 23 18:59:42	10/02/20 23 18:59:41	47:59:59	TRM5980 0.00 SCIS	NetR9
Hito A	Rover	Static	09/02/20 23 09:10:22	09/02/20 23 16:19:43	07:09:21	CNTT300 plus	ComNav plus
HitoB	Rover	Static	09/02/20 23 09:24:55	09/02/20 23 16:22:21	06:57:26	EML_RE ACH_RS 2	EMLID REACH RS2
HitoA	Rover	Static	10/02/20 23 08:54:40	10/02/20 23 12:30:49	03:36:09	EML_RE ACH_RS 2	EMLID REACH RS2

Nota. En la presente tabla se aprecia que el receptor CUEC se empelo de base para la corrección diferencial de los hitos tanto A y B.

Al final de la corrección se realizó una monografía para cada hito A y B (Anexo A y B).

- Planificación del plan de vuelo con los equipos RPAS

De acuerdo a Quispe (2016), para obtener una escala 1:1000 se deben considerar una velocidad constante de 10 m/s y se selecciona un tamaño de píxel menor a los 10 cm/pix. La altura de vuelo se fijó en 200 metros aproximadamente y se estableció un traslape longitudinal y transversal del 70% y 80%, respectivamente, en las tres zonas de vuelos de acuerdo a las recomendaciones de Márquez (2016)

- **Planificación del plan del vuelo con el equipo Ebee RTK**

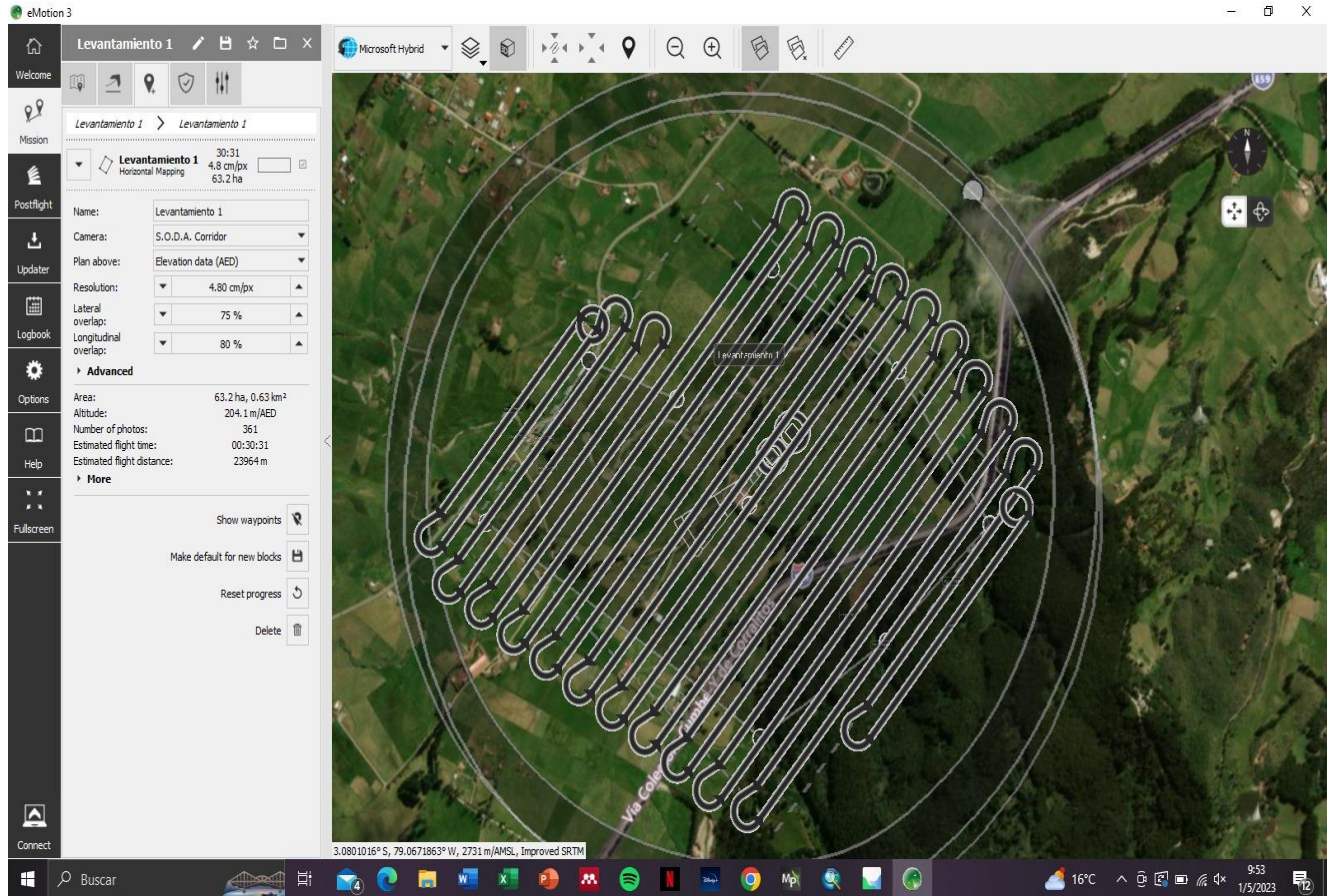
Para la planificación del vuelo, se empleó el software eMotion 3. Mediante el software se ajustan los parámetros técnicos (tabla 4), y además permite realizar una simulación del vuelo. La primera actividad consistió en crear y cargar una capa en formato KML del área a cubrir en el software eMotion 3. Es importante destacar que durante la planificación se consideró la necesidad de generalizar el lindero del predio a cubrir para evitar giros bruscos del Equipo Ebee RTK. La generalización del lindero o predio a levantar consiste en realizar el polígono del lindero lo más homogéneo posible, evitando que el vehículo RPAS realice giros bruscos. Además, durante la planificación se consideró que el equipo vuele en contra de la pendiente del terreno para evitar un desgaste innecesario de la batería del equipo.

Tabla 4. Planificación con el Software EMotion 3 para la zona 1

Parámetro	Cantidad	Unidad de medida
Tamaño del Pixel	5,1	cm/px
Traslape Longitudinal	75	%
Traslape Transversal	80	%
Área	63,2	ha
Altura de vuelo	200	m
Tiempo de vuelo	30	min.
Número de Fotos	367	u.
Cámara	S.O.D.A. Corridor	

Recalcar que el equipo Ebee RTK, solo se empleó para realizar el vuelo de la zona 1, ya que este sector abarca un área más grande a cubrir y demandaba mayor cantidad de tiempo de vuelo.

Figura 8. Misión planificada para la zona 1 con el software Emotion 3



- Planificación del vuelo con el equipo AUTEL EVO II

El software para dispositivo móvil AUTEL EXPLORE (figura), permite ajustar los parámetros técnicos (tabla 5) para el equipo AUTEL EVO II. Se carga un capa en formato KML del polígono del terreno a volar y de igual manera se realiza una generalización del terreno para evitar que el equipo realice giros brusco. Los vuelos se planificaron tomando en cuenta la duración de las baterías (20 minutos)

Tabla5. Planificación con el software AUTEL EXPLORER para la zona 2 y 3

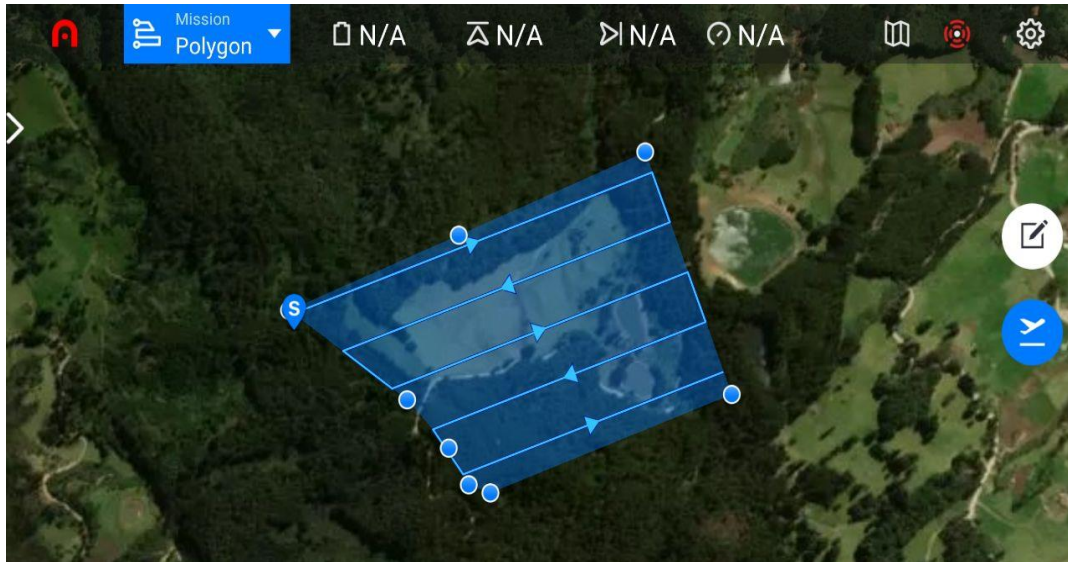
Parámetro	Cantidad	Unidad de medida
Tamaño del Pixel	4,34	cm/px
Traslape Longitudinal	75	%
Traslape Transversal	80	%
Altura de vuelo	200	m
Tiempo de vuelo	30	min.
Número de Fotos	243	u.
Cámara	S.O.D.A. Corridor	

Recalcar que el equipo EVO II se empleó para realizar el vuelo para las zonas dos (Figura 9b) y tres (Figura 9c).

Figura 9. Planificación del vuelo para el RPAS Autel EVO II



a) Aplicación Móvil



b) Zona dos



c) Zona tres

- Colocación de los puntos de apoyo y control

Realizado el reconocimiento del terreno, se identificaron sectores idóneos para colocar las dianas (lonas fotoidentificables), sin tengan riesgos a ser retirados. Previamente para esta actividad, se realizó una planificación en Google Earth para lo cual se creó una capa de puntos que posteriormente fueron exportados a la aplicación móvil Locus Map. Mediante esta

aplicación se pudo guiar al lugar de los puntos previamente planificados, y de acuerdo a la características del terreno se decidía si se colocaba en ese lugar o se buscaba otro lugar más adecuado. Los puntos fueron colocados los más homogéneamente, asegurándonos de ubicarlos en los medios y externos del predio.

Siguiendo la recomendación de Sanz et al. (2018), utilizamos 4 puntos de apoyo por cada 100 fotografías. Planificamos el número de puntos de apoyo y control, de acuerdo a las planificaciones de los equipos de vuelo, en donde se tomaba como referencia el número de fotografías por cada vuelo (tabla 4 y 5). Se colocaron una cantidad similar para los puntos de control.

En la Tabla 6 se establecieron la cantidad de puntos implementados de acuerdo en todo el levantamiento.

Tabla6. Puntos de apoyo y control para cada zona

Zonas	Número de fotos	Cantidad de puntos	
		Apoyo	Control
Zona 1	367	13	9
Zona 2	164	6	8
Zona 3	243	9	10

- Localización en campo de lonas o dianas

Para la identificación de los puntos de control y apoyo, se utilizó dianas de un 1m x 1m, de colores negro y blanco (fotografía 5b). Adicionalmente, se calvaron estacas para determinar el centro del punto (fotografía).

Fotografía 5. *Ubicación de las dianas fotoidentificables*



a) Estacas marcadas su centro



b) Lonas fotogramétricas

En la Fotografía 5 se evidencia el proceder para colocar una diana, por un lado, en el inciso a) se observa la señalización con pintura y una estaca de un punto a georreferenciar, y en el inciso b) la colocación de la diana.

3.2.2 Georreferenciación de los puntos de apoyo y control

Identificados los puntos de apoyo y control con las dianas, se georreferencio utilizando los receptores GNSS Emlid Reach RS2. El un receptor se colocó en hito A (fotografía7) que será empleado para corregir los puntos a levantar, el otro receptor se empleó como móvil para desplazarnos a cada uno de los puntos de control y apoyo, el receptor se colocó por 8 minutos en centro de la diana (fotografía 5). En la figura 11, se aprecia la distribución de los puntos de apoyo y control de la zona 1. La aplicación Locus Map nos permitió desplazarnos a cada uno de los puntos planificados.

Figura 10. Ubicación de puntos de apoyo y control en la zona 1



Figura 11. Distribución espacial de los puntos de apoyo y control en la Aplicación Locus Map



Fotografía 6. *Georreferenciación de los puntos de apoyo y control*



Fotografía 7. *Recepción de información en el hito A*



Una vez georreferenciado todos los puntos de apoyo y control de la zona 1, La información obtenida fue datos brutos o PPK que posteriormente fueron corregidos diferencialmente, recalcando que estos puntos establecieron líneas bases con los Hitos A y B.

- Corrección diferencial para las zonas 2 y 3

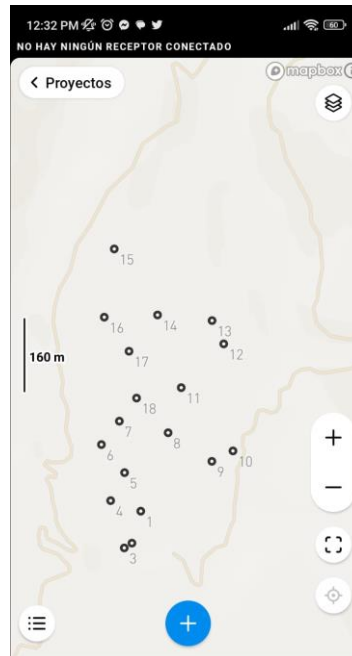
Para las zonas tanto 2 y 3, se colocaron las dianas en base a la misma metodología empleada para la zona 1. Para la georreferenciación de los puntos de apoyo y control se utilizaron datos RTK. De acuerdo a Martínez et al. (2023), los datos RTK permiten obtener datos cinemáticos en tiempo real, es decir que los receptores GNSS son corregidos al momento de recibir la señal con precisión centimétrica, generalmente estos datos son utilizados cuando no existe una interrupción de la señal de los receptores. Para la configuración de los receptores se utilizó el software para móvil Emlid Flow (figura 12), se configura para que recopilen información RTK y genera un proyecto (figura 13).

Se utilizo un receptor GNSS como base y otro como móvil, el móvil se desplazó hacia cada uno de los puntos de apoyo y control. Para el receptor base se empleó las coordenadas que el propio receptor GNSS Emlid *Reach RS2* proporcionó con un tiempo de recepción de 10 minutos, estas coordenadas nos permitieron corregir al resto de puntos levantados.

Figura 12. Configuración para la recepción de datos brutos (RTK) en los receptores GNSS Emlid Reach RS2 mediante aplicación móvil Emlid Flow



Figura 13. Levantamiento RTK de la zona 3



Como ya se mencionó los datos RTK son corregidos instantáneamente, por lo que se recabo información de los puntos de apoyo y control durante un tiempo de 8 segundos. Para la corrección diferencial de las bases de las zonas 2 y 3, se estableció líneas bases con la estación de Monitoreo Continuo de Cuenca (CUEC), corregidas la bases en software de Leica Infinity se transforma la información en formato txt., que consecutivamente se suben estos puntos al software Civil Cad 3D y de igual manera el proyecto generado en la aplicación Emlid Flow (figura 13), se desplaza todo este proyecto a la posición correcta mediante el comando MOVE (figura 21 y figura 22), se tomó como posición correcta el punto corregido en software Leica al cual se lo denominó “Base de Anclaje” permitiéndonos realizar la corrección de todas las coordenadas de los puntos.

Figura 14. Desplazamiento de la base del proyecto a la base de anclaje

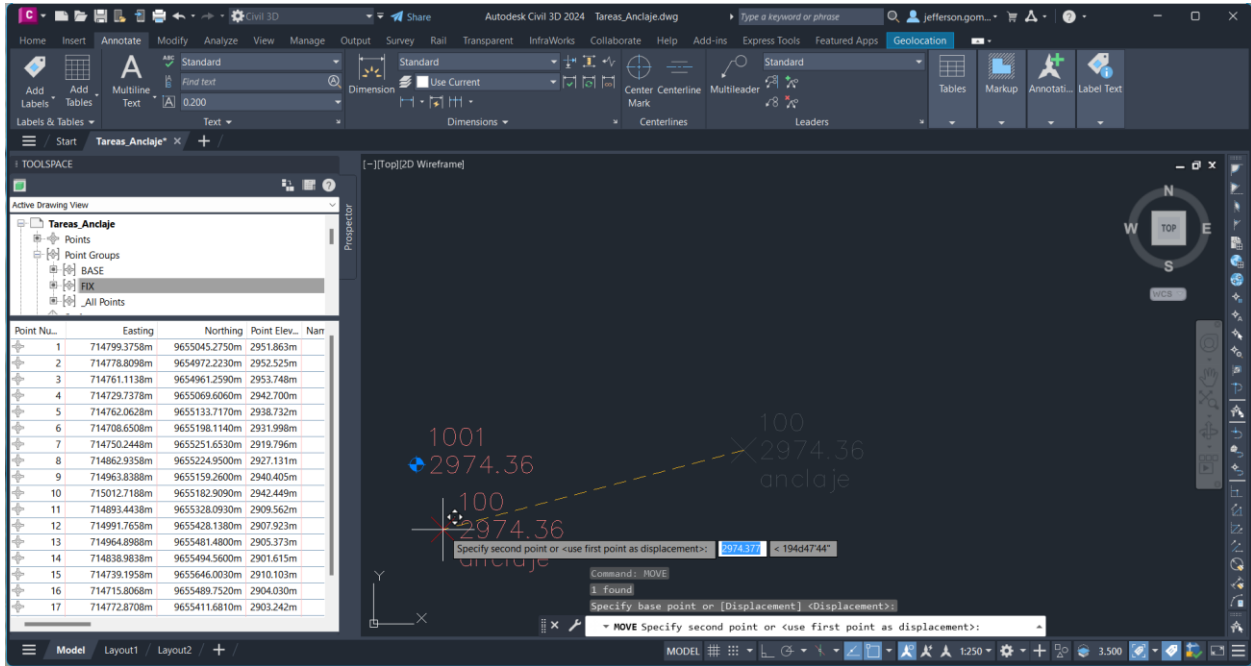
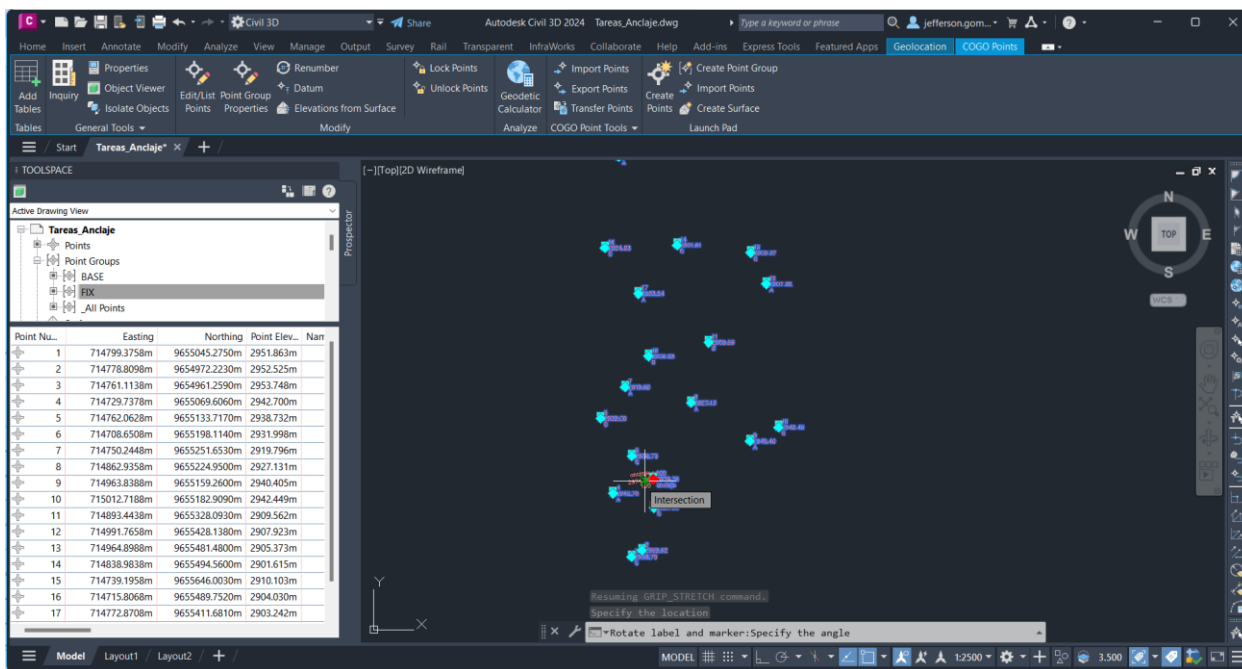


Figura 15. Desplazamiento de los puntos de apoyo y control a la coordenada de la base de anclaje



3.2.3 Ejecución del vuelo

Para la ejecución de vuelo se toman en cuenta los parámetros técnicos establecidos en la planificación del vuelo.

