



## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo Juan Daniel Ezaguirre Lira

autor/a de la tesis titulada:

### ACTUALIZACIÓN AEROFOTOGRAMÉTRICA CON DRONES (VANTS) Y USO DEL SOFTWARE PIX4D PARA EL CATASTRO URBANO ESTUDIO EN LA LOCALIDAD DE "LAS CARRERAS", MUNICIPIO DE LAS CARRERAS DEL DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA -BOLIVIA

mediante el presente documento, declaro que la obra mencionada es de mi exclusiva autoría y producción. Esta tesis ha sido elaborada como uno de los requisitos previos para la obtención del título de: "**Magíster en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica**" en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Central Sucre.

#### Cesión de Derechos:

1. **Derechos Cedidos:** A partir de la fecha de la defensa de grado, cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Central Sucre, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación de la obra. La Universidad está autorizada a utilizar esta obra por cualquier medio, actualmente conocido o que se desarrolle en el futuro, siempre y cuando dicha utilización no se realice con fines de lucro. Esta cesión incluye la reproducción total o parcial en formatos virtual, electrónico, digital, u óptico, así como su uso en red local e Internet.
2. **Responsabilidades del Autor:** Declaro que, en caso de presentarse cualquier reclamación o demanda por parte de terceros respecto de los derechos de autor de la obra mencionada, asumiré toda la responsabilidad legal frente a dichos terceros y frente a la Universidad, incluyendo, sin limitación, la defensa de tales reclamaciones y el mantenimiento de la Universidad indemne frente a las mismas.
3. **Entrega de Ejemplares:** En esta fecha, entrego a la biblioteca de la Universidad un ejemplar de la obra y sus anexos, en formatos impreso y digital o electrónico.

Fecha. ....10...03...2025

Firma: .....



**UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR**  
**SEDE CENTRAL**  
**Sucre – Bolivia**

**MAESTRÍA EN TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA**

**ACTUALIZACIÓN AEROFOTOGRAMÉTRICA CON DRONES  
(VANTS) Y USO DEL SOFTWARE PIX4D PARA EL CATASTRO  
URBANO**

**ESTUDIO EN LA LOCALIDAD DE “LAS CARRERAS”, MUNICIPIO  
DE LAS CARRERAS DEL DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA -  
BOLIVIA**

Tesis presentada para optar al Grado  
Académico de Magíster en Teledetección y  
Sistemas de Información Geográfica

**MAESTRANTE: IVAR DANIEL EYZAGUIRRE LIRA**

**Sucre – Bolivia**

**2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR**  
**SEDE CENTRAL**  
**Sucre – Bolivia**

**MAESTRÍA EN TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA**

**ACTUALIZACIÓN AEROFOTOGRAMÉTRICA CON DRONES  
(VANTS) Y USO DEL SOFTWARE PIX4D PARA EL CATASTRO  
URBANO**

**ESTUDIO EN LA LOCALIDAD DE “LAS CARRERAS”, MUNICIPIO  
DE LAS CARRERAS DEL DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA -  
BOLIVIA**

Tesis presentada para optar al Grado  
Académico de Magíster en Teledetección y  
Sistemas de Información Geográfica

**MAESTRANTE: IVAR DANIEL EYZAGUIRRE LIRA**  
**TUTOR: JHON TORREZ VACAFLORES**

**Sucre – Bolivia**  
**2025**

**DEDICATORIA**

A mis padres, que, aunque ya no estén a mi lado les expreso todo mi cariño y agradecimiento por el amor, las enseñanzas, el ejemplo y dedicación que siempre tuvieron por mí y mis hermanos.

A Natalia, por ser fuente de amor sincero y un gran apoyo para mi vida y el cumplimiento de mis sueños.

A mis hijos, todo mi amor por ser la fuerza que me impulsa a seguir adelante.

**AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Andina, por permitirme ser parte de esta gran familia.

A mis docentes, que en esta maestría han logrado impartir la ciencia, el saber y la enseñanza; permitiéndome descubrir nuevas áreas del conocimiento que repercutirán en el desarrollo de mi vida profesional.

Al Lic. Wilber A. Jesús Salinas, quien me apoyó e incentivó a lo largo de este camino.

A mi tutor, MSc. Jhon Torrez Vacaflores por guiarme en el proceso de este trabajo.

## RESUMEN

La investigación se centra en la utilización de un producto derivado de la fotogrametría aérea digital a baja altura o como comúnmente se la conoce aerofotogrametría con drones, este producto sería la nube de puntos densa el cual será utilizado para la generación de un mapa base catastral de la localidad “Las Carreras” perteneciente al departamento de Chuquisaca.

En el capítulo uno, se exponen los objetivos de la investigación con la intención de demostrar que es posible desarrollar una metodología avanzada, aprovechando herramientas de teledetección y análisis de datos espaciales por sobre los métodos tradicionales. Se busca obtener resultados aplicables, georeferenciados y precisos que contribuyan al aprovechamiento y gestión adecuada del uso de suelos en la localidad Las Carreras. El enfoque integral respaldado por una sólida justificación teórica y técnica, se pretende proporcionar información para la utilización de esta técnica con fines catastrales, sirviendo posiblemente como modelo para otros gobiernos municipales que pudiesen tener una problemática similar o para profesionales del área que piensen incursionar en este ámbito.

El segundo capítulo sintetiza teorías, metodologías y bibliografías relacionadas con la fotogrametría y el catastro.

El tercer capítulo contextualiza la investigación en la localidad Las Carreras, destacando elementos geográficos, climáticos y geológicos.

El cuarto capítulo detalla las fases del presente trabajo, desde la recopilación de información hasta el análisis y generación de resultados.

**Palabras claves:** Fotogrametría, nube de puntos densa, catastro.

## **ABSTRACT**

The research focuses on the use of a product derived from digital aerial photogrammetry at low altitude or as it is commonly known aerial photogrammetry with drones, this product would be the dense point cloud which will be used to generate a cadastral base map of the town “Las Carreras” belonging to the department of Chuquisaca.

In chapter one, the research objectives are presented with the intention of demonstrating that it is possible to develop an advanced methodology, taking advantage of remote sensing tools and spatial data analysis over traditional methods. The aim is to obtain applicable, georeferenced and precise results that contribute to the proper use and management of land use in the Las Carreras locality. The comprehensive approach supported by a solid theoretical and technical justification aims to provide information for the use of this technique for cadastral purposes, possibly serving as a model for other municipal governments that may have a similar problem or for professionals in the area who plan to venture into this field.

The second chapter synthesizes theories, methodologies and bibliographies related to photogrammetry and cadastre.

The third contextualizes the research in the Las Carreras town, highlighting geographical, climatic and geological elements.

The fourth chapter details the phases of this work, from the collection of information to the analysis and generation of results.

**Keywords:** Photogrammetry, dense point cloud, cadastre.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Planteamiento del problema .....	4
1.3.1 Situación problemática.....	4
1.3.2 Formulación del problema .....	4
1.4 Delimitación.....	5
1.4.1 Objeto de estudio .....	5
1.4.2 Campo de acción .....	5
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general .....	5
1.5.2 Objetivos específicos .....	5
1.6 Hipótesis.....	6
1.6.1 Hipótesis Nula .....	6
1.7 Metodología de la investigación .....	6
1.7.1 Métodos.....	6
1.7.1.1 Métodos teóricos .....	6
1.7.1.2 Métodos e instrumentos de la indagación empírica Vivencial.....	7
1.7.2 Técnicas .....	7
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1 Vehículos aéreos no tripulados.....	8
2.2 Los primeros drones de la historia.....	8
2.3 Tipos de drones.....	11
2.3.1 Drones de ala fija .....	12
2.3.2 Drones de ala rotatoria.....	13

2.4	Usos de los drones .....	14
2.4.1	Evaluación de estructuras.....	15
2.4.2	Levantamiento rápido del relieve.....	15
2.4.3	Perspectiva.....	16
2.4.4	Cálculo de volúmenes.....	16
2.4.5	En la Topografía.....	17
2.4.6	En Catastro.....	17
2.5	Fotogrametría con drones.....	17
2.6	Conceptos fundamentales de la fotogrametría .....	18
2.6.1	La cámara fotográfica .....	18
2.6.2	Resolución.....	18
2.6.3	Distancia focal (focal length).....	19
2.6.4	Velocidad de obturación (shutter speed).....	19
2.6.5	Valor GSD .....	20
2.6.6	Traslape o solape.....	21
2.7	Georeferenciación .....	24
2.7.1	VANT con receptor GNSS .....	24
2.7.2	VANT sin receptor GNSS.....	25
2.8	Procesos de levantamiento fotogramétrico .....	25
2.8.1	Inspección de la zona de estudio .....	26
2.8.2	Reconocimiento de campo .....	26
2.8.3	Puntos de control terrestre.....	26
2.8.4	Cantidad de puntos de control.....	28
2.8.5	Planificación y Ejecución del vuelo.....	29
2.8.6	Correcciones del proceso fotogramétrico.....	29
2.9	Red Geodésica.....	30
2.10	Vuelo Fotogramétrico con Drone.....	31
2.11	Generación de la nube de puntos densa.....	32

2.12	Modelo digital de elevaciones y ortorrectificación .....	33
2.13	Digitalización de Geometrías .....	34
2.14	Topología de Geometrías .....	36
2.15	Catastro .....	37
2.15.1	Historia del Catastro en Bolivia .....	37
<b>CAPÍTULO III. MARCO CONTEXTUAL .....</b>		<b>43</b>
3.1	Ubicación Geográfica .....	43
3.2	División política administrativa .....	45
3.3	Características demográficas .....	47
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>		<b>50</b>
4.1	Resultados y discusiones .....	50
4.2	Etapas de planificación .....	51
4.3	Etapas de campo .....	52
4.3.1	Recolección de información .....	52
4.3.2	Reconocimiento de campo .....	54
4.3.3	Densificación de GCPs .....	54
4.4	Obtención de datos espaciales .....	56
4.4.1	Etapas de Planificación de vuelo .....	56
4.4.2	Etapas de Captura de imágenes .....	57
4.4.3	Análisis de información y generación de productos .....	58
4.4.4	Proceso de trabajo en PIX4D .....	59
4.5	Exposición de resultados .....	68
4.5.1	Modelos digitales de superficie y de terreno de la Localidad Las Carreras en formato TIFF .....	68
4.5.2	Ortofotomosaico en formato TIFF .....	69
4.5.3	Ortofotomosaico en formato KML .....	70
4.6	Cartografía base catastral .....	71
4.7	Información catastral .....	72

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>76</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>77</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>80</b>

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Primer Drone. ....	8
Imagen 2: Primeros Drones Militares .....	9
Imagen 3: Parrot AR Drone .....	10
Imagen 4: Drones Inteligentes Phantom 4 .....	11
Imagen 5: Drone de ala fija.....	12
Imagen 6: Ventajas y desventajas .....	13
Imagen 7: Drone hexacóptero (Yuneec H920-CG04).....	13
Imagen 8: Ventajas y desventajas Multirotor .....	14
Imagen 9: Uso de Dron en evaluación de estructura de puente .....	15
Imagen 10: Mapa Topográfico y terrenos de cultivo, elaborado con Mavic 2 Pro DJI en una mañana .....	15
Imagen 11: Obras Civiles a vista de Dron, Cañón del Pato, Huaraz.....	16
Imagen 12: Cálculo de volumen de corte con Pix4D Mapper.....	16
Imagen 13: Modelo 3D y curvas de nivel topográficas .....	17
Imagen 14: Representación de número de píxeles por imagen y calidad .....	19
Imagen 15: Relación distancia focal y ángulo de visión .....	19
Imagen 16: Velocidad de obturación respecto a un objeto en movimiento.....	20
Imagen 17: Representación de valor de pixel de la foto en el terreno .....	20
Imagen 18: Relación entre GSD y altura de vuelo.....	21
Imagen 19: Proceso de reconstrucción del Modelo.....	22
Imagen 20: Formas de traslape.....	22
Imagen 21: VANT modo RTK.....	25
Imagen 22: KML de los límites del proyecto .....	26
Imagen 23: Desviación en ejes x, y, z.....	27
Imagen 24: Rotación en ejes X, Y, Z.....	27
Imagen 25: Sin escala .....	28
Imagen 26: Colocación de puntos de control terrestre GCP .....	29

Imagen 27: Marco de Referencia Geodésico Nacional (MARGEN) de Bolivia.....	31
Imagen 28: Geometría de vectores.....	35
Imagen 29: Macro Ubicación Municipio “Las Carreras”.....	44
Imagen 30: Mapa de Ubicación y coordenadas Municipio “Las Carreras”.....	45
Imagen 31: Mapa de ubicación geográfica de las comunidades y distritos.....	47
Imagen 32: Mapa de Densidad de la población.....	49
Imagen 33: Portada PTDI “Las Carreras”.....	52
Imagen 34: Plancha catastral centro poblado "Las Carreras".....	53
Imagen 35: Monografía vértice geodésico existente.....	53
Imagen 36: Información recibida.....	54
Imagen 37: Reconocimiento de campo y KML proyecto.....	54
Imagen 38: Ubicación de los GCP.....	56
Imagen 39: Plan de vuelo.....	57
Imagen 40: Inicio de misión de vuelo.....	58
Imagen 41: Inicio y seguimiento de misión de vuelo.....	58
Imagen 42: Creación de nuevo proyecto.....	59
Imagen 43: Creación de nuevo proyecto.....	59
Imagen 44: Cargado de imágenes.....	60
Imagen 45: Confirmación sistema de coordenadas.....	60
Imagen 46: Selección del modo de procesamiento.....	61
Imagen 47: Vista general de ubicación de las fotografías.....	61
Imagen 48: Configuración Paso 1 / Procesamiento inicial.....	62
Imagen 49: Inicio procesamiento paso 1.....	62
Imagen 50: Importación de GCPs.....	63
Imagen 51: Ajuste de GCPs en las fotografías.....	63
Imagen 52: Configuración pasos 2 y 3.....	64
Imagen 53: Flujo de trabajo fotogramétrico.....	65
Imagen 54: Demarcación de límites externos de predios.....	66

Imagen 55: Edición de vértices .....	66
Imagen 56: Vista de los manzanos digitalizados .....	67
Imagen 57: Digitalización de predios en ArcGis .....	67
Imagen 58: Datos a ser insertados en cada predio .....	68
Imagen 59: Modelo digital de superficie.....	69
Imagen 60: Ortomosaico (formato TIFF).....	70
Imagen 61: Ortomosaico (formato KML) visto en Google Earth.....	70
Imagen 62: Restitución Fotogramétrica .....	71
Imagen 63: Sobreposición del ortomosaico obtenido con la plancha catastral existente de la localidad .....	73
Imagen 64: Comparación de medidas obtenidas .....	73
Imagen 65: Vista general de predios de la localidad "Las Carreras" .....	74

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Comunidades y centros poblados de los distritos del municipio .....	46
Tabla 2: Distribución de la población por distrito y comunidad según censo 2012 y proyectados al 2020 del municipio de Las Carreras" .....	48
Tabla 3: Coordenadas de puntos de control terrestre (GCP).....	55
Tabla 4: Rangos de tolerancia Catastral .....	74

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Introducción**

Las aeronaves no tripuladas o Drones, artefactos que se llevan usando por los ejércitos de los países desde el siglo XIX, tanto para estrategia e información como para el puro enfrentamiento bélico, y que, tras tanta evolución tecnológica, hoy en día se han convertido en el paradigma táctico del siglo XXI. Afortunadamente la guerra, aun siendo el motivo de su éxito y desarrollo, no es el único uso que podemos dar a los Drones ya que existen un sin fin de buenas y positivas aplicaciones para investigación, conservación, salvamento, infraestructuras, rescate y búsqueda de víctimas entre otras muchas. (Historia de los Drones: Víctor Delgado, 2016)

Los avances informáticos han afectado positivamente a la fotogrametría desde el punto de vista metodológico. Es así que surgen nuevas formas para afrontar los cambios que se producen sobre la superficie terrestre, hasta ahora abordados únicamente por la fotogrametría tradicional. Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs), más conocidos como drones, se presentan como una alternativa para realizar levantamientos topográficos mediante la técnica de la Aero fotogrametría.

El uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs - Drones), teléfonos inteligentes y/o tabletas han permitido automatizar el flujo de trabajo fotogramétrico de manera increíble, mejorando drásticamente el aprovechamiento de horas máquina y horas hombre, beneficiando a diferentes campos profesionales, entre ellos a la topografía.

Este progreso en la forma de obtener fotografías aéreas, sumado al desarrollo de los programas informáticos de procesamiento y los nuevos algoritmos se utilizan, permiten la reconstrucción de la superficie a partir de fotografías aéreas georreferenciadas que sirven para generar la nube de puntos densa, y a partir de este producto, la creación de Modelos Digitales de Terrenos (DEMs), el ortomosaico y la representación cartográfica de éstos.

En ese sentido, si bien en nuestro país esta técnica aún no es de uso frecuente como en los países vecinos (debido a que no es muy difundida y no se cuenta con las regulaciones legales para el uso de drones); ésta se está implementando de manera cada vez más frecuente.

En este documento se revisa la metodología para la generación de una nube de puntos, mediante la técnica de fotogrametría, y los beneficios que ofrece como información de entrada y la precisión en el uso de la misma.

Finalmente se entrega información para la correcta ejecución de la técnica de fotogrametría enfocada a proyectos de catastro y una comparación general de la precisión de la información obtenida contra otras técnicas de adquisición de datos espaciales.

La relevancia del tema escogido se refleja en los beneficios que se obtendrán de la adquisición de datos espaciales para la implementación de una base de datos catastral en un ambiente SIG, los cuales se mencionan a continuación:

Dentro de la TÉCNICA, se contará con una herramienta actualizada y de fácil manejo para consultas y dar la certeza del derecho propietario a los habitantes, que a su vez es un aporte enorme al área social.

En el CONOCIMIENTO, se desarrollará una metodología para la toma de datos espaciales e implementación de los resultados en un ambiente SIG.

En lo ECONÓMICO, es un proyecto viable en el costo económico, ya que no tiene un costo muy elevado y permitiría la recuperación de lo invertido, ya que se actualizará la base impositiva que maneja el municipio.

En lo INSTITUCIONAL, permitirá al GAM contar con cartografía actualizada que puede ser utilizada para una mejor planificación de su gestión en lo referido al uso de suelo en el área intensiva de la localidad.

## **1.2 Justificación**

Un gran porcentaje de la información que aún se utiliza para la planificación urbana proviene de vuelos realizados hace varios años atrás, (entre 5 a 10 años), los cuales tenían por objetivo generar fotografías aéreas, para ser restituidas y terminar en la cartografía que se maneja como información base de las ciudades. Toda esta metodología empleada, es costosa y toma tiempo, mientras las ciudades crecen sin parar.

Es por eso que, en algunos países, las municipalidades han optado por usar los Drones, ya que son pequeños, rápidos, livianos y de bajo costo, para actualizar y verificar su información catastral.

Los Drones hoy en día se han convertido en una poderosa herramienta para los municipios ya que estos permiten detectar construcciones no declaradas.

Una de las aplicaciones más extendida e internacional de uso de Drones es la realización de topografía aérea para obtener ortomosaicos y modelos digitales de elevación del terreno que podrán usarse para aplicaciones en construcción, para inclusión en sistemas GIS y para comprobación de superficies y catastro.

Los Drones son usados en áreas muy diversas, ya que puede desplazarse rápidamente sobre un terreno irregular o accidentado y superar cualquier tipo de obstáculo ofreciendo imágenes y otro tipo de información recogida por diferentes sensores.

Los sistemas de información geográfica, deberán estar basados en un riguroso inventario inmobiliario. Tener información catastral, fotografías de las edificaciones, ortofotos y modelos digitales de elevación, permiten a los gobiernos planificar y administrar con mayor eficiencia los requerimientos de infraestructuras y obras públicas.

Entonces, el catastro es el elemento principal para el desarrollo de la economía municipal, la planeación urbana, la dotación de servicios, la regulación de la tenencia de la tierra y el uso del suelo. Por ello, se hace indispensable contar con un sistema de información geográfica actualizado para la administración adecuada del territorio.

Cuando se requiere actualizar una cartografía catastral, las tecnologías disponibles y de mayor aplicación, incluyen vuelos fotogramétricos e imágenes satelitales de alta resolución espacial. No obstante, la tecnología VANT se presenta como una opción para elaborar cartografía con características sobresalientes, tomas en áreas pequeñas, aplicables en municipios y que brindan una buena relación costo-beneficio.

Uno de los principales problemas que aqueja a los municipios es la proliferación de nuevos inmuebles, así como mejoras o ampliaciones a los ya existentes y que no estarían declarados en el padrón. Una herramienta fundamental a la hora de poder identificar estas mejoras o inmuebles nuevos no declarados, es la fotografía aérea.

Hoy por hoy, con la situación económica que atraviesa nuestro país, uno de los principales ingresos recurrentes de los municipios es el impuesto predial. El propio Catastro hace uso de la cartografía aérea a través de procesos que no son sencillos ni baratos.

Los municipios, siempre y cuando tengan los recursos económicos para ello, suelen realizar inspecciones aéreas a iniciativa propia, buscando identificar mejora o ampliaciones de viviendas que no estarían declarados en los datos catastrales. De este hecho se desprende la correspondiente sanción, liquidación e incorporación al censo fiscal.

Con la utilización de los Drones, el costo para los municipios es muy inferior a los medios empleados hasta ahora y permitirían el uso discrecional con actualizaciones mucho más frecuentes. (Actualización Catastral: Dronaid Technology y Solutions, 2019).

El uso de Drones en levantamientos topográficos facilita al profesional una nueva herramienta de trabajo para la obtención de datos fotogramétricos, una herramienta sencilla, segura y completa que le ayude a ser más competitivo, a obtener más y mejores resultados y que les proporcione una solución integral a sus necesidades.

Este documento tiene como objetivo abordar la factibilidad de la utilización de modelos de nubes de puntos generados con el método de restitución fotogramétrica para la generación de una base de datos catastral de la localidad de Las Carreras.

### **1.3 Planteamiento del problema**

#### **1.3.1 Situación problemática**

Con el avance de la tecnología, el uso de Drones en levantamientos topográficos se hace más común, en especial para el ámbito catastral; por ello es necesario conocer la factibilidad del uso de estas naves para realizar este tipo de estudios.

Con el uso de equipos topográficos convencionales se realizan mediciones precisas, pero los tiempos para realizar los levantamientos y obtener los datos espaciales se alargan, requieren de muchas más personas para su ejecución y pueden presentar situaciones donde el acceso a los sitios donde se realizará la medición pueda suponer un riesgo para su integridad física. Esto representa un problema, dada la importancia de la adquisición de datos espaciales para la formulación y ejecución de proyectos, más si existe la necesidad de generar resultados en el menor tiempo posible y que estos a su vez sean confiables.

Con el avance de la tecnología y la llegada de nuevos sensores remotos para la adquisición de datos espaciales que reducen y optimizan los tiempos de recolección de información unido a la generación de datos precisos y su confiabilidad, en la actualidad se hace necesario realizar un estudio que nos permita determinar de qué manera contribuirán estos métodos en la obtención de información que será utilizada para la planificación, ordenamiento y gestión de la localidad de Las Carreras.

Sumado a lo anteriormente dicho, en la actualidad aún existen muchos profesionales que consideran que, como en la aerofotogrametría tradicional, el resultado final de un proceso de restitución fotogramétrica es el ortomosaico, y que con la utilización de este no se podría determinar con precisión los límites prediales, este argumento basado en la falta de conocimiento de los adelantos tecnológicos de la fotogrametría digital (que permite generar varios productos, cuya información bien puede ser utilizada para realizar un catastro con resultados precisos y confiables) hace que esta técnica aún no sea utilizada a cabalidad en nuestro país.

#### **1.3.2 Formulación del problema**

¿El uso de aeronaves no tripuladas y el software PIX4D posibilita realizar levantamientos aerofotogramétricos enfocados a catastro?

## **1.4 Delimitación**

### **1.4.1 Objeto de estudio**

En la presente investigación el objeto de estudio son el conjunto de métodos y procedimientos que permitan la generación y utilización de una nube de puntos densa de la localidad Las Carreras, mediante el uso de herramientas actuales como la aerofotogrametría con drones, sistemas de información geográfica y otros.

### **1.4.2 Campo de acción**

El campo de acción del presente trabajo está delimitado por el radio urbano aprobado de la localidad Las Carreras.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Determinar la aplicabilidad del uso de Vehículos Aéreos No Tripulados para el levantamiento aereofotogramétrico y los productos obtenidos con el software PIX4D para la realización del catastro urbano de la Localidad de Las Carreras perteneciente al Municipio de “Las Carreras” del Departamento de Chuquisaca –Bolivia.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar bibliografía relacionada a la fotogrametría y el uso de sus productos en el catastro.
- Contextualizar el área de estudio tomando en cuenta los aspectos climatológicos, morfológicos y principalmente la ubicación geográfica de la localidad Las Carreras.
- Determinar los puntos de control terrestre con la aplicación de la tecnología GNSS/RTK para realizar un vuelo Aero Fotogramétrico sobre el área urbana de la localidad de Las Carreras.
- Realizar un vuelo Aero Fotogramétrico sobre el área urbana de la localidad de Las Carreras para obtener una imagen de alta resolución espacial (nube de puntos, DTM, DSM, Ortomosaico).
- Digitalizar los predios existentes utilizando la nube de puntos densa y generar cartografía mediante software GIS.
- Proporcionar una base cartográfica precisa y actualizada de la localidad “Las Carreras” del municipio Las Carreras del departamento de Chuquisaca.

## **1.6 Hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis Nula**

Las aeronaves no tripuladas son aplicables para realizar levantamientos fotogramétricos aplicados al catastro.

## **1.7 Metodología de la investigación**

El tipo de investigación que se desarrollará en este proyecto es aplicado, debido a que se aplican conocimientos ya investigados por otros autores y se buscará mejorar su funcionamiento.

De igual manera es descriptiva debido a que la investigación se orienta al conocimiento adquirido sobre el mapeo profesional con drones y la aplicación de la fotogrametría aérea.

### **1.7.1 Métodos**

La metodología para la adquisición de datos espaciales y posterior implementación de una base de datos catastral bajo un ambiente SIG para la localidad “Las Carreras”, está sustentada en una investigación para determinar tanto la relación del municipio con su contexto, como los procesos de conformación y desarrollo del territorio municipal. La propuesta se apoya en el trabajo de campo y la producción de información. El proceso metodológico se estructura de acuerdo a los siguientes pasos:

#### **1.7.1.1 Métodos teóricos**

##### **Análisis – síntesis**

Estudiar por separado los factores componentes del análisis y estudio fotogramétrico; e integrar los resultados parciales para determinar los modelos digitales, y la generación de cartografía técnica multifinalitaria.

##### **Histórico lógico**

Para conocer el estado actual del centro poblado de la localidad, teniendo la información precisa para dar inicio al trabajo de la forma más adecuada y ordenada, optimizando con ello el trabajo a desarrollar a partir de los datos precedentes que se tienen en archivo.

##### **Sistémico**

Con ello se pretende dar a conocer la planificación elaborada a partir de los resultados del trabajo desarrollado, a fin de aclarar dudas y/o realizar correcciones.

### **1.7.1.2 Métodos e instrumentos de la indagación empírica Vivencial**

Son métodos experimentales porque interactúan con el ambiente laboral en la preparación teórica y práctica. Son vivencias dentro de un campo laboral donde se comparten experiencias realizando proyectos parecidos, realizando consultas con profesionales experimentados en el área para resolver dudas.

### **1.7.2 Técnicas**

#### **Revisión bibliográfica.**

Se estudiarán libros, revistas, tesis, manuales, sean de origen nacional o extranjero, que puedan servir como base para la fundamentación teórica de la investigación, además de incluir información resultante de las experiencias propias de los investigadores, obtenida durante la ejecución de las etapas que comprenden la aplicación de la técnica planteada en el estudio.

#### **Recolección de datos de campo**

La información recolectada en campo será obtenida a partir de fotografías aéreas y de puntos de control establecidos en el terreno.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Vehículos aéreos no tripulados

Los vehículos aéreos no tripulados cobran cada día más fuerza en las diversas actividades de la ingeniería. Donde se tiene mayor uso es en Europa – España, donde ya se tiene normativas aprobadas y en funcionamiento.

