



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN AGRONEGOCIOS,**  
**AVALÚOS Y CATASTROS**

**“TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN**  
**AGRONEGOCIOS AVALÚOS Y CATASTROS”**

**“APLICACION DE EQUIPOS TECNOLÓGICOS PARA LA GENERACION DE LA**  
**ORTOFOTOGRAFIA CON FINES DE CATASTROS DE PREDIOS URBANOS EN LA**  
**CIUDAD DE OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA”**

**AUTOR:**

**LUIS GERMÁN ANDRADE NARVÁEZ**

**DIRECTOR:**

**ING JOSE RAUL GUZMÁN PAZ MSC.**

**Ibarra, 2018**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONEGOCIOS AVALÚOS Y CATASTROS**

“APLICACION DE EQUIPOS TECNOLÓGICOS PARA LA GENERACION DE LA  
ORTOFOTOGRAFIA CON FINES DE CATASTROS DE PREDIOS URBANOS EN LA  
CIUDAD DE OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA”.

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como  
requisito parcial para obtener el título de:

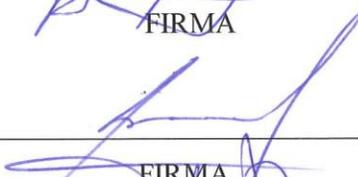
**INGENIERA EN AGRONEGOCIOS AVALÚOS Y CATASTROS**

APROBADO:

Ing. José Guzmán Msc.  
**DIRECTOR**

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA

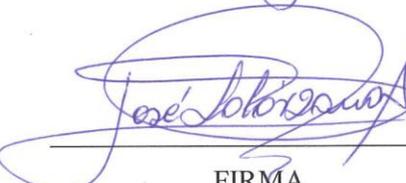
Ing. Juan Pablo Aragón  
**MIEMBRO TRIBUNAL**

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA

Ing. Franklin Sánchez  
**MIEMBRO TRIBUNAL**

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA

Arq. José Solórzano  
**MIEMBRO TRIBUNAL**

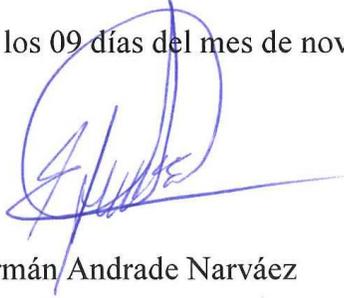
  
\_\_\_\_\_  
FIRMA

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Manifiesto que la presente obra es original y se desarrolló sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte /de terceros.

Ibarra, a los 09 días del mes de noviembre de 2018

Firma

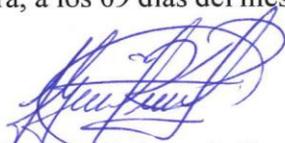
A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'L' followed by a horizontal line extending to the right.

Luis Germán Andrade Narváez

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Germán Andrade Narváez bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 09 días del mes de noviembre de 2018



Ing. José Raúl Guzmán Paz Msc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DELNORTE**  
**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA**  
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Luis Germán Andrade Narváez, con cédula de identidad No.100110108-6, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: APLICACIÓN DE EQUIPOS TECNOLÓGICOS PARA LA GENERACIÓN DE LA ORTOFOTOGRAFÍA CON FINES DE CATASTROS DE PREDIOS URBANOS EN LA CIUDAD DE OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA que ha sido desarrollado para optar por el Título de: Ingeniería en Agronegocios Avalúos y Catastros en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 09 días del mes de noviembre de 2018

.....  
Luis Germán Andrade Narváez

100110108-6

**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejamos sentada nuestra voluntad de participar en este proyecto, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100110108-6		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Luis Germán Andrade Narváez		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Imbabura, Otavalo, calle Bolívar y Mejía		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:lgan_59@yahoo.com">lgan_59@yahoo.com</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	(06) 2926-715		
<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0983603139		
<b>DATOS DE LA OBRA</b>			
<b>TÍTULO:</b>	“APLICACION DE EQUIPOS TECNOLÓGICOS PARA LA GENERACION DE LA ORTOFOTOGRAFIA CON FINES DE CATASTROS DE PREDIOS URBANOS EN LA CIUDAD DE OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA”.		
<b>AUTORA:</b>	Luis Germán Andrade Narváez		
<b>FECHA:</b>			
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>			
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	X	PREGRADO	POSTGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniera Agronegocios Avalúos y Catastros		
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. José Guzmán Msc.		

## **1. AUTORIZACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, LUIS GERMÁN ANDRADE NARVÁEZ, con cédula de ciudadanía número 1001101086, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el repositorio digital institucional y uso del archivo digital en la biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

## **2. CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original, y siendo titular del derecho patrimonial, por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

### **EL AUTOR**



Firma  
Luis Germán Andrade Narváez  
C.C.: 100110108-6

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Técnica del Norte, por brindarme la oportunidad y abrirme las puertas para realizar mi estudios de ingeniería.

Al ingeniero José Guzmán P., Director de mi Trabajo de Titulación, por su apoyo para realizar este trabajo de investigación.

Para mis maestros: arquitecto José Solórzano, ingeniera Doreen Brown, ingeniero Reney Cadena, ingeniero Franklin Sánchez, ingeniero Juan Pablo Aragón, mis asesores.

A todos mis amigos que me brindaron su apoyo moral para culminar esta carrera.

Gracias familia por estar siempre pendientes, a María Fernanda compañera silenciosa de la casa.

A mi amigo especial Freddy Guerra (Koreano), una palanca en mi vida.

Para mis compañeros de aula, amigos en las alegrías, tristezas y anécdotas, gracias por haber sido parte de mi vida estudiantil universitaria.

Finalmente a Mariela Yépez (Negrita), compañera de algunos momentos de aula y principalmente de trabajo, gracias por tu apoyo y tiempo.

## **DEDICATORIA**

Dedicataria “post mortem” a mis padres:

A mi Madre, María Ernestina, un ángel en algún lugar del cielo, que con su inmenso amor desde su génesis hasta el final abrazó mi vida, que con su sabiduría, y tenacidad supo involucrarme los valores de bien, de solidaridad y amor.

A mi Padre, Jorge Humberto, una persona que se nunca se rindió, padre ejemplar, persona muy respetada en la sociedad, que hermoso ejemplo, quien también inculco en mi los valores y siempre quiso la superación en la sabiduría de sus hijos. Admiro tu amor por mi madre y tus hijos.

Gracias Padres míos por haberme dado la vida.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	20
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	20
1.2. Problema .....	22
1.2.1. Preguntas directrices. ....	22
1.3. Justificación.....	23
1.4. Objetivos .....	24
1.4.1 Objetivo general.....	24
1.4.2 Objetivos específicos. ....	24
<b>CAPÍTULO II</b> .....	25
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	25
2.1. Definición de Drone.....	25
2.2. Tipos de drones .....	25
2.3. Aplicaciones de los drones .....	26
2.4. Sistema de Posicionamiento Global diferencial (DGPS).....	27
2.5. Ground Sample Distance (GSD).....	28
2.6. Modelos digitales del terreno (MDT) .....	28
2.7. Orto fotografía.....	29
2.8. Cartografía.....	29
2.8.1. División de la cartografía.....	30
2.8.2. Fotogrametría.....	31
2.8.3. Puntos de control.....	31
2.9. Orto-rectificación .....	32

2.10.	Catastro.....	32
2.10.1.	Clasificación del Catastro.....	33
2.11.	Sistema de información geográfica .....	35
2.11.1.	La importancia de los sistemas de información geográfica (SIG). .....	36
2.11.2.	Los sistemas de información geográfica y el catastro. ....	36
2.11.3.	Relación del catastro con los drones. ....	37
2.11.4.	Ortofotografía y los sistemas de información geográfica (SIG). ....	37
2.12.	Píxeles.....	38
2.12.1.	Calidad de los píxeles.....	38
2.13.	Software Agisoft Photoscan .....	39
2.14.	Pix4D Mapper Pro .....	40
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>41</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>41</b>
3.1.	Caracterización del área de estudio.....	41
3.2.	Equipo .....	42
3.3.	Métodos.....	44
3.3.1.	Método de la medición.....	44
3.3.2.	Plan de vuelo.....	44
3.3.3.	Plan de vuelo con la aplicación DroneDeploy y Mission Planner.....	45
3.3.4.	Preparación de equipos .....	47
3.3.5.	Puntos de control con GPS diferencial. ....	50
3.3.6.	Pos proceso de los puntos de apoyo.....	50
3.3.5.	Vuelo y toma de fotografías.....	54
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>60</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>60</b>

4.2. Fase 1: Comparación de la precisión y el costo operativo de dos tipos de drones para generar la ortofotografía. ....	60
4.2.1. Análisis de la precisión de los drones para generar la ortofotografía. ....	60
4.2.2. Análisis del costo operativo de los drones utilizados para orto fotografía. ....	64
4.3. Fase 2: Evaluación de la ortofotografía de la zona elegida en estudio con el catastro actual de la ciudad de Otavalo. ....	66
4.4. Fase 3: Realización de la cartografía catastral con el software AutoCAD Civil 3D, métodos adecuados a partir de la ortofotografía y su análisis económico. ....	69
4.4.3. Digitalización del catastro con mediciones tomadas a cinta en sitio. ....	70
4.4.4. Análisis económico, software utilizado en la creación de la ortofotografía. ....	71
4.5. Fase 4: Determinación de las ventajas y desventajas, del uso de la ortofotografía utilizando Drones, comparando con la ortofotografía del IGM. ....	72
<b>CAPÍTULO V</b> .....	74
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	74
5.1. Conclusiones .....	74
5.2. Recomendaciones .....	76
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	78
<b>ANEXOS</b> .....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Drone DJI PHANTOM 3 4K Professional .....	26
<b>Figura 2:</b> Drone de alas.....	26
<b>Figura 3:</b> Sistema de Posicionamiento Global diferencial (DGPS).....	28
<b>Figura 4:</b> Mapa de ubicación del área de estudio .....	41
<b>Figura 5:</b> Drone LAS-LISX8.....	42
<b>Figura 6:</b> Drone DJI Phantom3-4K Professional.....	42
<b>Figura 7:</b> Ciudadela Rumiñahui-Ciudad de Otavalo .....	45
<b>Figura 8:</b> Manzana objeto de estudio.....	46
<b>Figura 9:</b> Plan de vuelo con Misión Planner.....	47
<b>Figura 10:</b> Puntos de control sin corregir .....	51
<b>Figura 11:</b> Puntos de control con corrección .....	51
<b>Figura 12:</b> Ubicación de puntos de control final .....	52
<b>Figura 13:</b> Puntos de control en ortofotografía.....	53
<b>Figura 14:</b> Habilitación de tarjeta de video .....	55
<b>Figura 15:</b> Carga de fotografías y calibración de cámaras .....	55
<b>Figura 16:</b> Nuevo proyecto.....	57
<b>Figura 17:</b> Cargar imágenes.....	58
<b>Figura 18:</b> Análisis de Overlap en ortofotos drone DJI Phantom 3.....	63
<b>Figura 19:</b> Análisis de Overlap drone las-lisx8 .....	63
<b>Figura 20:</b> Montaje en Longitud.....	67

<b>Figura 21:</b> Montaje en Latitud .....	68
<b>Figura 22:</b> Ortofoto final considerando medidas en sitio. ....	68
<b>Figura 23:</b> Digitalización con medidas a cinta en el sitio.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Especificaciones técnicas de los dos modelos de drones utilizados para el estudio.....	43
<b>Tabla 2:</b> Preparación de equipos en campo. ....	48
<b>Tabla 3:</b> Apoyo topográfico en preparación de equipos.....	49
<b>Tabla 4:</b> Ubicación de puntos de control. ....	53
<b>Tabla 5:</b> Análisis de calidad de la ortofotografía según PIX4D MAPPER .....	61
<b>Tabla 6:</b> Análisis de calidad de la ortofotografía según AGISOFT.....	62
<b>Tabla 7:</b> Precios del dron DJI PHANTONM 3K PROFESIONAL .....	64
<b>Tabla 8:</b> Precios del dron LAS-LISX8.....	64
<b>Tabla 9:</b> Precios del equipo de computación .....	65
<b>Tabla 10:</b> Procesamiento de software. ....	69
<b>Tabla 11:</b> Precios, software utilizados en la creación de la ortofotografía. ....	72

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Reporte de calidad de la ortofoto con software PIX4D, Para vuelo de 30 m. Realizado con drone DJI PHATOM 3.....	82
<b>Anexo 2:</b> Informe de procesamiento Agisoft PhotoScan para altura de 50 metros.....	87
<b>Anexo 3:</b> Informe de procesamiento, altura de 50 metros, software PIX4D_PRO.....	93
<b>Anexo 4:</b> Memorando Dirección de Avalúos y Catastros.....	101
<b>Anexo 5:</b> Instituto Geográfico Militar (IGM) .....	104

## RESUMEN

La presente investigación parte de la necesidad de tener actualizado el Sistema de Catastros del Gobierno Municipal de Otavalo, que de acuerdo a información otorgada por la Dirección de Avalúos y Catastros la ortofotografía que tienen al momento no se encuentra actualizada y por lo tanto la planificación territorial del GAD, así como la valoración de los predios en la parte urbana de la ciudad de acuerdo al Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización COOTAD, debe realizarse cada bienio. El desarrollo en las metodologías del levantamiento de la información catastral ha conllevado a la evolución de nuevas tecnologías como son UAV (Sistema Aéreo no Tripulado) conocidos como Drones, técnica que resulta más económica en relación a la utilizada por aviones tripulados, y que presentan mejores alternativas para reducir los márgenes de error técnico y humano, se utilizó dos tipos de drones: DJI PHANTON 3 y LAS-LIS X8, estos equipos permiten la captura de fotos en corto tiempo, de igual manera se utilizaron dos tipos de software para generar la ortofotografía; de esta forma se identificó y minimizó los errores técnicos respecto a la forma tradicional de tomar los datos. Se evaluó los resultados para determinar las ventajas y desventajas del uso de la ortofotografía con el uso de drones comparado con imágenes satelitales de aviones tripulados y el método tradicional. Los resultados obtenidos se socializarán en el GAD del cantón Otavalo, como un modelo para la toma de datos a un menor costo, se comparó la ortofotografía del catastro urbano de la ciudad de Otavalo con la generada por los drones dando como resultado una mejor calidad la ortofoto que

se obtuvo con los drones. Es importante anotar también que el uso del GPS diferencial con la toma de datos de los puntos de control no se debe pasar por alto, ya que es lo que va a marcar el resultado final en la calidad de la ortofotografía.