- **Ejecución del plan vuelo para el equipo Ebee RTK**

Para la ejecución del vuelo con el equipo Ebee RTK, se utilizó el software eMotion 3, considerando los parámetros técnicos establecidos en la planificación. En la Tabla 7 se resumen los parámetros del vuelo.

Tabla7. Planificación en Software Emotion 3 para la zona 1

Parámetro	Cantidad	Unidad de medida
Tamaño del Pixel	5,1	cm/px
Traslape Longitudinal	75	%
Traslape Transversal	80	%

Área	63,2	ha
Altura de vuelo	367	m
Tiempo de vuelo	30	min.
Número de Fotos	367	u.
Cámara	S.O.D.A. Corridor	

Recalcar que el equipo Ebee RTK, solo se empleó para realizar el vuelo de la zona 1, ya que la misma contaba con más área a cubrir, por lo tanto demandaba mayor cantidad de tiempo de vuelo.

Fotografía 8. *Ejecución del vuelo para la zona 1 con el equipo Ebee RTK*



- **Planificación y ejecución del vuelo para AUTEL EVO II**

Para ejecutar el plan de vuelo con el equipo AUTEL EVO II es necesario utilizar el software AUTEL EXPLORER.

Tabla8. Planificación en Software AUTEL EXPLORER para la zona 2

Parámetro	Cantidad	Unidad de medida
Tamaño del Pixel	4,34	cm/px
Traslape Longitudinal	75	%
Traslape Transversal	80	%
Altura de vuelo	163	m
Tiempo de vuelo	30	min.
Número de Fotos	243	u.
Cámara	S.O.D.A. Corridor	

Recalcar que el equipo AUTEL EVO II se empleó para realizar el vuelo para la zona dos (Figura 9b) y tres (Figura 9c).

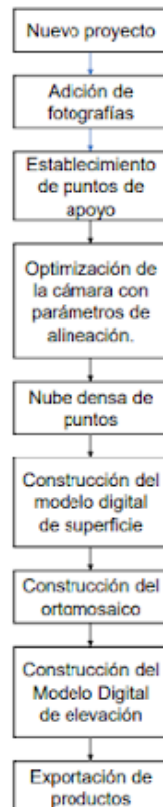
Fotografía 9. Ejecución de vuelo para el equipo Autel EVO II para la zona 2



3.2.4 Procesamiento fotogramétrico

La Figura 16 muestra el diagrama de flujo de la secuencia a seguir dentro del procesamiento fotogramétrico. En esta etapa los procesos se realizan de manera general para cada una de las zonas de vuelo realizadas.

Figura 16. *Diagrama de flujo del procesamiento fotogramétrico*

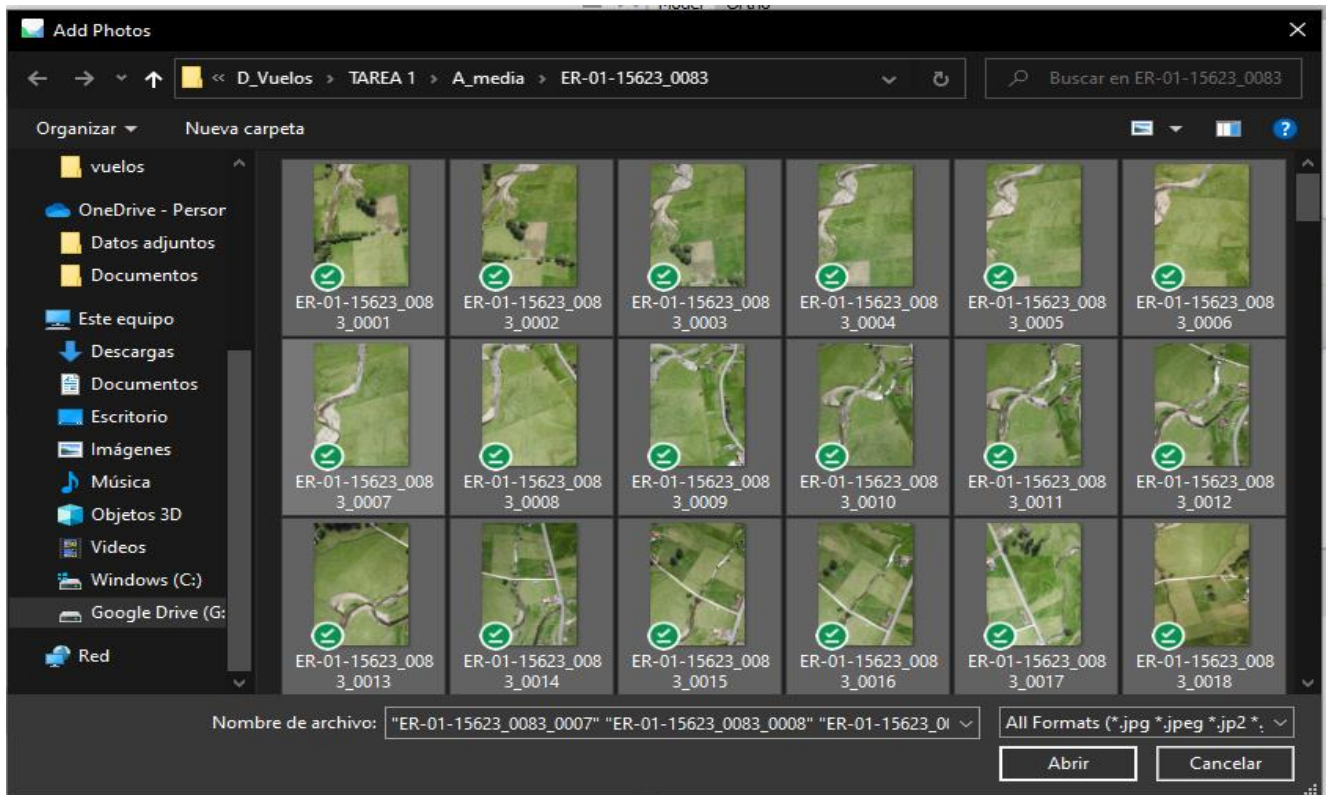


- **Crear nuevo proyecto**

Se creó un nuevo proyecto el cual trabaja secuencialmente dentro del flujo de fotogrametría digital basado en algoritmos para la reconstrucción, ejecutado a través del software fotogramétrico Agisoft Metashape (Rímolo et al., 2021).

- **Adición de fotografías**

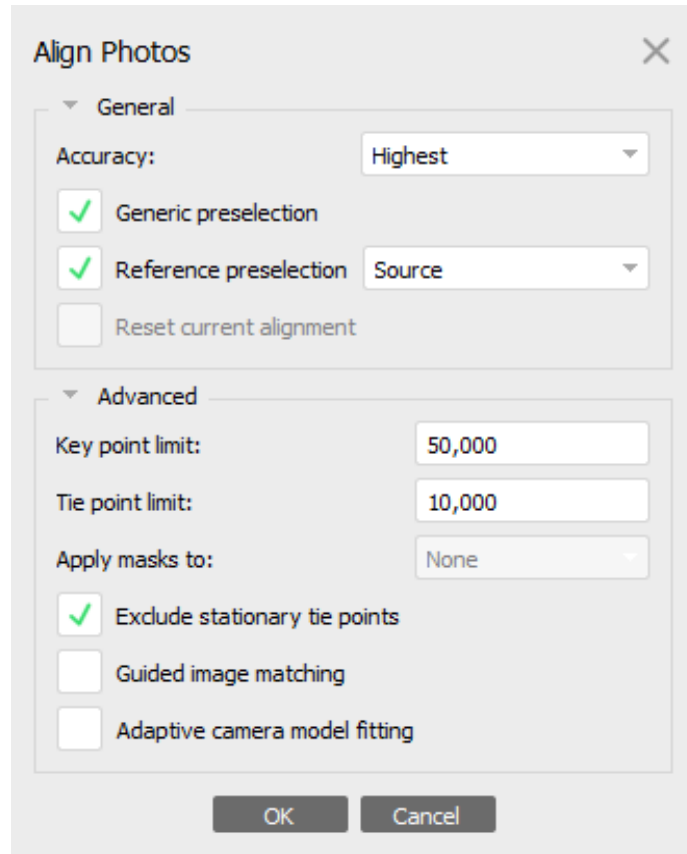
Se añadieron al programa Agisoft Metashape las fotografías georreferenciadas recopiladas en las tres zonas de vuelo, independientemente de cada una, al tener las imágenes dentro, se crea en el espacio de trabajo un folder denominado Chunk 1(Figura 17) (Rímolo et al., 2021).

Figura 17. Adición de fotografías a Agisoft Metashape

- Alineación de fotografías

Al tener las fotografías subidas dentro del programa, se procedió a realizar la alineación al seleccionar el comando alinear fotos en el menú flujo de trabajo el cual busca la correcta orientación y posición para cada fotografía (Agisoft, s. f.), Según Rímolo et al. (2021) el proceso permite por medio de algoritmos de visión por computador, extraer puntos clave (keypoints) y puntos de enlace (matching point) en donde exista el traslape entre las imágenes y así proyectar las imágenes en un espacio tridimensional, estimar su posición y orientación, y generar la nube dispersa de puntos, tener en cuenta que una precisión alta permitirá obtener posiciones más precisas, dicho autor recomienda aplicar la precisión máxima y contener 40000 puntos clave y 4000 puntos de enlace, por lo que establecimos el procesamiento con una precisión alta (Highest) tomando 50000 y 10000 puntos, clave y de enlace, respectivamente (Figura 18). Una vez finalizado el proceso se crea la nube dispersa de puntos, con los puntos enlazados, identificados y validados entre las fotografías.

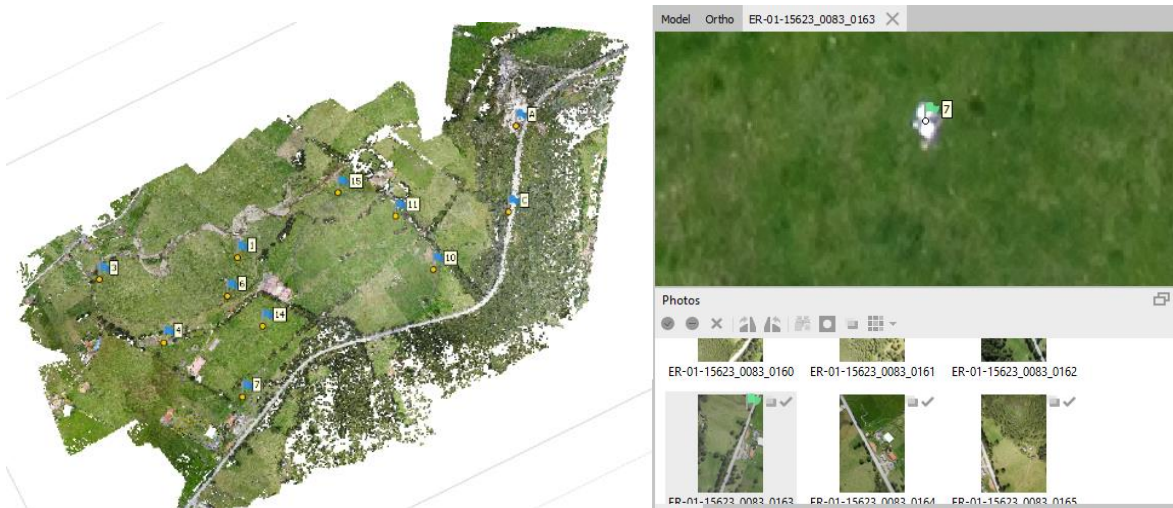
Figura 18. *Alineación de fotografías en Agisoft Metashape*



- **Establecimiento de los puntos de apoyo**

Gracias al establecimiento de puntos de apoyo se puede mejorar la precisión en el proceso de alineación y reducir los errores en el posicionamiento, por lo que se agregaron los marcadores (Figura 19a), se importaron por medio de un archivo de texto o un archivo separados por comas (CSV) los cuales contienen información de coordenadas en “X”, “Y” y “Z”, de los puntos que se tomaron previamente, a través del icono importar referencia. Una vez subidos, los marcadores se ubican con una aproximación sobre todas las fotografías, y manualmente ubicamos dichos marcadores a su posición correcta en cada una de las imágenes que sean visibles con las lonas fotogramétricas por medio de un filtrado de fotos por puntos(Figura 19b), al ubicar las marcas en más de dos imágenes, el programa aproxima el marcador en el resto de las imágenes lo que facilita el proceso, y finalmente en imágenes que no se logren apreciar no se colocó la marca puesto que resulta un incremento del error en la proyecciones (Rímolo et al., 2021), y se revisó los errores en metros y píxeles para visualizar el ajuste en la coordenada.

Figura 19. Adición de puntos de apoyo y marcadores



a) Adición de puntos de apoyo

b) Adición de marcadores

- **Optimización de la cámara con parámetros de alineación**

Una vez finalizado el proceso de localización y posicionamiento de los puntos de apoyo, se realizó el proceso optimización de la cámara, en el menú herramientas que generalmente mejora los resultados de alineación y reduce los errores teniendo la alineación previa (Agisoft, s. f.), y así es posible ajustar las coordenadas espaciales de la nube de puntos, y poder visualizar los errores, error cuadrático medio (RMSE) y el error a nivel de píxeles resultantes, gracias a la alineación con los puntos de apoyo (Rímolo et al., 2021).

- **Construcción de una nube densa de puntos**

A partir de la nube de puntos previa, en el flujo de trabajo se realizó la densificación creando más puntos para así dar mejor detalle las elevaciones o relieves del terreno (Figura 20) (Agisoft, s. f.), este proceso es el que demanda más tiempo y recursos computacionales, donde se debe escoger la calidad de la nube a extra alta, ya que utiliza la máxima resolución disponible en las imágenes, existen además calidades inferiores que repercuten en el producto final, además se realizó el filtrado de profundidad moderado que brinda resultados eficientes en nubes que contengan abundante vegetación (Rímolo et al., 2021), finalmente culminado el proceso es posible visualizar la cantidad de los puntos generados en las tres zonas de vuelo.

Figura 20. *Nube densa de puntos*



- **Construcción del modelo digital de superficie**

Se construyó el modelo digital de superficie, el cual representa todos los valores de altura por medio de la nube densa de puntos filtrada previamente, en la que se depuró eliminando puntos atípicos y ruido mejorando la calidad del modelo final en la que se obtuvo los valores de las elevaciones en cada una de las partes del terreno.

- **Construcción del ortomosaico**

Se creó el orto mosaico a partir de la ortorrectificación de las imágenes originales, dentro del flujo de trabajo (Agisoft, s. f.), en el proceso se escogen, entre las imágenes disponibles, las secciones o lugares proyectados que mejor reconstruyan el mosaico. Además, se crearon las curvas de nivel en la herramienta crear contornos, que se generan como formas vectoriales (Rímolo et al., 2021).

- **Construcción de un Modelo Digital de Elevación.**

Para la construcción del MDE se realizó el filtrado nuevamente de la nube densa de puntos, para así poder determinar qué puntos son pertenecientes a terreno y que puntos no, y para llegar a esa meta se lo realizó en función de los parámetros de proceso que son el ángulo máximo que define el límite de inclinación entre puntos asignados representando la pendiente máxima, la distancia máxima que determina la distancia entre un punto y el modelo, y el tamaño de celda que determina el tamaño en que se subdivide la nube de puntos (Rímolo et al., 2021), para correr el proceso aplicamos los parámetros a 16°, 0.5 m y 70 m,

respectivamente, por defecto del programa para cada uno de las zonas. Al finalizar el proceso de filtrado, eliminamos los puntos no deseados y elementos no relevantes.

- **Construcción del MDE**

A partir de la nube densa de puntos previamente filtrada y con los parámetros establecidos anteriormente, se generó el modelo al seleccionar la clase de puntos que pertenecen a terreno, para identificar y eliminar los puntos correspondientes a objetos no terrestres, requeridas para poder construir o generar el MDE.

- **Exportación de productos**

Se exportaron los productos resultantes, los cuales se pueden extraer en diversos formatos, pero comúnmente se utiliza un formato ráster (Geotiff) el cuál aplicamos en nuestro caso.

3.2.5 Generación de productos cartográficos

Existen varias herramientas y paquetes de sistemas de información geográfica (SIG) que se pueden utilizar para manipular productos fotogramétricos en forma de capas raster o vectoriales, en este caso se utilizó ArcGis la cual nos permitió gestionar los modelos de manera más efectiva para facilitar la extracción de información relevante (Rímolo et al., 2021).

- **Digitalización de la planimetría en el orto mosaico**

Al contar con la ortofotografía final de las zonas, se procedió a realizar la digitalización en pantalla de todas las áreas identificables dentro de la granja como es el caso de los potreros, infraestructuras, reservorios, drenajes y quebradas, vías internas y externas, bosques, terrenos de las edificaciones, bloques, derechos de paso de los cuerpos de agua, mina de lastre, estaciones meteorológicas, entre otros, clasificando las capas por uso de suelo y cobertura vegetal (Tabla 9), según el protocolo dictaminado por el (MAE & MAGAP, 2015).

Tabla9. *Clasificación por uso de suelo y cobertura vegetal*

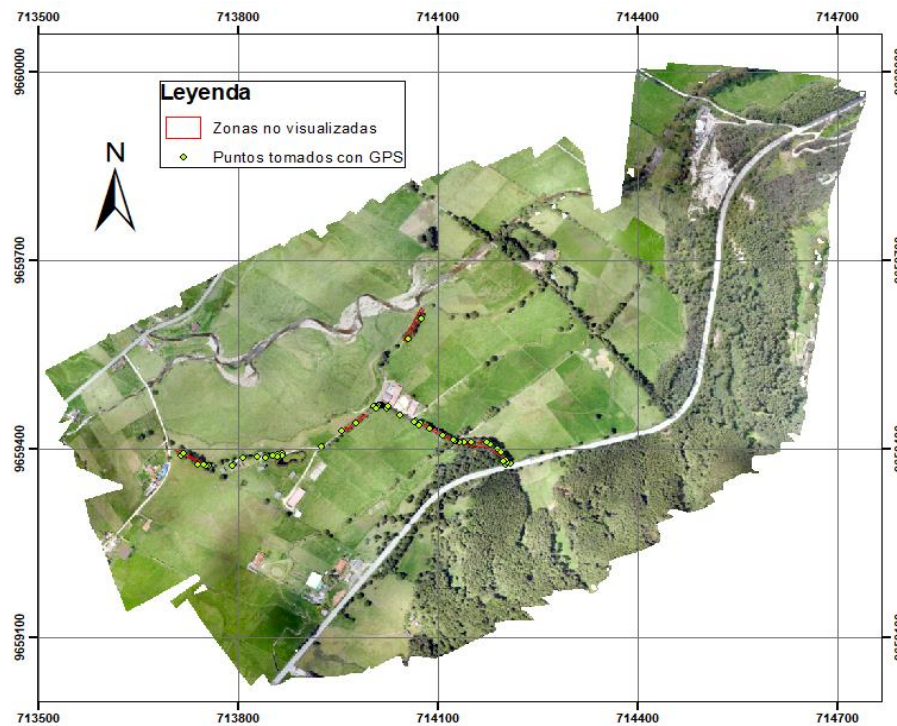
Uso de suelo	Cobertura vegetal
Bosque	Bosque nativo
	Plantación forestal
Tierra agropecuaria	Cultivo semipermanente
	Cultivo permanente
	Pastizal
	Mosaico agropecuario
Cuerpo de agua	Natural
	Artificial
Zonas antrópicas	Área poblada
	Infraestructura
Otras tierras	Glaciar
	Área sin cobertura vegetal
Sin información	Sin información

- Levantamiento en campo de la información faltante

Se analizó las áreas que no se pudieron visualizar dentro del ortomosaico para la digitalización en pantalla, debido a que la cobertura aérea de los árboles no permite una correcta visualización del entorno, por lo que se procedió a levantar datos en campo con equipo GPS tomando puntos de referencia específicos para complementar la información de las zonas de

estudio. Las áreas complementarias fueron el paso continuo de las vías y canales de agua dentro de la granja (Figura 21).

