



## **Universidad de Cuenca**

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Agronomía

**Generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento  
aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave pilotada a distancia.  
Estudio de caso: Granja El Romeral**

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


### **Autores:**

Franklin Alejandro Brito Velecela

Juan Andrés Tamayo Álvarez

### **Director:**

Víctor Eduardo Tacuri Espinoza

ORCID:  0000-0002-4094-209X

**Cuenca, Ecuador**

2024-08-08

### Resumen

La Granja experimental El Romeral, propiedad de la Universidad de Cuenca, carece de información básica y delimitación planimétrica actualizada en sus 29.29 hectáreas, destinadas a propósitos educativos, de investigación y producción agrícola. Al examinar los datos cartográficos disponibles para esta área, se identificó que la escala más detallada era de 1:25000, la cual no satisface los requisitos técnicos necesarios para una planificación parcelaria precisa. Para abordar esta problemática, se llevó a cabo la producción de nueva cartografía a escala 1:1000, utilizando un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) para la adquisición de datos topográficos detallados. Este proyecto comprende la creación de un Modelo Digital de Superficie (MDS), un Modelo Digital del Terreno (MDT), ortofotomosaico, curvas de nivel y planimetría, que podrán ser usados por la dirección académica de la granja. Se emplearon lonas fotogramétricas como puntos de apoyo y control, además se ejecutó una campaña de campo con equipos GNSS y vuelos con la aeronave Autel EVO II Pro para la recolección de datos de geoposicionamiento. Los datos obtenidos fueron procesados mediante software especializado, permitiendo la elaboración de mapas de pendientes, cobertura vegetal, zonas y cultivos. La validación de la información se llevó a cabo mediante el cálculo de la raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el método National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), evaluando la precisión posicional de los datos espaciales.

*Palabras clave del autor:* Granja El Romeral, Modelo Digital de Superficie, Modelo Digital de Terreno, Ortofotomosaico



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

El Romeral Experimental Farm, owned by the University of Cuenca, lacks basic information and updated planimetric delimitation for its 29.29 hectares, destined for educational, research and agricultural production purposes. Upon examining the available cartographic data for this area, it was identified that the most detailed scale was 1:25000, which does not meet the technical requirements necessary for accurate parcel planning. To address this issue, the production of new 1:1000 scale mapping will be undertaken using a remotely piloted aircraft system (RPAS) for the acquisition of detailed topographic data. This Project include the creation of a Digital Surface Model (DSM), a Digital Terrain Model (DTM), orthophotomosaic, contour lines and planimetry, which can be used by the academic management of the farm. Photogrammetric tarps were used as support and control points, and a field campaign was carried out with GNSS equipment and flights with the Autel EVO II Pro aircraft to collect geopositioning data. The data obtained were processed using specialized software, allowing the preparation of maps of slopes, vegetation cover, areas and crops. Data validation was carried out by calculating the root mean square error (RMSE) and the National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) method, evaluating the positional accuracy of

*Autor Keywords:* El Romeral farm, Digital Surface Model, Digital Terrain Model, Orthophotomosaic



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

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Descripción del problema. ....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Justificación.....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>10</b>
4.1	Objetivo general.....	10
4.2	Objetivos específicos .....	10
<b>5</b>	<b>Fundamentación .....</b>	<b>10</b>
5.1	Fundamentación social .....	10
5.2	Fundamentación legal.....	11
5.3	Fundamentación teórica .....	11
5.3.1	Geografía.....	11
5.3.2	Cartografía.....	11
5.3.3	Escala.....	13
5.3.4	Sistemas de coordenadas geográficas .....	14
5.3.5	Sistemas de coordenadas proyectadas .....	14
5.3.6	Fotogrametría .....	15
5.3.7	Altura de vuelo.....	16
5.3.8	Tamaño de píxel y dimensión .....	16
5.3.9	Visión estereoscópica .....	16
5.3.10	Drones .....	17
5.3.11	Topografía .....	18
5.3.12	Planimetría .....	19
5.3.13	Altimetría .....	19
5.3.14	Método convencional de levantamiento topográfico –Estación total.....	19
5.3.15	Métodos alternativos de levantamiento topográfico -Restitución aerofotogramétrico.....	20
5.3.16	Método alternativo de levantamiento topográfico -LIDAR.....	20
5.3.17	Sistema de aeronave pilotada a distancia RPAS .....	21
5.3.18	Ortofotomosaico .....	21
5.3.19	Construcción de nube de puntos.....	22
5.3.20	Modelo digital del terreno.....	22
5.3.21	Modelo digital de superficie.....	23

5.3.22	Diferencia entre MDT Y MDS.....	23
5.3.23	Curvado .....	23
5.3.24	Topología.....	23
5.3.25	Structure for motion .....	24
5.3.26	Receptor GNSS T300 PLUS.....	25
5.3.27	Receptor Emlid Reach RS2 .....	25
5.3.28	Trabajos previos .....	26
<b>6</b>	<b>Diseño del proyecto.....</b>	<b>28</b>
6.1	Metodología.....	28
6.1.1	Materiales .....	28
6.1.2	Flujograma de trabajo .....	30
6.1.3	Área de estudio.....	31
6.1.3.1	Antecedentes .....	31
6.1.3.2	Ubicación .....	31
6.1.4	Planificación previa al vuelo.....	33
6.1.5	Validación de información levantada.....	58
6.2	Factibilidad .....	60
6.2.1	Técnica .....	60
6.2.3	Ambiental.....	61
6.2.4	Legal.....	61
6.2.5	Social.....	61
6.2.6	Estrategia de Evaluación .....	61
7	Resultados.....	62
7.1	Modelo digital de superficie. ....	62
7.2	Modelo Digital de Terreno y sus respectivos curvados .....	63
7.3	Ortofotomosaico .....	65
7.4	Planimetría .....	66
7.5	Validación de información cartográfica .....	68
7.5.1	Validación planimétrica .....	68
7.5.2	Validación altimétrica .....	69
7.6	Costos y comparación de costos del levantamiento .....	75
8	Conclusiones. ....	81
9	Recomendaciones. ....	82

## Índice de figuras

Figura 1 Diferencia entre MDT Y MDS.....	27
Figura 2 Mapa de ubicación del área de estudio.....	36
Figura 3 Hito Romeral- 1.....	37
Figura 4 Hito Romeral-2.....	37
Figura 5 Receptor GNSS EMLID Reach RS2 ubicado sobre punto de referencia Romeral 1.....	38
Figura 6 Configuración del equipo GNSS EMLID Reach RS2 con la aplicación móvil Emlid Flow.....	39
Figura 7 Línea base entre el Romeral-1 y la Estación de Monitoreo Continuo (CUEC).....	40
Figura 8 Elaboración de lonas fotoidentificables.....	42
Figura 9 Colocación de ojales en las lonas.....	42
Figura 10 Planificación del vuelo para el RPAS Autel EVO II.....	44
Figura 11 Ubicación de puntos de apoyo y control en el área de estudio.....	46
Figura 12 Distribución espacial de los puntos de apoyo y control en la Aplicación Locus Map.....	47
Figura 13 Georreferenciación de los puntos de apoyo y control.....	47
Figura 14 Levantamiento RTK para la zona de estudio.....	48
Figura 15 Adición de fotos al programa Agisoft metashape.....	49
Figura 16 Parámetros usados para la alineación de imágenes.....	50
Figura 17 Filtrado manual de imágenes para la correcta ubicación de los puntos sobre las lonas fotoidentificables.....	51
Figura 18 Alienación de las imágenes luego de haber realizado la correcta colocación de los puntos.....	51
Figura 19 Visualización final de la ubicación y superposición de las imágenes para cubrir el terreno.....	52
Figura 20 Visualización de la nube densa de puntos de la granja el Romeral.....	53
Figura 21 Parámetros utilizados para la clasificación automática de los puntos de suelo en el programa.....	54
Figura 22 Red de drenajes presentes en la granja.....	57
Figura 23 Red de drenajes presente en cultivo de manzana.....	58
Figura 24 Red de drenajes presente en cultivo de maíz.....	59
Figura 25 Control de geometrías.....	60
Figura 26 Curvas de nivel de la granja.....	61
Figura 27 Comparación de las curvas de nivel con las curvas de nivel suavizadas.....	62
Figura 28 Puntos levantados en campo para cada zona homogénea delimitada.....	63
Figura 29 Modelo digital de superficie de la granja.....	67
Figura 30 Modelo digital de terreno de la granja.....	69
Figura 31 Curvas de nivel de la granja.....	70
Figura 32 Ortofotomosaico de la granja.....	72
Figura 33 Mapa de sectores de la granja.....	74
Figura 34 Mapa de zonas de cultivo de la granja.....	76

**Índice de tablas**

Tabla 1 Materiales utilizados para la realización del proyecto.....	33
Tabla 2 Tiempo de recepción de cada sesión de acuerdo a la distancia de línea base.....	40
Tabla 3 Resumen de las correcciones diferenciales proporcionadas por el software Spectra Precision Survey Office.....	41
Tabla 4 Planificación del vuelo con el software Autel Explorer para las tres áreas.....	43
Tabla 5 Coberturas de nivel 1 y nivel 2 según el MAE Y MAGAP.....	55
Tabla 6 Codificación para las diferentes áreas de la granja.....	56
Tabla 7 Áreas de los diferentes sectores presentes en la granja.....	75
Tabla 8 Áreas de los cultivos presentes en la granja.....	77
Tabla 9 Análisis de planimetría.....	78
Tabla 10 Análisis de altimetría para vías.....	80
Tabla 11 Análisis de altimetría para pastos no cultivados.....	81
Tabla 12 Análisis de altimetría para cultivos ocupados.....	82
Tabla 13 Análisis de altimetría para cultivos desocupados.....	83
Tabla 14 Análisis de altimetría para bosque.....	84
Tabla 15 Cálculo de costos del levantamiento aerofotogramétrico con RPAS para la granja El Romeral.....	84
Tabla 16 Sondeo de costos del levantamiento aerofotogramétrico con RPAS para la granja El Romeral.....	86
Tabla 17 Enlaces URL de los productos publicados.....	87

## 1 Introducción

La evolución tecnológica en el campo de la cartografía ha generado un profundo impacto en la manera en que entendemos y representamos el mundo que nos rodea. En particular, la integración de tecnologías como los RPAS (Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia) y la fotogrametría ha abierto nuevas posibilidades en la generación de información cartográfica detallada y precisa. Este avance ha permitido no solo obtener datos tridimensionales de alta resolución, sino también optimizar los procesos de captura y análisis de información geoespacial.

El uso de RPAS equipados con sensores capaces de capturar imágenes aéreas georreferenciadas se ha convertido en una herramienta invaluable para la generación de datos cartográficos. Estas aeronaves, también conocidas como drones, permiten obtener una perspectiva única del terreno, facilitando la adquisición de datos en áreas de difícil acceso o en condiciones adversas. La combinación de estas imágenes con técnicas fotogramétricas ha permitido la creación de una amplia gama de productos cartográficos, incluyendo mapas topográficos, modelos digitales del terreno, ortofotos y nubes de puntos, entre otros (Pérez et al., 2022).

Por otro lado, la cartografía digital ha revolucionado la forma en que representamos la superficie terrestre en un plano. Esta tecnología, que se basa en el procesamiento digital de imágenes y datos geoespaciales, ofrece una visión más precisa y detallada del entorno, permitiendo identificar y analizar patrones espaciales con mayor facilidad. La capacidad de asociar múltiples capas de información en diferentes escalas y niveles de complejidad ha abierto nuevas posibilidades en el entendimiento de cómo se relacionan los eventos naturales y humanos (Fallas, 2003).

El presente proyecto tiene como objetivo aplicar estas tecnologías en la generación de cartografía detallada de la granja experimental El Romeral de la Universidad de Cuenca. En colaboración con el Laboratorio de Geomática de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, se llevarán a cabo actividades que abarcan desde la planificación del vuelo y la ubicación de puntos de control y apoyo hasta el procesamiento fotogramétrico de los datos obtenidos. Se espera obtener información cartográfica a escala 1:1000, la cual será validada de acuerdo con las normativas técnicas establecidas por el IGM (Instituto Geográfico Militar), garantizando la precisión y fiabilidad de los resultados.

Además de la generación de cartografía detallada, el proyecto también tiene como objetivo evaluar los costos asociados con este modelo de levantamiento. Esta información ayudará a comprender la viabilidad económica de la implementación de estas tecnologías en el ámbito

agropecuario y establecer recursos útiles para futuros estudios e implementaciones en áreas como la cartografía y la agricultura de precisión (Pérez Álvarez, 2001). Este proyecto representa un paso hacia adelante en la aplicación de tecnologías avanzadas para la creación de información cartográfica, con el potencial de transformar la manera en que comprendemos y gestionamos nuestro entorno natural y agrícola.

## **2 Descripción del problema.**

La Granja El Romeral enfrenta un desafío crítico debido a la carencia de información cartográfica actualizada y precisa, con datos disponibles únicamente a una escala de 1:25000. Esta limitación obstaculiza la planificación y ejecución efectiva de una variedad de actividades agrícolas, incluida la selección óptima de cultivos, la distribución espacial y la implementación de sistemas de riego eficientes. Esto impacta directamente en la capacidad de la granja para optimizar prácticas agrícolas, garantizar una producción sostenible y mejorar su productividad en general.

## **3 Justificación**

Recio (2009) afirma que la información cartográfica es esencial para el éxito de cualquier tipo de proyecto, como proyectos de desarrollo, estudios censales, estadísticos, geográficos, planificación y ordenamiento territorial, así como la planificación de operaciones de seguridad y defensa. En nuestra era actual de expectativas cada vez mayores, las organizaciones geográficas y cartográficas internacionales se encuentran con un nuevo obstáculo: el mantenimiento permanente de repositorios cartográficos actualizados en todas las escalas. Este desafío se debe a la variedad de aplicaciones que actualmente tiene la información cartográfica, en relación con el avance de la tecnología y su uso más frecuente en los dispositivos móviles. Como lo sostuvo (Recio, 2009), *“a lo largo de los últimos años ha aumentado el interés y la necesidad de disponer de una información de usos y coberturas del territorio fiable y actualizada [...]”*

Según Claros et al. (2016), la fotogrametría es una técnica que utiliza la toma de fotografías aéreas con aeronaves de gran envergadura para obtener datos de la superficie del terreno en un corto período de tiempo. Las aeronaves pilotadas remotamente (RPAS) son un medio adecuado para capturar esas imágenes, lo que minimiza la duración del trabajo de campo y garantiza resultados confiables que pueden equipararse a los obtenidos con las herramientas topográficas y fotogramétricas tradicionales. Esto presenta numerosos beneficios para los ámbitos de la fotogrametría y la agronomía.

Tacca (2015) afirma que la fotogrametría y los drones son más eficientes para calcular volúmenes, áreas, gradientes y excavaciones en comparación con el método de estación

total, lo que requiere mucho menos personal. Además, los datos recopilados sobre el terreno a través de drones y las mediciones tomadas con las estaciones totales muestran resultados muy similares. Sin embargo, se ha demostrado que el primer método es más rentable debido a su versatilidad y su nivel de confianza del 95%.

En este sentido, la generación de datos actualizados tales como el modelo digital de superficie (MDS), el modelo digital de terreno (MDT), las curvas de nivel, la planimetría y el ortofotomosaico permiten obtener un conocimiento detallado de las características topográficas y geográficas de un determinado lugar y en nuestro caso específico la Granja El Romeral. Este conocimiento es fundamental no solo para la planificación predial sino para el diseño de múltiples proyectos al interior del predio.

Actualmente, existen únicamente mapas para todo el Ecuador a escala 1:25000 (MAGAP, 2013), la cartografía detallada de la provincia de Azuay y la Granja Experimental El Romeral es inexistente. Como resultado de esta deficiencia, se produce una planificación de propiedad inadecuada e imprecisa, lo que puede resultar en problemas como un uso ineficiente de la tierra y malas prácticas agrícolas (Conrado, 2016). La información obtenida a través del proyecto técnico podrá ser utilizada en el futuro para la implementación de proyectos de diversa índole, tales como el establecimiento de nuevas edificaciones, la implementación de sistemas de riego o la implementación de nuevos cultivos.

## 4 Objetivos

### 4.1 Objetivo general

- Generar cartografía básica a detalle mediante levantamiento Aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave pilotada a distancia.

### 4.2 Objetivos específicos

- Generar geo información cartográfica correspondiente a modelo digital de superficie (MDS), modelo digital del terreno (MDT), curvas de nivel, ortofotomosaico, y la maqueta del plano cartográfico para su presentación.
- Estimar los costos del levantamiento aerofotogramétrico con RPAS para el estudio de caso de la granja El Romeral
- Publicar los productos obtenidos en una plataforma digital.

## 5 Fundamentación

### 5.1 Fundamentación social

El levantamiento planimétrico y topográfico de la granja Experimental El Romeral, propiedad de la Universidad de Cuenca y dedicada al cultivo de frutales, proporcionará una actualización



detallada de la información cartográfica básica, trabajando con una escala de 1:1000. Esto permitirá a la administración académica de la granja, a los educadores y a los estudiantes elaborar estrategias y mejorar las actividades prácticas asociadas con el cultivo de frutas de manera más eficiente. Además, este proceso facilitará la implementación futura de sistemas de riego parcelario, la planificación o replanteamiento del uso del suelo y la mejora de la logística en la granja, gracias a la información detallada obtenida del levantamiento.

## 5.2 Fundamentación legal

La cartografía es reconocida como un instrumento esencial para planificar el desarrollo y mantener la seguridad nacional. Es fundamental que los trabajos cartográficos y geográficos que se lleven a cabo en Ecuador se ajusten a las recomendaciones técnicas internacionales. Es crucial que los proyectos cartográficos y geográficos ejecutados en Ecuador se ajusten a las normas técnicas internacionales. Según el informe del Ministerio de Defensa Nacional de 2009, se designa al Instituto Geográfico Militar (IGM) como la entidad responsable y se le ha encomendado la tarea de organizar, supervisar, guiar, sincronizar, implementar, respaldar y supervisar las actividades relacionadas con el establecimiento de la Cartografía Nacional y la agregación del Repositorio de Datos Geográficos y Cartográficos del país. Por otro lado, la operación, la aplicabilidad y las funciones de gestión de los RPAS se regulan de acuerdo con las directrices establecidas por la Dirección General de Aviación Civil en 2020, que abarcan los artículos estipulados que deben seguirse. Por lo tanto, teniendo en cuenta la legislación y la directiva antes mencionadas, no habría ningún obstáculo para la ejecución de esta iniciativa.

## 5.3 Fundamentación teórica

### 5.3.1 Geografía

La Geografía se ocupa de la disposición y ubicación de elementos y sucesos en el entorno, empleando diversos elementos como textos, números, gráficos y mapas a distintas escalas para comprender, interpretar y analizar de manera más eficaz (Rosa, 2004).

### 5.3.2 Cartografía

La Cartografía como disciplina abarca la ciencia, técnica y expresión artística en la creación y empleo de mapas. Un cartógrafo competente no solo requiere conocimientos científicos y técnicos, sino también habilidades artísticas para elegir líneas, colores y textos adecuados (Fallas, 2003).

Los mapas están diseñados para ser utilizados tanto en recorridos a pie como en desplazamientos vehiculares, además de ser herramientas útiles en la planificación territorial y como fuente de información en atlas. Su utilidad es significativa y en la actualidad se

distribuyen en múltiples y variados sistemas de información. Un mapa sirve como una interfaz eficaz entre los cartógrafos y el usuario final.

Durante mucho tiempo, el papel fue el principal soporte para los mapas. En la actualidad, la mayoría se elaboran con software cartográfico y se difunden a través de Internet; no obstante, las reglas cartográficas se mantienen constantes en todas las formas de distribución (Fallas, 2003; IGN, 2014).

#### 5.3.2.1 Contexto histórico

Los primeros vestigios de mapas se remontan a civilizaciones antiguas como la babilónica, egipcia y griega, donde se realizaron trazos rudimentarios basados en observaciones astronómicas, mediciones terrestres y mitología. Heródoto, considerado el "Padre de la Historia", es conocido por sus descripciones geográficas, y Tolomeo, en la Antigüedad, elaboró un influyente atlas que perduró durante siglos. Durante la Edad Media, los mapas se vieron influidos por la religión y la imaginación, dando lugar a representaciones que fusionan elementos geográficos con simbolismos religiosos. La llegada de la imprenta en el Renacimiento propició la producción en masa de mapas, destacando la proyección de Mercator que permitía representar áreas en mapas planos de forma más precisa, aunque con distorsiones en los polos. La exploración marítima en los siglos XV y XVI llevó a una mayor precisión cartográfica, con figuras como Vasco da Gama y Cristóbal Colón trazando rutas que redefinieron los límites del mundo conocido (Sanz & Wyttenbach, 2011; Varela, 2007).

El siglo XVIII presenció la profesionalización de la cartografía con la fundación de instituciones dedicadas al mapeo detallado de regiones. El avance tecnológico, especialmente con la fotografía aérea a finales del siglo XIX y la cartografía digital en el siglo XX, revolucionó la forma en que se generan y utilizan los mapas. La fotografía aérea permitió capturar imágenes detalladas desde una perspectiva elevada, proporcionando información valiosa para la creación de mapas más precisos y detallados. Sin embargo, fue con la llegada de la era digital cuando la cartografía experimentó una transformación radical. La aparición de los sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) permitió el almacenamiento, análisis y visualización de datos geoespaciales de manera eficiente, lo que llevó a una revolución en la cartografía al ofrecer herramientas poderosas para una variedad de aplicaciones en campos como la planificación urbana, la gestión de recursos naturales, la agricultura de precisión, entre otros.

En la actualidad, la cartografía abarca tanto la representación precisa de la Tierra como la visualización innovadora de información geoespacial a través de herramientas digitales. Los avances tecnológicos continúan impulsando la creación de mapas interactivos y actualizados

en tiempo real, accesibles a través de dispositivos móviles y plataformas en línea. Esto ha transformado la manera en que exploramos, entendemos y nos orientamos en nuestro entorno, ofreciendo mapas detallados, actualizados y fácilmente accesibles para el público en general, lo que antes era exclusivo de cartógrafos y especialistas en geografía (Fuentes, 2017).

#### 5.3.2.2 Simbología cartográfica

Conjunto de signos, símbolos y convenciones gráficas utilizadas en los mapas para representar información geográfica de manera clara y precisa. Estos símbolos son elementos visuales que transmiten diversos tipos de datos, como características físicas del terreno (ríos, montañas, bosques), límites políticos, puntos de interés, infraestructuras, entre otros. Cada símbolo cartográfico tiene un significado específico y se emplea para representar elementos particulares del paisaje o la geografía. Por ejemplo, un triángulo puede simbolizar una montaña, una línea ondulada, un río, un círculo, un pueblo o ciudad, y diversos colores pueden representar diferentes altitudes o usos del suelo. La simbología cartográfica es crucial para interpretar un mapa con precisión, ya que permite comunicar información compleja de manera visual y comprensible, facilitando la lectura e interpretación de los distintos elementos geográficos presentes en el mapa, lo que resulta fundamental para la planificación urbana, la navegación, la gestión de recursos naturales y diversas aplicaciones en campos científicos, sociales y comerciales (Instituto Geográfico Nacional, 2010).

#### 5.3.3 Escala

Cualquier objeto de la Tierra se puede representar en un tamaño más pequeño en papel, se está dibujando a escala. La escala es la proporción entre la distancia que se muestra en el mapa y la distancia real en la Tierra.

Es relevante señalar que la escala funciona de manera opuesta: cuanto más grande la escala, menos detalles se muestran en el mapa, mientras que en una escala más pequeña se muestran más detalles (Marques et al., 2009).

Al elegir la escala de representación en los mapas, se deben considerar varios aspectos. Por ejemplo, en los mapas topográficos, donde se requiere una precisión detallada, se toman en cuenta los errores que puedan surgir en su elaboración y uso, generalmente aceptados alrededor de 0,25 mm. Otro aspecto a tener en cuenta es la exactitud necesaria para mostrar los detalles. Si se desea garantizar que los detalles se presenten con un margen de error máximo de 6,25 metros, se debe elegir una escala adecuada para mostrar esta dimensión.

El cálculo de la escala se realiza teniendo en cuenta las relaciones mencionadas anteriormente. Por ejemplo, al establecer un error gráfico de 0,25 mm (equivalente a 0,00025 m) y un error de ubicación de detalles en el terreno de 6,25 metros, la escala sería 1:25.000 ( $0,00025 \text{ m} / 6,25 \text{ m} = 1/25.000$ ).

Es evidente que representar el territorio ecuatoriano (256.370 km<sup>2</sup>) en una sola hoja mediante esta escala resultaría imposible. Por lo tanto, se ha optado por dividir el país en 2.150 cartas topográficas, cada una de aproximadamente 73 cm por 57 cm, a una escala de 1:25.000. Cada carta cubre un área de 130 km<sup>2</sup> (León & Narváez, 2017).

En caso de querer visualizar todo un país o continentes, etc., se tienen en cuenta factores como el tamaño del territorio que se quiere representar, el objetivo del mapa y el tamaño de la hoja. Por ejemplo, el mapa oficial de Ecuador (físico) es representado en una escala de 1:1.000.000 en una hoja de tamaño A0 del INEN. Además, la escala del Planisferio es de 1:32.000.000 para ajustarse a una hoja de tamaño A2 del INEN (Dávila, 2006).

#### 5.3.4 Sistemas de coordenadas geográficas

Las coordenadas geográficas son una forma de ubicar un punto en la Tierra mediante la latitud y la longitud. Se definen en una red de paralelos y meridianos, lo que permite una ubicación precisa en la superficie terrestre.

La medida de la latitud se establece por medio del arco que se extiende a lo largo del meridiano desde el Ecuador, que se toma como referencia, hasta el punto donde se encuentra el observador. Dependiendo del hemisferio en el que se encuentre, se utiliza la latitud norte o sur para describir su ubicación.

La distancia entre un punto y el Meridiano de Greenwich se conoce como longitud. Se mide a lo largo del paralelo que cruza ese punto y determina si el punto está al este o al oeste del Meridiano de Greenwich (Blanquer et al., 2010).

#### 5.3.5 Sistemas de coordenadas proyectadas

Una forma de representar la Tierra en dos dimensiones es mediante un sistema de coordenadas proyectadas. A pesar de estar basado en un sistema esférico o esferoidal de coordenadas geográficas, este emplea unidades lineales para las coordenadas, lo que facilita el cálculo de distancias y áreas utilizando estas mismas unidades.

Las coordenadas de longitud y latitud se convierten en coordenadas x e y en una proyección plana. La coordenada x generalmente indica la dirección este-oeste de un punto, mientras

que la coordenada y indica la dirección norte-sur de un punto. El eje que se extiende de este a oeste se llama eje x, y el que va de norte a sur se llama eje y (ESRI, 2021).

### 5.3.6 Fotogrametría

La fotogrametría es un método de medición que utiliza fotografías para obtener información precisa sobre objetos, entornos o terrenos tridimensionales. Se basa en la captura y análisis de imágenes para reconstruir la forma, tamaño y posición de elementos físicos. Este proceso implica la captura de imágenes desde diferentes ángulos y posiciones, utilizando cámaras fotográficas convencionales o drones. Luego, mediante técnicas especializadas de procesamiento de imágenes, se identifican puntos comunes entre las fotos para calcular la posición tridimensional de esos puntos en el espacio. Con esta información, se genera un modelo tridimensional detallado del objeto o área estudiada (Quirós, 2014).

#### 5.3.6.1 Contexto histórico

La fotogrametría es un método innovador y multidisciplinario, tiene sus raíces en el siglo XIX. Su desarrollo se entrelaza con el avance de la fotografía y la necesidad de generar representaciones tridimensionales a partir de imágenes bidimensionales. A principios del siglo XX, la fotogrametría se convirtió en una técnica crucial para la cartografía y la topografía. Durante la Primera Guerra Mundial, tuvo un auge significativo al ser empleada para la elaboración de mapas precisos a partir de fotografías aéreas, impulsando así su aplicación en la generación de modelos de terreno y mapas detallados. Durante este periodo, se desarrollaron métodos analíticos y analógicos para la interpretación y medición de imágenes aéreas, sentando las bases para la fotogrametría moderna (Pozuelo, sf.).

Durante las últimas décadas del siglo XX, la fotogrametría experimentó una revolución tecnológica gracias a la era digital. La introducción de sistemas de información geográfica (SIG) y el procesamiento digital de imágenes ampliaron las capacidades de esta disciplina. El uso de software especializado en la fotogrametría digital permitió una mayor automatización en la extracción de información tridimensional a partir de imágenes, mejorando la precisión en la generación de modelos y agilizando los procesos (Domínguez, 2000).

En la actualidad, la fotogrametría se ha convertido en un componente esencial en una variedad de campos. Desde la cartografía y la topografía hasta la arqueología, la ingeniería civil, la administración del territorio, la agricultura de precisión y la monitorización ambiental, la fotogrametría toma un rol fundamental. Con avances en la tecnología de drones y sensores, se ha facilitado la captura de imágenes aéreas de alta resolución, permitiendo la generación de modelos 3D con detalles minuciosos. Además, el desarrollo de técnicas como

la fotogrametría digital terrestre ha ampliado sus aplicaciones al permitir la captura y análisis de datos tridimensionales en entornos urbanos y áreas de difícil acceso.

El constante progreso en hardware y software, combinado con el crecimiento exponencial en la capacidad de procesamiento, ha llevado a una fotogrametría más precisa, eficiente y accesible. La integración con otras tecnologías como el escaneo láser terrestre y la inteligencia artificial ha ampliado aún más las posibilidades de la fotogrametría, permitiendo la captura y realización de un examen minucioso de cantidades masivas de información de forma veloz y precisa., transformando así la manera en que se recopila, analiza y utiliza información espacial en diversos campos y sectores (Villar et al., 2023; Domínguez, 2000).