En Bolivia contamos con un reglamento de funcionamiento elaborado por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), el cual al ser primerizo amerita ajustes que se irán realizado con el tiempo y con el uso continuo de estas aeronaves.

Con el empleo de esta herramienta estaríamos optimizando el factor tiempo y el factor económico.

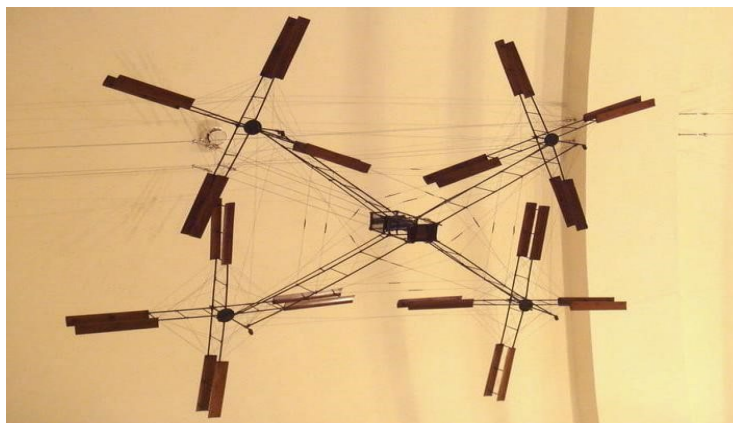
### 2.2 Los primeros drones de la historia

Los Drones no son recientes, como todo tuvieron una evolución a partir de los años, es por ello que amerita conocer un poco de la historia de esta herramienta, desde sus inicios hasta llegar a nuestros días.

En 1907 el primer quadcopter o dron del mundo fue creado por los hermanos inventores Jacques y Louis Bréguet, que trabajan con el controvertido ganador del Premio Nobel, Profesor Charles Richet.

Esta tecnología tenía algunas grandes limitaciones como, por ejemplo, que se requerían de cuatro hombres para estabilizarlo y en su primer vuelo levantó apenas dos pies del suelo.

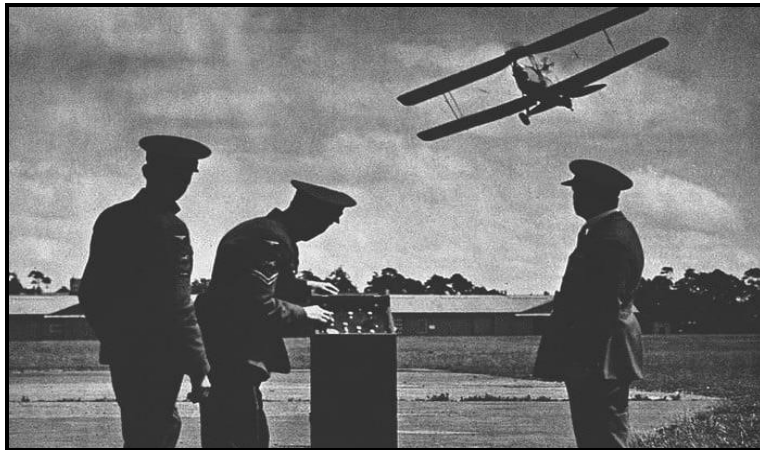
*Imagen 1 Primer Drone.*



Nota: <https://es.digitaltrends.com/Drones/la-historia-de-los-Drones>

Los primeros Drones de uso militar (1917), fueron lanzados 16 años después del vuelo pionero de Kitty Hawk de los hermanos Wright, el Ruston Proctor Aerial Target se convirtió en el primer avión sin piloto de la historia.

***Imagen 2: Primeros Drones Militares***



Nota: <https://es.digitaltrends.com/Drones/la-historia-de-los-Drones>

Era un avión sin piloto controlado por radio, basado en la tecnología RC del inventor Nikola Tesla. El objetivo era que actuara como una bomba voladora. A pesar de las demostraciones prometedoras, nunca se usó en un escenario de combate. Sin embargo, abrió la puerta a proyectos similares, como el asombroso Kettering Bug, y allanó el camino para los Drones militares de hoy en día.

En 1943 durante la Segunda Guerra Mundial, militares alemanes crearon drones para ser utilizados con fines bélicos, "Fritz X" era el apodo que se le daba al FX-1400, la primera arma de control remoto que realmente se puso en uso operativo.

En la década de los 60, los avances en la tecnología de transistores permitieron que, por primera vez, los componentes miniaturizados controlados por radio estuvieran disponibles para los clientes a un costo razonable.

Lo que siguió fue un boom de popularidad en los aviones RC de los Estados Unidos. En su mayoría, eran vendidos en forma de kit, estos aviones RC ofrecían de todo, desde modelos con capacidad de vuelo interior, hasta modelos al aire libre mucho más grandes.

La industria artesanal que surgió fue un ejemplo temprano del tipo de comunidad y mercado que surgió medio siglo después.

En 2001 después del 11 de septiembre, la CIA comenzó a volar Drones armados sobre Afganistán como parte de su guerra contra los talibanes.

La primera operación basada en Drones de la CIA tuvo lugar en febrero de 2002, cuando se usó un Drone Predator no tripulado para apuntar a un sospechoso que se creía que era Osama Bin Laden. Sin embargo, resultó ser un hombre inocente llamado Daraz Khan que estaba recogiendo chatarra. Sucesos como éste, crearon mucha polémica y pusieron en duda el uso de Drones en la guerra.

Reconociendo el potencial de los Drones no militares en 2006, la FAA (Federal Aviation Administration) emitió los primeros permisos comerciales de Drones. Estos permisos eliminaron algunas de las limitaciones impuestas a los aviones no tripulados de pasajeros que volaban con fines recreativos. Al hacerlo, abrió nuevas posibilidades para las empresas o profesionales que querían utilizar Drones en diferentes industrias.

Al principio, apenas se requerían permisos comerciales de Drones. Sin embargo, ese número pronto aumentó.

En 2010 la compañía francesa Parrot lanzó su Parrot AR Drone, el primer Drone listo para volar que se puede controlar completamente a través de Wi-Fi, usando un teléfono inteligente. El avión no tripulado tuvo un éxito casi inmediato, tanto críticamente como comercialmente, recibiendo el premio CES Innovations 2010 para Electronic Gaming Hardware y vendiendo más de medio millón de unidades. El AR Drone 2.0 de la compañía mejoró aún más la fórmula con un sistema de pilotaje más fácil, lo que facilita a los recién llegados el pick-up-play.

***Imagen 3: Parrot AR Drone***



Nota: <https://es.digitaltrends.com/Drones/la-historia-de-los-Drones>

En diciembre de 2013, Amazon lanzó un video conceptual que mostraba el sueño de su fundador Jeff Bezos de un sistema de entrega basado en Drones, si bien el gigante minorista no fue la primera compañía en considerar las entregas de Drones, fue el que puso dicha tecnología en la conciencia pública. En una entrevista concedida a 60 Minutes, Bezos describió la posibilidad de usar esta tecnología para hacer entregas de media hora. "Sé que

esto parece ciencia ficción, pero no lo es”, dijo. Aunque Amazon después aclaró que las entregas aéreas requerirán algunos cambios en las reglas federales.

En 2016 uno de los mejores fabricantes de Drones en el mercado, el Phantom 4 de DJI, introdujo la visión inteligente de una computadora y la tecnología de aprendizaje automático.

Esto permitió evitar obstáculos y rastrear (y fotografiar) de forma inteligente personas, animales u objetos, en lugar de limitarse a seguir una señal de GPS.

Fue un hito importante para la fotografía de Drones y los Drones de consumo en general. (Historia de los Drones: Estefania Olive, diciembre de 2018)

***Imagen 4: Drones Inteligentes Phantom 4***



Nota: <https://es.digitaltrends.com/Drones/la-historia-de-los-Drones>

### **2.3 Tipos de drones**

También llamados UAV por sus siglas en inglés “Unmanned Aerial Vehicle” significa “Vehículo Aéreo no Tripulado” - VANT, el cual es pilotado a distancia mediante un radio control o programado mediante un software para que realice un vuelo planificado y seguro. También es conocido por UAS por sus siglas “Unmanned Aerial System” que significa “Sistema Aéreo no Tripulado”, o RPAS por sus siglas “Remotely Piloted Aircraft”. **Fuente especificada no válida.**

En la actualidad existe una diversidad de tipos de drones, se pueden clasificar según el tamaño, su función, utilidad o su arquitectura. Principalmente se considera dos tipos: Multi rotor y Ala Fija.

Ambos poseen fortalezas y debilidades, aspectos que los hacen más útiles para determinados trabajos específicos. La pregunta que permitiría decidir el requerimiento para este trabajo es ¿Qué Dron es conveniente usar? A continuación, exponemos con detalle características de cada tipo y cuáles las diferencias:

### 2.3.1 Drones de ala fija

Los Drones de ala fija son aeronaves que poseen un perfil alar que permite que la aeronave pueda moverse a través del aire y sea capaz de generar fuerzas sustentadoras para mantenerse en el aire. Este tipo de Drones tienen una estética muy similar a los aeromodelos de radiocontrol.

La principal característica de este tipo de Drones es la gran autonomía que nos ofrecen ya que pueden estar volando varias horas gracias a su eficiencia aerodinámica. Los Drones de ala fija son ideales para mapear grandes superficies de terreno ya que con una única batería se cubren grandes extensiones de terreno. Por este motivo son Drones muy utilizados en trabajos de agricultura de precisión y de fotogrametría.

A diferencia de los Drones de ala rotatoria, con este tipo de Drones no es posible realizar vuelos estacionarios. Por tanto, no podremos realizar trabajos que requieran que el dron este volando fijo a una altura determinada como pueden ser, por ejemplo, los trabajos de inspección.

Otra particularidad de este tipo de Drones es que no pueden despegar ni aterrizar en vertical. Para el despegue de un Drone de ala fija necesitaremos una persona que se encargue de lanzarlo a mano o disponer directamente de una catapulta.

La gran mayoría de los Drones de ala fija actuales ya son capaces de realizar aterrizajes de forma autónoma, pero hay que tener en cuenta que se necesita una superficie lo suficientemente grande y en buen estado para que el Drone no sufra ningún percance. (¿Cuántos tipos de drones existen en el mercado?: Aerial Insights, 2019)

**Imagen 5: Drone de ala fija**



Nota: Libro "aero fotogrametría inteligente AFI"

**Imagen 6: Ventajas y desventajas**

UAV ALA FIJA	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubre áreas extensas</li> <li>• Tiene estabilidad en el vuelo por su aerodinámica</li> <li>• Es silencioso</li> <li>• Realiza el trabajo en menos tiempo</li> <li>• Puede volar a mayor altura</li> <li>• Mayor tiempo de vuelo 45 a 60 minutos en promedio</li> <li>• Estructura simple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesita una zona plana y para despegar y aterrizar</li> <li>• Se necesita ocasionalmente un riel lanzador</li> <li>• Su despegue es asistido por una persona de forma manual</li> <li>• No pueden mantener un vuelo estático suspendido</li> <li>• Difícilmente pueden entrar en lugares cerrados</li> </ul>

Nota: Libro “aero fotogrametría inteligente AFI”

### 2.3.2 Drones de ala rotatoria

Los Drones de ala rotatoria, o más conocidos como multirrotores, son los tipos de Drone más extendidos y más utilizados por los profesionales del sector. Si bien es cierto que existen otros tipos de Drones de ala rotatoria, solamente vamos a analizar los multirrotores por ser los Drones más comunes del mercado.

La principal diferencia de los multirrotores con respecto a los Drones de ala fija radica en la forma en la que consiguen mantenerse en el aire. Mientras que los Drones de ala fija consiguen la sustentación a través de su perfil alar, los multirrotores generan la sustentación a través de las fuerzas que generan las hélices de sus rotores.

Según el número de rotores que monte el Drone existen: tricópteros (3 motores), cuadricópteros (4 motores), hexacópteros (6 motores) y octacópteros (8 motores).

**Imagen 7: Drone hexacóptero (Yuneec H920-CG04)**

Nota: Libro “aero fotogrametría inteligente AFI”

La principal característica de los multirrotores es su versatilidad. De una forma sencilla se le pueden instalar diferentes tipos de cámaras (cámaras RGB, multiespectrales, termográficas) que nos permiten realizar un gran abanico de trabajos. Además, con este tipo de Drones vamos a poder realizar vuelos estacionarios lo que nos va a permitir realizar ciertos trabajos que con un Drone de ala fija sería imposible realizar como, por ejemplo, trabajos de inspección.

Los multirrotores son capaces de despegar y aterrizar de forma vertical. La puesta en marcha de este tipo de Drones es mucho más rápida que con los Drones de ala fija ya que pueden despegar y aterrizar prácticamente desde cualquier lugar al no necesitar de una superficie de terreno adecuada para ello.

El principal inconveniente de este tipo de Drones es su autonomía. Los multirrotores tienen un elevado consumo energético debido a la necesidad de que todos sus rotores deben de estar en funcionamiento para que la aeronave permanezca en el aire. En el mejor de los casos nos van a ofrecer unos 20 minutos de vuelo. Por tanto, si se necesitan mapear grandes extensiones es inevitable disponer de varios juegos de baterías con el coste en tiempo y dinero que esto conlleva.

Como vemos, existen diferentes clases de Drones y tanto los Drones de ala fija como los de ala rotatoria tienen sus ventajas e inconvenientes. La elección entre un tipo de Drone u otro dependerá de las características del tipo de trabajo a realizar. (¿Cuántos tipos de drones existen en el mercado?: Aerial Insights, 2019).

***Imagen 8: Ventajas y desventajas Multirrotor***

UAV MULTIROTOR	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ingresar a zonas inaccesibles</li> <li>• Despegue y aterrizaje vertical y sencillo</li> <li>• Se puede mantener con vuelo suspendido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vuelo de tiempo limitado de 25 a 35 minutos</li> <li>• Es ruidoso</li> <li>• No es aerodinámico</li> <li>• No es posible que vuele en lluvia o con vientos fuertes</li> </ul>

Nota: Libro "aero fotogrametría inteligente AFI"

## 2.4 Usos de los drones

A continuación, nombraremos algunos de los diferentes usos que hoy en día se da a los Drones. Al momento ya tienen varias funciones ganadas dentro de la sociedad y otras tantas que están en plena fase de experimentación.

### 2.4.1 Evaluación de estructuras

Utilizado en la evaluación de estructuras tales como edificaciones, puentes, presas, taludes o muros de contención. Permitiendo el Dron, llegar a lugar que sería muy riesgoso para una persona y así registrar mediante fotografías o video el estado de las estructuras.

**Imagen 9:** *Uso de Dron en evaluación de estructura de puente*

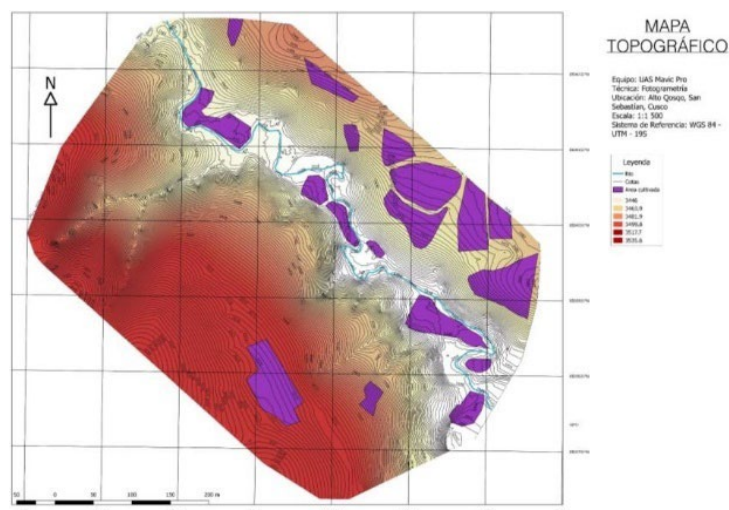


Nota: Libro “aero fotogrametría inteligente AFI”

### 2.4.2 Levantamiento rápido del relieve

Prácticamente implica llegar al lugar de interés, sacar el Dron y hacerlo volar, luego de procesar, obtener la topografía del relieve, el ortomosaico, y estar en la capacidad de elaborar planos y mapas sobre información confiable y real del terreno, todo en tan solo una mañana.

**Imagen 10:** *Mapa Topográfico y terrenos de cultivo, elaborado con Mavic 2 Pro DJI en una mañana*



Nota: Libro “aero fotogrametría inteligente AFI”

### 2.4.3 Perspectiva

Los Ingenieros Civiles están usando los Drones para realizar fotografías de sus proyectos a vuelo de pájaro o mejor dicho a vista de Dron. Para que los incluyan en: expedientes técnicos, perfiles, seguimiento de valorizaciones, evaluaciones y opiniones técnicas, etcétera mejorando drásticamente la presentación de sus proyectos.

**Imagen 11:** Obras Civiles a vista de Dron, Cañón del Pato, Huaraz



Nota: Walter Lozano, grupo DJI Drones Perú

### 2.4.4 Cálculo de volúmenes

Cálculo de volúmenes de canteras, mediciones y parcelaciones, cálculo de longitudes y áreas de manera rápida y precisa, contando con el apoyo terrestre de puntos de control. Sin duda, la Ingeniería Civil es una de las profesiones en donde mejor se están aprovechando los Drones.

**Imagen 12:** Cálculo de volumen de corte con Pix4D Mapper



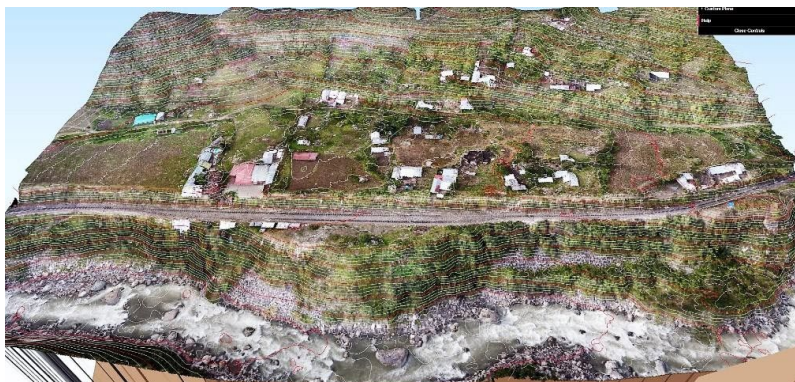
Nota: Libro "aero fotogrametría inteligente AFI"

### 2.4.5 En la Topografía

La Disciplina de la Topografía ha adoptado como una herramienta de mucho apoyo a los VANTs, aunque en la actualidad el método no ofrece una precisión milimétrica sino más bien centimétricas, utilizando para ello los puntos de apoyo GNSS necesarios y procesando en un software con un potente algoritmo. Aunque este pequeño margen de imprecisión, seguramente se irá reduciendo en los próximos años y se podrá alcanzar precisiones más exactas.

La ventaja que ofrece su uso en la Topografía es principalmente en el ahorro de tiempo y costes de levantamiento. Pudiendo cubrir extensas áreas en poco tiempo, ahorrando recursos de personal y equipos. Aportando “Valor Agregado” al cliente, como son los productos: modelos digitales tridimensionales, el Ortofotomosaico, DSM/DTM, aparte de las tradicionales líneas de contornos o “curvas de nivel”.

**Imagen 13:** Modelo 3D y curvas de nivel topográficas



Nota: Libro “aero fotogrametría inteligente AFI”

### 2.4.6 En Catastro

Por medio de técnicas fotogramétricas se obtiene cartografía catastral para generar un inventario predial que se actualiza a través de investigaciones de campo; los datos obtenidos se comparan, depuran e integran en sistemas de información catastral y predial que apoyan la eficiencia de la gestión municipal, tanto en el ámbito técnico, legal y fiscal.

## 2.5 Fotogrametría con drones

Fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado. Esta definición es en esencia, la adoptada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS).

En la actualidad, el uso de Drones ha generalizado el uso de la fotogrametría aérea en muchos más campos de los que anteriormente estaba disponible. En realidad, las técnicas

que ahora utilizamos se basan en las tradicionales, pero los requerimientos, el equipamiento necesario y la complejidad de las operaciones se ha reducido sustancialmente.

Aunque la inmensa mayoría de personas asocian el uso de Drones al sector audiovisual, bien es cierto que cada vez más empiezan a conocer sus otros muchos usos. Uno de los más relevantes es el uso en topografía y cartografía, realizando la técnica llamada fotogrametría para hacer levantamientos 3D, cálculos de volúmenes etc.

Los Drones portan cámaras fotográficas y de vídeo. Esto viene bien desde luego para capturar imágenes aéreas, pero también para que estas imágenes, concretamente fotografías, sirvan para obtener modelos que den una serie de datos muy útiles en muchos campos.

Imaginemos una cantera de piedra caliza, en la cual se apilan una serie de montones al ser extraído el material. Actualmente un equipo de topógrafos andando y de forma manual, realizan una serie de cálculos matemáticos para estimar el volumen que tiene cada montón. La precisión de estos cálculos tiene errores importantes que en general son asumidos como algo normal. Con los Drones y marcando previamente una serie de puntos de control, se pueden obtener cálculos increíblemente precisos del volumen exacto. Además, un Drone puede hacer en una mañana el trabajo que harían varios técnicos durante una semana o más. En algunos casos en el sector minero, además se suma la peligrosidad de algunos trabajos con materiales tóxicos, lo que permite con los Drones reducir considerablemente los riesgos laborales.

## **2.6 Conceptos fundamentales de la fotogrametría**

### **2.6.1 La cámara fotográfica**

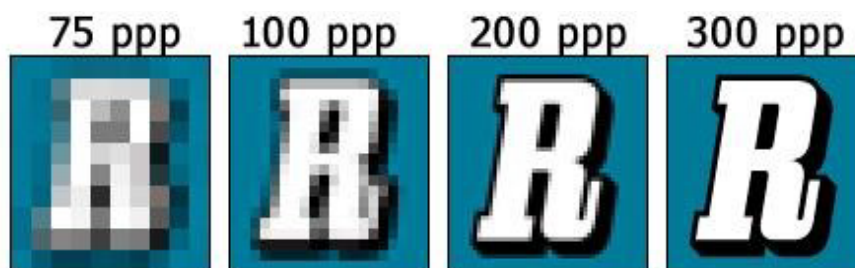
En la fotogrametría aérea tradicional se utilizan cámaras fotográficas de alto costo y especializadas las cuales van montadas en el avión. Sin embargo, en la fotogrametría con Drones, se utilizan cámaras “digitales convencionales” u otro tipo de sensores. En este trabajo, particularmente se abordará la descripción de las cámaras digitales montadas en los drones de tipo RGB, encargadas de tomar fotografías del terreno y generar los respectivos productos mediante el uso apropiado del Software correspondiente.

### **2.6.2 Resolución**

La resolución de una imagen indica la cantidad de detalles que puede observarse en esta. Para saber cuál es la resolución de una cámara digital se debe conocer los píxeles de ancho x alto a los que es capaz de obtener una imagen. Así una cámara capaz de obtener una imagen de 1600 x 1200 píxeles tiene una resolución de  $1600 \times 1200 = 1.920.000$  píxeles,

es decir 1,92 megapíxeles. Por consiguiente, a mayor número de píxeles por imagen mejor es su calidad. **Fuente especificada no válida.**

**Imagen 14:** Representación de número de píxeles por imagen y calidad



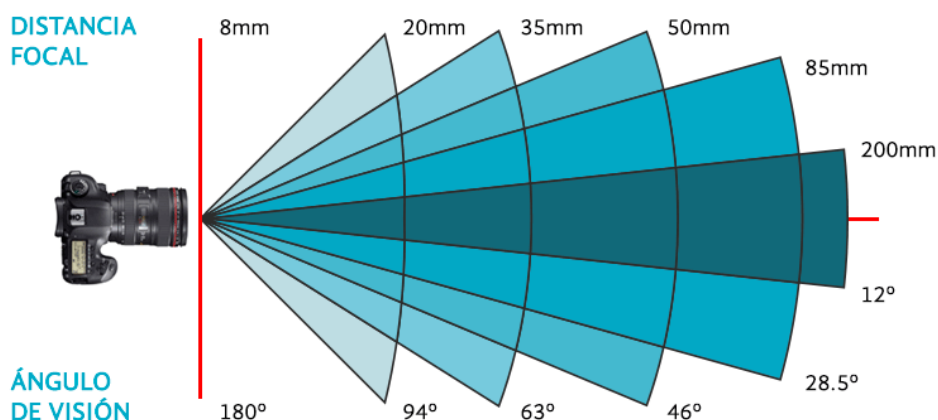
Nota: Libro "aero fotogrametría inteligente AFI"

### 2.6.3 Distancia focal (focal length)

También conocida como longitud focal, es la distancia en mm (milímetros) del centro óptico de la lente (objetivo) de la cámara al punto focal del lente o espejo de la cámara.

Estas medidas hacen que un lente tenga mayor o menos amplitud de visión, valores cortos como por ejemplo 10 mm o menos, son los llamados lente "Ojo de pez" el cual tienen un amplio campo de visión y sirve muy bien si quieres hacer panorámicas. Valores mayores como 150 mm o más harán de teleobjetivo, es decir, se tendrán un reducido campo de visión, pero los objetos lejanos a fotografiar se verán más cerca.

**Imagen 15:** Relación distancia focal y ángulo de visión



Nota: Libro "aero fotogrametría inteligente AFI"

### 2.6.4 Velocidad de obturación (shutter speed)

Es el tiempo transcurrido a partir del ingreso de la luz hasta que llega al sensor, el sensor es el chip donde cae la luz que entra por la lente y es el encargado de capturar la

imagen. Es conveniente una cámara con una buena velocidad de obturación para poder capturar imágenes que estén borrosas mientras el dron se mantiene en movimiento.

**Imagen 16:** Velocidad de obturación respecto a un objeto en movimiento

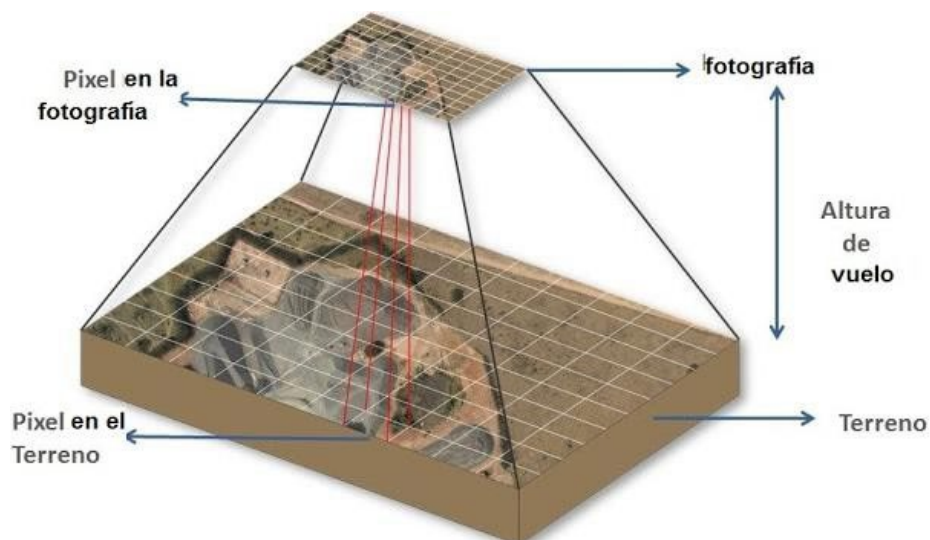


Nota: Libro "aero fotogrametría inteligente AFI"

### 2.6.5 Valor GSD

La resolución del sensor (cámara fotográfica), es relevante a la hora de planificar el vuelo del Dron, ya que como se sabe, si la resolución de la cámara es alta se podrá volar a mayores alturas sin ningún problema, salvo claro está las regulaciones de Aeronáutica Civil vigentes para el lugar donde uno se encuentre. Y por ende con resolución baja de la cámara, sería obligado a volar a menor altura del terreno o caso contrario obtener productos de baja calidad. **Fuente especificada no válida.**

**Imagen 17:** Representación de valor de pixel de la foto en el terreno

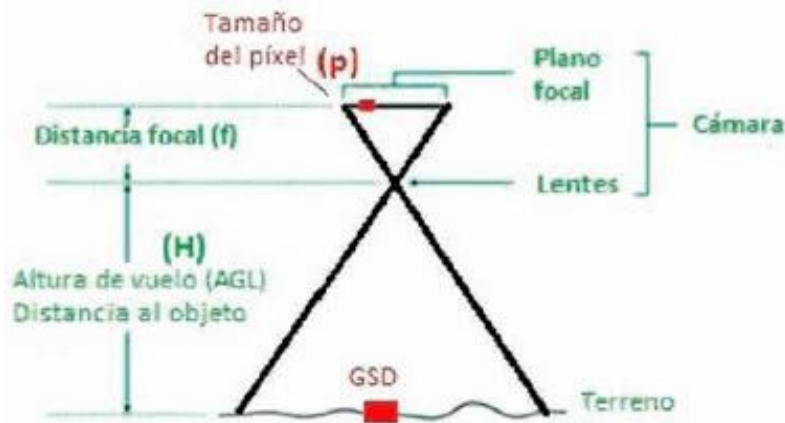


Nota: Libro "aero fotogrametría inteligente AFI"

Pero entonces ¿Que es el valor GSD (Ground Sample Distance)? Es sabido que la resolución es directamente proporcional al número de píxeles que posee por cada fotografía.