Figura 21. *Zonas de complementación de información*



Como información adicional, se procedió a levantar en su totalidad la información de campo referente a la ubicación de los hidrantes del sistema de riego instalado en la granja, puesto que por su deterioro a través del tiempo se han destruido y perdido en el predio, además de que no se logran visualizar dentro de la ortofoto, en campo con equipo GPS se levantaron todos y cada uno de los hidrantes encontrados (Figura 22) que posteriormente fueron digitalizados en pantalla gracias a los SIG.

Figura 22. *Levantamiento de hidrantes*



Y finalmente, se realizó la medición de las edificaciones, teniendo en cuenta que a simple vista lo que se logra apreciar es el techo de la construcción lo que al momento de dibujar se complicó ya que no se veía el suelo donde se alzó la construcción propiamente dicha, y tomando como referencia a Vásquez (2017), que menciona que para dibujar correctamente se debe realizar un trabajo extra en campo midiendo los volados y aleros, para así descontar sobre el elemento que se visualiza a primera vista que en este caso sería los techos de las infraestructuras, dicha metodología la adoptamos en nuestro caso.

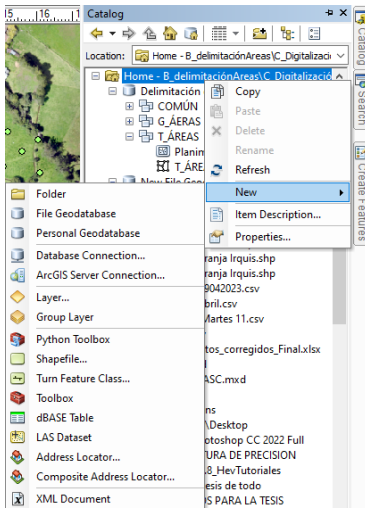
Figura 23. *Digitalización de infraestructura*



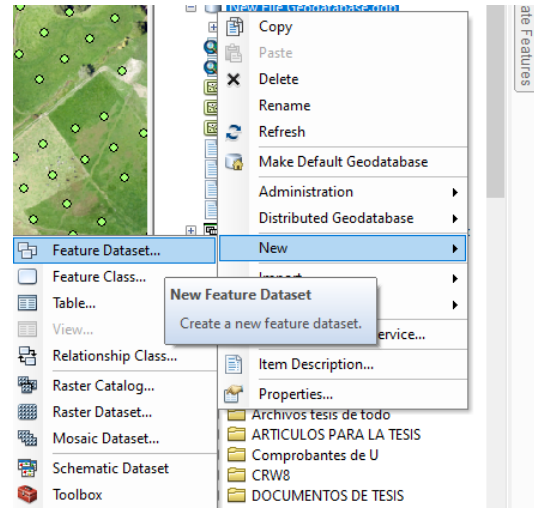
- **Control de geometrías**

Una vez realizada la digitalización en pantalla de todas las zonas de levantamiento, realizamos el control de las geometrías, en la cual creamos una base de datos para realizar la corrección topológica dentro del catálogo, ubicándonos en una carpeta conjuntamente con la digitalización en pantalla, dentro de dicha carpeta creamos un “File Geodatabase”(Figura 24 a), seguido volvemos a ubicarnos dentro de la carpeta y creamos un conjunto de datos dentro de la opción “New Feature Dataset” (Figura 24 b) trabajando con coordenadas WGS84 Zona 17S. Posteriormente importamos la capa digitalizada de la Granja para tener la información dentro de la Geodatabase (Figura 24 c) y así crear la topología, seleccionando topología dentro del Feature Dataset para abrir un cuadro de diálogo con las diferentes opciones para corregir nuestras geometrías, utilizamos las reglas NOT MUST OVERLAP que sirve para que no exista superposición en las capas y NOT MUST GAPS para evitar los vacíos dentro de la capa(Figura 24 d).

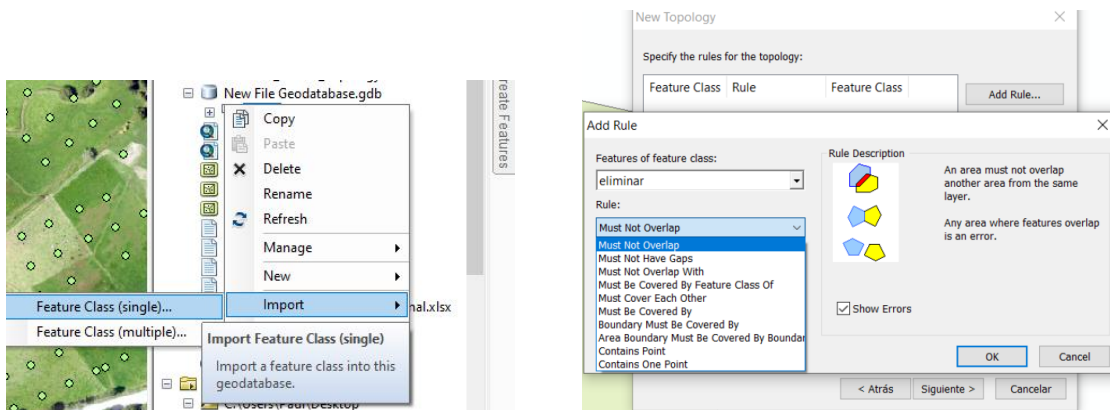
Figura 24. Topología



a) Creación de un File Geodatabase



b) Creación de un Feature Dataset

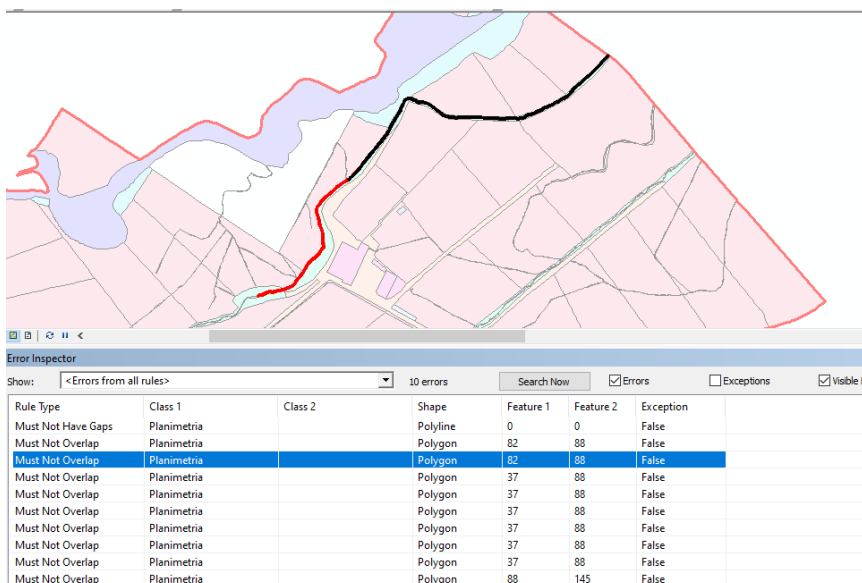


c) Importar la capa de digitalización

d) Adición de reglas para topología

Tras establecer las reglas de corrección en el punto anterior, por medio del inspector (Figura 24) se identificaron todos los problemas con errores topológicos a solucionar dentro de la digitalización de la granja, enlistados y dibujados de color negro o rojo en el mapa procedemos a corregir dichos errores por medio de la creación, unión y eliminación de polígonos dependiendo de las reglas aplicadas, para así validar la topología y corroborar que la edición es correcta.

Figura 25. Corrección de errores topológicos



- Unión de polígonos y codificaciones

Al completar la digitalización en pantalla de todas las zonas de levantamiento, se creó un nuevo campo dentro de la tabla de atributos para clasificar e identificar cada capa y facilitar la codificación de la información generada según la categoría que se le dio para poder agruparlas. En la Tabla 10 se aprecian las codificaciones creadas para la clasificación de las capas.

Tabla10. Codificación para las capas

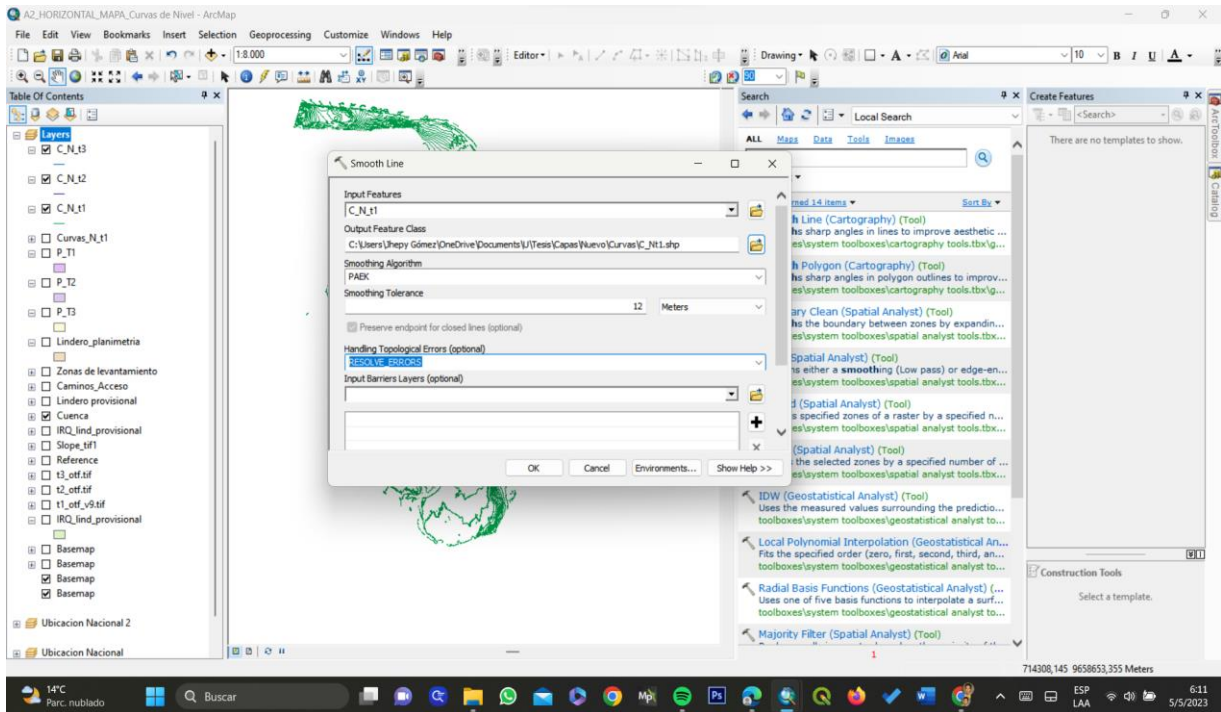
Capa	Código
Bloque	BQ
Bosque	BO
Drenaje	D
Derecho de paso	DP
Edificaciones	E
Estación meteorológica	EM
Espacios vacíos	EV
Espacio de transición	EP
Ladera no aprovechable	LA
Mina de lastre	ML
Terreno edificación	TE
Parqueadero tractor	PA
Reservorio interno	RI
Potrero	P
Quebrada	Q

Vías externas	VE
Vías internas	VI
Vado río	VR

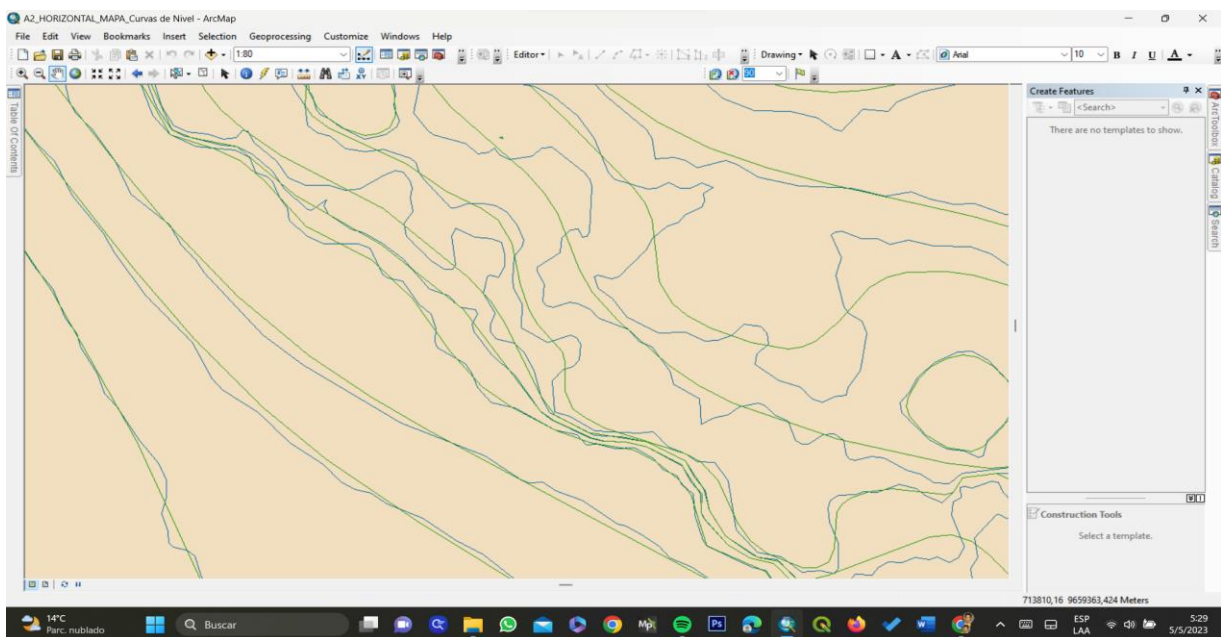
- **Curvas de nivel**

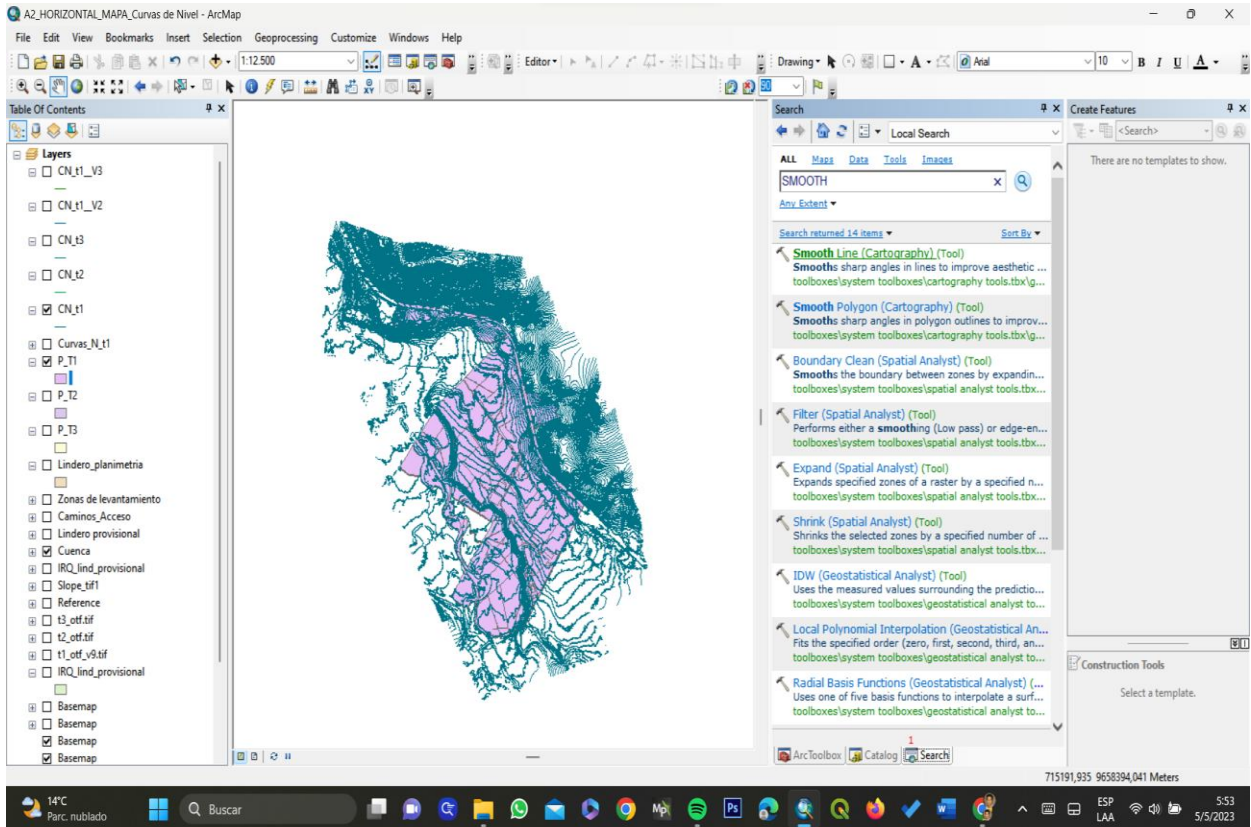
Se utilizó el software ArcMap, se genera un proyecto y se carga cargó el MDT (Modelo Digital del Terreno) y se aplicó el comando "Contour" para generar las curvas de nivel. Para cumplir con la escala 1:1000, se estableció un intervalo de 1 m entre cada curva. Luego, se generó un archivo que contiene las curvas de nivel y se abrió la tabla de atributos para crear un nuevo campo. En este campo se aplicó un cálculo geométrico para determinar la longitud de cada una de las curvas, eliminando las curvas que tengan menos de 35 m, logrando una mayor homogeneidad en las curvas. Mediante el comando "Smooth", se mejora la calidad de curvas, estableciendo un rango de tolerancia de 12 m y especificando que realice las correcciones tipológicas respectivas (figura 26 a). Como resultado, se obtuvieron curvas de nivel más simétricas (figura 26 b).