#### 5.3.6.2 *Fotogrametría digital*

La fotogrametría digital comprende el conjunto de elementos, tanto hardware como software, utilizados para adquirir información cualitativa y cuantitativa a partir de fotografías aéreas capturadas con una cámara métrica. Este proceso implica el uso de tecnología especializada para analizar y procesar estas imágenes con el fin de obtener datos detallados y precisos sobre el terreno o los objetos fotografiados (Luna, 2009).

#### 5.3.7 *Altura de vuelo*

La altura de vuelo de un dron es la distancia vertical que el dron recorrerá desde el terreno hasta su posición. Se expresa en metros y es un valor relativo que indica la distancia entre el dron y la superficie terrestre durante su vuelo (Domínguez, 2023).

#### 5.3.8 *Tamaño de píxel y dimensión*

El tamaño y dimensión de un píxel de una fotografía determina su resolución. Cuando los píxeles son más pequeños, la resolución es mayor, ya que la imagen captura y representa con más detalle la realidad fotografiada. Una mayor cantidad de píxeles por unidad de área resulta en una imagen más nítida y detallada, lo que permite una representación más precisa de la escena o el objeto fotografiado (Almagro, 2004).

#### 5.3.9 *Visión estereoscópica*

La estereoscopia es una técnica que permite obtener información tridimensional al observar una misma imagen desde dos puntos de vista, aprovechando la visión binocular. Este principio de visión estereoscópica natural se utiliza en cartografía para añadir la dimensión tridimensional a partir de imágenes aéreas bidimensionales. Este proceso se conoce como fotogrametría, permitiendo generar representaciones tridimensionales del terreno o del objeto mediante la observación estereoscópica de imágenes aéreas tomadas desde diferentes ángulos (Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, 2018).

### 5.3.10 Drones

#### 5.3.10.1 Drones ala fija

Los drones de ala fija tienen una forma similar a la de un avión. Están compuestos por un cuerpo principal y dos alas que les permiten planear. También tienen un rotor en la cola que los impulsa, utilizando energía eléctrica o de combustión. Desde una perspectiva aerodinámica, son los más eficientes y tienen una mayor autonomía de vuelo.

A pesar de sus ventajas, presentan algunas limitaciones, como una capacidad de carga más reducida, menor agilidad en maniobras debido a la incapacidad de permanecer estáticos en el aire, y la necesidad de una superficie extensa para despegar o aterrizar. Sin embargo, gracias a su considerable autonomía, estos drones son ideales para llevar a cabo tareas especializadas como la fotogrametría y la agricultura de precisión (Pino, 2019) .

#### 5.3.10.2 Drones de ala rotatorio

Los UAVs de ala rotatoria están compuestos por un rotor que consiste en 2 o 3 aspas girando alrededor de un mástil. Estos drones pueden encontrarse en diversas configuraciones, desde un rotor (helicóptero) hasta configuraciones con 3, 4, 6, 8, 12 o incluso 16 rotores. A diferencia de las alas fijas, las aspas de estos drones no necesitan un movimiento constante en una dirección para generar un flujo de aire; en su lugar, las propias aspas mantienen un movimiento constante que produce la corriente de aire necesaria sobre el perfil alar para generar sustentación. El control de estos UAVs se logra mediante la variación del empuje y torque de sus motores (Rodríguez et al., 2018).

#### 5.3.10.3 Drones tipo VTOL

Para los aviones de ala fija, las fases de despegue y aterrizaje son críticas. A pesar de representar una pequeña porción de la duración total del vuelo, estas fases constituyen un alto porcentaje de los accidentes, resaltando su importancia estadística. El despegue y el aterrizaje requieren maniobras precisas, experimentan aceleraciones significativas y se realizan a bajas altitudes, lo que los convierte en un importante problema de seguridad debido a la interacción entre la aeronave y el suelo.

Las aeronaves con capacidades de despegue y aterrizaje verticales (VTOL) son menos susceptibles a muchos de los desafíos que enfrentan las operaciones de despegue y aterrizaje convencionales. Los aviones VTOL pueden tener varios diseños, incluidos dirigibles, helicópteros y aviones convertibles más ligeros que el aire. Un avión convertible, también conocido como convertiplano, puede cambiar su fuente de sustentación durante el vuelo mediante diferentes diseños, como rotor basculante, empuje vectorial con un motor a reacción o configuración de cola (Alegre, 2021).



#### 5.3.10.4 *Drone Ebee RTK*

El Ebee RTK es el dron de ala fija más comúnmente utilizado en levantamientos topográficos. Su peso de solo 1.1 kilos y su diseño liviano le permiten cubrir aproximadamente 220 hectáreas y una altura de 120 metros. Además, tiene una autonomía de batería de una hora. Este dron tiene una cámara de fotogrametría de 20 megapíxeles que es ideal para capturar imágenes en grandes distancias.

Aunque el Ebee RTK ofrece muchas ventajas, una desventaja importante es su requerimiento de una extensión amplia para el aterrizaje. Sin el espacio adecuado, el dron puede sufrir daños durante el descenso, especialmente si las maniobras no son realizadas correctamente (Erney & Ramirez, 2021).

#### 5.3.10.5 *Dron autel Evo II RTK*

Este modelo de dron pesa 1.174 kg y tiene dimensiones de vuelo de 424x354x110 mm. Tiene un tiempo de vuelo máximo de 40 minutos y una velocidad máxima de 20 m/s. Cuenta con un almacenamiento interno de 8 GB y un sistema de detección avanzado, con una distancia máxima de vuelo de 25 km.

Este dron tiene una cámara integrada que permite grabar en resoluciones de hasta 7680x4320, lo que facilita el zoom, el recorte de imágenes o la reproducción en 4K sin perder calidad. La apertura del diafragma de 1,8F y el sensor de hasta 20MP lo hacen ideal para situaciones de baja luminosidad.

### 5.3.11 Topografía

#### 5.3.11.1 *Contexto histórico*

La topografía se originó cuando la gente empezó a asentarse en un lugar en vez de andar de un lado a otro. La necesidad de marcar límites claros entre propiedades impulsó el surgimiento de los primeros métodos y herramientas de medición básicas. En la antigua civilización egipcia, alrededor del 1.400 a.C., ya usaban la topografía para definir las fronteras en los valles del Nilo. Los romanos adoptaron esos métodos y los mezclaron con la trigonometría de los griegos para construir acueductos y caminos.

En tiempos más recientes, como en el siglo XVII, la topografía empezó a modernizarse con inventos como el anteojo astronómico de Johannes Kepler y la cadena de medición de distancias de Edmund Gunter. A partir de entonces, la topografía siguió mejorando con nuevas técnicas y dispositivos hasta llegar a su punto más avanzado en el siglo XIX. En el siglo XX, se incorporaron la Fotogrametría y tecnologías como computadoras, dispositivos de medición electrónicos y GPS para hacer la topografía aún más precisa y útil (Jauregui, 2010).



#### 5.3.11.2 Levantamiento topográfico

Un levantamiento topográfico abarca todas las acciones que se realizan en el terreno con el fin de recopilar la información esencial para establecer las coordenadas planimétricas de los puntos en el suelo. Este proceso puede realizarse de manera directa o a través de cálculos, con el propósito de obtener la representación del terreno levantado. Además, facilita la determinación del área y los volúmenes de tierra, según sea necesario (Pachas, 2009).

#### 5.3.12 Planimetría

La representación horizontal de datos de un terreno tiene como objetivo determinar su tamaño. Este enfoque implica estudiar métodos para fijar las ubicaciones de puntos proyectados en un plano horizontal, sin considerar sus elevaciones. Es decir, se está representando el terreno desde una vista superior o en planta. Para llevar a cabo la planimetría, se puede utilizar la cinta métrica o el teodolito como instrumento universal. Las distancias medidas y marcadas en los planos siempre se consideran horizontales. Por lo tanto, se mide la distancia horizontal siempre que sea posible, o se convierte a horizontal utilizando datos auxiliares, como ángulos verticales o pendientes. La cinta métrica proporciona mediciones más precisas de distancias, mientras que el teodolito tiene una menor precisión en este aspecto (Hudiel, 2008).

#### 5.3.13 Altimetría

El objetivo principal es establecer la variación de alturas entre distintos puntos del terreno. Para lograrlo, se emplean herramientas como el nivel, el teodolito y la cinta métrica. Estos instrumentos permiten medir y determinar las variaciones de altura entre puntos específicos en el terreno (Sergio & Hudiel, 2008).

#### 5.3.14 Método convencional de levantamiento topográfico –Estación total

La estación total es un dispositivo que combina las funciones de un teodolito electrónico, un medidor electrónico de distancias y un microprocesador para realizar cálculos necesarios en la determinación de las coordenadas rectangulares de puntos en el terreno. Este instrumento realiza varias operaciones, incluyendo la obtención de promedios de mediciones angulares y de distancias, la corrección electrónica de distancias considerando constantes de prisma, presión atmosférica y temperatura, así como correcciones por curvatura y refracción terrestre. Además, convierte la distancia inclinada en sus componentes horizontal y vertical, y calcula las coordenadas de los puntos levantados.

El funcionamiento de la Estación Total se controla mediante una pantalla y un teclado. Las funciones principales se ejecutan al pulsar teclas, cómo introducir caracteres alfanuméricos o medir distancias. El proceso de operación es similar al de un teodolito electrónico. Comienza

estacionando la estación total en el punto topográfico y luego nivelando el dispositivo. Para iniciar las mediciones, es necesario orientar previamente la estación total. Esto se logra a que se la estacionó en un punto de coordenadas conocidas o asumidas, y proporcionando un azimut de referencia a través del teclado. En cuanto a la medición de distancias, el distanciómetro electrónico integrado calcula la distancia de forma indirecta, basándose en el tiempo que tarda una onda electromagnética en viajar de un extremo a otro de una línea y regresar (Pachas, 2009).

#### 5.3.15 Métodos alternativos de levantamiento topográfico -Restitución aerofotogramétrico.

La fotogrametría (Photos Gramma Metron), es una técnica que se dedica a estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de cualquier objeto. Esto se logra mediante medidas tomadas en una o varias fotografías.

Hoy en día, las fotografías digitales ofrecen información de alta calidad sobre el objeto fotografiado. Estas imágenes se utilizan en el proceso fotogramétrico, generando modelos numéricos del terreno, cartografía vectorial y diversos productos métricos derivados de la fotografía.

Los instrumentos utilizados en la restitución fotogramétrica han evolucionado hacia sistemas numéricos, lo que facilita su manejo y permite obtener productos de alta calidad, como cartografía vectorial en 3D, modelos digitales del terreno (MDT) y ortofotografías. Este avance tecnológico ha mejorado la precisión y eficiencia del proceso fotogramétrico en comparación con los métodos tradicionales (Pozuelo, 2013).

#### 5.3.16 Método alternativo de levantamiento topográfico -LIDAR.

LIDAR, que significa Detección y Teledetección por Luz, es un sensor activo y una técnica de adquisición de datos innovadora y exitosa. Este sistema transmite y recupera luz en las longitudes de onda visible e infrarroja.

El láser, siendo fundamental en el funcionamiento del LIDAR, es un dispositivo que produce luz mediante la liberación de energía almacenada en un sistema molecular o atómico cuando se estimula con una señal de entrada. En el caso del LIDAR, se emplean rayos láser para producir pulsos de luz cortos y potentes. Estos pulsos atraviesan la atmósfera y, al regresar, la luz dispersa es captada por un sistema óptico y luego analizada internamente. Esto permite medir la intensidad de la luz reflejada por los objetos del objetivo, según la distancia desde el sensor.

El producto de un levantamiento de datos con LIDAR es una densa nube de puntos tridimensionales, distribuidos de forma irregular. Estos puntos se identifican por sus

coordenadas XYZ, junto con atributos como las intensidades de las señales devueltas. Este enfoque permite obtener representaciones detalladas y precisas del terreno o del objeto escaneado (Salamanca, 2008).

#### 5.3.17 Sistema de aeronave pilotada a distancia RPAS

En los últimos años, se han presenciado notables avances en la evolución de los sistemas de aeronaves no tripuladas (conocidas como RPAS o drones, principalmente basados en la configuración de multirrotores), consolidándose como tecnología sólida y de alta confiabilidad. Esta innovación ha encontrado aplicaciones significativas en sectores como la agricultura (Dávila et al., 2017).

Los RPAS han demostrado una capacidad sobresaliente al proporcionar datos con una resolución excepcionalmente superior a la obtenida por sensores satelitales o aeronaves tripuladas. Dentro del ámbito agrícola, estos vehículos han sido utilizados para capturar imágenes con una nitidez y detalle a escala milimétrica, permitiendo el monitoreo exhaustivo de los cultivos (Christiansen et al., 2017). Esta característica los convierte en una opción de gran valor, al ofrecer una alternativa en tiempo real y de bajo coste frente a las técnicas tradicionales de fotogrametría aérea (Simón. et al., 2017).

En este contexto, se ha presenciado un notable progreso en la diversificación de diseños de plataformas para RPAS, enfocándose en el mejoramiento de sus capacidades de vuelo, control autónomo y aterrizaje. Este desarrollo se ha apoyado en la integración de dispositivos de alta tecnología como sistemas de posicionamiento global (GPS), unidades de medición inercial (IMU) para la captura precisa de datos de movimiento, y sistemas de procesamiento avanzados (Chu et al., 2022; Galimov et al., 2020). Estos componentes forman el núcleo del sistema de control de vuelo, permitiendo realizar cálculos complejos para aplicar estrategias de control que establezca la posición y garanticen una trayectoria de vuelo óptima para el vehículo.

#### 5.3.18 Ortofotomosaico

El ortofotomosaico es el resultado de combinar imágenes fotográficas del terreno, donde se ha corregido la proyección para hacerla ortogonal. Esta corrección elimina las distorsiones causadas por la inclinación de la cámara aérea y los desniveles del terreno. Así, se corrige la variación de escala presente en las imágenes originales, logrando una escala precisa para toda la ortofoto. Este proceso se realiza mediante un procedimiento llamado rectificación, transformando la proyección central en una proyección ortogonal (Soria, 2014).

Un mosaico es la composición de imágenes tomadas desde uno o varios ángulos que presentan áreas superpuestas entre sí, las cuales son unidas o fusionadas para crear una imagen única que abarca un rango más amplio de la escena. Cuando este mosaico se ajusta para corregir las distorsiones ocasionadas por el relieve y los objetos presentes en él, se le denomina ortomosaico (Escalante et al., 2016).

#### 5.3.19 Construcción de nube de puntos

Una nube de puntos, en el ámbito cartográfico, constituye un conjunto tridimensional de puntos obtenidos a partir de un objeto o superficie mediante diversas técnicas como la fotogrametría, el láser o sistemas de escaneo 3D. En el contexto específico de la cartografía detallada, estas nubes de puntos desempeñan un papel crucial al permitir una representación precisa y detallada de la superficie terrestre (Tong et al., 2015).

En el proceso de generación de cartografía detallada mediante levantamiento aerofotogramétrico con el empleo de vehículos aéreos no tripulados (UAS), las nubes de puntos se originan a través de la combinación de imágenes aéreas y datos LIDAR. Las imágenes aéreas aportan información respecto a la textura y el color de la superficie, mientras que los datos LIDAR proporcionan detalles sobre la altura de la misma. Esta integración posibilita la creación de nubes de puntos con una resolución espacial y temporal significativamente alta, permitiendo así la representación precisa de la topografía, englobando características tales como edificaciones, carreteras, vegetación y relieves (Mancera et al., 2012).

La utilidad de las nubes de puntos se extiende a la generación de diversos productos cartográficos, entre los que se incluyen ortofotos, modelos digitales del terreno (MDT), modelos digitales de elevaciones (MDE) y modelos 3D, consolidando su relevancia en la cartografía detallada y proporcionando herramientas esenciales para la comprensión y análisis del entorno geoespacial.

#### 5.3.20 Modelo digital del terreno

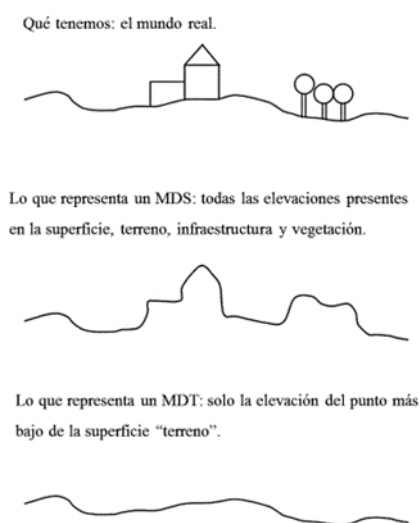
Un Modelo Digital del Terreno (MDT) es una expresión simplificada de la topografía del terreno, expresada en un formato adecuado para su procesamiento en computadoras. En este modelo, se considera que las elevaciones del terreno forman una capa tridimensional con ondulaciones, donde dos dimensiones se refieren a los ejes de un plano ortogonal (X e Y), mientras que la tercera dimensión representa la altura (Z) sobre el nivel del mar (Soria, 2014)

### 5.3.21 Modelo digital de superficie

Un Modelo Digital de Superficie (MDS) es una representación de la superficie completa, incluyendo todos los objetos y elementos presentes en ella, como árboles, edificios, vegetación, vehículos u otros elementos naturales o artificiales. Un MDS captura la forma tridimensional completa de la superficie, incluyendo los objetos que se encuentran sobre el terreno (Fuentes et al., 2012)

### 5.3.22 Diferencia entre MDT Y MDS

*Figura 1 Diferencia entre MDT Y MDS (Fuentes et al., 2012)*



### 5.3.23 Curvado

El curvado se refiere a las curvas de nivel generadas a partir de la triangulación del Modelo Digital del Terreno (MDT). Estas curvas de nivel representan las variaciones altimétricas del terreno en un proyecto o área específica. La triangulación del MDT implica la creación de una malla de triángulos conectados que cubren todo el terreno, y a partir de esta malla se generan las curvas de nivel. Estas curvas unen puntos con la misma elevación, proporcionando información visual sobre las características del terreno, como su relieve y pendientes. El curvado es una forma común de representar la altimetría en proyectos y permite comprender la configuración del terreno de manera más clara y precisa (Bedoya, 2020).

### 5.3.24 Topología

La topología es una rama de las matemáticas que estudia las cualidades de los objetos geométricos que permanecen invariantes bajo transformaciones continuas. En el contexto de la generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento aerofotogramétrico, la topología es de vital importancia para la interpretación de las imágenes aéreas. Una de las propiedades topológicas más importantes para la interpretación de imágenes aéreas es la

conectividad. La conectividad de un objeto geométrico se refiere a la posibilidad de conectar cualquier punto de ese objeto con cualquier otro punto mediante una trayectoria continua. En el contexto de las imágenes aéreas, la conectividad es importante para identificar objetos como carreteras, ríos, fronteras, etc. (García, 2022).

Otra propiedad topológica importante para la interpretación de imágenes aéreas es la homotecia. La homotecia es una transformación continua que cambia el tamaño de un objeto geométrico, pero no altera su forma. En el contexto de las imágenes aéreas, la homotecia es importante para identificar objetos que se encuentran a diferentes distancias del sensor. La topología también es importante para la generación de modelos digitales del terreno (MDT). Los MDT son modelos que representan la elevación del terreno en un área determinada. La topología se utiliza para identificar las características topográficas del terreno, como montañas, valles, ríos, etc. (Flores et al., 2020).

En el caso de los levantamientos aerofotogramétricos realizados con sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), la topología se utiliza para:

- Identificar y clasificar objetos en las imágenes aéreas.
- Eliminar errores de interpretación.
- Generar modelos digitales del terreno.

La topología es una herramienta indispensable para la generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento aerofotogramétrico. La comprensión de los conceptos topológicos es fundamental para la interpretación de imágenes aéreas y la generación de MDT (Flores et al., 2020; García, 2022).

#### 5.3.25 Structure for motion

Structure for motion (SfM) es un método de fotogrametría computacional que permite estimar la estructura 3D de una escena a partir de una serie de imágenes 2D tomadas desde diferentes puntos de vista. Este método se basa en el principio de que la posición y orientación de una cámara con respecto a una escena se puede determinar a partir de las relaciones entre los puntos homólogos que aparecen en dos o más imágenes. Se puede utilizar para generar modelos 3D de alta precisión de grandes áreas. Para ello, se requiere capturar una serie de imágenes de la escena desde diferentes altitudes y orientaciones. A continuación, se utiliza el SfM para estimar la posición y orientación de la cámara para cada imagen. Finalmente, se utilizan estas estimaciones para reconstruir la estructura 3D de la escena (Tomás et al., 2016).

El SfM es una técnica muy versátil que se puede utilizar para una amplia gama de aplicaciones. En el ámbito de la cartografía, el SfM se utiliza para generar modelos 3D de terrenos, edificios, infraestructuras y otros objetos. Estos modelos 3D se pueden utilizar para una variedad de propósitos, como planificación urbana, gestión de desastres, arqueología y turismo (Koci et al., 2017).

#### 5.3.26 Receptor GNSS T300 PLUS

El receptor GNSS T300 PLUS es un dispositivo electrónico que se utiliza para determinar la posición y la altitud de un punto en la superficie de la Tierra. Este receptor utiliza el sistema global de navegación por satélite (GNSS), que consta de una red de satélites que transmiten señales de radio. El receptor recibe estas señales y las utiliza para calcular su posición; el receptor GNSS T300 PLUS se utiliza para determinar la posición de las imágenes aéreas. Esta información es necesaria para crear un modelo digital del terreno (MDT), que es una representación tridimensional de la superficie de la Tierra (Terán, 2022).

El receptor GNSS T300 PLUS tiene características que lo hacen adecuado para este tipo de aplicaciones. En primer lugar, es capaz de rastrear todas las constelaciones GNSS en funcionamiento, lo que le proporciona una mayor precisión. En segundo lugar, tiene una función de compensación de inclinación, que permite corregir los errores causados por la inclinación del receptor. En tercer lugar, es compatible con el software Survey Master, que es una herramienta popular para la creación de MDT (Terán, 2022).

Una investigación realizada por (Le et al., 2020) demostró que el receptor GNSS T300 PLUS puede proporcionar una precisión de hasta 1 cm en la determinación de la posición de las imágenes aéreas. Esto lo convierte en una herramienta valiosa para la generación de cartografía básica a detalle.

#### 5.3.27 Receptor Emlid Reach RS2

El receptor Emlid Reach RS2 es un receptor GNSS multibanda de alta precisión que se utiliza en aplicaciones de topografía, agricultura de precisión, construcción y otras. Es un receptor móvil que puede conectarse a una base RTK o utilizar corrección NTRIP para obtener una precisión centimétrica en distancias de hasta 60 km (RTK) o 100 km (PPK). Se utiliza para la captura de puntos de control (PC) y puntos de control distribuidos (PCD). Los PC son puntos de referencia con una precisión conocida que se utilizan para georeferenciar las imágenes aéreas. Los PCD son puntos que se utilizan para mejorar la precisión de la georreferenciación de las imágenes aéreas (Rusillo, 2022).



El receptor Emlid Reach RS2 tiene una serie de características que lo hacen ideal para este tipo de aplicaciones. Estas características incluyen:

- **Alta precisión:** El receptor Emlid Reach RS2 puede alcanzar una precisión centimétrica, lo que es necesario para generar cartografía de alta calidad.
- **Cobertura global:** El receptor Emlid Reach RS2 admite una amplia gama de señales GNSS, lo que le permite funcionar en todo el mundo.
- **Portabilidad:** El receptor Emlid Reach RS2 es un receptor móvil que se puede transportar fácilmente a cualquier lugar.

En un estudio realizado por (Terán, 2022), se utilizaron receptores Emlid Reach RS2 para capturar PC y PCD para un levantamiento aerofotogramétrico. Los resultados del estudio mostraron que los receptores Emlid Reach RS2 proporcionaron una precisión centimétrica en la georreferenciación de las imágenes aéreas.

#### 5.3.28 Trabajos previos

En el pasado, los sistemas no tripulados estaban principalmente orientados hacia propósitos militares, utilizados para misiones de reconocimiento o ataques. Después de la Guerra Fría, evolucionaron para operaciones ISTAR (Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de Objetivos y Reconocimiento). Sin embargo, actualmente, el uso de aeronaves no tripuladas se ha expandido a diversas aplicaciones civiles y comerciales en varios campos. Algunos ejemplos incluyen la agricultura, donde se emplean para monitorear cultivos, sembrar y rociar fertilizantes; también en fotografía y cinematografía; en gestión de emergencias y en topografía (Rejado et al., 2016).

En los últimos años, la combinación de la Aerofotogrametría utilizando drones, como los vehículos aéreos no tripulados, también conocidos como UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) en inglés, son definidos como vehículos aéreos motorizados que no requieren de un piloto humano a bordo y son capaces de mantenerse en el aire gracias a su sistema de propulsión (Velasco et al., 2012); también, el uso de computadoras y programas de procesamiento ha permitido automatizar de manera significativa el flujo de trabajo fotogramétrico. Esta tecnología ha logrado reducir considerablemente el tiempo necesario para realizar levantamientos topográficos y proporciona detalles precisos de la zona de estudio (Rivera, 2017).

Estos detalles son esenciales para llevar a cabo proyectos de construcción civil y ambiental, como la planificación de un sistema de riego en la granja. No obstante, existen ciertas desventajas al utilizar esta técnica para el levantamiento de planos, ya que la densa



vegetación puede obstaculizar la visión de algunos objetos. En tales casos, se hace necesario complementar la información obtenida con la topografía clásica (Ortiz & Hernández, 2019)

Se ha llevado a cabo un proyecto titulado "Uso de vehículos aéreos no tripulados para la caracterización del paisaje sumergido en la Bahía Estacahuite". En este proyecto, se capturaron fotografías que se utilizaron para crear un mosaico, el cual fue exportado a la plataforma ArcGIS. Esto permitió registrar y georreferenciar el tipo de sustrato en cada área, utilizando un algoritmo para la clasificación. Se ha llegado a la conclusión de que el uso de un UAV para inspeccionar la zona de estudio requiere menos tiempo en comparación con la cartografía tradicional. Esto contribuye al monitoreo de áreas de difícil acceso y produce productos finales tangibles que son beneficiosos para futuros trabajos (Ramirez et al., 2013).

En el proyecto titulado "Accuracy assessment of topographic mapping using UAV image integrated with satellite images", se resaltó la importancia de establecer puntos de control. En esta investigación, se realizó una comparativa entre el mapeo topográfico realizado mediante el uso de un UAV y las imágenes obtenidas por un satélite. Para el procesamiento de los datos, se emplearon dos programas informáticos: ArcGIS y ERDAS. Se emplearon estos programas para realizar una variedad de procesos, como la orientación interior y exterior, la triangulación aérea, el mosaico de imágenes, así como la georreferenciación, la definición de coordenadas, la superposición de imágenes y la creación de una base de datos. Durante el estudio, se observó que el error cuadrático medio, resultado de comparar las coordenadas de cada punto de control obtenidas mediante la Cinemática en tiempo real del Sistema de Posicionamiento Global y las coordenadas capturadas por el UAV en los puntos de control terrestres, fue de aproximadamente  $\pm 0.906\text{m}$  (Azmi et al., 2014). Los resultados obtenidos indicaron que el uso de UAV permite la captura de imágenes en áreas continuamente cubiertas por nubes, superando así una de las limitaciones asociadas a la captura de imágenes satelitales. Además, estos vehículos no tripulados ofrecen la posibilidad de obtener información precisa con una mayor resolución terrestre y a un costo reducido.

En el artículo "GNSS and RPAS Integration Techniques for Studying Landslide Dynamics: Application to the Areas of Victoria and Colinas Lojanas, (Loja, Ecuador)" se demostró que la técnica de monitoreo de GNSS demuestra la precisión de esta tecnología, que puede detectar deformaciones centimétricas en períodos cortos y en todas las circunstancias climáticas (lluvia, niebla, niebla, sol fuerte, por la noche) y que RPAS sigue siendo una herramienta útil para levantamientos rápidos, con resolución centimétrica y precisión centímetro-decímetro. En consecuencia, la combinación de estas técnicas con el cálculo de desplazamientos entre puntos de monitoreo y con la medición precisa de puntos GNSS permite determinar la

cinemática del movimiento con alta resolución, incluso en casos de movimientos sutiles (Zárate et al., 2021). Esto asevera que nuestros resultados son concluyentes ya que las aplicaciones de esta tecnología son varias; Por ejemplo, en el campo agrícola, se puede gestionar los cultivos e identificar diversas características de las plantas, como plagas o enfermedades. También se puede observar qué cultivos necesitan ser regados y cuáles ya lo están, así como identificar los cultivos listos para la cosecha y los que no lo están. En el ámbito de la construcción o la ingeniería civil, su utilidad es extensa, con aplicaciones como la topografía. Se pueden realizar levantamientos topográficos utilizando un dron junto con un GPS diferencial, o empleando un dron que ya incluya un GPS incorporado (Hernández et al., 2023).