Por ejemplo, si la cámara es de 14 mega píxeles quiere decir que tiene 14 millones de píxeles por cada imagen que tome. Se puede imaginar una hoja cuadrículada, donde cada cuadradito sea un píxel de la fotografía. Por consiguiente, el valor GSD es la distancia que representa en el terreno el valor de cada píxel. Por ejemplo, si el valor GSD=2.5 centímetros, quiere decir que cada píxel mide 2.5 centímetros del terreno. **Fuente especificada no válida.**

**Imagen 18:** Relación entre GSD y altura de vuelo

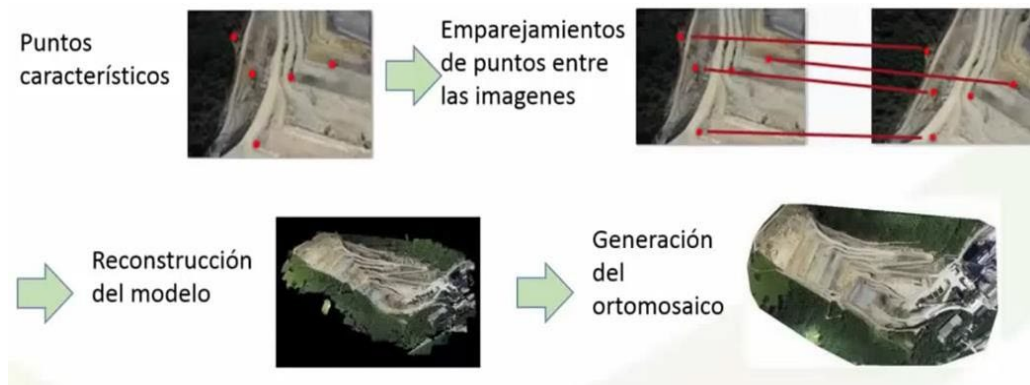


Nota: Libro "aero fotogrametría inteligente AFI"

El valor GSD, es un dato muy importante a la hora de planificar un vuelo fotogramétrico, ya que se debe tener en cuenta que si el valor es alto (>5 cm.) se tendría una baja resolución y viceversa si el valor es bajo (<5 cm.).

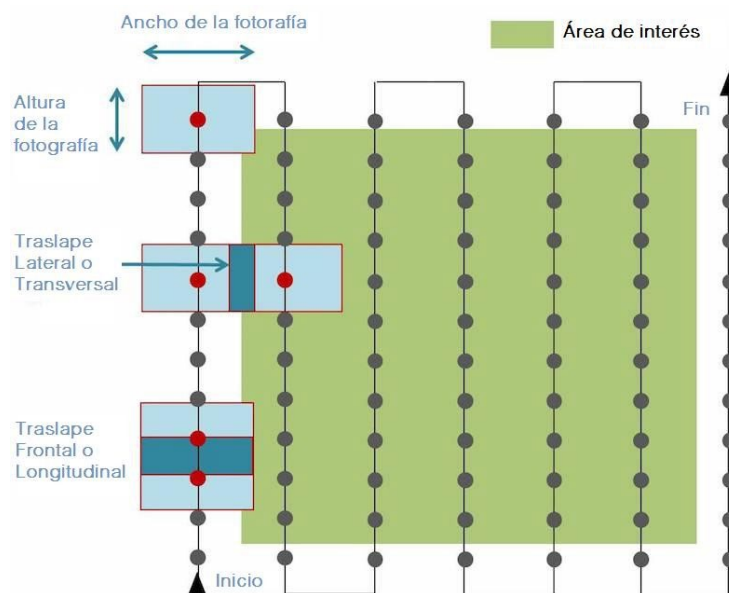
### 2.6.6 Traslape o solape

El algoritmo de los programas informáticos utilizados para el procesamiento inicial de las fotografías tomadas por el VANT es el encargado de realizar el emparejamiento de los puntos comunes entre las imágenes. Para que el software pueda realizar esta tarea es necesario que entre las fotografías existan puntos característicos comunes, los cuales son correlacionados y triangulados para determinar la posición de cada uno de los miles o cientos de miles de puntos que conforman la nube de puntos, y así reconstruir el modelo 3D.

**Imagen 19: Proceso de reconstrucción del Modelo**

Nota: Libro “aero fotogrametría inteligente AFI”

Esta correlación y emparejamiento no sería posible si las imágenes capturadas no tienen una superposición tanto frontal como lateral, también denominada “Traslape Longitudinal” y “Traslape Transversal”. Es decir, que las fotografías están sobre puestas una a otra en un determinado porcentaje. En cuanto mayor sea el traslape, se conseguirá una reconstrucción del modelo 3D más preciso, por lo que para terrenos ondulados o abruptos es recomendable considerar porcentajes de traslape mayores a los considerados en terrenos llanos.

**Imagen 20: Formas de traslape**

Nota: Libro “aero fotogrametría inteligente AFI”

El porcentaje del traslape variará según los siguientes casos:

Caso General: Aplicable a proyectos que no incluyen elementos difíciles de reconstruir como bosques, cuerpos de agua (lagos, ríos, lagunas, etc.), campos agrícolas y/o nieve. La

superposición recomendada para la mayoría de los casos es de al menos 75% de solapamiento frontal (con respecto a la dirección de vuelo) y al menos 60% de superposición lateral (entre las líneas de vuelo). Se recomienda:

Tomar las imágenes con un patrón de cuadrícula regular.

Mantener la cámara, en lo posible, a una altura constante sobre el terreno/objeto para garantizar el GSD deseada.

Bosques y vegetación densa: Los árboles y la vegetación densa a menudo tienen una apariencia muy diferente entre las imágenes traslapadas debido a su compleja geometría (miles de ramas y hojas). Por lo tanto, es difícil extraer puntos característicos comunes (puntos clave) entre las imágenes. Para lograr buenos resultados, se recomienda utilizar un plan de adquisición de imágenes en rejilla como el descrito en el caso general con algunas consideraciones adicionales:

Aumentar la superposición entre las imágenes al menos a 85% de superposición frontal y 70% de superposición lateral.

Aumentar la altura de vuelo. A mayor altitud, hay menos distorsión de la perspectiva (por lo tanto, causando menos problemas de apariencia) y la vegetación densa tiene mejores propiedades visuales. En otras palabras, es más fácil de detectar similitudes visuales entre las imágenes superpuestas en tales áreas. Algunos autores señalan que los mejores resultados en la restitución de terrenos con características similares se obtienen con un GSD mayor que 10 cm/pixel.

Aumentar la superposición entre las imágenes al menos a 85% de superposición frontal y 70% de superposición lateral.

Volar más alto. En la mayoría de los casos, volando más alto se mejoran los resultados.

Tener una precisa geolocalización de las imágenes.

Reconstrucción de edificios: La reconstrucción de edificios en 3D requiere un plan de adquisición de imagen específica:

Realizar un vuelo alrededor de la construcción en primera instancia con un ángulo de la cámara de 45°.

Volar una segunda y tercera vez alrededor del edificio aumentando la altura de vuelo y disminuyendo el ángulo de cámara con cada ronda.

Se recomienda tomar una imagen cada 5-10 grados para asegurar un solapamiento suficiente, dependiendo del tamaño del objeto y la distancia a la misma. Distancias pequeñas

y objetos más grandes requieren que la captura de imágenes se haga cada vez con menos grados.

Es posible combinar imágenes aéreas nadir y/u imágenes aéreas oblicuas y/o imágenes terrestres. Las imágenes deben tener suficiente superposición en cada conjunto de datos y entre conjuntos de datos.

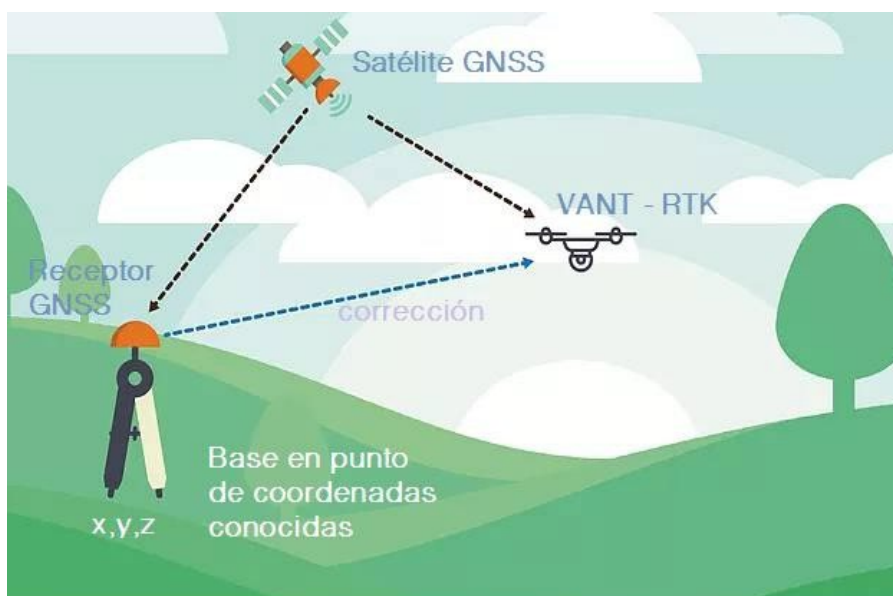
## **2.7 Georeferenciación**

La Georeferenciación es el proceso mediante el cual se da al trabajo la ubicación espacial que le corresponde, vale decir se ubica en el lugar del globo terrestre en el que realmente estaría ubicado. Utilizando para ello los Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite conocidos como GNSS, lo que nos permite darle posición, orientación, escala al modelo en general y a cada uno de los puntos de la nube de puntos.

La forma en que se realiza la Georeferenciación depende del tipo de VANT que se esté utilizando. Ya que es necesario diferenciar que no todos los drones cuentan con receptor GPS, y a su vez no todos los que cuentan con receptor GPS son de tipo GNSS, es decir que a pesar no tener receptor GPS no tienen las capacidades de recibir señal de las principales constelaciones de satélites GLONASS, BEIDOU, GALILEO Y GPS y trabajar con código, fase de la señal portadora. Es por ello que se puede diferenciar dos formas de Georeferenciación basados en el tipo de VANT que se utiliza:

### **2.7.1 VANT con receptor GNSS**

Por lo general los equipos VANT “profesionales” dedicados a la Topografía, Agricultura de Precisión o cualquier otra actividad productiva, traen incorporado un receptor de tipo GNSS el cual puede ser vinculado directamente a una base en tierra en modo RTK, obteniendo así posición precisa requerida en cada punto donde tome las fotografías y a lo largo del vuelo. Puede vincularse también a una Red Virtual mediante Wifi o a una Estación de Rastreo Permanente. De esa manera se crea el modelo con una adecuada Georeferenciación. Además, se podría optar de forma adicional la colocación de algunos puntos de control terrestre como comprobación.

**Imagen 21: VANT modo RTK**

Nota: Libro "aero fotogrametría inteligente AFI"

### 2.7.2 VANT sin receptor GNSS

La mayoría de VANT "domésticos" traen incorporados receptores GPS convencionales, es decir, son capaces de recibir señal procedente de GPS Estadounidense u otras constelaciones como Galileo, pero únicamente señal de código o estándar sin tener ninguna corrección, por lo que la precisión que den será del orden cercano a la decena de metros.

Para salvar esta carencia en el equipo, se opta por la colocación de Puntos de Control Terrestre (Ground Control Point "GCP"). Estos puntos son ubicados dentro del área de interés, de la forma en la que se construyera una mesa con múltiples patas, las cuales deben estar distribuidas de manera equidistante en lo posible, evitando la aglomeración en un sector y la colocación exagerada de puntos. El número de puntos de control dependerá del tipo de relieve, para terrenos llanos u homogéneos será menor el número de puntos a un terreno abrupto o de relieve diverso, por lo que colocaremos de preferencia los "GCP" en lugares donde la topografía cambie.

## 2.8 Procesos de levantamiento fotogramétrico

La escala de trabajo de los Drones los convierte en una herramienta ideal para cubrir la brecha existente entre los levantamientos con aerofotografía y los levantamientos convencionales por tierra.

Uno de los principales obstáculos para realizar levantamientos con Drone es la vegetación (a menos que se cuente con un sensor lidar), por lo cual los Drones y la topografía

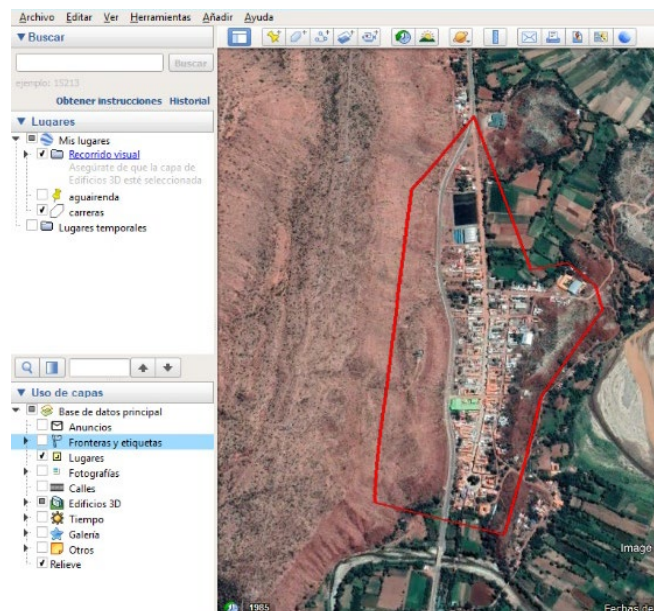
tradicional se utilizarán siempre como complementos y no como un reemplazo una técnica de la otra.

Los pasos a seguir para realizar un levantamiento fotogramétrico con Drones son los siguientes:

### 2.8.1 Inspección de la zona de estudio

Como en cualquier trabajo topográfico, es necesario que primero se haga una revisión de la zona de estudio, preferentemente con visita a campo. De no ser posible, se realiza con el archivo \*kml montado en Google Earth. Los elementos importantes a considerar en este punto: la presencia de vegetación, ya que no implica el mismo trabajo realizar un levantamiento en una zona completamente despejada de vegetación que en la selva. Otro punto importante es la morfología del terreno, es decir, si la superficie es plana, es una sierra, un tajo o zonas con pendientes muy pronunciadas.

**Imagen 22:** KML de los límites del proyecto



Nota: Elaboración propia

### 2.8.2 Reconocimiento de campo

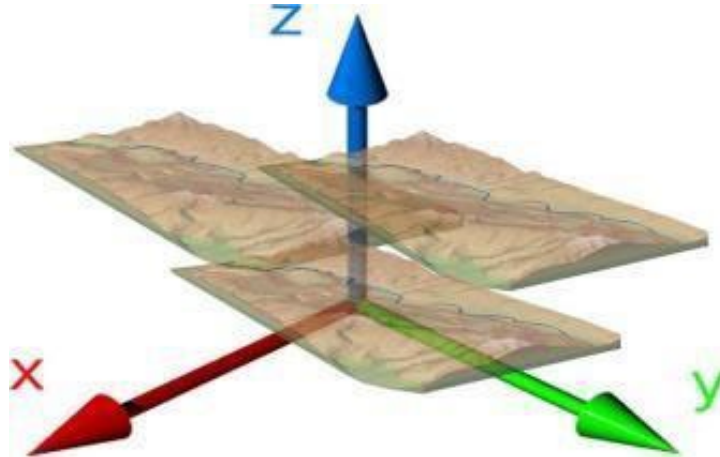
Se realizó un recorrido por el área del proyecto en compañía de la Arq. Guadalupe Jurado Velásquez (encargada del departamento de Catastro) donde se identificó los límites del área de estudio.

### 2.8.3 Puntos de control terrestre

Estos son puntos en el terreno levantados por topografía o geodesia que sirven de base para la orientación absoluta en la restitución fotogramétrica, y para efectuar un

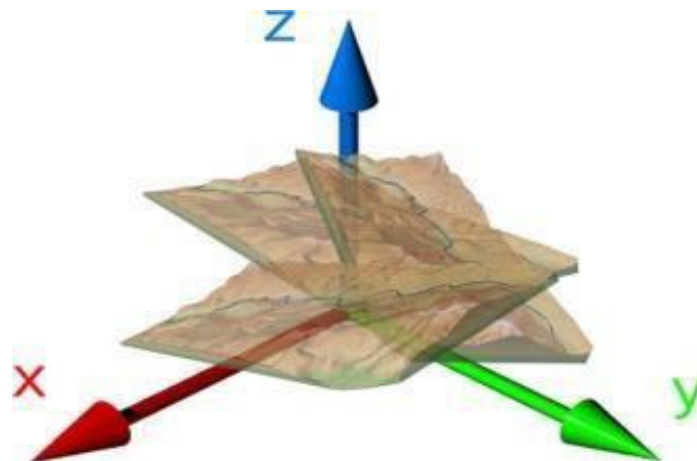
tratamiento geométrico o geo-referenciación de los datos en teledetección. Es decir, cuando se realiza una fotogrametría con drones, la ortofoto resultante es posible que este desviada en los ejes X, Y y Z o incluso que esté rotada en cualquier ángulo o que la escala no sea correcta, o sea puede ser más grande o pequeña de lo que corresponde.

**Imagen 23:** Desviación en ejes x, y, z

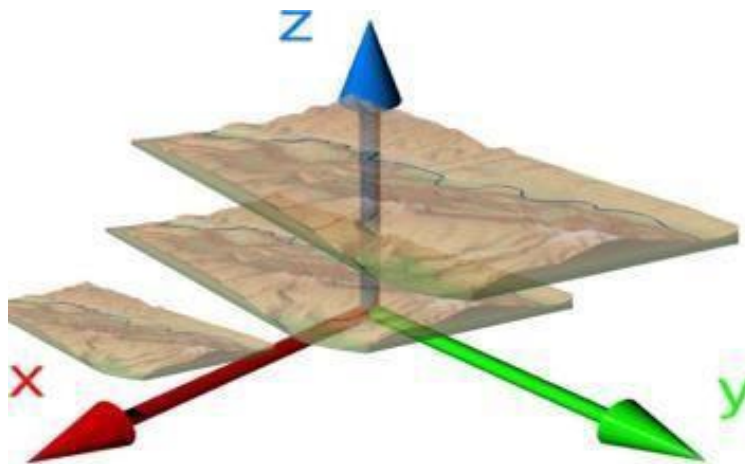


Nota: Guía de iniciación a la topografía con drone

**Imagen 24:** Rotación en ejes X, Y, Z



Nota: Guía de iniciación a la topografía con drone

**Imagen 25: Sin escala**

Nota: Guía de iniciación a la topografía con dron

#### 2.8.4 Cantidad de puntos de control

Esta es la pregunta más frecuente en el trabajo con drones, a continuación, la responderemos de la siguiente manera:

Con 1 punto de control: Ciertamente que al colocar un punto de control el trabajo se fijaría en los ejes x, y, z; pero continuaría la problemática en cuanto a si está girado, inclinado o su escala no es correcta.

Con 2 puntos de control: Al tener estos dos puntos se soluciona el problema del giro y de la escala en el trabajo, así solo queda la inclinación de este como interrogante.

Con 3 puntos de control: Una vez determinado el tercer punto de control el trabajo está totalmente georreferenciado, escalado y en la perfecta inclinación, por lo que se puede determinar que se necesitan mínimo tres puntos de control para realizar una fotogrametría con drones.

Una vez explicado esto se puede mencionar que el número óptimo de puntos de control dependerá del tamaño del terreno, la forma de este y qué tan inclinado sea. Debemos además tener en cuenta que estos puntos se deben ubicar en toda la extensión a estudiar y separarlos de forma que no se sitúen muy separados ni muy juntos.

Se debe tener cuidado de no tener un número muy alto de puntos de control, ya que esto, en vez de ayudarnos, nos complicaría un poco más, pues mientras más puntos tengamos más tiende a aumentar el error topográfico, ya que cada punto controlará una superficie más pequeña del terreno total. **Fuente especificada no válida.**

**Imagen 26:** Colocación de puntos de control terrestre GCP



Nota: Elaboración propia

La colocación de los puntos de control terrestre es realizada con equipos GNSS en modo de posicionamiento Estático o RTK dependiendo de la precisión que deseamos alcanzar, los mismos que son demarcados con “dianas” en formas de “X” de una dimensión apreciable, para que el VANT a su paso sea capaz de capturarla. Por lo que esta actividad debe realizarse previamente al vuelo. Las coordenadas de estos puntos, luego serán introducidas como un dato en el programa de procesamiento para corregir la posición de las fotografías.

### 2.8.5 Planificación y Ejecución del vuelo

Hoy en día existen muchas aplicaciones móviles para planear vuelos de Drones. Los elementos más importantes al planear un vuelo fotogramétrico de manera tradicional eran; el número de líneas de vuelo, la altura de vuelo, la velocidad del avión/avioneta, el porcentaje de sobreposición de las imágenes tanto con las imágenes de su misma línea de vuelo como con las de líneas adyacentes, entre otros.

El objetivo es cubrir cada parte del terreno, por pequeña que sea, para visualizarlo de manera estereoscópica. En los vuelos con drones, las aplicaciones móviles de planeación son muy flexibles, sin embargo, es necesario conocer el fundamento fotogramétrico que permitirá llevar a cabo un buen trabajo. (Topografía con Drones: GeoDrones, febrero de 2019)

### 2.8.6 Correcciones del proceso fotogramétrico

Para el procesamiento de las imágenes tomadas aéreas, los pasos más importantes dentro del proceso fotogramétrico, donde se realizan las diferentes correcciones son:

La rectificación simple, donde se pretende corregir el efecto de la inclinación de la fotografía al obtenerla y así producir una imagen a escala constante (pero aún desconocida) si el terreno u objeto fotografiado es relativamente plano.

Orientación Interna, donde se recupera la geometría de cada una de las tomas fotogramétricas, utilizando las marcas fiduciales.

Orientación Relativa, donde se crean modelos estereoscópicos y se encuentran las coordenadas de dichos modelos utilizando por lo general 6 puntos homólogos que se encuentren en el área de recubrimiento estereoscópico.

Aerotriangulación, consiste en la determinación de puntos en el terreno mediante métodos fotogramétricos. La principal aplicación consiste en la determinación de los canevas de restitución, es decir, conseguir el suficiente número de puntos de apoyo para poder orientar absolutamente todos los pares estereoscópicos que intervengan en un proyecto cartográfico.

Orientación absoluta, en esta parte se da escala y se nivela el modelo estereoscópico a partir de una serie de puntos de posición conocida. Es necesario disponer de una red de puntos de partida que no es determinada obligatoriamente sobre el terreno, sino también por triangulación aérea u otro método, para poder comparar las mediciones “modelo” con los de la “realidad”.

Restitución, se obtienen detalles cartográficos de planimetría y altimetría para generar nuevos mapas o actualizar los existentes. (Topografía con Drones: GeoDrones, febrero de 2019)

## **2.9 Red Geodésica**

Una red geodésica es un conjunto de puntos ubicados en la superficie terrestre en los cuales se determinan su posición geográfica diferencial (latitud, longitud y elevación) mediante el uso de receptores GPS. Al hablar de posición diferencial geográfica nos referimos a la determinación de coordenadas a partir de puntos con coordenadas conocidas.

La creación de redes geodésicas es con la idea de regular que todos los proyectos topográficos y cartográficos que se realicen, tanto en dependencias estatales, municipales y empresas descentralizadas de servicios que utilicen el área pública municipal para la dotación de dichos servicios, así como de particulares, queden ligados a un solo sistema de referencia geográfica <sup>1</sup>

Las redes geodésicas son toda operación que se realice, para complementar o densificar la red con el fin de dar apoyo terrestre directo, para restitución o para el control de bloques de Aero triangulación, deberá realizarse mediante operaciones cerradas (Topográficas, Geodésicas o Fotogramétricas) que permitan su ajuste por mínimos

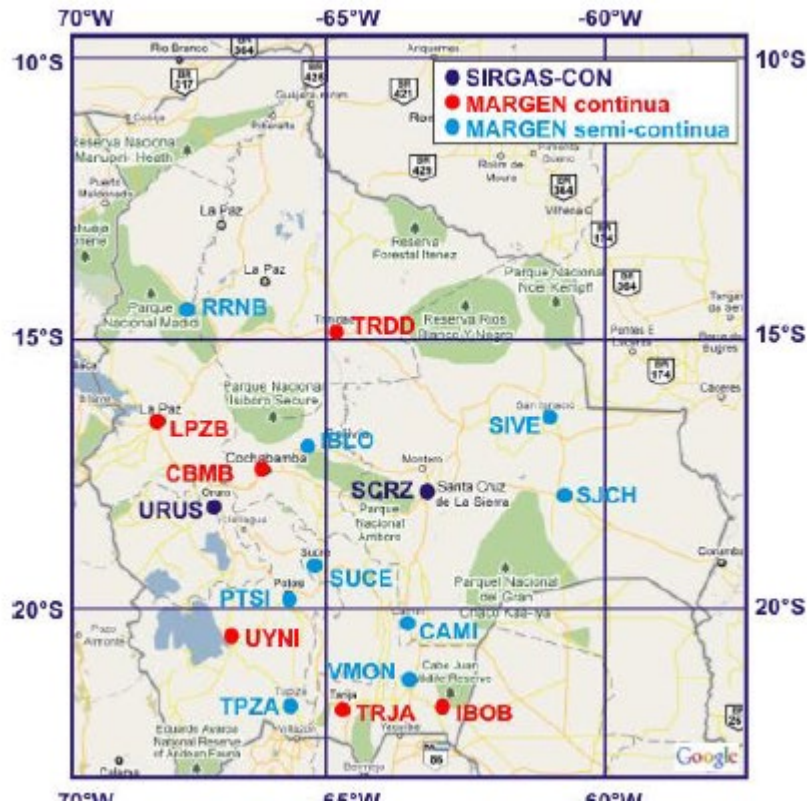
---

<sup>1</sup> <http://geomerida.blogspot.com/2009/01/que-es-una-red-geodsica-y-para-que.html>

cuadrados. Los errores medios cuadráticos, resultantes, en planimetría y altimetría no superaran los 40 cms (Lic Fernando Kieffer Guzman, 1991).

En Bolivia existe una amplia red geodésica, de los cuales muchos son densificaciones realizadas a partir de la red nacional realizada por el Instituto Geográfico Militar.

**Imagen 27:** Marco de Referencia Geodésico Nacional (MARGEN) de Bolivia



Nota: Instituto Geográfico Militar

Las redes geodésicas son de mucha ayuda e indispensables para los trabajos geográficos como ser: planimetría, catastro, etc., esto con el fin de darle la precisión requerida e indispensable en los trabajos.

## 2.10 Vuelo Fotogramétrico con Drone

La fotogrametría es una técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas.

Por lo que resulta que el concepto de fotogrametría es: “medir sobre fotos”. Si trabajamos con una foto podemos obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si trabajamos con dos fotos, en la zona común a éstas (zona de solape), podremos tener visión estereoscópica; dicho de otro modo, información tridimensional.

Básicamente, es una técnica de medición de coordenadas 3D, también llamada captura de movimiento, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

### 2.11 Generación de la nube de puntos densa

Esta etapa consiste en generar una mayor cantidad de puntos 3D de manera que complemente la nube de puntos dispersa generada en la etapa inicial de un procesamiento. Las estrategias empleadas en esta etapa forman parte de lo que se considera como técnicas de correlación de múltiples imágenes o *multi-image matching*.