Figura 26. Generación de las curvas de nivel



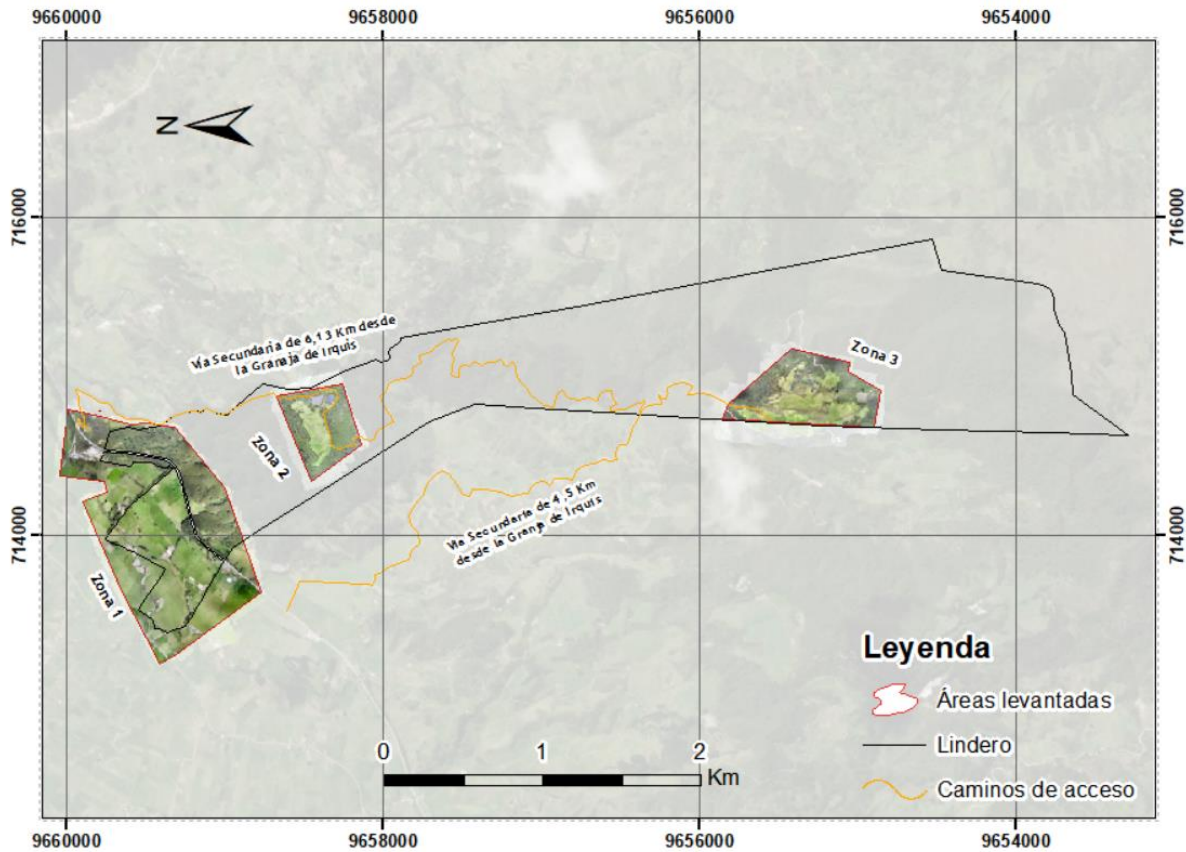
a) Geo proceso de suavizado(smooth)



b) Curvas de nivel suavizadas*c) Recorte de las curvas de nivel de acuerdo al área requerida***4. Resultados**

El levantamiento aerofotogramétrico realizado en la granja Irquis ha permitido la obtener información georreferenciada a detalle y de precisión, validada según las normas del IGM, tanto para planimetría y altimetría. A partir de esta información, se crearon diferentes mapas temáticos utilizando software de ArcMap. Los resultados obtenidos permitirán gestionar y planificar estratégicamente la granja de Irquis a nivel de parcela (figura 27).

Figura 27. Zonas de levantamiento aerofotogramétrico



La figura 27 muestra cada una de las zonas levantadas. La zona 1 se refiere al sector de la zona baja, la zona 2 se refiere al sector de los reservorios y la zona 3 se refiere al sector de Patacocha. Para elaborar el mapa de zonas levantadas se utilizaron ortofotografías generadas durante el proyecto. Además, se aprecian los accesos que se utilizan para llegar a cada uno de los sectores mencionados.

4.1 Modelo Digital de Superficie (MDS)

El MDS se generó para las tres zonas en base a la nube densa de puntos, teniendo en cuenta que se lo realizó sin ningún tipo de filtrado, para la zona baja se obtuvo una elevación mínima de 2628 m y máxima de 2771,71 m (Figura 37); para la zona de reservorios se obtuvo una elevación mínima de 2766,34 m y máxima de 2895,68 m (Figura 38); y finalmente, para la zona de Patacocha se obtuvo una altura mínima de 2835,77 y máxima de 3002,06 m (Figura 39).

Figura 28. *Modelo Digital de Superficie de la zona 1 (Zona Baja)*

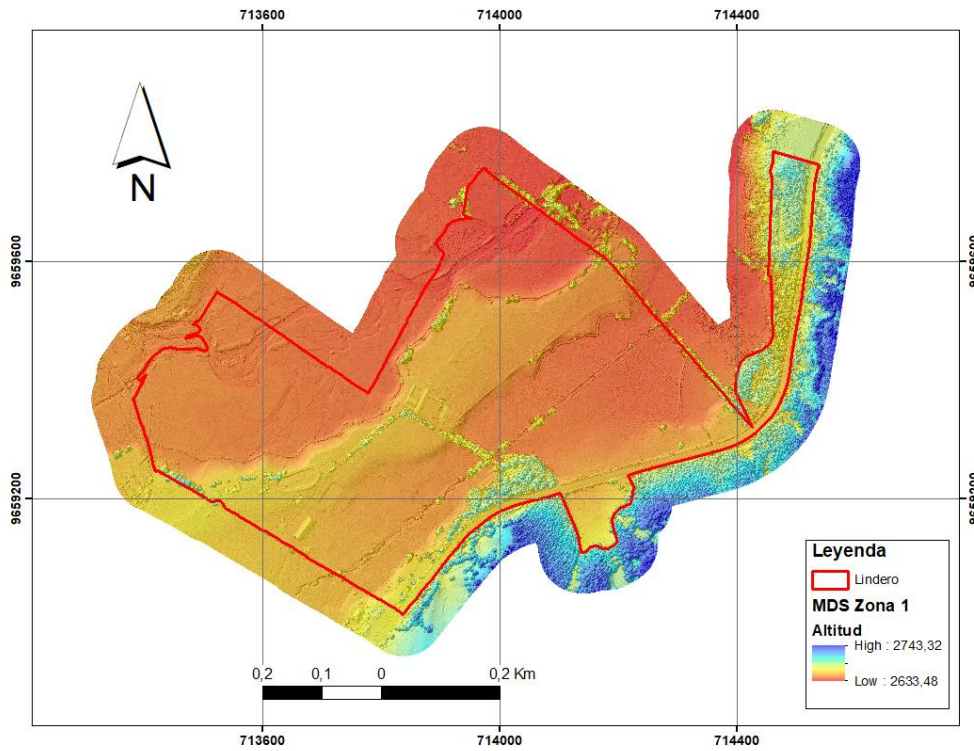


Figura 29. *Modelo Digital de Superficie de la zona 2 (Zona de reservorio)*

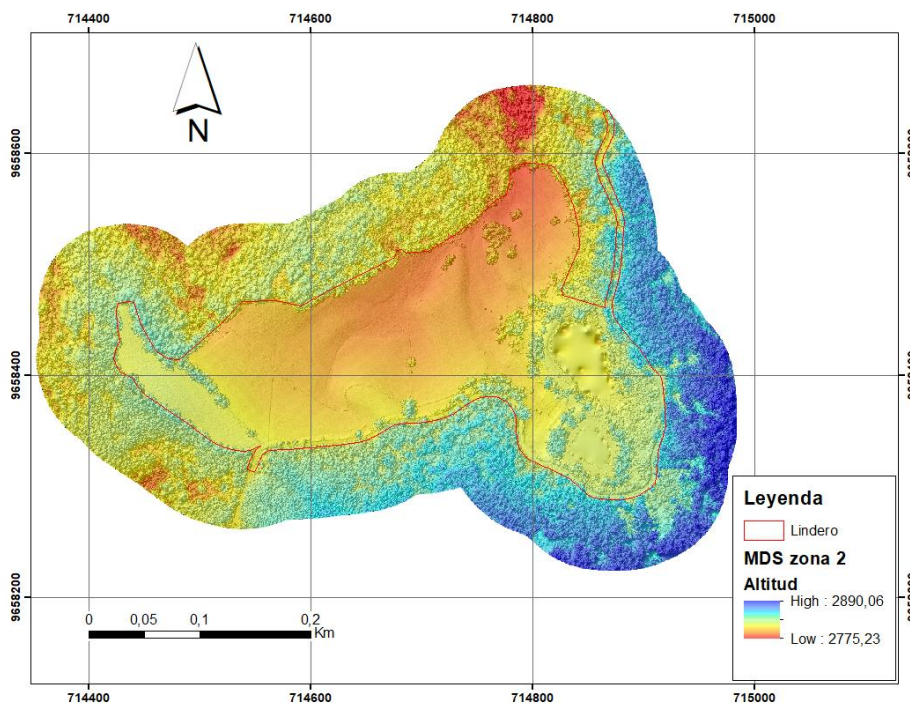
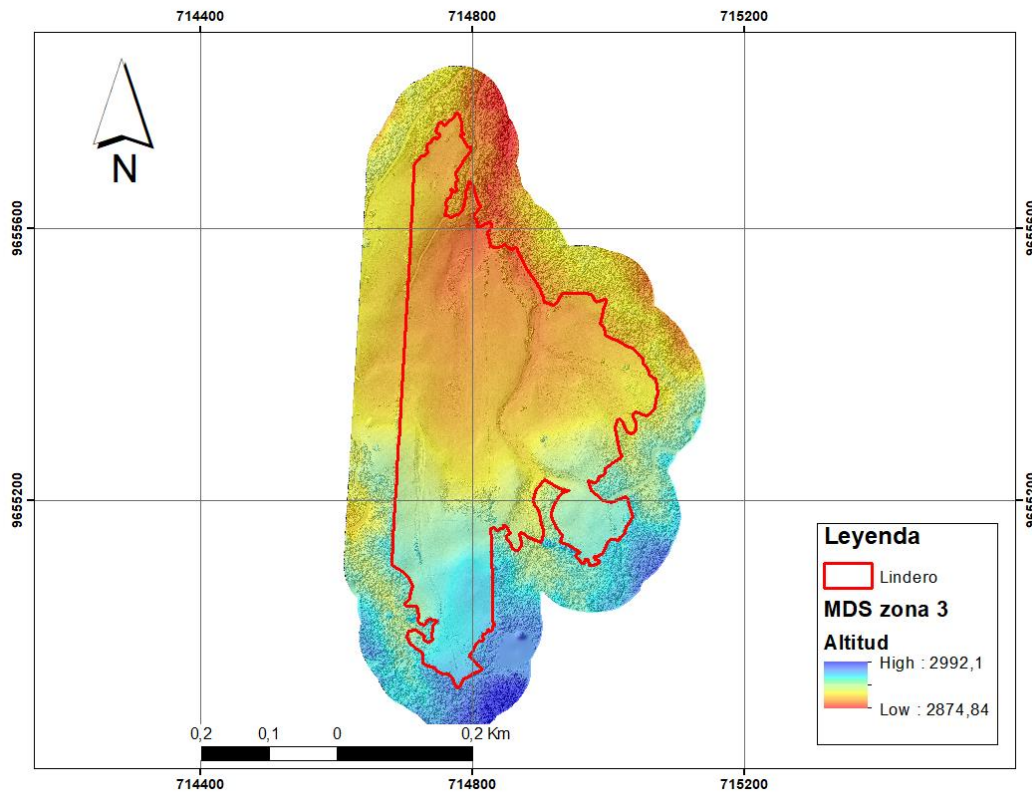


Figura 30. Modelo Digital de Superficie de la zona 3 (Zona de Patacocha)



4.2 Modelo Digital del Terreno (MDT) y sus respectivos curvados

El MDT se generó para las tres zonas en base a la nube densa de puntos, eso sí, realizando un filtrado previo en el programa Agisoft Metashape, indicando los valores de cota mínima y máxima. Igualmente, para la zona baja se obtuvo una elevación mínima de 2628 m y máxima de 2771,71 m (Figura 31); para la zona de reservorios se obtuvo una elevación mínima de 2766,34 m y máxima de 2895,68 m (Figura 32); y finalmente, para la zona de Patacocha se obtuvo una altura mínima de 2835,77 y máxima de 3002,06 m (Figura 33).

Figura 31. *Modelo Digital del Terreno de la zona 1 (Zona Baja)*

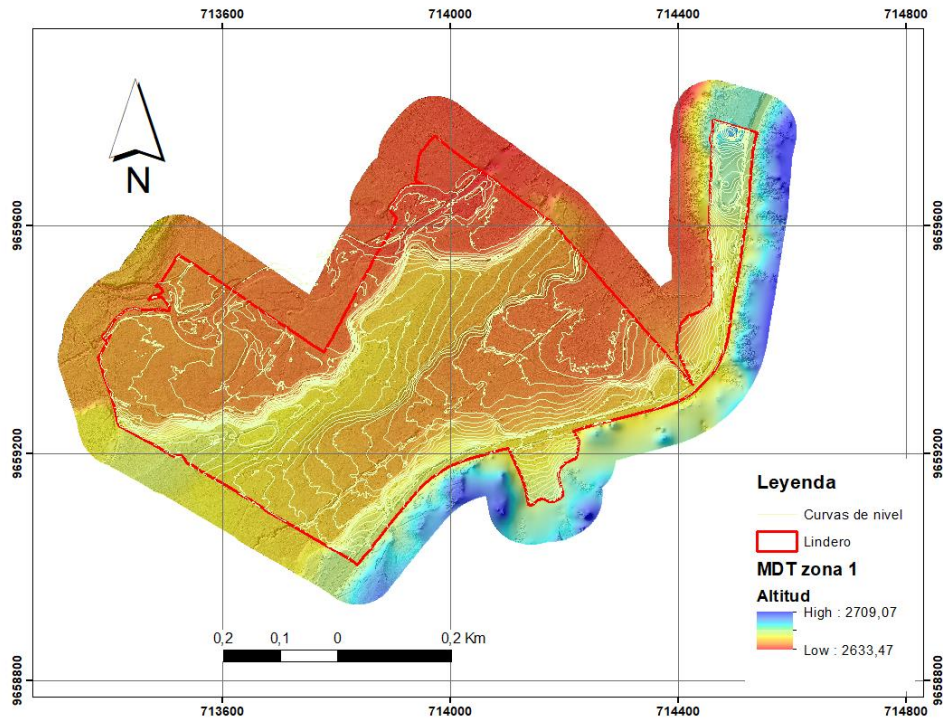


Figura 32. *Modelo Digital del Terreno de la zona 2 (Zona de reservorios)*

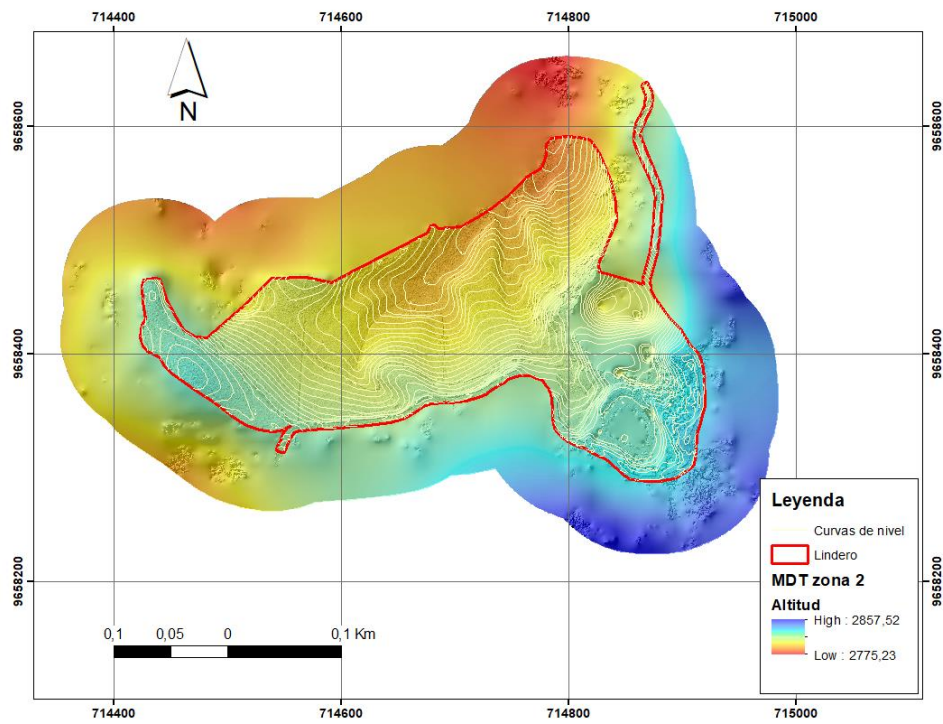
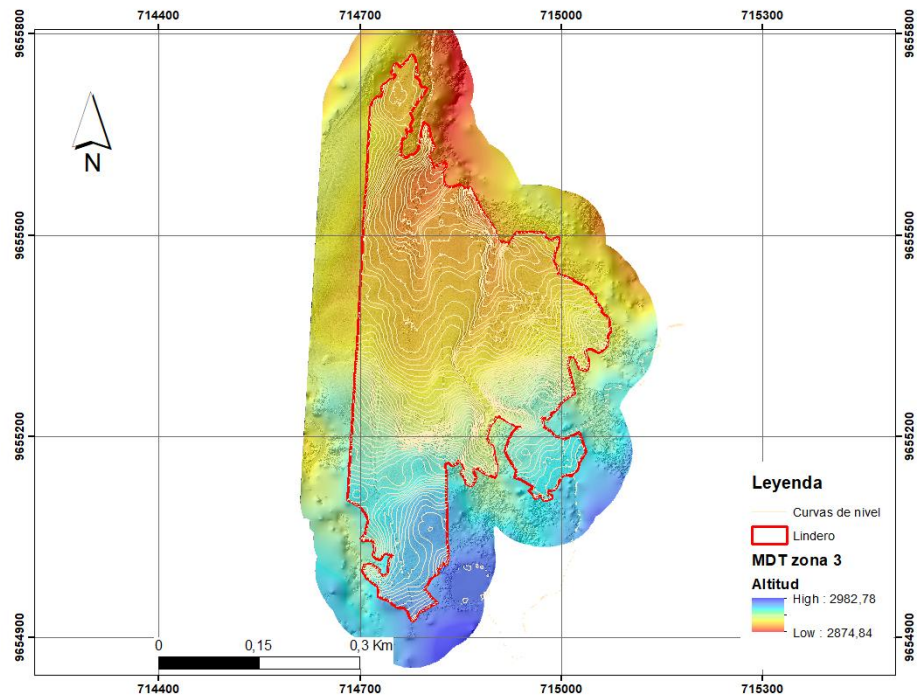


Figura 33. Modelo Digital del Terreno de la zona 3 (Zona de Patacocha)



4.3 Ortofotos

Al concluir el procesamiento de la información tomada con los diferentes equipos se obtuvo las ortofotografías correspondientes a las tres áreas o zonas de levantamiento, la zona 1 (Figura 34), zona 2 (Figura 35) y la zona 3 (Figura 36). Dichos productos se caracterizan por ser representaciones georreferenciadas y de alta resolución, permitiendo una visualización detallada de las características en cada zona de estudio levantada.