6    **Diseño del proyecto**

6.1    Metodología

En este proyecto, se ha basado en metodologías propuestas por diversos autores como (La Salandra et al., 2021; Carricondo et al., 2023; Westoby et al., 2012), realizando adaptaciones según el entorno y los recursos disponibles, con el fin de asegurar la precisión de los resultados a generar. La metodología utilizada se centra en seis puntos principales:

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

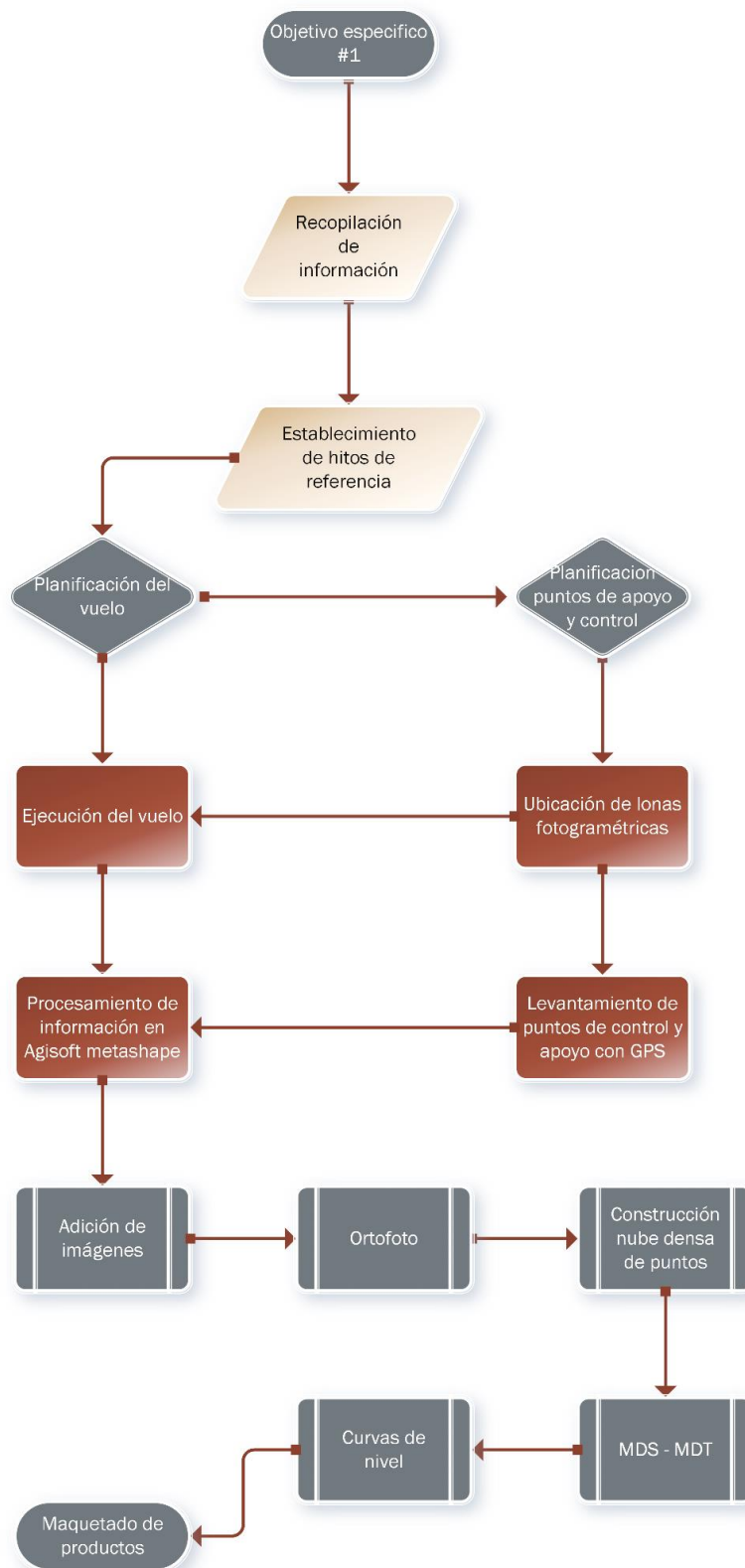
6.1.1    Materiales

Tabla 1 Materiales utilizados para la realización del proyecto

Equipos	Herramientas	Software
ASUS ROG Zephyrus G16 GU605MI-G16.U94070 Pro Extreme (Intel Core Ultra 9 185H, 16GB RAM, 1TB NVMe SSD, NVIDIA GeForce RTX 4070, 16" 240Hz OLED, Windows 11)		ArcMap

Dron Autel Evo II (20 mpx)	Lonas foto-identificables de 1m x 1m	Agisoft Metashape
GNSS Emlid reach Rs2	Estacas	Emlid flow
GNSS T300 plus	Material de oficina	Autel explorer
Teléfono Celular	Clavos 7" y 8"	Locus Map

## 6.1.2 Flujograma de trabajo



### 6.1.3 Área de estudio

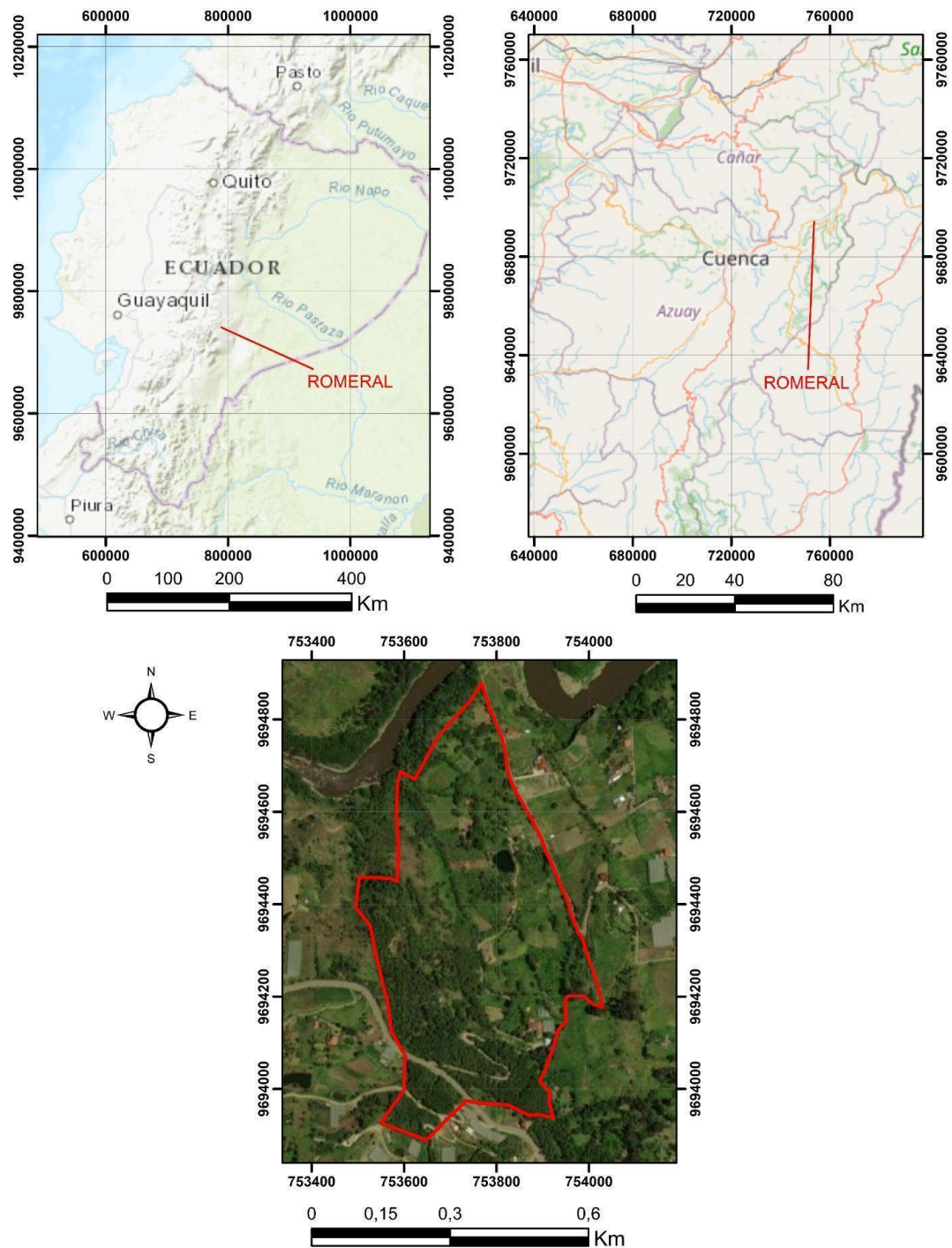
#### 6.1.3.1 Antecedentes

Desde 1989, la granja experimental El Romeral ha cultivado principalmente diferentes cultivos de ciclo corto hasta el año 2002. Desde entonces, se ha dado prioridad a los árboles frutales, comenzando con el cultivo de frutales menores de vida media como el tomate de árbol y la granadilla. Estos cultivos terminaron su ciclo productivo en el año 2004 y fueron eliminados. A partir de ese año hasta la fecha actual, se han introducido cultivos frutales de larga vida útil como la chirimoya, la manzana, el durazno, el higo y el café. El cambio constante de cultivos se debe a diversas razones, como el tipo de suelo y su conservación, las demandas del mercado y el ciclo de vida de los cultivos. Los cultivos se establecieron inicialmente con propósitos educativos como prioridad, pero hasta ahora no se han llevado a cabo estudios de impacto ambiental en esta granja experimental.

#### 6.1.3.2 Ubicación

La granja en estudio pertenece a la Universidad de Cuenca, se encuentra ubicada en el km 10 de la vía Paute – Guachapala, a 2200 msnm. La granja tiene aproximadamente 30 Ha., con un clima subtropical y una temperatura promedio de 18°C, se realizan actividades de docencia en el campo agrícola, investigación y producción.

Figura 2 Mapa de ubicación del área de estudio.





#### 6.1.4 Planificación previa al vuelo

##### 6.1.4.1.1 Implementación de hitos

Según el Instituto Geográfico Militar (IGM, 2006), es esencial verificar el control geodésico de la zona de estudio para cualquier trabajo geodésico o topográfico. Por esta razón, el IGM pone a disposición la Red Geodésica Nacional para garantizar la precisión según las necesidades específicas. En este contexto, se requiere una señalización que indique las coordenadas exactas. Para cumplir con este requisito, se estableció un mojón en la granja el romeral, además del que ya estaba presente en la misma, contruidos y georreferenciados conforme a las normativas establecidas. Estos hitos, designados como IGM-B, tienen dimensiones específicas según la normativa: base superior de 0,25 x 0,25 metros, base inferior de 0,30 x 0,30 metros, altura de 0,20 metros y profundidad de 0,60 metros. En total, se cuenta con dos hitos, identificados como Romeral-1 y Romeral-2.

*Figura 3 Hito Romeral- 1*



*Figura 4 Hito Romeral-2*



##### 6.1.4.1.2 Configuración del equipo GNSS Emlid Reach RS2

El receptor Emlid Reach RS2 se utilizó como punto de inicio para la obtención de datos brutos (PPK). Además, este dispositivo GPS sirvió como estación base y móvil durante toda la etapa de levantamiento de información en campo. Se instaló en un jalón de extensión que se coloca sobre una base nivelante y un trípode (figura 5). La calibración del receptor se realiza en el hito (punto de referencia), tomando la medida de la altura desde el hito hasta el calibrador.

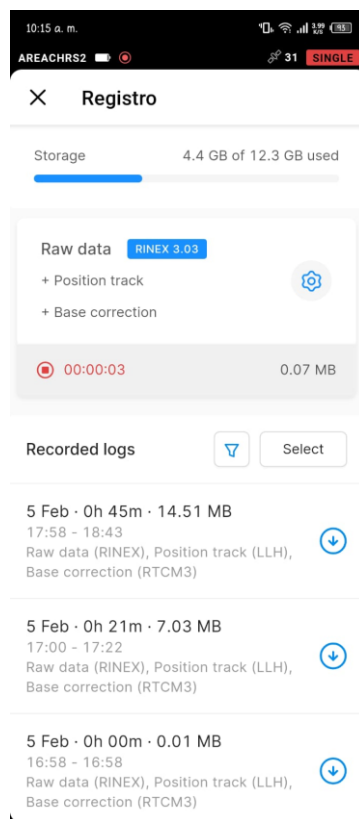
Posteriormente, para procesar la información, se conecta el receptor a la computadora mediante un cable USB y se transfieren los datos en formato RINEX para llevar a cabo la corrección diferencial de forma consecutiva.

*Figura 5 Receptor GNSS EMLID Reach RS2 ubicado sobre punto de referencia Romeral 1.*





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



#### 6.1.4.1.3 Georreferenciación del Hito Romeral-1 y Romeral-2

Según el IGM (2006), para la georreferenciación de los hitos se requiere el uso de receptores GNSS de alta precisión. Además, se establece un tiempo mínimo de recepción de información en función de la distancia entre la línea base y los hitos. En el caso específico de los hitos Romeral-1 y Romeral-2 en la granja El Romeral, se trazó una línea base utilizando la Estación de Monitoreo Continuo del IGM con código CUEC, situada en la Ciudad de Cuenca, sector de Cristo Rey, a una distancia aproximada de 34,4 Km. El IGM proporciona en la tabla 2 los intervalos de tiempo recomendados para la recepción de información, dependiendo de la distancia entre las coordenadas de los hitos y las de la Estación de Monitoreo Continuo. En el proyecto, se estableció una línea base entre los hitos "Romeral-1" y "Romeral-2" y la Estación de Monitoreo Continuo de Cuenca (CUEC).

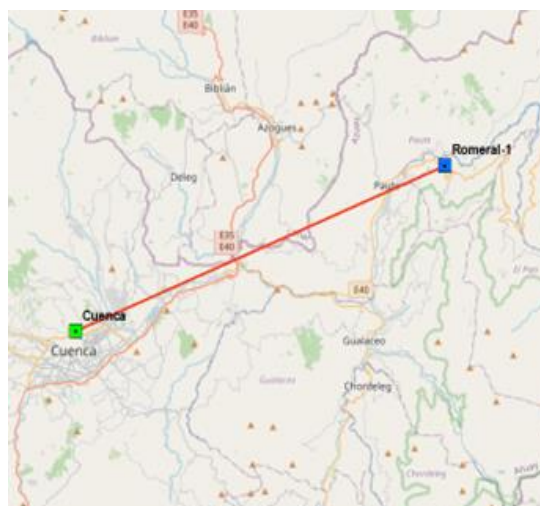
Tabla 2 Tiempo de recepción de cada sesión de acuerdo a la distancia de línea base. (IGM, 2006)

Tiempo de observación GPS			
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

Según la normativa del IGM, 2006, se establece un tiempo de recepción de información de 1h50 minutos (tabla 2). Sin embargo, para el presente proyecto, se recolectó información durante un período de 3 horas utilizando receptores Emlid Reach RS2. La información recopilada consistió en datos brutos (PPK), los cuales fueron sometidos posteriormente a corrección diferencial.

Con el objetivo de establecer líneas base más cortas con el resto de puntos de apoyo y control dentro de la granja, se procedió a georreferenciar los hitos Romeral-1 y Romeral-2 (figura 7).

Figura 7 Línea base entre el Romeral-1 y la Estación de Monitoreo Continuo (CUEC)



#### 6.1.4.1.4 Corrección diferencial de los Hitos.

Después de georreferenciar los hitos Romeral-1 y Romeral-2, se llevó a cabo la corrección diferencial para mejorar la precisión de la información. Este proceso implica el uso de una estación base con coordenadas conocidas (la Estación de Monitoreo Continuo), que corrige la información de una estación móvil (los hitos Romeral-1 y Romeral-2)

En la corrección diferencial se emplearon datos brutos (PPK). Según Carricondo et al., 2023, los datos PPK permiten realizar la corrección diferencial después de la recepción de la información, lo cual es necesario debido a posibles interferencias de la señal durante la transmisión.

Para llevar a cabo la corrección diferencial de los hitos, se utilizó el software para ordenador Spectra Precision Survey Office. Este software facilita el procesamiento de datos topográficos recopilados en el campo y proporciona un informe detallado (tabla 3) que muestra la precisión de los datos corregidos.

*Tabla 3 Resumen de las correcciones diferenciales proporcionadas por el software Spectra Precision Survey Office.*

De	A	Fecha de proceso	Tipo de solución	Frecuencia usada	Prec. Horizontal	Prec. Vertical	Error medio cuadrático	Hora de inicio del procesamiento	Hora de parada del procesamiento	Duración del procesamiento
CUEC	Romeral-1 (Hito 1 Chozas)	15/02/2024 12:28:03	Fixed	Dual Frequency (L1,L2)	0,009 m	0,036 m	0,019 m	14/2/2024 10:16:00 (Offset from GPS: - 5hr)	14/2/2024 13:20:30 (Offset from GPS: - 5hr)	3:04:30
CUEC	Romeral-2 (Hito 2 Laguna)	15/02/2024 12:27:52	Fixed	Dual Frequency (L1,L2)	0,009 m	0,041 m	0,017 m	14/2/2024 10:41:30 (Offset from GPS: - 5hr)	14/2/2024 13:41:30 (Offset from GPS: - 5hr)	3:00:00

Nota. En la presente tabla se aprecia que el receptor CUEC se empleó de base para la corrección diferencial de los hitos tanto Romeral-1 y Romeral-2. Al final de la corrección se realizó una monografía para cada hito Romeral-1 y Romeral-2 (Anexo A y B).

#### 6.1.4.1.5 Planificación de puntos de apoyo y control

Se comenzó con la planificación para el levantamiento de puntos de referencia, los cuales fueron empleados para el posterior procesamiento de los datos. Esta etapa permitió evaluar la precisión altimétrica de la información recopilada y determinar la necesidad de ajustes, de ser requeridos. Además, se establecieron puntos de control para una precisa determinación de las coordenadas geográficas. Estos puntos se distribuyeron de manera homogénea por toda el área de estudio, asegurando una cobertura íntegra y extendiéndose hasta los linderos para mejorar la georreferenciación dentro de la zona de la granja. Siguiendo la recomendación de (Sanz et al., 2018), se dispusieron 17 puntos de referencia y 5 de control, lo que se consideró apropiado para nuestro proyecto, que implicaba aproximadamente la captura de 350 fotografías, esto teniendo en cuenta los cambios altitudinales de la zona de

estudio. Este enfoque se basa en la sugerencia de alcanzar la máxima precisión utilizando 4 puntos de referencia y 2 de control por cada conjunto de 100 fotos.

#### 6.1.4.1.6 Ubicación de lonas fotogramétricas

Para detectar los 17 puntos de control y 5 de apoyo, se emplearon lonas fotoidentificables de 1 metro por 1 metro, con una combinación de colores blanco y rojo, blanco y verde para los puntos de control, mientras que para los puntos de apoyo se usaron los colores blanco y negro (figura 8). Además, se instalaron estacas para precisar el centro de cada lona (figura 9).

*Figura 8 Elaboración de lonas fotoidentificables*



*Figura 9 Colocación de ojales en las lonas*



#### 6.1.4.1.7 Levantamiento de puntos de control y apoyo con GPS

Como base para la corrección diferencial, se empleó el equipo Emlid RS2 (base), ubicado en el hito Romeral-1, cerca de la choza. Esta elección nos permitió establecer "líneas" de conexión que no fueran excesivamente largas entre la base y la antena. Para la toma de coordenadas en los ejes X, Y y Z, se utilizó el GPS Emlid Reach RS2 (Rover) como equipo móvil.

### 6.1.4.2 Ejecución del Vuelo

#### 6.1.4.2.1 Consideraciones previas al vuelo

Según Quispe (2016), para obtener una escala 1:1000, es necesario mantener una velocidad constante de 10 m/s y seleccionar un tamaño de píxel inferior a 10 cm/píxel. En el estudio de caso, la zona de estudio se dividió en tres áreas. La altura de vuelo se determinó teniendo en cuenta la autonomía de la batería. Además, se consideró la topografía del terreno. Para los traslapes longitudinal y transversal, se tuvieron en cuenta las recomendaciones de (Ticona, 2023), quien sugiere que a mayor traslape, se obtendrá una reconstrucción más precisa del modelo 3D.

##### 6.1.4.2.1.1 Características de la cámara

La cámara integrada del Autel Evo II Pro posibilita la grabación en resoluciones de hasta 7680x4320, lo que facilita el zoom, el recorte de imágenes o la reproducción en 4K sin pérdida de calidad. Su sensor es capaz de capturar fotografías de hasta 20 MP, y la apertura del diafragma de la lente alcanza hasta 1.8F, lo cual lo hace especialmente idóneo para condiciones de baja luminosidad (AUTEL, 2022).

##### 6.1.4.2.1.2 Planificación de vuelo para el dron Autel EVO II pro

Se utilizó el software Autel Explorer en dispositivos móviles (figura 9) para ajustar los parámetros técnicos (tabla 4) del equipo Autel EVO II Pro. La primera tarea fue crear y cargar una capa en formato KML del área a cubrir en el software Autel Explorer. Durante la planificación, se consideró la necesidad de generalizar el lindero del predio para evitar giros bruscos del equipo Autel Evo II Pro. Esta generalización del lindero consiste en diseñar el polígono del límite lo más uniforme posible para evitar movimientos abruptos del RPAS.

También se tuvo en cuenta que el equipo volaría en contra de la pendiente del terreno para minimizar el uso innecesario de la batería. Los vuelos se planificaron teniendo en cuenta la duración de las baterías (10 minutos).

*Tabla 4 Planificación del vuelo con el software Autel Explorer para las tres áreas.*

Área	Tamaño de pixel (cm/px)	Traslape longitudinal (%)	Traslape transversal (%)	Altura (m)	Tiempo de vuelo	Número de fotos	Camara
Área 1	3,38	80	75	200	8m28s	106	S.O.D.A. Corridor
Área 2	3,38	90	80	200	5m16s	138	
Área 3	6,81	90	87	300	5m49s	92	



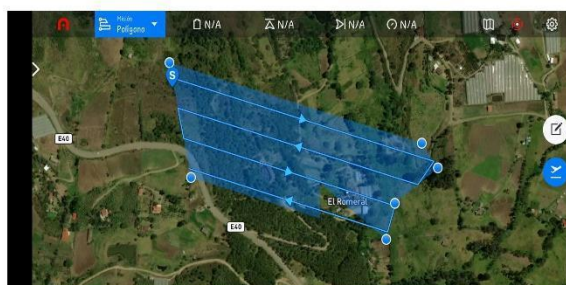
Figura 10 Planificación del vuelo para el RPAS Autel EVO II



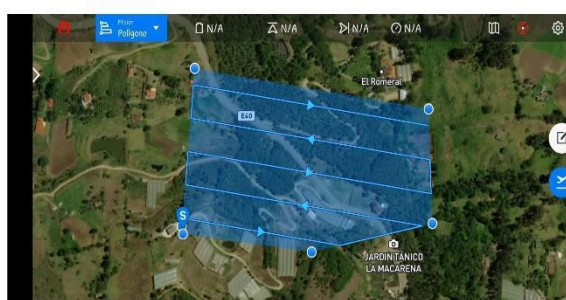
a) Aplicación móvil



b) Área 1.



c) Área 2



d) Área 3

## 6.1.4.2.1.3 Localización en campo de lonas o dianas

Después de realizar el reconocimiento del terreno, se identificaron áreas adecuadas para la colocación de las dianas (lonas fotoidentificables) que no presentan riesgos de ser retiradas.

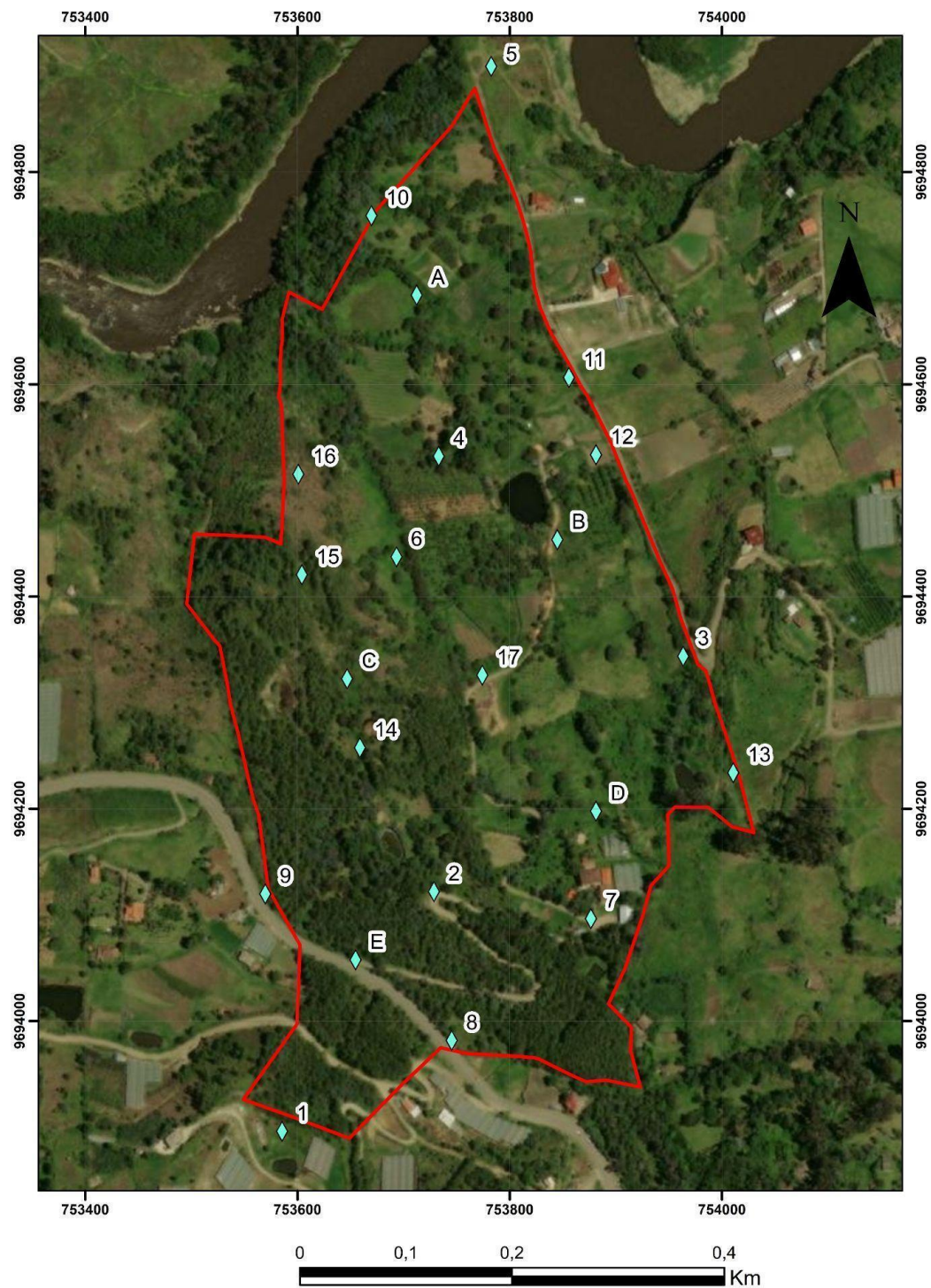
Antes de llevar a cabo esta actividad, se realizó una planificación en ArcMap, donde se creó una capa de puntos que se exportaron a la aplicación móvil Locus Map. Esta aplicación nos permitió guiar hasta los puntos planificados previamente y, según las características del terreno, decidir si el lugar era adecuado o buscar otro más apropiado. Es importante destacar que algunos puntos de control se marcaron con aerosol rojo realizando una figura visible para facilitar así su visibilidad. Se colocaron los puntos de manera uniforme, asegurándonos de ubicarlos tanto en el interior como en el exterior del predio.

#### 6.1.4.2.1.4 Georreferenciación de los puntos de apoyo y control

Para la georreferenciación de los puntos de apoyo y control, se empleó datos RTK. Según Martínez et al. (2023), los datos RTK permiten obtener información cinemática en tiempo real, lo que significa que los receptores GNSS son corregidos instantáneamente al recibir la señal, con una precisión centimétrica. Estos datos se utilizan típicamente cuando no hay interrupciones en la señal de los receptores. Para la configuración de los receptores, utilizamos el software móvil Emlid Flow, el cual se ajustó para recopilar información RTK y generar un modelo (figura 14).

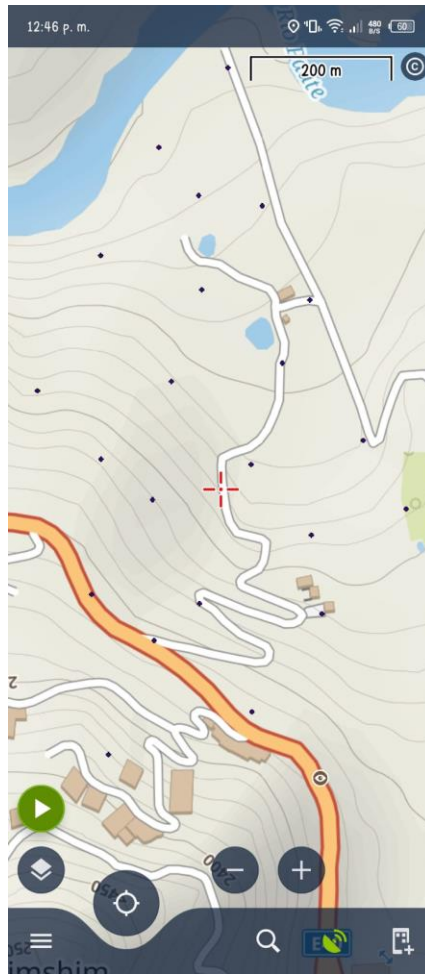
Una vez identificados los puntos de apoyo y control con las dianas, procedimos a su georreferenciación utilizando receptores GNSS Emlid Reach RS2. Se colocó un receptor (base) en el hito Romeral-1 (figura 5), que servirá como referencia y se utilizará para corregir los puntos a levantar. El otro receptor (rover) se utilizó como dispositivo móvil para desplazarnos a cada uno de los puntos de control y apoyo. En cada punto, el receptor se posicionó en el centro de la diana durante 5 segundos (figura 13). La distribución de los puntos de apoyo y control se muestra en la figura 11. Para facilitar la navegación, utilizamos la aplicación Locus Map para dirigirnos a cada uno de los puntos planificados (figura 12).