Algunas estrategias como la de Barazzetti, Scaioni y Remondino (2010), basadas en la técnica llamada GC3 (*geometrically constrained cross-correlation*) o MIGC3 (*multi-image geometrically constraint cross-correlation*) (Lingua, Marenchino y Nex, 2009c) emplean la nube de puntos dispersa para generar un modelo digital del terreno aproximado. La estrategia consiste en seleccionar una imagen base central y dos de búsqueda adyacentes. De la imagen base se identifica un punto característico que se proyecta sobre el modelo del terreno aproximado y se establece una altura máxima y una mínima. Estos tres puntos (punto máximo, mínimo y del terreno) son reproyectados a las imágenes de búsqueda, definiendo la geometría epipolar aproximada en estas imágenes. Por último, sobre esta geometría epipolar, se identifican los puntos homólogos, y a su vez se determina el valor de la nueva altura en el terreno. Marenchino (2009) presenta un algoritmo de filtrado llamado *self-tuning standard deviation median filter* (S2MF) para la edición de la nube de puntos. Esta estrategia es generalmente empleada para filtrar DSM generados con técnicas LIDAR.

Otra estrategia corresponde a una técnica llamada estereopsis de múltiples vistas (*multi-view stereopsis*), presentada por Furukawa y Ponce (2007). La técnica emplea las correspondencias extraídas y expande estos puntos a manera de regiones dentro de las que determina las correspondencias de píxeles vecinos (Lucieer, Robinson y Turner, 2011). Esta técnica ha sido implementada en el *software* PMVS2 (*Patch-based Multiview Stereo*) el cual toma un conjunto de imágenes y los parámetros de la cámara para reconstruir la estructura 3D de la escena registrada, descartando estructuras no rígidas o en movimiento (Furukawa y Ponce, 2007).

Hirschmuller (2005, 2008, 2011) presenta un método llamado *Semi-Global Matching* (SGM) para la generación de nubes de puntos densas. La estrategia se basa en la comparación de píxeles a través de un concepto denominado *mutual information*, que depende de las diferencias de entropía entre imágenes. La entropía, que es una medida de la cantidad de información requerida para describir una señal en imágenes, está asociada

proporcionalmente al contraste presente radiométricamente (Gehrke, Morin y Downey, 2010), por tanto, en píxeles homólogos las diferencias de entropía serán mínimas. En ese sentido la estrategia se encarga de establecer la correspondencia de cada uno de los píxeles de las imágenes, para la generación de una nube de puntos densa. Haala (2011) presenta un algoritmo basado en el *semi-global matching* de Hirschmuller con algunas consideraciones adicionales.

Hirschmüller y Bucher (2010) presentan una evaluación de los modelos digitales de elevación de zonas urbanas generados a partir de la nube de puntos del semi-global matching. En esta investigación se concluye que la calidad de los modelos digitales generados a partir de imágenes aéreas, son comparables a los generados por un escáner laser aéreo. Por otra parte, Gehrke et al. (2010) establece que la estrategia de semiglobal matching es comparable con la tecnología LIDAR, en la medida en que se pueden obtener modelos digitales de elevación de alta precisión generados a partir de nubes de puntos de alta densidad.

## **2.12 Modelo digital de elevaciones y ortorrectificación**

La etapa final en el procesamiento de imágenes tomadas con sistemas UAV o fotogrametría con drones consiste en generar un modelo digital de elevaciones o de superficie (DSM) y un ortomosaico de la zona de trabajo. Para la generación de estos modelos la nube de puntos debe pasar por una triangulación y rasterización. Una estrategia empleada es la triangulación de Delaunay, en la que se genera una red irregular de triángulos (TIN) de la que son interpoladas los valores de altura para la generación de un archivo raster. Esta estrategia es igualmente empleada en la reconstrucción de superficies a partir de nubes de puntos obtenidas con escáner laser terrestre (Gallo, Cáceres y Porras, 2014). Por su parte, en la generación del ortomosaico, las imágenes individuales son rectificadas a partir del modelo de elevaciones, eliminando la distorsión asociada al relieve. Este proceso consiste en proyectar cada píxel de la imagen sobre el modelo de elevación para determinar el valor de altura, este valor es empleado para re proyectar sobre la imagen la nueva posición del píxel. La proyección y re proyección de los píxeles de la imagen se realiza con las ecuaciones de colinealidad. Por último, todas las imágenes rectificadas son unidas formando un mosaico.

Una de las investigaciones más detalladas en la generación de estos productos a partir de imágenes UAV y combinando estrategias de procesamiento en áreas como la fotogrametría y visión por computador es presentada por Barazzetti *et al.* (2014). La investigación se basa en la implementación de un algoritmo llamado MGCM (*multi-image least squares marching*) que apoyado en una nube de puntos dispersa genera un modelo más denso de puntos a través de triangulación. Finalmente, a partir de este modelo denso (*mesh*)

se realiza la ortorrectificación considerando los objetos tridimensionales y las áreas de oclusión en la escena.

### 2.13 Digitalización de Geometrías

La digitalización es una de las tareas básicas de un SIG y nos permite transformar la información geográfica desde un formato analógico, como puede ser un mapa en papel o en formato digital (como puede ser una ortofoto o un servicio WMS<sup>2</sup>), de forma que pueda ser almacenada y visualizada posteriormente en un ordenador, empleando un software GIS para ello.

Esta digitalización implica la existencia de un usuario con manejo de programas SIG (ArcGIS - QGis, etc.) que introduce o genera dicha información valiéndose de las herramientas que proporciona el PC, ratón y teclado fundamentalmente.

El procedimiento de digitalización implica convertir las entidades geográficas del mapa o imagen, en entidades de tipo línea, punto o polígono.

Durante este proceso es inevitable la introducción de algunos errores, lo que hace que la digitalización conlleve a su vez una corrección de los mismos, pudiendo emplear para ello los medios que esta técnica nos proporciona, además de la creación de topología.

Para la información catastral se digitaliza principalmente las siguientes geometrías:

- Manzanos.
- Predios.
- Construcciones.
- Áreas verdes.

Por lo tanto, las geométricas resultantes de la restitución de predios, construcciones, etc. serán del siguiente tipo:

---

<sup>2</sup> Servicio Web de Mapas

**Imagen 28:** Geometría de vectores



**Nota:** Geospatial Industry

Para nuestro caso la digitalización o vectorización es sin duda alguna la etapa más importante, pero también significa un proceso novedoso en nuestro medio, ya que se hará uso de un producto dado por el software de proceso, la nube de puntos densa.

La nube de puntos densa contiene datos tridimensionales que nos permiten apreciar de manera precisa los límites, materiales de construcción, elevaciones de las construcciones. Es así que, aprovechando esta información, procederemos a transformar los datos en toda una serie de archivos que en sus inicios representan simples elementos geométricos (polígonos), al irse enriqueciendo en el proceso con una adecuada tabla de atributos llegan a constituir información cuya aplicabilidad es inmensamente variable.

Los datos vectoriales generados a partir del proceso de digitalización se caracterizan por poseer en primer lugar una geometría específica asociada a la forma y posición del dato, y en segundo lugar una serie de atributos asociados al tamaño y tipo del dato.

Para la digitalización de manzanas se consideraron los vértices exteriores de las murallas perimetrales de los predios, estos fueron delimitados utilizando una polilínea que luego será exportada para que una vez obtenido el ortomosaico de nuestra área de estudio se proceda a delimitar los vértices interiores de cada predio y seguidamente a armar la base de datos geográfica catastral.

Se procedió a la construcción de una base geográfica con la ayuda del software ArcGIS. Dentro de este software tenemos la opción de crear dos tipos de geodatabases, el de archivo o personal. En este caso optamos por construir el de archivo, esta elección se debió a que una geodatabase de archivos es una colección de archivos en una carpeta en el disco que puede almacenar, consultar y administrar datos espaciales y datos no espaciales,

además que el tamaño máximo predeterminado de datasets en geodatabases de archivos es 1 TB. El tamaño máximo se puede aumentar a 256 TB para datasets grandes

(normalmente ráster). (Geodatabase de Archivos: ESRI, 2019)

## 2.14 Topología de Geometrías

La topología permite encontrar geometrías coincidentes o comunes tanto en entidades de puntos, líneas y polígonos, así como comprobar la integridad de la información y validación de las representaciones dentro de una geodatabase, muy útil en elementos hidrográficos, red vial, parcelas, etc.

Para definir una topología los elementos vectoriales deben estar dentro de una Geodatabase. (Topología en ArcGIS: Franz P.C., enero 2013)

En las geodatabases, la topología define cómo las entidades de puntos, líneas y polígonos comparten una geometría coincidente. Por ejemplo, las líneas de centro de calles y los bloques censales tienen una geometría común y los polígonos de suelo adyacentes tienen límites comunes.

La topología es algo más que proporcionar un mecanismo de almacenamiento de datos. En ArcGIS, la topología incluye todos estos aspectos:

La geodatabase incluye un modelo de datos topológicos con un formato de almacenamiento abierto para entidades simples (clases de entidad de puntos, líneas y polígonos), reglas topológicas y coordenadas topológicamente integradas entre las entidades con geometría compartida. El modelo de datos permite definir las reglas de integridad y el comportamiento topológico de las clases de entidad que participan en una topología.

ArcGIS incluye capas de topología en ArcMap que se utilizan para mostrar relaciones topológicas, errores y excepciones. ArcMap también incluye un conjunto de herramientas para consultar, editar, validar y corregir los errores de las topologías.

ArcGIS incluye herramientas de geoprocésamiento para generar, analizar, administrar y validar las topologías.

ArcGIS incluye lógica de software avanzada para analizar y detectar los elementos topológicos en las clases de entidad de puntos, líneas y polígonos.

ArcMap incluye un marco de edición y de automatización de datos que se utiliza para crear, mantener y validar la integridad topológica y para editar entidades compartidas.

La lógica de software de ArcGIS está disponible en los productos ArcGIS for Server y ArcGIS for Server que permiten navegar por las relaciones topológicas, trabajar con la adyacencia y la conectividad y ensamblar entidades a partir de estos elementos. Por ejemplo,

permiten identificar los polígonos que comparten un borde concreto; mostrar los bordes que se conectan en un nodo determinado; navegar por los bordes conectados desde la ubicación actual; agregar una nueva línea y grabarla en el gráfico topológico; dividir líneas en las intersecciones; crear los bordes, caras y nodos resultantes. (Topología en ArcGIS: Esri. 2019)

## **2.15 Catastro**

El catastro es el registro administrativo dependiente del Estado en el que se describen los bienes inmuebles rústicos, urbanos y de características especiales.

Sus orígenes se remontan a la Roma Antigua, donde lo instauró Servio Tulio, con el propósito de imponer un tributo a la propiedad de nobles y terratenientes, según el patrimonio inmobiliario que poseyeran.

Se conservan datos todavía más antiguos, como los del Egipto faraónico, donde se conservaban de forma detallada los límites y dimensiones de las parcelas de explotación agraria, para que los agricultores pudieran recuperar sus tierras después de la crecida del Nilo.

### **2.15.1 Historia del Catastro en Bolivia**

El primer proceso catastral de inmuebles en el país se realizó en 1940. En esa oportunidad fueron registradas todas las parcelas de la República, con excepción de aquellas que se ubicaban en los departamentos de Beni y Pando. Durante los 28 años siguientes esos datos fueron utilizados prácticamente sin ninguna actualización. En 1968 la Agencia Americana para el Desarrollo Internacional financió un proyecto de actualización catastral en la ciudad de La Paz, el cual constituyó uno de los pilares fundamentales del sistema catastral actual. El proyecto tuvo como principal objetivo establecer un sistema de valuación en masa y definir una base de apoyo para registros de la propiedad. Los buenos resultados alcanzados mostraron a los administradores la necesidad de efectuar trabajos similares en el resto de los centros urbanos del país y en julio del mismo año se crea la Dirección Nacional de Catastro Urbano - DNCU, como órgano dependiente del Ministerio de Hacienda. (Decreto Supremo 08418)

Durante casi una década (de 1968 a 1977), fueron realizadas actualizaciones en 12 ciudades importantes de Bolivia. El trabajo fue desarrollado a través de los Escritorios Subdistritales ubicados en los centros urbanos menores. Se esperaba que esa estructura administrativa fuese suficientemente sólida como para apoyar el proyecto y consecuentemente dar continuidad operativa al mismo. En 1969 se crea el Registro Nacional de la Propiedad Inmueble Urbana sobre la responsabilidad de la Dirección Nacional de Catastro (Decreto Supremo 08693) – DNC y un año después la ley de bases atribuye al recién

creado Ministerio de Urbanismo y Vivienda atribución de incorporar a su estructura a la Dirección y la función de organizar el catastro urbano en todo el país. En estos cambios administrativos los datos que componían el catastro económico quedaron registrados en el Ministerio de Hacienda el cual continuó teniendo la competencia de la recaudación de los impuestos hasta 1977, año en que se unifica el impuesto a la propiedad urbana, pasando este a dominio exclusivo de los municipios. La idea de crear catastros descentralizados, con Oficinas Distritales en las capitales de los departamentos, sumados a los procedimientos rígidos y burocráticos impuestos derivaron en dualidad de informaciones y, consecuentemente, poca confiabilidad. Para salir de esta situación, el día 10 de enero de 1985 se promulga la Ley Orgánica de Municipios, la cual otorga a los mismos el derecho exclusivo de administrar el catastro urbano y recaudar el impuesto predial. Un año después, el día 20 de mayo de 1986, la Ley 843 de Reforma Tributaria devuelve al DNCU (que en ese momento dependía del Ministerio de Asuntos Urbanos) las atribuciones de dictar políticas y normas en materia de catastro urbano, revocando todas las reglamentaciones en vigor hasta su sanción. Esta ley permitió concretar un ordenamiento institucional y conceptual del catastro, especificando directrices de administración de los mismos por parte de las Alcaldías Municipales y atribuyendo el rol normativo y fiscalizador al citado Ministerio. La Ley 834-86 atribuyó a la DNCU la responsabilidad de actualizar los valores de los inmuebles, sustituyendo a los registrados hasta entonces (Artículo 62). Aún en el año 1986, más precisamente el día 28 de noviembre, el D.S. 21.453 reglamenta la citada ley y fija un plazo de tres años para que la Dirección Nacional realice esas valuaciones. Paralelamente, en el período de 1986 a 1988, dentro del marco de actividades definidas en el proyecto de Naciones Unidas PNUD-HABITAT BOL-84-001 fue elaborada una propuesta de Sistema Catastral Urbano que comprendía una serie de subsistemas de información gráfica y analítica. En 1991, tomando como base las atribuciones otorgadas por el Art. 33 de la Ley Orgánica del Ministerio de Urbanismo y Vivienda (en ese momento denominado Ministerio de Asuntos Urbanos) y las disposiciones de la Ley de Reforma Tributaria (Art. 62), la DNCU elabora un reglamento con el objetivo principal de establecer los mecanismos de actualización y estructuración del sistema de catastro urbano de manera que sea posible determinar la base de recaudación del impuesto predial urbano. Este Reglamento se crea a través de la promulgación del D.S. 22.902-91 y se aprueba por el Consejo Nacional de Economía y Planeamiento mediante la resolución 078-91 de 26 de julio de 1991. El reglamento constituye el primer resultado formativo concreto obtenido en el Proyecto de Sistematización y Modernización del Catastro Urbano que formaba parte del Programa de Crédito Regional para Desarrollo Urbano y Saneamiento financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo – BID.

En 1993 se promulga la Ley de Ministerios del Poder Ejecutivo, mediante la cual se extingue el Ministerio de Vivienda y Asuntos Urbanos, creándose la secretaria nacional de Asuntos Urbanos mediante el D.S. 23.066-91, organismo dependiente de la Dirección nacional de Catastro. De forma concomitante a los cambios ocurridos en el catastro urbano boliviano, el catastro rural también sufrió alteraciones. La Ley 3464 de 2 de agosto de 1953, denominada Ley de Reforma Agraria, constituye un marco en la legislación de tierras del país al trazar el camino para la aplicación de políticas de redistribución de tierras, de reducción del latifundio y de optimización de la ocupación del espacio rural en el territorio nacional. Para administrar estos deseos se crean el Consejo Nacional de Reforma Agraria y programas de colonización y asentamiento. Paralelamente surge el Instituto Nacional de Colonización (Decreto Ley No. 07226 de 28 de junio de 1965) –INC– con la responsabilidad de promover los procesos de colonización dirigidos por el Estado. Esta institución desarrolla el trabajo de colonización de parcelas rurales en diferentes lugares del país, por ejemplo, en la zona norte del Departamento de La Paz y en los departamentos del Beni y Santa Cruz, y realiza dotaciones de terrenos urbanos destinados a la creación de ciudades o poblaciones intermedias, las cuales fueron consolidadas a partir de mapas catastrales y de un sistema de catastro los cuales, lamentablemente, no fueron actualizados. En 1992 un Decreto Supremo ordena la intervención del INC a efectos de parar los actos de corrupción y mal manejo de estas instituciones. Siendo que los objetivos no fueron alcanzados, 40 años después de la sanción de la Ley de Reforma Agraria fue necesario buscar el apoyo financiero y técnico de instituciones extranjeras para dejar de lado las arbitrariedades cometidas y los problemas surgidos durante la implementación de los programas. De esa manera, el día 26 de junio de 1995 la Asociación Internacional de Fomento y la República de Bolivia firman el Convenio de Crédito de Desarrollo AIF 2742-BO/Banco Mundial, con el objetivo principal de desarrollar y ejecutar el Proyecto Nacional de Administración de Tierras – PNAT – el cual debería ser aplicado en diferentes departamentos del país. Aún en 1995 se promulga el D.S. 24.134 mediante el cual se reestructura el Ministerio de Desarrollo Humano, atribuyéndole poderes sobre la Secretaría Nacional de Participación Popular. Ese mismo año la Resolución Ministerial 129/95 coloca a la Dirección Nacional de Catastro bajo la Subsecretaría de Fortalecimiento Institucional de la Secretaría Nacional de Participación Popular y el día 12 de junio del año siguiente se firma el Convenio Crédito NDF 157 entre el Fondo Nórdico de Desarrollo y la República de Bolivia para extender el proyecto las zonas contiguas a las determinadas por el PNAT de 1995. Dos años después, en 1977, la nueva Ley de Organización del Poder Ejecutivo no cita a la Dirección Nacional de Catastro, quedando nuevamente sin definición institucional. Solamente el 15 de julio de 1998 se promulga el D.S. 25.100 que instituye el Sistema Nacional de Catastro –SNC– bajo el concepto de integridad y unidad técnica de la función catastral urbana y rural, creándose el Instituto Nacional de

Catastro –INC– como entidad pública descentralizada, dependiente del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planeamiento. Así, las instituciones que pasan a formar parte del SNC son el mencionado INC, el Instituto Nacional de Reforma Agraria –INRA–, los Gobiernos Municipales y los Registros Públicos. En julio de 1999 se promulga el D.S. 25.471 el cual transfiere todas las competencias atribuidas al Viceministerio de Participación Popular y Fortalecimiento Municipal en materia de Autoevaluación, a favor del Instituto Nacional de Catastro (Artículo 14). Resta mencionar que, pese al tiempo transcurrido, aún se encuentra vigente el Decreto Ley N° 3819 de 27 de agosto de 1954 que norma sobre la Reforma Urbana y que el catastro boliviano está sujeto a la mencionada ley 843 de 1986, puesto que la ley del Poder Ejecutivo N° 2493 de marzo del 2003 y decretos supremos posteriores, han disuelto en forma literal el Instituto Nacional de Catastro, dejando ello un vacío legal y técnico en lo que corresponde al catastro urbano. (Historia del Catastro

Territorial en Latinoamérica: los países del Conosur: Diego Alfonso Erba, abril 2005)

En Bolivia podemos mencionar 2 tipos de catastros bien identificados, estas son los siguientes:

Catastro Rural. – Realizada por el Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA), donde se emite certificado catastral, títulos ejecutoriales y certificados de transferencia; con el fin de asegurar el derecho propietario a las personas naturales y jurídicas que lo soliciten en el área rural de todo el territorio del Estado Plurinacional de Bolivia.

En su norma técnica el INRA en su artículo 28, párrafo III hace mención sobre la precisión requerida en los vuelos fotogramétricos para la toma de fotografías aéreas: "...Las fotografías aéreas digitales deberán ser tomadas con cámara digital fotogramétrica matricial o de barrido, con resolución espacial de 60 cm..."; al poseer dicha resolución, nos está dando a conocer un parámetro requerida en la precisión espacial (tamaño pixel).

Catastro Urbano. – Tiene como objetivo específico el levantamiento de la información física, económica y jurídica de las áreas urbanas constituyendo la base única para la aplicación de impuestos a la propiedad inmueble urbana, a medida que esta se incorpore al sistema catastral, constituyéndose también una base de datos para otras aplicaciones multifinalitarias.

Cada municipio es el encargado de ejecutar y administrar el catastro urbano dentro del área de su jurisdicción, en conformidad con las normas de Catastro Urbano vigente a nivel nacional.

Actualmente se tiene el Reglamento Nacional de Catastro Urbano de 1991 donde hace mención a las especificaciones técnicas; dentro de estas en su capítulo IV, Numeral 1; hace mención a la utilización de apoyo terrestre por intermedio de fotogrametría:

“...deberá realizarse mediante operaciones cerradas (topográficas, geodésicas o fotogramétricas) que permitan su ajuste por mínimos cuadrados. Los errores medios cuadráticos en planimetría y altimetría no superaran los 40 cm...”

El catastro, tiene 3 (tres) funciones bien diferenciadas:

La primera de ellas, es servir como referencia para los futuros planteamientos urbanos y rurales. Sin un conocimiento exhaustivo de los límites de las propiedades y registros de las mismas, los ayuntamientos no podrían poner en marcha planes de ordenamiento.

La segunda es ayudar a calcular el monto total de los impuestos inmuebles que cada ayuntamiento recopila en su función contributiva.

Por último, sirve como guardián de seguridad jurídica, pues en él se anotan todas las sucesivas propiedades de una inmueble o terreno. Así, en las disputas por la propiedad, el Catastro sirve de garantía jurídica de propiedad.

Para que este organismo pueda cumplir con las diferentes funciones, existen 3 (tres) tipos distintos: el fiscal, el jurídico y el geométrico.

El Catastro fiscal; recoge el valor del inmueble, y se actualiza de forma anual. Con esta cifra se calcula la contribución proporcional del Impuesto de Bienes Inmuebles, que recaudan las distintas propiedades.

El Catastro jurídico; recoge la relación entre el propietario, la propiedad y la comunidad.

El Catastro geométrico; sirve para recoger la medición, subdivisión, representación e ubicación del bien inmueble. (Que es el catastro, para que sirve, los tipos que existen: Inmogesco, 2010)

El Estado Plurinacional de Bolivia a través del Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda ha logrado establecer los procesos de gestión y generación del catastro urbano en 12 Gobiernos Autónomos Municipales (GAMs) principales del país que a la fecha llegó aproximadamente a 500.000 predios urbanos para poder contar con información que servirá para las políticas públicas municipales y nacionales en el marco de la autonomía promovida desde la gestión 2010.

Asimismo, el contexto de la información dará un salto amplio a la generación de instrumentos de gestión del territorio, así como un gran impacto en las finanzas municipales, eso sí, el Estado Plurinacional precautelará siempre el bienestar y la economía de los ciudadanos con el eficiente uso de la información producida y administrada por los Gobiernos Municipales beneficiarios del Programa de Mejora de la Gestión Municipal (PMGM), que ejecutan los Levantamientos Catastrales Urbanos.

También es importante señalar que el Estado a partir de la ejecución de los recursos, a través del PMGM, alcanzará los 53 millones de dólares de inversión, logrando importantes aportes en el desarrollo de las habilidades técnicas, capacitando a los técnicos de las diferentes direcciones y jefaturas de catastro de los municipios beneficiarios logrando así un equipo técnico especializado que asegure que la inversión realizada pueda ser sostenible en el tiempo dentro su Municipio.

Nuestro Gobierno coadyuva a los municipios a desarrollar un catastro urbano multifinalitario, generando con eficiencia la nueva visión de Estado Plurinacional con respecto a las ciudades convirtiéndolas en comunidades urbanas. (Catastro Urbano en los tiempos del estado Plurinacional de Bolivia: Ministerio de Obras Públicas, 2019).

## **CAPÍTULO III. MARCO CONTEXTUAL**

### **3.1 Ubicación Geográfica**

Las Carreras es una localidad y municipio de Bolivia en la Provincia Sud Cinti del departamento de Chuquisaca al sur del país. Las Carreras se encuentra a 250 km de Potosí y a 112 km de Tarija. La localidad forma parte de la Ruta Nacional 1 de Bolivia, está situada a 2327 metros sobre el nivel del mar.

Las Carreras forma parte del cañón Cinteño, caracterizado por la producción de hortalizas y variedades de uva. Es el único municipio que aún mantiene las tradiciones vitivinícolas antiguas, donde se producen los mejores vinos criollos del departamento y entre los mejores del país.

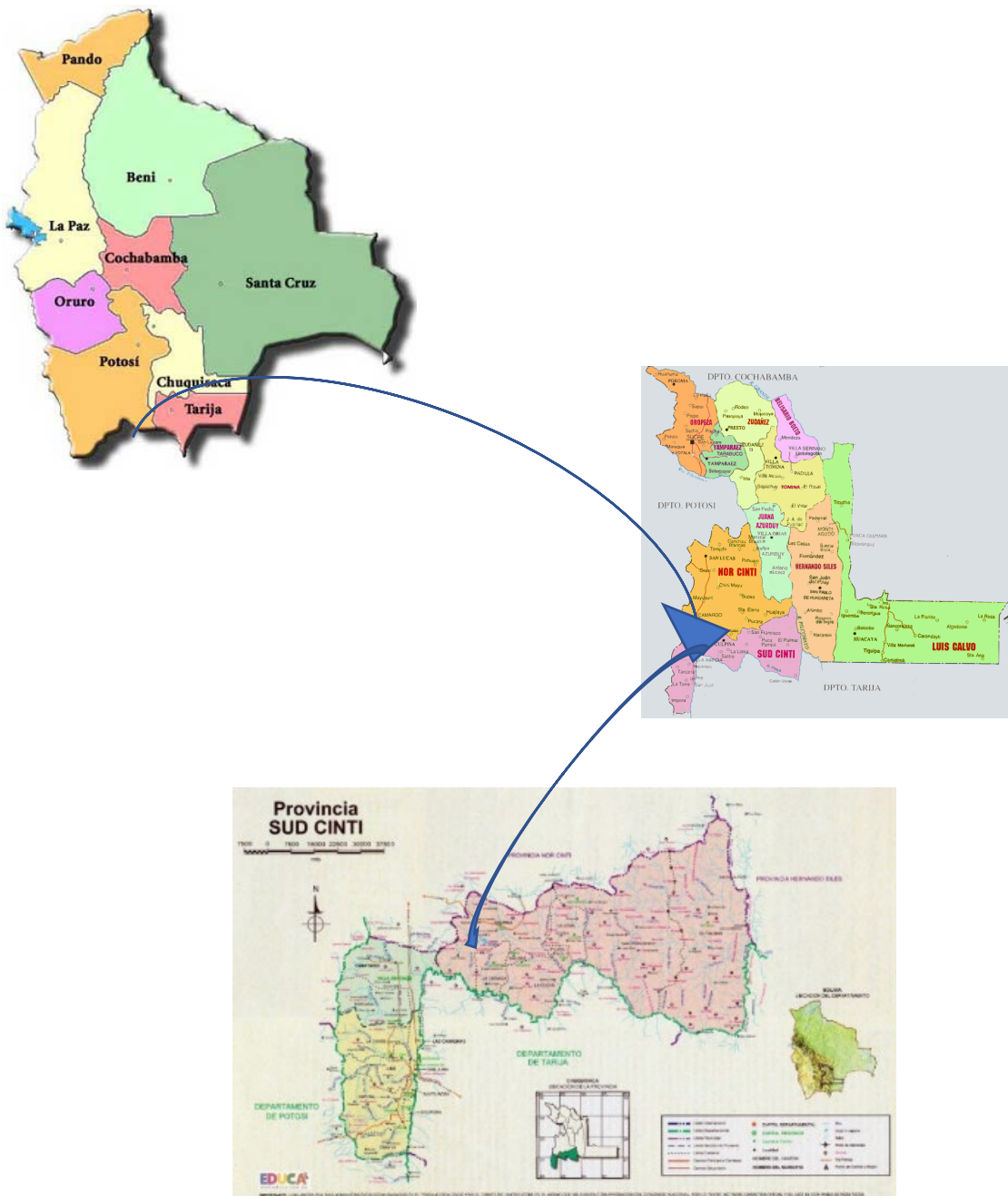
Las Carreras se encuentran en la Provincia Sud Cinti perteneciente a la Región de los Cintis. Geográficamente el territorio, se encuentra ubicado entre los paralelos 21°04' y 21°31' de Latitud Sur y entre los 65° 12' y 65°30' de Longitud Oeste. Sus altitudes promedio, oscilan entre los 2345 y 2750 m.s.n.m.