Figura 34. Ortofoto zona 1

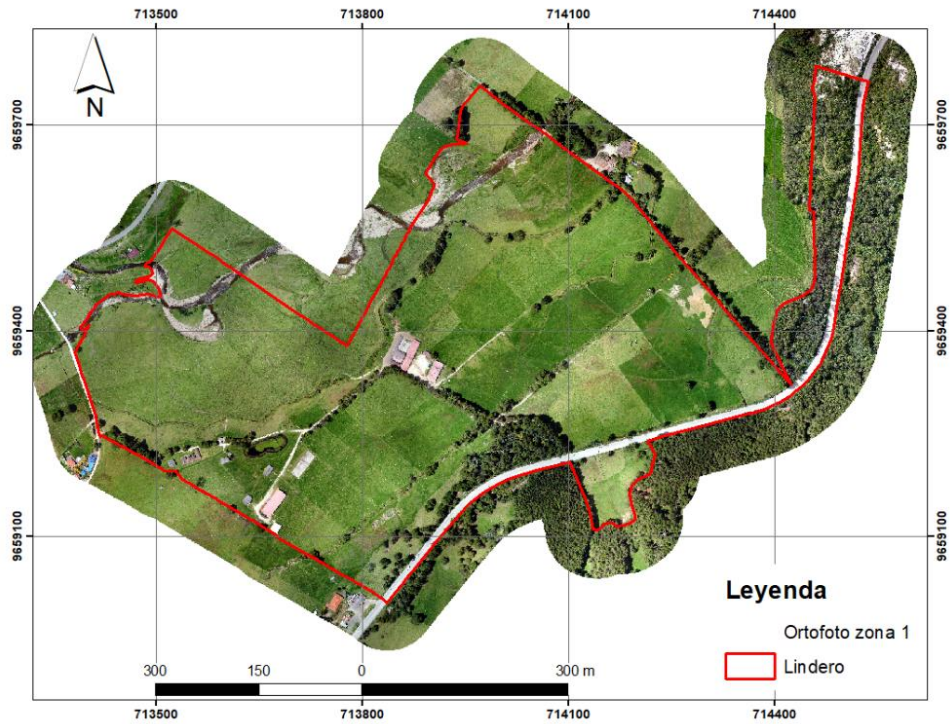


Figura 35. Ortofoto zona 2

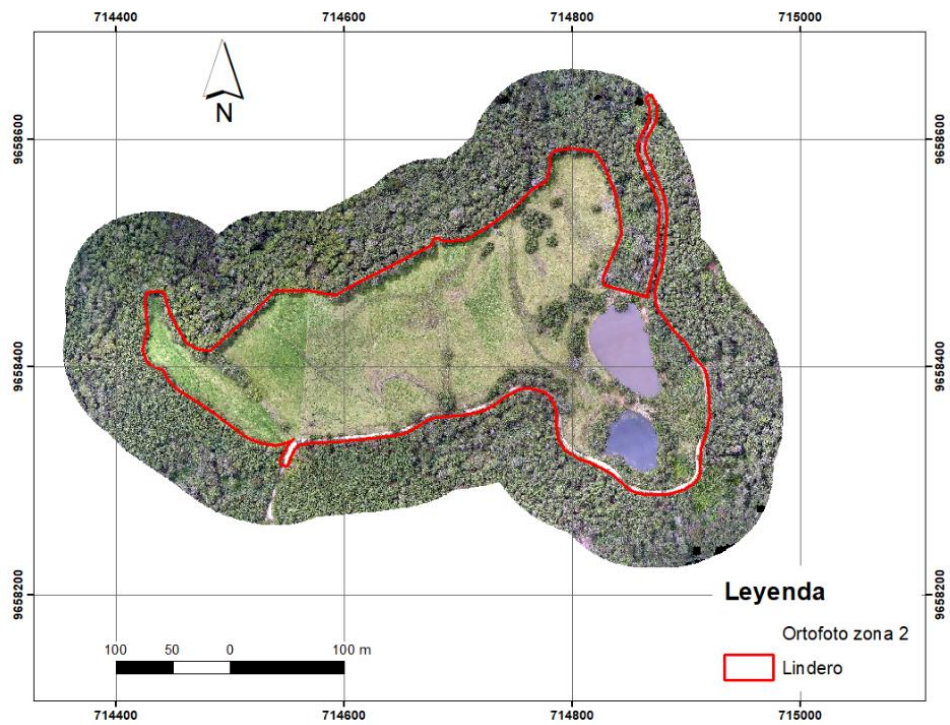
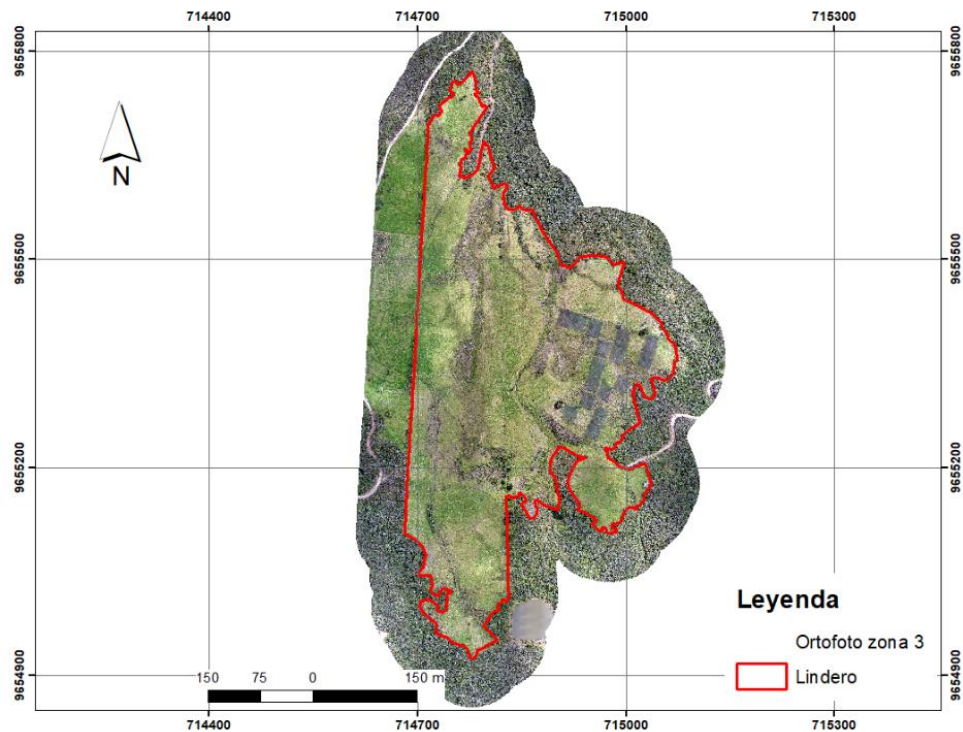


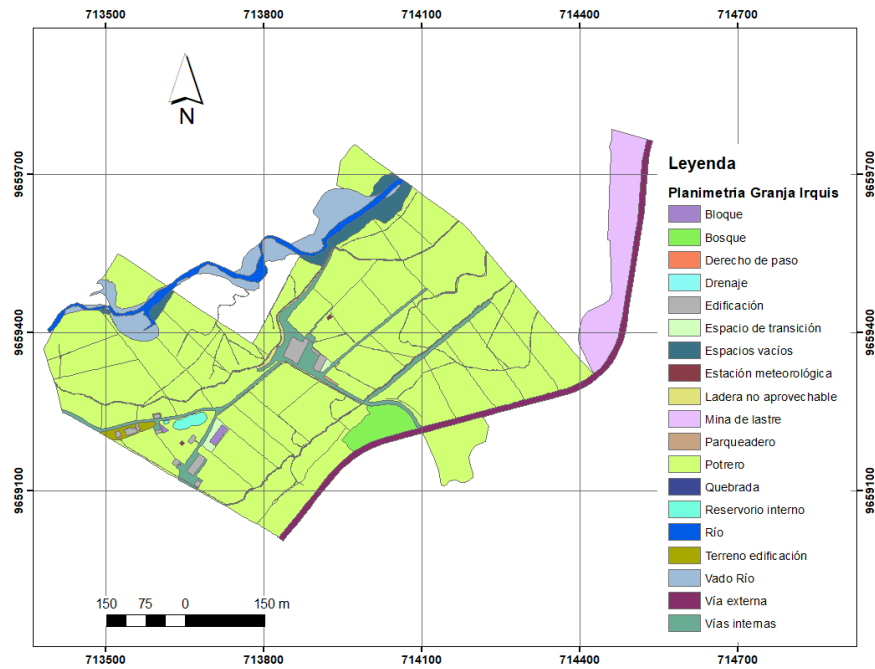
Figura 36. Ortofoto zona 3



4.4 Planimetría

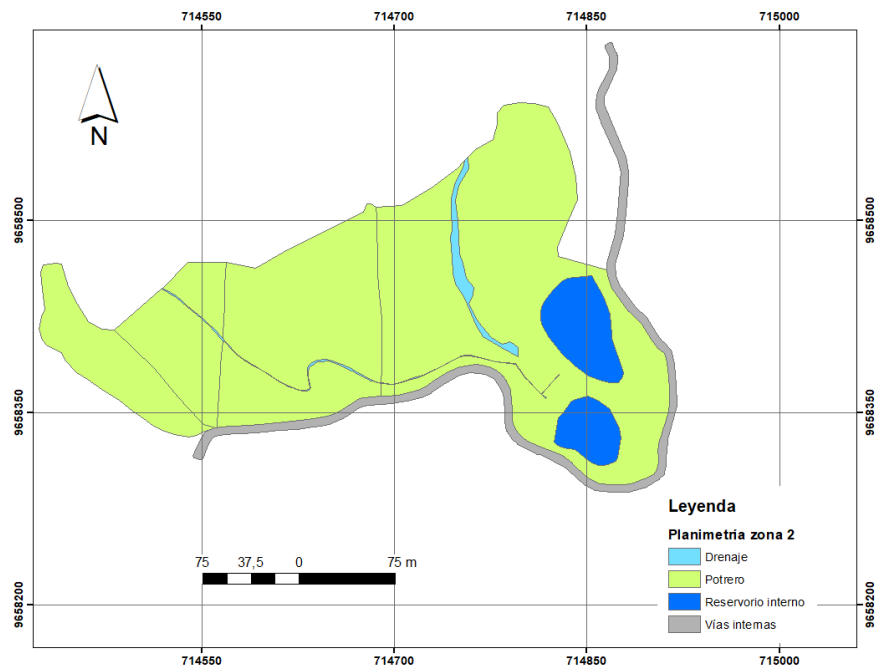
Para generar productos planimétricos se desarrolló la digitalización en pantalla en todas las zonas previamente establecidas, este proceso involucró la identificación y captura de elementos clave a nivel de planimetría en la zona baja tales como los sitios de potreros, edificaciones, terreno de las edificaciones, cuerpos de agua, vías, bosque, entre otros (Figura 37).

Figura 37. *Planimetría de la zona 1*



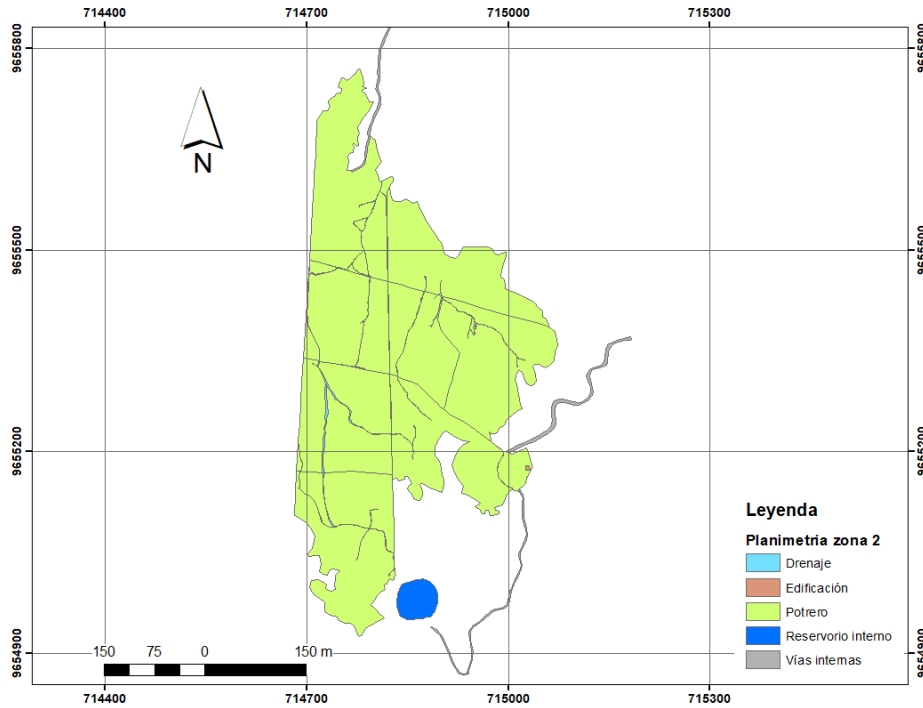
Dentro de la zona 2 se obtuvo la planimetría de los sitios pertenecientes a potreros, cuerpos de agua y la vía principal que pasa por dicha zona (Figura 38).

Figura 38. *Planimetría de la zona 2*



Por último, de igual manera dentro de la zona 2 se obtuvo la planimetría de los sitios pertenecientes a potreros, cuerpos de agua y vías internas del sector (Figura 39).

Figura 39. *Planimetría de la zona 3*



4.5 Validación de la información cartográfica

- **Calidad del Modelo 3D mediante el Error Medio Cuadrático (EMC)**

El IGM (2009), especifica que para determinar la exactitud posicional de la cartografía se emplea el estándar estadounidense de la National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA). La NSSDA se basa en la utilización del Error Medio Cuadrático o Root Mean Square Error (RMSE) como medida para determinar la exactitud posicional. El RMSE es la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las diferencias entre las posiciones estimadas y las posiciones reales. Las opciones reales fueron levantadas en campo (puntos de control) con los receptores GNSS, y las posiciones estimadas fueron generadas a partir del MDT.

Tabla11. Análisis de la planimetría

T	ID	Coordenadas en Campo		Coordenadas en ortofoto		(E-X) ^2	(N-Y) ^2
		E	N	X	Y		
T1	2	713504.307	9659432.813	713504.274	9659432.83	0.0010807	0.00014933
T1	5	713557.886	9659342.913	713557.943	9659342.88	0.00319395	0.00106537
T1	8	713886.525	9659160.764	713886.52	9659160.77	2.9398E-05	1.3988E-05
T1	9	714086.125	9659280.496	714086.115	9659280.5	0.00010885	2.56E-08
T1	12	714095.021	9659420.799	714095.002	9659420.81	0.0003467	0.00019377
T1	13	713695.277	9659193.357	713695.283	9659193.37	3.4857E-05	0.0001065
T1	16	713945.403	9659522.667	713945.397	9659522.68	3.5248E-05	0.00013526
T1	17	713887.884	9659355.877	713887.888	9659355.89	1.695E-05	0.00011642
T1	19	714510.528	9659644.611	714510.138	9659644.3	0.1517305	0.0995718
T2	5	714544.011	9658419.859	714543.99	9658419.92	0.00044834	0.00363488
T2	6	714587.687	9658436.196	714587.96	9658436.05	0.07470437	0.02107433
T2	8	714654.992	9658434.105	714654.99	9658434.12	2.7822E-06	0.00016512
T2	9	714654.996	9658434.083	714654.981	9658434.09	0.00021412	5.2128E-05
T2	10	714659.494	9658408.377	714659.51	9658408.38	0.00025629	8.4099E-08
T2	14	714804.242	9658508.564	714804.239	9658508.6	8.0259E-06	0.00111022
T2	16	714791.199	9658511.098	714791.189	9658511.12	0.00010426	0.00069485
T2	17	714776.073	9658471.446	714776.059	9658471.44	0.00019404	4.8581E-05
T3	1	714799.376	9655045.275	714799.362	9655045.27	0.00019569	1.3456E-06
T3	2	714778.81	9654972.223	714778.784	9654972.22	0.00067418	5.595E-05
T3	5	714762.063	9655133.717	714762.058	9655133.72	1.9794E-05	4.9E-09
T3	6	714708.651	9655198.114	714708.65	9655198.11	4.5833E-07	3.4692E-05
T3	10	715012.719	9655182.909	715012.695	9655182.91	0.00058884	1.024E-07
T3	11	714893.444	9655328.093	714893.441	9655328.12	7.7395E-06	0.00054056
T3	13	714964.899	9655481.48	714964.898	9655481.47	9.1585E-07	0.00013877
T3	14	714838.984	9655494.56	714839.005	9655494.56	0.0004666	9.5481E-06
T3	16	714715.807	9655489.752	714715.817	9655489.75	0.00011059	4E-06
T3	18	714790.155	9655304.422	714790.157	9655304.43	6.5434E-06	3.2948E-05
RMSE						0.00868818	0.00477595

Tabla12. Cálculo de la componente planimetría (RMSEr) y del coeficiente de exactitud posición horizontal

Cálculo		
RMSEx	RMSEy	RMSEr
0.093210384	0.06910823	0.16231862
Cálculo NSSDA		
NSSDA (90%)	0.174167875	

Al calcular el NSSDA con todos los valores de coordenadas (Tabla 11), obtuvimos un valor de 0,1741 m con una confiabilidad del 90% (Tabla 12), lo que indica que las coordenadas en los ejes “X” y “Y” son precisas y cumplen con los requisitos establecidos por el IGM.

- **Análisis de altimetría mediante la normativa del IGM**

El IGM (2006), especifica que “Las elevaciones del 90% de los puntos acotados en el mapa digital, no diferirá de la verdadera en más de 1/4 del valor del intervalo de curva de nivel, el 5% restante nunca excederá del valor del 1/2 del intervalo de curva de nivel. Las elevaciones del 90% de los puntos, cuyas cotas se obtienen por interpolación entre curvas de nivel, no diferirá de las verdaderas en más de 1/2 del intervalo de curva de nivel. El 10% restante no podrá exceder del valor de la equidistancia “. En este sentido, considerando que el intervalo de curvas para la escala 1: 1000 es de un 1m y no se debe diferir en 1/4 del intervalo, en este caso significa que no se puede diferir en 0,25 m las posiciones reales de las estimadas. En la tabla 13, se observa que de los 27 puntos de control evaluados 25 cumplen con esta especificación, es decir que el 92, 52%.

Tabla13. Análisis de la altimetría

Zona	ID	Altura puntos de control (A)	Altura del MDT (Z)	(A-Z)	Cumplimento de la norma
Z1	2	2645.653	2645.608671	0.044329	1
Z1	5	2644.713	2644.71452	-0.00152	1
Z1	8	2648.148	2648.111718	0.036282	1
Z1	9	2644.906	2644.76717	0.13883	1
Z1	12	2642.438	2642.365282	0.072718	1
Z1	13	2653.000	2652.982271	0.017729	1
Z1	16	2650.320	2650.304619	0.015381	1
Z1	17	2652.686	2652.498766	0.187234	1
Z1	19	2660.599	2660.490417	0.108583	1
Z2	5	2808.2099	2808.116952	0.092948	1
Z2	6	2804.5199	2804.409321	0.110579	1
Z2	8	2799.5119	2799.221951	0.289949	0
Z2	9	2799.5049	2799.223558	0.281342	0
Z2	10	2805.4799	2805.306941	0.172959	1
Z2	14	2799.4129	2799.307752	0.105148	1
Z2	16	2798.1529	2797.95245	0.20045	1
Z2	17	2802.6939	2802.514296	0.179604	1
Z3	1	2951.8628	2951.974383	-0.111583	1

Z3	2	2952.5248	2952.471776	0.053024	1
Z3	5	2938.7318	2938.773385	-0.041585	1
Z3	6	2931.9978	2932.024243	-0.026443	1
Z3	10	2942.4488	2942.584856	-0.136056	1
Z3	11	2909.5618	2909.420018	0.141782	1
Z3	13	2905.3728	2905.268792	0.104008	1
Z3	14	2901.6148	2901.518774	0.096026	1
Z3	16	2904.0298	2904.031527	-0.001727	1
Z3	18	2908.5318	2908.406962	0.124838	1
Total					25
					92.59
					%

Nota: La columna de Altura de puntos de control se refiere aquellos puntos que fueron levantados en campo con receptor GNSS, y la columna de MDT se refiere aquellos puntos que fueron generados a partir del Modelo Digital del Terreno mediante el software ArcMap, además en campo del cumplimiento de la norma, el número 1 significa que está dentro rango de error, y el número 0 que esta fuera del rango de error.

4.6 Actividades complementarias

Adicionalmente a nuestro trabajo, se realizó actividades complementarias que fueron plasmadas en diversos mapas temáticos que se presentan a continuación.

- Mapa de pendientes

Se generó los mapas de pendientes para las tres zonas de levantamiento, teniendo en cuenta que se estableció cinco categorías con sus respectivos rangos de porcentaje de pendiente establecidos para generación de los mismos cuales son de 0 - 5, 5 - 12, 12 - 25, 25 - 50 y mayor a 50%, para así disponer de una correcta visualización y reconocimiento de las zonas teniendo las zonas de color verde como zonas planas, en tanto que al cambiar de color a una tonalidad roja representa las zonas de terreno con mayor pendiente.