Figura 11 Ubicación de puntos de apoyo y control en el área de estudio.





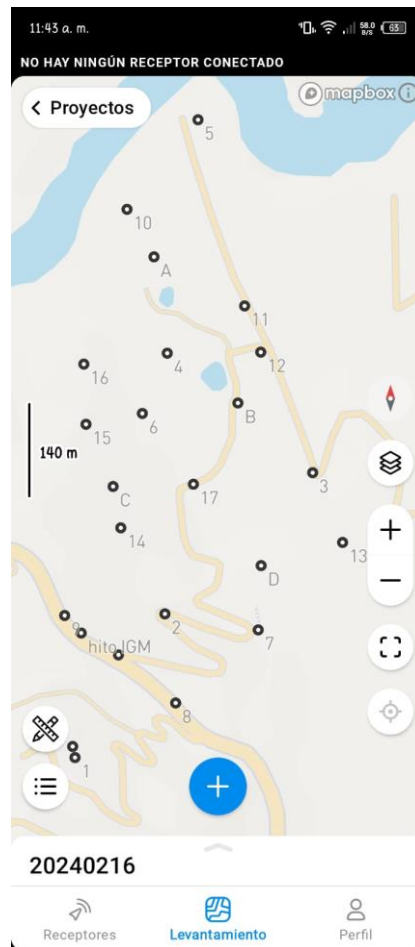
*Figura 12 Distribución espacial de los puntos de apoyo y control en la Aplicación Locus Map.*



*Figura 13 Georreferenciación de los puntos de apoyo y control.*



Figura 14 Levantamiento RTK para la zona de estudio.

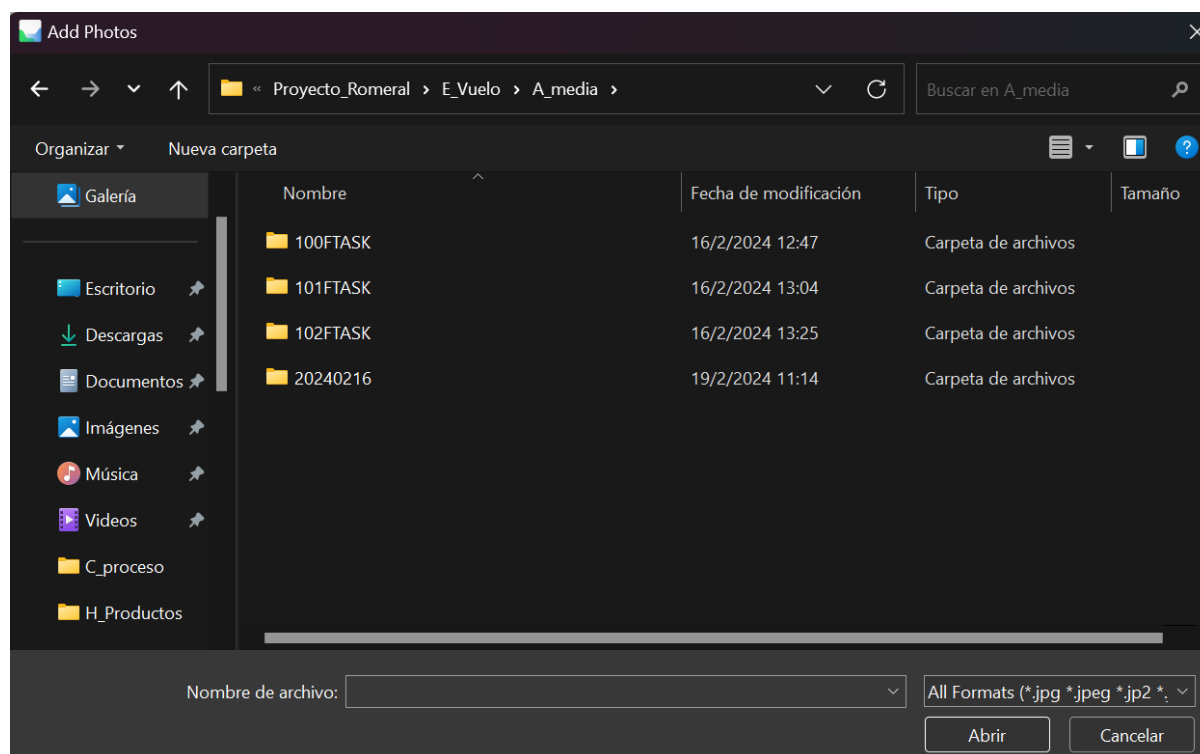


#### 6.1.4.3 Procesamiento fotogramétrico

##### 6.1.4.3.1 Adición de fotos al programa

Dentro del programa Agisoft Metashape, accedemos a la sección "Workflow" y optamos por la opción "add photos". En este punto, navegamos para localizar las carpetas que contienen las fotografías capturadas por el dron, que generalmente están etiquetadas comenzando con "100FTASK" (Figura 15) y siguen así dependiendo del número de carpetas o vuelos realizados. En nuestro caso, contamos con tres carpetas, lo que equivale a tres vuelos.

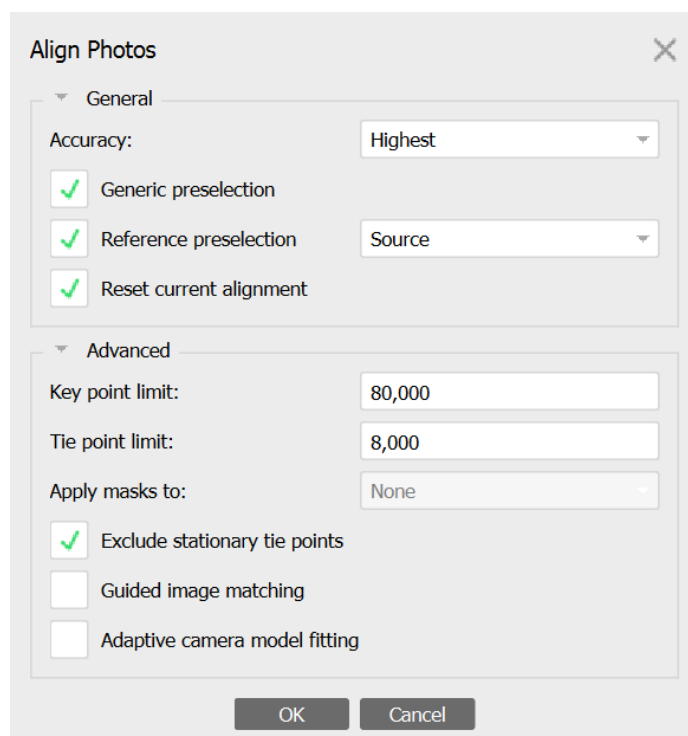
Figura 15 Adición de fotos al programa Agisoft metashape



#### 6.1.4.3.2 Alineación de fotos

Después de cargar las fotografías en el programa, estas fueron alineadas para cuantificar la orientación y posición de la cámara de cada imagen, generando así una nube dispersa de puntos que sirven como puntos de referencia. Este proceso se realizó mediante la función "Align photos" dentro del menú "Work Flow" (Agisoft, 2022). La alineación se llevó a cabo con una precisión muy alta, utilizando un total de 80,000 puntos clave y 8,000 puntos de referencia, como se ilustra en la figura 16. Este enfoque se basó en las recomendaciones de Haas et al. (2021), quienes sugieren configuraciones de alta calidad con límites de 60,000 y 20,000 puntos clave y de referencia, respectivamente, para el post-procesamiento de la información. Estos números fueron seleccionados para permitir un filtrado más agresivo de la nube de puntos sin generar vacíos en los conjuntos de datos, en contraste con los valores predeterminados de 40,000 y 4,000 puntos clave y de referencia. Hemos establecido un límite superior al duplicar los límites base para aprovechar así la capacidad de procesamiento de nuestro equipo. Una vez finalizada la alineación, se obtiene una nube de puntos dispersa y las posiciones calculadas de las cámaras, que indican los píxeles que pudieron ser vinculados (Agisoft, 2022).

Figura 16 Parámetros usados para la alineación de imágenes.



#### 6.1.4.3.3 Establecer puntos de control y apoyo

Pasos para llevar a cabo el proceso de marcado y ajuste de puntos en Agisoft Metashape:

- Añadir marcadores o puntos de apoyo:

Importar un archivo .txt al programa con las coordenadas (X, Y, Z) de los puntos previamente tomados.

- Combinar alineación de imágenes con puntos de apoyo:

Combinar la alineación de los puntos con los puntos de apoyo y control, lo que automáticamente coloca los marcadores sobre las fotos.

- Modificación de los puntos:

Modificar los puntos de acuerdo a las marcas de las lonas fotogramétricas colocadas en el suelo Figura 17.

Realizar este proceso de manera manual, revisando cada foto y colocando el marcador en la zona indicada mediante un filtrado de fotos.

Los marcadores se manejan con tres colores: azul para puntos importados, blanco para sugerencias de ubicación y verde para indicar que el punto ha sido colocado correctamente.

- Supervisión de la precisión de los puntos:

Supervisar la precisión de cada punto mediante dos rangos de errores, expresados en metros y píxeles figura 18.

Estos parámetros indican la discrepancia entre la coordenada forzada por la imagen y la coordenada tomada por nosotros.

Figura 17 Filtrado manual de imágenes para la correcta ubicación de los puntos sobre las lonas fotoidentificables

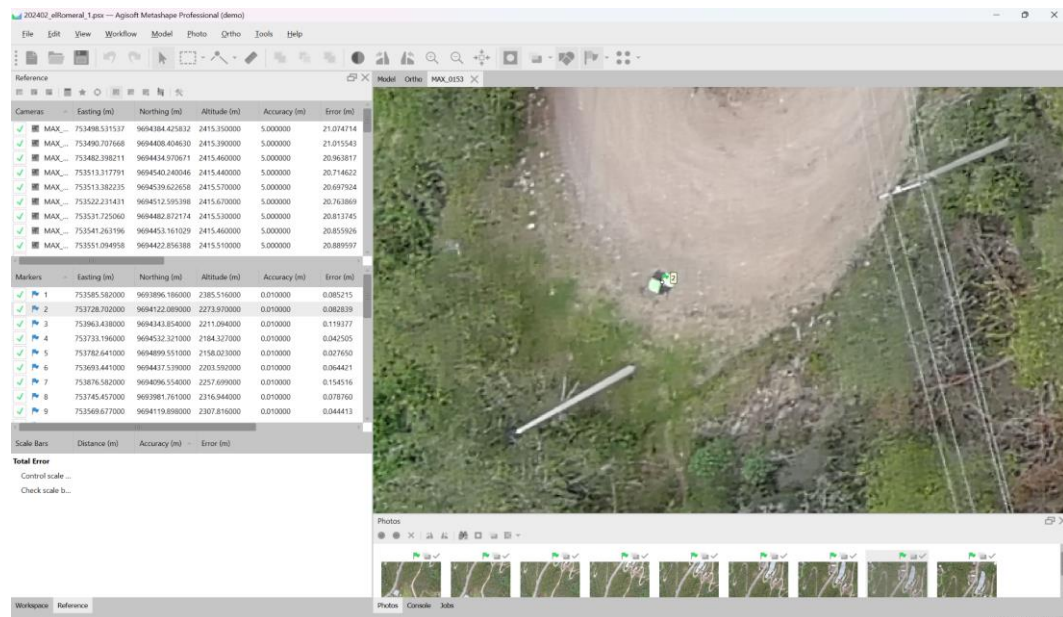
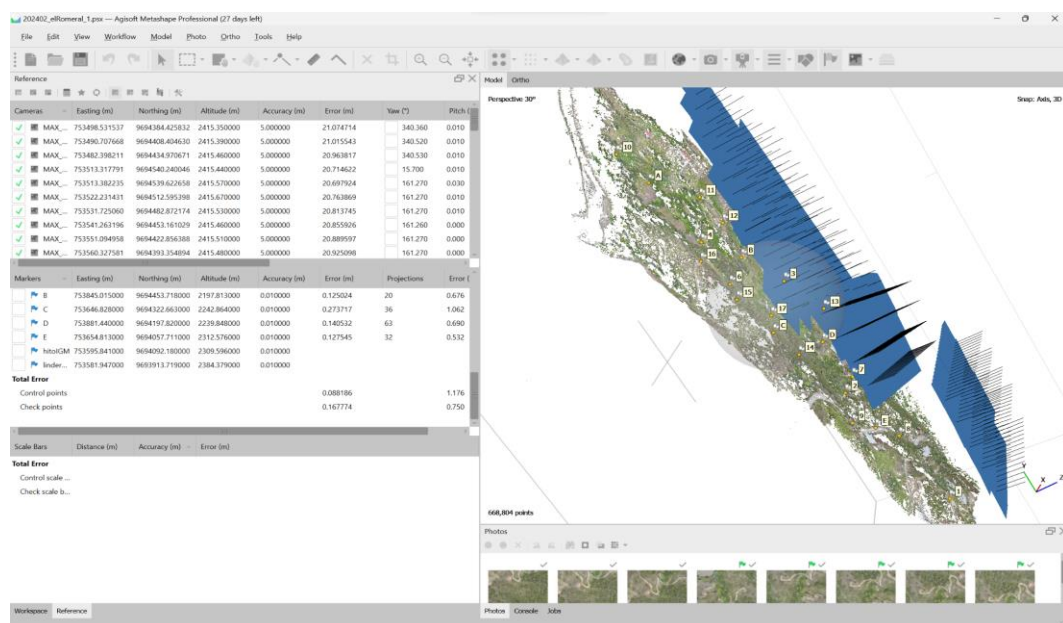


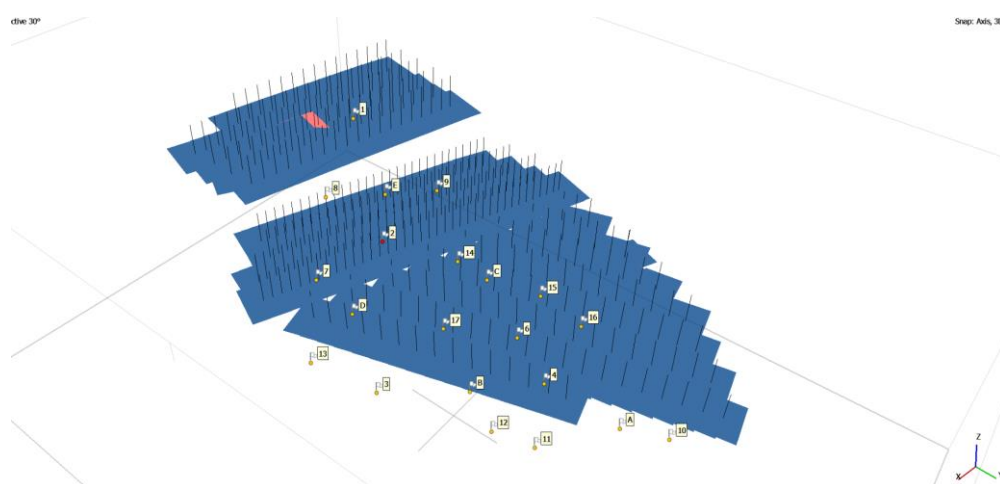
Figura 18 Alienación de las imágenes luego de haber realizado la correcta colocación de los puntos.



#### 6.1.4.3.4 Optimización de cámara con parámetros de alineación

Durante el proceso de alineación fotográfica, se llevaron a cabo estimaciones de los parámetros de orientación interna y externa, como se visualiza en la figura 19. Esta optimización implicó el ajuste de los puntos estimados y los parámetros de la cámara. Se buscó minimizar el error de reproyección y el error de desalineación de las coordenadas de referencia. Este meticuloso ajuste garantizó la correcta ubicación de la nube de puntos y píxeles, gracias al empleo de puntos de control y marcadores. Este proceso contribuyó significativamente a comunicar la precisión que se espera alcanzar en el resultado final del proyecto (Agisoft, 2022).

*Figura 19 Visualización final de la ubicación y superposición de las imágenes para cubrir el terreno*



#### 6.1.4.3.5 Construcción de la nube densa de puntos

En el proceso de post procesamiento de la nube de puntos inicial, se llevó a cabo una fase de densificación con el objetivo de aumentar la cantidad de puntos, lo cual contribuye a una representación más detallada de las elevaciones y relieves del terreno (Figura 20). Este procedimiento, según Agisoft, 2022, constituye la etapa más exigente en términos de tiempo y recursos computacionales. Durante esta fase, es crucial seleccionar una calidad de nube “High quality” para garantizar el uso máximo de la resolución disponible en las imágenes dándonos un total de 123 millones de puntos. Cabe mencionar que existen opciones de calidad inferiores, pero estas pueden afectar la calidad del producto final. Además, se aplicó un filtro de profundidad moderado, como recomendado por Rimolo et al. (2021), lo cual ha demostrado ser eficaz especialmente en áreas con una densa cobertura vegetal.



Figura 20 Visualización de la nube densa de puntos de la granja el Romeral.



#### 6.1.4.3.6 Construcción del modelo digital de superficie

Se genera el modelo digital de superficie utilizando algoritmos de fotogrametría que calculan la altura de cada punto en función de su posición en las imágenes. Además, se ajustan los parámetros del modelo según sea necesario y se exporta el modelo digital de superficie resultante en el formato deseado para su posterior análisis o visualización. Este proceso requiere un alto grado de precisión y experiencia técnica para obtener resultados precisos y de alta calidad.

#### 6.1.4.3.7 Construcción del ortomosaico

A partir del meticuloso proceso de ortorrectificación de las imágenes originales en el “Workflow” establecido por Agisoft, 2022, se dio origen al ortomosaico, donde se eligieron con especial atención las secciones o áreas proyectadas que contribuyeron de manera óptima a la reconstrucción del mosaico. Además de este proceso, se llevó a cabo la generación de curvas de nivel utilizando la herramienta para crear contornos, las cuales se materializan en formas vectoriales (Rimolo et al., 2021).

#### 6.1.4.3.8 Construcción del modelo digital de elevación

##### 6.1.4.3.8.1 Filtrado de la nube densa de puntos

Para la construcción del MDE en Agisoft Metashape, se llevó a cabo un exhaustivo proceso de filtrado de la nube densa de puntos para discernir los puntos que pertenecen al terreno de aquellos que no, basándose en parámetros específicos del proceso. Estos parámetros incluyen el ángulo máximo, que define la inclinación máxima entre puntos representando la pendiente máxima; la distancia máxima, que determina la separación entre un punto y el



modelo; y el tamaño de celda, que indica la subdivisión de la nube de puntos. En este caso, se establecieron los parámetros en 26°, 0.04 metros y 40 metros respectivamente, como configuración para la clasificación. Una vez finalizado el proceso de filtrado, se procedió a la eliminación de puntos y elementos no deseados. Este filtrado se realizó mediante un algoritmo de clasificación de nube de puntos integrado en Agisoft Metashape, donde se verificaron condiciones específicas para determinar si un punto es parte del terreno. Estas condiciones se basan en el ángulo máximo, la distancia máxima y el tamaño de grupo de píxeles. A través de un método iterativo y varias pruebas, se obtuvieron los resultados esperados para la clasificación de la nube densa, garantizando así la precisión y relevancia de los datos obtenidos (Agisoft, 2022).

*Figura 21 Parámetros utilizados para la clasificación automática de los puntos de suelo en el programa.*

**Classify Ground Points**

Classes

From: Any class

To: Ground + Low Points

☐ Keep existing ground points

Parameters

Max angle (°): 26.0

Max distance (m): 0.04

Max terrain slope (deg): 40.0

Cell size (m): 35

Return number: Any Return

Erosion radius (m): 0

OK Cancel

En nuestro caso, nos encontramos frente a una extensa zona boscosa, cuya densa vegetación impide la visualización directa del suelo. Ante esta circunstancia, nos vimos obligados a llevar a cabo una meticulosa clasificación manual, con el propósito de identificar puntos de suelo ocultos entre el frondoso dosel arbóreo. Este proceso resultó imperativo para garantizar una interpolación más precisa y evitar la generación de resultados ambiguos o imprecisos.

#### 6.1.4.4 Digitalización con ortofoto

Tras obtener la ortofotografía final de las zonas pertinentes, se llevó a cabo la digitalización en pantalla de todas las áreas visibles dentro de la granja, que incluyeron potreros,

infraestructuras, reservorios, zonas de cultivos, zonas de ornamentación, invernaderos, caminos peatonales, vías internas y externas, bosques, terrenos de las edificaciones, entre otros elementos. Estas áreas fueron clasificadas según el uso del suelo y la cobertura vegetal, siguiendo el protocolo establecido por el MAE & MAGAP en 2015, y para este proceso se utilizó una escala de visualización de 1:1000

## 6.1.4.4.1 Digitalización de coberturas

Tabla 5 Coberturas de nivel 1 y nivel 2 según el MAE Y MAGAP

Uso del suelo	Cobertura vegetal
<b>Bosque</b>	Bosque nativo
	Plantación Forestal
<b>Tierra agropecuaria</b>	Cultivo semipermanente
	Cultivo anual
	Pastizal
	Mosaico agropecuario
<b>Vegetación arbustiva y herbácea</b>	Vegetación arbustiva
	Vegetación herbácea
	Páramo
<b>Cuerpo de agua</b>	Natural
	Artificial
<b>Zonas antrópicas</b>	Área poblada
	Infraestructura

Otras tierras

Glaciar

Área sin cobertura vegetal

Sin información

Sin información

#### 6.1.4.4.2 Unión de polígonos y codificaciones

Una vez que todas las áreas fueron digitalizadas y verificadas, se organizó cada capa según una codificación (Tabla 6) para facilitar su unión. Al crear la capa de polígonos a partir de una de líneas minimizamos el error, se creó un nuevo campo en la tabla de atributos con un nombre común para cada una de las capas, lo que simplificó la identificación y clasificación.

*Tabla 6 Codificación para las diferentes áreas de la granja.*

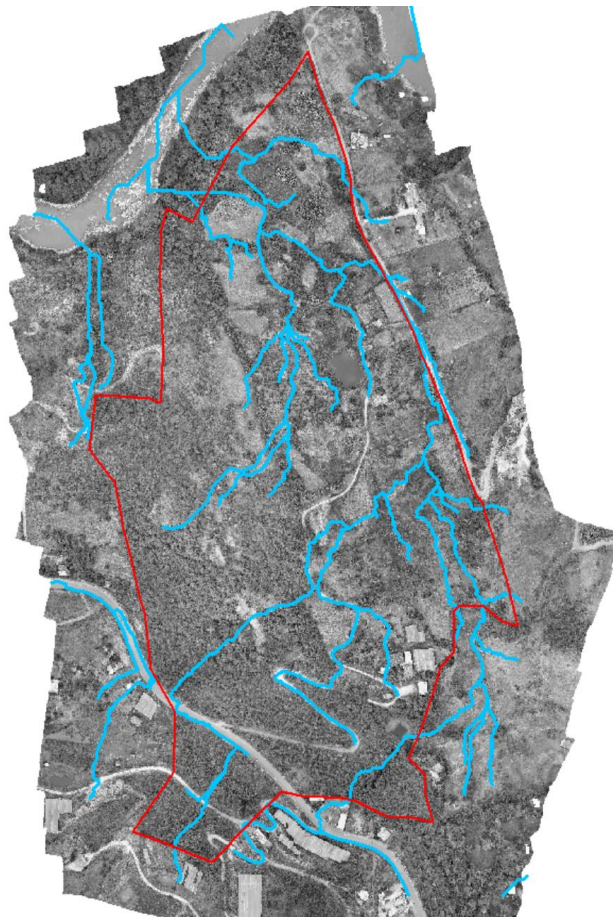
Capa	Código
Reservorio	LG
Zona cultivada	ZC
Bosque	B
Invernadero	IN
Edificaciones	ED
Zonas ornamentales	ZO
Caminos peatonales	CP
Vías internas	VI
Vías externas	VE
Zona de pasto no cultivado	ZPN

#### 6.1.4.4.3 Delimitación red de drenajes

- Se utilizó la herramienta “Fill” para corregir posibles vacíos en el MDT.

- Se empleó la herramienta “Flow Direction” para determinar las direcciones de flujo en cada celda, indicando hacia dónde se dirigen las pendientes (Figura 22).
- Con la herramienta “Flow Accumulation” se generó un ráster que muestra las áreas por donde se supondría debería pasar la red de drenajes.
- Se aplicó la herramienta “Stream Link” para conectar todas las vertientes identificadas.
- Mediante la herramienta “Stream order” se obtuvo una categorización de las posibles redes de drenaje de la granja.
- Finalmente, con la herramienta “Stream to feature” se hizo la conversión lineal de los píxeles que convergen en drenajes.

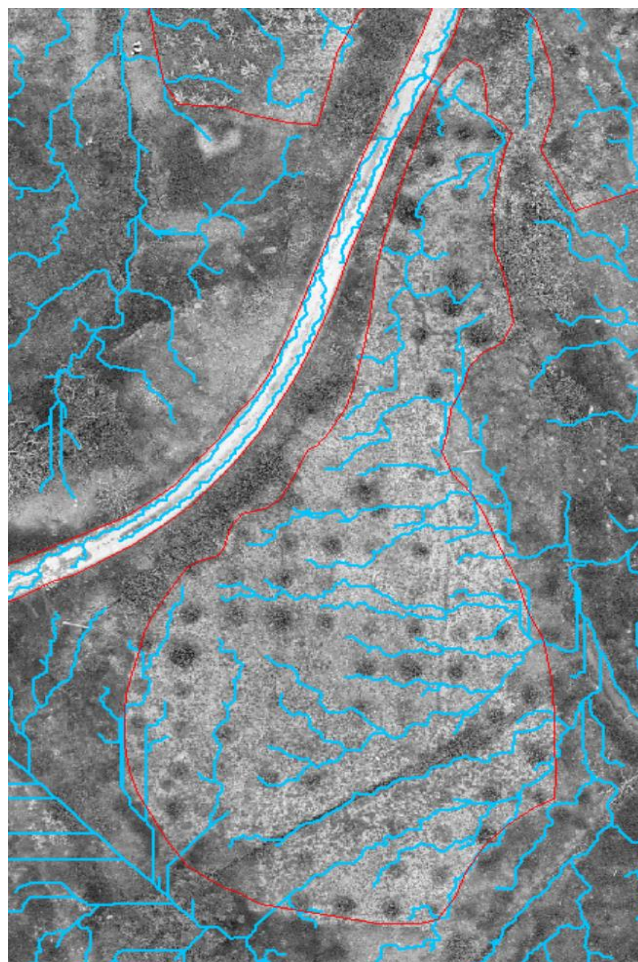
*Figura 22 Red de drenajes presentes en la granja.*



La creación de una red de drenaje adecuada en una granja es fundamental por varias razones. En primer lugar, esta red ayuda a controlar el flujo de agua, evitando inundaciones y asegurando un drenaje eficiente de las áreas cultivadas. Además, la mayoría de estos

canales de drenaje están diseñados para llevar el exceso de agua directamente al río más cercano, lo que contribuye a mantener la calidad del suelo y del agua al evitar estancamientos que puedan generar problemas de salinidad o contaminación. Es crucial notar que estos canales comienzan en la parte alta de la granja, donde se acumula naturalmente más agua, y se extienden hacia abajo, siguiendo la topografía del terreno. Aunque la red de canales establecida generalmente se ajusta a la red verdadera, es común encontrar discrepancias en algunas zonas, lo que puede deberse a varios factores como cambios en la topografía, obstrucciones naturales o errores en el diseño original. Por lo tanto, es esencial realizar un mapeo preciso y regular de la red de drenaje para identificar estas discrepancias y realizar las correcciones necesarias, asegurando así un sistema de drenaje óptimo y efectivo en la granja.