La extensión del territorio abarca una superficie total de 1074,0 kilómetros cuadrados, que representa el 19,58% del territorio de la Provincia Sud Cinti (5.484 km<sup>2</sup>) y el 2,08% de la superficie del Departamento de Chuquisaca (51.524 km<sup>2</sup>).

El municipio de Las Carreras limita con:

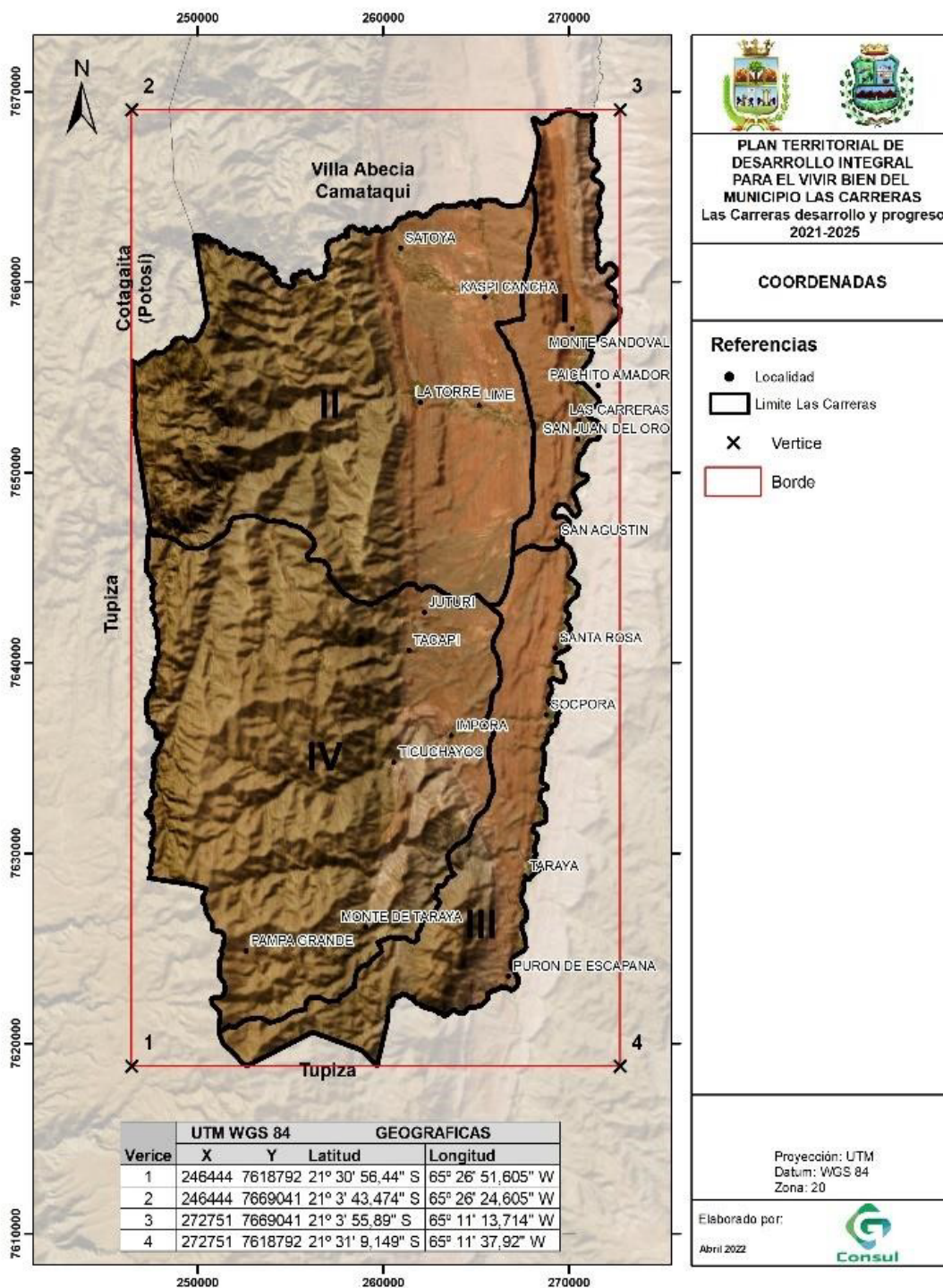
- Al Este con el Municipio de El Puente, Provincia Méndez, Departamento de Tarija.
- Al Oeste con el Municipio Tupiza, Provincia Sud Chichas, Departamento de Potosí.
- Al Norte con el Municipio de Villa Abecia, 1ra sección, Provincia Sud Cinti – Chuquisaca.
- Al Sur con el Municipio de Tupiza, Provincia Sud Chichas, Departamento de Potosí.

Imagen 29: Macro Ubicación Municipio “Las Carreras”



Nota: Elaboración propia

Imagen 30: Mapa de Ubicación y coordenadas Municipio “Las Carreras”



Nota: Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI) 2021 – 2025

### 3.2 División política administrativa

El municipio cuenta con cuatro distritos, los cuales se distribuyen el total de 19 comunidades, con un número equilibrado entre 4 y 6 comunidades por distrito.

**Tabla 1:** Comunidades y centros poblados de los distritos del municipio

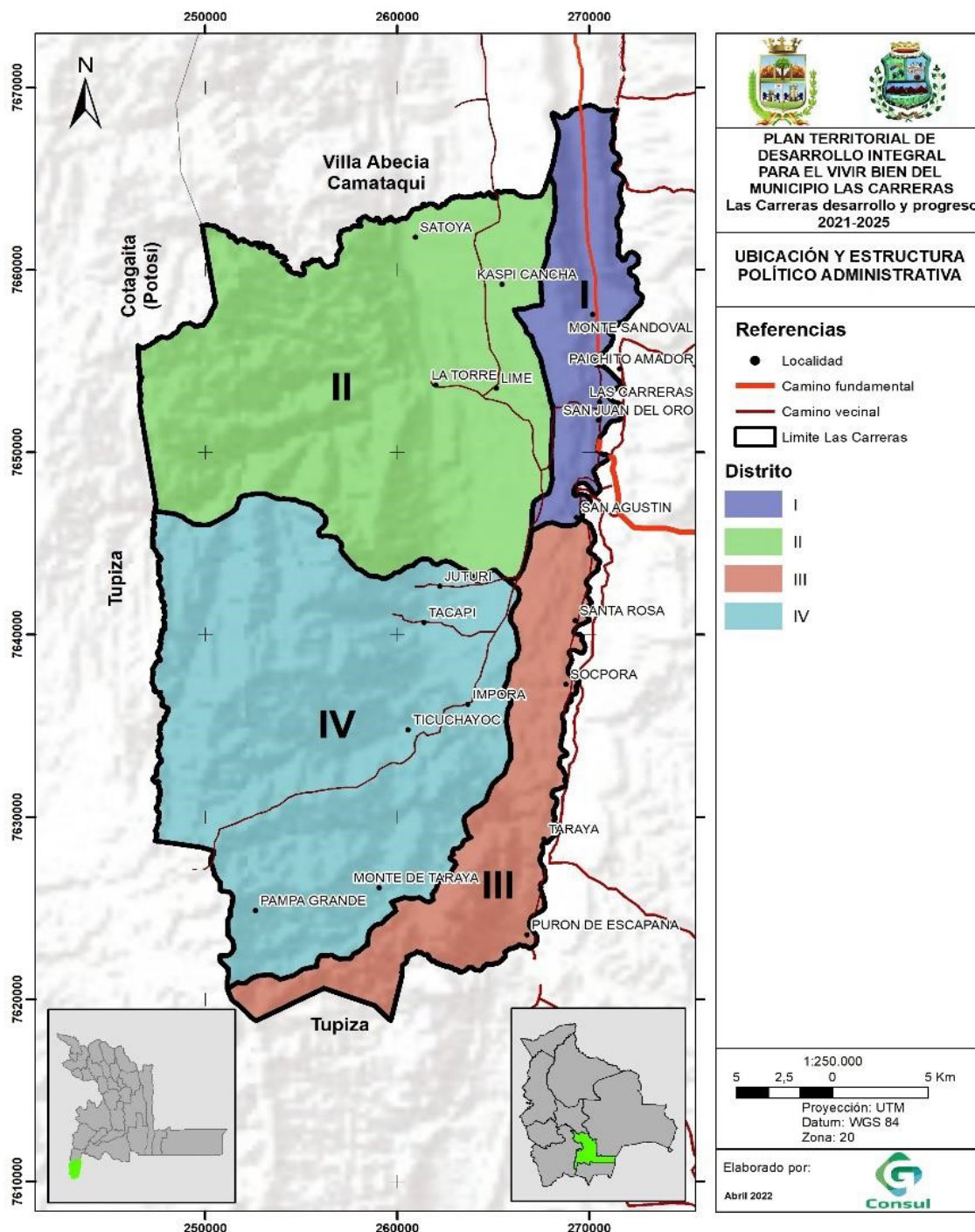
DISTRITOS		COMUNIDADES
I	LAS CARRERAS	1.-Las Carreras
		2.- Monte Sandoval
		3.- San Juan del Oro
		4.- Tierras del Señor
II	Lime	5.-Lime
		6.- Satoya
		7.- La Torre
		8.- Kaspicancha
III	Santa Rosa	9.- Santa Rosa
		10.- Socpora
		11.- Chañanhuayco
		12.- Taraya
		13.- Purón de Escapana
IV	Impora	14.- Impora
		15.- Juturí
		16.- Tacapi
		17.- Ticuchayoc
		18.- Monte de Taraya
		19.- Pampa Grande

Nota: Elaboración propia en base a datos de la alcaldía las Carreras 2021

La localidad de Las Carreras es el principal centro poblado, en el cual se encuentran los principales servicios y entidades públicas y privadas.

El municipio de Las Carreras en la zona altiplánica (alta) tiene el sector de las minas el cual está actualmente en proceso de creación y tramitación de su personería jurídica para la nueva comunidad denominada Queñua Marca.

**Imagen 31: Mapa de ubicación geográfica de las comunidades y distritos**



Nota: Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI) 2021 – 2025

### 3.3 Características demográficas

De acuerdo a datos del INE (Instituto Nacional de Estadística) la tasa de crecimiento del Municipio de Las Carreras es de 1.2 y la población según el censo del 2012 es de 4088 habitantes, definida como población rural.

Los datos proyectados al año 2020 en relación a la cantidad de habitantes y según la tasa de crecimiento del municipio son de 4497 habitantes, siendo la densidad poblacional de 4 Hab/km<sup>2</sup>.

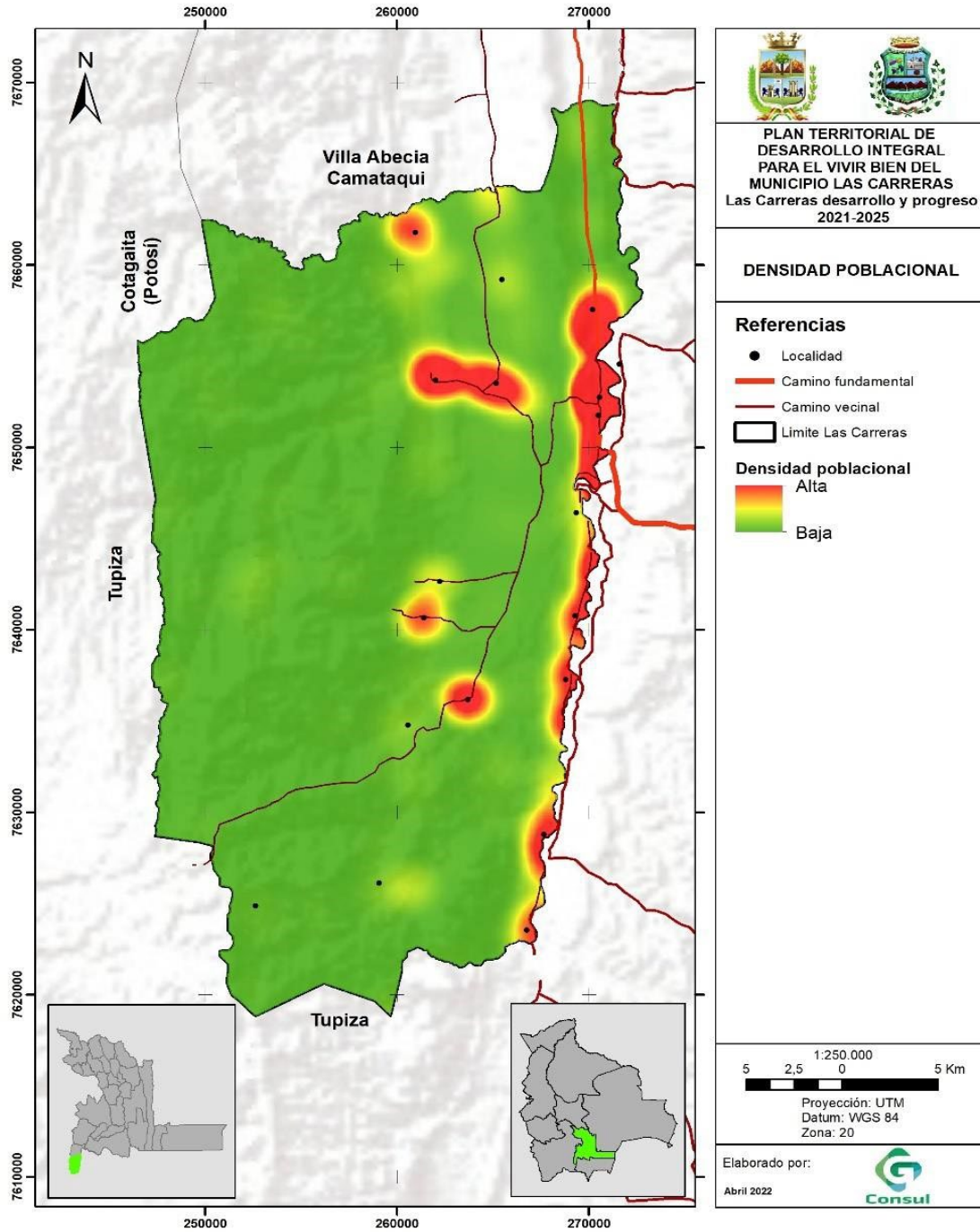
Así mismo, aclarar que la mayoría de la población está asentada en el distrito I, constituyéndose el 42.1 % de la población en ese Distrito, sin embargo, en el centro poblado, es decir, el área urbana representa el 18.7 % de la población; de manera opuesta el Distrito IV Impora solo representa 12,3% de la población del municipio.

**Tabla 2:** Distribución de la población por distrito y comunidad según censo 2012 y proyectados al 2020 del municipio de Las Carreras"

DISTRITO	HABITANTE POR DISTRITO	%	COMUNIDAD	HABITANTES POR COMUNIDAD	%
I. LAS CARRERAS	2082	42,1	Las Carreras	925	18,7
			Monte de Sandoval	465	9,4
			San Juan del Oro	534	10,8
			Tierras del Señor	157	3,2
II. LIME	1495	30,3	Lime	811	16,4
			Satoya	250	5,1
			La Torre	328	6,6
			Kaspicancha	106	2,2
III. SANTA ROSA	756	15,3	Santa Rosa	167	3,4
			Socpora	169	3,4
			Chañanhuayco	31	0,6
			Taraya	290	5,9
			Purón de Escapana	98	2,0
IV. IMPORA	609	12,3	Impora	192	3,9
			Junturi	114	2,3
			Tacapi	106	2,2
			Ticuchayoc	62	1,2
			Monte de Taraya	98	2,0
			Pampa Grande	37	0,8

Nota: Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI) 2021 – 2025

Imagen 32: Mapa de Densidad de la población



Nota: Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI) 2021 - 2025

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Resultados y discusiones

El catastro, ha sido definido de diferentes maneras: por un lado, como el proceso de inventariar la propiedad inmobiliaria en sus condiciones físicas, jurídicas y económicas (Pinzón y Fonti 2007). Por otro lado, se lo define como un conjunto de nociones y conceptos que apuntan a un modelo dinámico y crítico de la propiedad inmobiliaria, su alcance económico y social y que apoya los procesos de planificación del desarrollo.

De manera independiente y sin tomar en cuenta las definiciones anteriores podemos decir que el catastro gira en torno a la obtención y procesamiento de información sobre la propiedad inmobiliaria (física, jurídica, económica) para la toma de decisiones.

Hoy en día, en la plenitud de la era tecnológica, se han abierto un gran número de posibilidades no solo para poder gestionar una mayor cantidad de datos e información, sino también para responder a retos emergentes (cambio climático, gestión del riesgo, catastro de redes, prospectiva, etc) (Gené-Mola et ál. 2020). Es precisamente aquí en donde el catastro en 3 dimensiones —c3d— cobra relevancia, ya que el desarrollo de nuevas tecnologías ha posibilitado la transición desde las tradicionales mediciones planas horizontales XY (2d), caracterizadas por el uso de papel y fuentes analógicas o en el mejor de los casos sistemas CAD o GIS, hacia la volumetría de objetos espaciales XYZ (refiriendo Z como elevación). Este cambio (de 2d a 3d), permite cumplir con los preceptos de un catastro capaz de captar la dinámica inmobiliaria de forma más ágil y completa (Barbero-García et ál. 2019).

Hossam (2019) destaca que la fotogrametría digital, campo geoinformacional base de esta reflexión, sigue siendo apropiada y altamente pertinente para estos levantamientos en la actualidad, en especial la fotogrametría con drones o a baja altura, se presenta como una herramienta innovadora para levantamientos, en donde se identifican las edificaciones de forma económica, rápida y sencilla.

El objetivo de este trabajo consiste en abordar los aspectos metodológicos de la reconstrucción 3d, con un enfoque catastral, para la identificación de los límites de bienes inmuebles, mediante herramientas fotogramétricas.

Metodológicamente, el proceso se lo realizó a partir de la toma de fotografías del centro urbano de la localidad Las Carreras, para, mediante el proceso de restitución aerofotogramétrica poder generar la nube de puntos densa, a partir de la cual se logra la reconstrucción 3d y la vectorización de los predios con apoyo del software Pix4d y la manipulación y complementación de información con Arcgis.

En la actualidad existe el reto de promover métodos para un sistema catastral moderno y a la vanguardia del siglo XXI. En este sentido, alimentar continuamente los sistemas catastrales con actualizaciones (en tiempos más cortos y usando las tecnologías disponibles), es uno de los retos a nivel mundial.

Hoy es necesario reconocer la necesidad de incluir métodos indirectos (Sistemas de Información Geográfica, sensores remotos, bases de datos, entre otros), para la captura de información catastral de manera más rápida y a su vez confiable. Esto motiva la indagación de métodos que permitan censar los elementos prediales por medio de reconstrucciones 3d, como una alternativa eficiente y económica.

#### **4.2 Etapa de planificación**

Recopilación de información existente en el Gobierno Autónomo Municipal.

Reconocimiento en sitio del Área objeto del Estudio con personal del municipio designado como responsable del proceso.

Adquisición de datos espaciales.

Proceso de generación de resultados.

Entrega de resultados.

Materiales, herramientas y equipos. - Según se detalla a continuación:

- **Materiales.**

Pintura, clavos, banderas.

- **Herramientas**

Martillo, tijeras, brocha.

- **Equipos**

Dron DJI MAVIC 2 PRO

GNSS RTK

- **Softwares**

PIX 4D

Arc GIS

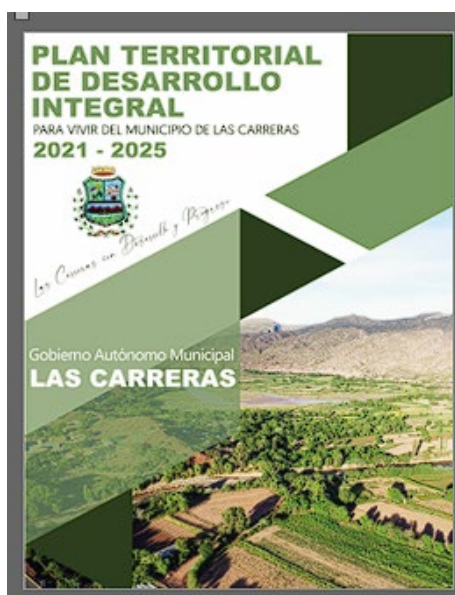
### 4.3 Etapa de campo

#### 4.3.1 Recolección de información

Se recabó toda la información existente en el Gobierno Autónomo Municipal de Las Carreras, consistente en aspectos que se detallan a continuación:

**Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI) 2021 – 2025.-** Documento facilitado por el Gobierno Autónomo Municipal de Las Carreras, fue utilizado para realizar el diagnóstico de la población.

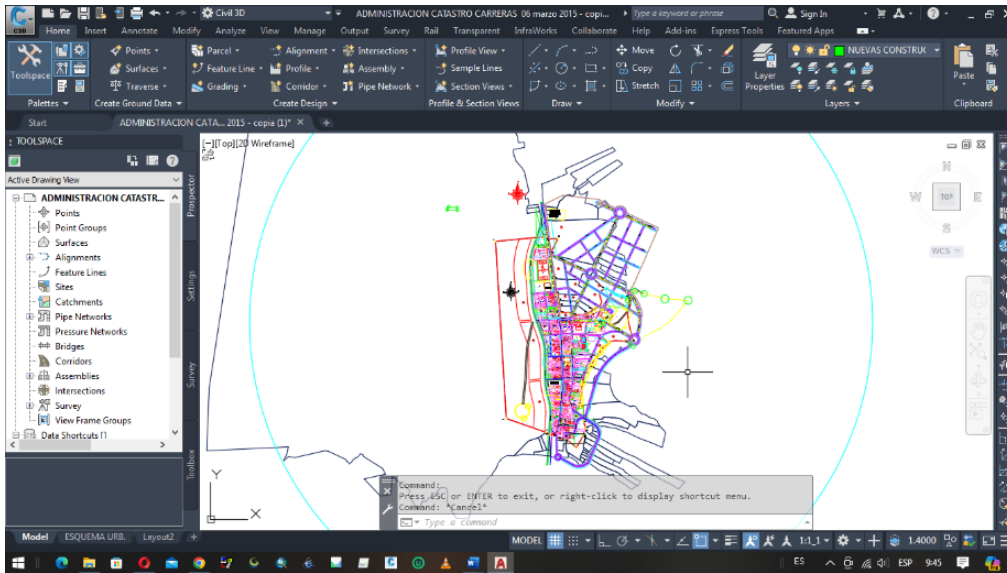
*Imagen 33: Portada PTDI “Las Carreras”*



Nota: Elaboración propia

**Planos de Catastro.-** Documento facilitado por el departamento de Catastro del gobierno municipal y fue utilizado para la verificación de los predios.



**Imagen 34: Plancha catastral centro poblado "Las Carreras"**



Nota: Elaboración propia

**Monografías de la Red Geodésica existente.-** Se utilizaron para tener una referencia de las coordenadas fijas con las que contaba el municipio, lo que facilitó la ubicación de los vértices geodésicos existentes que posteriormente fueron utilizados como base para la densificación de GCPs..

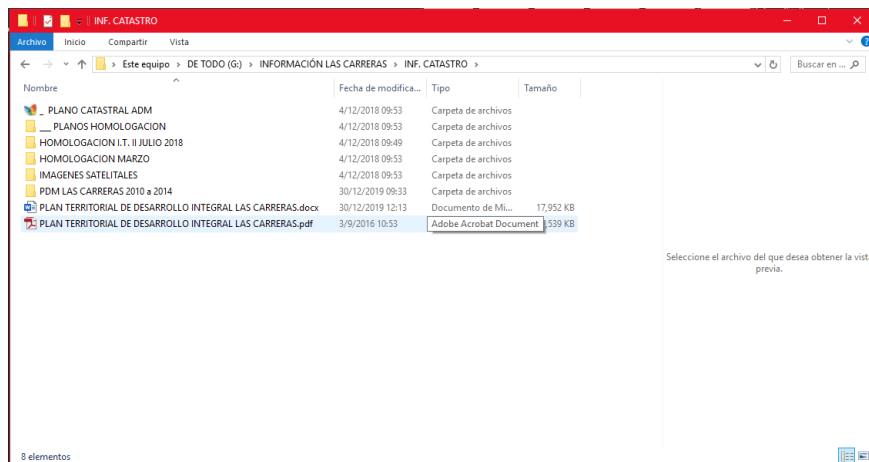
**Imagen 35: Monografía vértice geodésico existente**

MONOGRAFÍA		REFERENCIA (PUNTOS DE UBICACIÓN)	
<p>El punto RUM-3 se encuentra ubicado frente de la entrada a todo tipo de vehículos, como muestra la fotografía</p>			
<p>FOTOGRAFÍA</p> 		<p>REFERENCIA (PUNTOS DE UBICACIÓN)</p> 	
INFORMACIÓN SOBRE LOS PUNTOS DE CONTROL			
PRIMER PUNTO DE OBSERVACIÓN		SEGUNDO PUNTO DE OBSERVACIÓN	
Elev: 27661.960	Elev: 27628.310	Elev: 27628.310	Elev: 27628.310
Coord: 786272.370	Coord: 786272.370	Coord: 786272.370	Coord: 786272.370
Tipo: GEODÉSICO		Tipo: GEODÉSICO	
Modelo del Equipo: SOROVA S10K		Modelo del Equipo: SOROVA S10K	
CONTROL DE LECTURA			
ACTIVIDAD			
1) PRIMERA LECTURA		2) SEGUNDA LECTURA	
3)		4)	
OBSERVACIONES O COMENTARIOS:			

Nota: Elaboración propia

**Documentación existente del proceso de homologación del Área urbana. -** Carpetas con información recibidas por parte del GAM Las Carreras

### Imagen 36: Información recibida

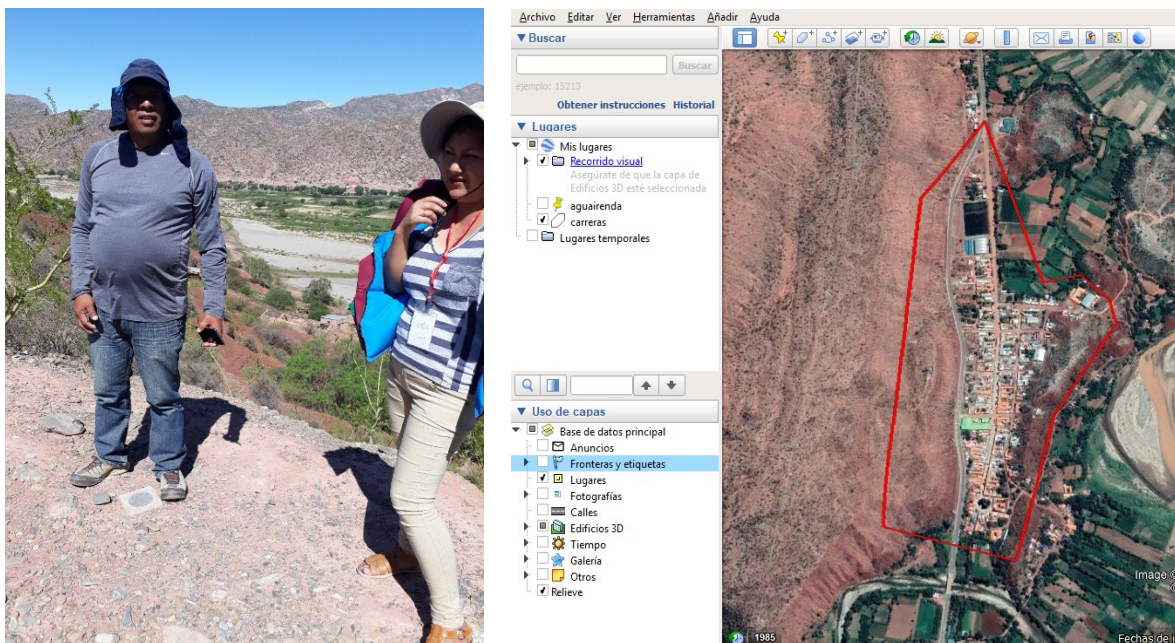


Nota: Elaboración propia

#### 4.3.2 Reconocimiento de campo

Se realizó un recorrido por el área del proyecto en compañía de la Arq. Guadalupe Jurado Velásquez (encargada del departamento de Catastro) donde se identificó los límites del área de estudio, llegando a realizar un KML de los límites del proyecto.