Figura 40. *Mapa de pendientes de la zona 1*

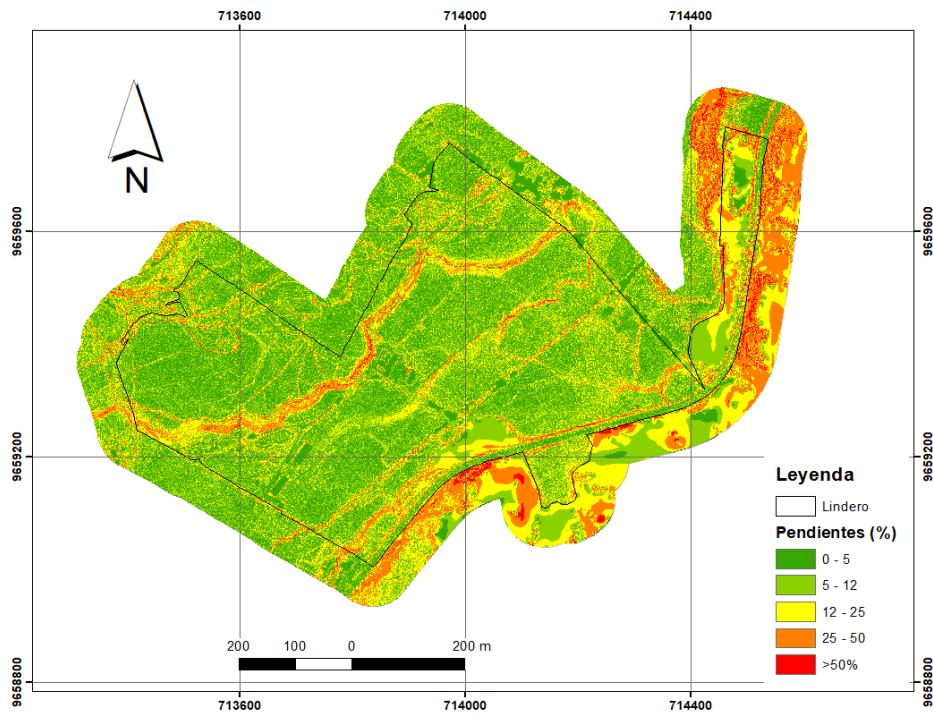


Figura 41. *Mapa de pendientes de la zona 2*

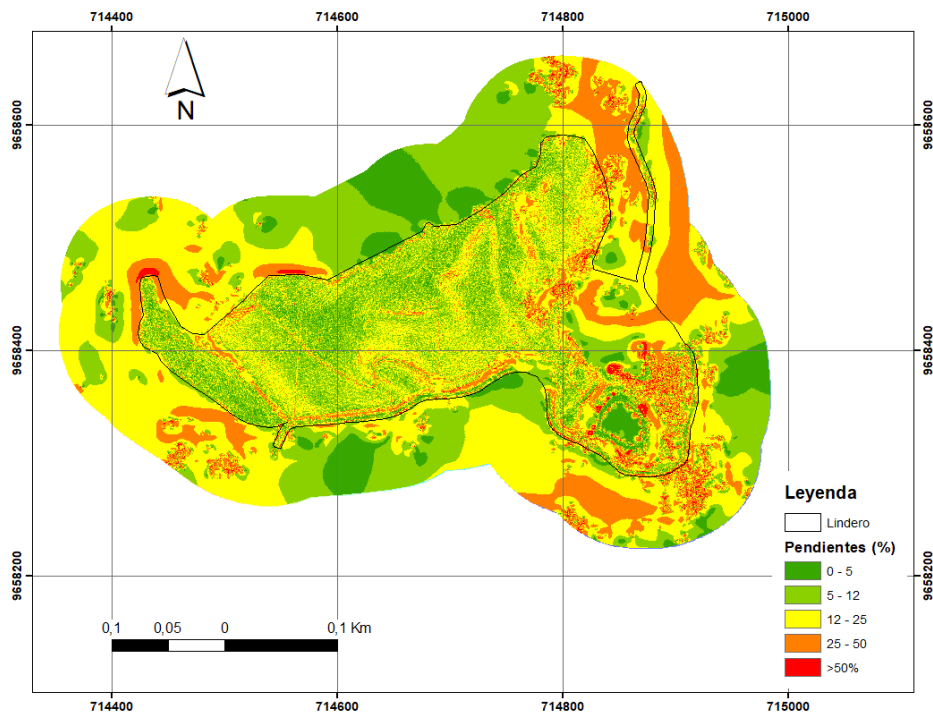
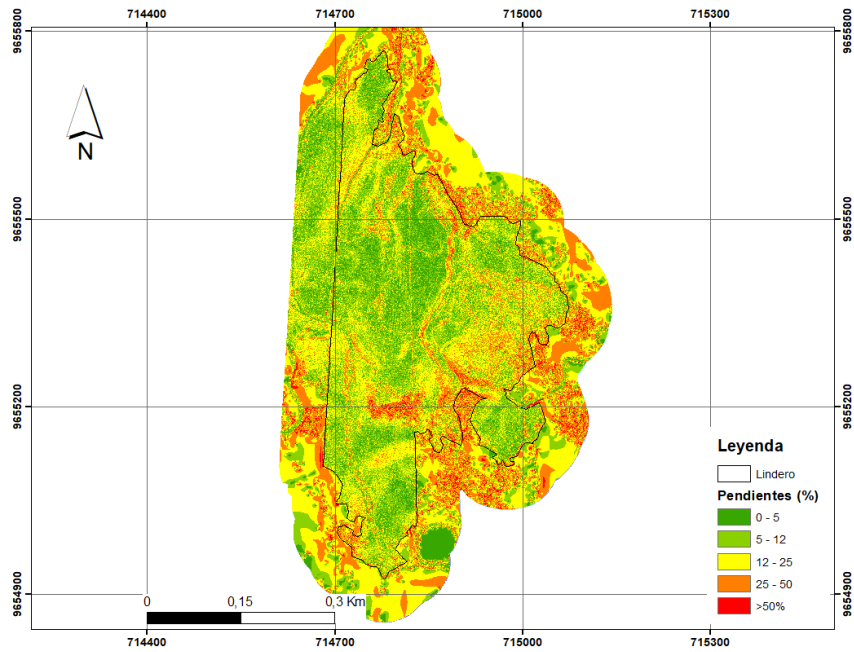


Figura 42. Mapa de pendientes de la zona 3



- **Mapa de potreros**

Por medio de la ortofoto de cada zona y la administración de la granja, se delimitó las áreas de todos los potreros y se estableció el número o nombre correspondiente del mismo para poder tener una correcta gestión para la toma de decisiones pertinentes.

Figura 43. *Mapa de potreros de zona 1*

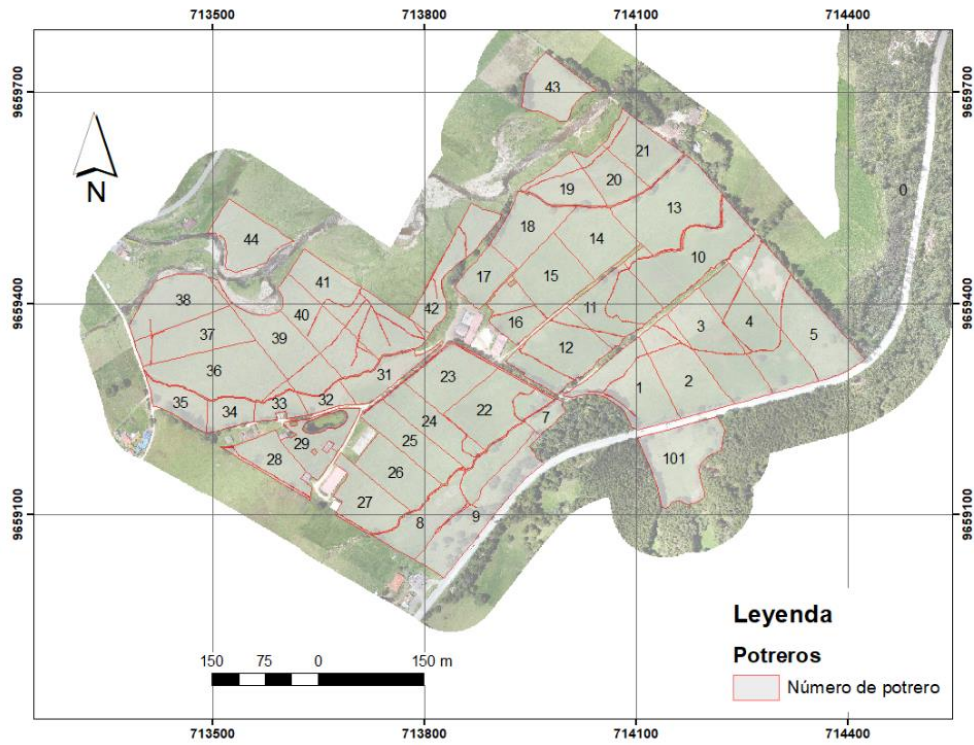


Figura 44. *Mapa de potreros de zona 2.*

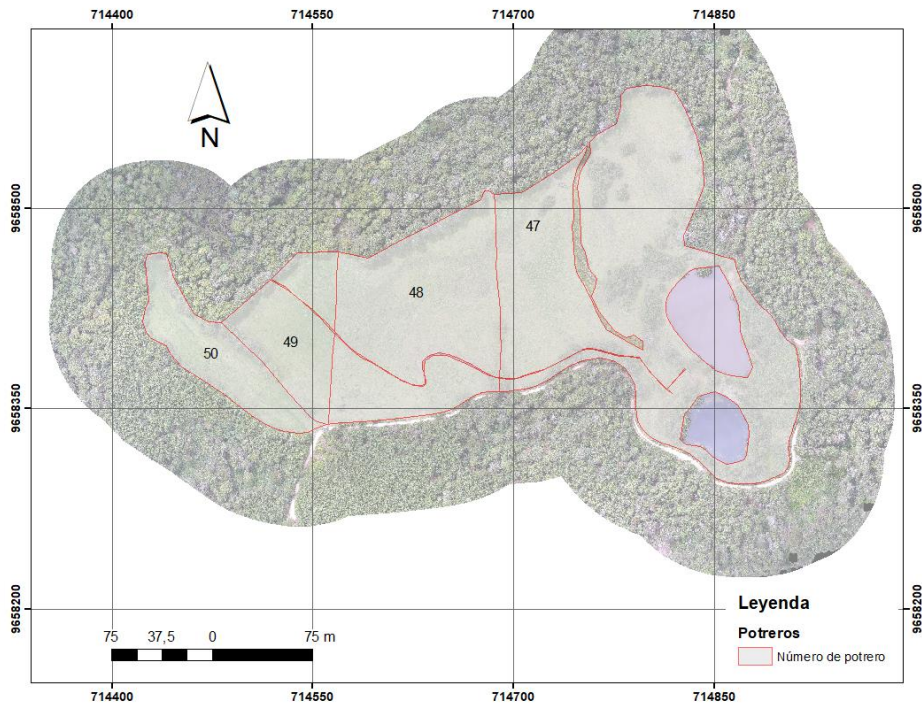
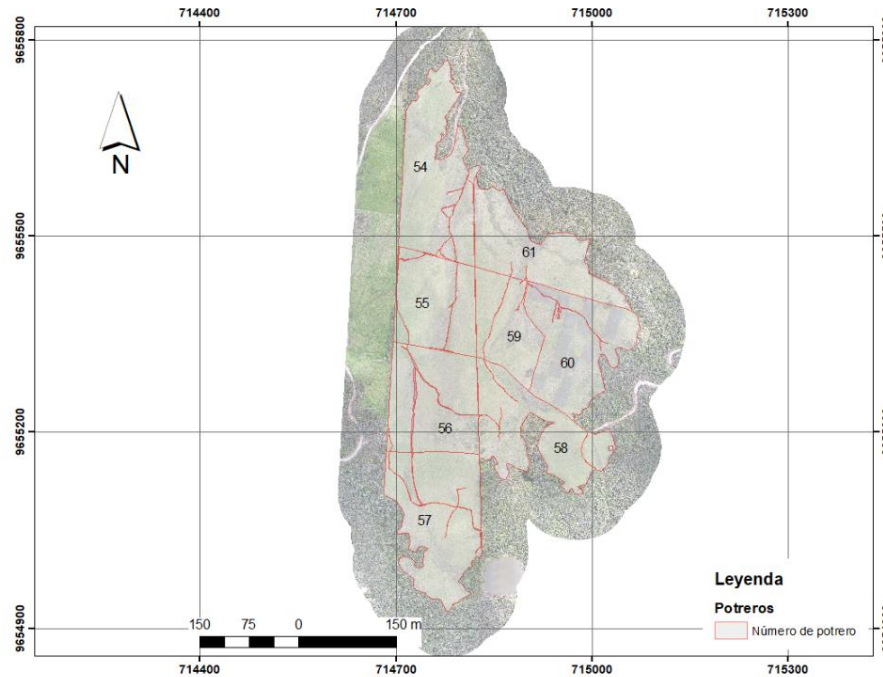


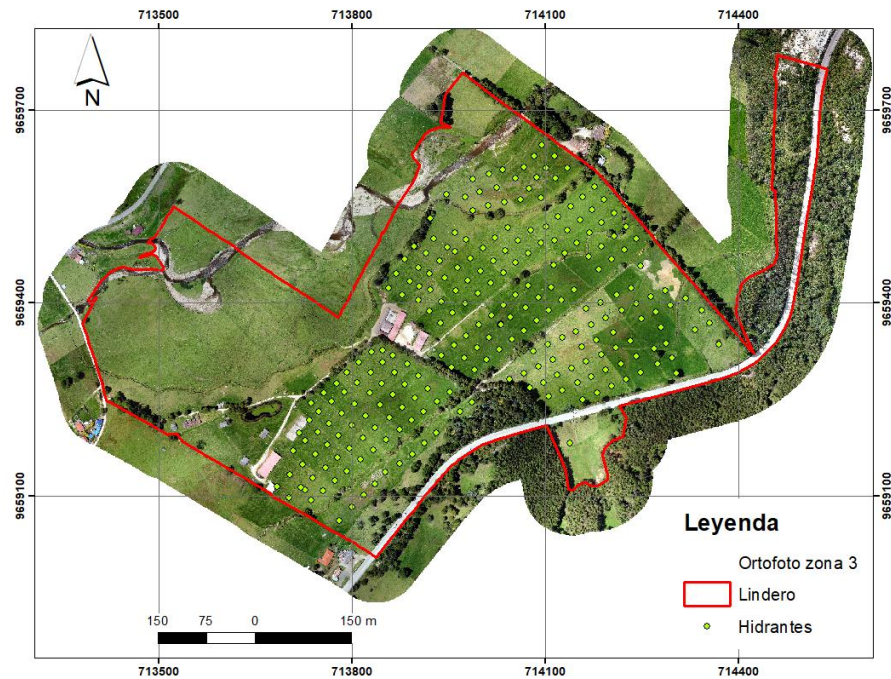
Figura 45. *Mapa de potreros de zona 3*



- Mapa de ubicación de hidrantes

Como producto adicional a la planimetría se generó el mapa de ubicación de hidrantes del sistema de riego, puesto que con el pasar del tiempo los mismos se han deteriorado y destruido, lo que el presente mapa nos permite tener presente la disposición del sistema de riego a lo largo de la granja.

Figura 46. Mapa de ubicación de hidrantes en la zona 1



- Mapa de cobertura vegetal

Se realizó mapas de cobertura vegetal para poder distinguir entre lo que representa a vegetación propiamente dicho, y como también a las distintas zonas que presentan otro fin, como es el caso de bosque nativo, cultivo semipermanente, infraestructura, natural, pastizal y el área sin cobertura vegetal.

Figura 47. Mapa de cobertura vegetal para la zona 1

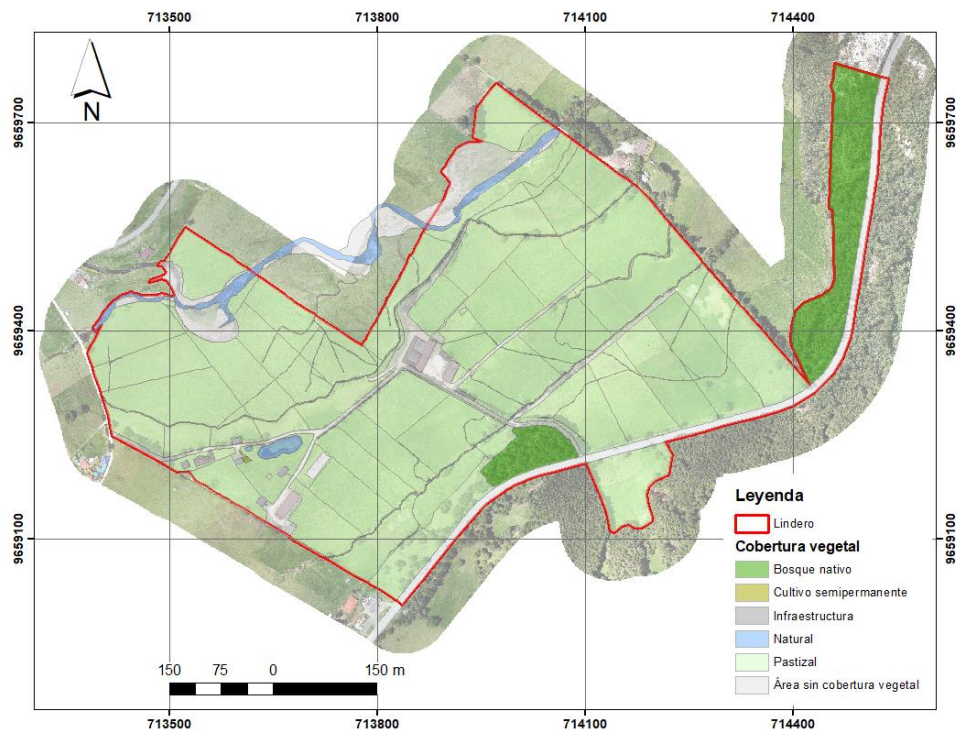


Figura 48. Mapa de cobertura vegetal para la zona 2

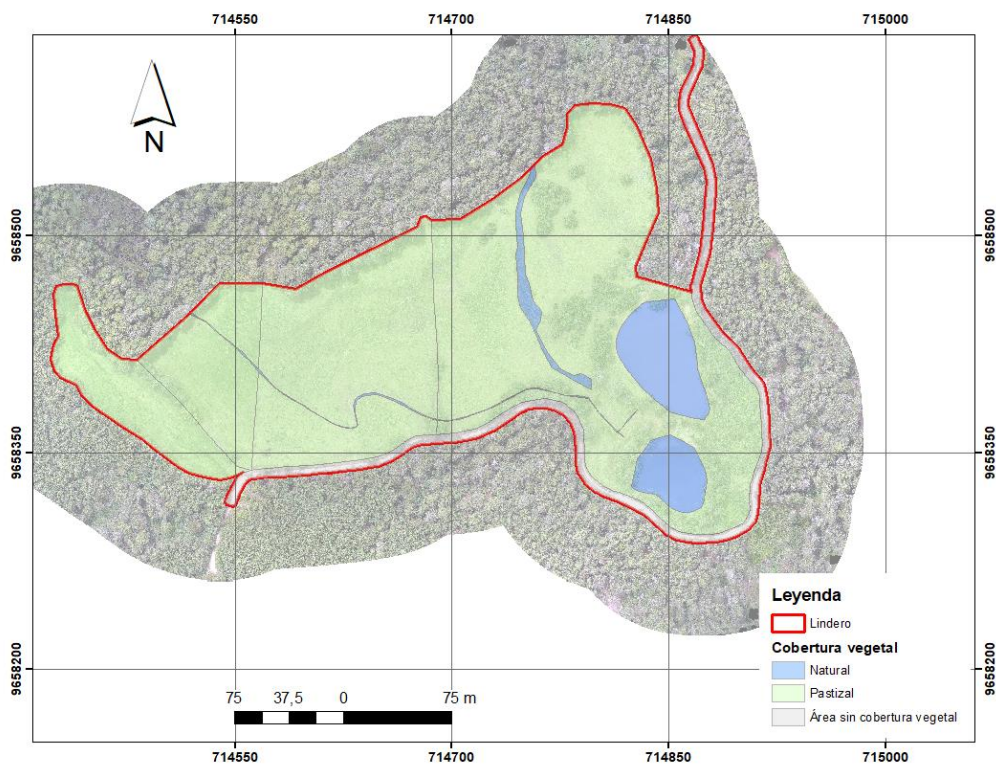
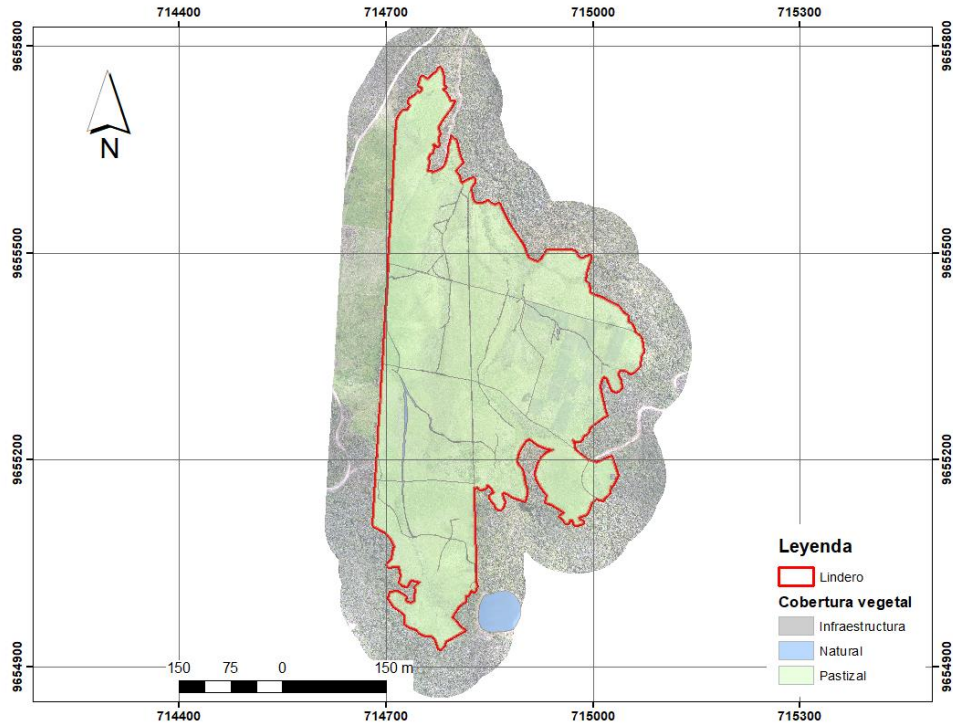


Figura 49. Mapa de cobertura vegetal para la zona 3



- **Mapa uso de suelo**

Seguido a la cobertura vegetal se realizó mapas de uso de suelo para poder determinar el uso específico de terreno en las zonas de levantamiento, las cuales se establecieron según bosque, cuerpo de agua, otras tierras, tierras agropecuarias y zonas antrópicas.