**Palabras clave:** Vehículo Aéreo no Tripulado (drone), catastro, ortofotografía, software, imágenes satelitales.

## **ABSTRACT**

The present investigation is based on the need to actualize the Cadastre System, and according to the information provided by the “Dirección de Avalúos y Catastros”, the orthophotography that they have at the moment is not updated and therefore the territorial planning of the cantonal GAD of Otavalo , as well as the valuation of the properties in the urban part of the city according to the Organic Code of Territorial Organization Autonomy and Decentralization (COOTAD), must be done every biennium. The development in the methodologies of the survey of cadastral information has brought with itself the evolution of new technologies such as the (Unmanned Aerial System) UAV known as Drones, a technique that is more economical in relation with used by manned aircraft, and that demonstrate better alternatives to reduce margins of technical and human error. Two types of Drones were used: these equipment allow the capture of photos in a short time, in the same way two types of software were used to generate the orthophotography at low cost; in this form, technical errors can be identified and minimized with respect to the traditional way of taking the data; the results were evaluated to determine the advantages and disadvantages of the use of orthophotography with the use of the Drones compared with the satellite images of manned aircraft and the traditional method for obtaining information to actualize the Cadastre, he results obtained will serve as a basis for socializing in the GAD of Otavalo, a model for data collection at a lower cost, the ortophotography of the urban cadastre of city Otavalo was compared with that generated by the drones resulting in a better quality of the orthophoto obtained with the drones. It is important to note also that the use of differential GPS

with the data collection of de control points should not overlooked since it is what will mark the final result in the quality of orthophotography.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, cadastre, orthophotography, UAV software, satellite images

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La ortofoto digital es la imagen fotográfica georreferenciado a la cual se han eliminado las distorsiones causadas por la no-verticalidad del eje de la cámara aerofotogrametría y las producidas por las diferencias de nivel del terreno. Es decir, cada elemento de la fotografía aérea es proyectado individualmente en orden de obtener una escala uniforme, La ortofoto tiene las mismas características métricas de un mapa y la riqueza informativa de la fotografía aérea original. El proceso para la producción de la ortofoto digital requiere de la Aero triangulación, la obtención del MDE y de la fotografía digital geo rectificada. (Izquierdo, 2016)

En el Ecuador históricamente y hasta la actualidad el catastro tiene la finalidad únicamente fiscal impositiva, debido a la inexistencia de normatividad, falta de recursos técnicos, económicos y el poco interés de los GADs municipales. (Ogeda, 2014)

Hasta hace poco tiempo el IGM Instituto Geográfico Militar era la institución que mantenía el monopolio en la generación de la fotografía aérea para obtener la ortofotografía utilizando vuelos tripulados que se lo realizan a gran altura y por consiguiente abarcan grandes superficies en kilómetros cuadrados, estas imágenes son tratadas con diferentes procedimientos de precisión geométrica y geográfica. (Izquierdo, 2016)

La Asamblea Nacional, en octubre del año 2010, aprueba y pone en vigencia el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización - COOTAD, el cual establece y ratifica las competencias, permanentes, concurrentes y delegables para los distintos niveles de gobiernos autónomos descentralizados como son: los de las regiones, prefecturas, municipalidades, distritos metropolitanos y las juntas parroquias rurales. (Ecuador, 2010)

El Art. 139 del COOTAD, establece que corresponde a los gobiernos autónomos descentralizados la formación y administración de los catastros inmobiliarios urbanos y rurales; así como la obligación de actualizar cada dos años la valoración de la propiedad urbana y rural, sin perjuicio de realizar la actualización cuando solicite el propietario a su costa. (Ecuador, 2010)

Por lo tanto, se hace necesario el empleo de nuevas tecnologías para agilizar la actualización catastral. Esta tecnología, constituye los drones, que son sistemas de vuelo no tripulados de menor costo y de fácil operación y que no necesitan de mucha infraestructura para la operatividad y que en base a un plan de vuelo toman fotografías en tiempos relativamente cortos y con el empleo de software se procesan las mismas para generar la ortofotografía. (Ecuador, 2010)

Para la presente investigación se utilizó dos tipos de dron de diferente gama: DJI PHANTOM 3 y LAS – LISX8, los cuales se hicieron volar a tres diferentes alturas y se comparó los resultados obtenidos.

De igual forma, el software que se utilizó para el procesamiento de la información generada de la obtención de la ortofotografía mediante uso de drones para obtener la ortofotografía, para el uso de los catastros, fue Agisoft Photoscan y PIX4D Mapper. Se utilizó dos aplicaciones para generar los planes de vuelo a tres diferentes alturas establecidas que fueron 30, 40 y 50 metros para cada dron y que son: DroneDeploy y Mission Planner. Existió una limitante con este método de bajo costo que cubre una menor área fotografiada respecto al área fotografiada con los métodos tradicionales de vuelos tripulados que cubren grandes extensiones.

## **1.2. Problema**

La problemática del desarrollo con un marco referencial actual obliga a los GADs municipales a replantear metodologías que permitan correlacionar los nuevos escenarios de planificación y ordenamiento territorial con la información geo referenciada (aplicación de la ortofotografía) por ser una técnica de apoyo en la actividad urbanística, para orientar procesos de asentamientos, construcciones, levantamientos de nuevas zonas pobladas, vialidad, zonas de recreación, etc.

Es de necesidad prioritaria que el GAD Municipal de Otavalo esté dotado de equipo humano y técnico suficientemente capacitado para el control permanentemente, el estado de situaciones del conjunto de factores que permitan manejar en forma eficiente, efectiva y oportuna, problemas que la ciudadanía reclama como los catastros, planificación y ordenamiento territorial, riesgos, dotación de servicios básicos, etc.

Entonces es necesario y prioritario obtener ortofotografías utilizando técnicas con tecnología de bajo costo como drones y software de mayor precisión, consecuentemente ajeno al error humano, que esté al alcance del GAD Municipal de Otavalo.

### ***1.2.1. Preguntas directrices.***

- ¿Cuál de los dos tipos de drones tiene mejor precisión?
- ¿Qué software y método es el más adecuado?
- ¿Qué ortofotografía tiene más precisión?
- ¿Qué ventajas y desventajas tiene el uso de drones con respecto a la imagen satelital?

### **1.3. Justificación**

Este estudio es importante porque de acuerdo al COOTAD, los GADs municipales tiene que actualizar cada dos años el catastro urbano y rural (planes bi anuales de actualización catastral); por lo tanto, la tecnología es de mucha ayuda en este proceso por lo que se hace pertinente usar herramientas de menor costo para generar la ortofotografía en menor tiempo y a un menor costo posible. (Ecuador, 2010)

Otavalo no ha escapado al desarrollo de la ciudad y parroquial, debido al crecimiento poblacional causado por las migraciones internas, lo que ha provocado una demanda de la necesidad habitacional, la misma que ha generado un incremento urbanístico sin ninguna planificación, generando problemas en cuanto a su ubicación (laderas, riberas de ríos, zonas de protección natural, entre otros), sin acceso a servicios básicos, seguridades, vías de comunicación.

La ortofotografía permitirá al GAD Municipal de Otavalo, aplique con mayor criterio la evolución de los predios en su planificación y ordenamiento territorial así como un mejor control a corto tiempo y por ende valorar los impuestos de una manera justa y que genere ingresos para su presupuesto institucional.

El estudio permitió identificar los equipos y software adecuados para la georeferenciación de precisión de la ortofotografía para los catastros urbanos de la ciudad de Otavalo, optimizando tecnología y recursos.

Además, el presente estudio servirá como un referente para los catastros rurales, en cuanto a sus zonas de producción, áreas de protección, control de inundaciones, trabajos sobre terrenos inaccesibles, entre otros.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general.***

Aplicar nuevas tecnologías en el proceso de Catastros en el GAD Municipal de Otavalo, mediante el uso de dos sistemas UAV (Sistema de Vuelo no Tripulado) o conocido como Drones para generar la Ortofotografía

### ***1.4.2 Objetivos específicos.***

- Comparar la precisión y el costo operativo de dos tipos de drones para generar la ortofotografía.
- Generar la ortofotografía de la zona elegida en estudio, para evaluar con el catastro actual.
- Realizar la cartografía catastral con el software, métodos adecuados a partir de la ortofotografía y su análisis económico.
- Determinar las ventajas y desventajas, del uso de la ortofotografía utilizando Drones, comparando con la ortofotografía del IGM.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 2.1. Definición de Drone

Según Ortega, *et. al.*, (2016) se define que un dron es un vehículo aéreo no tripulado (VANT) en español o en inglés UAV (Unmanned Aerial Vehicle), que puede volar de manera independiente, sin la intervención de nadie.

Ollero, *et. al.*, (2007) expresó que los UAV's son vehículos que se pueden controlar de forma remota o realizan sus tareas autónomas, además contienen funcionalidades para la adquisición y transmisión de datos. Algunos drones tienen equipamiento con instrumentación suficiente para su tele-operación fuera del campo de inspección. Algunos UAV's son totalmente autónomos y realizan tareas como seguimiento de trayectorias, aterrizaje y despegue, localización automática de varios eventos en seguimiento. (Addati & Pérez , 2014)

#### 2.2. Tipos de drones

Según Olea & Sánchez, (2014) comentan que al igual que en las aeronaves tripuladas, los drones se clasifican según su condición de sustentación (de ala fija o multi motores), según su tipo de propulsión (eléctricos, turbohélices, a reacción, etc.), según su tiempo de autonomía, su techo de servicio (altura máxima de vuelo que se relaciona con la escala mínima de las imágenes captadas) y su alcance. A continuación en la ilustración 1 y 2 se describen dos ejemplos.



**Figura 1:** Drone DJI PHANTOM 3 4K Professional



**Figura 2:** Drone de alas  
**Fuente:** Miguel, G., (2018)

### **2.3. Aplicaciones de los drones**

Dentro del ámbito de la Topografía, también cabe destacar su uso en Ingeniería Geomática para la generación de modelos digitales del terreno y ortofotos. (Coello & Ballesteros , 2015)

Entre las principales aplicaciones se presentan las siguientes:

- Control de tráfico e inspección de carreteras, vías y líneas de transporte en general.
- Definición de límites de patio urbano y zonas de prospección urbana.
- Definición, supervisión y alerta a los rebases de límites para zonas de expansión agropecuaria (3200 msnm).
- Limitar el fraccionamiento y urbanización de la tierra en las zonas rurales.
- Zonificar y determinar espacios públicos por zonas de desarrollo.

- Misiones de control policial, fronteras y/o terrorismo.
- Topografía: fotografía aérea con realización de mapas y deslinde de fincas (uso catastral).
- Control de cosechas, agricultura y paisaje (uso de suelos).
- Investigación del entorno ecológico y meteorológico: cambio climático, catástrofes naturales y seguimiento.
- Localización de accidentes en lugares de difícil acceso.
- Gestión de crisis originadas por desastres naturales, como inundaciones o terremotos.
- Seguimiento de movimientos migratorios, recuento de animales, plagas y detección de bancos de pesca.
- Rápida detección de incendios y el seguimiento de su evolución.
- Inspección de líneas eléctricas de alto voltaje.
- Comunicaciones de telefonía móvil e internet.

#### **2.4.Sistema de Posicionamiento Global diferencial (DGPS).**

El GPS diferencial mejora la precisión en una posición real de los objetos e incluso en movimiento para situaciones estacionarias, es también una herramienta para distintos trabajos de posicionamiento en una escala de gran precisión. El DGPS funciona a través de dos receptores terrestres, uno estacionario y otro móvil el cual permite hacer mediciones de posición en los diferentes lugares de interés. (Shoel, Ahmed, 2014)

EL DGPS permite mejorar la precisión de posicionamiento. La señal de corrección del error se transmite a los alrededores con un alcance máximo de 1000 kilómetros. En éste punto cualquier pérdida de corrección durante la transmisión pueda resultar una inexactitud. (Mahesh, 2014)



**Figura 3:** Sistema de Posicionamiento Global diferencial (DGPS).  
**Fuente:** Arévalo, (2012)

### 2.5. Ground Sample Distance (GSD)

Indica el tamaño adecuado aproximado que representa un pixel en el terreno; por ende, los objetos no son identificables con un solo pixel. La identificación se la obtiene de una agrupación de una serie de pixeles. (Quispe, 2015)

### 2.6. Modelos digitales del terreno (MDT)

Según, Carretero, (2015), un MDT se lo define como una representación estadística del terreno, en forma de números digitales, por medio de un conjunto de puntos con coordenadas x, y, z respecto a un sistema de georeferenciación conocido. Básicamente es la representación digital 3D de un terreno con una superficie sin vegetación o edificios, creada a partir de datos de altitud, longitud y altitud de puntos.

## **2.7.Orto fotografía.**

La orto fotografía es una proyección ortogonal geo referenciada (latitud, longitud, altitud) de una fotografía aérea, cuyas distorsiones derivadas de las diferencias de altitud (ante la presencia de obstáculos) y de la inclinación de la cámara se han corregido con el objetivo de minimizar errores y homogenizar la escala, hecho que permite medir distancias con exactitud. (Virgós & García , 2015, págs. 7-30)

Santamaría (como se citó en Wolf, 1983) comenta que una orto fotografía es una muestra de las imágenes de los objetos en su posición ortográfica verdadera, siendo geoméricamente equivalente a los planos. La diferencia es que los ortofotos son imágenes de los objetos y los planos utilizan líneas y símbolos. Además consideraron que una orto foto es como una fotografía del terreno rectificadas que contienen las entidades naturales y puestas por el hombre y que están ocupando una posición verdadera en la coordenadas X, Y.

## **2.8.Cartografía**

Se entiende por cartografía a una rama de la geografía que se encarga de figurar espacios terrestres en mapas o esferas, esta ciencia agrupa y analiza medidas y datos de regiones de la tierra para luego representarlas gráficamente a distintas dimensiones lineales. Es de real importancia porque por medio de ella se puede conocer las características del medio, su topografía, accesibilidad a recursos y la ubicación de puntos específicos de conflictos (Virgós & García , 2015).

La cartografía está compuesta por una serie de elementos y conceptos que son necesarios mencionarlos para entender de forma global el objetivo y la misma, así como la relación de lectura de mapas.

- Paralelos: Son líneas imaginarias que van en forma paralela al Ecuador, las mismas dividen a la tierra en dos hemisferios, norte y sur.
- Meridianos: Son líneas imaginarias trazadas de norte a sur, que dividen a la tierra en dos hemisferios, este y oeste.
- Simbología: son elementos específicos que se representan dentro del mapa.
- Escalas: Permiten conocer las distancias reales con respecto a las establecidas en el mapa.

**Coordenadas:** Son medios un medio por el cual es posible ubicar puntos específicos y concretos en la superficie terrestre a partir de coordenadas específicas, también es posible localizar objetos, ciudades, entre otros. (Virgós & García , 2015)

### ***2.8.1. División de la cartografía.***

Virgós & García, (2015), expresaron que la cartografía se divide en:

- Cartografía General, como son los mapas de un país, o un mapamundi.
- Cartografía Temática, se encarga de elaborar mapas con temas específicos como son mapas turísticos, políticos, geológicos, cartas náuticas, de comunicación etc.
- Cartografía Digital, es una forma de cartografía que utiliza la informática para la representación de mapas, utiliza un sistema de información geográfica (SIG), que codifica dirige variables y datos geoespaciales, por medio de diversos recursos como base de datos, software de cartografía automatizada y teledetección, así como aplicaciones estadísticas.

### **2.8.2. Fotogrametría.**

Ochoa, G. A. & Delgado, G. J. (2013) manifiestan que la fotogrametría es la técnica cuyo objetivo es el conocimiento de las dimensiones y posición de los objetos en el espacio, a través de la medida o medidas realizadas sobre una o varias fotografías. La palabra fotogrametría se deriva del vocablo “fotograma” (de “phos”, “fotos”, luz, y gramma, trazado, dibujo), como algo listo, disponible (una foto), y “metrón”, medir.

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 de los objetos, es decir, información bidimensional. Si trabajamos con dos fotos, en la zona común a estas (zona de solape), podremos tener visión estereoscópica; o dicho de otro modo, información tridimensional. (Hilario, 2015)

### **2.8.3. Puntos de control.**

Un punto de control es un elemento que sobresale en una imagen, distinguible e invariante ante posibles cambios de orientación, rotación o escala. Los puntos pueden ser líneas o formas geométricas. Los puntos que se realicen deben ser lo más estables posibles y ser suficientemente característico para una correcta asociación entre puntos encontrados en imágenes diferentes. (López de Paz, 2012)

Existen varios métodos para encontrar puntos de control en una imagen de manera automática, basados en diversos algoritmos computacionales ya establecidos y donde se asigna a cada punto de control. (López de Paz, 2012)

## **2.9.Orto-rectificación**

La rectificación de imágenes es el proceso de transformar los datos de una imagen de un sistema de cuadrícula a otro usando una transformación geométrica, esta se expresa de una forma polinomial. La orto rectificación de imágenes es un tipo de rectificación que corrige el desplazamiento debido al terreno, por ello se hace uso de Modelos Digitales de Elevación (MDE). Es por ello que el proceso de orto rectificación se basará en corregir, como se mencionó anteriormente, el movimiento del sensor en la adquisición de las imágenes. (López de Paz, 2012)

## **2.10. Catastro**

Virgós & García, (2015) comentan qué el catastro se define como: un sistema de información basado en el predio actualizado, que registra las características de las parcelas y la información relacionada con la tierra; allí se almacena los derechos, las restricciones de las propiedades inmuebles y las responsabilidades de sus propietarios. Además, cuenta con una descripción geométrica de los predios asociada al valor del terreno y sus mejoras.