### Imagen 37: Reconocimiento de campo y KML proyecto



Nota: Elaboración propia

#### 4.3.3 Densificación de GCPs

Para que el vuelo guarde directa relación con el terreno (es decir que este se encuentre georreferenciado georreferenciado) se precisa la adquisición de puntos de apoyo, cuya posición deberá ser descrita completamente (x, y, z). para lo cual debemos considerar lo siguiente:

Número y distribución de los GCPs.

La técnica de adquisición de los GCPs.

Sabiendo que en términos generales se recomienda agregar GCPs para hacer un proyecto más estable y preciso, el número de GCPs dependerá de la precisión relativa de las coordenadas de las fotografías.

Para llevar a cabo el ajuste es necesario colocar como mínimo tres GCP y cuando son proyectos grandes se recomienda utilizar un mínimo de 5 (5 a 10 GCP suelen ser suficientes aún para grandes proyectos). Se pueden colocar más puntos de apoyo, pero esto no ayudará de manera significativa a mejorar el resultado, del mismo modo que no afectará negativamente el tener muchos GCPs.

Ya que el número mínimo de puntos de apoyo necesarios para la realización del proceso de restitución sería de 3 (teniendo en cuenta la posibilidad de que existiera algún error en alguno de estos puntos), se considera necesario que, para proceder a una restitución fiable, las coordenadas planimétricas y altimétricas de cuatro puntos de apoyo fotogramétrico para un buen ajuste del modelo.

En proyectos con imágenes georreferenciadas los GCPs aumentan la precisión absoluta del proyecto, desplazando el modelo a su posición exacta en la Tierra.

Estos reducen el error debido a la incerteza del GPS de metros a centímetros.

Un GCP no debe ser más preciso que 1/10 del GSD. Por ejemplo, si el GSD es 10cm, la precisión del GCP no debe ser inferior de 1cm, ya que ellos no podrán ser marcados en las imágenes con dicha precisión.

Para el presente trabajo se utilizó un vértice geodésico perteneciente a la Red Geodésica Municipal del Municipio Las Carreras, donde se instaló la base del equipo GNSS para en modo RTK densificar 14 puntos de control distribuidos en toda la zona de trabajo, las coordenadas de estos puntos se detallan a continuación:

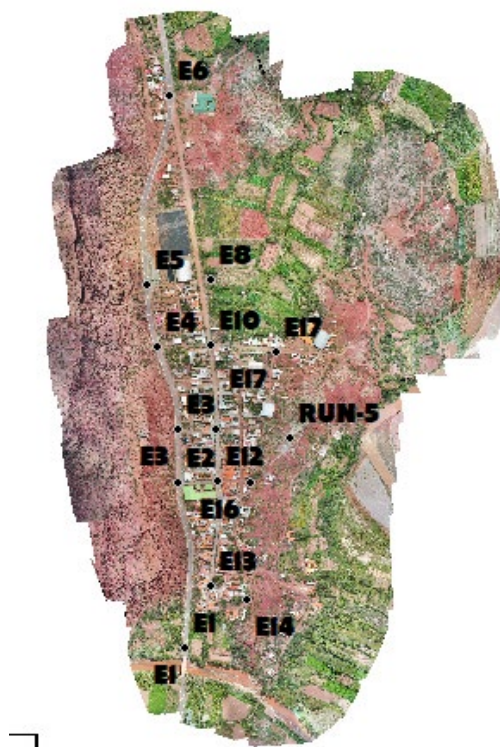
**Tabla 3:** Coordenadas de puntos de control terrestre (GCP)

DESCRIPCIÓN	ESTE	NORTE	ALTURA
RUN-5	270725.007	7653079.386	2361.227
PR 1	270484.961	7652603.269	2327.830
PR 2	270469.000	7652975.162	2336.815
PR 3	270468.197	7653095.248	2334.505
PR 4	270422.277	7653284.964	2327.834
PR 5	270397.730	7653425.801	2329.299

PR 6	270451.580	7653853.327	2318.717
PR 7	270545.156	7653436.495	2321.108
PR 8	270543.183	7653286.435	2323.649
PR 9	270555.611	7653096.298	2327.281
PR 10	270558.571	7652979.461	2329.886
PR 11	270541.691	7652743.095	2327.119
PR 12	270627.017	7652711.639	2334.711
PR 13	270634.237	7652977.635	2337.164
PR 14	270691.475	7653273.718	2324.026

Nota: Elaboración propia

**Imagen 38: Ubicación de los GCP**



Nota: Elaboración propia

#### 4.4 Obtención de datos espaciales

El Proceso de obtención de datos espaciales en campo se realizó de la siguiente manera:

##### 4.4.1 Etapa 1: Planificación de vuelo

Para esta etapa, se debe definir lo siguiente:

Número de baterías necesarias.

Área que se debe volar.

Altura de vuelo.

Porcentaje de traslape adecuado.

Dirección de las líneas de vuelo.

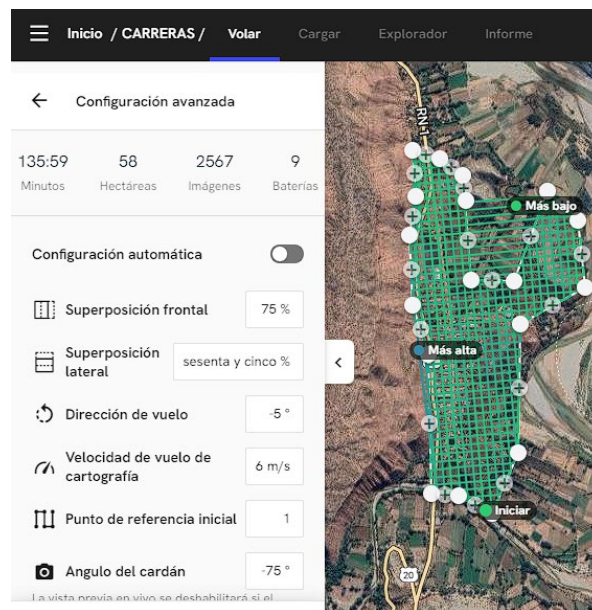
Lugar de despegue.

Lugar de aterrizaje.

El resultado es un conjunto de planes de vuelos que ejecutará el VANT.

La aplicación escogida para este trabajo fue Drone Deploy debido a la facilidad de generar el plan de vuelo en una computadora y que permite realizar misiones de vuelo con una altura relativa al relieve del terreno.

**Imagen 39: Plan de vuelo**



Nota: Elaboración Propia

#### 4.4.2 Etapa 2: Captura de imágenes

La segunda etapa es la ejecución de las planificaciones de vuelo para capturar imágenes, lo cual se realiza en terreno. Esta etapa puede tener uno o más vuelos de dron, en nuestro caso resultaron ser siete vuelos.

Se requiere llegar a terreno con todo el equipamiento necesario para ejecutar los vuelos y allí, el primer paso que se debe realizar es una inspección a la zona de vuelo, para identificar cualquier potencial obstáculo que afecte al dron (árboles altos, torres de tensión, antenas, etc.).

El segundo paso es dirigirse al primer punto de despegue del dron, preparar el equipamiento para volar y realizar las configuraciones necesarias del dron y de la cámara.

El tercer paso es iniciar la ejecución de los vuelos para capturar imágenes.

Las misiones se desarrollaron en el transcurso de 1 día. Para una buena restitución aerofotogramétrica se prefieren fotos con poca sombra, por lo que se recomienda volar en horas cercanas al mediodía. Las sombras producen errores en el proceso de restitución. Las horas útiles de vuelo están relacionadas con la altura del sol sobre el horizonte, función de la latitud, de la fecha y la hora.

**Imagen 40:** Inicio de misión de vuelo



Nota: Elaboración Propia

En caso de que el punto de aterrizaje sea diferente al punto de despegue, hay que trasladarse hasta el nuevo punto de despegue.

**Imagen 41:** Inicio y seguimiento de misión de vuelo



Nota: Elaboración Propia

#### 4.4.3 Análisis de información y generación de productos

Terminado el trabajo en terreno, se procede a descargar las fotografías al PC y utilizar los paquetes requeridos para cumplir con cada objetivo, como ser:

Pix4D: A través del uso de algoritmos de última generación y avanzadas técnicas de procesamiento fotogramétrico genera nubes de puntos, modelos digitales de superficie y ortomosaicos de muy alto detalle, los cuales utilizaremos para nuestro cometido.

La principal ventaja de Pix4D es que el software crea “gemelos digitales”, es decir una réplica digital, de cualquier producto o infraestructura física a partir de las imágenes registradas por un dron o cualquier otro equipo. Esto nos permite realizar análisis avanzados sobre el estado de un producto o proceso físico, en este caso, la actualización de la plancha catastral de la localidad.

#### 4.4.4 Proceso de trabajo en PIX4D

En este apartado desarrollaremos los procesos que este software realiza para la generación de los productos a ser utilizados.

En el software PIX4D damos un click en “nuevo proyecto”.

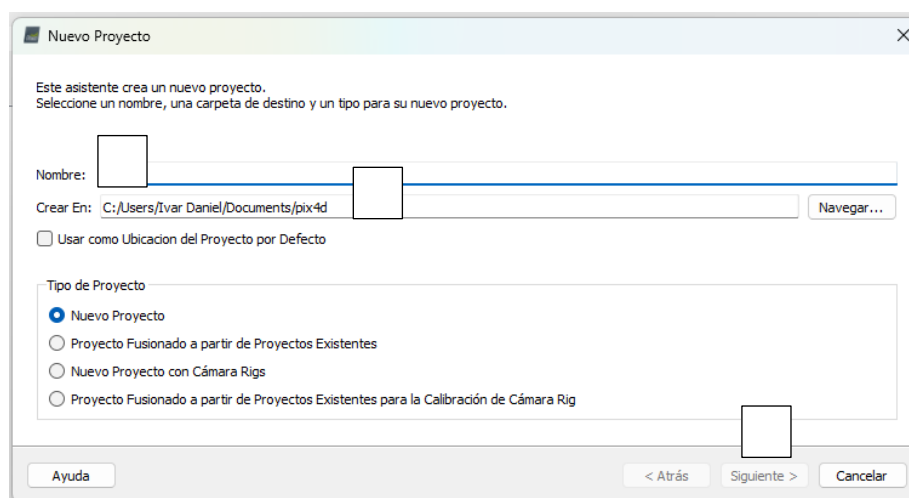
*Imagen 42: Creación de nuevo proyecto*



Nota: Elaboración Propia

Seguidamente, 1) Asignamos un nombre a nuestro trabajo, 2) elegimos la ruta donde se guardará, 3) click en siguiente.

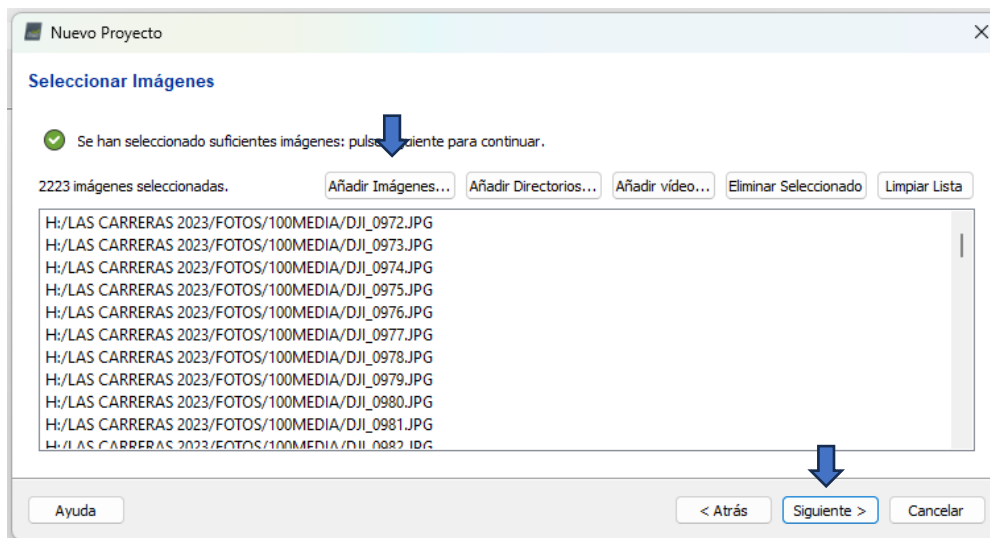
*Imagen 43: Creación de nuevo proyecto*



Nota: Elaboración Propia

Añadimos las imágenes (fotografías) y siguiente.

### Imagen 44: Cargado de imágenes

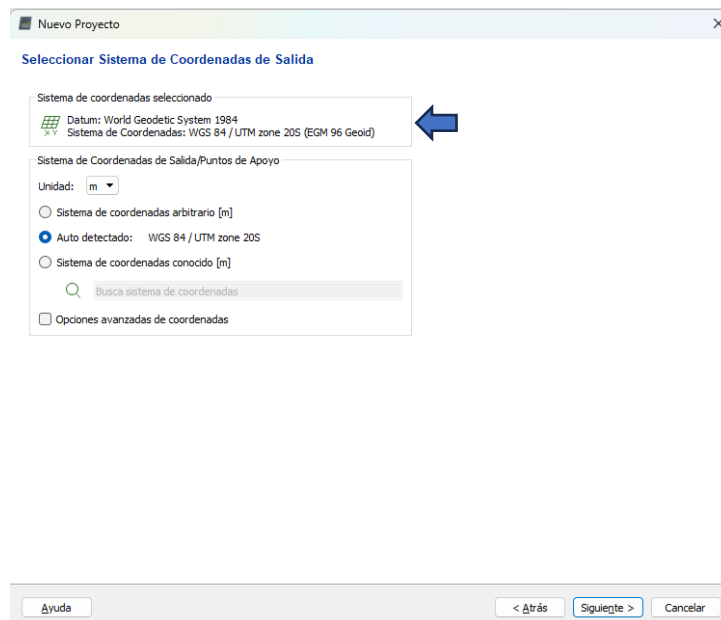


Nota: Elaboración Propia

Verificamos que los datos de entrada correspondan con nuestra zona de trabajo, siguiente.

Confirmamos el sistema de coordenadas y siguiente.

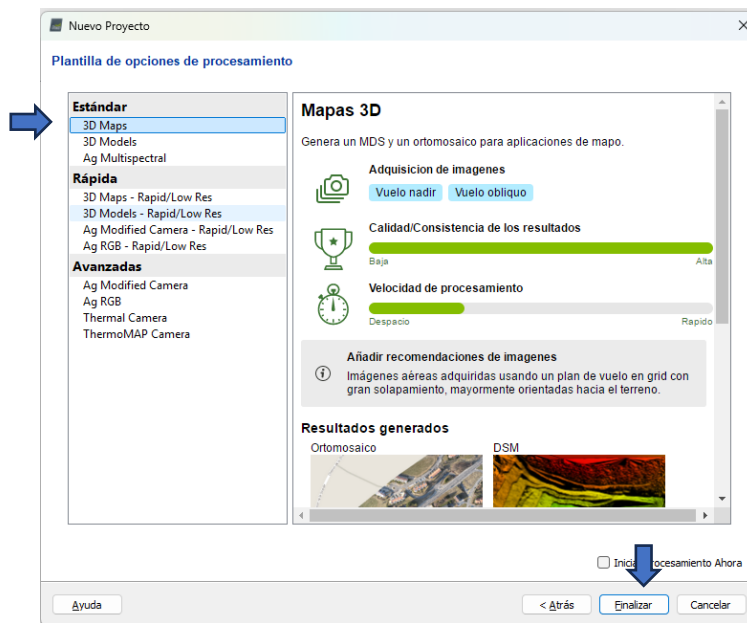
### Imagen 45: Confirmación sistema de coordenadas



Nota: Elaboración Propia

Seleccionamos el modo de trabajo y finalizar.

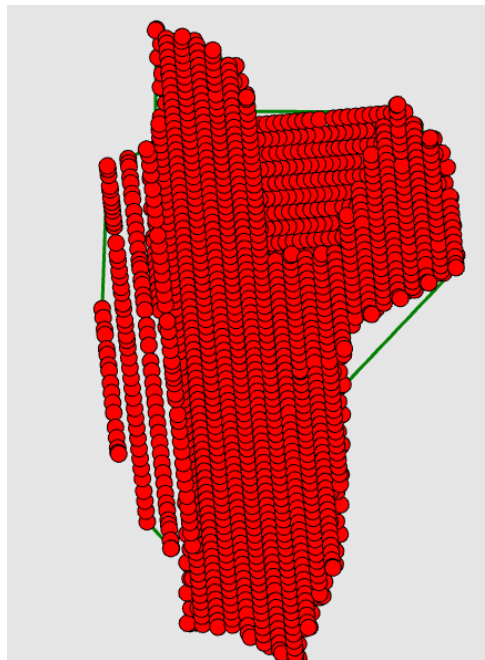
### Imagen 46: Selección del modo de procesamiento



Nota: Elaboración Propia

Podemos observar que las imágenes al contar con coordenadas de localización ya asumen la posición que les corresponde.

### Imagen 47: Vista general de ubicación de las fotografías



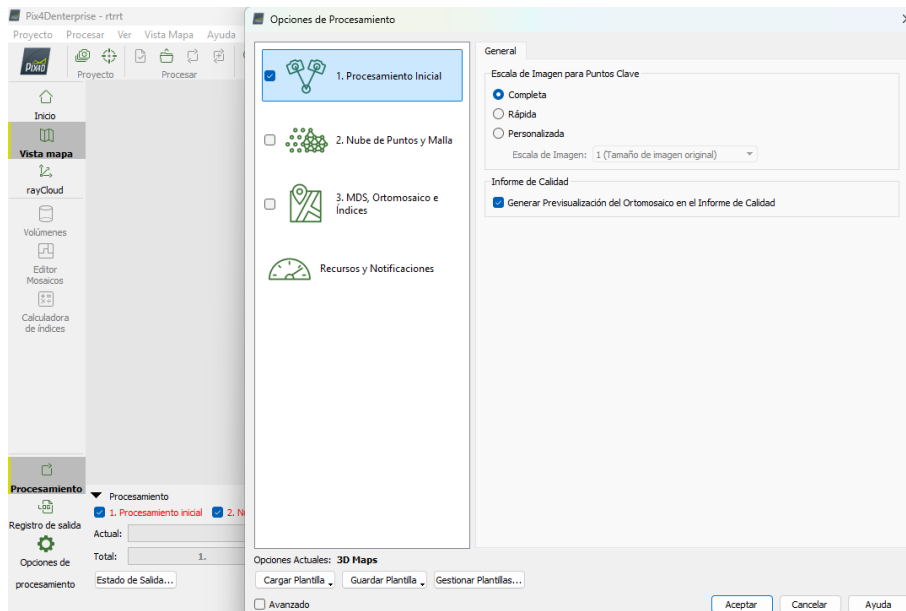
Nota: Elaboración Propia

Seguidamente entramos a opciones de procesamiento.

**Paso 1.- PROCESAMIENTO INICIAL**, en este primer paso se nos pregunta la escala de la imagen para los puntos clave y si deseamos generar una previsualización del ortomosaico en el informe de calidad.

A efectos de generar resultados precisos utilizaremos **escala completa** y diremos que nos genere la previsualización del ortomosaico y damos click en aceptar.

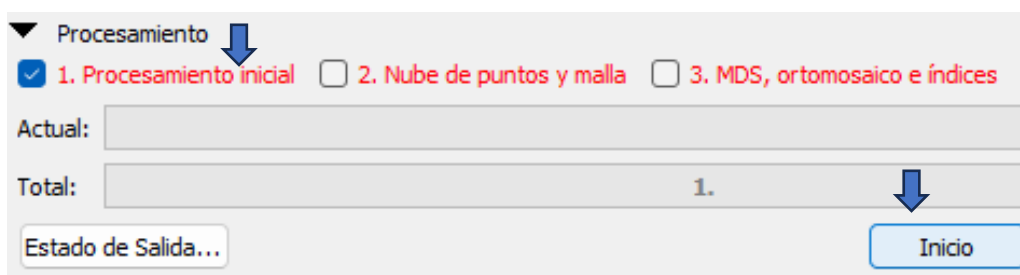
**Imagen 48: Configuración Paso 1 / Procesamiento inicial**



Nota: Elaboración Propia

Damos click en inicio.

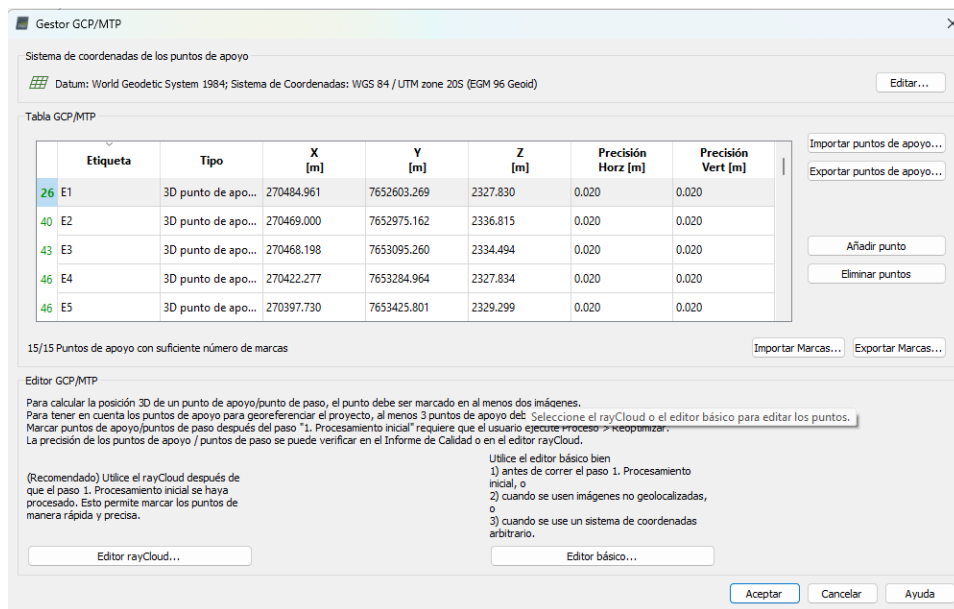
**Imagen 49: Inicio procesamiento paso 1**



Nota: Elaboración Propia

Una vez termina el paso 1, procedemos a importar nuestros GCPs.

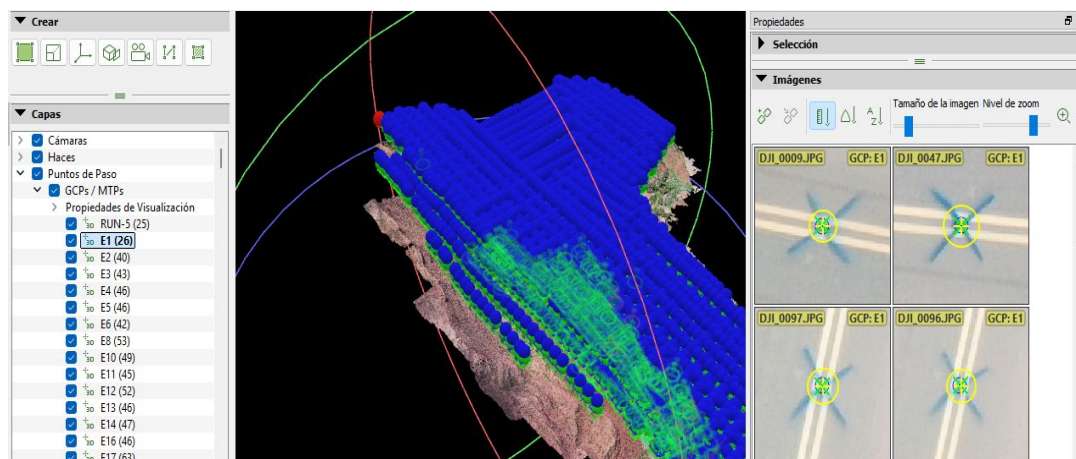
### Imagen 50: Importación de GCPs



Nota: Elaboración Propia

Una vez importados procedemos a ubicarlos en todas las fotografías y aplicamos nuestra corrección. Procedemos del mismo modo con todos los puntos de control densificados.

### Imagen 51: Ajuste de GCPs en las fotografías

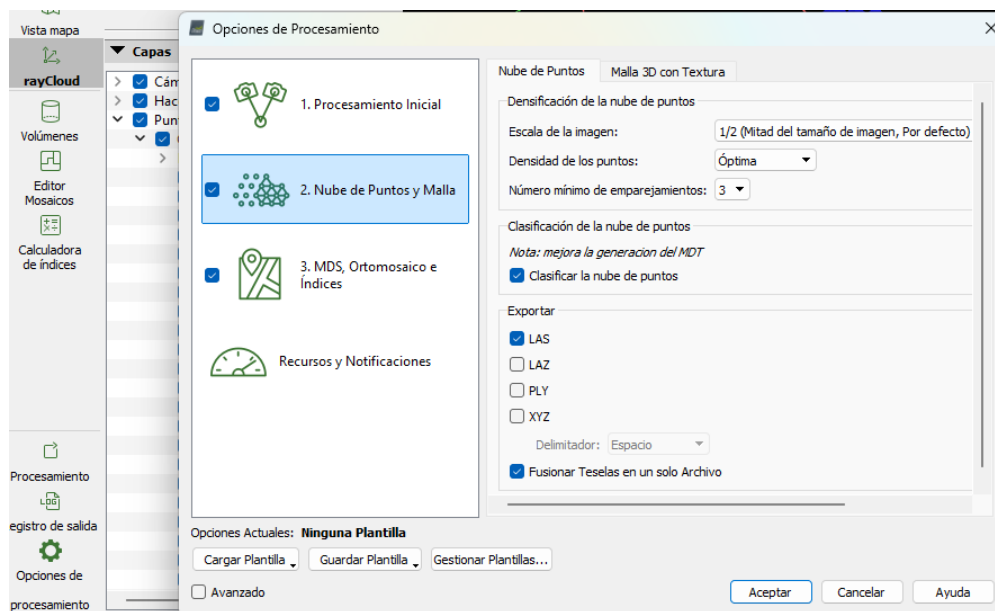


Nota: Elaboración Propia

Una vez ubicados todos los puntos de control, usamos la herramienta **reemparejar y optimizar**, con lo que el proceso inicial será sobrescrito y el nuevo resultado ya tendrá una orientación absoluta (de acuerdo a las coordenadas asignadas).

Vamos nuevamente a Opciones de procesamiento, **destickeamos el paso 1 y tickeamos los pasos 2 y 3**, procediendo a configurar los mismos. Aceptar y luego iniciar.