Figura 50. *Mapa de uso de suelo para la zona 1*

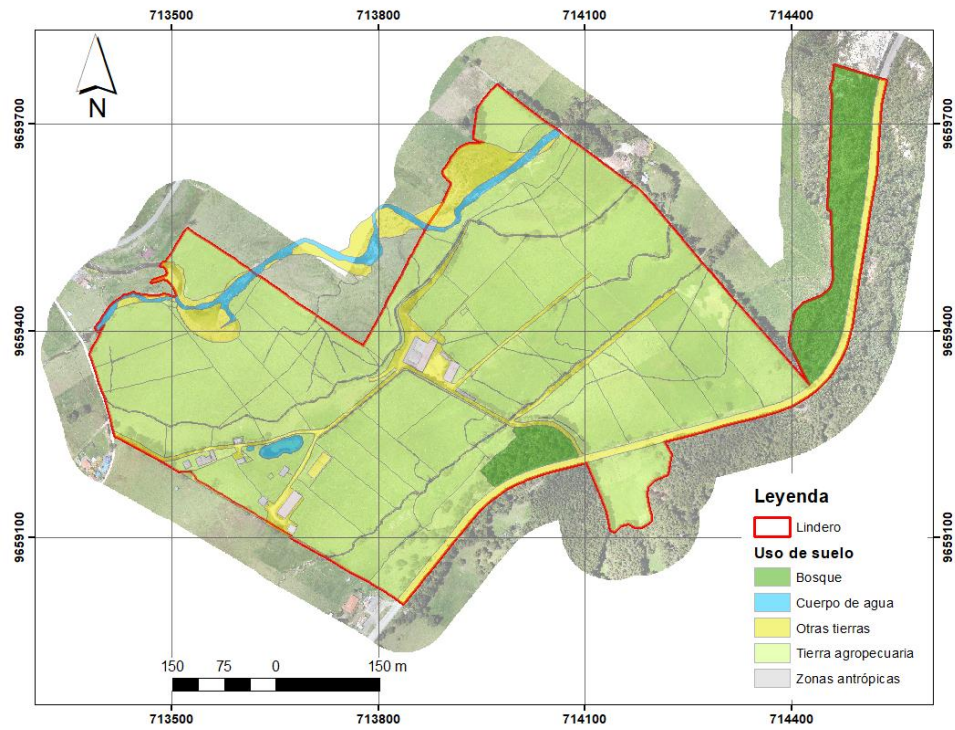


Figura 51. *Mapa de uso de suelo para la zona 2*

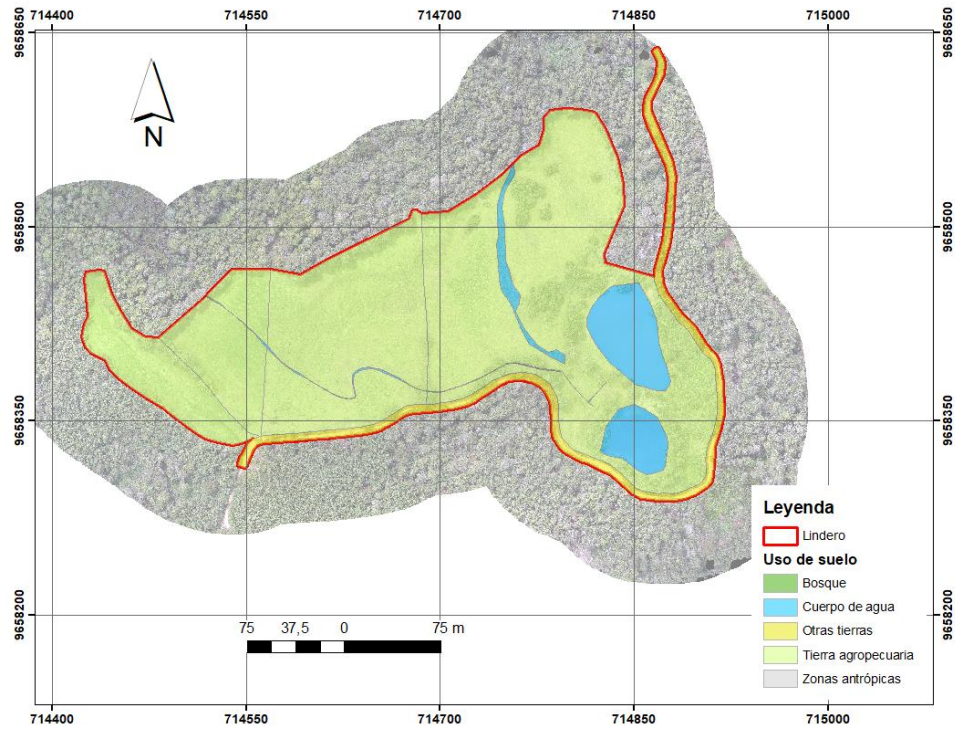
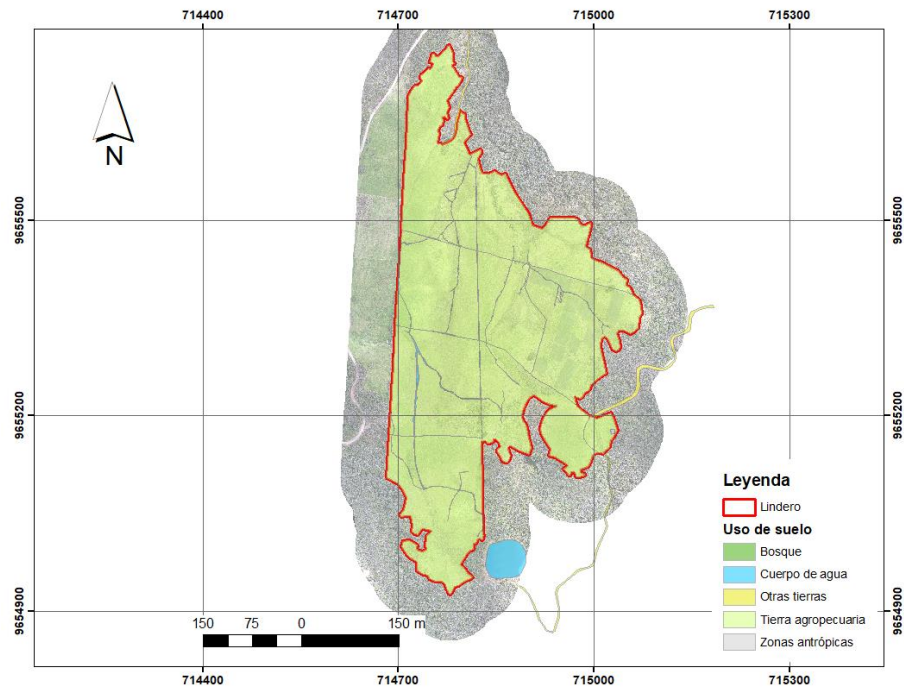


Figura 52. Mapa de uso de suelo para la zona 3



Conclusiones

En conclusión, el levantamiento de cartografía a detalle mediante aerofotogrametría con RPAS, es una alternativa viable para la obtención de una escala 1:1000, enfatizando que la misma cumple con el parámetro técnico de un tamaño de píxel de 5,3 cm, logrando obtener un alto nivel de detalle, representación y distribución de toda la topografía de las áreas levantadas. Toda esta información generada, permite conocer de manera detallada la organización y distribución de toda la infraestructura de la granja a nivel de parcela, permitiendo ser una herramienta de sustento técnico para la planificación, análisis y toma de decisiones encaminada a la implementación de prácticas sostenibles, eficientes y rentables.

La información cartográfica generada cumple con estándares de calidad y precisión, ya que fue evaluada mediante los parámetros técnicos dictaminados por el IGM, tanto en altimetría y planimetría, por tal motivo la información generada en el proyecto es confiable y permite ser usada como sustento técnico.

La información cartográfica generada, está conformada por un Modelo Digital de Superficie (MDS), Modelo Digital del Terreno (MDT), ortomosaico, planimetría y altimetría de las zonas de estudio, lo que permitió obtener información detallada y precisa de todas las características geomorfológicas de la granja Irquis a nivel de parcela. De igual forma, en el proyecto toda la información generada se complementó con la elaboración de diversos mapas temáticos, de acuerdo a lo que se deseaba representar. Se pueden apreciar el mapa de usos del suelo, mapa de pendientes, mapa de hidrantes, mapa de potreros y cobertura vegetal.

Recomendaciones

Es importante conocer las normativas y regulaciones que el IGM emite como órgano rector de la cartografía, al momento de realizar un levantamiento aerofotogramétrico con RPAS.

La planificación del vuelo es muy importante, ya que en esta fase se definen parámetros técnicos tales como la altura del vuelo y el tamaño de píxel, resultando esta última importante para que la información tenga la resolución de la escala 1:1000.

Durante el procesamiento fotogramétrico, para una mayor versatilidad al momento de compartir la información con los diversos usuarios es indispensable contar con un servidor de la nube (Drive), y de igual forma contar con un servidor (Agisoft Cloud) para disminuir el tiempo de procesamiento de las imágenes aéreas.

Durante la fase de procesamiento fotogramétrico, el color de las lonas resulto no ser el más adecuado, por lo que para trabajo futuros se recomienda que se empleen colores mates (blanco y negro) y no brillantes.

Conocer la topografía de las zonas de producción, a nivel detallado, es imprescindible para realizar una planificación sostenible, tomando como referencia que se especificar el área, las pendientes y la distribución de la geomorfología. A partir de esta información se puede planificar un sistema de riego, un plan de fertilización, y realizar un inventario de todos los recursos disponibles en el área de estudio. En este sentido, el presente proyecto es recomendable para diversas zonas del país, tanto para fines agrícolas o no.

El presente proyecto es recomendado replicar para aquellos productores que cuenten con grandes zonas de explotación, para que se justifique la inversión requerida, si es verdad que el levantamiento por ha resulta ligeramente económico, tomando como referencia un trabajo similar en la granja de Nero de la Universidad de Cuenca, realizado por Merchan y Orellana (2022), mencionan que el valor por ha es de \$23, 56, sin embargo, para que este valor se justifique debe existir un número determinado de ha. No obstante se puede prescindir de esta técnica y emplear una estación total en áreas de menor superficie.

Referencias

- Agisoft. (s. f.). *Aerial data processing (with GCPs)—Orthomosaic&DEM generation*. Helpdesk Portal. Recuperado 10 de mayo de 2023, de <https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000153696-aerial-data-processing-with-gcps-orthomosaic-dem-generation>
- Agisoft Cloud. (s. f.). *Agisoft Cloud—Fotogrametría inteligente en la nube*. Recuperado 9 de mayo de 2023, de <https://cloud.agisoft.com/>
- Ancira, L., & Treviño Garza, E. J. (2015). Utilización de imágenes de satélite en el manejo forestal del noreste de México. *Madera y bosques*, 21(1), 77-91.
- Angulo, Lady. (2014). *GENERACION DE CARTOGRAFIA BASICA A DETALLE MEDIANTE UNA METODOLOGIA DE TOMA CON AVIONES NO TRIPULADOS (UAV's)*.
- Arranz, J. J. (2013). *Diseño, optimización y análisis de sistemas basados en técnicas láser, para el modelado geométrico, registro y documentación, aplicados a entidades de interés patrimonial*. [Phd, E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía (UPM)]. <https://oa.upm.es/15056/>
- Binda, G., Pozzi, A., Spanu, D., Livio, F., Trotta, S., & Bitonte, R. (2021). *Integration of photogrammetry from unmanned aerial vehicles, field measurements and discrete fracture network modeling to understand groundwater flow in remote settings: test and comparison with geochemical markers in an Alpine catchment*. *Hydrogeology Journal*, 29(3), 1203–1218. doi:10.1007/s10040-021-02304-4
- Calles, F. R. P. (2015). Mapas digitalizados a partir de imágenes remotas, para la comprensión del paisaje: Parque Nacional Yacambú. *Red de Investigación Educativa*, 7(2), Article 2.
- Carapellese, G., Canivell, J., Martín-del-Río, J. J., Graciani-García, A., & Cabrera-Revuelta, E. (2020). Evaluación de fortificaciones rurales de tapia mediante técnica SfM de fotogrametría digital. Aplicación metodológica al Castillo de Alhonor (Écija, España). *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 9(18), 164-182. <https://doi.org/10.18537/est.v009.n018.a09>
- Castillo, C. L., & Escobar, J. A. (2017). *Actualización cartográfica del Casco Urbano de San Alfonso – Huila Utilizando Tecnología RPAS*. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5379>
- Costa, B. S. C. da, Sluter, C. R., Iescheck, A. L., & Rodrigues, É. L. da S. (2020). LARGE-SCALE CARTOGRAPHIC REPRESENTATION OF RELIEF FEATURES FROM SANDYIZATION PROCESS. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 26, e2020019. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702020000400019>

- Del Río, O., Gómez, F., López, N., Saenz, J., & Espinoza, A. (2020). *Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones*. 14. <https://www.redalyc.org/journal/1939/193963490001/193963490001.pdf>
- Dirección General de Aviación Civil. (2020). *Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R*.
- Fallas, J. (2003). *Sistemas Integrados De Información Geográfica; Conceptos Básicos de Cartografía*. <https://pim.udelar.edu.uy/wp-content/uploads/sites/14/2019/07/CONCEPTOS-B%C3%81SICOS-DE-CARTOGRAF%C3%8DA.pdf>
- Flores, Y. E., & Diaz, H. (2020). *Comparación de postproceso entre el software Pix4D y Agisoft Metashape de un levantamiento topográfico con RPAS*. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3566>
- Galcerá, S., Seguí, A., Portalés, C., Lerma, J. L., Ramírez, A., Antonio Estevan, & Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE). (2015). *Optimización de Proyectos de Vuelo en Fotogrametría Aérea*. <https://docplayer.es/18942506-Optimizacion-de-proyectos-de-vuelo-en-fotogrametria-aerea.html>
- Galvis, M. F. G. (2007). La generalización en cartografía básica y temática. *Revista Científica*, 9, Article 9. <https://doi.org/10.14483/23448350.360>
- Hernández, M. Q., & Diéguez, V. C. (2011). Tecnologías de la Información Geográfica (TIG). Cartografía, Fotointerpretación, Teledetección y SIG: Vol. I. *Ediciones Universidad de Salamanca*. <https://eusal.es/eusal/catalog/book/978-84-9012-799-5>
- IGM. (2006). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA TOPOGRÁFICA A CUALQUIER ESCALA*. <http://www.igm.gob.ec/work/files/downloads/especcarto3.html>
- IGM. (2009). *Protocolo de fiscalización para proyectos de generación de cartografía base con fines catastrales 1: 1000, obtenida a través de método aerofotogramétrico, digitalización 2D sobre ortofoto o levantamiento topográfico*. https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=1165
- Jaraba, C. C. F., Montero, C. G. O., Rivera, D. C. C., Callejas, L. F. S., & Casas, O. F. B. (2018). Generación y comparación de ortofotos realizadas a partir de procedimientos fotogramétricos como insumo en la adopción del catastro multipropósito urbano en Colombia. *Revista de Topografía AZIMUT*, 9(1), Article 1.
- Jiménez, S. I., Ojeda, W., Marcial, M. de J., & Enciso, J. (2021). Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: Methodology and Accuracy. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/ijgi10050285>

- La Salandra, M., Miniello, G., Nicotri, S., Italiano, A., Donvito, G., Maggi, G., Dellino, P., & Capolongo, D. (2021). Generating UAV high-resolution topographic data within a FOSS photogrammetric workflow using high-performance computing clusters. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 105, 102600. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102600>
- Lerma, J., Cabrelles, M., Navarro, S., & Seguí, A. (2013). *Modelado fotorrealístico 3D a partir de procesos fotogramétricos: Láser escáner versus imagen digital*.
- Ley de Cartografía Nacional. (2009). *Registro Oficial 643 de 04-ago.-1978*.
- Liu, H., Zhao, Z., & Jezek, K. C. (2004, septiembre). *Correction of Positional Errors and Geometric Distortions in Topographic Maps and DEMs Using a Rigorous SAR Simulation Technique* [Text]. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. <https://doi.org/10.14358/PERS.70.9.1031>
- Los diferentes test para el control de calidad posicional en cartografía*. (2001). https://www.researchgate.net/publication/326107156_Los_diferentes_test_para_el_control_de_calidad_posicional_en_cartografia
- Maass, S., & Pérez, E. (2003). *Principios básicos de cartografía y cartografía automatizada*. UAEM.
- MAE, & MAGAP. (2015). *Proyecto SIG Tierras*.
- Mamani, J., & Platero, A. (2021). *Precisión en el cálculo de volúmenes utilizando vehículos aéreos no tripulados de ala fija y de ala rotatoria en contrastación con estación total, en el distrito de Calapuja provincia de Lampa*. [Pregrado, Universidad Nacional del Antiplano de Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/15325>
- Martínez, P., Agüera, F., & Carvajal, F. (2023). Accuracy assessment of RTK/PPK UAV-photogrammetry projects using differential corrections from multiple GNSS fixed base stations. *Geocarto International*, 38(1), 2197507. <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2197507>
- Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., & Ramírez, F. C. (2023). Accuracy assessment of RTK/PPK UAV-photogrammetry projects using differential corrections from multiple GNSS fixed base stations. *Geocarto International*, 1-21. <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2197507>
- Merchán, R., & Orellana, M. (2022). Generación de cartografía básica a detalle (escala 1: 1 000) mediante levantamiento aerofotogramétrico con RPAS para la granja de Nero. [Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio institucional de la Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/40644>
- Morais, J. D., Faria, T. S., Elmiro, M. A. T., Nero, M. A., Silva, A. de A., & Nobrega, R. A. de A. (2017). ALTIMETRY ASSESSMENT OF ASTER GDEM v2 AND SRTM v3 DIGITAL