El catastro se puede establecer para propósitos fiscales como avalúos e impuestos, propósitos legales como transferencia de la propiedad y propósitos administrativos como planeación, gestión y uso del suelo, así como también permite el desarrollo sostenible y protección del medio ambiente. (Molina, M. G. A., 2006)

Un catastro moderno es un sistema integrado de bases de datos que reúne la información sobre el registro y la propiedad del suelo, características físicas, modelo econométrico para la valoración de propiedades, zonificación, transporte y datos ambientales, socioeconómicos y demográficos.(Molina & Ribera, 2003)

Dichos catastros representan una herramienta holística de planificación que puede usarse a nivel local, regional y nacional con la finalidad de abordar asuntos relevantes como la expansión

urbana, la erradicación de la pobreza, las políticas de suelo y el desarrollo comunitario sostenible. (Sánchez Lopera & Lerma García, 2012)

Actualmente, aunque con diferentes niveles de intensidad, existen movimientos que procuran transformar a los Catastros Territoriales “tradicionales” en los Sistemas de Información modernos y multifinalitarios, desvinculándolos de conceptos fiscalistas para llevarlos hacia un concepto universal de base de datos territoriales disponibles para todos. (Serna & Gómez , 2013)

### ***2.10.1. Clasificación del Catastro.***

La clasificación del catastro se puede realizar según varios parámetros los más aceptados son:

- Según el ámbito de ubicación.
- Según el enfoque u objetivo.

#### ***2.10.1.1. Catastro por el ámbito de ubicación.***

Refiriéndose a la posición espacial en que se encuentran los predios o parcelas que se estudian se tiene:

##### ***2.10.1.1.1. Catastro urbano.***

Valero & Ribera, (2013) comentan que el catastro es un censo orientado al inventario y diagnóstico de información inmobiliaria, física, jurídica y económica de las ciudades. Dentro de las actividades se encuentran: planos catastrales, en donde se identifican actividades urbanas como: desarrollos habitacionales, comerciales, industriales, institucionales, recreativos, entre otros.

##### ***2.10.1.1.2. Catastro rural.***

Está orientado al inventario y diagnóstico de la situación física, jurídica y económica de las unidades inmobiliarias rústicas. Dentro de las actividades se encuentran la realización de mapas,

mediante los cuales se identifican las actividades agrícolas, como cultivos, actividades agropastorales, así como también se identifican aquellas áreas misceláneas. (Santamaría , 2001)

#### ***2.10.1.2. Catastro según el enfoque u objetivo.***

Dependiendo del objetivo con el que se maneja la información catastral existen:

##### *2.10.1.2.1. Catastro económico o fiscal.*

Está basado en fines netamente tributarios, este se encuentra implantado en la mayoría de los países del mundo, los cuales mediante una base de datos y distintos métodos de valoración se determinan la contribución monetaria que realizara el propietario de un predio. (Virgós & García , 2015)

##### *2.10.1.2.2. Catastro geométrico o físico.*

Surge tras combinar las bases de datos con varias características espaciales de los predios como extensión, posición, y topografía, los cuales se obtienen con métodos topográficos o cartográficos, permitiendo administrar la exactitud de la información geográfica del territorio para obtener una valoración económica más equitativa. (Zurita, 2015)

##### *2.10.1.2.3. Catastro jurídico.*

Es aquel que establece y controla el aspecto jurídico sobre los predios, es decir las circunstancias legales en las que va evolucionando el territorio en cuanto a su ocupación, geometría, posesión y valor económico. (Zurita, 2015)

##### *2.10.1.2.4. Catastro multifinalitarios.*

Fusiona los conceptos anteriores y los relaciona con aspectos ambientales y sociales, para establecer acciones de administración territorial eficientes, que aseguren una distribución

armónica de la población y de las actividades económicas, buscando mejorar las condiciones de la vida y de la sociedad. (Zurita, 2015)

### **2.11. Sistema de Información Geográfica**

La tecnología de sistemas de información geográfica (SIG), constituye en este sentido una de las herramientas adecuadas de manejo de información, ya que al usar el modelo de base de datos georrelacional se asocia un conjunto de información gráfica en forma de planos o mapas a bases de datos digitales. Esto, sintéticamente quiere decir, que los SIG tienen como característica principal que el manejo de la información gráfica y alfanumérica se realiza de forma integrada, pudiendo abordar, de este modo, aspectos de alta complejidad relacional en el tema planteado. (Bongiovanni, Roel , Best, & Mantovani, 2006)

“Un SIG es un conjunto de elementos ordenadamente relacionados entre sí, de acuerdo a ciertas reglas. Sus principales componentes son: contenido, equipo básico, equipo lógico, administrador y usuarios” (Zarzosa, Andrés, & Núñez, 2014).

Según Bongiovanni, *et. al.*,(2006), expresan que el catastro multifinalitario es un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente en capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos, con el fin de satisfacer múltiples propósitos. El SIG es una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Existen otras muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en

la toma de decisiones, pero todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo nacional, incluyendo la relacionada con la infraestructura de un municipio, estado o incluso a nivel nacional. (Bongiovanni, Roel , Best, & Mantovani, 2006)

### ***2.11.1. La importancia de los sistemas de información geográfica (SIG).***

Los sistemas de información geográfica SIG han cobrado importancia como apoyo a la toma de decisiones en diferentes ámbitos de las sociedades modernas porque permiten estructurar y visualizar la información ubicada especialmente en el territorio. Los SIG tienen importancia porque permiten que los usuarios creen sus consultas interactivas, permite analizar información espacial, editar datos, mapas y representar los resultados de todas las operaciones. (Chaparro, 2011)

Además el SIG funciona como una base de datos (alfanuméricos) que se encuentra asociada como un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. El SIG también permite referenciar los atributos sobre la parte gráfica. Es decir que ofrece la ayuda a filtrar los atributos que en determinados momentos queremos visualizar, dejando solo aquellos que son de interés de los usuarios. Por otro lado el SIG es importante porque permite agrupar las parcelas que contenga uno o más atributos en común. (Chaparro, 2011)

### ***2.11.2. Los sistemas de información geográfica y el catastro.***

Las actividades catastrales pretenden incorporar elementos físicos, jurídicos y económicos de los predios, de tal manera que se integren de manera coherente todos los atributos de los inmuebles ubicados en una determinada ciudad. Con frecuencia ésta información es almacenada

en bases de datos convencionales (alfanuméricas), con la limitación de poder relacionar este tipo de información con el territorio en donde se ubican. (Bermúdez & Garolera, 2007)

Es por ésta razón que se utiliza los sistemas de información geográfica como complemento para la actividad catastral en cuanto a inventariar los predios y ubicarlos espacialmente. La base de datos compuesta permite que de diferente naturaleza se integre varios ambientes, tecnologías y plataformas diferentes. (Ossa & Estrada, 2011)

Es decir información tal como demografía, uso de suelo, características topográficas, redes de servicios públicos, entre otras, es posible ubicarla y visualizarla mediante la utilización de sistemas de información geográfica. (Ossa & Estrada, 2011)

### ***2.11.3. Relación del catastro con los drones.***

Ibáñez, (2012) expresó que el catastro se ha convertido en un elemento crucial 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 de suelo. Por ello, es indispensable, contar con un sistema de información geográfica actualizado para la administración adecuada del territorio estatal. Las tecnologías disponibles y de mayor aplicación, incluyen vuelos fotogramétricos e imágenes satelitales de alta resolución. No obstante, con el desarrollo y mejoramiento de la tecnología de VANT, se cuenta con una opción para elaborar cartografía con características sobresaliente, tomas en áreas pequeñas, aplicables en Municipios de difícil acceso, que brindan una relación costo-beneficio.

### ***2.11.4. Ortofotografía y los sistemas de información geográfica (SIG).***

La ortofotografía tiene bastante importancia cuando éstas son incorporadas a un SIG; teniendo en cuenta que no se trata de datos genéricos (capa raster). En ésta podemos almacenar variables

continuas como categóricas como por ejemplo variables; ríos, carreteras, árboles, lagunas, edificaciones, predios, poblaciones entre otras. (Olaya, 2014)

Podemos identificar los siguientes procesos:

- **Representación.-** Las imágenes son elementos visuales en muchos casos no se utilizan más que para conformar una base sobre las que emplazar otras capas.
- **Identificación de elementos.-** Una imagen está compuesta por objetos presentes sobre la superficie terrestre. La identificación y la delineación de estos elementos pueden implicar la creación de nuevas capas.
- **Identificación de características.-** En una imagen podemos identificar por sus formas una carretera si es ancha o estrecha, si es larga o corta, sinuosa o rectilínea. Parámetros geométricos que nos ayudan a identificar el elemento en sí, es posible que se pueda identificar el color del asfalto en una carretera, o caso contrario si es de tierra.

## 2.12. Pixeles

El pixel se define como la más pequeña de las unidades homogéneas de color que componen una imagen de tipo digital. Al ampliar una de estas imágenes a través del zoom, es posible observar los pixeles que permitan la creación de la imagen. Ante la vista se presentan como pequeños cuadrados o rectángulos en blanco, negro o matices de gris. (Addati & Pérez , 2014)

### 2.12.1. Calidad de los pixeles.

La resolución de una fotografía digital es su cantidad de pixeles por unidad de longitud, es decir, es la relación entre el tamaño en pixeles de una imagen (que dependen del dispositivo con el que ha sido capturada) y sus dimensiones físicas, que se manifiesta en un dispositivo de salida como una pantalla o una impresora. (Barros, 2016)

Barros, (2016) comentó que cada dispositivo que empleamos para visualizar una fotografía digital tiene una determinada capacidad para mostrarla (que normalmente se expresa en pixeles por pulgada, ppp o dpi), por eso la resolución de una imagen es función exclusivamente del dispositivo de salida. Una resolución mayor implica más pixeles por unidad de longitud, lo que quiere decir que el nivel de detalle es mayor (también se usa el término “definición”, mayor resolución significa mayor definición).

### **2.13. Software Agisoft Photoscan**

Es un software profesional del campo de la fotogrametría, permite la realización del procesamiento de imágenes digitales y la generación de información 3D para ser usada, entre varias funciones aplicadas al GIS. (Núñez, 2016)

El programa puede ser obtenido en dos versiones: Standard y Pro. La versión estándar es suficiente para propósitos de interacción virtual mientras que la versión Pro está diseñada para trabajar con contenido GIS. El software fue desarrollado por la empresa Agisoft LLC situada en San Petersburgo, Rusia. (Núñez, 2016)

Además permite que las imágenes obtenidas mediante métodos tradicionales como las obtenidas a través de drones se encuentren:

- Calibradas utilizando un modelo de cámara digital,
- Georreferenciado utilizando puntos de apoyo o mediante la localización de cámaras,
- Ajustadas (el bloque de imágenes) a través de la triangulación,
- Empleadas en la creación de productos TIN/DEM de las áreas con imágenes solapadas mediante el uso de algoritmos de correlación,
- Su orto rectificación utilizando TIN y el cálculo de orientación exterior.

#### **2.14. Pix4D Mapper Pro**

Es un programa para la obtención de un orto mosaico creado en el 2011 por una compañía Suiza del mismo nombre. El trabajo de éste programa consiste en tres pasos fundamentales: procesamiento inicial, densificación de la nube de puntos y generación del orto mosaico y el modelo digital del terreno. (Núñez, 2016)

El usuario define las propiedades que determinarán la calidad, la precisión y el formato final de salida. Todas ellas están en la misma ventana de diálogo de opciones de procesamiento y deberán ser establecidas previamente al procesamiento de las imágenes. Las opciones de procesamiento son divididas en 5 secciones: procesamiento inicial, nube de puntos, DSM orto mosaico, salidas adicionales y recursos. (Núñez, 2016)

Como recomendación se debe introducir los puntos de apoyo disponibles previamente a la realización del procesamiento. La información espacial importante, sobre todo las imágenes no están georreferenciadas. Los puntos de apoyo ayudan a reducir los problemas y errores que pueden presentarse en el modelo final. (Núñez, 2016)

# CAPÍTULO III

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Caracterización del área de estudio

La presente investigación se realizó en una manzana de la ciudadela Rumiñahui, cuyas calles perimetrales son avenida Atahualpa, avenida Alfonso Cisneros Pareja, calle Estuardo Jaramillo y calle Segundo Pinto de la ciudad de Otavalo, provincia de Imbabura.

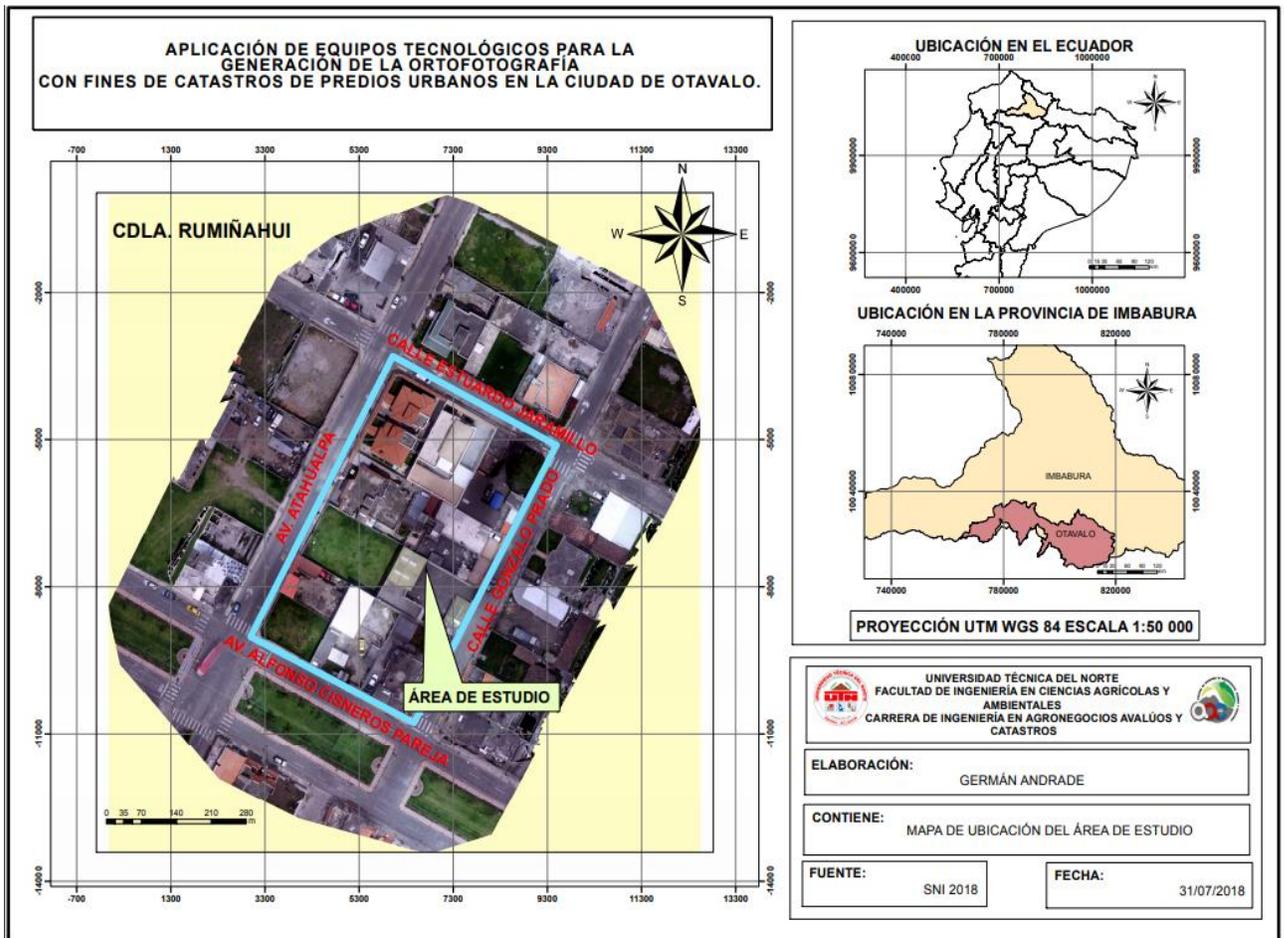


Figura 4: Mapa de ubicación del área de estudio

### 3.2. Equipo

Para el levantamiento de información, diseño y elaboración de la ortofotografía en este estudio, se utilizó dos tipos de drones de bajo y mediano costo. Las pruebas se hicieron con un drone de baja gama, el DJI Phantom 3- 4 K Professional y un drone de mediano gama, el LAS – LISX8, cuyo objetivo es determinar la calidad de la ortofotografía y la precisión de la georeferenciación de la misma.