*Figura 23 Red de drenajes presente en cultivo de manzana.*

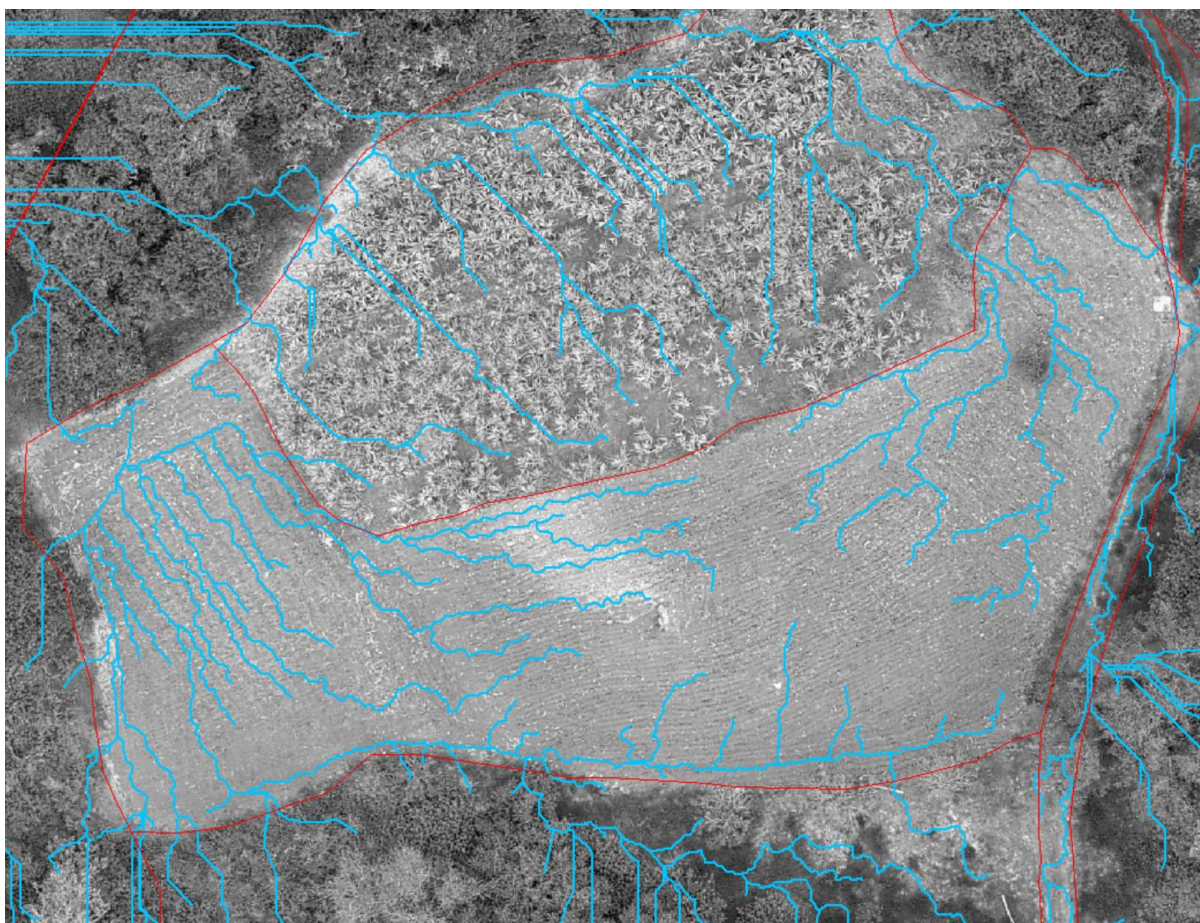


La distribución de la red de drenaje es especialmente crucial en parcelas de cultivos como manzanas figura 23 y maíz figura 24. Estas parcelas, debido a su extensión y a las características de los cultivos, requieren un drenaje adecuado para evitar encharcamientos que podrían dañar las raíces de las plantas. En el caso de las manzanas, que suelen plantarse



en terrenos más elevados, el drenaje debe ser especialmente efectivo en las partes más altas de la parcela, evitando la acumulación de agua alrededor de los árboles. Por otro lado, en las parcelas de maíz, donde se trabaja con suelos más pesados y se realizan labores de riego, es esencial que el sistema de drenaje permite un flujo constante de agua, evitando encharcamientos que podrían afectar el desarrollo de las plantas. En ambas situaciones, una red de drenaje bien planificada y mantenida asegura un adecuado suministro de agua para los cultivos, contribuyendo así a una producción agrícola exitosa y sostenible.

*Figura 24 Red de drenajes presente en cultivo de maíz.*

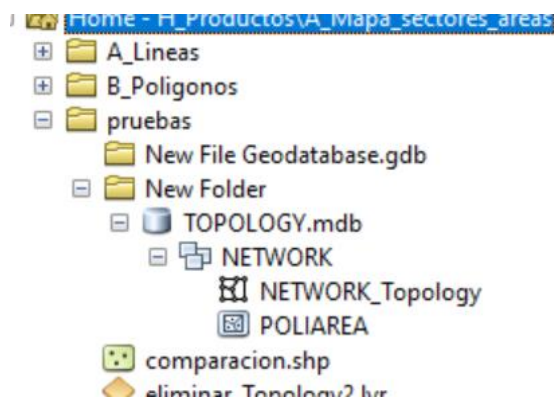


#### 6.1.4.4 Control de geometrías

Una vez completada la digitalización en pantalla de todas las áreas levantadas, procedimos a realizar el control de las geometrías. Para ello, creamos una base de datos donde llevar a cabo la corrección topológica dentro del catálogo. Esta base de datos se colocó en una carpeta junto con los datos digitalizados en pantalla. Dentro de esta carpeta, se creó una "File Geodatabase", y posteriormente se estableció un conjunto de datos utilizando la opción "New Feature Dataset", trabajando con coordenadas WGS84 Zona 17S. Después, importamos la capa digitalizada de la Granja para incorporar la información dentro de la Geodatabase y así

poder crear la topología. Seleccionamos la opción de topología dentro del Feature Dataset para abrir un cuadro de diálogo con diversas opciones para corregir nuestras geometrías. Se aplicaron las reglas "NOT MUST OVERLAP" para evitar superposiciones entre capas y "NOT MUST GAPS" para prevenir espacios vacíos dentro de la capa.

Figura 25 Control de geometrías.



#### 6.1.4.5 Topografía

##### 6.1.4.5.1 Generación de curvas de nivel

Se creó un proyecto en el software ArcMap, donde se cargó el MDT y se utilizó el comando "Contour" para generar las curvas de nivel. Con el objetivo de cumplir con la escala 1:1000, se estableció un intervalo de 1 metro entre cada curva. Posteriormente, en la tabla de atributos se agregó un nuevo campo. En este campo, se realizó un cálculo geométrico para determinar la longitud de cada curva, eliminando aquellas que tuvieran menos de 30 metros. Esto contribuyó a lograr una mayor uniformidad en las curvas. Seguidamente, se aplicó el comando "Smooth" para mejorar la calidad de las curvas de nivel, estableciendo un rango de tolerancia de 25 metros (Figura 27).



*Figura 26 Curvas de nivel de la granja.*

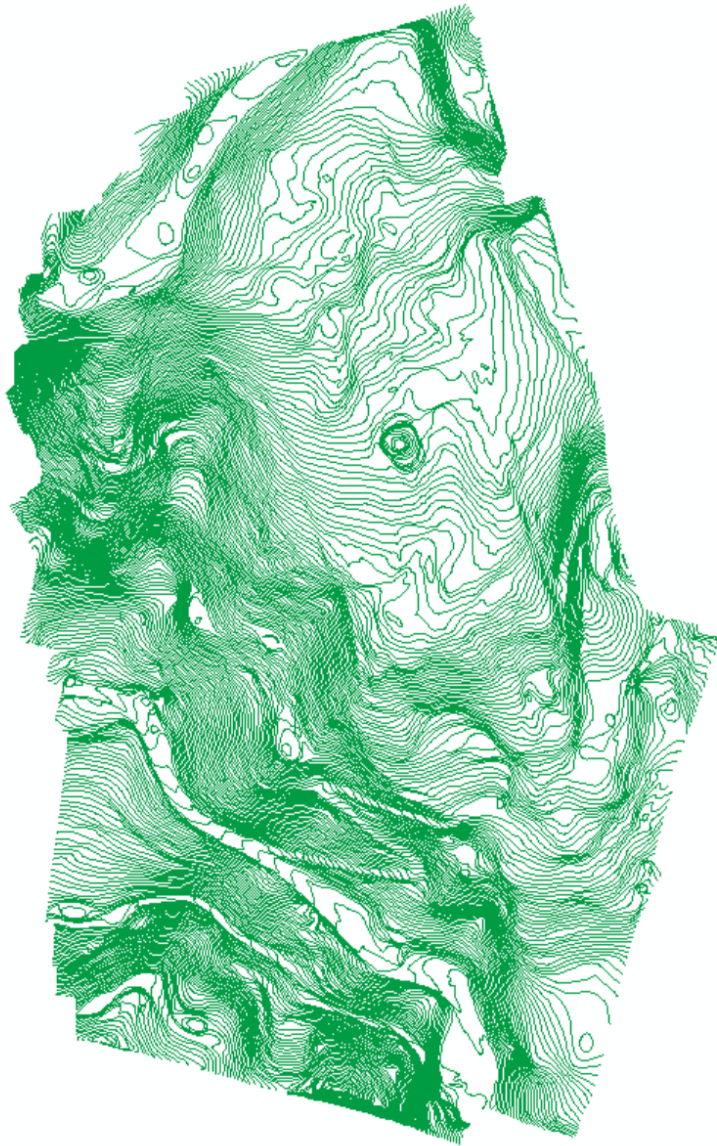
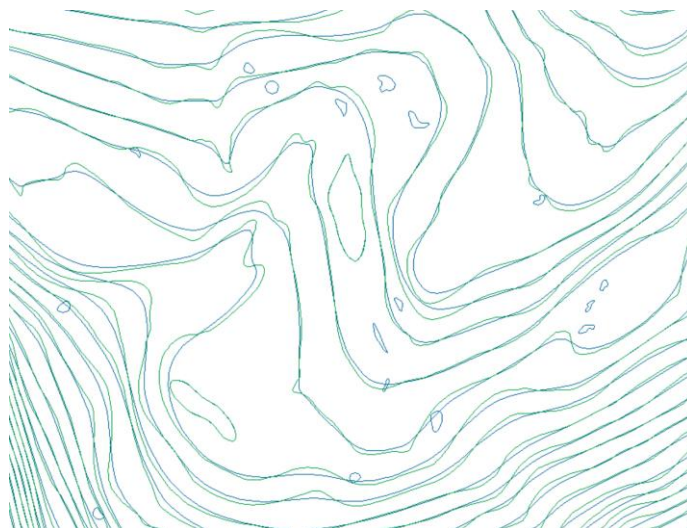


Figura 27 Comparación de las curvas de nivel con las curvas de nivel suavizadas.



#### 6.1.5 Validación de información levantada

##### 6.1.5.1 Planificación de método de muestreo.

Según Vásquez & César en el 2017, la calidad del posicionamiento es de suma importancia, siendo la ortofoto la materia prima esencial para la digitalización en pantalla. Por ende, es fundamental verificar la calidad de este archivo.

Para la validación planimétrica en el área de estudio, se llevó a cabo un muestreo aleatorio simple identificando las diversas zonas presentes, como bosque, vías, pasto no cultivado, zonas de cultivo ocupadas y desocupadas. Se tomaron un total de 30 puntos de verificación estáticos por cada zona, lo que suma un total de 150 puntos. Este enfoque se basa en el trabajo previo realizado por Tacuri et al. En el 2017, quienes validaron una superficie de 1.5 hectáreas correspondiente a un cultivo de pasto, utilizando 30 puntos de verificación estáticos para toda la zona.

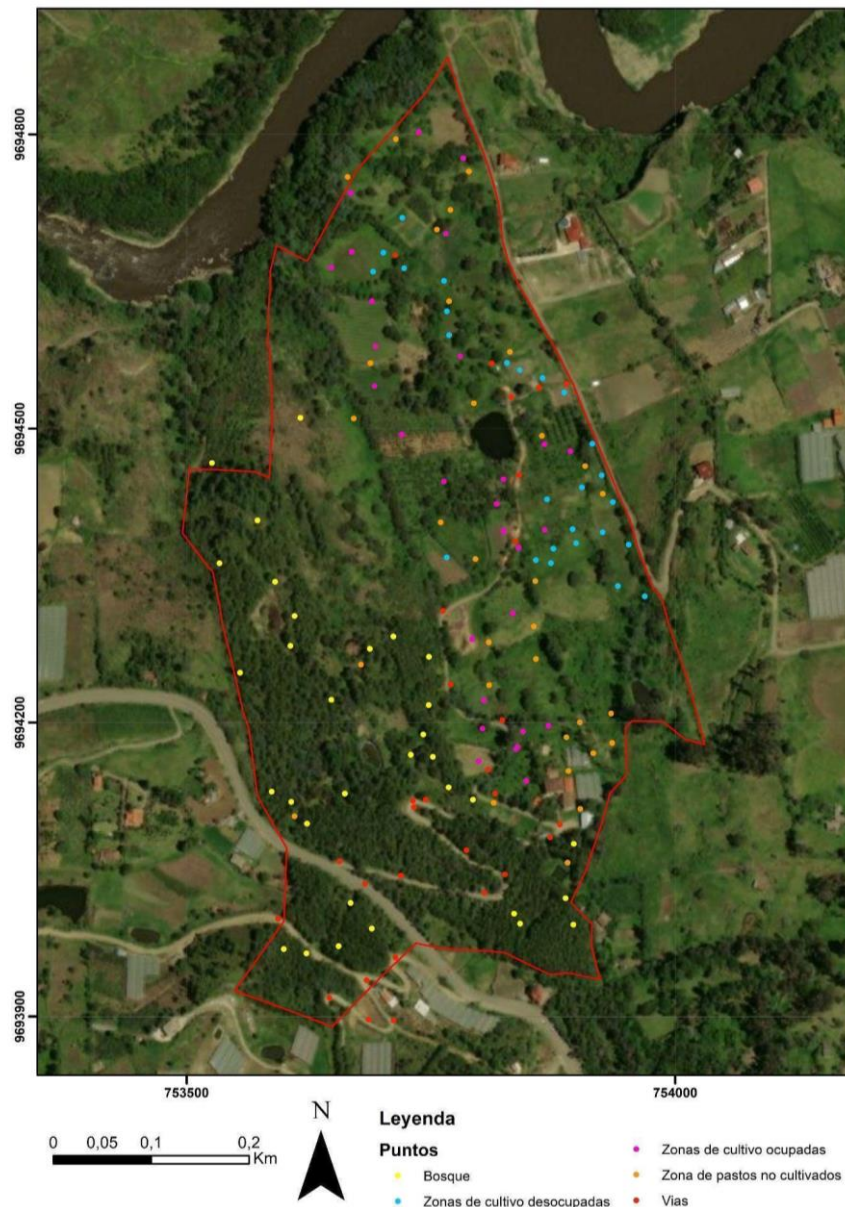
Por otro lado, para la validación topográfica, se realizó un muestreo aleatorio simple para identificar sitios fácilmente reconocibles en la ortofoto, los cuales fueron seleccionados para su representación. En total, se tomaron 13 sitios alojados en toda la zona de estudio, sumando un total de 142 puntos. Se tuvieron en cuenta especialmente las áreas más prominentes. Este enfoque se fundamenta en el trabajo anteriormente realizado por Vásquez & César, 2017, quien validó una superficie de 16.78 hectáreas con la toma de 9 sitios en campo.

##### 6.1.5.2 Toma de muestras

Se capturaron los puntos utilizando receptores GPS de doble frecuencia de la marca Trimble Emlid RS2, con un tiempo de observación de 5 segundos cada uno. La duración de esta

medida se determinó debido a que en nuestro estudio de caso se estableció el hito Romeral-1 como referencia para la corrección del posicionamiento.

Figura 28 Puntos levantados en campo para cada zona homogénea delimitada.



#### 6.1.5.3 Validación planimétrica

Con los datos obtenidos de los puntos medidos en campo, se llevó a cabo una comparación de su posicionamiento respecto a los puntos de la ortofoto. Esta validación se realizó mediante el test de la National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), citada por el IGM, que analiza las componentes horizontales (X, Y). El procedimiento consistió en seleccionar una muestra de al menos 20 puntos de los 142 puntos recopilados en campo, claramente definidos en la cartografía disponible y en el terreno. Luego, utilizando

equipos GPS de alta precisión en campo, se identificaron y posicionaron los puntos seleccionados.

Se verificó la exactitud horizontal del conjunto de datos comparando las coordenadas planimétricas de las dos fuentes mencionadas anteriormente. Para esto, se estimó el error posicional utilizando el Root Mean Square Error (RMSE) y se multiplicó el resultado por un coeficiente dado por el método NSSDA, que es 1.96 (García López; Marta, 2015). Finalmente, la exactitud posicional se expresó en unidades de terreno, con un nivel de confianza del 95%. Esto indica que las posiciones del conjunto de datos tendrán un error con respecto a las verdaderas posiciones en el terreno que es igual o menor al valor de la exactitud posicional. En otras palabras, en planimetría, el error no superará los 30 cm al considerar la escala 1:1000 (IGM, 2006).

#### *6.1.5.4 Validación de topografía*

Para validar los datos topográficos, se siguió la norma técnica definida por el IGM. Esta norma establece que el 90% de las elevaciones de los puntos acotados en el mapa no deben diferir de las verdaderas en más de 1/4 del valor del intervalo de curva de nivel, mientras que el 5% restante nunca debe exceder el valor de la mitad del intervalo de curva de nivel. Además, el 90% de las elevaciones de los puntos obtenidos por interpolación entre curvas de nivel no deben diferir de las verdaderas en más de la mitad del intervalo de curva de nivel, y el 10% restante no puede exceder el valor de la equidistancia (IGM, 2006).

Para comparar las alturas, se utilizaron los valores obtenidos entre los puntos de validación y las alturas del modelo digital del terreno obtenido en el estudio, mediante la herramienta "extract values to points". Es importante tener en cuenta que las curvas de nivel en la escala 1:1000 tienen una equidistancia de 1 m, y la norma indica que no debe haber una diferencia mayor a 0,25 m (Tacuri et al., 2017).

## 6.2 Factibilidad

### 6.2.1 Técnica

Se logró obtener la cartografía básica detallada de la granja experimental El Romeral para generar información sobre la distribución actual del área a una escala de 1:1000. El enfoque principal estuvo en el ordenamiento territorial para generar una planimetría y topografía detallada mediante el uso del GIS y equipos de georreferenciación, lo cual permitió alcanzar los objetivos establecidos.



### 6.2.2 Económica

Es fundamental considerar el costo total real del levantamiento topográfico utilizando RPAS. Aunque la Universidad de Cuenca proporciona facilidades de equipo y otras herramientas relacionadas, documentar estos costos resultará invaluable como experiencia, evaluación de rentabilidad y, especialmente, para permitir que la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) realice futuros trabajos de esta naturaleza. Los gastos aproximados del levantamiento, teniendo en cuenta el alquiler de los equipos, son los siguientes: GPS-GNSS (\$240), Dron Autel Evo II (\$300), computadora (\$600), mano de obra de dos personas (\$600), además de diversos artículos necesarios para el levantamiento, como libretas de campo y suministros de oficina (\$10), 22 lonas de 1 m<sup>2</sup> (\$88), clavos de 7 y 10 pulgadas (\$16.50), así como gastos de transporte y alimentación para 10 días en el campo (\$50 y \$30 respectivamente). En total, estos costos ascienden a \$2395.80.

### 6.2.3 Ambiental

El proyecto es factible debido a que no genera impacto ambiental, ya que el trabajo de campo realizado no implica ningún perjuicio al medio ambiente. El uso de equipos electrónicos con sensores aerotransportados que operan a distancia garantiza que no se emitan gases contaminantes ni se produzca daño en el área de estudio para llevar a cabo el proyecto. Además, la información generada puede ser útil para futuros proyectos de índole ambiental en la granja experimental El Romeral.

### 6.2.4 Legal

Para llevar a cabo nuestro proyecto, tomamos en consideración los artículos presentados por la Dirección General de Aviación Civil (2020) respecto a la operación de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), así como la Ley de Cartografía Nacional (1978). Por consiguiente, no existen impedimentos legales que obstaculicen la realización del trabajo propuesto.

### 6.2.5 Social

Además del beneficio directo para la granja por la información generada, el proyecto también beneficia a los estudiantes de la FCA y a la Universidad de Cuenca en general. Esto se evidencia en la posibilidad de realizar futuros proyectos, planificar prácticas estudiantiles, transferir tecnología a zonas circundantes y abordar litigios u otras necesidades que puedan surgir.

### 6.2.6 Estrategia de Evaluación

Al cumplir con los objetivos establecidos, se logró obtener una cartografía básica detallada. Esto se debe a que, al considerar la toma de puntos de apoyo y control, realizar validaciones, complementar la información en campo y llevar a cabo un procesamiento

posterior de estos datos en el software GIS, se consigue un tamaño de píxel inferior a 10 cm. Esto asegura que la información obtenida sea confiable y precisa, garantizando así un levantamiento de alta calidad.

## **7 Resultados**

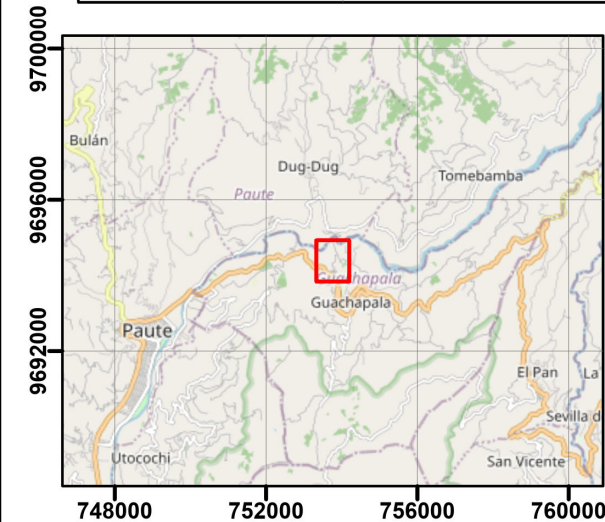
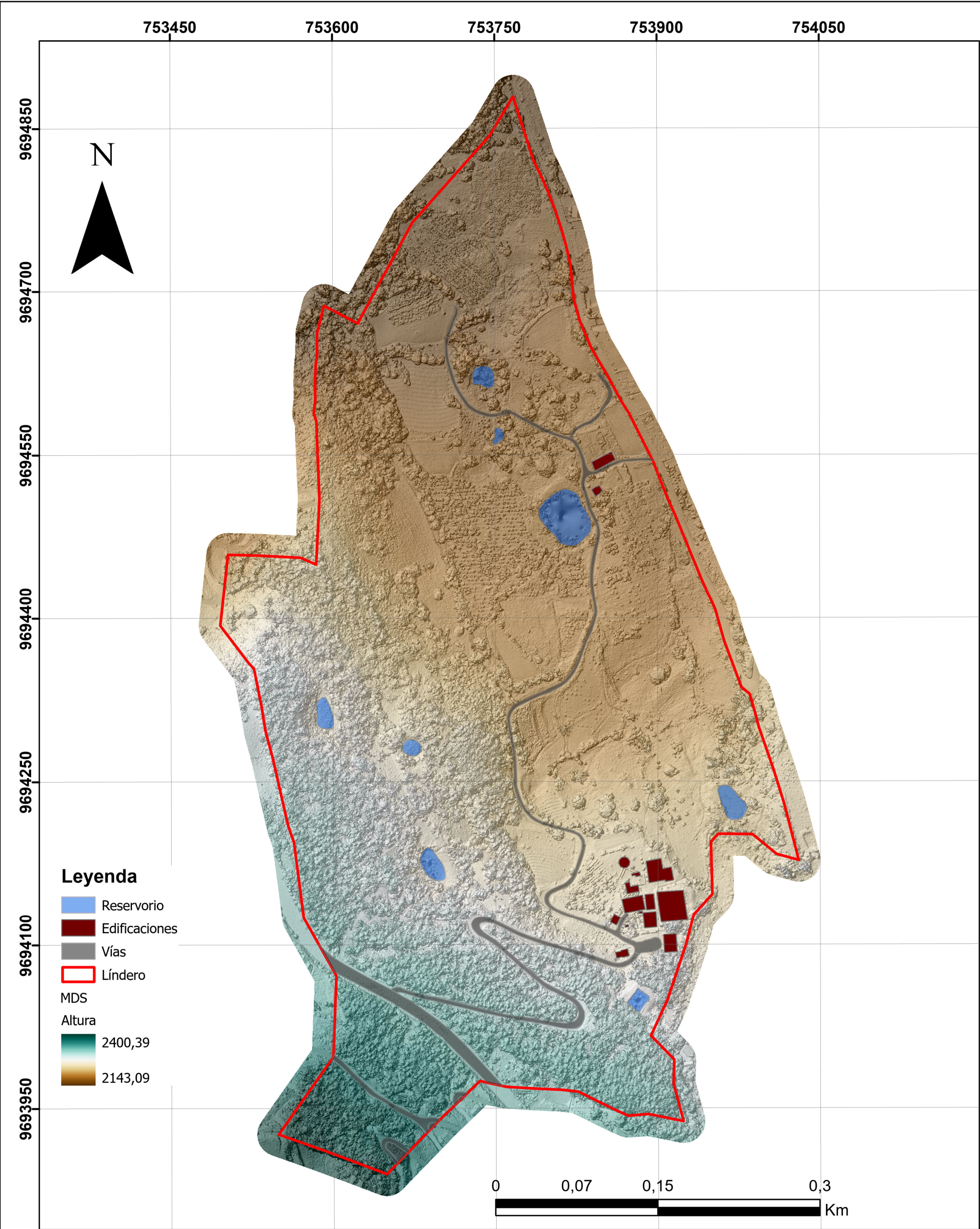
Se lograron los siguientes resultados con la metodología propuesta:

### **7.1 Modelo digital de superficie.**

Se logró generar el Modelo Digital del Terreno (MDT) utilizando una nube densa de puntos sin aplicar ningún tipo de filtrado. Los valores resultantes muestran una elevación mínima de 2127,65 m y una elevación máxima de 2419,2 m (Figura 29).

*Figura 29 Modelo digital de superficie de la granja.*





Escala de impresión 1: 3500

Proyección  
Universal Transversal de Mercator (UTM)  
Zona 17 Hemisferio Sur  
Sistema Geodésico Mundial  
WGS84

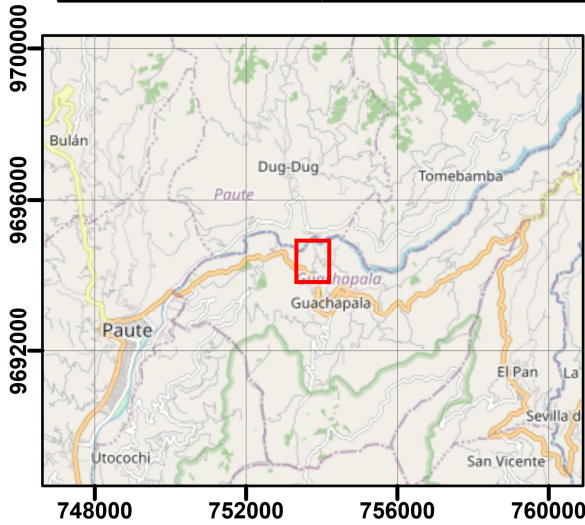
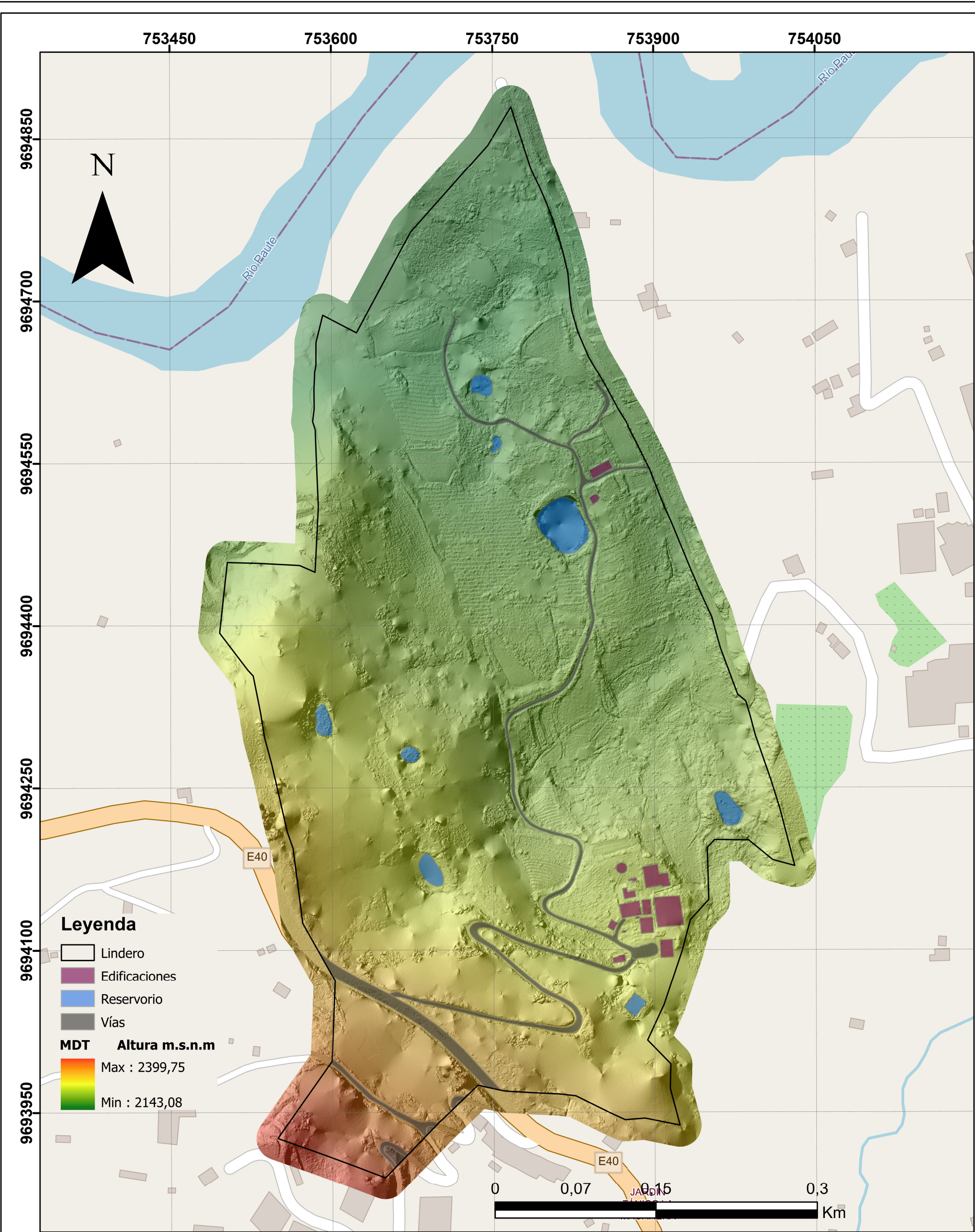
<div><div></div><div></div></div>			
<b>Proyecto:</b> Generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave piloteada a distancia. El Romeral			
Autores:	Franklin Brito	Mapa N°:	2
	Juan Tamayo	Escala de Impresión:	1:3500
Contiene:	MDS Granja El Romeral	Escala de levantamiento:	1:1000
		Fuente:	Levantamiento fotogramétrico Sistema Autel Evo II pro
Fecha:	10/05/24		



## 7.2 Modelo Digital de Terreno y sus respectivos curvados



Se generó el Modelo Digital del Terreno (MDT) utilizando una nube densa de puntos, con un filtrado manual llevado a cabo en el programa Agisoft Metashape. Los valores resultantes muestran una elevación mínima de 2195,25 m y una elevación máxima de 2414,38 m. (Figura 30) Además, se han generado las curvas de nivel de la granja con un intervalo de 1 m entre cada una de ellas (Figura 31).