- ELEVATION MODELS: A CASE STUDY IN URBAN AREA OF BELO HORIZONTE, MG, BRAZIL. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 23, 654-668. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702017000400043>
- Moyano, G. (2017). EL USO DE FOTOGRAMETRÍA DIGITAL COMO REGISTRO COMPLEMENTARIO EN ARQUEOLOGÍA. ALCANCES DE LA TÉCNICA Y CASOS DE APLICACIÓN. *Comechingonia*, 21(2), 1-8.
- Najera Ramos, A. (2021). *Metodología para generación de ortofotos y modelos digitales de elevación de alta resolución a través de imágenes obtenidas con drones no-fotogramétricos*. <http://ri.uagro.mx/handle/uagro/2498>
- Pedraza, A. (2019). Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio, Los Olivos—2019. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36819>
- Peralta, J., Cordero, M., & Jaramillo, J. (2020). *Topografía I* (1.^a ed.). <https://doi.org/10.17993/CCyLI.2020.34>
- Pereira, J. (1999). A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 37, 217-226. <https://doi.org/10.1109/36.739156>
- Pérez, A., & Botella, A. (2011). Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática. *Documents d'anàlisi geogràfica*, 59(1), 191-195.
- Pérez, J., Gonçalves, G., & Galván, J. (2022). Análisis comparativo del levantamiento del terreno mediante UAS y topografía clásica en proyectos de trazado de carreteras. *Informes de la Construcción*, 74, e431. <https://doi.org/10.3989/ic.86273>
- Qgis Documentation. (s. f.). *Datos Vectoriales—Documentación de QGIS Documentation* -. Recuperado 8 de mayo de 2023, de https://docs.qgis.org/3.28/es/docs/gentle_gis_introduction/vector_data.html
- Quirós, E. (2015). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*.
- Quispe, O. (2016). Propuesta metodológica para la generación de ortofotomapas desde imágenes aéreas obtenidas con microdron – multirrotor, área de estudio: playas distrito de Barranco, Lima-Perú[Tesis de Pregrado, Universidad Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UNMSM <https://hdl.handle.net/20.500.12672/5199>
- Reyes, G., Crespo, C., León Granizo, O. D., Bazán, W., & Horta, R. (2022). Propuesta de método de extracción de ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras para el análisis de trayectorias GPS. *Investigación, Tecnología e Innovación*, 14(16), 1-15.
- Rick, J. (2018). *Total Station*. 1-3. <https://doi.org/10.1002/9781119188230.saseas0205>

- Rímolo, R., Arriola, S., Umaña, J., López, A., Sepúlveda, N., Villalobos, L. C., Monge, J. C., & Somarriba, E. (2021). *Fotogrametría digital con sistemas aéreos no tripulados para el análisis de sistemas agroforestales. Tutorial*. CATIE. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/115571>
- Rock, G., Ries, J. B., & Udelhoven, T. (2012). SENSITIVITY ANALYSIS OF UAV-PHOTOGRAMMETRY FOR CREATING DIGITAL ELEVATION MODELS (DEM). *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXVIII-1/C22, 69-73. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-69-2011>
- Rosnell, T., & Honkavaara, E. (2012). Point Cloud Generation from Aerial Image Data Acquired by a Quadcopter Type Micro Unmanned Aerial Vehicle and a Digital Still Camera. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 12, 453-480. <https://doi.org/10.3390/s120100453>
- Sanz-, E., Chandler, J. H., Rodríguez, J. R., & Ordóñez, C. (2018). Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used. *Remote Sensing*, 10(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/rs10101606>
- Schonberger, J. L., & Frahm, J.-M. (2016). *Structure-From-Motion Revisited*. 4104-4113. https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2016/html/Schonberger_Structure-From-Motion_Revisited_CVPR_2016_paper.html
- SCS Equipos. (s. f.). *Emlid Reach RS2 | SCS Equipos Emlid Reach RS2 | Emlid Reach RS2, Receptor GNSS RTK frecuencia simple*. SCS Equipos. Recuperado 6 de mayo de 2023, de <https://www.scsequipos.com/producto/emlid-reach-rs2/>
- SENPLADES. (2009). *Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/%20Informacion-Legal/Normas-de-Regulacion/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir/Plan+Nacional+del+Buen+Vivir+2009-2013.pdf>
- Sensefly. (s. f.). *EBee RTK - El Dron para Cartografía | UAVSenseFly*. Recuperado 9 de mayo de 2023, de <https://www.uavsensefly.cl/abee-rtk/>
- Serifoglu, C., & Gungor, O. (2018). Comparison of the performances of ground filtering algorithms and DTM generation from a UAV-based point cloud. *Geocarto International*, 33(5), 522-537. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1265599>
- Sevilla, M. (1991). *Criterios de Precision Cartografica*. <https://core.ac.uk/download/pdf/36035246.pdf>
- SIGTIERRAS. (2017). *Ortofotografía del Ecuador – El País desde otra perspectiva*. <http://www.sigtierras.gob.ec/wp-content/uploads/revista/Ortofotografia.pdf>

- Sobral, S. (2010). *Análisis metodológico de la información gráfica a escala 1:5000 y 1:1000 para su utilización en un SIG aplicado a la intervención urbana*. Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/66719>
- Trimble Navigation Limited. (2017). *T300 Plus GNSS Receiver User Manual [PDF]*. KPN Uruguay.
- Vales, J. J., Carpintero, I. R., Méndez, E., Montoya, G., Pino, I., Prieto Molina, R., Giménez de Azcárate Fernández, F., Cáceres, F., & Moreira Madueño, J. M. (2010). Producción de ortofotos históricas para la generación de bases de datos temáticas. Cartografía de usos y coberturas del suelo. REDIAM. *La información geográfica al servicio de los ciudadanos: de lo global a lo local. XIV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, 2010, ISBN 978-84-472-1294-1, págs. 370-384, 370-384.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3394207>
- Vásquez, J. C. (2017). *Elaboración de la norma técnica para la generación de cartografía catastral de escala 1:1000, empleando UAV* [BachelorThesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.]. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/13353>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

Anexos

Anexo A. Monografía Hito A

Situación:

Código.....: HitoA	Cantón...: Cuenca
Nombre.....: Base A	Provincia: Azuay
Medición...: 9-feb-2023	

Localización.: Detrás del establo de la granja de Irquis, por la parte superior del canal de agua.

Construcción: Estructura de Mojón tipo B de acuerdo a la normativa del IGM, con dimensiones en la base superior de 0,25 x 0,25 m y de base inferior de 0,30 x 0,30 m, enterrado a nivel del suelo con una varilla sobresaliente del cemento que indica la ubicación física del punto.

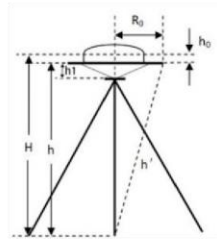
Coordenadas:

Latitud 3° 04' 47,23691" S.	X.....: 1207488,130 m.
Longitud 79° 04' 33,07057" W.	Y.....: -6256196,146 m.
Altitud Elipsoidal: 2674,746 m.	Z.....: -340528,358 m.
Este UTM...: 713842,454 m.	Altitud sobre el nivel medio del mar:
Norte UTM...: 9659394,625 m.	Época de referencia: 2016,4
Altitud Ortométrica: 2652,983 m.	
Zona.....: 17 Sur	

Instrumentación:

Receptor: Comnav	Altura: 1,4726 m. (Altura vertical a la base del receptor)
Antena: T300-Plus	

Esquema antena



Información Adicional :

El hito A se levantó como parte del proyecto de titulación "Generación de cartografía básica a detalle (escala 1:1.000) mediante levantamiento Aerofotogramétrico con Sistemas de aeronave pilotada a distancia (RPAS) para la granja de Irquis" de los estudiantes Gómez Jefferson y Tacuri Paul de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Carrera de Agronomía , el objetivo del hito es servir como apoyo para la corrección tanto horizontal como vertical de las mediciones levantadas dentro y alrededor del predio de la granja de Irquis.



Observaciones:

El Hito A esta a 23,1 Km de distancia de la estación de monitoreo continuo del IGM con código CUEC.

El post-procesamiento del punto se realizó en el software Leica Infinity v. 4.0.2. con una línea base alrededor de 23,1 km, con un tiempo aproximado de toma de datos de 7 horas.

Anexo B. Monografía Hito B

Situación:

Código.....: HitoB	Cantón: Cuenca
Nombre.....: Base B	Provincia: Azuay

Medición...: 09-feb-2023

Localización.: Dentro del cerramiento de la estación total, ubicada por la parte posterior del establo de la granja de Irquis.

Construcción: Estructura de Mojón tipo B de acuerdo a la normativa del IGM, con dimensiones en la base superior de 0,25 x 0,25 m y de base inferior de 0,30 x 0,30 m, enterrado a nivel del suelo con una varilla sobresaliente del cemento que indica la ubicación física del punto.

Coordenadas:

Latitud 3° 04' 45,84141" S.	X.....: 1207569,210 m.
Longitud 79° 04' 30,40741" W.	Y.....: -6256182,128 m.
Altitud Elipsoidal: 2674,044 m.	Z.....: -340485,500 m.
Este UTM.....: 713924,777 m.	Altitud sobre el nivel medio del mar:
Norte UTM.....: 9659437,348 m.	Época de referencia: 2016,4 m.
Altitud Ortométrica: 2652,275 m.	
Zona.....: 17 Sur	

Instrumentación:

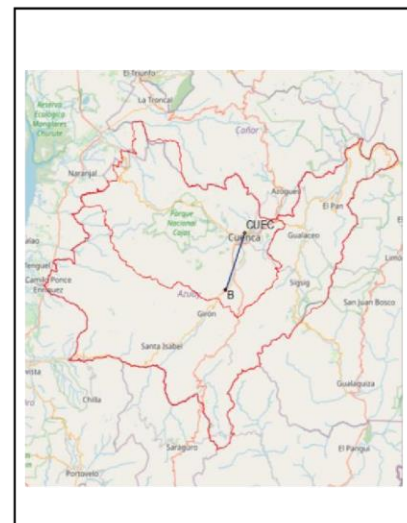
Receptor: Emlid

Antena: Reach RS 2 **Altura:** 2,5 m. (BPA)

Esquema antena

Información Adicional :

El hito B se levantó como parte del proyecto de titulación "Generación de cartografía básica a detalle (escala 1:1.000) mediante levantamiento Aerofotogramétrico con Sistemas de aeronave pilotada a distancia (RPAS) para la granja de Irquis" de los estudiantes Gómez Jefferson y Tacuri Paul de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Carrera de Agronomía , el objetivo del hito es servir como apoyo para la corrección tanto horizontal como vertical de las mediciones levantadas dentro y alrededor del predio de la granja de Irquis.



Observaciones:

El Hito B esta a 23 Km de distancia de la estación de monitoreo continuo del IGM con código CUEC.

El post-procesamiento del punto se realizó en el software Leica Infinity v. 4.0.2. con una línea base alrededor de 23 km, con un tiempo aproximado de toma de datos de 7 horas.

Anexo C. Monografía de Estación de Monitoreo Continuo de la Ciudad de Cuenca



I N S T I T U T O
Geográfico Militar



Ficha de Estación Permanente - REGME

Junio-2020

Situación:
Código: CUEC **Cantón:** Cuenca
Nombre: Cuenca **Provincia:** Azuay
Código IERS: 42009M001
Instalación: 20-Jun-2008

Localización: Tanque reservorio de agua ETAPA, sector Cristo Rey.

Construcción: Estructura piramidal de acero inoxidable de 3.3 m de altura. Sobre esta se ubica el centrado forzado (CF-IGM-v1) en el cual se encuentra la antena.



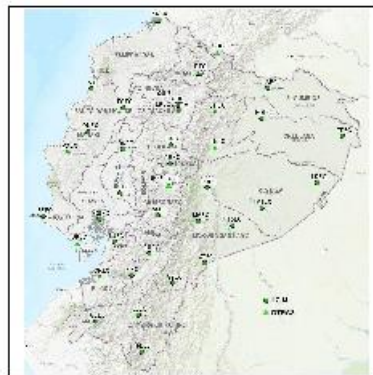
Coordenadas ITRF08:
Latitud: 2° 52' 59.8662" S **X:** 1215704.324 m.
Longitud: 79° 00' 08.9897" W **Y:** -6255712.179 m.
Altitud elipsoidal: 2631.144 m. **Z:** -318818.890 m.

Este UTM: 722037.612 m. **Altitud sobre el nivel medio del mar:**
Norte UTM: 9681111.691 m.
Zona: 17 Sur **Epoca de referencia:** 2016.4



Instrumentación:
Receptor: TRIMBLE NET R9
Antena: TRM5900.00 **SCIS:** **Altura:** 0.0080 m. (BPA)

Esquema antena



Información adicional:
 Esta estación permanente, además de a la red REGME, pertenece a la siguiente red:
 - Red SIRGAS Sistema de Referencia Geocéntrico para Las Américas:
<http://www.sirgas.org/es/>

Datos diarios crudos a 1 segundo y rInex a 30 segundos:
<http://www.geoportallgm.gov.ec/geodesia/>

Emite correcciones diferenciales a través del Caster:
 Principal: <http://regme-ip.lgm.gov.ec:2101>
 Backup: <http://regme-ip.espoeh.ec:2101>

E-mail de contacto IGM: proceso.geodesia@geograficomilitar.gov.ec

Coordenadas oficiales hasta el 15 de abril 2016:
ITRF94 - SIRGAS95
Latitud: 2° 52' 59.8724" S
Longitud: 79° 00' 08.9902" W
Altitud elipsoidal: 2631.222 m.
Epoca de referencia: 1995.4

Observaciones:
 Más información de esta estación permanente:
<ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/DGF/Station/Log>
 Sensor meteorológico MET4 que proporciona datos: (PR, TD, HR) con un intervalo de 5 minutos
<http://www.geoportallgm.gov.ec/geodesia/>

Anexo D. Reporte de la corrección diferencial de las bases en el software Leica Infinity

Leica Geosystems AG
 Heinrich Wild Strasse
 CH-9435 Heerbrugg
 St. Gallen, Switzerland
 Phone: + 41 71 727 3131
 Fax: + 41 71 727 4674

- when it has to be right



Points Quality Report

Report created: 29/03/2023 10:03:42

Project Details

General	Customer Details	Master Coordinate System
Project Name: New Project 4	Customer Name: -	Coordinate System Name: UTM 17S WGS84 EGM96
Owner: -	Contact Person: -	Transformation Type: -
Lead Surveyor: -	Number: -	Residual Distribution: None
Date Created: 29/03/2023 08:01:46	Email: -	Ellipsoid: WGS 1984
Last Accessed: 29/03/2023 08:01:47	Skype: -	Projection Type: UTM
Application Software: Infinity 4.0.2	Website: -	Geoid Model: EGM96
		CSCS Model: -
Path: C:\Users\LabGeo-Mlopea\Documents\Leica Geosystems\Infinity\Projects\New Project 4\New Project 4.ipj		
Size: 508.6 MB		
Comments: -		

Summary

#	Point ID	Point Role	Easting [m]	Northing [m]	Ortho. Height [m]	Ellips. Height [m]	Code	Tilt [gon]	3D CQ [m]	2D CQ [m]	1D CQ [m]	Data/Time
1	03323807	Fixed PP	713'842.454	9'659'394.625	2'652.983	2'674.746		-	0.000	0.000	0.000	09/02/2023 16:19:43
2	CUEC	Control	722'037.612	9'681'111.691	2'608.263	2'631.144		-	-	-	-	29/03/2023 08:58:10
3	HitoA	Fixed PP	713'842.472	9'659'394.615	2'653.020	2'674.784		-	0.000	0.000	0.000	10/02/2023 12:30:48
4	HitoB	Fixed PP	713'924.777	9'659'437.348	2'652.275	2'674.044		-	0.000	0.000	0.000	09/02/2023 16:22:20

Anexo E. Reporte de la corrección diferencial de los puntos de apoyo y control en el software Leica Infinity

Leica Geosystems AG
Heinrich Wild Strasse
CH-9435 Heerbrugg
St. Gallen, Switzerland

Phone: + 41 71 727 3131
Fax: + 41 71 727 4674



GNSS Intervals

Report created: 29/03/2023 10:10:59

Project Details

General		Customer Details		Master Coordinate System	
Project Name:	New Project 4	Customer Name:	-	Coordinate System Name:	UTM175 WGS84 EGM96
Owner:	-	Contact Person:	-	Transformation Type:	-
Lead Surveyor:	-	Number:	-	Residual Distribution:	None
Date Created:	29/03/2023 08:01:46	Email:	-	Ellipsoid:	WGS 1984
Last Accessed:	29/03/2023 08:01:47	Skype:	-	Projection Type:	UTM
Application Software:	Infinity 4.0.2	Website:	-	Geoid Model:	EGM96
				CSCS Model:	-
Path:	C:\Users\LabGeo-Mlopez\Documents\Leica Geosystems\Infinity\Projects\New Project 4\New Project 4.iprj				
Size:	508.6 MB				
Comments:	-				

Summary

Point Id	Use	Occupation Mode	Start Time	End Time	Duration	Antenna IGS Name	Receiver Name
CUEC	Reference	Static	08/02/2023 18:59:42	10/02/2023 18:59:41	47:59:59	TRM59800.00 SCIS	NetR9
03323807	Rover	Static	09/02/2023 09:10:22	09/02/2023 16:19:43	07:09:21	CNTT300plus	ComNav
HitoB	Rover	Static	09/02/2023 09:24:55	09/02/2023 16:22:21	06:57:26	EML_REACH_RS2	EMLID REACH RS2
HitoA	Rover	Static	10/02/2023 08:54:40	10/02/2023 12:30:49	03:36:09	EML_REACH_RS2	EMLID REACH RS2

Time Settings

Time Format: HH:mm:ss
Time System: Local Time
Leap Seconds: 18

Station Id: CUEC

Antenna IGS Name:	TRM59800.00 SCIS	Occupation Mode:	Static	Point Role:	Control
Receiver Name:	NetR9	Start Time:	08/02/2023 18:59:42	Satellite System:	GPS/GLONASS
Receiver Serial Number:	5045K71495	End Time:	10/02/2023 18:59:41	Sampling Rate:	1.00 sec
Ant. Height:	0.008 m	Duration:	47:59:59		
WGS84 Latitude:	2° 52' 59.86620" S	WGS84 Cartesian X:	1'215'704.324 m	Easting:	722'037.612 m
WGS84 Longitude:	79° 00' 08.98970" W	WGS84 Cartesian Y:	-6'255'712.179 m	Northing:	9'681'111.691 m
Ellip. Height:	2'631.144 m	WGS84 Cartesian Z:	-318'818.890 m	Ortho. Height:	2'608.263 m

Station Id: 03323807

Antenna IGS Name:	CNTT300plus	Occupation Mode:	Static	Point Role:	Fixed PP
Receiver Name:	ComNav	Start Time:	09/02/2023 09:10:22	Satellite System:	GPS/GLONASS/Galileo/QZSS
Receiver Serial Number:	03323807	End Time:	09/02/2023 16:19:43	Sampling Rate:	0.20 sec
Ant. Height:	1.473 m	Duration:	07:09:21		
WGS84 Latitude:	3° 04' 47.23691" S	WGS84 Cartesian X:	1'207'488.130 m	Easting:	713'842.454 m
WGS84 Longitude:	79° 04' 33.07057" W	WGS84 Cartesian Y:	-6'256'196.146 m	Northing:	9'659'394.625 m
Ellip. Height:	2'674.746 m	WGS84 Cartesian Z:	-340'528.358 m	Ortho. Height:	2'652.983 m

Station Id: HitoB

Antenna IGS Name:	EML_REACH_RS2	Occupation Mode:	Static	Point Role:	Fixed PP
Receiver Name:	EMLID REACH RS2	Start Time:	09/02/2023 09:24:55	Satellite System:	GPS/GLONASS/Galileo
Receiver Serial Number:		End Time:	09/02/2023 16:22:21	Sampling Rate:	1.00 sec
Ant. Height:	2.500 m	Duration:	06:57:26		

Anexo F.

Mapa de ortofotos