**Figura 5:** Drone LAS-LISX8



**Figura 6:** Drone DJI Phantom3-4K Professional

**Tabla 1:** Especificaciones técnicas de los dos modelos de drones utilizados para el estudio.

<b>Aeronave</b>	<b>DJI Phantom 3 4k profesional</b>	<b>LAS-LISX8</b>
<b>Dimensiones</b>	350mmx350mm tamaño diagonal excluye los propulsores	415mmx415mmx250 mm
<b>Peso de la batería</b>	365g	800g
<b>Capacidad de la batería</b>	4480 mAh	4S de 10000mAh
<b>Autonomía de vuelo</b>	23 minutos aproximadamente	18 minutos a nivel del mar y 12 snm
<b>Número de motores</b>	4	8
<b>Máxima velocidad de viento operacional</b>	50 km/h	40 km/h a 70 km/h
<b>Ráfagas de viento hasta</b>	50 km/h	70 km/h
<b>Rango de comunicación</b>	2 km	1 km
<b>Control Remoto</b>	Los sistemas de transmisión de video y de control remoto de la aeronave funcionan a 2.4 GHz. Incluye distintas funciones de control de cámara, con la pre visualización de fotos y videos, así como el control de moviente del gimbal	Incluye módulo de telemetría integrado de 2,4 GHz, indicador porcentual de señal de intensidad de señal (RSSI por sus siglas en ingles), permite controlar manualmente a la aeronave en vuelo
<b>Cámara</b>	Sony EXMOR 1/2.3”	S/D
<b>Sistema de posicionamiento</b>	Doble constelación GPS/Glonass	Doble constelación GPS/Glonass
<b>Gimbal</b>	Inclinación -90° a +30° (El gimbal de tres ejes proporciona una plataforma estable, para la cámara acoplada hasta 120 <sup>a</sup> , lo que permite capturar imágenes y videos estabilizados)	No tiene

### **3.3. Métodos**

#### ***3.3.1. Método de medición.***

Se solicitó información requerida para el desarrollo de la investigación a la Dirección de Avalúos y Catastros del GAD Municipal de Otavalo, como es la ortofoto del SIGTIERRAS; proyecto desarrollado por el Ministerio De Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

Se utilizó dos tipos de drones para crear la ortofotografía, para establecer diferencias en la calidad de imagen y la precisión de la georeferenciación de la misma.

Se realizó un levantamiento a cinta de la manzana objeto de estudio y se digitalizó en AutoCAD Civil 3D.

#### ***3.3.2. Plan de vuelo***

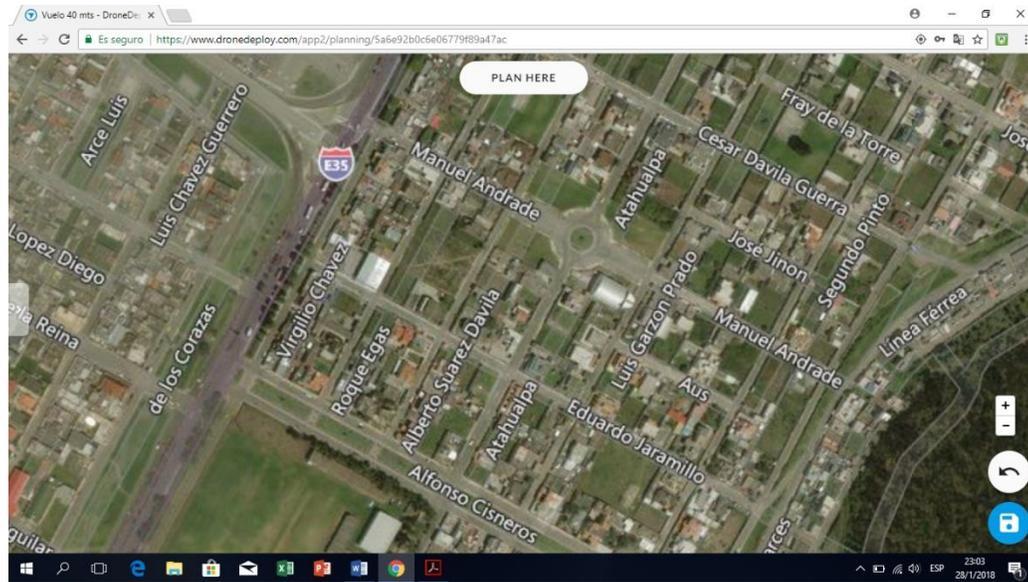
El plan de vuelo se efectuó con cálculos previos a la realización del planeo para obtener la tomas de fotografías, mismas que debían cumplir con ciertos parámetros como son: recubrimiento longitudinal y transversal, altura de vuelo especificada en función de la escala.

Se realizó los planes de vuelo tanto para el drone DJI PHANTOM 3 4K PROFESIONAL, y se utilizó la aplicación denominada DroneDeploy y la aplicación Mission Planner. Para el otro drone LAS-LISX8, en cada uno de los casos se planificó vuelos con alturas de 30, 40 y 50 m, respectivamente y se consideró una manzana de la ciudadela de Rumiñahui, ciudad de Otavalo.

Las aplicaciones antes mencionadas son programas para realizar vuelos en forma automática y se planifica con anterioridad en la oficina, domicilio o en el sitio de estudio en caso de tener señal de internet.

### 3.3.3. Plan de vuelo con la aplicación DroneDeploy y Mission Planner

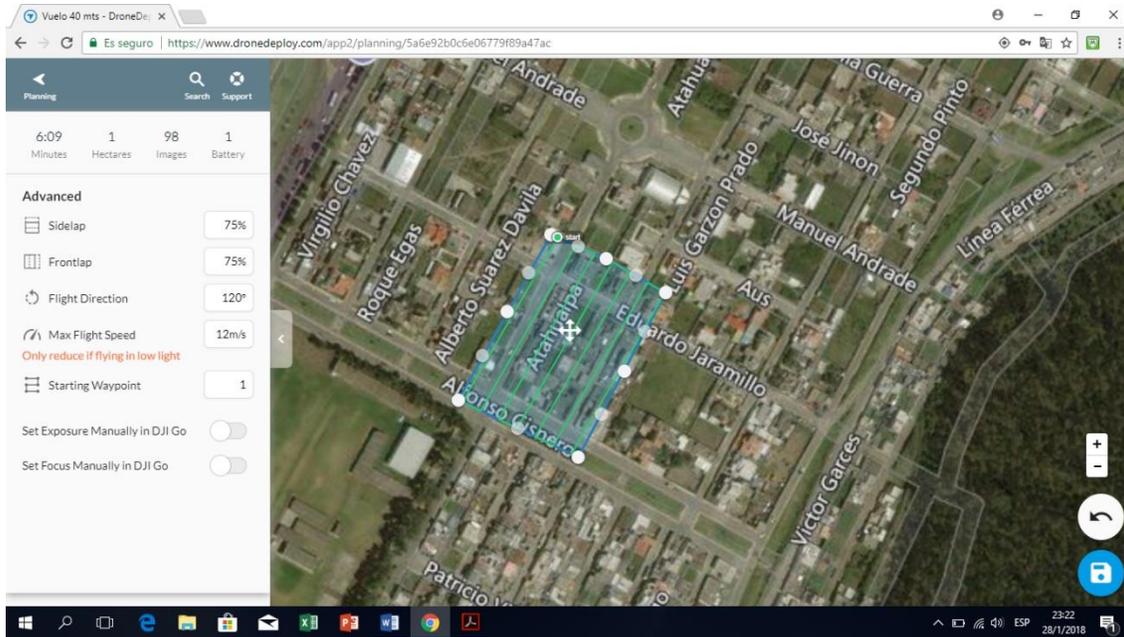
Previamente se identificó el área a efectuar las pruebas correspondientes que para nuestro caso fue en la ciudadela Rumiñahui de la ciudad de Otavalo, el sitio de estudio está ubicado en la Avenida Atahualpa y calle Segundo Pinto, entre la avenida Alfonso Cisneros Pareja y Estuardo Jaramillo.



**Figura 7:** Ciudadela Rumiñahui-Ciudad de Otavalo  
**Fuente:** Google Earth Pro

Identificada el área de estudio, se procedió en oficina a programar el plan de vuelo automático, utilizando la aplicación DroneDeploy. En cada menú desplegable se programó los diferentes parámetros que se encuentran en dicha aplicación, tales como: altura de vuelo, sidelap, frontlap, dirección de vuelo y velocidad del dron.

Concluida la programación se dio un nombre a la misión y se grabó. Es importante resaltar, que la aplicación también nos brindó preinformación de tiempo de vuelo (factor importante a tomar en cuenta en la duración de las baterías), área a cubrir, número de pixeles respectivos por centímetro. Este plan se lo realizó para el Drone DJI Phantom 3 4k Profesional.

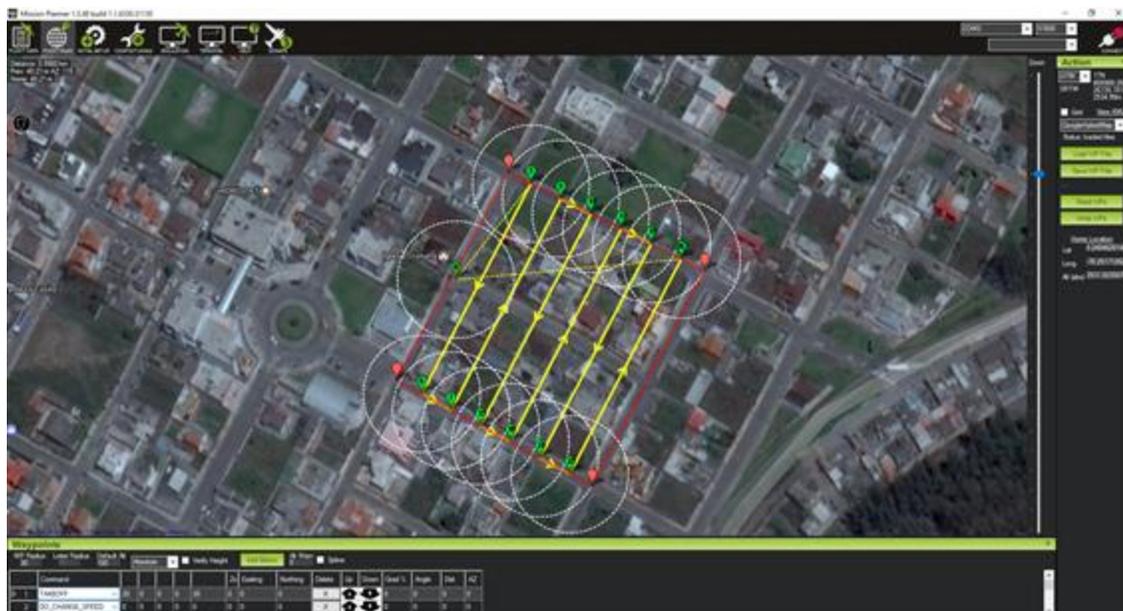


**Figura 8:** Manzana objeto de estudio  
**Fuente:** Google Earth Pro

Otros parámetros que se tomó en cuenta para el vuelo automático son:

- Se seleccionó la ruta de vuelo objeto en el sitio de estudio,
- Se utilizó Way Points,
- Se estableció el GSD (Tamaño de pixel), según la misión,
- Se seleccionó los comandos de misión desde menús despegables de la aplicación,
- Se descargó los archivos de registro de la misión para obtener los resultados y analizarlos.

De igual forma se procedió con la aplicación Mission Planner para realizar tres vuelos con las alturas que se establecieron en la investigación, considerando los mismos parámetros anteriormente expuestos en la aplicación DroneDeploy, excepto el tipo de cámara ya que ésta se la configuró manualmente.



**Figura 9:** Plan de vuelo con Misión Planner  
**Fuente:** Software Misión Planner

### ***3.3.4. Preparación de equipos***

Una vez obtenido el plan de vuelo, se procedió a preparar, instalar y configurar los equipos en el área de estudio que se van a ocupar en cada prueba, verificando enlace de satélites, baterías de control remoto y drone, cámara, posicionamiento, hélices entre otros.

**Tabla 2:** Preparación de equipos en campo.

IMÁGENES		DRON DJI PHANTOM 3- 4K PROFESIONAL	DRON LAS-LISX8
DJI PHNATON 3	LAS-LISX8		
		Calibración de equipos, tanto drone como control remoto	Calibración de equipos, tanto drone como control remoto
		Despegue del drone	Despegue del drone
		Vuelo del drone	Vuelo del drone
		Aterrizaje del drone	Aterrizaje del drone

**Tabla 3:** *Apoyo topográfico en preparación de equipos.*

---

**Apoyo topográfico en campo**

---



Montaje del GPS diferencial Tremble R6



Toma de datos por el espacio de una hora en cada punto marcado, se almacenan cientos de puntos, la medida se inició cuando la inclinación está dentro de la tolerancia, autoguardado después del espacio de tiempo, se pasa al siguiente punto.



Grabación de los datos con el apoyo de la libreta para el respectivo pos proceso.

### ***3.3.5. Puntos de control con GPS diferencial.***

Antes de realizar los vuelos programados y para obtener una georeferenciación correcta, de la ortofotografía, se hace necesario determinar puntos de control en el área de estudio con GPS diferencial.

Se recopiló coordenadas, usando GPS diferencial de marca TRIMBLE R6, el mismo que permite guardar las posiciones que envían los satélites sin corregir, estas coordenadas se las tomo en tres sitios diferentes (señalizados con pintura) del área de trabajo, para poder identificarlos en las fotografías.

Para los puntos de control se tomaron las lecturas con espacio de una hora en cada uno, para luego generar con el pos proceso las coordenadas en x, y, z.

### ***3.3.6. Pos proceso de los puntos de apoyo.***

Una vez que se recopiló la señal de los satélites y posiciones sin corregir, se descargó los datos al computador para posteriormente procesarlos con un software apropiado y que sea capaz de capturar la información tipo RAW (puntos crudos).

La información almacenada se procesó y comparó con los ficheros RINEX (RINEX son las siglas en inglés de "Receiver INdependent EXchange". Se trata de un formato de ficheros de texto orientado al almacenamiento de manera estandarizada medidas proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite, como GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS o Galileo, estos incluyen las correcciones diferenciales, para finalmente obtener los resultados los puntos corregidos y presentarlos en formato de texto (txt) o de Excel (csv).