*Figura 30 Modelo digital de terreno de la granja.*



Escala de impresión 1: 3500

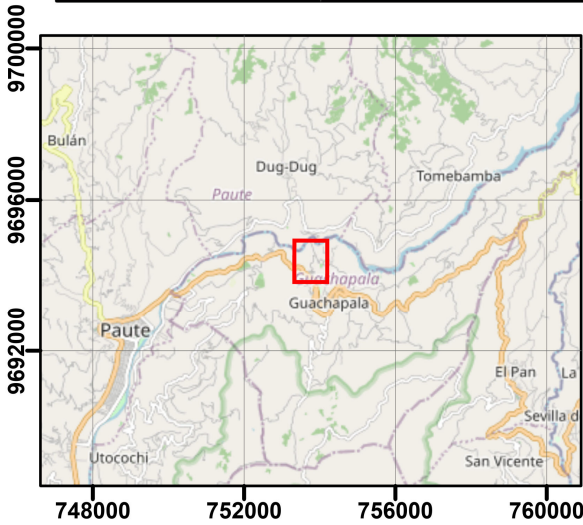
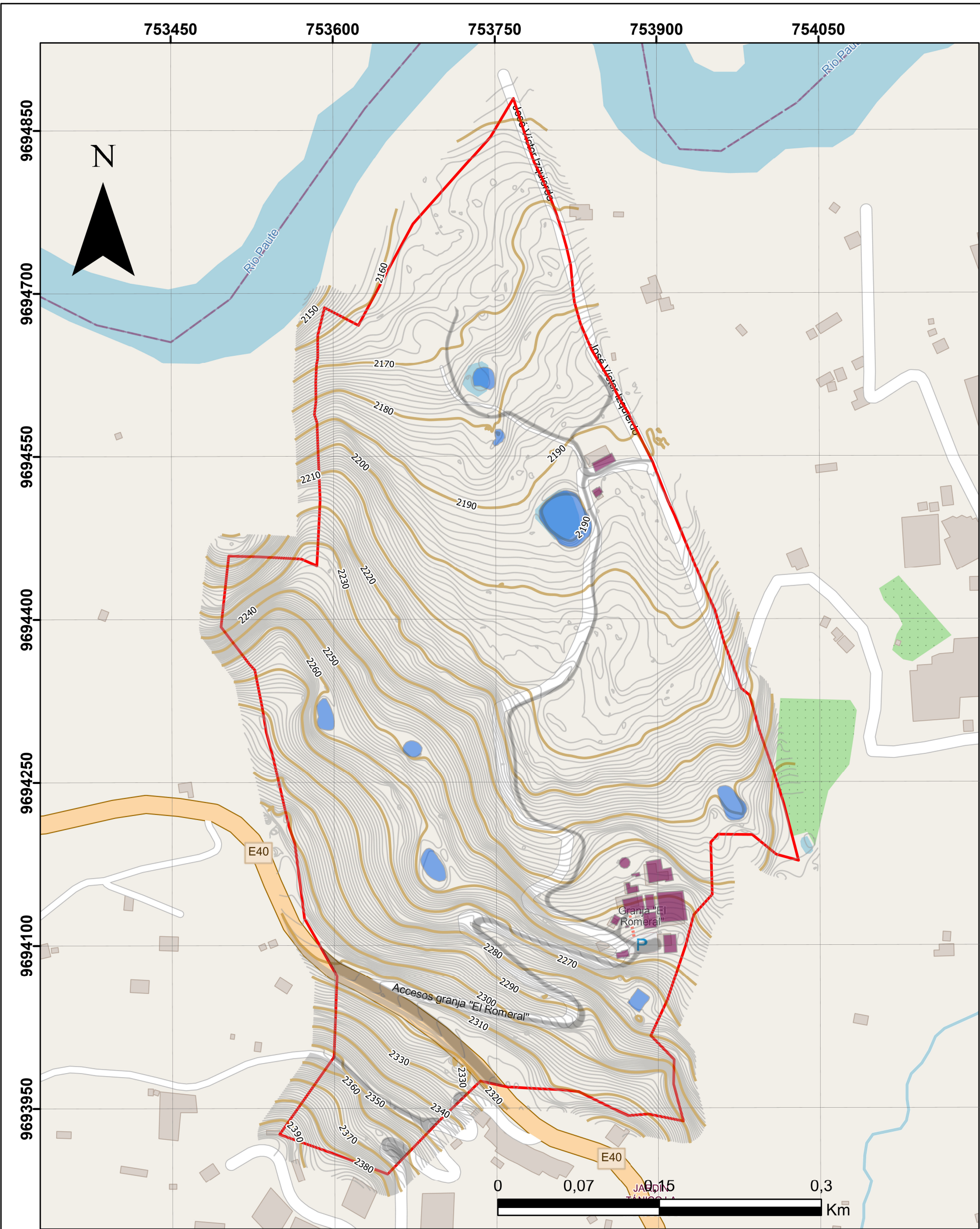
Proyección  
Universal Transversal de Mercator (UTM)  
Zona 17 Hemisferio Sur  
Sistema Geodésico Mundial  
WGS84



<b>Proyecto:</b> Generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave piloteada a distancia. El Romeral			
Autores:	Franklin Brito	Mapa N°:	3
	Juan Tamayo	Escala de Impresión:	1:3500
Contiene:	MDT Granja El Romeral	Escala de levantamiento:	1:1000
	Fecha:	10/05/24	Fuente:

*Figura 31 Curvas de nivel de la granja*







Escala de impresión 1: 3500

Proyección  
Universal Transversal de Mercator (UTM)  
Zona 17 Hemisferio Sur  
Sistema Geodésico Mundial  
WGS84

**Legenda**

<span style="border: 2px solid red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> Líndero	<span style="background-color: gray; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> Vías
<span style="background-color: orange; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> Primaria	<span style="background-color: blue; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> Reservorio
<span style="background-color: lightgray; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> Secundaria	<span style="background-color: purple; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> Edificaciones



**Proyecto:**  
Generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave piloteada a distancia. El Romeral

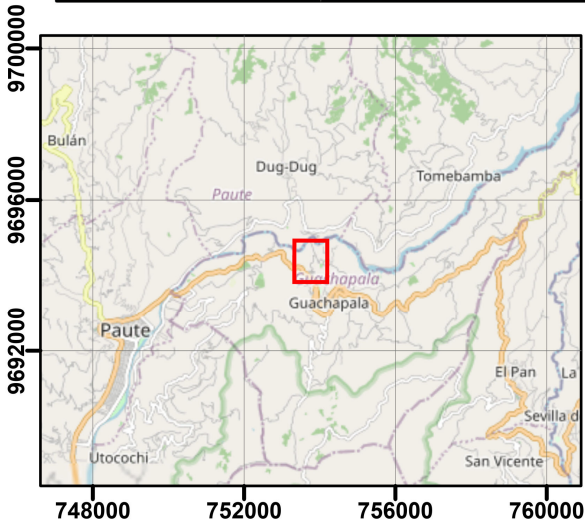
Autores:	Franklin Brito	Mapa N°:	4
	Juan Tamayo	Escala de Impresión:	1:3500
Contiene:	Curvados Granja El Romeral	Escala de levantamiento:	1:1000
	Fecha: 10/05/24	Fuente:	Levantamiento fotogramétrico Sistema Autel Evo II pro

### 7.3 Ortofotomosaico

Una vez completado todo el procesamiento de la información recopilada con el dron, se obtuvo el ortofotomosaico de la granja El Romeral (Figura 32).

*Figura 32 Ortofotomosaico de la granja.*







**Escala de impresión 1: 3500**

Proyección  
Universal Transversal de Mercator (UTM)  
Zona 17 Hemisferio Sur  
Sistema Geodésico Mundial  
WGS84

**Leyenda**

Lindero



**Proyecto:**  
Generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave piloteada a distancia. El Romeral

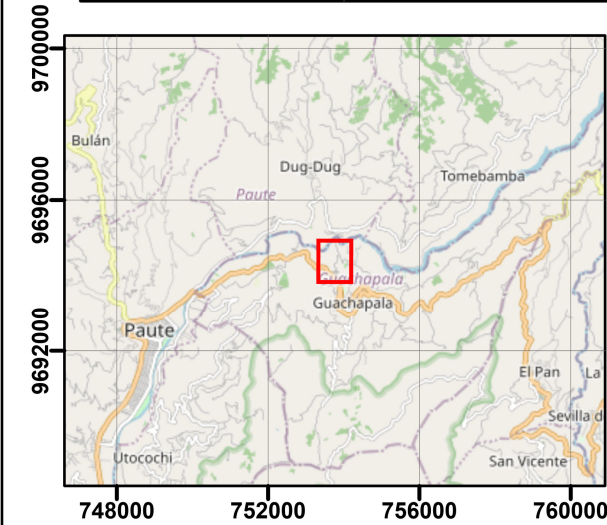
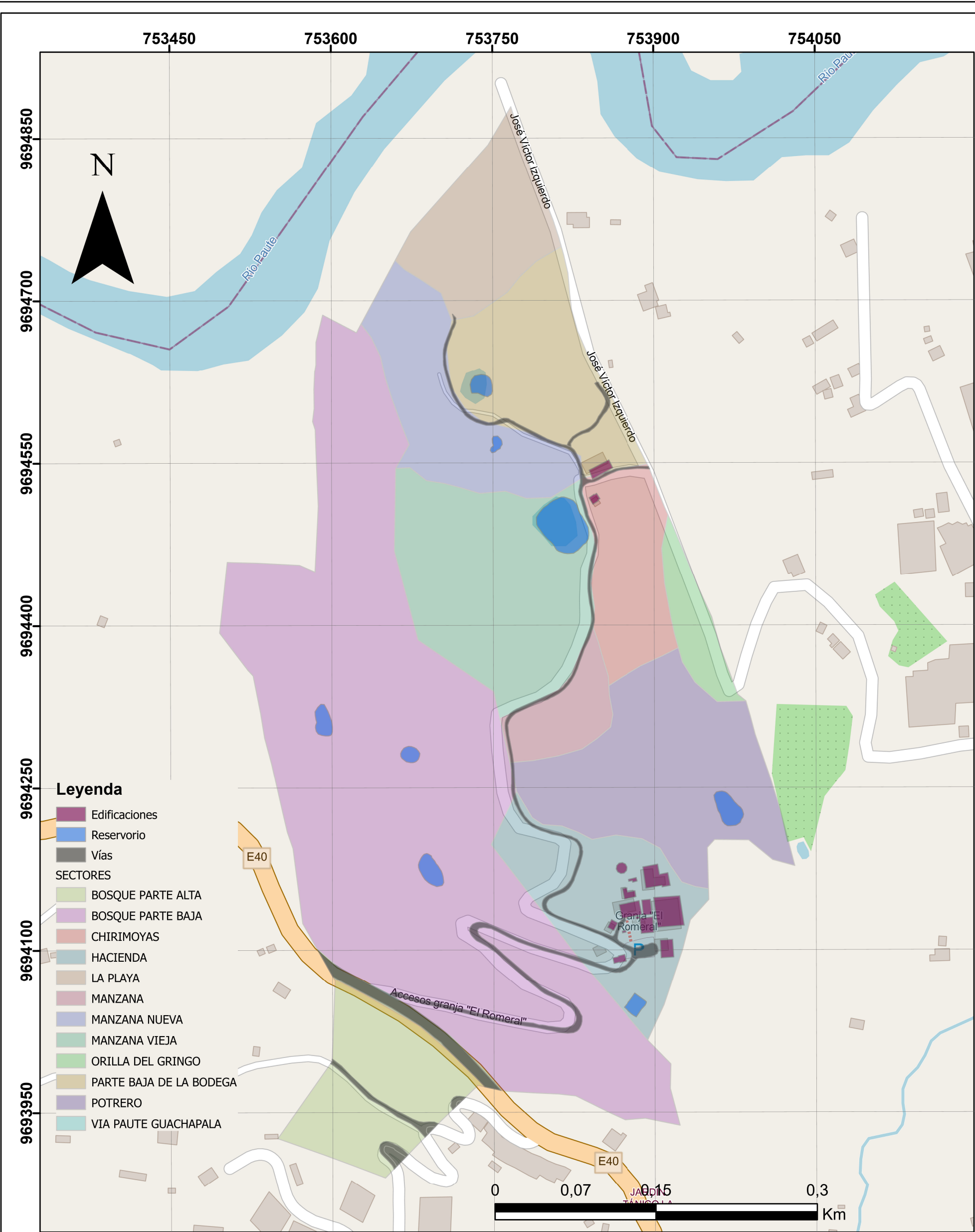
Autores:	Franklin Brito	Mapa N°:	1
	Juan Tamayo	Escala de Impresión:	1:3500
Contiene:	Ortofoto Granja El Romeral	Escala de levantamiento:	1:1000
		Fuente:	Levantamiento fotogramétrico Sistema Autel Evo II pro
Fecha:	10/05/24		



#### 7.4 Planimetría



Al reunirnos con el director, administrador y trabajadores de la granja, se logró digitalizar los sectores (figura 33) y zonas de cultivos de la granja El Romeral (figura 34).

*Figura 33 Zonificación de la granja el Romeral*



Escala de impresión 1: 3500

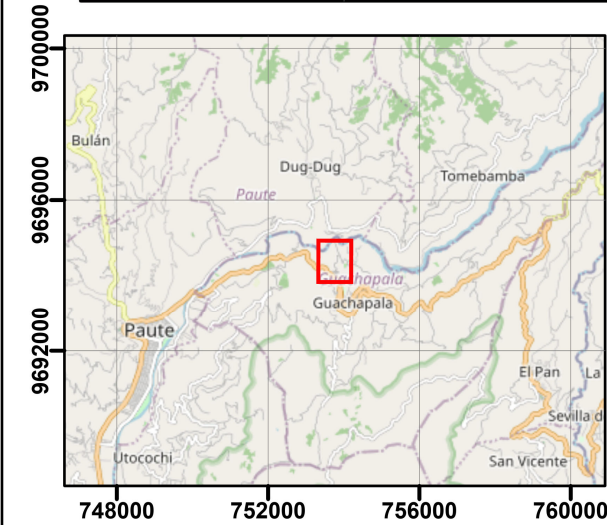
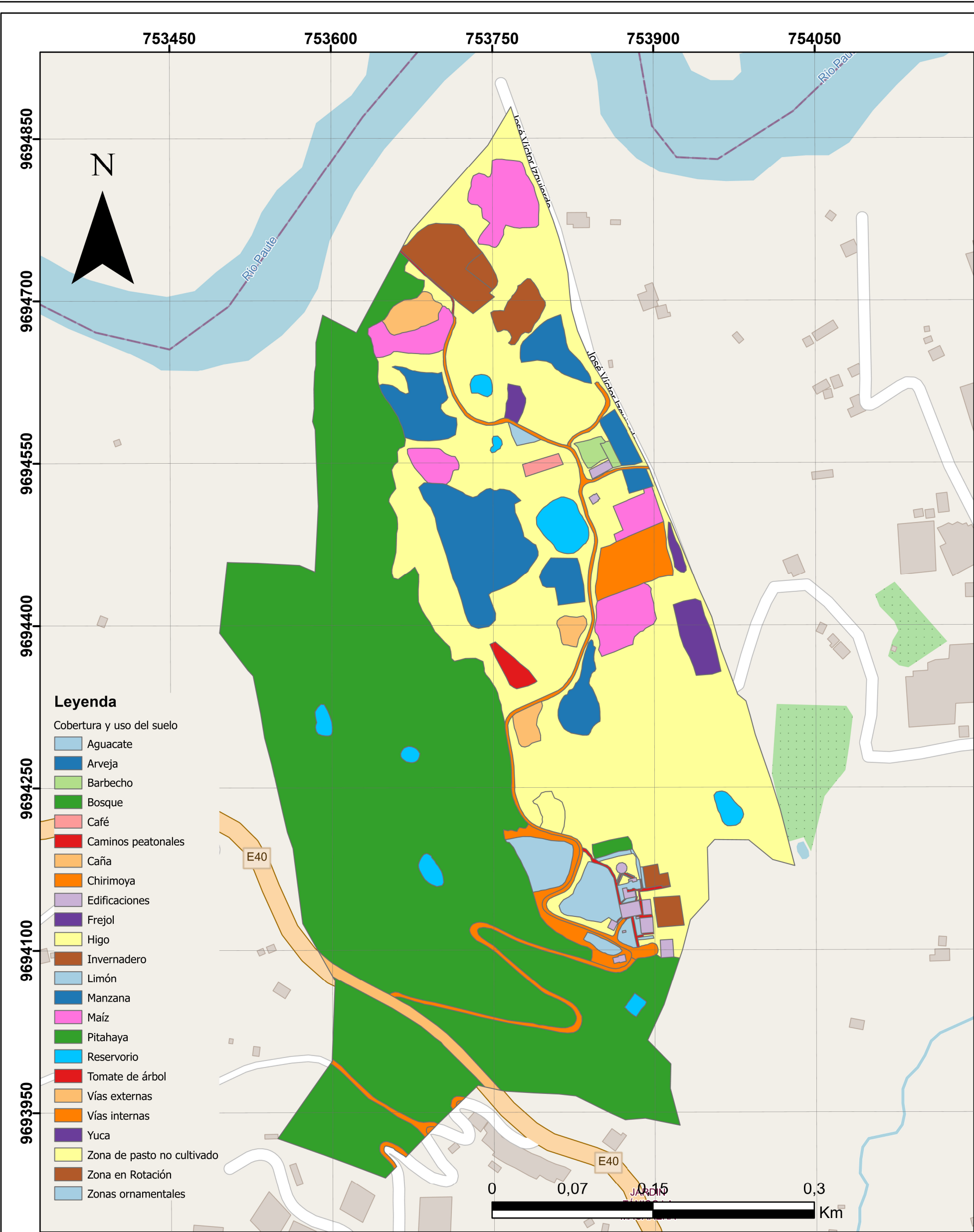
Proyección  
Universal Transversal de Mercator (UTM)  
Zona 17 Hemisferio Sur  
Sistema Geodésico Mundial  
WGS84

<div><div>GEOmática UCUENCA</div><div>UCUENCA CARRERA DE AGRONOMIA</div></div>			
<b>Proyecto:</b> Generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave piloteada a distancia. El Romeral			
Autores:	Franklin Brito	Mapa N°:	6
	Juan Tamayo	Escala de Impresión:	1:3500
Contiene:	Mapa de sectores Granja El Romeral	Escala de levantamiento:	1:1000
Fecha:	10/05/24	Fuente:	Levantamiento fotogramétrico Sistema Autel Evo II pro

*Tabla 7 Áreas de los diferentes sectores presentes en la granja.*

NOMBRE	Área (ha)
BOSQUE PARTE ALTA	1.746969
VIA PAUTE GUACHAPALA	0.213496
HACIENDA	2.069388
POTRERO	2.969861
MANZANA	0.641353
ORILLA DEL GRINGO	0.500685
MANZANA VIEJA	3.079775
CHIRIMOYAS	1.250418
BOSQUE PARTE BAJA	11.598315
MANZANA NUEVA	1.781862
PARTE BAJA DE LA BODEGA	1.958196
LA PLAYA	1.487565
<b>Total</b>	<b>29.297883</b>

*Figura 34 Cobertura y uso del suelo*



Escala de impresión 1: 3500

Proyección  
Universal Transversal de Mercator (UTM)  
Zona 17 Hemisferio Sur  
Sistema Geodésico Mundial  
WGS84



<div><div>GEOmática UCUENCA</div><div>UCUENCA CARRERA DE AGRONOMÍA</div></div>			
<b>Proyecto:</b> Generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave piloteada a distancia. El Romeral			
Autores:	Franklin Brito	Mapa N°:	5
	Juan Tamayo	Escala de Impresión:	1:3500
Contiene:	Mapa de cobertura y uso del suelo Granja El Romeral	Escala de levantamiento:	1:1000
		Fuente:	Levantamiento fotogramétrico Sistema Autel Evo II pro
Fecha:	10/05/24		



Tabla 8 Áreas de los cultivos presentes en la granja.

Zonas	Área (ha)
Aguacate	0.204634
Arveja	0.045803
Barbecho	0.073292
Bosque	13.713122
Café	0.040122
Caminos peatonales	0.05872
Caña	0.265873
Chirimoya	0.323038
Edificaciones	0.126985
Frejol	0.233297
Higo	0.074994
Invernadero	0.105702
Limón	0.270162
Maíz	1.033764
Manzana	1.701626
Pitahaya	0.046127
Reservorio	0.402199
Tomate de árbol	0.076494
Vías externas	0.191638
Vías internas	0.754502
Yuca	0.033268
Zona de pasto no cultivado	8.832576
Zona en Rotación	0.577908
Zonas ornamentales	0.094513
<b>Total general</b>	<b>29.297841</b>

## 7.5 Validación de información cartográfica

Por medio de la utilización del NSSDA y siguiendo los parámetros establecidos por el Instituto Geográfico Militar, se han obtenido los siguientes resultados.

### 7.5.1 Validación planimétrica

El valor de RMSE en X de 0,003 indica que, en promedio, las coordenadas X estimadas difieren de las coordenadas reales en 0,003 unidades. Este valor está muy por debajo del error permitido de 0,25, lo que sugiere una alta precisión en la dirección horizontal. De manera similar, el RMSE en Y de 0,002 indica una excelente precisión en la dirección vertical.

El RMSE general de 0,004, siendo menor que el error permitido, indica una precisión general muy alta en el posicionamiento. Estos resultados sugieren que la planimetría tiene una alta calidad y que las coordenadas estimadas se ajustan muy bien a las coordenadas

reales. El nivel de precisión obtenido es mucho mayor que el error permitido de 0,25, lo que indica que el proceso de estimación de coordenadas es altamente confiable y preciso.

Tabla 9 Análisis de planimetría.

Ortofoto		Puntos levantados						
X	Y	X	Y	X-X	Y-Y	(X-X) <sup>2</sup>	(Y-Y) <sup>2</sup>	
1	753887.669	9694044.455	753887.669	9694044.454	0	0.001	0	1E-06
2	753881.422	9694059.719	753881.423	9694059.718	-0.001	0.001	1E-06	1E-06
3	753884.818	9694106.527	753884.818	9694106.528	0	-0.001	0	1E-06
4	753880.308	9694128.620	753880.310	9694128.622	-0.002	-0.002	4E-06	4E-06
5	753867.818	9694170.003	753867.819	9694170.004	-0.001	-0.001	1E-06	1E-06
6	753864.559	9694159.511	753864.562	9694159.513	-0.003	-0.002	9E-06	4E-06
7	753790.714	9694276.369	753790.716	9694276.368	-0.002	0.001	4E-06	1E-06
8	753845.373	9694319.682	753845.374	9694319.681	-0.001	0.001	1E-06	1E-06
9	753786.642	9694357.688	753786.649	9694357.688	-0.007	0	4.9E-05	0
10	753751.220	9694395.824	753751.221	9694395.825	-0.001	-0.001	1E-06	1E-06
11	753711.075	9694168.033	753711.075	9694168.034	0	-0.001	0	1E-06
12	753691.712	9694199.443	753691.712	9694199.444	0	-0.001	0	1E-06
13	753652.568	9694059.027	753652.568	9694059.025	0	0.002	0	4E-06
14	753668.255	9694057.746	753668.254	9694057.746	0.001	0	1E-06	0
15	753837.337	9694522.556	753837.336	9694522.557	0.001	-0.001	1E-06	1E-06
16	753748.835	9694564.082	753748.836	9694564.083	-0.001	-0.001	1E-06	1E-06
17	753904.466	9694544.174	753904.467	9694544.174	-0.001	0	1E-06	0
18	753770.035	9694892.837	753770.035	9694892.836	0	0.001	0	1E-06
19	753662.625	9694750.803	753662.627	9694750.803	-0.002	0	4E-06	0
20	753697.445	9694749.704	753697.446	9694749.704	-0.001	0	1E-06	0
Sumatoria						3.95E-06	1.2E-06	

Calculo del RMSE	
RMSE <sub>x</sub>	0.003895423
RMSE <sub>y</sub>	0.002147073
RSME	0.004447948
Calculo del NSSDA	
NSSDA (95%)	0.008717978

### 7.5.2 Validación altimétrica

El análisis de estos datos reveló que el 91% de los 150 puntos tomados están correctos y cumplen con la normativa del IGM; las vías tienen el menor RMSE (0,09), lo que sugiere una uniformidad en la altura a lo largo de estas áreas. Por otro lado, tanto el pasto no cultivado como el cultivo ocupado presentan un RMSE de 0,16, lo que indica cierta variabilidad en la altura, pero aún dentro del límite permitido por la normativa. Sin embargo, el cultivo desocupado muestra un RMSE ligeramente más alto, alcanzando 0,19, lo que sugiere una mayor variabilidad altitudinal en estas áreas.

Es importante destacar que la alta variabilidad en el bosque RMSE de 0,74 se debe principalmente a la densa cubierta boscosa que impide una visión clara del suelo desde el dron. Esta limitación tecnológica afecta la precisión de los datos altitudinales en estas áreas, ya que el dron no puede penetrar la densa vegetación para capturar la altura del suelo.



Dado este escenario, es crucial interpretar estos resultados de manera adecuada. Aunque el RMSE en el bosque es alto, no necesariamente indica una variabilidad significativa en la altura del suelo, sino más bien una limitación en la capacidad del dron para medir con precisión debido a la cubierta forestal.

El principio básico de la operación de los drones para la obtención de datos topográficos se basa en la captura de imágenes desde una perspectiva aérea y la posterior generación de modelos digitales de terreno (MDT) o modelos de superficie digital (MSD). Sin embargo, en áreas boscosas densas, la precisión de estos modelos se ve comprometida debido a la incapacidad del dron para penetrar la cobertura vegetal y capturar la altura real del suelo.

Estudios previos respaldan esta observación. Por ejemplo, Reitberger et al., 2009 encontraron que la densidad de la vegetación influye significativamente en la precisión de los MDT generados por datos de LiDAR, con una disminución en la precisión en áreas con cobertura vegetal densa. Okegbola & Okafor, 2020 demostraron que la precisión de los MDT generados por drones disminuye en áreas con alta cobertura vegetal, especialmente en bosques densos.

Esta limitación tecnológica afecta la precisión de los datos altitudinales en áreas boscosas, como se evidencia en el RMSE de 0,74 observado en el bosque de la granja; aunque el RMSE indica una alta variabilidad altitudinal, en realidad refleja una incapacidad del dron para medir con precisión la altura del suelo debajo de la cobertura forestal, se pueden explorar otras técnicas de captura de datos, como el uso de sensores más avanzados, como LiDAR o sistemas de mapeo con láser, que pueden penetrar la cobertura vegetal y proporcionar mediciones más precisas del terreno Becker et al., 2017. Además, el empleo de técnicas de procesamiento de imágenes y modelos de predicción específicos para entornos boscosos puede ayudar a mejorar la precisión de los datos obtenidos por drones en áreas con densa vegetación.

## Vías

Tabla 10 Análisis de altimetría para vías

Codigo	Altura de puntos de validacion	Altura de MDT	Diferencia en Z	Cumplimiento de la norma	(Z-Z) <sup>2</sup>	
V	2190.799	2190.91	0.111	1	-1094.344	Calculo del RMSE
V	2190.418	2190.52	0.102	1	-1094.158	RMSEz 0.09995566
V	2190.924	2191.01	0.086	1	-1094.419	Calculo del NSSDA
V	2196.892	2196.95	0.058	1	-1097.417	NSSDA (95%) 0.19591309
V	2205.284	2205.4	0.116	1	-1101.584	
V	2214.495	2214.55	0.055	1	-1106.22	
V	2223.366	2223.24	-0.126	1	-1110.746	
V	2232.492	2232.43	-0.062	1	-1115.277	
V	2241.924	2241.8	-0.124	1	-1120.024	
V	2248.833	2248.68	-0.153	1	-1123.493	
V	2257.929	2257.81	-0.119	1	-1128.024	
V	2167.462	2167.38	-0.082	1	-1082.772	
V	2188.97	2189.1	0.13	1	-1093.42	
V	2363.315	2363.42	0.105	1	-1180.605	
V	2356.701	2356.73	0.029	1	-1177.336	
V	2351.639	2351.66	0.021	1	-1174.809	
V	2346.264	2346.34	0.076	1	-1172.094	
V	2350.621	2350.83	0.209	1	-1174.206	
V	2331.409	2331.43	0.021	1	-1164.694	
V	2314.245	2314.43	0.185	1	-1156.03	
V	2312.528	2312.65	0.122	1	-1155.203	
V	2305.612	2305.64	0.028	1	-1151.792	
V	2295.242	2295.21	-0.032	1	-1146.637	
V	2288.628	2288.63	0.002	1	-1143.313	
V	2281.624	2281.52	-0.104	1	-1139.864	
V	2274.374	2274.36	-0.014	1	-1136.194	
V	2273.671	2273.69	0.019	1	-1135.826	
V	2271.677	2271.82	0.143	1	-1134.767	
V	2259.937	2259.85	-0.087	1	-1129.012	
V	2266.261	2266.23	-0.031	1	-1132.146	
Sumatoria				30	0.00999113	

Pasto no cultivado

Tabla 11 Análisis de altimetría para pastos no cultivados.