**Imagen 52: Configuración pasos 2 y 3**



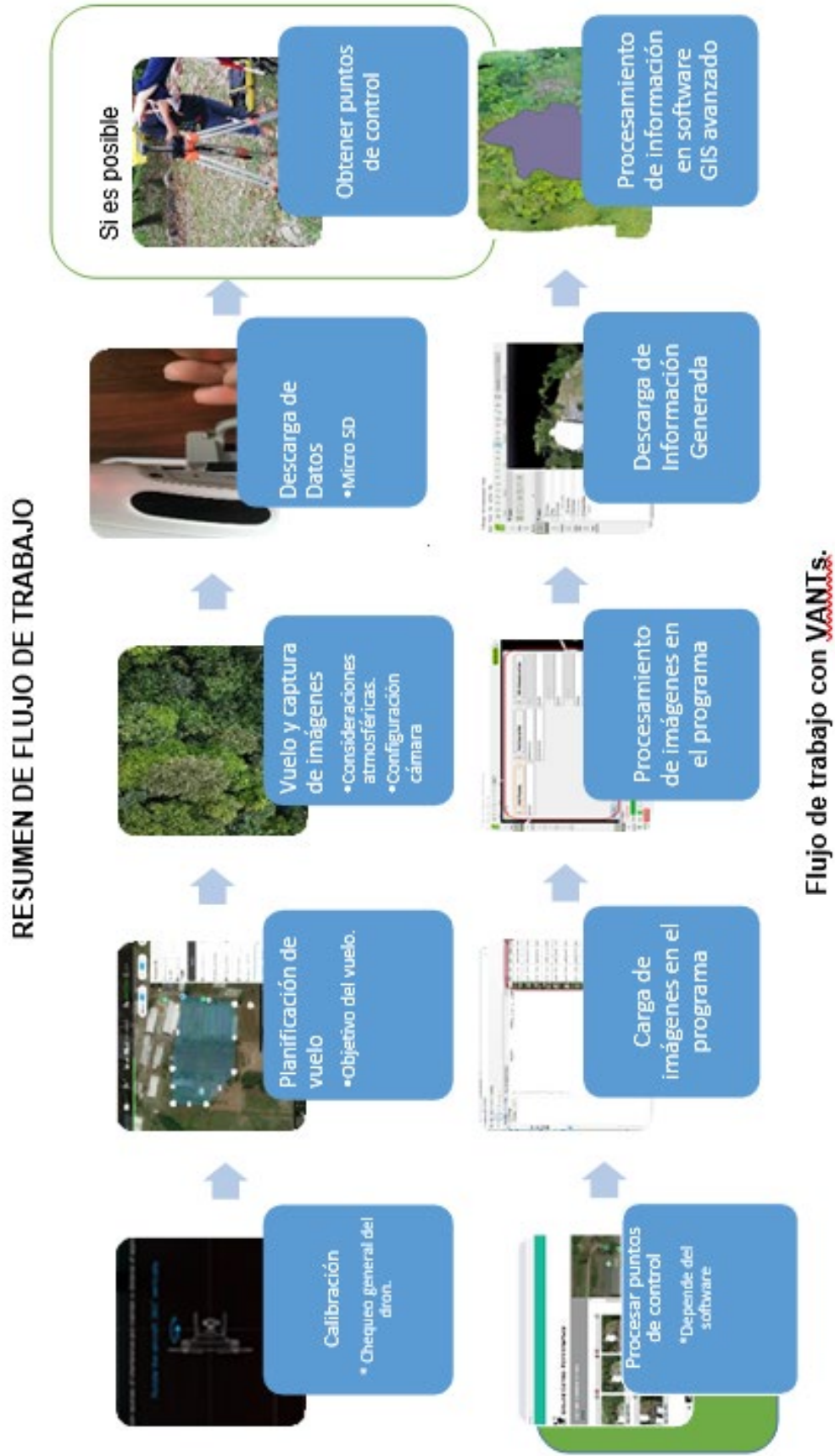
Nota: Elaboración Propia

El paso 2 tiene como finalidad la generación de la nube de puntos densa y la malla 3D.

El paso 3 tiene como finalidad la generación del MDS, MDT y el ortomosaico, también es posible generar las curvas de nivel.

Una vez termine los dos pasos indicados el trabajo estará listo y sus productos podrán ser usados.

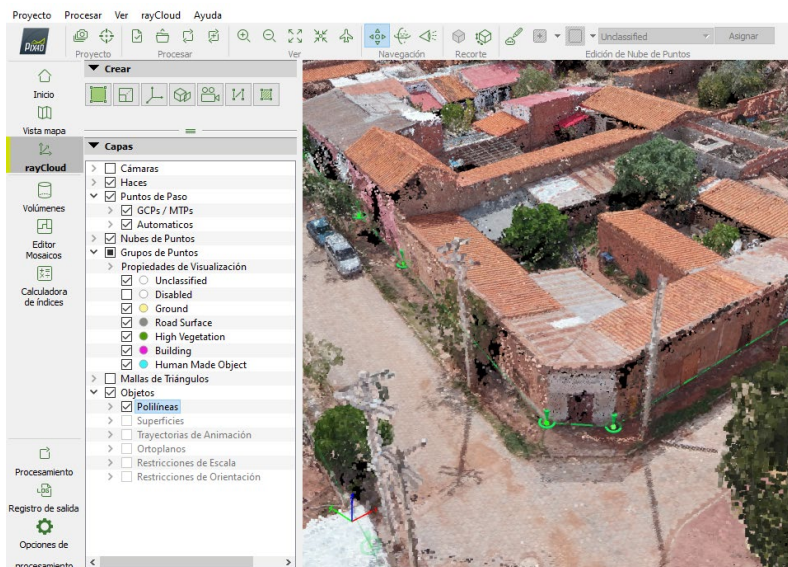
Imagen 53: Flujo de trabajo fotogramétrico



#### 4.4.5. Proceso de digitalización de predios en PIX4D

A partir de la técnica de vectorizado, en la nube de puntos densa se procederá a delimitar los manzanos del área urbana de Las Carreras. Para este cometido, se hace necesario usar el modelo tridimensional, y mediante el uso de la herramienta polilínea se procede a delimitar todos los vértices externos de los predios existentes.

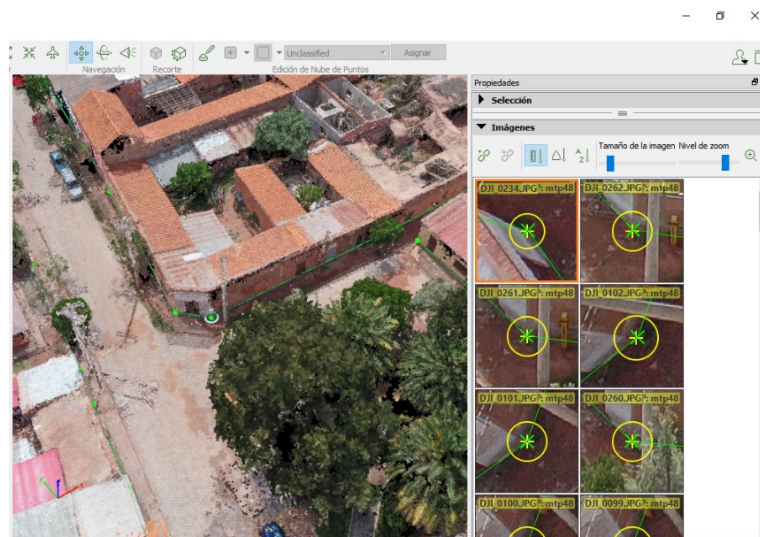
**Imagen 54: Demarcación de límites externos de predios**



Nota: Elaboración Propia

El programa permite que, una vez delimitado un vértice, este pueda ser editado mediante la ubicación de las marcas en todas las fotografías existentes y de esta manera garantizar la precisión del resultado.

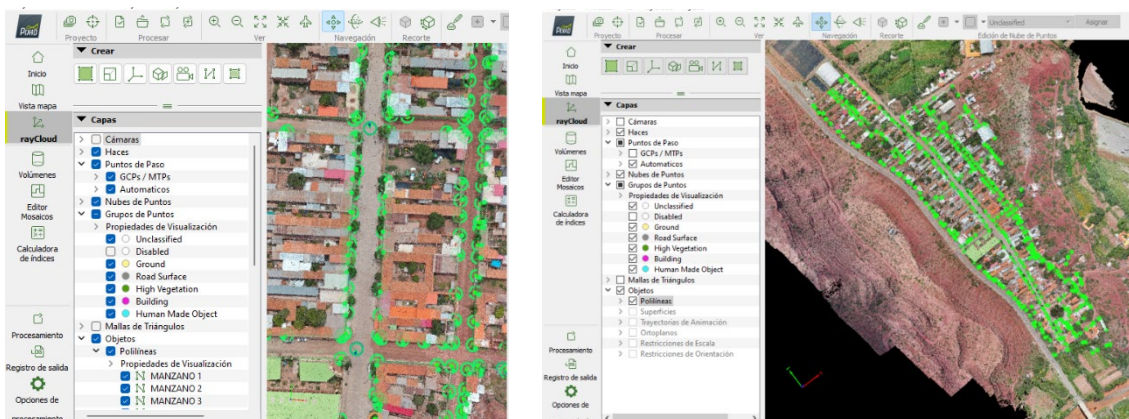
**Imagen 55: Edición de vértices**



Nota: Elaboración propia

Una vez concluido el proceso de digitalizar los límites de todos los manzanos del área de estudio, las poligonales generadas pueden ser exportadas en formato SHAPE o DXF para que sean utilizadas en softwares CAD y SIG.

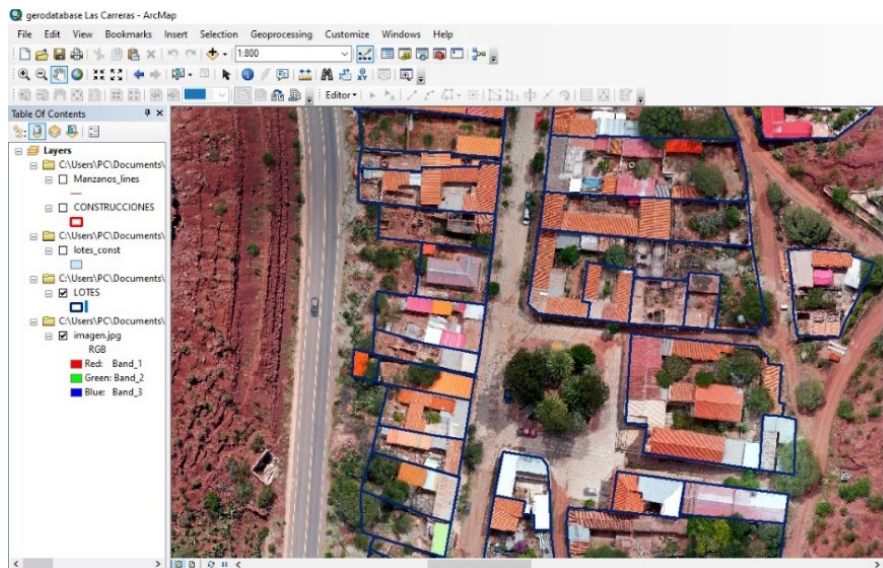
**Imagen 56: Vista de los manzanos digitalizados**



Nota: Elaboración propia

El siguiente paso será utilizar estas poligonales en un software GIS, para que sobreponiendo el ortomosaico a las mismas podamos digitalizar los predios existentes en cada manzano.

**Imagen 57: Digitalización de predios en ArcGis**



Nota: Elaboración propia

Seguidamente se procederá a crear la base de datos de cada predio, los datos a ser considerados dependerán de las necesidades del Gobierno Municipal, pero para nuestro caso de estudio se consideró primordial que contemple los datos que se muestran en la siguiente imagen:

**Imagen 58: Datos a ser insertados en cada predio**

FID.	PROPIETARI	MANZANO	PREDIO	COD_CATAS	AREA	AREA_S_T_	PLANTAS	CALLE	perimetro
0		8	17	01-01-08-17	601.97	0	1	Carretera a Tarja	102.63
0	Martina Avila Mancilla	19	8	01-01-19-08	240.07	0	1	6 de Enero	67.54
0	Gregoria Anagua Puma	24	4	01-02-24-01	237.09	0	1	Av. 25 de Mayo	72.16
0	Lorenza Mamani Tejerina	25	1	01-02-25-01	451.78	0	2	Andrés Bello	115.81
0	Lucio Colque	27	4	01-02-27-04	401.85	0	1	Chuquisaca	106.98
0	Daniel Zamora	2	1	01-01-02-01	892.44	0	1	Av. el Estudiante	201.44
0	Kely Flores	2	2	01-01-02-02	128.98	0	1	Av. el Estudiante	46.03
0	Guadalupe Mercado Tejerina	2	3	01-01-02-03	451.07	0	1	Av. el Estudiante	92.31
0	Victoria Flores M	2	1	01-01-02-03	108.62	0	1	Av. el Estudiante	28.68

Nota: Elaboración propia

## 4.5 Exposición de resultados

Algunos de los resultados tienen el formato TIFF, para lo cual es fundamental aclarar el significado del término y sus aplicaciones.

GeoTIFF es un estándar de metadatos de dominio público que permite que información georreferenciada sea encajada en un archivo de imagen de formato TIFF (Tagged Image File Format «formato de archivo de imágenes con etiquetas»). La información adicional incluye el tipo de proyección, sistema de coordenadas, elipsoide, datum y todo lo necesario para que la imagen pueda ser automáticamente posicionada en un sistema de referencia espacial.

Este tipo de archivos puede ser abierto en Global Mapper, ArcGIS, Quantum GIS y AutoCAD (solamente el ortomosaico), siendo posible medir sobre ellos, generar curvas de nivel y digitalizar en 3D.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

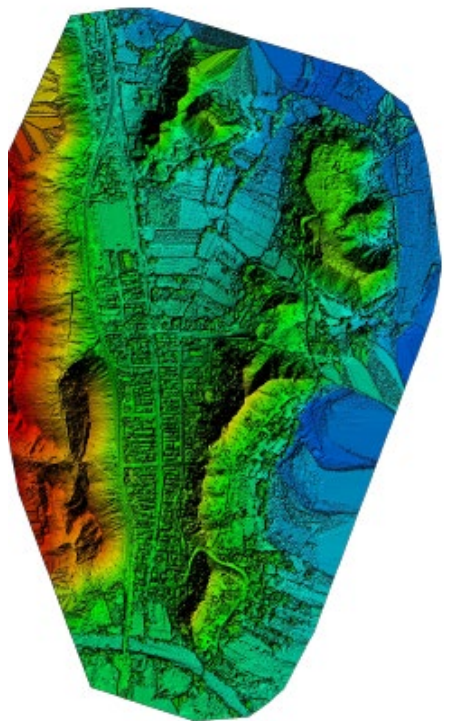
### 4.5.1 Modelos digitales de superficie y de terreno de la Localidad Las Carreras en formato TIFF

Estos modelos se crean a partir de la nube de puntos generada y procesada en el software de procesamiento fotogramétrico, correspondiendo cada punto a unas coordenadas X, Y, Z.

El MDS (Modelo Digital de Superficie) representa, mediante una capa ráster, el relieve de la superficie tal y como se encuentra teniendo en cuenta las infraestructuras, edificaciones, vegetación, etc. Mientras que el MDT (Modelo Digital del Terreno) solo representa la superficie del terreno sin contar con las actuaciones antrópicas, para este efecto se debe trabajar con el MDS y eliminar de este aquellos puntos que toman en cuenta árboles, edificaciones, etc.

La precisión con la que se realizó este producto de 2.7 cm por pixel, lo cual define la alta precisión del mismo (comparativamente los modelos digitales ALOS PALSAR tienen una resolución de 12.5 m por pixel).

**Imagen 59:** Modelo digital de superficie



Nota: Elaboración Propia

#### **4.5.2 Ortomosaico en formato TIFF**

El ortomosaico está compuesto de imágenes georreferenciadas y corregidas de deformaciones (ortoimágenes) generadas a partir de las fotografías obtenidas mediante vuelos de dron.

Conservan toda la información fotográfica, permiten la medición a escala de superficies y áreas, lo que se convierte en una herramienta muy útil para la medición de las construcciones, las divisiones de los terrenos.

El formato del ortomosaico en el que se cargará al programa es TIFF, que contiene la información necesaria para poder obtener poder vectorizar correctamente los elementos de interés como edificaciones, caminos, accesos, etc.

La precisión alcanzada en este producto es de 1.8 cm por pixel y una escala de 1:200.

**Imagen 60:** Ortomosaico (formato TIFF)



Nota: Elaboración Propia

#### 4.5.3 Ortofotomosaico en formato KML

Un archivo KML es un fichero que contiene datos geográficos. Mediante los archivos KML se pueden situar en un mapa distintos lugares que estén relacionados. Los archivos KML han sido desarrollados para ser manejados con el programa Google Earth, pero también se pueden utilizar con la aplicación de Google Maps.

**Imagen 61:** Ortomosaico (formato KML) visto en Google Earth



Nota: Elaboración Propia

#### 4.6 Cartografía base catastral

Teniendo un error centimétrico en nuestro ortomosaico y con la seguridad de haber realizado una buena digitalización podemos generar una buena cartografía base catastral.

Dentro del proceso de restitución se obtuvo:

- 26 manzanos
- 240 predios
- 174 construcciones

##### *Imagen 62: Restitución Fotogramétrica*



Nota: Elaboración Propia

El levantamiento catastral, se lleva a cabo a través de dos métodos: el método indirecto con el uso de la nube de puntos densa, el ortomosaico y planos cartográficos resultantes de la restitución y el método directo con el uso de equipos GPS diferenciales o topografía clásica; que solo serían utilizados en zonas en donde el ortomosaico y planos cartográficos resultantes de restitución no consigan brindar la información necesaria y se requiera complementar la base cartográfica.

Se considera que principalmente debe emplearse la metodología indirecta y que en casos muy excepcionales se requiera el uso de GPS y equipos topográficos. Los casos en los que la fotogrametría no ofrezca toda la información necesaria para conseguir una restitución precisa son: zonas de grandes sombras proyectadas por edificaciones muy altas y zonas donde la vegetación impide la visión de más de un vértice de los lotes.

Por otro lado, es muy aconsejable utilizar el método mixto; es decir utilizar en primera instancia la fotogrametría de calidad para la restitución y posterior a eso realizar el levantamiento clásico para lugares donde veamos necesario.

#### 4.7 Información catastral

El uso del Drone nos permitió alcanzar una de las funciones primordiales del catastro:

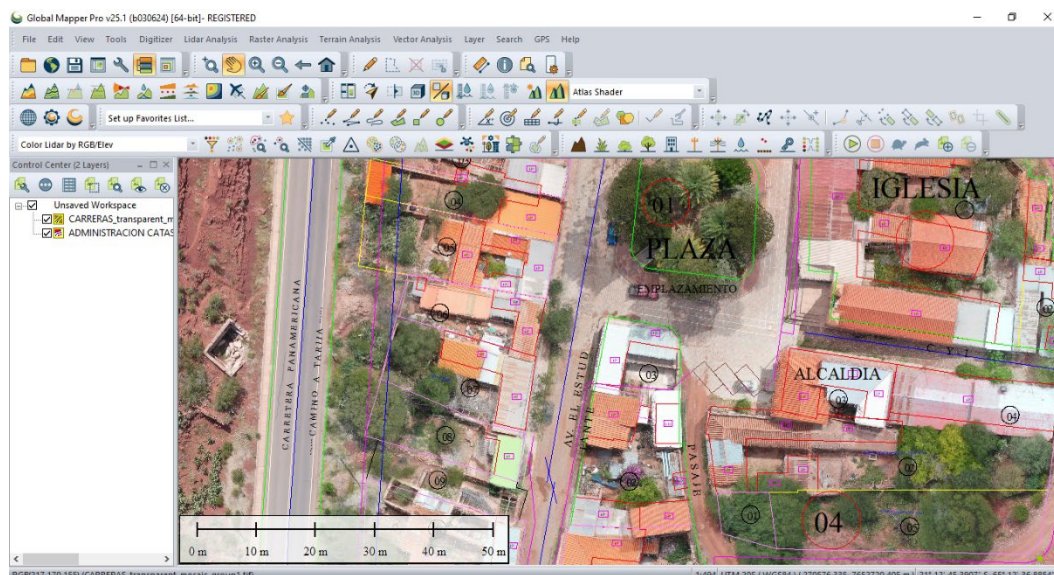
**Catastro Geométrico:** Por la buena resolución espacial y por la precisión que nos presenta el uso de Drone en levantamientos topográficos, pudimos recoger información de las parcelas y construcciones de nuestra área de estudio, información como ser medición, subdivisiones. Además de contar con la ubicación exacta de los bienes inmuebles, ya que nuestra información geográfica cuenta con proyección cartográfica UTM, esta proyección hace que podamos mantener la superficie real de la tierra.

**Catastro Jurídico:** Por otro lado, pudimos recabar información de los propietarios de las diferentes parcelas existentes en nuestra base catastral. Esto se lo realizo gracias a la información proporcionada por el Gobierno Municipal de Las Carreras lo que permitió poder realizar la relación correspondiente entre base de datos tabular y base de datos gráfica.

**Catastro Fiscal:** En esta oportunidad no se pudo concretar el catastro fiscal, es decir no se pudo recoger el valor del inmueble ya que aún no se creó el sistema catastral donde se le asignan los valores correspondientes al tipo de construcción, tipo de vía, entre otras variables.

Adicionalmente se realizó la comparación entre la información generada y la que venía usando el gobierno municipal, pudiendo observarse diferencias significativas tanto en posición, forma y tamaño de los predios.

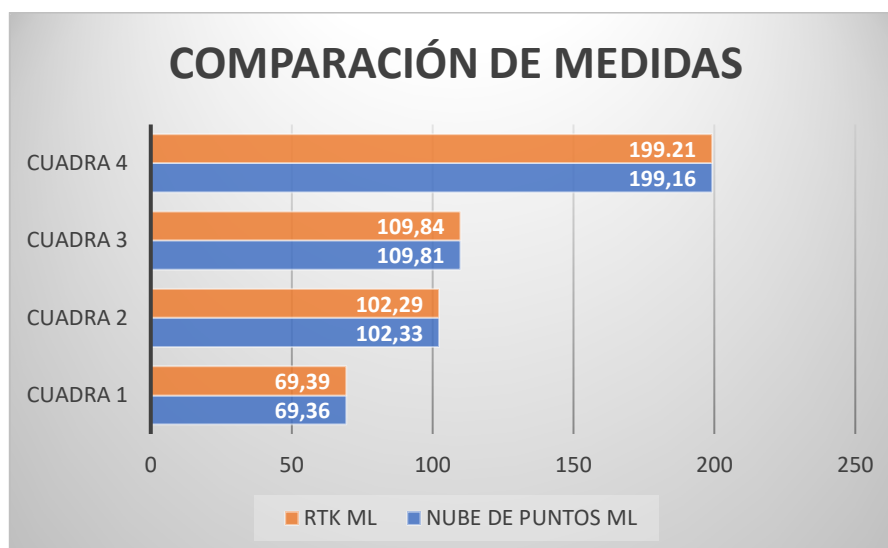
**Imagen 63:** Sobreposición del ortomosaico obtenido con la plancha catastral existente de la localidad



**Nota:** Elaboración Propia

Para corroborar la precisión de los datos obtenidos por el presente trabajo se realizó el levantamiento de las esquinas de los manzanos comprendidos en la calle principal con equipos GNSS en modo RTK, estas fueron comparadas con las obtenidas mediante la restitución aerofotogramétrica pudiendo observarse una diferencia de entre 3 a 5 cm en la línea comprendida entre dos esquinas de manzano, lo que nos hace afirmar que esta técnica es totalmente fiable ya que estaríamos por debajo de los rangos mínimos de tolerancias.

**Imagen 64:** Comparación de medidas obtenidas



**Nota:** Elaboración Propia

**Tabla 4: Rangos de tolerancia Catastral**

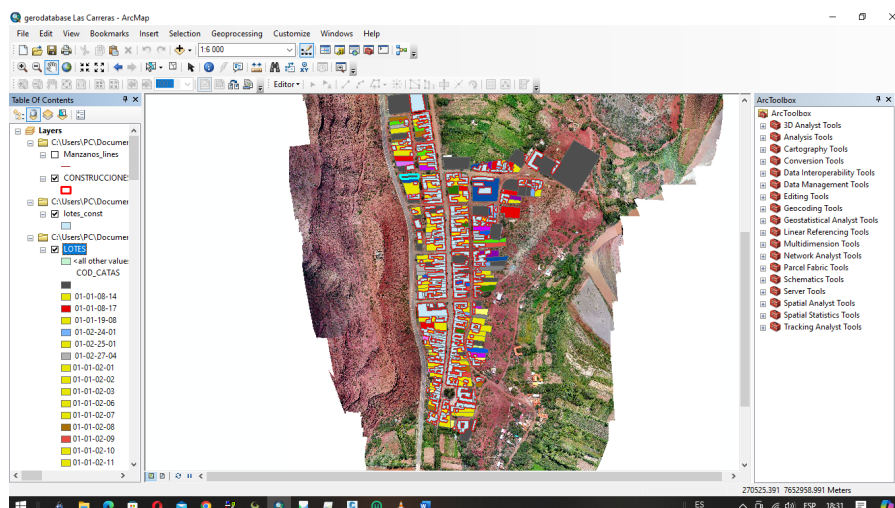
RANGOS DE AREA (M2)	TOLERANCIA (%)
Menores de 200m2	2.5
De 200 a 1000 m2	2.0
Mayores a 1000 m2	1.0

Nota: <https://es.slideshare.net/slideshow/tolerancias-catastrales-registrales-uso-y-aplicaciones/266460318>

Como se evidencia en el cuadro anterior la tolerancia para cada manzano sería del 1%, considerando que cada manzano tiene un promedio de 8000 metros<sup>2</sup>, su tolerancia sería de 80 m<sup>2</sup>. Según las medidas obtenidas y asignando la máxima diferencia entre las medidas obtenidas evidenciamos que apenas llega a 4 m<sup>2</sup>, lo que sería el equivalente a 0.0005%.

Como resultado final se obtiene la geodatabase que permitirá al Gobierno municipal un mejor control de su uso de suelo, y de esta manera planificar de mejor manera sus recursos.

**Imagen 65: Vista general de predios de la localidad "Las Carreras"**



Nota: Elaboración Propia

Por todo lo anteriormente expuesto podemos afirmar que el uso de esta metodología aplicada al catastro es más que factible, ya que además de suponer un beneficio económico permite tener en archivos modelos digitales que podrán ser consultados ante cualquier duda u observación del usuario final.

Independientemente a lo arriba mencionado debemos destacar que esta metodología ofrece una mayor fiabilidad de los resultados. A futuro y mediante la realización de actualizaciones se podría hacer líneas de tiempo y realizar el estudio del cambio de uso de suelos.

También supone una mejora en comparación a métodos tradicionales desde el punto de vista que se estaría casi eliminando por completo el error humano, también podemos mencionar que al contar con imágenes de alta resolución ya no se hace necesario volver a campo si se da el caso de tener alguna duda sobre un dato, con una simple consulta en la computadora se podrá absolver las dudas ahorrando de esta manera tiempo y recursos.

## CONCLUSIONES

La densificación de puntos de control y puntos de paso usando la tecnología GNSS/RTK permitió la georreferenciación y ajuste de escala del proyecto, logrando una precisión de 1.5 cm. en el eje X, 0.8 cm. en el eje Y y 0.15 cm. en el eje Z.

Se logró realizar vuelos fotogramétricos a baja altura sobre el área urbana de la localidad "Las Carreras", para una vez procesada la información espacial adquirida con esta técnica en programas especializados, se obtuvo información topográfica del terreno consistente en una imagen de alta resolución espacial (nube de puntos, DTM, DSM, Ortomosaico), información que facilitará el realizar diversas actividades en la planeación de proyectos.

Se consigue digitalizar los predios existentes con el uso de softwares como Acad y ArcGis.

Se crea una geo data base la cual contiene una cartografía precisa y actualizada de la localidad de Las Carreras, y esta a su vez contiene todos los datos catastrales individuales de cada predio.

La fotogrametría como la topografía son parte esencial de cualquier obra de infraestructura antes, durante y después del proceso constructivo. Para ello es de vital importancia conocer la morfología del sitio, la ubicación con respecto a un sistema de referencia apoyado con imágenes del sitio a estudiar; posteriormente la representación gráfica del sitio con todos sus elementos. Aspectos que fueron conseguidos mediante una cartografía precisa y actualizada de la localidad.

La técnica planteada establece una metodología accesible, económica y eficaz para instituciones gubernamentales como no gubernamentales, con todos los beneficios posibles del uso de la fotogrametría, sabiendo que las mencionadas aeronaves son equipos fáciles de adquirir por la variedad de modelos y marcas presentes en el mercado.

## RECOMENDACIONES

A los profesionales que trabajen con esta técnica:

Para todo levantamiento fotogramétrico mediante UAVs será necesario apoyarse de los levantamientos terrestres para mejorar su precisión. Para proyectos pequeños se deben poner como mínimo tres puntos de apoyo, para grandes proyectos un mínimo de cinco GCPs.

La toma de fotografías aéreas se debe realizar en lo posible bajo condiciones específicas: cuando la altitud del sol sea óptima, es decir, en aquel espacio de tiempo en el cual los rayos solares presenten una inclinación tal que las sombras arrojadas por los accidentes sean mínimas. Ya que no existe un criterio fijo para considerar la altitud solar mínima aceptable en el transcurso del año, se puede adoptar una altura mínima de 30° del sol sobre el horizonte y en regiones poco accidentadas puede llegarse a los 20° (10:00 AM a 2:00 PM).