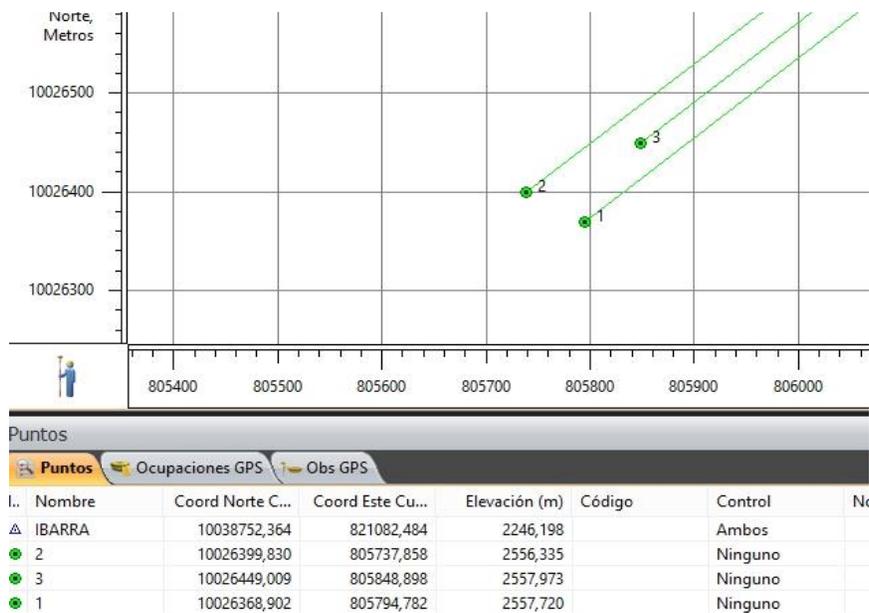
Este pos proceso se realizó con la ayuda de un personero del Consejo Provincial de Imbabura, ya que esta institución posee la base de toma de puntos en tiempo real y que está conectada directamente con a la red del Instituto Geográfico Militar (IGM).

Los tres puntos de control sin corregir obtenidos en las lecturas con el GPS diferencial, se ven reflejados en la figura 9, y los puntos corregidos en la figura 10.

En la figura 10 podemos observar el desplazamiento de los tres puntos de control, una vez que fueron ingresadas las coordenadas en la ortofotografía y que coincidieron los puntos corregidos con las marcas permanentes colocadas en el sitio.



**Figura 10:** Puntos de control sin corregir



**Figura 11:** Puntos de control con corrección



**Figura 12:** Ubicación de puntos de control final

Los círculos de color amarillo son la representación de los puntos de control sin corregir y los círculos de color rojo son los puntos de control corregidos.

**Tabla 4:** *Ubicación de puntos de control.*

PUNTO	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	805794.782184	10026368.901584	2557.719751
2	805737.857752	10026399.829549	2556.335408
3	805848.898447	10026449.008995	2557.97313



**Figura 13:** Puntos de control en ortofotografía.

### ***3.3.5. Vuelo y toma de fotografías.***

Establecidos los planes de vuelo para cada caso y drone, y se realizó los vuelos de forma automática para la toma de fotografías.

Se efectuó tres vuelos con el drone DJI Phantom 3, a las alturas de:

- 30 m con un tiempo de vuelo de 9 minutos 28 segundos,
- 40 m con un tiempo de vuelo de 5 minutos 58 segundos
- 50m con un tiempo de vuelo de 4 minutos 43 segundos

Para complementar el estudio se realizó tres vuelos con el drone LAS-LIS X8, a las alturas de:

- 30 m con un tiempo de vuelo de 9 minutos 29 segundos
- 40 m con un tiempo de vuelo de 6 minutos 3 segundos
- 50m con un tiempo de vuelo de 4 minutos 36 segundos

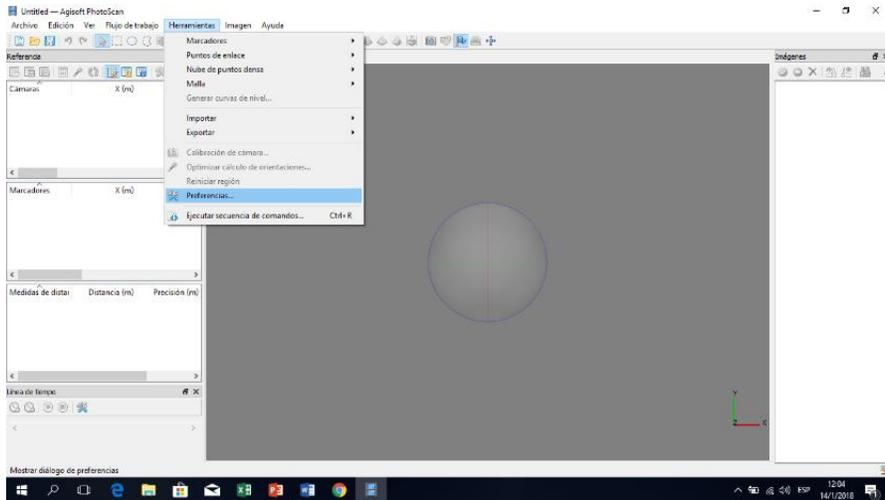
#### ***3.3.5.1. Proceso de las imágenes apoyadas con los puntos de control.***

Efectuado los vuelos, se procedió a realizar el trabajo en oficina para generar el mosaico de las fotografías aéreas ortorectificado y georeferenciado, utilizando los software Agisoft PhotoScan y Pix4D Pro Mapper, para su respectivo análisis y comparación de calidad para cada vuelos y drones.

#### ***3.3.5.2. Proceso con el Software AgisoftPhotoScan.***

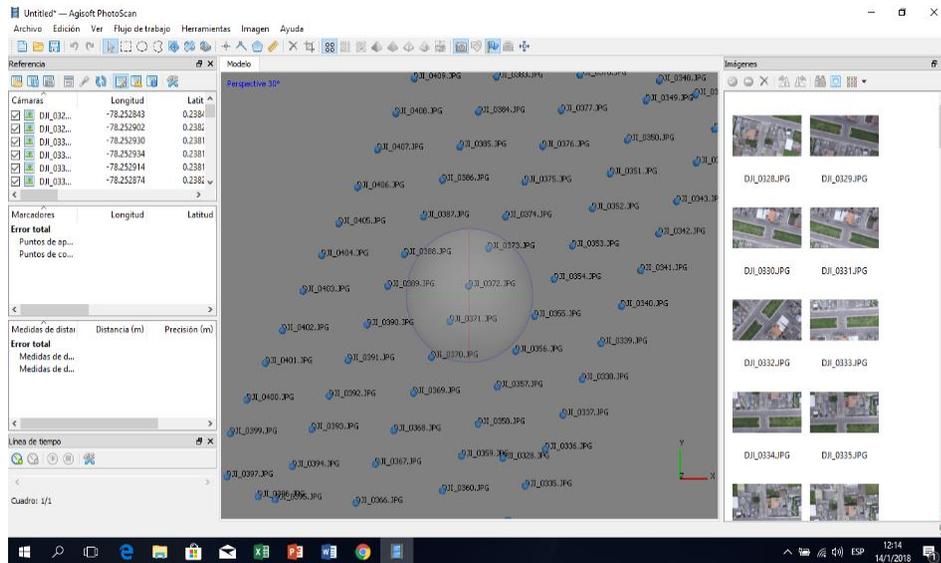
Se efectuó el proceso paso a paso respecto a la generación de las ortofotos de los vuelos realizados con los dos tipos de drones y el software AgisoftPhotoScan.

1. Abierto el programa se procedió a verificar la tarjeta de video del computador para habilitar con el fin de que sea más eficiente el proceso.



**Figura 14:** Habilitación de tarjeta de video

2. Se cargó las fotos del respectivo vuelo y realizó la calibración de cámaras, que se realiza automáticamente y dejó todos los parámetros por defecto.



**Figura 15:** Carga de fotografías y calibración de cámaras

3. Se orientó las fotos y colocó los parámetro correspondientes:
  - Precisión: Alta,
  - Pre-procesar emparejamiento de imágenes: Referencia o puntos de apoyo que son las imágenes con coordenadas x, y, z,
  - Avanzado: Puntos clave de foto: 40,000 por defecto.

4. Creó nube de puntos densa, se colocó los parámetros, como son:
  - Calidad: Alta
  - Avanzado: filtrado de profundidad: Agresivo
  - Orientación de las fotos en color azul, resultado del proceso anterior.
5. Crear malla, colocamos los parámetros correspondientes:
  - Tipo de superficie: Bajo Relieve/Terreno
  - Datos fuente: Nube de puntos densa
  - Número de caras: Alta (90,000)
  - Avanzado: Interpolación: Habilitada por defecto.

Este es el resultado final de creación de la nube de puntos densa y la malla, procesos importantes, para marcar los puntos de control.

6. Crear y marcar los puntos de control en las fotos, tomados en tierra con GPS diferencial RTK.

Se ubicó el punto en la fotografía con botón secundario. Se creó el marcador con bandera verde donde está el punto y bandera azul en el resto de fotos donde está el mismo y se ajustó manualmente de uno en uno. Todo este proceso se realizó para los tres puntos.

7. Renombrar los puntos de control en el software.

Se renombró los puntos de control para que coincida el campo de la columna, entre los puntos a importar y los que se encuentran creados en el software.

8. Calibrar el mosaico con los puntos de control.

Se desmarcó todas las fotografías y se trabajó con los puntos de control, poniéndose en color rosado.

9. Definir el sistema de coordenadas, WGS84/UTM zona 17S.

10. Optimizar: Se optimizó con los puntos de control y se dejó por defecto todos los parámetros el menú desplegable.

Se efectuó repetición de los pasos 5) y 6) para volver a generar la nube de puntos densa y malla

11. Crear el orto mosaico: Se especificó el sistema de coordenadas respectivo WGS84/UTM zona 17S. y exportó en formato tif, jpg, png.

### 3.3.5.3. Proceso con el Software PIX4D Mapper.

Se efectuó el proceso de generación de las ortofotos de los vuelos realizados con los dos tipos de drone y software PIX4D Mapper.

1) Se generó el nuevo proyecto, en el menú desplegable se estableció el nombre del nuevo proyecto.

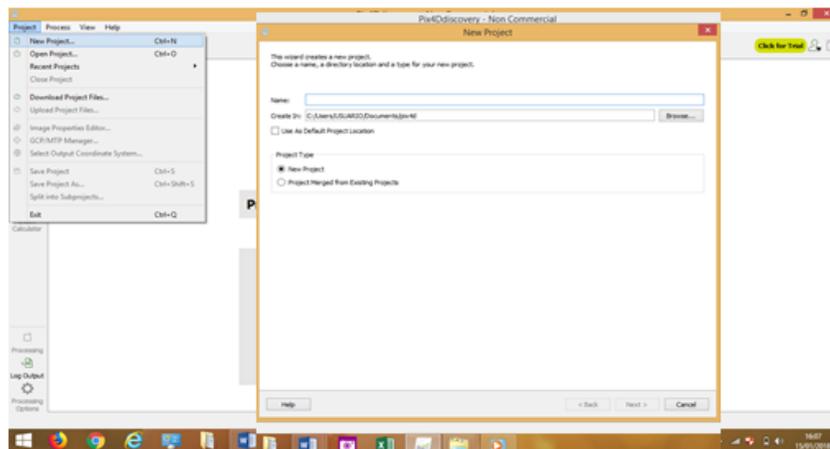
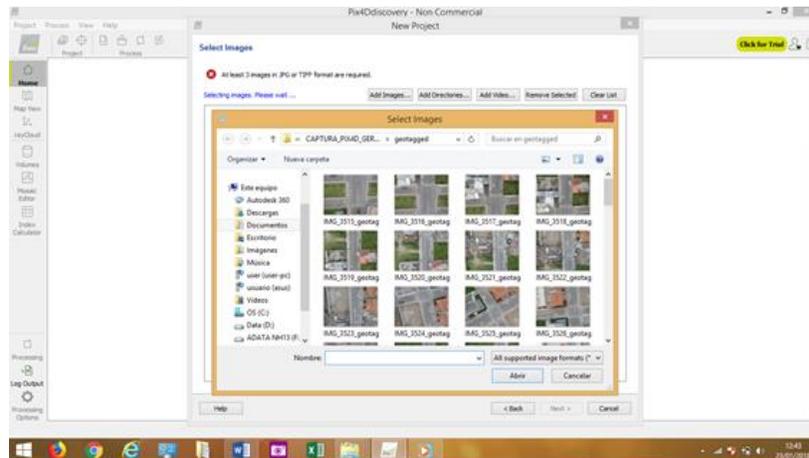


Figura 16: Nuevo proyecto

2) Se cargó las imágenes respectivas del vuelo.



**Figura 17:** Cargar imágenes

- 3) Se seleccionó las coordenadas del sistema, WGS84/UTM zona 17S conjuntamente con las unidades de medida.
- 4) Se procesó las fotos, para encausar y añadir los puntos de control. Se dejó en el primer paso, las otras opciones se dejó en pausa. En este paso, se creó la nube de puntos densa y se generó un reporte inicial de la misma.
- 5) Se importó los puntos de control, desde el menú en el icono gestor GCP, se migró los puntos de control. Por defecto, no apareció el sistema de coordenadas elegido anteriormente. Importamos los puntos desde el archivo puntos de control que están en formato txt.
- 6) Se creó y marcó los puntos de control, en los Layers del menú desplegable Ray Cloud, no se ubicó en la pestaña de Layers en el punto 1 y apareció las fotos en la derecha de la pantalla, donde se ubicó el punto y se ajustó manualmente, esto procedimiento se realizó con los tres puntos.

- 7) Se re optimizó todo el modelo usando los puntos de control, desde la barra de menú en el icono re optimizar. Es importante mencionar que al finalizar la este proceso se generó un reporte de los procesos en formato pdf.
- 8) Finalmente se efectuó los dos procesos restantes que y se obtuvo la ortofotografía correspondiente.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Realizada la preparación preliminar, los vuelos y sus respectivos procesos de la generación de la ortofotografía se efectuó las comparaciones y análisis de cada uno de los métodos que se utilizaron en la presente investigación.

#### **4.2. Fase 1: Comparación de la precisión y el costo operativo de dos tipos de drones para generar la ortofotografía.**

##### ***4.2.1. Análisis de la precisión de los drones para generar la ortofotografía.***

El objetivo principal de este estudio es la generación de las ortofotografías utilizando el software Agisoft Photoscan y PIX4D Mapper, para su comparación en cada uno de los vuelos y a las alturas establecidas. A continuación hacemos una comparación de los parámetros de calidad de la ortofotografía en cada uno de los vuelos a las diferentes alturas y con los dos tipos de dron.

Los software anteriormente mencionados arrojan informes de calidad al final de cada proceso, basándome en los reportes se analiza la calidad de las ortofotos.

##### ***4.2.1.1. Análisis PIX4D Mapper.***

De acuerdo a la Tabla 5 y tomando en cuenta los parámetros más principales de la misma se concluye que:

El GSD (Distancia de Muestreo en la Tierra), es la distancia entre dos píxeles sobre el suelo, si va aumentando la altura del sensor la proyección se vuelve más grande entonces cada píxel cubre más terreno por lo tanto tendrá menos píxeles para cubrir más terreno y la imagen será de menor definición. Se concluye de acuerdo a la tabla 5 que el dron LAS-LISX8 tiene una ventaja

en la resolución respecto al dron DJI PHANTON 3, hay que tomar en cuenta también que el sensor del dron LAS-LISX8 tiene una mejor cámara.

En cuanto al DSM (Modelo Digital de Superficie), representa la superficie de la tierra donde se incluyen todos los objetos de la misma. Se concluye de acuerdo a la Tabla 5 como en el caso anterior que el dron LAS-LISX8 tiene una ventaja en la calidad de la fotografía.