Codigo	Altura de puntos de validacion	Altura de MDT	Diferencia en Z	Cumplimiento de la norma	(Z-Z) <sup>2</sup>	
PNC	2221.729	2221.81	0.081	1	0.006561	
PNC	2209.071	2209.03	-0.041	1	0.001681	
PNC	2206.319	2206.49	0.171	1	0.029241	
PNC	2213.258	2213.25	-0.008	1	6.4E-05	
PNC	2206.212	2206.44	0.228	1	0.051984	
PNC	2203.15	2203.27	0.12	1	0.0144	
PNC	2190.385	2190.65	0.265	0	0.070225	
PNC	2252.018	2252	-0.018	1	0.000324	
PNC	2254.02	2254.16	0.14	1	0.0196	
PNC	2299.622	2299.81	0.188	1	0.035344	
PNC	2194.911	2195.02	0.109	1	0.011881	
PNC	2182.488	2182.7	0.212	1	0.044944	
PNC	2167.956	2168.18	0.224	1	0.050176	
PNC	2168.389	2168.63	0.241	1	0.058081	
PNC	2171.716	2171.81	0.094	1	0.008836	
PNC	2164.178	2164.17	-0.008	1	6.4E-05	
PNC	2161.561	2161.53	-0.031	1	0.000961	
PNC	2179.388	2179.6	0.212	1	0.044944	
PNC	2188.988	2189	0.012	1	0.000144	
PNC	2194.903	2195.17	0.267	0	0.071289	
PNC	2192.817	2193.03	0.213	1	0.045369	
PNC	2195.958	2196.12	0.162	1	0.026244	
PNC	2203.945	2204.13	0.185	1	0.034225	
PNC	2273.673	2273.69	0.017	1	0.000289	
PNC	2256.96	2256.96	0	1	0	
PNC	2247.819	2247.91	0.091	1	0.008281	
PNC	2244.459	2244.62	0.161	1	0.025921	
PNC	2243.17	2243.45	0.28	0	0.0784	
PNC	2234.258	2234.38	0.122	1	0.014884	
PNC	2230.807	2230.89	0.083	1	0.006889	
PNC	2235.559	2235.75	0.191	1	0.036481	
Sumatoria				28	0.02573313	

Calculo del RMSE	
RMSEz	0.16041549
Calculo del NSSDA	
NSSDA (95%)	0.31441436

### Cultivo ocupado

Tabla 12 Análisis de altimetría para cultivos ocupados.

Codigo	Altura de puntos de validacion	Altura de MDT	Diferencia en Z	Cumplimiento de la norma	(Z-Z) <sup>2</sup>
CO	2226.034	2225.98	-0.054	1	0.002916
CO	2210.736	2211.19	0.454	0	0.206116
CO	2206.987	2207.01	0.023	1	0.000529
CO	2205.526	2205.74	0.214	1	0.045796
CO	2203.802	2203.94	0.138	1	0.019044
CO	2199.642	2199.78	0.138	1	0.019044
CO	2195.766	2195.89	0.124	1	0.015376
CO	2197.42	2197.5	0.08	1	0.0064
CO	2192.059	2192.06	0.001	1	1E-06
CO	2247.168	2247.2	0.032	1	0.001024
CO	2240.505	2240.48	-0.025	1	0.000625
CO	2231.934	2231.84	-0.094	1	0.008836
CO	2240.288	2240.22	-0.068	1	0.004624
CO	2186.455	2186.49	0.035	1	0.001225
CO	2179.98	2180.03	0.05	1	0.0025
CO	2170.808	2170.8	-0.008	1	6.4E-05
CO	2165.054	2164.98	-0.074	1	0.005476
CO	2166.994	2167.21	0.216	1	0.046656
CO	2168.982	2169.13	0.148	1	0.021904
CO	2170.177	2170.47	0.293	0	0.085849
CO	2164.895	2165.02	0.125	1	0.015625
CO	2162.775	2162.95	0.175	1	0.030625
CO	2185.855	2186.02	0.165	1	0.027225
CO	2195.869	2196.09	0.221	1	0.048841
CO	2193.235	2193.49	0.255	1	0.065025
CO	2203.813	2204.06	0.247	1	0.061009
CO	2239.793	2239.89	0.097	1	0.009409
CO	2238.623	2238.66	0.037	1	0.001369
CO	2240.413	2240.49	0.077	1	0.005929
Sumatoria				27	0.02617455

Calculo del RMSE	
RMSEz	0.16178551
Calculo del NSSDA	
NSSDA (95%)	0.3170996

### Cultivo desocupado

Tabla 13 Análisis de altimetría para cultivos desocupados.

Codigo	Altura de puntos de validacion	Altura de MDT	Diferencia en Z	Cumplimiento de la norma	(Z-Z)2
CD	2206.663	2206.86	0.197	1	0.038809
CD	2190.252	2190.33	0.078	1	0.006084
CD	2190.038	2190.27	0.232	1	0.053824
CD	2190.834	2191.05	0.216	1	0.046656
CD	2169.883	2169.95	0.067	1	0.004489
CD	2167.873	2167.88	0.007	1	4.9E-05
CD	2166.936	2166.92	-0.016	1	0.000256
CD	2170.613	2170.86	0.247	1	0.061009
CD	2176.003	2176.1	0.097	1	0.009409
CD	2180.669	2180.77	0.101	1	0.010201
CD	2181.819	2181.95	0.131	1	0.017161
CD	2190.429	2190.59	0.161	1	0.025921
CD	2191.348	2191.57	0.222	1	0.049284
CD	2192.905	2193.1	0.195	1	0.038025
CD	2196.991	2196.66	-0.331	0	0.109561
CD	2199.445	2199.65	0.205	1	0.042025
CD	2205.658	2206.16	0.502	0	0.252004
CD	2207.816	2207.97	0.154	1	0.023716
CD	2212.94	2213.11	0.17	1	0.0289
CD	2196.173	2196.18	0.007	1	4.9E-05
CD	2201.495	2201.65	0.155	1	0.024025
CD	2201.124	2201.19	0.066	1	0.004356
CD	2200.946	2201.04	0.094	1	0.008836
CD	2202.987	2203.17	0.183	1	0.033489
CD	2202.416	2202.63	0.214	1	0.045796
CD	2203.96	2204.17	0.21	1	0.0441
Sumatoria				24	0.03761669

Calculo del RMSE	
RMSEz	0.19395023
Calculo del NSSDA	
NSSDA (95%)	0.38014245

## Bosque

Tabla 14 Análisis de altimetría para bosque

Codigo	Altura de puntos de validacion	Altura de MDT	Diferencia en Z	Cumplimiento de la norma	(Z-Z)2
B	2255.616	2255.59	-0.026	1	0.000676
B	2261.63	2261.61	-0.02	1	0.0004
B	2253.168	2252.96	-0.208	1	0.043264
B	2255.57	2255.8	0.23	1	0.0529
B	2246.991	2247.09	0.099	1	0.009801
B	2236.486	2236.55	0.064	1	0.004096
B	2227.508	2227.4	-0.108	1	0.011664
B	2240.214	2240.11	-0.104	1	0.010816
B	2250.368	2249.65	-0.718	0	0.515524
B	2263.139	2263.33	0.191	1	0.036481
B	2260.88	2259.41	-1.47	0	2.1609
B	2269.671	2269.92	0.249	1	0.062001
B	2276.549	2276.56	0.011	1	0.000121
B	2295.974	2296.14	0.166	1	0.027556
B	2298.247	2298.46	0.213	1	0.045369
B	2299.309	2299.54	0.231	1	0.053361
B	2287.778	2287.9	0.122	1	0.014884
B	2245.94	2246.07	0.13	1	0.0169
B	2208.782	2207.81	-0.972	0	0.944784
B	2213.393	2213.55	0.157	1	0.024649
B	2362.188	2364.75	2.562	0	6.563844
B	2341.011	2340.82	-0.191	1	0.036481
B	2328.18	2327.99	-0.19	1	0.0361
B	2321.103	2321.12	0.017	1	0.000289
B	2297.661	2297.79	0.129	1	0.016641
B	2297.329	2299.51	2.181	0	4.756761
B	2264.362	2264.36	-0.002	1	4E-06
B	2290.083	2290.28	0.197	1	0.038809
B	2279.454	2278.57	-0.884	0	0.781456
<b>Sumatoria</b>				<b>23</b>	<b>0.5609149</b>

Calculo del RMSE	
RMSEz	0.74894252
Calculo del NSSDA	
NSSDA (95%)	1.46792734

## 7.6 Costos y comparación de costos del levantamiento

En la siguiente tabla 15 se detallan los costos del levantamiento cartográfico de la granja El Romeral.

Tabla 15 Cálculo de costos del levantamiento aerofotogramétrico con RPAS para la granja El Romeral.

Rubros levantamiento				
MOJÓN				
Detalle	Cantidad	Unidades	C/u	Total
Cemento	1	Saco	8	8
Ripio	0.5	m2	2	1



<b>Arena</b>	0.5	m2	2	1
<b>Varilla</b>	1	m2	1,50	1,50
<b>Tablas</b>	1	m2	2,80	2,80
<b>Vigas</b>	6	m2	7	42
<b>Clavos 1"</b>	0.5	lb	2	1
			Subtotal	57,30
<b>LONAS</b>				
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>C/u</b>	<b>Total</b>
<b>Lonas vinílicas front</b>	22	m	3	66
<b>Pintura látex vinil acrílico</b>	0.5	galones	40	20
<b>Ojales de banner</b>	4	und	0.5	2
<b>Clavos 10"</b>	3	Lb	3.5	10.5
<b>Clavos 7"</b>	2	Lb	3	6
<b>Spray Rojo metálico</b>	2	und	2	4
			Subtotal	108.5

EQUIPOS (Alquiler)				
Detalle	Cantidad	Unidades	C/u	Total
Dron Autel Evo II pro	1	Dia	300	300
GPS GNSS Emplid reach Rs2	5	Dia	40	200
GPS GNSS T300 plus	1	Dia	40	40
Celular	5	Dia	50	250
Computador	3	Dia	200	600
Compresor de aire	1	Dia	30	30
			Subtotal	1420
TRANSPORTE Y ALIMENTACIÓN				
Detalle	Cantidad	Unidades	C/u	Total
Transporte	7	Días	20	140
Alimentación	7	Días	10	70
			Subtotal	210
MANO DE OBRA				

Detalle	Cantidad	Unidades	C/u	Total
Trabajador 1	30	Días	10	300
Trabajador 2	30	Días	10	300
			Subtotal	600
			TOTAL	2395.80

El presupuesto se basa principalmente en el costo del alquiler del dron y los días de trabajo necesarios para llevar a cabo el vuelo planificado. Con un costo total de \$2395.80 y un área de 35 hectáreas en la granja El Romeral, el costo por hectárea para realizar el levantamiento cartográfico en el predio se estima en aproximadamente \$68.45.

En la tabla 16 se presentan los presupuestos de diferentes empresas privadas para el levantamiento de la granja El Romeral.

*Tabla 16 Sondeo de costos del levantamiento aerofotogramétrico con RPAS para la granja El Romeral*

# Cotización	Precio por hectárea	Precio total
Adinova Studio	224, 29	7850
Ing. civil	68,34	2392
Serv topografía	30,00	1207,50
Arq. Ricardo Galarza	85,00	2965
EQUILIBRIO PROYECTOS E INMOBILIARIA	264,00	9240,25

Nota: En el Anexo F se presenta la solicitud de cotización enviada a las diferentes empresas, mientras que en el Anexo G se muestra uno de los presupuestos proporcionados por una de las empresas

El presupuesto se basa principalmente en el costo total y el costo por hectárea. Los datos revelan una amplia disparidad en los costos de los levantamientos aerofotogramétricos con RPAS para la granja El Romeral. Mientras que algunas empresas ofrecen precios más accesibles, otras presentan tarifas considerablemente más altas. Este análisis resalta la importancia de evaluar cuidadosamente las opciones disponibles para optimizar el presupuesto del proyecto.

#### 7.7. Publicación de productos en plataforma digital.

En la tabla 17 se presentan los mapas junto con sus descripciones y los respectivos enlaces URL, que dirigen a la plataforma de ArcGIS, donde se han publicado dichos productos.

*Tabla 17 Enlaces URL de los productos publicados.*

Nombre	Descripción	Mapa	URL
webmap_topo_1	MDT Modelo digital de elevación de la granja El Romeral, para poder subir la información en formato de mapa web se usó el sistema WGS 1984 Web Mercator (auxiliary sphere)	MDT, El Romeral, Granja	<a href="https://arcg.is/0e5Cza1">https://arcg.is/0e5Cza1</a>
webmap_topo_2	MDS Modelo digital de superficie de la granja El Romeral, para poder subir la información en formato de mapa web se usó el sistema WGS 1984	MDS, El Romeral, Granja	<a href="https://arcg.is/1Gv1982">https://arcg.is/1Gv1982</a>

	Web Mercator (auxiliary sphere)		
webmap_topo_3	CN  Curvas de nivel de la granja El Romeral (1 m entre cada curva), para poder subir la información en formato de mapa web se usó el sistema WGS 1984 Web Mercator (auxiliary sphere)	Curvado, El Romeral, Curvas de nivel	<a href="https://arcg.is/10fKa1">https://arcg.is/10fKa1</a>
webmap_topo_4	Mapa de sectores de la granja El Romeral, creado con el conocimiento de los directores y trabajadores de la granja, para poder subir la información en formato de mapa web se uso el sistema WGS 1984 Web Mercator (auxiliary sphere)	El Romeral, Sectores, Zonas	<a href="https://arcg.is/zaXDO">https://arcg.is/zaXDO</a>



webmap_topo_5	Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo de la granja El Romeral, entre las principales áreas tenemos los cultivos y las edificaciones, para poder subir la información en formato de mapa web se usó el sistema WGS 1984 Web Mercator (auxiliary sphere)	El Romeral, Cultivos, Cobertura	<a href="https://arcg.is/150441">https://arcg.is/150441</a>
webmap_foto_1	Ortofoto de la granja El Romeral, para poder subir la información en formato de mapa web se usó el sistema WGS 1984 Web Mercator (auxiliary sphere)	Ortofoto, El Romeral, Granja	<a href="https://arcg.is/05eqnW2">https://arcg.is/05eqnW2</a>

Nota: Los productos resultantes fueron procesados en ArcGIS Pro para su posterior publicación.

## 8 Conclusiones.

En esta investigación, se ha abordado el desafío de generar cartografía básica detallada mediante un levantamiento aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS). El objetivo general de este estudio fue alcanzado exitosamente al lograr la producción de cartografía a una escala de 1:1000, con un tamaño de píxel de 4,68 cm/px. Sin embargo, cabe destacar que se enfrentaron desafíos significativos al utilizar este sistema en áreas boscosas, lo que afectó la calidad y la cobertura de los datos en nuestro estudio.

Los objetivos específicos trazados fueron igualmente cumplidos con éxito. Se generó una variedad de productos cartográficos, incluyendo modelo digital de superficie y terreno, ortofotomosaico, digitalización planimétrica, curvas de nivel y una red de drenajes para la zona de estudio. Estos productos no solo cumplen con los estándares de calidad

requeridos, sino que también proporcionan información geoespacial valiosa para futuros análisis y aplicaciones en diversas disciplinas.

Asimismo, se llevó a cabo una estimación detallada de los costos asociados con el levantamiento aerofotogramétrico, lo que resulta fundamental para la planificación y gestión de proyectos similares en el futuro. La comparación de precios con empresas privadas reveló una disparidad significativa en los costos, destacando la importancia de una evaluación minuciosa al seleccionar proveedores de servicios de cartografía.

Finalmente, se ha dado un paso crucial al publicar los productos obtenidos en una plataforma digital accesible. Esto no solo garantiza la disponibilidad y accesibilidad de los datos generados, sino que también promueve la colaboración interdisciplinaria y el intercambio de conocimientos entre la comunidad científica y profesional.

## **9 Recomendaciones.**

Para futuras investigaciones, se sugiere lo siguiente:

- Es esencial estar al tanto de las normativas y regulaciones emitidas por el IGM, como autoridad rectora de la cartografía, al realizar un levantamiento aerofotogramétrico con RPAS.
- La planificación del vuelo adquiere una importancia primordial, ya que durante esta etapa se establecen los parámetros técnicos fundamentales, como la altura de vuelo y el tamaño de píxel. Este último aspecto es crucial para garantizar que la información capturada tenga la resolución necesaria para alcanzar la escala de 1:1000.
- Evitar el uso de colores brillantes al confeccionar las lonas fotoidentificables, ya que estos pueden reflejar la luz solar y causar un deslumbramiento que dificultará la identificación de la lona en las fotografías. En su lugar, se recomienda utilizar colores mate no reflectantes, lo que facilitará la tarea de localizar la lona en las imágenes posteriormente.
- Es fundamental tener en cuenta la autonomía de la batería del dron al planificar el levantamiento, con el fin de evitar situaciones en las que el dron se quede sin batería en pleno vuelo y quede varado en un lugar desconocido, corriendo el riesgo de perderse o sufrir daños.

## Referencias

- Alegre, P. (2021). *AERONAUTICAL DESIGN OF A CONVERTIBLE VTOL UNMANNED AERIAL VEHICLE*.
- Almagro, A. (2004). *Levantamiento arquitectónico*. Universidad de Granada.
- AUTEL, R. (2022). *EVO II Pro V3 EVO II Pro V3 EVO II Pro V3 EVO II Pro V3 EVO II Pro V3 User Manual User Manual User Manual User Manual User Manual*.
- Azmi, S. M., Ahmad, B., & Ahmad, A. (2014). Accuracy assessment of topographic mapping using UAV image integrated with satellite images. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 18(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012015>
- Becker, C., Häni, N., Rosinskaya, E., D'Angelo, E., & Strecha, C. (2017). CLASSIFICATION of AERIAL PHOTOGRAMMETRIC 3D POINT CLOUDS. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(1W1), 3–10. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-1-W1-3-2017>
- Bedoya, A. (2020). *LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR AÉREO Y COMPLEMENTARIOS PARA FACTIBILIDAD, ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA AMPLIACIÓN DE LA VÍA QUE CONDUCE AL MUNICIPIO LA CALERA*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Blanquer, G., Manuel, J., Ramón, M. (2010). *SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS*.
- Christiansen, M. P., Laursen, M. S., Jørgensen, R. N., Skovsen, S., & Gislum, R. (2017). Designing and testing a UAV mapping system for agricultural field surveying. *Sensors (Switzerland)*, 17(12). <https://doi.org/10.3390/s17122703>
- Chu, P. H., Huang, Y. T., Pi, C. H., & Cheng, S. (2022). Autonomous Landing System of a VTOL UAV on an Upward Docking Station Using Visual Servoing. *IFAC-PapersOnLine*, 55(27), 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.496>
- Claros, R., Guevara, A., & Pacas, N. (2016). Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados (tesis de pregrado). San Miguel-El Salvador: Universidad del Salvador.

- Cuerno-Rejado, C., García-Hernández, L., Sánchez-Carmona, A., Carrió, A., Sanchez-Lopez, J. L., & Campoy, P. (2016). Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad. *Dyna (Spain)*, 91(3), 332. <https://doi.org/10.6036/7781>
- Dávila, A. (2006). *LA CARTOGRAFÍA TEMÁTICA*. IGM.
- Dávila, P., Orna, J., Rosales, A., Ávalos, E. (2017). Diseño, construcción de la estructura mecánica y pruebas de vuelo de un hexacóptero de monitoreo para aplicaciones militares. *Revista Politécnica*, 39, 37–39.
- de Haas, T., Nijland, W., McArdell, B. W., & Kalthof, M. W. M. L. (2021). Case Report: Optimization of Topographic Change Detection With UAV Structure-From-Motion Photogrammetry Through Survey Co-Alignment. *Frontiers in Remote Sensing*, 2. <https://doi.org/10.3389/frsen.2021.626810>
- Dirección General de Aviación Civil. (2020). *Resolución DGAC-DGAC-2020-0110-r*.
- Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. (2018). Estereoscopia y Fotogrametría. *ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía*.
- Dominguez, J. (2000). *Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. <https://www.researchgate.net/publication/237467702>
- Domínguez, S. (2023). *Planificación de vuelo fotogramétrico ¿Qué es y cómo se hace?*
- Erney, J., & Ramirez, C. (2021). *EL DRON MÉTODO DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MÁS EFICAZ PARA EL MUNICIPIO DE VILLANUEVA DEPARTAMENTO DEL CASANARE COLOMBIA THE DRONE METHOD OF TOPOGRAPHIC SURVEY MORE EFFECTIVE FOR THE MUNICIPALITY OF VILLANUEVA DEPARTMENT OF CASANARE COLOMBIA*.
- Escalante, J., Cáceres, J., & Porras, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Revista Tecnura*, 119–140.
- ESRI. (2021). *Qué son los sistemas de coordenadas proyectadas—ArcMap*.
- Fallas, J. (2003). *CONCEPTOS BÁSICOS DE CARTOGRAFÍA*. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre y Escuela de Ciencias Ambientales.
- Flores, Y. G., Arias Gómez, I., & Alfaro, M. P. (2020). LA HOMOTECIA: ANÁLISIS CONCEPTUAL Y ANÁLISIS DE CONTENIDO. *CLAME*, 33.

- Fuentes, J. E., Bolaños, A., & Rozo, D. M. (2012). MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE IKONOS PARA EL ANÁLISIS DE ÁREAS DE INUNDACIÓN EN SANTA MARTA, COLOMBIA. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 41(2), 251–266.
- Fuentes, R. (2017). *TEXTO BÁSICO DE INTRODUCCIÓN A LA GEOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA.
- Galimov, M., Fedorenko, R., & Klimchik, A. (2020). UAV positioning mechanisms in landing stations: Classification and engineering design review. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 20, Issue 13, pp. 1–31). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s20133648>
- García, M. (2015). *ESTUDIO Y VIABILIDAD DE LA ORIENTACIÓN EXTERNA DIRECTA EN LEVANTAMIENTOS FOTOGRAMÉTRICOS DE OBJETO CERCAÑO*.
- García-González, J. A. (2022). From topology to geometry: Implementing mental maps into Geographic Information Systems. *Cuadernos Geográficos*, 61(2), 88–107. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v61i2.22859>
- Hernandez, L., Ortiz, G., Sorcia, D., & Rumbo, M. (2023). Uso de Vehículos Aéreos no Tripulados para aplicaciones de Agricultura de Precisión. *SEXTO SEMINARIO DE INGENIERÍAS ENTRE CUERPOS ACADÉMICOS (SEGUNDA EDICIÓN)*, 2, 113–120. <https://www.researchgate.net/publication/369472205>
- IGM. (2006). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA TOPOGRÁFICA A CUALQUIER ESCALA. (PRIMER BORRADOR)*.
- IGN. (2014). *Conceptos Cartográficos*. Gobierno de España . Ministerio de Fomento.
- Instituto Geográfico Nacional. (2010). *MANUAL DE SIGNOS CARTOGRÁFICOS*. [www.ign.gob.ar](http://www.ign.gob.ar).
- Jauregui, L. (2010). *Introducción a la topografía*.
- Koci, J., Jarihani, B., Leon, J. X., Sidle, R. C., Wilkinson, S. N., & Bartley, R. (2017). Assessment of UAV and ground-based structure from motion with multi-view stereo photogrammetry in a gullied savanna catchment. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11). <https://doi.org/10.3390/ijgi6110328>
- 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*

- Le, C. Van, Cao, C. X., & Le, H. T. T. (2020). Research on optimal takeoff positions of UAV integrated GNSS - RTK in producing large scale topological maps for open - pit mines. *Journal of Mining and Earth Sciences*, 61(5), 54–63. [https://doi.org/10.46326/JMES.2020.61\(5\).06](https://doi.org/10.46326/JMES.2020.61(5).06)
- León-Pazmiño, F., & Narváez-Benalcázar, R. (2017). Geoportal al servicio de la educación en Ecuador: GEOEDUCA. *Revista Cartográfica*, 171–177.
- Limaico Terán, E. (2022). *ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS DE LOS EQUIPOS GPS Y GNSS CON CORRECCIÓN DIFERENCIAL RTK Y NTRIP CON FINES CATASTRALES EN EL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE URCUQUÍ*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- Luna, J. (2009). *Fotogrametría Digital I*.
- MAGAP. (2013). Generación de Geoinformación para la gestión del territorio nacional escala 1:25000. SNI, 1-125.
- Mancera-Taboada, J., Rodriguez-Gonzalvez, P., Gonzalez-Aguilera, D., Arias-Perez, B., Hernandez-Lopez, D., & Felipe-Garcia, B. (2012). From Point Clouds to 3D City Models: The Case Study of Villalba (Madrid). *GEOProcessing 2012: The Fourth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services*.
- Marques, A. J., De, M., Bueno, L., & Galo, T. (2009). *ESCALA GEOGRÁFICA E ESCALA CARTOGRÁFICA: DISTINÇÃO NECESSÁRIA* *Geographical scale and cartographical scale: necessary distinction*.
- Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., & Carvajal-Ramírez, F. (2023). Accuracy assessment of RTK/PPK UAV-photogrammetry projects using differential corrections from multiple GNSS fixed base stations. *Geocarto International*, 38(1). <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2197507>
- Ministerio. (2009). *LEY DE CARTOGRAFÍA NACIONAL*. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Okegbola, M. O., & Okafor, S. (2020). GEOMETRIC ACCURACY ASSESSMENT OF UAS-BASED ORTHOPHOTOS AND GNSS OBSERVATIONS USING RTK MODE. *Article in Global Journal of Engineering Science and Research Management*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3895574>



- Ortiz, D., & Hernández, F. (2019). Analysis of the influence of terrestrial control points in the positional accuracy of orthophotomosaics generated by means of a photogrammetric flight made by an unmanned aerial vehicle (VANT). *Revista de Topografía Azimut*, 10. <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/azimut>
- Pachas, R. (2009). *EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO: USO DEL GPS Y ESTACIÓN TOTAL*. *Surveying: Use of GPS and Total Station* (Issue 16).
- Pérez, J. A. (2001). *Apuntes de Fotogrametría*.
- Pérez, J. A., Gonçalves, G. R., & Galván, J. M. (2022). Comparative analysis of the land survey using UAS and classical topography in road layout projects. *Informes de La Construcción*, 74(565). <https://doi.org/10.3989/ic.86273>
- Pino V., E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica), ahead*, 0–0. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292019005000402>
- Pozuelo, F. (2013). Fundamentos de Fotogrametría. *Universidad de Catalunya*.
- Quirós, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. Universidad de Extremadura.
- Ramirez, E., Cruz, A., Lagunas, G., & Reyes, O. (2013). Uso de vehículos aéreos no tripulados para la caracterización del paisaje sumergido; Bahía Estacahuite. *Ciencia y Mar*, 51, 35–40. <https://www.researchgate.net/publication/311606524>
- Recio, J. A. (2009). Técnicas de extracción de características y clasificación de imágenes orientada a objetos aplicadas a la actualización de bases de datos de ocupación del suelo [Tesis doctoral]. Valencia-España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Reitberger, J., Schnörr, C., Krzystek, P., & Stilla, U. (2009). 3D segmentation of single trees exploiting full waveform LIDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6), 561–574. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.04.002>
- Rivera, P. J. (2017). *Evaluación de Método de Corrección Geométrica de Fotografía Aérea escala 1:1.000 capturada por vehículos aéreos no tripulados estableciendo una red Geodésica de cuarto orden*.
- Rodríguez, M. U., María, J., Moreno, A., Luis, F., & Sánchez, R. (2018). *UAVs para Aplicaciones Civiles*.
- Rosa, R. (2004). *CARTOGRAFIA BÁSICA*. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA.

- Rusillo, L. (2022). *PROCEDIMIENTOS DE PLANEAMIENTO, PROCESADO E INCORPORACIÓN DE DATOS OBTENIDOS MEDIANTE EQUIPOS USV Y RPAS A LA CADENA DE PRODUCCIÓN DEL INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA*. Universidad de Salamanca.
- Salamanca Céspedes, J. E. & P. C. J. N. (2008). 498850166010. *Ingeniería*, 13(1), 67–76.
- Sanz, A. C., & Wyttenbach, A. F. (2011). ¿Cartografía antigua o cartografía histórica? In *Estudios Geográficos* (Vol. 72, Issue 271, pp. 403–420). <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201115>
- Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J. H., Rodríguez-Pérez, 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). <https://doi.org/10.3390/rs10101606>
- Sergio, I., & Hudiel, J. N. (2008). *Manual de Topografía-Planimetría 2008*.
- Simon L., M., Mads, D., Morten S., L., & Rasmus N., J. (2017). RoboWeedSupport-Semi-Automated Unmanned Aerial System for Cost Efficient High Resolution in Sub-Millimeter Scale Acquisition of Weed Images. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 11, 835–839.
- Soria, M. (2014). *METODOLOGÍA PARA EJECUCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD PARA ORTOFOTOS, MEDIANTE COMBINACIÓN DE SENSOR DIGITAL CON LIDAR EN ZONAS RURALES*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- Tacca, H. (2015). Comparación de Resultados Obtenidos de un Levantamiento Topográfico Utilizando la Fotogrametría con drones al Método Tradicional (tesis de pregrado). Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Tacuri, E., Lupercio, L., Lupercio, G., & López, M. (2017). USO DE IMÁGENES DE RPAS PARA GENERACIÓN DE TOPOGRAFÍA A DETALLE USE OF RPAS IMAGES FOR THE GENERATION OF DETAILED TOPOGRAPHY. *Revista GEOESPACIAL*, 14(1), 32–42.
- Ticona; Gabriel. (2023). *LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO GEORREFERENCIADO A TRAVÉS DE TECNOLOGÍA UAV EN LA CIUDAD DE EL ALTO-DISTRITO 3 DEPARTAMENTO DE LA PAZ (POLÍGONO A-5) PARA LA OBTENCIÓN DE UN ORTO-MOSAICO*".