A las autoridades del GAM Las Carreras:

La creación del departamento de topografía y geodesia que será el encargado del almacenamiento, manejo y actualización de toda la información generada en el presente proyecto.

Realizar la regularización del derecho propietario de todos los predios de la Localidad, ya que se evidencia anomalías.

Emitir una resolución para que los futuros proyectos (públicos y privados) dentro de la localidad estén enlazados a la Red Geodésica Municipal del Municipio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- España - 5 - 7 junio de 2002. Desarrollo de Equipos de Fotogrametría: Explotación del dato digital. (s/f).
- Santamaría Peña, J. S. M. (2011). Fundamentos de Fotogrametría. Universidad de la Rioja.
- Antonio, C. (2011). Introducción a la Fotogrametría y su evolución. 1ª edición - La Plata: Hespérides.
- Elia, Q. R. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil.
- de Jesús, Z. O. O. (2003). Fundamentos de Fotogrametría para Imágenes de Contacto y Digitales. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.
- Otero; A. Ezquerro; R. Rodríguez-Solano; L. Martín; I. Bachiller. Fotogrametría.
- Villar, A. (s/f). Teledetección y Sistemas de tratamiento digital de imágenes.
- Israel, B. V. C. (2005). Principios Básicos de la Fotogrametría Actual. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco.
- Francisco Eugenio, G., & Javier, M. R. (s/f). Tutorial de Teledetección Espacial, Telecan. Marqués Acosta Ferran. Tutorial de Teledetección Espacial.
- La tierra a vista de pajarero uso de drones uavs para el estudio y difusión de la geología. (2017). <https://www.icog.es>. <https://www.icog.es/TyT/index.php/2017/02/la-tierra-a-vista-de-pajarero-uso-de-drones-uavs-para-el-estudio-y-difusion-de-la-geologia/>
- (S/f). Rutageologica.cl. Recuperado el 17 de febrero de 2025, de [https://www.rutageologica.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=375&Itemid=1112](https://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=375&Itemid=1112)
- (S/f-b). Tecnogeo.es. Recuperado el 17 de febrero de 2025, de <http://www.tecnogeo.es/soluciones/fotogrametria-teledeteccion->
- Fotogrametría y teledetección. (2015, noviembre 9). Jorge Suárez Carbajal. <https://geomastur.wordpress.com/competencias/fotogrametria-y->
- (S/f). Wikipedia.org. Recuperado el 17 de febrero de 2025, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Fotogrametría>
- (S/f). Dronspain.pro. Recuperado el 17 de febrero de 2025, de <http://dronspain.pro/fotogrametria-con->
- (S/f-b). Heliceo.com. Recuperado el 17 de febrero de 2025, de <http://www.heliceo.com/es/industrias/fotogrametria-por-drones/>

(S/f). Kit-dron.com. Recuperado el 17 de febrero de 2025, de <http://kit-dron.com/como-hacer-fotogrametria->

(s/f). Topocal.es. Recuperado el 17 de febrero de 2025, de <https://topocal.es/fotogrametria-cartografia-y->

(S/f-b). Ual.es. Recuperado el 17 de febrero de 2025, de <http://www2.ual.es/drons/servicios/topografia-y->

(S/f-c). Www.aerial-. Recuperado el 17 de febrero de 2025, de <http://www.aerial->

El primer dron especializado en la inspección de puentes con brazo articulado ha realizado su primer vuelo. (2018, marzo 20). Hispaviación. <http://www.hispaviacion.es/primer-dron->


## ANEXOS



**Anexo 1. REPORTE DEL PROCESO DE RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA**


# Quality



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6

 Important: Click on the different icons for:











-  Help to analyze the results in the Quality Report
-  Additional information about the sections


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

## Summary

Project	CARRERAS
Processed	2023-04-06 23:46:26
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.67 cm / 1.05 in
Area Covered	1.211 km <sup>2</sup> / 121.1350 ha / 0.47 sq. mi. / 299.4861 acres

## Quality Check

	Images	median of 64521 keypoints per image	
	Dataset	2221 out of 2223 images calibrated (99%), all images enabled	
	Camera Optimization	3.53% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
	Matching	median of 20677.2 matches per calibrated image	
	Georeferencing	yes, 15 GCPs (15 3D), mean RMS error = 0.012 m	

 Preview

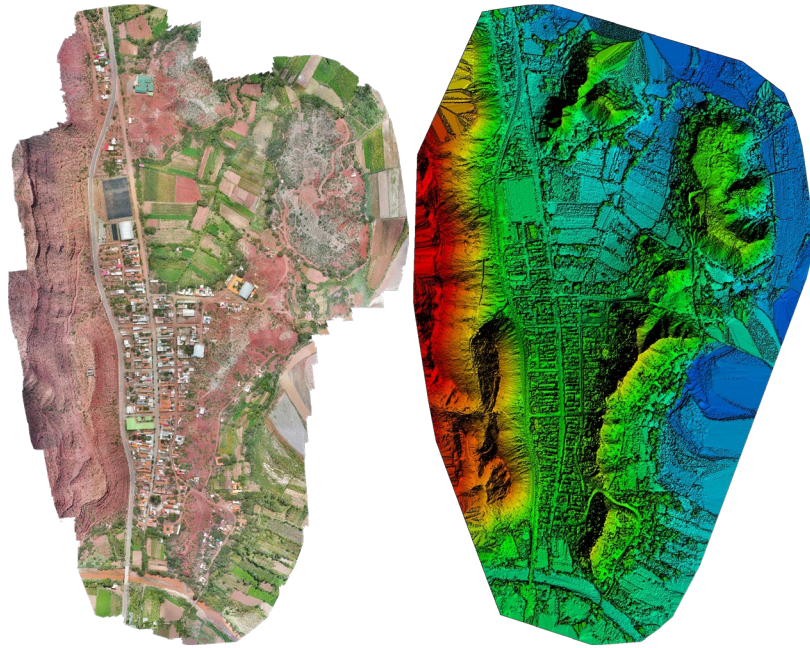


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Number of Calibrated Images	2221 out of 2223
Number of Geolocated Images	2223 out of 2223

## Calibration Details

 Initial Image Positions



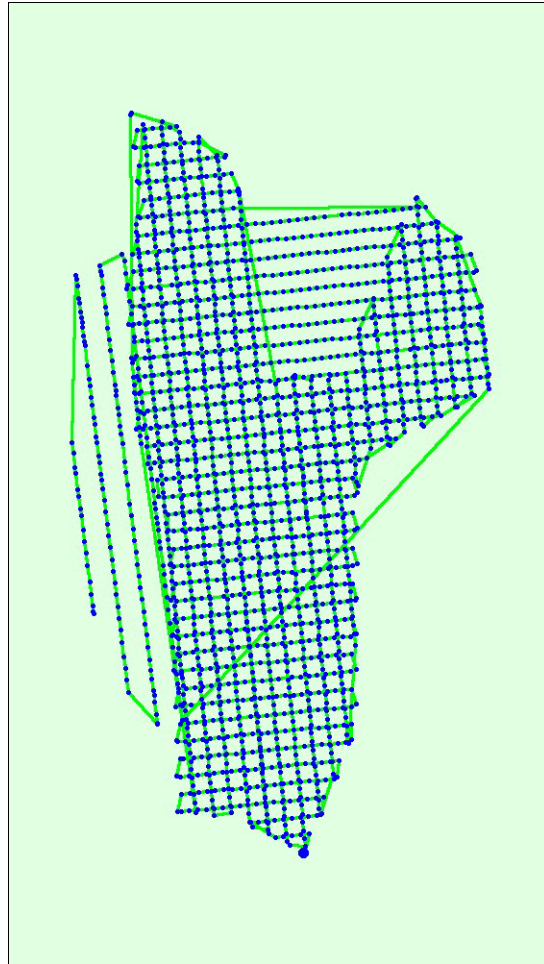

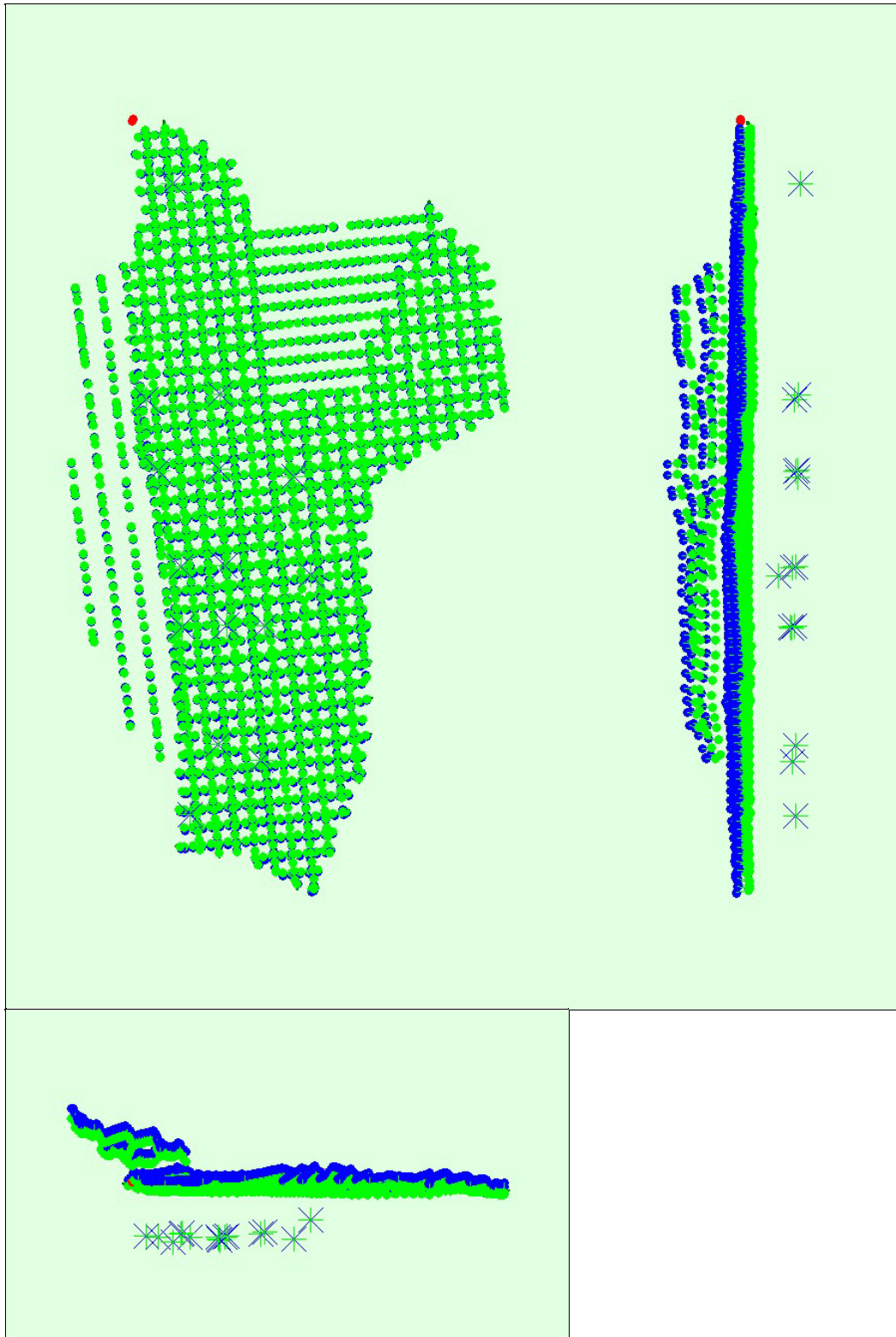


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

 Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 100x magnified

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

### ? Absolute camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displ. [m]	Camera Displ. Y [m]	Camera Displ. Z [m]
Mean	0.025	0.021	0.019	0.011	0.013	0.007	0.004	0.003	0.019
Sigma	0.019	0.015	0.008	0.009	0.011	0.005	0.002	0.001	0.009

### ? Overlap

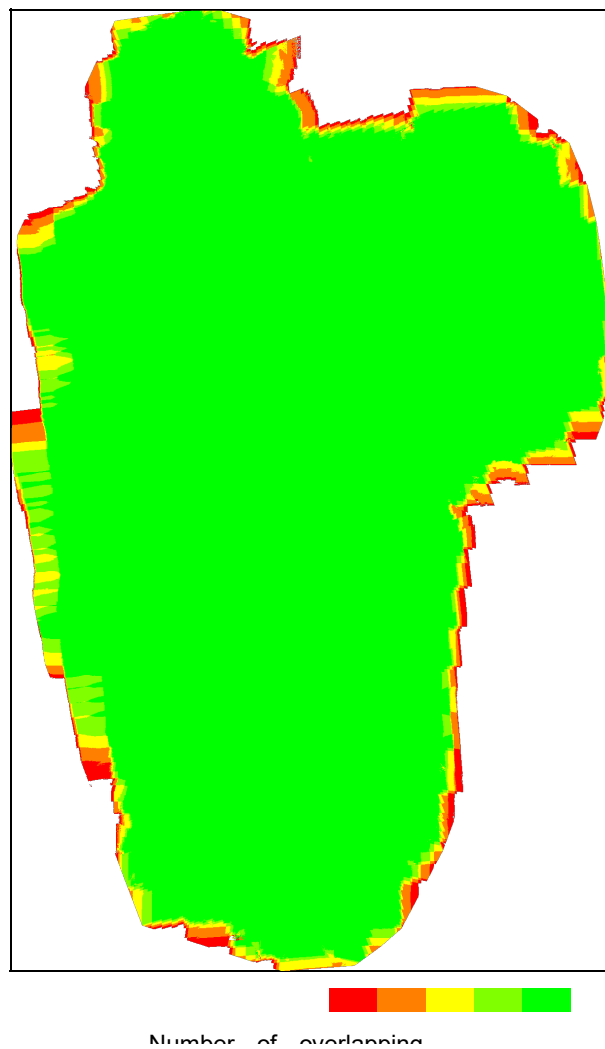


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic.

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

# Bundle Block Adjustment



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	48387487
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	18126213
Mean Reprojection Error [pixels]	0.166

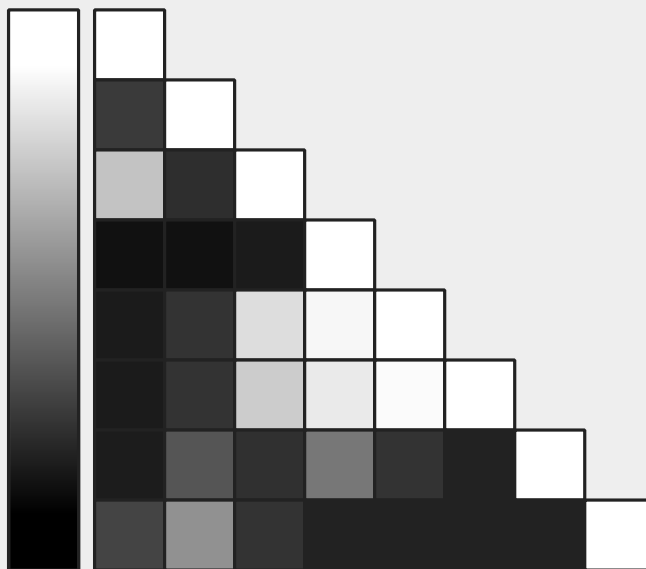
## Internal Camera Parameters

L1D-20c\_10.3\_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]



EXIF ID: L1D-20c\_10.3\_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel]	2770.870 [pixel]	1698.700 [pixel]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
	10.479 [mm]	6.494 [mm]	3.981 [mm]					
Optimized Values	4312.603 [pixel]	2741.779 [pixel]	1811.611 [pixel]	0.006	0.009	-0.011	-0.001	-0.000
	10.108 [mm]	6.426 [mm]	4.246 [mm]					
Uncertainties (Sigma)	0.181 [pixel]	0.040 [pixel]	0.158 [pixel]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000 [mm]	0.000 [mm]	0.000 [mm]					



The correlation between camera internal parameters determined by the bundle adjustment. White indicates a full correlation between the parameters, ie. any change in one can be fully compensated by the other. Black indicates that the parameter is completely independent, and is not affected by other parameters.

	<p>The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged is color coded between black and white. White indicates that, on been extracted at the pixel location. Black indicates that, on the pixel location. Click on the image to the see the average projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for indicates the</p>
--	--



D



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	64521	20677
Min	34695	4711
Max	86582	49846
Mean	63604	21786



3D Points from 2D Keypoint Matches



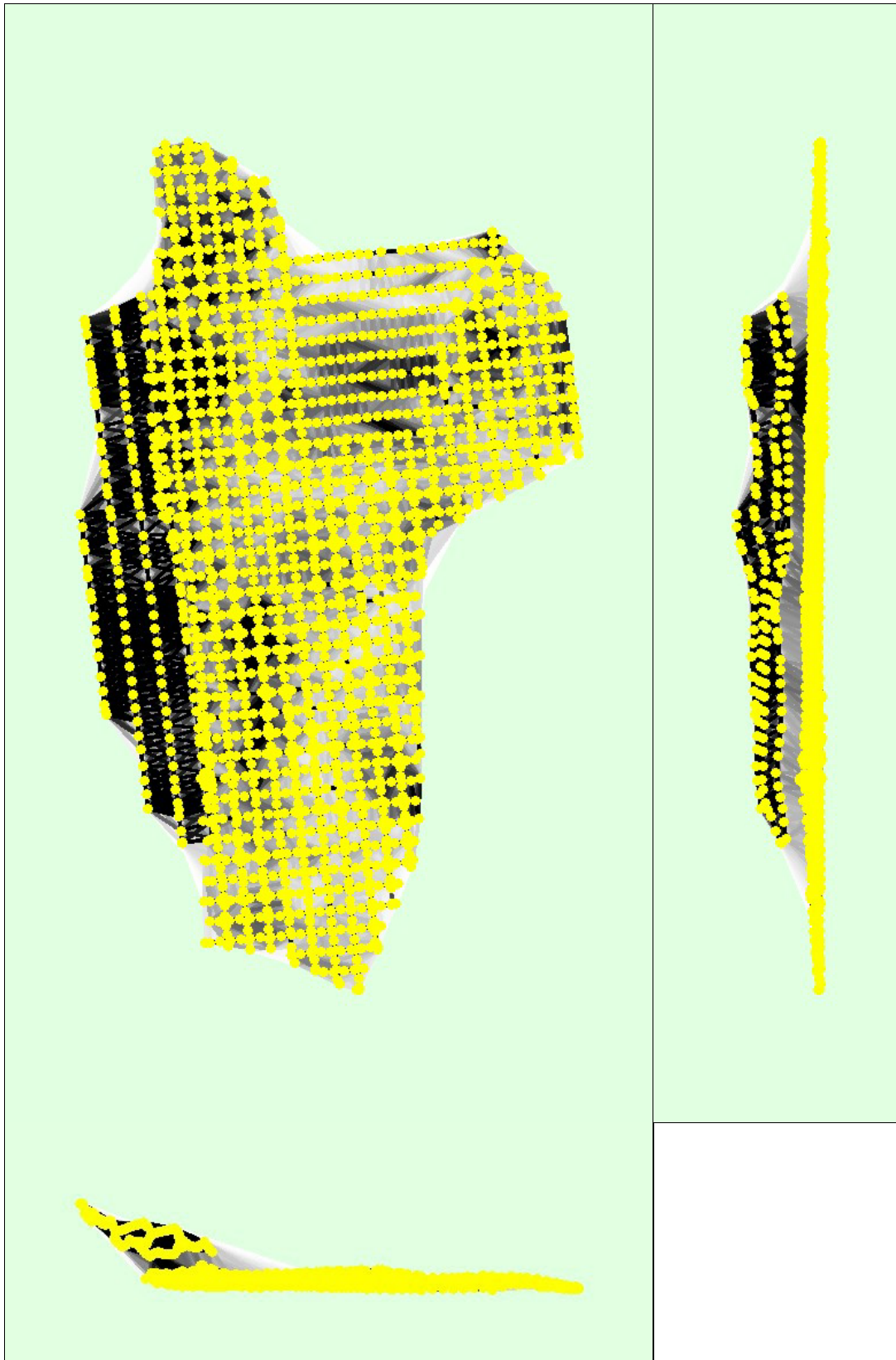
	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	12469371
In 3 Images	3095884
In 4 Images	1221308
In 5 Images	576853
In 6 Images	294169
In 7 Images	153184
In 8 Images	91786
In 9 Images	59940
In 10 Images	40958

In 11 Images	28499
In 12 Images	20113
In 13 Images	14879
In 14 Images	11703
In 15 Images	8679
In 16 Images	6745
In 17 Images	5334
In 18 Images	4415
In 19 Images	3475
In 20 Images	2965
In 21 Images	2428
In 22 Images	2001
In 23 Images	1710
In 24 Images	1414
In 25 Images	1179
In 26 Images	1053
In 27 Images	865
In 28 Images	748
In 29 Images	639
In 30 Images	583
In 31 Images	509
In 32 Images	392

In 33 Images	379
In 34 Images	338
In 35 Images	268
In 36 Images	232
In 37 Images	206
In 38 Images	194
In 39 Images	160
In 40 Images	126
In 41 Images	118
In 42 Images	78
In 43 Images	73
In 44 Images	62
In 45 Images	62
In 46 Images	28
In 47 Images	31
In 48 Images	13
In 49 Images	15
In 50 Images	9
In 51 Images	10
In 52 Images	4
In 53 Images	4
In 54 Images	4

In 55 Images	4
In 56 Images	7
In 57 Images	3
In 59 Images	1
In 60 Images	1
In 62 Images	2

2D Keypoint Matches



Number

25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

## Geolocation

### Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
RUN-5 (3D)	0.020/ 0.020	0.008	0.005	0.027	0.433	25 / 25
E1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	0.004	0.012	0.321	26 / 26
E2 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	-0.001	-0.003	0.471	40 / 40
E3 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.005	0.019	0.389	43 / 43
E4 (3D)	0.020/ 0.020	0.007	0.000	-0.006	0.465	46 / 46
E5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.004	0.007	0.326	46 / 46
E6 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	0.001	-0.007	0.320	42 / 42
E8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	-0.012	0.020	0.521	53 / 53
E10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	0.029	-0.000	0.319	49 / 49
E11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	0.008	-0.012	0.403	45 / 45
E12 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	0.013	-0.013	0.392	52 / 52

E13 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.013	-0.029	0.359	46 / 46
E14 (3D)	0.020/ 0.020	0.011	-0.012	0.014	0.819	47 / 47
E16 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	-0.015	-0.002	0.993	46 / 46
E17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	-0.034	-0.023	1.517	62 / 63
Mean [m]		- 0.000093	-0.000253	0.000259		
Sigma [m]		0.006781	0.014039	0.015681		
RMS Error [m]		0.006782	0.014042	0.015683		

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

### Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	1.13
-6.00	-3.00	0.00	6.21	40.75
-3.00	0.00	72.62	57.99	9.50
0.00	3.00	22.60	17.38	12.02
3.00	6.00	4.77	18.42	33.00
6.00	9.00	0.00	0.00	3.60

9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.142962	-0.722913	17.184574
Sigma [m]		1.460021	2.119789	4.329786
RMS Error [m]		1.467003	2.239667	17.721644

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

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.142962	-0.722913	17.184574

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

### Relative Geolocation Variance




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

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

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	2.611

Phi	3.010
<i>Kappa</i>	<i>5.614</i>

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

 Rolling Shutter Statistics



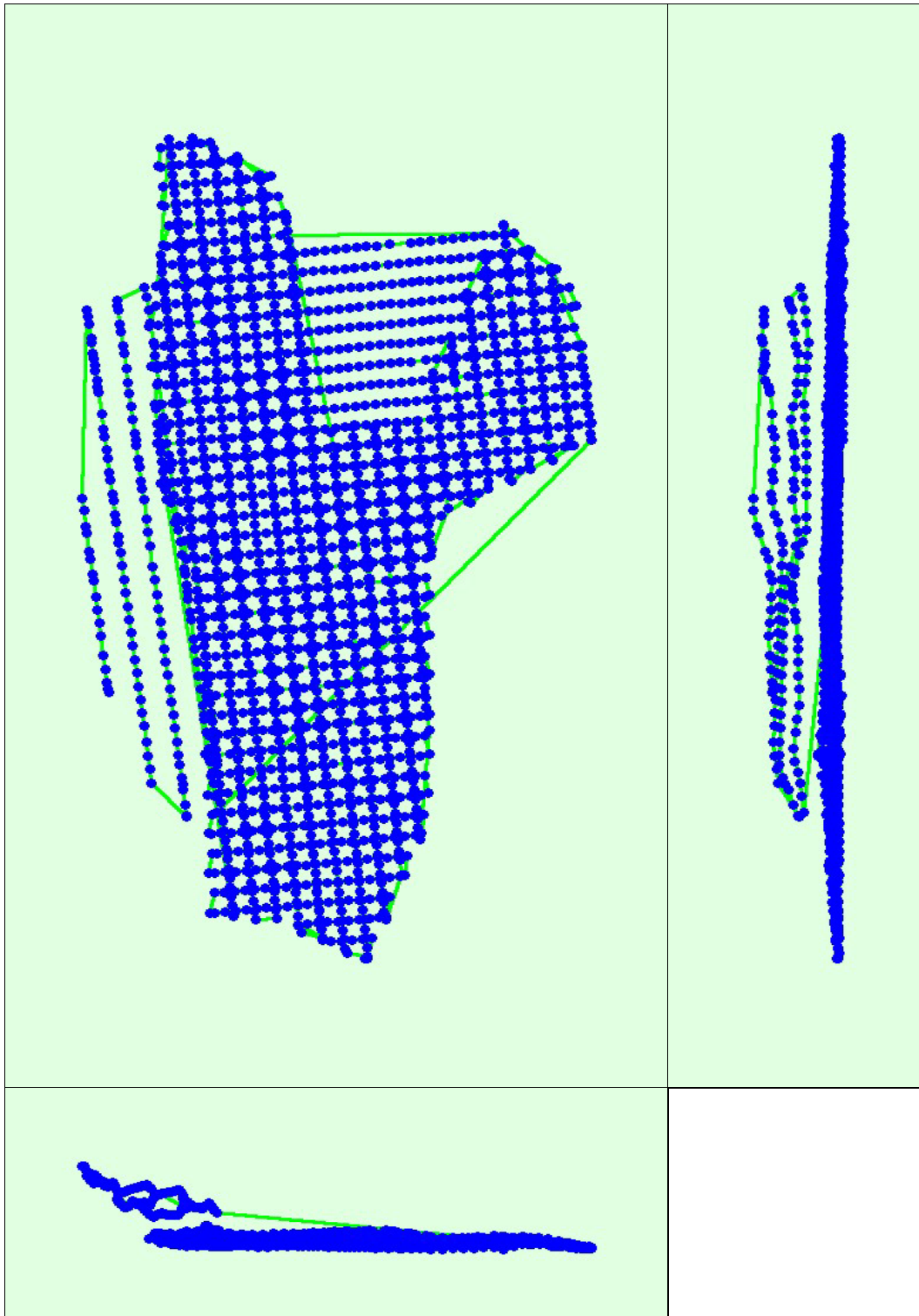


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project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

Median Camera Speed	6.5242 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.4173 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	60.7535 [ms]

## Initial Processing

### System

Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 5900X 12-Core Processor RAM: 32GB GPU: AMD Radeon RX 6700 XT (Driver: 31.0.14037.1007)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

### Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM 96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 20S (EGM 96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 20S (EGM 96 Geoid)

### Processing Options

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

	External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no
--	--

## Point Cloud Densification

### Processing

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: yes
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	09h:32m:41s
Time for Point Cloud Classification	19m:27s
Time for 3D Textured Mesh Generation	01h:06m:10s

### Results

Number of Processed Clusters	11
------------------------------	----

Number of Generated Tiles	11
Number of 3D Densified Points	261993554

Average Density (per m <sup>3</sup> )	176.66
---------------------------------------	--------

## DSM, Orthomosaic and Index



### Processing



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.67 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes. Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Triangulation Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no

	Google Maps Tiles and KML: yes
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (2.67 [cm/pixel])
Time for DSM Generation	01h:06m:19s
Time for Orthomosaic Generation	03h:02m:13s
Time for DTM Generation	45m:16s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

**Anexo 2. MAPA BASE CATASTRAL**

**LOCALIDAD LAS CARRERAS**

**MAPA BASE CATASTRAL LOCALIDAD "LAS CARRERAS"**