**Tabla 5:** *Análisis de calidad de la ortofotografía según PIX4D MAPPER*

<b>PIX4D MAPPER</b>						
<b>DRONE DJI PHANTOM NOMBRE DEL PROYECTO</b>	<b>FECHA Y HORA</b>	<b>GSD cm/pixe</b>	<b>ARE A km2</b>	<b>fotos Nro.</b>	<b>GEOREFERENCI A media RMS=error</b>	<b>DSM cm/pixe</b>
VUELO 30 MTS	1/12/2017-01:03:11	1,4	0,021	203	-----	1,4
VUELO 40 MTS	2017-11/30-02:46:35	1,83	0,025	124	-----	1,84
VUELO 50 MTS	2017-11/29-11:24:58	2,25	0,028	85	0,046 m	2,25
<b>DRONE LAS-LISX8 NOMBRE DEL PROYECTO</b>	<b>FECHA Y HORA</b>	<b>GSD cm/pixe</b>	<b>ARE A km2</b>	<b>fotos Nro.</b>	<b>GEOREFERENCI A media RMS=error</b>	<b>DSM cm/pixe</b>
VUELO_03_30_METROS	2017-11-17-19:25:12	0,95	0,012	65	0,024 m	0,95
VUELO_02_40_METROS	2017-11/15-23:05:57	1,18	0,015	69	0,008 m	1,19
VUELO_01_50_METROS	2017-11/15-21:31:10	1,51	0,015	44	0,009 m	1,51

#### **4.2.1.2. Análisis Agisoft Photoscan.**

De acuerdo a la tabla 6 se concluye que el GSD (Distancia de Muestreo en la Tierra), es la distancia entre dos pixeles sobre el suelo, igual que en el caso anterior si aumenta la altura del sensor la proyección se vuelve más grande entonces cada pixel cubre más terreno por lo tanto tendrá menos pixeles para cubrir más terreno y la imagen será de menor definición. Se concluye de acuerdo a la tabla 6 que el dron LAS-LISX8 tiene una ventaja en la resolución respecto al

drone DJI PHANTON 3, hay que tomar en cuenta también que el sensor del drone LAS-LISX8 tiene una mejor cámara. Además no arroja el DSM (Modelo Digital de Superficie).

**Tabla 6:** *Análisis de calidad de la ortofotografía según AGISOFT.*

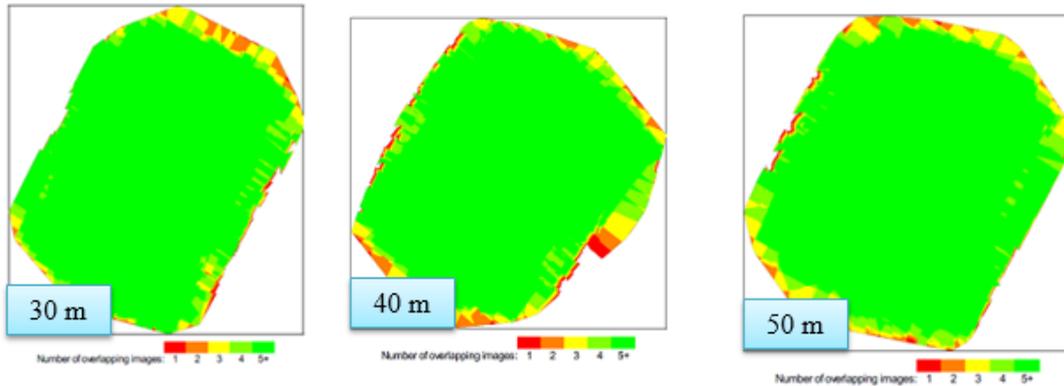
<b>AGISOFT</b>						
<b>DRONE DJI PHANTOM</b>	<b>FECHA Y HORA</b>	<b>GSD</b>	<b>ARE A</b>	<b>foto s</b>	<b>GEOREFERENCI A</b>	<b>DSM</b>
NOMBRE DEL PROYECTO		cm/pixe	km2	Nro.	media RMS=error	cm/pixe
VUELO 30 MTS	20/06/2018	1,38	7	203	-----	-----
VUELO 40 MTS	20/01/2018	1,81	3	124	-----	-----
VUELO 50 MTS	20/01/2018	2,21	3	85	-----	-----
<b>DRONE LAS-LISX8</b>	<b>FECHA Y HORA</b>	<b>GSD</b>	<b>ARE A</b>	<b>foto s</b>	<b>GEOREFERENCI A</b>	<b>DSM</b>
NOMBRE DEL PROYECTO		cm/pixe	km2	Nro.	media RMS=error	cm/pixe
VUELO_03_30_METROS	03/06/2018	1,14	9	65	-----	-----
VUELO_02_40_METROS	03/02/2018	1,16	1	69	-----	-----
VUELO_01_50_METROS	23/01/2018	1,47	6	44	-----	-----

#### **4.2.1.3. Análisis de Overlap (Solapamiento entre imágenes consecutivas).**

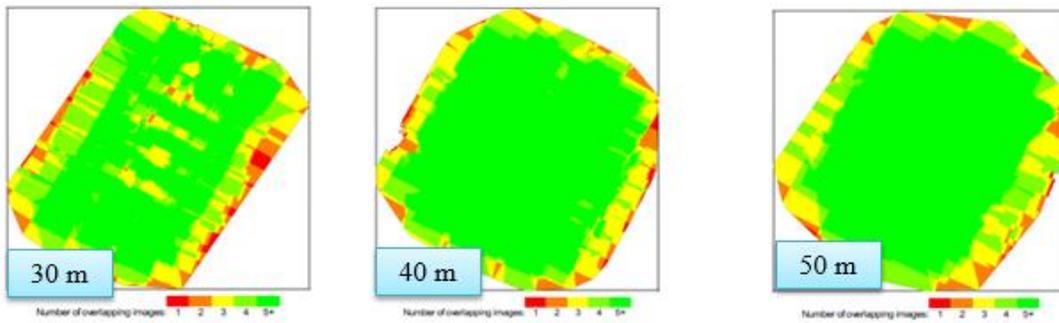
De acuerdo al informe emitido por el software Pix4D se concluye que la sobreposición de fotografías procesadas en el orto mosaico se dan por colores y se visualiza que: el color rojo y amarillo indican poca sobreposición de la fotografías; el verde indica que de cinco o más fotografías, siendo éste el valor idóneo.

Como se visualiza en las figuras 17 y 18 la sobreposición de imágenes de los vuelos del drone DJI Phantom 3 son mejores vs el drone LAS-LISX8, por cuanto el área de cobertura es mayor de acuerdo a diferentes alturas, en éste caso altura de 30, 40 y 50 metros.

En las figuras 18 y 19 se visualiza, que el vuelo de 30 metros tiene una diferencia de coloración verde en el centro del orto mosaico lo que indica que no hay una mayor calidad de Overlap en el drone LAS-LISX8.



**Figura 18:** Análisis de Overlap en ortofotos drone DJI Phantom 3



**Figura 19:** Análisis de Overlap drone las-lisx8

#### 4.2.2. Análisis del costo operativo de los drones utilizados para orto fotografía.

De acuerdo a las tablas 7 y 8 se concluye que el costo del drone DJI Phantom 3 es menor con respecto al drone LAS-LISX8.

Tabla 7: *Precios del drone DJI PHANTONM 3K PROFESIONAL*

DETALLE	NRO	PRECIO (\$)
Phantom 3 Pro V2.0	1	800
Baterías	2	350
Control remoto	1	100
Tarjeta de memoria	1	45
Cargador	1	55
Cable USB		25
Tornillos, hélices	global	30
Mochila	1	175
TABLET	1	500
	<b>SUBTOTAL</b>	2080
	<b>IVA</b>	249.60
	<b>TOTAL</b>	2329.60

Tabla 8: *Precios del drone LAS-LISX8.*

DETALLE	NRO	PRECIO (\$)
Copter X8-XL	1	7000
Baterías	1	100
Control remoto telemetría integrada	1	418
Radio de telemetría	1	105
Paquete básico de repuestos (2 hélices, 2 brazos, materia de reparaciones)	global	1000
Cámara RGB de 24MP	1	1096
	<b>SUBTOTAL</b>	9719.00
	<b>IVA</b>	1166.28
	<b>TOTAL</b>	10885.28

**Tabla 9:** Precios del equipo de computación

<b>DETALLE</b>	<b>NRO</b>	<b>PRECIO (\$)</b>
Computador CPU Intel core i7 HD de 2 teras	1	1400
Monitor de 17"	1	120
Impresora	1	120
	<b>SUBTOTAL</b>	1640.00
	<b>IVA</b>	196.80
	<b>TOTAL</b>	1836.80

Analizadas las especificaciones de cada dron de la Tabla 1, se observó que su tamaño, peso de batería, número de motores el dron DJI Phantom 3 4k Profesional tiene la ventaja de ser transportado con mayor comodidad. En cuanto a las baterías se determinó que la de alta capacidad tiene mayor autonomía de vuelo, pero su peso hace que los motores se esfuerzen más.

Analizada la autonomía de vuelo de cada uno de los drones, el DJI tiene de 23 minutos y el LAS-LISX8 18 minutos, lógicamente es por el peso de la batería de este y por el número de motores, entonces hay mayor consumo de energía. En cuanto al factor externo viento y sus ráfagas, el LAS-LISX8, tiene una mejor estabilidad y una mejor respuesta ante los mismos que el DJI que es de 40 km/h vs. 70 km/h.

Otra especificación importante a tomar en cuenta es el rango de comunicación que tiene el dron con el control remoto el DJI ya que tiene un mejor rango de comunicación, lo que hace que el área a cubrir de vuelo relativamente sea mayor respecto al otro dron. Efectuado un balance de las especificaciones se nota que el DJI Phantom 3, se inclinó más a una mejor versatilidad de equipo respecto al otro dron.

#### **4.3. Fase 2: Evaluación de la ortofotografía de la zona elegida en estudio con el catastro actual de la ciudad de Otavalo.**

Se realizó una sobreposición de la ortofotografía obtenida en la presente investigación sobre la ortofotografía del catastro del GAD municipal de Otavalo, concluyendo que coinciden las mismas lo que da como resultado que las ortofotografías generadas con drones son de gran confiabilidad.

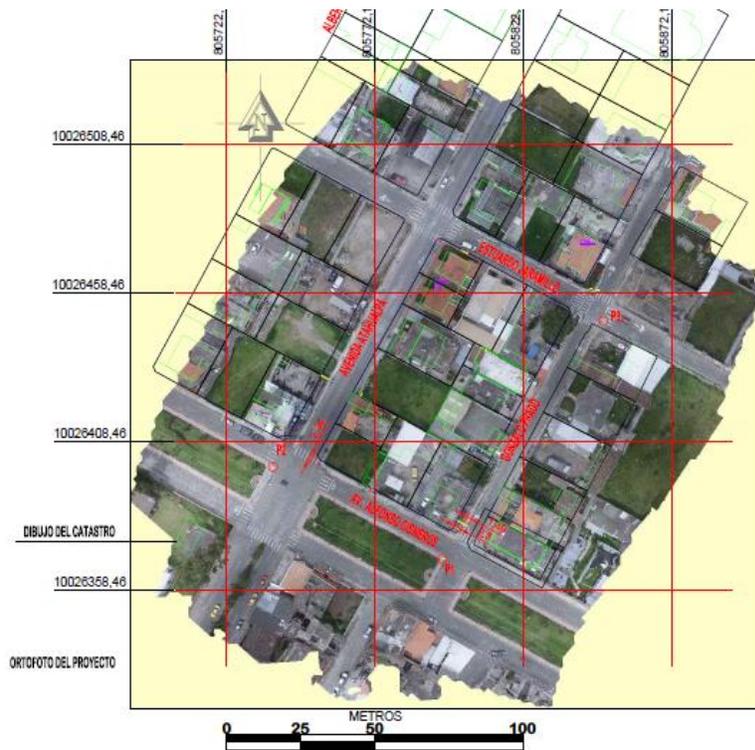
Se observó también que la ortofotografía del catastro tiene un desplazamiento hacia la izquierda en la longitud (este - oeste) de 2.50 m. respecto a la ortofotografía del GAD municipal de Otavalo, en la latitud (norte-sur), los desplazamientos son mínimos e imperceptibles. La dirección de Avalúos y Catastros del GAD municipal de Otavalo, de acuerdo a un memorando emitido el 15 de octubre del 2018 Ver Anexo 4, que textualmente dice: Revisada la base cartográfica de la Municipalidad menciona que se ha venido trabajando en dos sistemas de coordenadas WGS84-17 SUR y PASAD 56. En la actualidad toda la base de datos que se encontró en PASAD 56 se emigró al otro sistema por lo que existe un desfase en la desviación poligonal del Catastro, ya que son dos geoides diferentes, por esta razón hay un mínimo desplazamiento. (Ver figuras 19 y 20)



**Figura 20:** Montaje en Longitud



**Figura 21:** Montaje en Latitud



**Figura 22:** Ortofoto final considerando medidas en sitio.

**4.4. Fase 3: Realización de la cartografía catastral con el software AutoCAD Civil 3D, métodos adecuados a partir de la ortofotografía y su análisis económico.**

Se utilizó dos software, Agisoft Photo Scan y PIX 4D Mapper, para procesar fotografías y construir la ortofotografía georeferenciadas, las alturas fueron de 30 m 40 m y 50 m y además utilizaron puntos de control. Los productos resultantes son la creación de la nube de puntos densa (DSM), la creación de la malla, procesos que son necesarios para poder marcar los puntos de control y las ortofotografías respectivas de cada vuelo, para luego ser comparadas.

En resumen para los dos software se realizó los procesos para obtener los productos, paso a paso indicados en la tabla Nro.10.

**Tabla 10:** *Procesamiento de software.*

PROCESO	AGISOFT	PIX4D MAPPER
Crear el proyecto	X	x
Habilitar las tarjeta de video	X	
Cargar las fotos	X	x
Calibración de cámaras	X	
Orienta fotos	X	
Crear nube de puntos densa	X	x
Crear malla	X	x
Crear y marcar puntos de control	X	x
Renombrar puntos	X	
Importar puntos	X	x
Calibrar el mosaico con los puntos de control	X	x
Definir el sistema de coordenadas	X	x
Optimizar	X	x
Crear orto mosaico	X	x
Crear la Orto foto.	X	x

Como se observa en el cuadro 10 hay una similitud en los procesos, tomando en cuenta que los casilleros que están vacíos en el software de PIX4D, los hace por defecto, por lo que el tiempo en el proceso total disminuye.

Es importante destacar que además el software PIX4D, genera automáticamente un informe en pdf indicando todas las acciones que se han ejecutado durante el proceso, mientras que el software Agisoft Photo Scan genera el reporte o informe manualmente. Lo mismo sucede con la ortofotografía mientras que PIX4D genera automáticamente, en Agisoft Photo Scan se lo debe hacer manualmente.

Con base en el análisis realizado, el software PIX4D Mapper funciona mucho mejor que el Agisoft Photo Scan, por que el tiempo de procesos para generar la ortofotografía es menor. Además, realiza un reporte en tiempo real al momento de los procesos, lo que nos permite visualizar si está cumpliendo con los parámetros establecidos con el vuelo, mientras que el Agisoft Photoscan no lo permite y el tiempo de duración del proceso es mayor.

#### ***4.4.3. Digitalización del catastro con mediciones tomadas a cinta en sitio.***

Se tomó mediciones a cinta en los frentes de todos los predios de la manzana objeto de estudio y se digitalizó en AutoCAD Civil 3D 2017, software de gran versatilidad que permite el ingreso de nube de puntos, de SHP (Shefile), insertar ortofotografías en formato jpg, tif, entre otros. Se digitalizó los perfiles de los predios y se determinó que los errores son mínimos en el orden menor a los 2 cm., respecto al catastro actual que tiene el GAD municipal de Otavalo.