- Tomás, R., Riquelme, A., & Cano, M. (2016). *Structure from Motion (SfM): una técnica fotogramétrica de bajo coste para la caracterización y monitoreo de macizos rocosos*. <https://www.researchgate.net/publication/309611177>
- Tong, X., Liu, X., Chen, P., Liu, S., Luan, K., Li, L., Liu, S., Liu, X., Xie, H., Jin, Y., & Hong, Z. (2015). Integration of UAV-based photogrammetry and terrestrial laser scanning for the three-dimensional mapping and monitoring of open-pit mine areas. *Remote Sensing*, 7(6), 6635–6662. <https://doi.org/10.3390/rs70606635>
- Varela, J. (2007). LA CARTOGRAFÍA HISTÓRICA. *La Cartografía Colombina y su Influencia En El Siglo XVI*, 21–30.
- Velasco, J., García-Nieto, S., Reynoso-Meza, G., & Sanchis, J. (2012). Desarrollo y evaluación de una estación de control de tierra para vehículos aéreos no tripulados. *XXXIII Jornadas de Automática.*, 451–456.
- Villar, F., Candelario, S., Díaz, J., & Clave, P. (2023). DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. ALGUNOS APORTES A LA ARQUEOLOGÍA DE CONTEXTOS. *COMECHINGONIA. Revista de Arqueología*, 27, 35–50.
- 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>
- Zárate, B. A., El Hamdouni, R., & Fernández, T. (2021). Gnss and rpas integration techniques for studying landslide dynamics: Application to the areas of victoria and colinas lojanas, (loja, ecuador). *Remote Sensing*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/rs13173496>

## Anexos

### Anexo A Monografía Hito Romeral-1



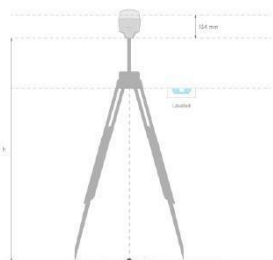
#### Ficha Romeral "1"

<b>Situación:</b>	
<b>Código.....:</b> JF-1	<b>Cantón...</b> Guachapala
<b>Nombre.....:</b> Romeral-1	<b>Provincia:</b> Azuay
<b>Medición...:</b> 14-feb-2024	
<b>Localización..:</b> Detrás de la casa principal de la granja, diagonal al chozon.	
<b>Construcción:</b> Estructura de Mojón de acuerdo a la normativa del IGM, con dimensiones en la base superior de 0,10 x 0,10 m, enterrado a nivel del suelo con una varilla sobresaliente del cemento que indica la ubicación física del punto.	

<b>Coordenadas:</b>	
<b>Latitud</b> 2°45'52,35607" S	<b>X.....:</b>
<b>Longitud</b> 78°42'59,02113" W.	<b>Y.....:</b>
<b>Altitud Elipsoidal:</b> 2264,928 m.	<b>Z.....:</b>
<b>Este UTM...:</b> 753881,692 m.	<b>Altitud sobre el nivel medio del mar:</b>
<b>Norte UTM...:</b> 9694188,393 m.	<b>Época de referencia:</b> 2024,2
<b>Altitud Ortométrica:</b> 2242,473 m.	
<b>Zona.....:</b> 17 Sur	

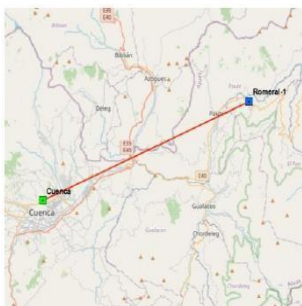
<b>Instrumentación:</b>	
<b>Receptor:</b> Emild RS2	<b>Altura:</b> 1,6112 m. (Altura vertical a la base del receptor )
<b>Antena:</b> Emild RS2	

Esquema antena



**Información Adicional :**

El hito Romeral-1 se levantó como parte del proyecto de titulación "Generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave piloteada a distancia". Estudio de caso: Granja El Romeral. De los estudiantes Brito Franklin y Tamayo Juan 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 El Romeral.



#### Observaciones:

El Hito Romeral-1 esta a 34,4 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 34,4 km, con un tiempo aproximado de toma de datos de 3 horas.

Para el post-procesamiento del punto en las alturas verticales de utilizo el modelo geoidal EGM 08



## Anexo B Monografía Hito Romeral-2



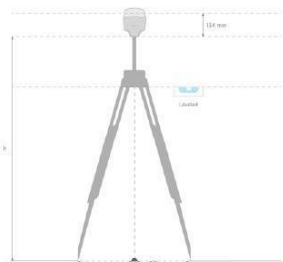
### Ficha Romeral-"2"

<b>Situación:</b>	
<b>Código.....:</b> JF-2	<b>Cantón...</b> Guachapala
<b>Nombre.....:</b> Romeral-2	<b>Provincia:</b> Azuay
<b>Medición...:</b> 14-feb-2024	
<b>Localización...:</b> Detrás de la laguna, frente al cultivo de café.	
<b>Construcción:</b> 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.	

<b>Coordenadas:</b>	
<b>Latitud</b> 2° 45' 41,48678" S.	<b>X.....:</b>
<b>Longitud</b> 78° 43' 01,36283" W.	<b>Y.....:</b>
<b>Altitud Elipsoidal:</b> 2215,746 m.	<b>Z.....:</b>
<b>Este UTM...:</b> 753809,978 m.	<b>Altitud sobre el nivel medio del mar:</b>
<b>Norte UTM...:</b> 9694522,524 m.	<b>Época de referencia:</b> 2024,2
<b>Altitud Ortométrica:</b> 2193,273 m.	
<b>Zona.....:</b> 17 Sur	

<b>Instrumentación:</b>	
<b>Receptor:</b> Emild RS2	<b>Altura:</b> 1,7042 m. (Altura vertical a la base del receptor)
<b>Antena:</b> Emild RS2	

Esquema antena



#### Información Adicional :

El hito Romeral-2 se levantó como parte del proyecto de titulación "Generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave pilotada a distancia". Estudio de caso: Granja El Romeral. De los estudiantes Brito Franklin y Tamayo Juan 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 El Romeral.



#### Observaciones:

El Hito Romeral-2 esta a 34,4 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 34,4 km, con un tiempo aproximado de toma de datos de 3 horas.

Para el post-procesamiento del punto en las alturas verticales de utilizo el modelo geoidal EGM 08



INSTITUTO  
GEOGRÁFICO  
MILITAR



## Ficha de Estación Permanente – REGME

abril-2023 Vers 5.0

### Situación:

Código..... **CUEC**  
Nombre..... **Cuenca**  
Código IERS: 42009M001  
Instalación...: 28-oct-2008

Cantón: Cuenca

Provincia: Azuay

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 forzoso (CF-IGM-v1) en el cual se encuentra la antena.

### Coordenadas ITRF2008:

Latitud.....: 2° 52' 59.8662" S  
Longitud.....: 79° 00' 08.9897" W  
Altitud elipsoidal: 2631.144 m.

X.....: 1215704.324 m.

Y.....: -6255712.179 m.

Z.....: -318818.890 m.

Este UTM.....: 722037.612 m.

Norte UTM.....: 9681111.691 m.

Zona.....: 17 Sur

Altitud sobre el nivel medio del mar:

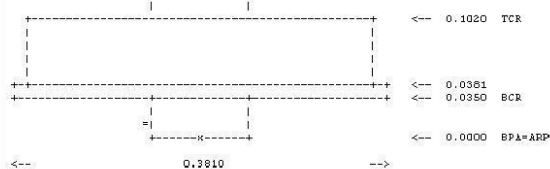
Época de referencia: 2016.4

### Instrumentación:

Receptor: TRIMBLE NET R9  
Antena: GNSS Choke w/SCIS Dome Altura: 0.0080 m. (BPA)  
Nombre RINEX: TRM59800.00 SCIS

TRM59800.00

### Esquema antena



### Información adicional:

Esta estación permanente pertenece a la REGME, y también a:

- Red SIRGAS Sistema de Referencia Geodésico para Las Américas:  
<https://sirgas.ipgh.org/>

Disponibles datos diarios crudos a 1 segundo y RINEX a 30 segundos:  
<http://www.geoportaligm.gob.ec/geodesia/>

Para registro de usuarios REGME y descarga de datos:

<https://www.geoportaligm.gob.ec/downloads/public/>

Servicio posicionamiento tiempo real REGME-IP NTRIP:

Principal: <http://regme-ip.igm.gob.ec:2101>

Backup: <http://regme-ip.espoch.ec:2101>

Para registro de usuarios y credenciales del servicio NTRIP:

<https://www.geoportaligm.gob.ec/ntrip/public/register>

E-mail de contacto IGM: [proceso.geodesia@geograficomilitar.gob.ec](mailto:proceso.geodesia@geograficomilitar.gob.ec)



### Observaciones:

Disponible log file:  
<https://sirgas.ipgh.org/red-gnss/estaciones/log-files/>

Visor geográfico REGME:  
<https://www.geoportaligm.gob.ec/geodesia/>

Visor geográfico REGME-IP NTRIP:  
<https://www.geoportaligm.gob.ec/ntrip/public/visor>



## CUEC - Hito1choza (10:15:51-13:20:50) (S1)

Baseline observation:	CUEC --- Hito1choza (B1)
Processed:	15/2/2024 12:28:03
Solution type:	Fixed
Frequency used:	Dual Frequency (L1, L2)
Horizontal precision:	0,009 m
Vertical precision:	0,036 m
RMS:	0,019 m
Maximum PDOP:	1,763
Ephemeris used:	Broadcast
Antenna model:	NGS Absolute
Processing start time:	14/2/2024 10:16:00 (Offset from GPS: -5hr)
Processing stop time:	14/2/2024 13:20:30 (Offset from GPS: -5hr)
Processing duration:	03:04:30
Processing interval:	1 Minute

## Vector Components (Mark to Mark)

From:	CUEC				
	Grid		Local		Global
Easting	722037,612 m	Latitude	S2°52'59,86621"	Latitude	S2°52'59,86621"
Northing	9681111,691 m	Longitude	W79°00'08,98970"	Longitude	W79°00'08,98970"
Elevation	2610,381 m	Height	2631,144 m	Height	2631,144 m
To:	Hito1choza				
	Grid		Local		Global
Easting	753881,692 m	Latitude	S2°45'52,35607"	Latitude	S2°45'52,35607"
Northing	9694188,393 m	Longitude	W78°42'59,02113"	Longitude	W78°42'59,02113"
Elevation	2242,473 m	Height	2264,928 m	Height	2264,928 m
Vector					
ΔEasting	31844,080 m	NS Fwd Azimuth	67°34'34"	ΔX	31277,229 m
ΔNorthing	13076,703 m	Ellipsoid Dist.	34414,096 m	ΔY	5872,521 m
ΔElevation	-367,908 m	ΔHeight	-366,216 m	ΔZ	13138,488 m

## CUEC - Hito2laguna (10:41:24-13:41:30) (S3)

Baseline observation:	CUEC --- Hito2laguna (B3)
Processed:	15/2/2024 12:27:52
Solution type:	Fixed
Frequency used:	Dual Frequency (L1, L2)
Horizontal precision:	0,009 m
Vertical precision:	0,041 m
RMS:	0,017 m
Maximum PDOP:	1,814
Ephemeris used:	Broadcast
Antenna model:	NGS Absolute
Processing start time:	14/2/2024 10:41:30 (Offset from GPS: -5hr)
Processing stop time:	14/2/2024 13:41:30 (Offset from GPS: -5hr)
Processing duration:	03:00:00
Processing interval:	1 Minute

## Vector Components (Mark to Mark)

From:	CUEC				
	Grid		Local		Global
Easting	722037,612 m	Latitude	S2°52'59,86621"	Latitude	S2°52'59,86621"
Northing	9681111,691 m	Longitude	W79°00'08,98970"	Longitude	W79°00'08,98970"
Elevation	2610,381 m	Height	2631,144 m	Height	2631,144 m

To:	Hito2laguna				
	Grid		Local		Global
Easting	753809,978 m	Latitude	S2°45'41,48678"	Latitude	S2°45'41,48678"
Northing	9694522,524 m	Longitude	W78°43'01,36283"	Longitude	W78°43'01,36283"
Elevation	2193,273 m	Height	2215,746 m	Height	2215,746 m

Vector					
ΔEasting	31772,367 m	NS Fwd Azimuth	67°01'03"	ΔX	31199,814 m
ΔNorthing	13410,833 m	Ellipsoid Dist.	34476,312 m	ΔY	5890,752 m
ΔElevation	-417,108 m	ΔHeight	-415,398 m	ΔZ	13474,448 m

## Anexo F Solicitud de cotización de levantamiento fotogramétrico para la Granja El Romeral

### SOLICITUD DE COTIZACION PARA PRODUCTOS FOTOGRAMETRICOS EN EL CANTON GUACHAPALA-AZUAY-ECUADOR EN UNA PROPIEDAD DE ALREDEDOR DE 35 HA.

#### A LA ATENCIÓN DE

NOMBRE	A quien corresponda.
DIRECCIÓN	

#### A LA ORDEN DE

NOMBRE	ING. JUAN TAMAYO
CONTACTO	CORREO ELECTRONICO: <a href="mailto:an1999ju99@gmail.com">an1999ju99@gmail.com</a> TELEFONO: 0995123001
NOMBRE	ING.FRANKLIN BRITO
CONTACTO	CORREO ELECTRONICO: <a href="mailto:franklin24981@gmail.com">franklin24981@gmail.com</a> TELEFONO: 0995387188

#### CON RESPECTO A

NOMBRE DEL PROYECTO	Levantamiento aerofotogrametrico de una propiedad de 35 ha.
LUGAR DE TRABAJO	Guachapala sector las Monjas a 45 km de la ciudad de Cuenca

#### A continuación se detalla las características técnicas del servicio solicitado

LEVANTAMIENTO AEROFOTOGRAFICO DE UNA PROPIEDAD DE 35 HA.
DETALLES
<p>LEVANTAMIENTO DE ALREDEDOR DE 35 HA DE UNA PROPIEDAD DE USO AGRÍCOLA:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CÁMARA CON SENSOR NO MENOR A 20 MEGAPÍXELES.</li> <li>- TAMAÑO DE PÍXEL EN ORTOFOTO NO MAYOR A 5 CM/PX.</li> <li>- MONUMENTACIÓN DE MÍNIMO 2 PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE, MOJÓN TIPO B (NO ES NECESARIA PLACA).</li> <li>- LOS PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE DEBEN SER PUNTOS ESTÁTICOS CON TIEMPOS DE PROCESAMIENTO NO MENORES A 3 HORAS EN LÍNEA BASE CON LA ANTENA DE MONITOREO CONTINUO DEL IGM UBICADO EN LA CIUDAD DE CUENCA.</li> <li>- UBICACIÓN DE MÍNIMO 17 PUNTOS DE CONTROL PARA POSTPROCESAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO (PUEDE SER RTK O ESTÁTICOS RÁPIDOS O ESTACIÓN TOTAL).</li> <li>- UBICACIÓN DE MÍNIMO 5 PUNTOS DE SUPERVISIÓN FOTOGRAMÉTRICA PARA POSTPROCESAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO (PUEDE SER RTK O ESTÁTICOS RÁPIDOS O ESTACIÓN TOTAL).</li> <li>- ESCALA 1:1000(PRECISION PLANIMETRICA INFERIOR A 0,25M Y EN PRECISION ALTIMETRICA INFERIOR A 0.30M)</li> <li>- PLAZO DE ENTREGA A PARTIR DE LA APOBACION DE LA ORDEN DE TRABAJO DE 15 DIAS.</li> </ul> <p>EL AREA LA PUEDE ENCONTRAR DE MANERA REFERENCIAL EN EL SIGUIENTE LINK: <a href="https://n9.cl/s5qsmr">https://n9.cl/s5qsmr</a></p>

PRODUCTOS ESPERADOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SET DE FOTOGRAFÍAS CRUDAS LEVANTADAS.</li> <li>- MÍNIMO 2 MONOGRAFÍAS DE LOS PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE.</li> <li>- MEMORIA TÉCNICA DE LOS PUNTOS DE CONTROL Y SUPERVISIÓN.</li> <li>- DATOS CRUDOS Y PROCESADOS DE LOS PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE Y PUNTOS DE SUPERVISIÓN.</li> <li>- ORTOFOTOMOSAICO EN FORMATO TIFF.</li> <li>- MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE EN FORMATO TIFF.</li> <li>- MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES EN FORMATO TIFF (FILTRADO BÁSICO/AUTOMATIZADO).</li> <li>- INFORME DE POSTPROCESAMIENTO NATIVO DEL SOFTWARE FOTOGRAMÉTRICO EMPLEADO.</li> </ul> <p>NOTA: LOS PRODUCTOS SERÁN ENTREGADOS EN FORMATO DIGITAL VÍA WEB O SE FACILITARÁN DISCOS DE ALMACENAMIENTO MASIVO PARA DICHA ENTREGA.</p>
---------------------	--

**NOTA:** SE SOLICITA ENTREGAR SU COTIZACION EN VALORES POR EL VALOR TOTAL Y POR HECTAREA.



**EQUILIBRIO PROYECTOS E INMOBILIARIA**  
Cuenca - Azuay - Ecuador  
0992095805  
equilibrioproyectos@hotmail.com  
www.equilibrioproyectos.com

**PRO-FORMA**  
**Fecha**  
3/5/2024  
**Nº de Pro-forma**  
000020

**Ciente**  
ING. JUAN TAMAYO  
0995123001  
an1999ju99@gmail.com

**Empresa**  

<Nombre>

<Dirección>

<Teléfono>

<Email>

CANT.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
35	Levantamiento Topográfico de terreno con RTK Kolida K7X Canales 170 (GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO, QZSS, IRNSS, L-BAND*) precisión H:±3MM+0.1PPM, Vertical ±3.5mm +0.4ppm	HA.	150.00	5,250.00
2	Monumentación de 2 puntos de control terrestres mojón Tipo B (se usará placa para mayor precisión)	UNIDAD	110.00	220.00
5	Ubicación 5 puntos de supervisión fotogramétrica para post-procesamiento fotogramétrico con estacas de madera con RTK Kolida K7X Canales 1760 (GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO, QZSS, IRNSS, L-BAND*) precisión: H:±3mm + 0.1ppm, Vertical ±3.5mm + .04ppm	UNIDAD	15.00	75.00
2	Monografía de los puntos de control que se construirán	UNIDAD	120.00	240.00
1	Memoria Técnica de los punos de control y supervisión	UNIDAD	120.00	120.00
1	USB con datos crudos y procesados de los puntos de control terrestre y los puntos de supervisión	UNIDAD	30.00	30.00
35	Informe de post-procesamiento, ortofotomosaico en formato tiff., modelo digital de superficie en formato tiff., modelo digital de elevaciones en formato tiff. Todo realizado con dron Mavic 2: Cámara con sensor de 20 megapíxeles, GSD 5cm/px.	HA.	60.00	2,100.00
				0.00
				0.00
				0.00

- Términos y Condiciones**
- 1.- Duración de la Oferta **15 días**
  - 2.- Anticipo del **50%** antes de la producción
  - 3.- **50%** restante **previa entrega o ejecución del producto o servicio.**
  - 4.- Entregado el producto o ejecutado el servicio **no existen devoluciones.**

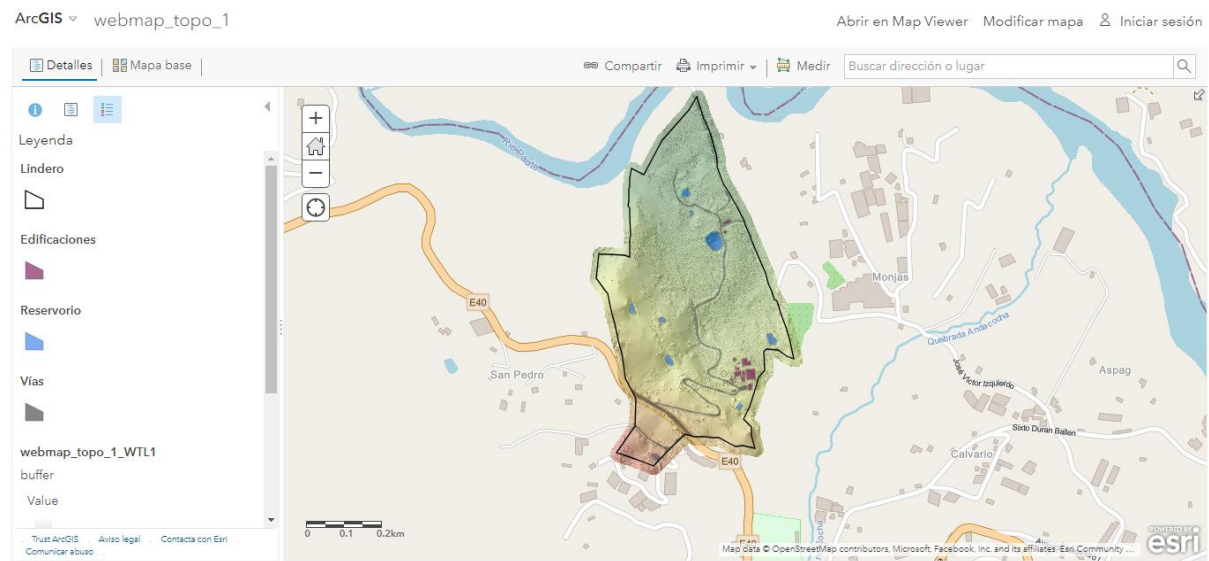
Subtotal	8,035.00
Descuento (%)	0.00
NETO	8,035.00
Impuestos (IVA)	1,205.25
Envío	0.00
TOTAL	\$9,240.25

**OFERENTE**  
DANIEL FERNANDO BRITO TOROMORENO  
ARQUITECTO - CORREDOR DE BIENES RAÍCES

FIRMA OFERENTE

¡GRACIAS POR SU PREFERENCIA!

## Anexo H Mapas temáticos publicados en plataforma digital.




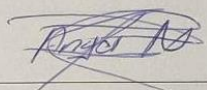
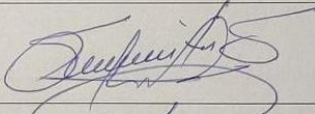
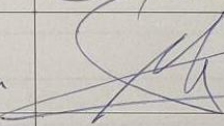

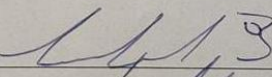
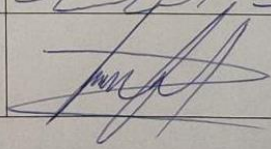
## Anexo I Control de firmas del personal de la granja El Romeral



**Tema:** Muestreo participativo Granja El Romeral

**Fecha:** Martes 16 de abril de 2024

**Objetivo:** Realizar un mapeo detallado de las zonas de cultivo y áreas específicas de la Granja El Romeral en colaboración estrecha con el personal de la granja y sus autoridades, con el fin de establecer límites claros y precisos que faciliten la gestión eficiente de los recursos, la planificación de siembras y cosechas, así como la optimización de los procesos agrícolas en el predio.

NOMBRE	CARGO QUE DESEMPEÑA	FIRMA
Héctor Cojamarca	Ayudante de cultivos	
Angel Macarico	Trabajador Agropecuario	
José Elías Muñoz	Ayudante de Cultivos	José Elías Muñoz
Segundo Maíta S.	Director Académico	
Oswaldo Galarza	Administrador Granja	
Paul Zhirzhon	Ayudantes de Cultivos	Paul Zhirzhon
Mauricio Guayacondo	Ayudante de Cultivos	
Segundo Solís	Ayudante de cultivos	
Franklin Brito	Tesista	

*Anexo J Construcción del mojón Romeral-2*

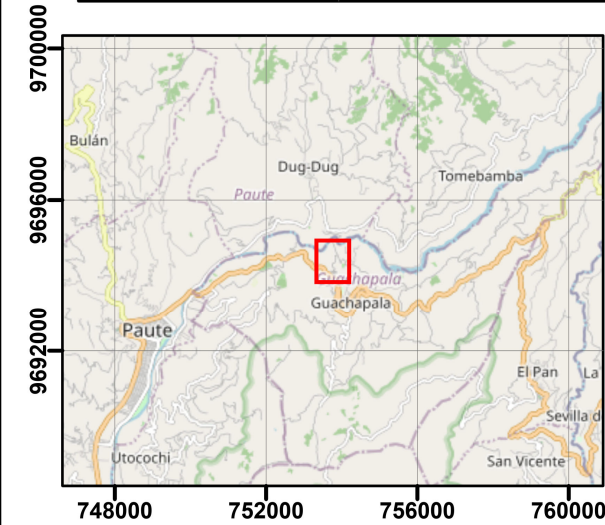
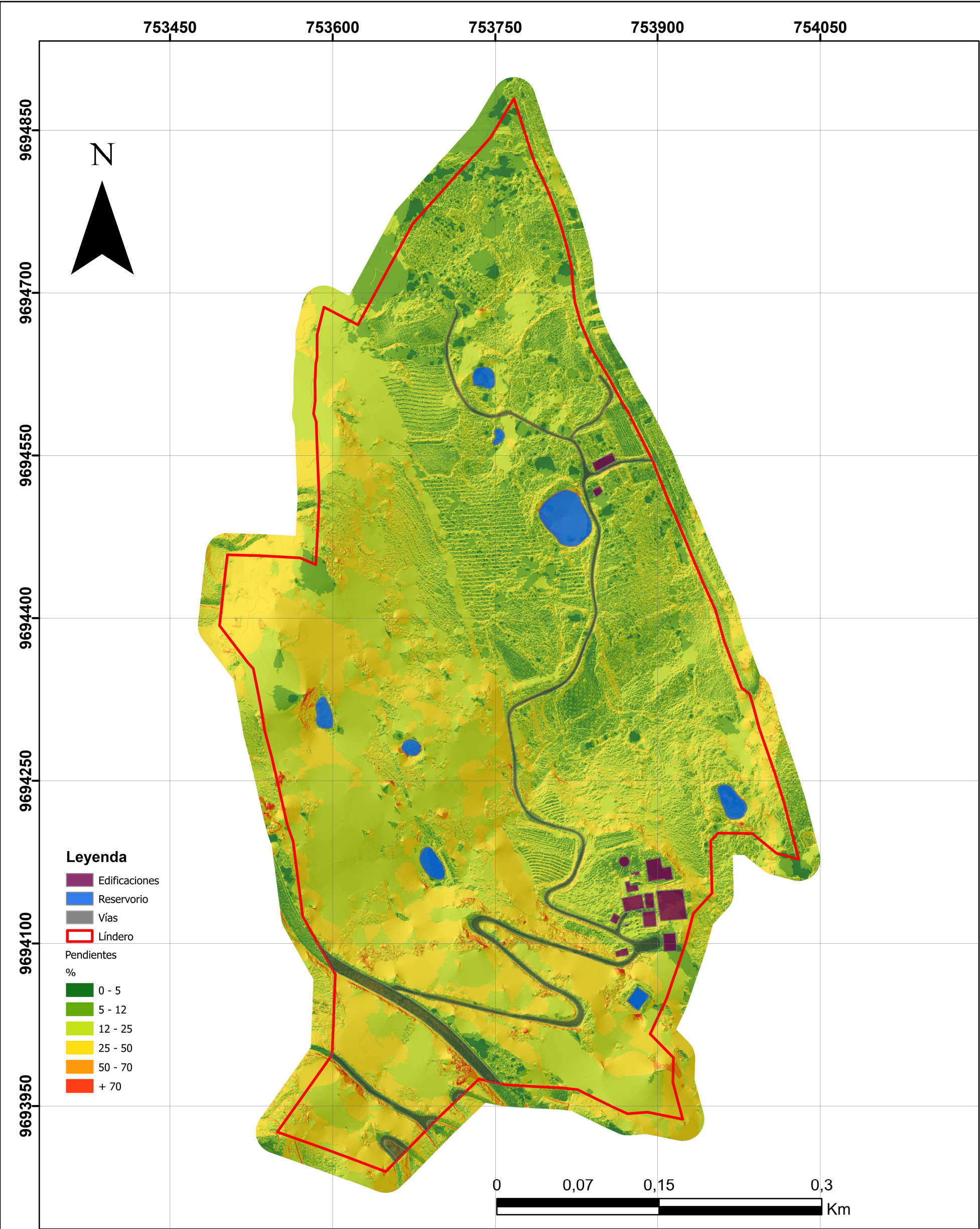


*Anexo K Reunión con personal de la granja*





*Anexo L mapa de pendientes*





Escala de impresión 1: 3500

Proyección  
Universal Transversal de Mercator (UTM)  
Zona 17 Hemisferio Sur  
Sistema Geodésico Mundial  
WGS84

			
			
<b>Proyecto:</b> Generación de cartografía básica a detalle mediante levantamiento aerofotogramétrico utilizando un sistema de aeronave piloteada a distancia. El Romeral			
Autores:	Franklin Brito	Mapa N°:	7
	Juan Tamayo	Escala de Impresión:	1:3500
Contiene:	Mapa de pendientes Granja El Romeral	Escala de levantamiento:	1:1000
		Fuente:	Levantamiento fotogramétrico Sistema Autel Evo II pro
Fecha:	10/05/24		



## Anexo M mapa de drenajes