**Figura 23:** Digitalización con medidas a cinta en el sitio

#### ***4.4.4. Análisis económico, software utilizado en la creación de la ortofotografía.***

De acuerdo a la tabla 11, se visualiza que el software PIX4D es el de mayor precio con respecto al Agisoft Photoscan pero tiene una ventaja que se puede comprar licencias menores para un mes y un año. Además, se puede visualizar que el Agisoft Photoscan Professional tiene un precio menor respecto al PIX4D pero el tiempo de proceso es mayor.

**Tabla 11:** Precios, software utilizados en la creación de la ortofotografía.

<b>PROGRAMA</b>	<b>PLATAFORMA</b>	<b>LICENCIA</b>
		\$ 296 /mes
<b>PIX4D</b>	Windows, OSX (Beta), Online	\$2960 /año
		\$7398 perpetua
<b>AGISOFT PHOTOSCAN</b>	Linux, OSX, Windows	\$179 Standard
		\$3499 Professional
<b>AUTOCAD CIVIL 3D</b>	Windows, OSX (Beta)	\$ 2669.03 (12 meses)

**Fuente:** Martorell, (2018)

#### **4.5. Fase 4: Determinación de las ventajas y desventajas, del uso de la ortofotografía utilizando Drones, comparando con la ortofotografía del IGM.**

- La ortofotografía realizada con los drones tiene la ventaja de adquirir información en tiempos cortos de vuelo, para generar la misma, respecto a la ortofoto del IGM; además la exactitud es totalmente confiable conforme al primer borrador de las especificaciones técnicas emitidas por el IGM y que con los resultados obtenidos están dentro los rangos sugeridos por el mismo. Ver Anexo 5. La resolución de la fotos es mucho mejor porque los vuelos se hacen a menor altura lo que permite identificar de una mejor forma los objetos y con menores errores de apreciación.
- Se utilizó software especializados y también de usos libre, equipos de computación, cuyos precios no son elevados y que están al alcance económico de cualquier GAD Municipal.
- Son equipos de fácil transporte, fácil manejo de estos y no necesitan mucho espacio para su operatividad.

- Una desventaja sería que las áreas para tomar las fotografías con los drones son menores, respecto al área que cubren los vuelos tripulados que son de varios kilómetros cuadrados. Sin embargo el avance en las nuevas tecnologías en cuanto a drones va evolucionando, encontrándose con equipos más sofisticados que tienen mayor autonomía de vuelo y por ende cubren mayores áreas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- El estudio concluyó que al comparar la ortofotografía del catastro urbano de la ciudad de Otavalo con la generada por los drones determinándose una mejor calidad en la ortofotografía de drones. Es importante anotar también que el uso del GPS diferencial con la toma de los puntos de control no se debe pasar por alto ya que es lo que va a marcar el resultado final en la calidad de la ortofotografía.
- Al comparar el catastro actual con el catastro realizado utilizando las ortofotos generadas con los drones se observó un desplazamiento hacia la izquierda en la longitud (este - oeste) de 2.50 m respecto al catastro del GAD municipal de Otavalo, en la latitud (norte-sur), los desplazamientos son mínimos e imperceptibles. La dirección de Avalúos y Catastros del GAD municipal de Otavalo, de acuerdo a un memorando emitido el 15 de octubre del 2018 textualmente dice: Revisada la base cartográfica de la Municipalidad menciona que se ha venido trabajando en dos sistemas de coordenadas WGS84-17 SUR y PASAD 56. En la actualidad toda la base de datos que se encontró en PASAD 56 se emigró al otro sistema por lo que existe un desfase en la desviación poligonal del Catastro, ya que son dos geoides diferentes, por esta razón hay un mínimo desplazamiento.
- Se concluyó que el software más adecuado para el proceso de generar la ortofotografía es el PIX4D, mismo que ofrece una mejor versatilidad en los procesos y en la calidad de las imágenes. El precio en el mercado de PIX4D es mucho más caro que el otro software que

se utilizó que es el AGISOFT PHOTO SCAN. Sin embargo PIX4D se puede alquilar por tiempos de un mes a un año, dependiendo del proyecto o trabajo a realizar.

- En cuanto al control de calidad de los productos finales se demostró que mayor eficiencia tiene el drone LAS-LISX8. De acuerdo a los resultados obtenidos en los procesos para la generación de las ortografía, en los vuelos a las alturas de 30, 40 y 50 m, y utilizando los mismos software para los dos casos, se observó que para la altura de 50 m da mejores resultados, por lo tanto esta altura quedaría como base para futuros estudios en este tipo de investigaciones por lo tanto, se estaría acorde con las recomendaciones del IGM para los vuelos realizados con drones, que sugiere realizar de 100 a 120 m, con lo cual mejora la calidad y exactitud de la ortofotografía
- Se concluye que la altura de 50 m. quedaría como base para futuras investigaciones de generación de ortofotos para este tipo de estudios.
- Se comparó las ortofotos de la investigación con la ortofoto del catastro municipal sobreponiéndoles sobre ésta y se observó que coinciden, el resultado determinó, que la precisión es confiable con los drones. Los errores son mínimos y cumplen con la norma establecida por el IGM que son de 17 cm por pixel para la escala 1:1000 y 53 cm para la escala 1:5000. Los valores para el presente estudio, son menores a 7 cm, por lo tanto se puede tomar la escala 1:500 para mejorar los detalles de los objetos.
- El costo operativo entre los dos drones utilizados varía, realizado el estudio de mercado con los proveedores se obtuvo que el drone DJI PHANTOM 3 tiene un precio de 2000 USD frente al drone LAS-LISX8 de 10000 USD. Comprobándose que los costos operativos una vez que se inició la inversión inicial de la compra del drone varían en los

dos casos, para los gastos operativos de mantenimiento y cambio de accesorios, mientras funciona.

- Las áreas para tomar las fotografías con los drones son menores, respecto al área que cubren los vuelos tripulados que son de varios kilómetros cuadrados. Sin embargo, el avance en las nuevas tecnologías en cuanto a drones va evolucionado, encontrándose con equipos más sofisticados que tienen mayor autonomía de vuelo y por ende cubren mayores áreas.

## **5.2. Recomendaciones**

- En calidad de ortofotografía, las diferencias son mínimas entre los drones objeto de estudio, se recomienda el uso del drone DJI PHANTON 3 principalmente por los costos operativos respecto al drone LAS-LISX8.
- El uso de drones en los catastros municipales rurales permitirá el ordenamiento y racionalización del suelo rural y evitar su acelerada urbanización y mal uso de suelo. Además contribuirá al control de fronteras agrícolas, protección de cuencas hídricas y páramos. Se recomienda al GAD Municipal de Otavalo, contar con un área para la aplicación de tecnología de drones, ya que estos servirán para múltiples propósitos como control de obras, vigilancia de construcciones clandestinas, asentamientos irregulares, entre otros. Esta investigación y de acuerdo a las bondades brindadas por la tecnología servirá como un plan piloto para el resto de GADs municipales del país.
- El uso de tecnologías de drones permitirá a los GADs municipales, disponer de información técnica, eficiente e integral. Tener acceso por parte de la ciudadanía a

información actualizada, brindar servicios municipales generales de calidad, como también la disminución de costos operativos.

- Se recomienda efectuar vuelos no a alturas mayores a los 120 m, por cuanto el viento influye en la estabilidad de los drones, por lo tanto la calidad de las fotografías será menor.
- Para el levantamiento planimétrico y topográfico con drone se recomienda usar la nueva versión de drone DJI Phantom RTK, el cual tiene en su tecnología incluido un GPS diferencial, que realiza la corrección en georeferenciación en tiempo real, eliminando el proceso de toma de datos en tierra con puntos de control.

## BIBLIOGRAFÍA

- Addati, G., & Pérez, G. (2014). Introducción a los UAV's, Drones o VANTs de uso civil (No. 551). Serie Documentos de Trabajo. Buenos Aires: Universidad del CEMA.
- Arévalo, Bartra, Reynaldo. (2012). Métodos de observación GPS.
- Bongiovanni, R., Roel, Á, Best, S., & Mantovani, E. (2006). Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Montevideo: PROCISUR/IICA.
- Carretero, Segarra, Soledad. (2015). Modelos digitales del terreno mediante la fotogrametría aérea realizada con un vehículo aéreo no tripulado. (Tesis de posgrado). Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Coello, A., & Ballesteros, G. (2015). Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con topografía clásica. Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con Topografía clásica. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Chaparro, Marco. (2014). Generación de un SIG aplicado al catastro para un sector de la ciudad de Viale-Entre Ríos. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Litoral.
- Ecuador, R. (2010). Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía de Descentralización, COOTAD, Quito: Asamblea Nacional.
- Guillen, Miguel. (2018). Tipos de drones aéreos. Fowered by Zima Robotics.
- Hilario, Q. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional. Ingeniero Topógrafo y Agrimensor, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Izquierdo, Rómulo. (2016). Fotografía aérea de bajo costo y sus posibles aplicaciones en al Geomática. (Tesis de posgrado). Universidad de Azuay. Cuenca.

- López de Paz, Donato. (2012). Diseño de un programa de ortorectificación y georeferenciación de imágenes aéreas aplicadas a campos de caña de azúcar. (Tesis de pregrado). Pontificia universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Mahesh, R. C. (2014). Detailed evaluation of DEM interpolation methods in GIS using DGPS data. En R.C. Mahesh, Detailed evaluation of DEM interpolation methods in GIS using DGPS data (pág. 6), Bhopal, India.
- Martorell, Alejandro. (2018). Comparativas de programas para la fotogrametría. Obtenido de: <https://geoinnova.org/blog-territorio/comparativa-de-programas-para-fotogrametria/>
- Molina, M. G. A. (2006). Cartografía catastral en España. Estudios geográficos, 67 (260), 7-34
- Núñez, Calleja, Paula. (2016). Comparativa de software para la realización de ortofotos a partir de imagen obtenidas por drones. (Tesis de posgrado). Universidad de Oviedo. Mieres, España.
- Ochoa, G. A., & Delgado, G. J. (2013). La fotogrametría digital mediante dron como alternativa en el registro topográfico y 3D de sitios arqueológicos.
- Ogeda, José. (2014). Los sistemas de información geográfica como herramienta más adecuada para el desarrollo de proyecto de Catastro y la aplicabilidad de un catastro en tres dimensiones, en un área piloto del Distrito Metropolitano de Quito. (Tesis de Licenciatura). San Francisco de Quito.
- Olea, J., & Sánchez, A. (2014). Diseño y construcción de una aeronave de ala rotativa para operaciones de seguridad fronteriza y respuesta a emergencias. Ingeniero en Aeronáutica. México: Instituto Politécnico Nacional. & Viegas, D.X. (2007). Sistema Basado en el Empleo de Vehículos Aéreos no Tripulados para la lucha contra incendios forestales.
- Ollero, A., Martínez-de Dios, Merino, L., Caballero, F.

- Olaya, Victor. (2014). Sistemas de información geográfica, (8), 15.
- Ortega, D., García, J., Raquel, V., Sergio, S., Aníbal, H., & David, R. (2016). Piloto de dron (RPAS). Madrid: Paraninfo, SA.
- Ossa, J. A.G., & Estrada, G.A.U. (2011). Los sistemas de información geográfica y los planes de ordenamiento territorial en Colombia. *Perspectiva Geográfica: Revista del Programa de estudio de posgrado en geografía*, (16), 247-266.
- Quispe, Omar. (2015). Análisis de GSD para la generación de cartografía utilizando la tecnología dron, huaca de la universidad Nacional Mayor de San Marcos. *Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO)*, Vol, 18, Nro. 36, pp. 21-26.
- Sánchez, Lopera, & Lerma García, J. L. (2012). Actualización de cartografía catastral urbana mediante LIDAR y 516. In *GeoFocus* (Vol. 12, pp. 53-76) Grupo de tecnologías de la información geográfica, Asociación de geógrafos españoles.
- Santamaría, P. (2001). Integración de ortofotografía digital en sistema de información geográfica: aplicación a la determinación de la superficie catastral rústica. Tesis doctoral. . Logroño: Universidad Pública de Navarra.
- Shoel, Ahmed, Q.S. (2014). Comparative Analysis of DGPS Predicted Corrections using Dynamic Neural Networks. En Q.S. Shoel Ahmed, *Comparative Analysis of DGPS Predicted Corrections using Dynamic Neural Netw* (pág. 5). Hyderabad, India.
- Serna, C., & Gómez, J. (2013). Oficina virtual de catastro.
- Valero, J. L. B., & Ribera, C. F. (2003). Gestión de la propiedad: Coordinación-registro de la propiedad y catastro: *Estudios geográficos*, 64(253), 579-604.
- Virgós, L., & García, F. (2015). *La Ortofotografía y la Cartografía catastral*. Ministerio de hacienda y obras públicas. España: Catastro 83.

Zarzosa, N., Andrés, & Núñez, A. (2014). Sistemas de información geográfica. Prácticas con Arc View. Catalunya: Univ. Politécnica de Catalunya.

Zurita, B. (2015). Metodología para la obtención de catastro físico mediante el uso de nueva tecnología fotogramétrica. Ingeniero Geógrafo y del medio ambiente. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

# ANEXOS

**Anexo 1:** Reporte de calidad de la ortofoto con software PIX4D, Para vuelo de 30 m. Realizado con dron DJI PHATOM 3.

## Quality Report

Generated with Pix4Dmapper Pro version 4.0.25

**!** Important: Click on the different icons for:

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

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

### Summary

Project	VJELO 30 MTS
Processed	2017-12-01 01:03:11
Camera Model Name(s)	FC300XW_3.6_4000x2250 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.4 cm / 0.55 in
Area Covered	0.0217 km <sup>2</sup> / 2.166 ha / 0.0084 sq. mi. / 5.355 acres

### Quality Check

<b>?</b> Images	median of 28110 keypoints per image	✔
<b>?</b> Dataset	203 out of 203 images calibrated (100%), all images enabled	✔
<b>?</b> Camera Optimization	1.53% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔
<b>?</b> Matching	median of 15025.3 matches per calibrated image	✔
<b>?</b> Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

### Preview

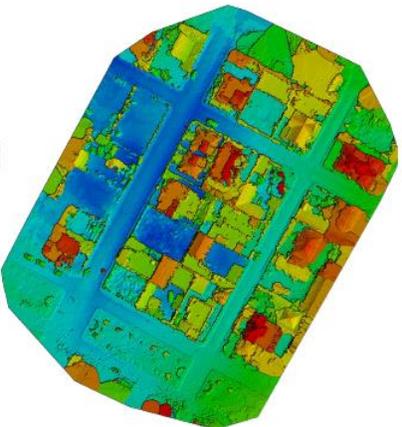


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.



Figure 2: 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 fix points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

📌 Relative camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.003	0.004	0.005	0.013	0.010	0.002
Sigma	0.001	0.001	0.002	0.007	0.005	0.000

## Geolocation Details

### Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/0.020	0.041	0.030	0.095	1.118	3 / 3
2 (3D)	0.020/0.020	-0.026	0.013	-0.132	0.404	2 / 2
3 (3D)	0.020/0.020	-0.003	-0.017	-0.020	3.597	4 / 4
<b>Mean [m]</b>		0.003716	0.008740	-0.019286		
<b>Sigma [m]</b>		0.027991	0.019536	0.092695		
<b>RMS Error [m]</b>		0.028236	0.021401	0.094690		

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

### Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	48.24	47.06	49.41
0.00	3.00	51.76	52.94	50.59
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
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
<b>Mean [m]</b>		-0.000002	0.895296	25.239856
<b>Sigma [m]</b>		0.348017	0.435431	0.589896
<b>RMS Error [m]</b>		0.348017	0.995567	25.246748

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]	-0.000002	0.895296	25.239856

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
<b>Mean of Geolocation Accuracy [m]</b>	5.000000	5.000000	10.000000
<b>Sigma of Geolocation Accuracy [m]</b>	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	3.308
Phi	1.157
Kappa	2.806

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

## Initial Processing Details

### System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7500U CPU @ 2.70GHz RAM: 8GB GPU: Intel(R) HD Graphics 620 (Driver: 22.20.16.4799)
Operating System	Windows 10 Home Single Language, 64-bit

### Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS84 (epsg:96)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS84 / UTM zone 17N (epsg:96)
Output Coordinate System	WGS84 / UTM zone 17N (epsg:96)

### Processing Options

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

## Point Cloud Densification details

### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
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	17m:57s
Time for 3D Textured Mesh Generation	04m:10s

### Results

Number of Generated Tiles	1
---------------------------	---

Number of 3D Densified Points	4664564
Average Density (per m <sup>2</sup> )	254.42

## DSM, Orthomosaic and Index Details i

### Processing Options i

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.25 [cm/px/ft])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	08m:12s
Time for Orthomosaic Generation	16m:16s

**Anexo 2:** Informe de procesamiento Agisoft PhotoScan para altura de 50 metros.

## Agisoft PhotoScan

Informe de procesamiento

23 enero 2018



## Datos del levantamiento

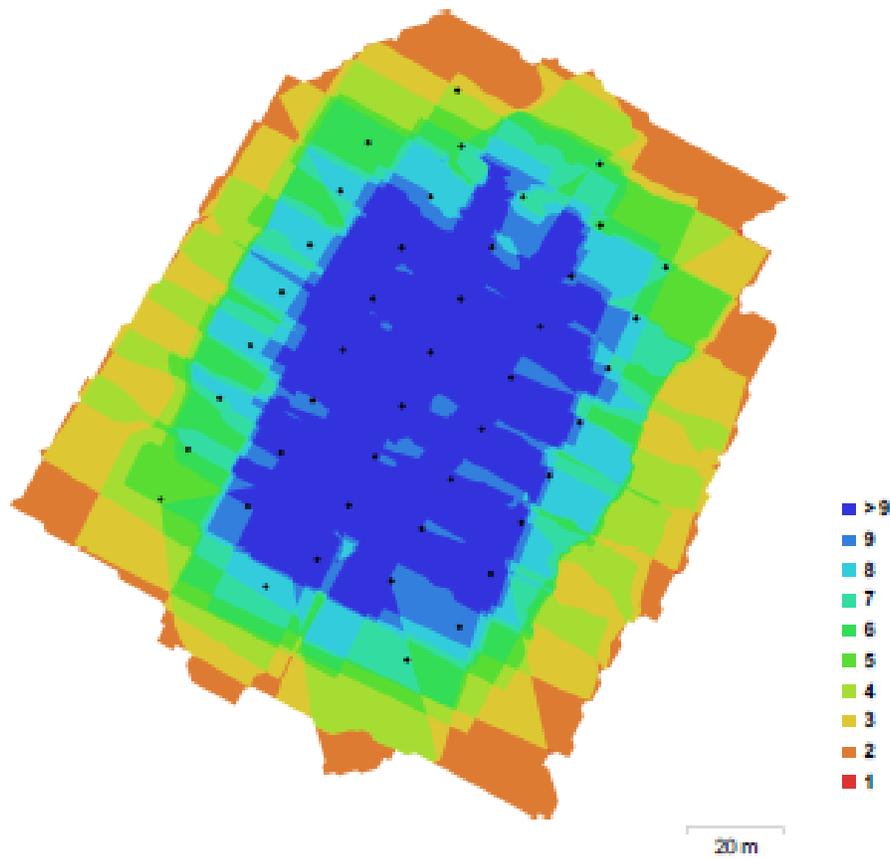


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	44	Posiciones de cámara:	44
Altitud media de vuelo:	48.1 m	Puntos de enlace:	9,142
Resolución en terreno:	1.47 cm/pix	Proyecciones:	39,076
Superficie cubierta:	0.0168 km <sup>2</sup>	Error de reproyección:	1.01 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
Canon PowerShot SX260 HS (4.5 mm)	4000 x 3000	4.5 mm	1.55 x 1.55 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

## Calibración de cámara

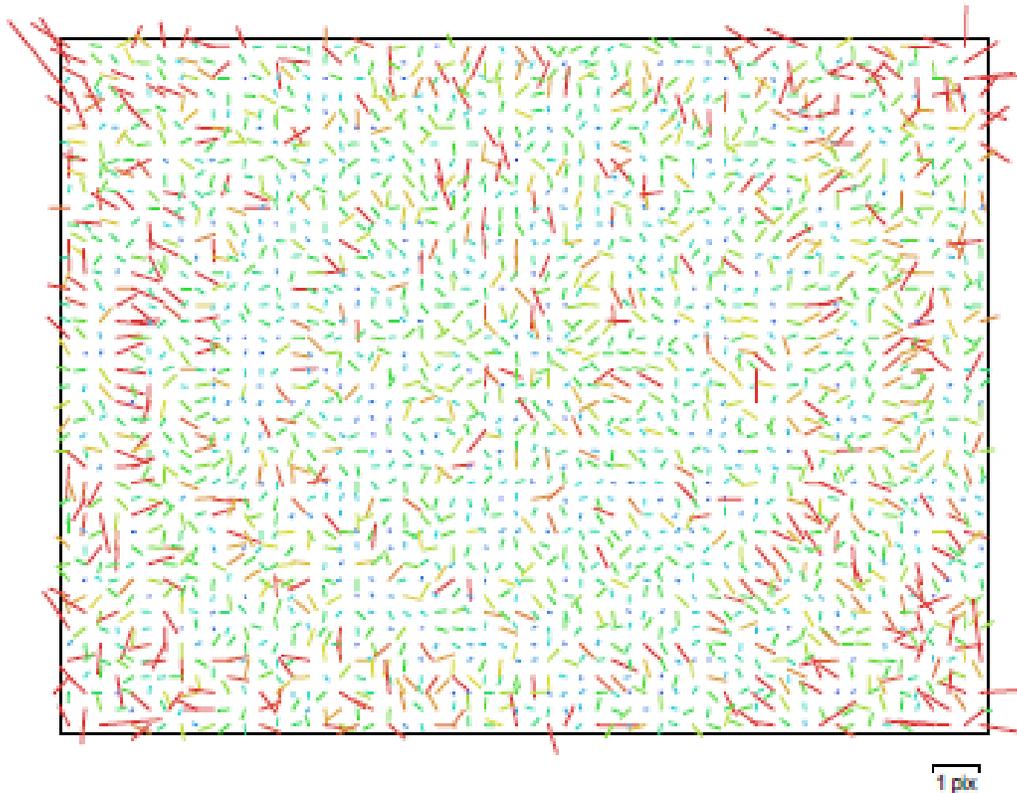


Fig. 2. Gráfico de residuales para Canon PowerShot SX260 HS (4.5 mm).

### Canon PowerShot SX260 HS (4.5 mm)

44 imágenes

Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
<b>4000 x 3000</b>	<b>4.5 mm</b>	<b>1.55 x 1.55 micras</b>	<b>No</b>
Tipo:	Cuadro	F:	2974.12
Cx:	-67.4512	B1:	1.17447
Cy:	49.7246	B2:	-1.49574
K1:	-0.028116	P1:	-0.00637524
K2:	0.0881999	P2:	0.00591889
K3:	-0.207084	P3:	-0.259512
K4:	0.163737	P4:	-0.133266

# Puntos de control terrestres



Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo.

Número	Error X (mm)	Error Y (mm)	Error Z (mm)	Error XY (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
3	1.34212	2.699	0.250055	3.01428	3.02463	0.162

Tabla 2. ECM de puntos de apoyo.

Nombre	Error X (mm)	Error Y (mm)	Error Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
1	0.508694	-3.67661	-0.0675119	3.71224	0.107 (8)
2	1.25983	2.7069	0.181446	2.99122	0.133 (5)
3	-1.88625	1.00453	0.387431	2.17189	0.283 (3)
<b>Total</b>	<b>1.34212</b>	<b>2.699</b>	<b>0.250055</b>	<b>3.02463</b>	<b>0.162</b>

Tabla 3. Puntos de apoyo.

## Modelo digital de elevaciones

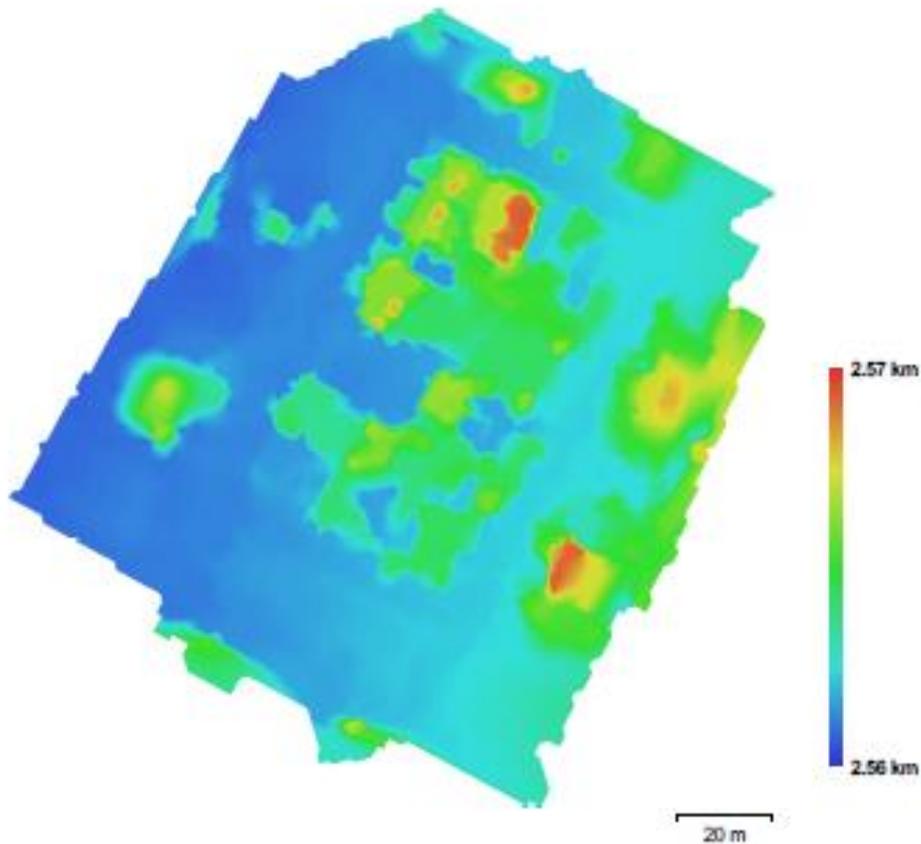


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 1.31 m/pix  
 Densidad de puntos: 0.585 puntos/m<sup>2</sup>

## Parámetros de procesamiento

<b>Generales</b>	
Cámaras	44
Cámaras orientadas	44
Marcadores	3
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTMzone 17N (EPSG:32617)
<b>Nube de puntos</b>	
Puntos	9,142 de 10,581
RMS error de reproyección	0.231 (1.01073 pix)
Error de reproyección máximo	1.65997 (34.0606 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	4.22861 pix
Superposición efectiva	4.33749
<b>Parámetros de orientación</b>	
Precisión	Alta
Pre-procesar emparejamiento de imágenes	Referencia
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	1,000
Restricción de máscara activa	No
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Si
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	5 minutos 57 segundos
Tiempo de orientación	5 segundos
<b>Parámetros de optimización</b>	
Parámetros	t, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4
Tiempo de optimización	0 segundos
<b>Nube de puntos densa</b>	
Puntos	23,011,294
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	
Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Agresivo
Tiempo de generación de mapas de profundidad	40 minutos 28 segundos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	5 minutos 44 segundos
<b>Modelo</b>	
Caras	18,610
Vértices	9,495
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	
Tipo de superficie	Bajorelievo / terreno
Datos fuente	Dispensa
Interpolación	Habilitada
Tipo de geometría	Nube de puntos
Número de caras	90,000
Duración del procesamiento	0 segundos
<b>Ortomosaico</b>	
Tamaño	11,089 x 11,511
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTMzone 17N (EPSG:32617)
Canales	3, uint8
Modo de mezcla	Mosaico
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	
Superficie	Malla
Permitir la corrección de color	No
Duración del procesamiento	1 minuto 19 segundos
<b>Software</b>	
Versión	1.2.7 build 3100
Plataforma	Windows 64 bit

Anexo 3: Informe de procesamiento, altura de 50 metros, software PIX4D\_PRO

## Quality Report AGI

Generated with Pix4Dmapper Pro version 4.0.21

**Important:** Click on the different icons for:

- ! Help to analyse the results in the Quality Report
- i Additional information about the sections

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

### Summary i

Project	UJELD_01_50_METROS
Processed	2017-11-15 21:31:10
Camera Model Name(s)	Canon/PowerShot/G60HS_4.5_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.51 cm / 0.59 in
Area Covered	0.0155 km <sup>2</sup> / 1.5474 ha / 0.006 sq. mi. / 3.8256 acres

### Quality Check i

<span style="color: orange;">!</span> Images	median of 25451 keypoints per image	✔
<span style="color: orange;">!</span> Dataset	44 out of 44 images calibrated (100%), all images enabled	✔
<span style="color: orange;">!</span> Camera Optimization	3.75% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔
<span style="color: orange;">!</span> Matching	median of 5762.27 matches per calibrated image	✔
<span style="color: orange;">!</span> Georeferencing	yes, 3 GCPs (3.30), mean RMS error = 0.009 m	✔

### Preview i

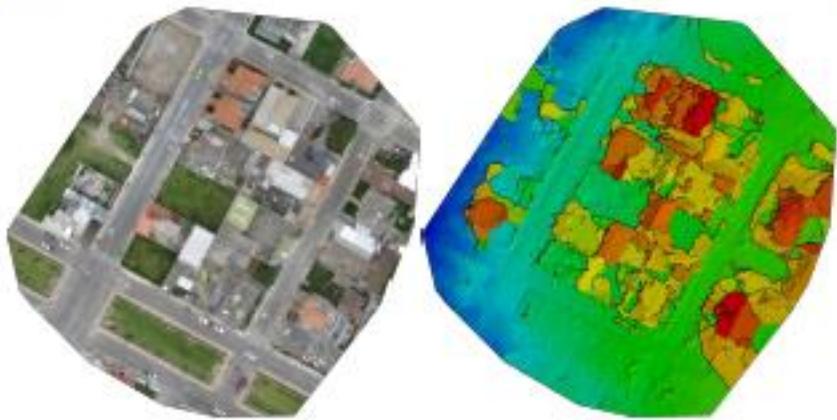


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

### Calibration Details i

Number of Calibrated Images	44 out of 44
Number of Geolocated Images	44 out of 44

Initial Image Positions

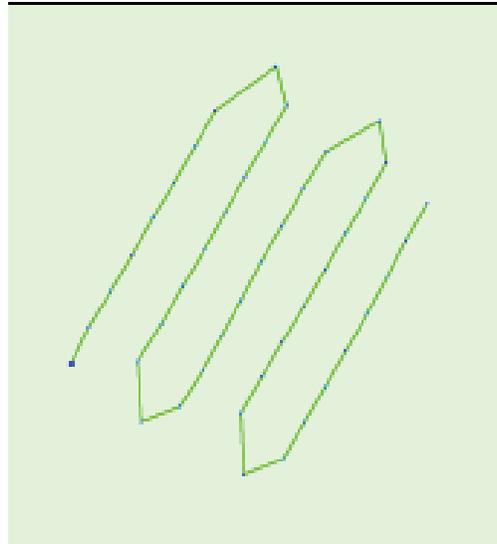
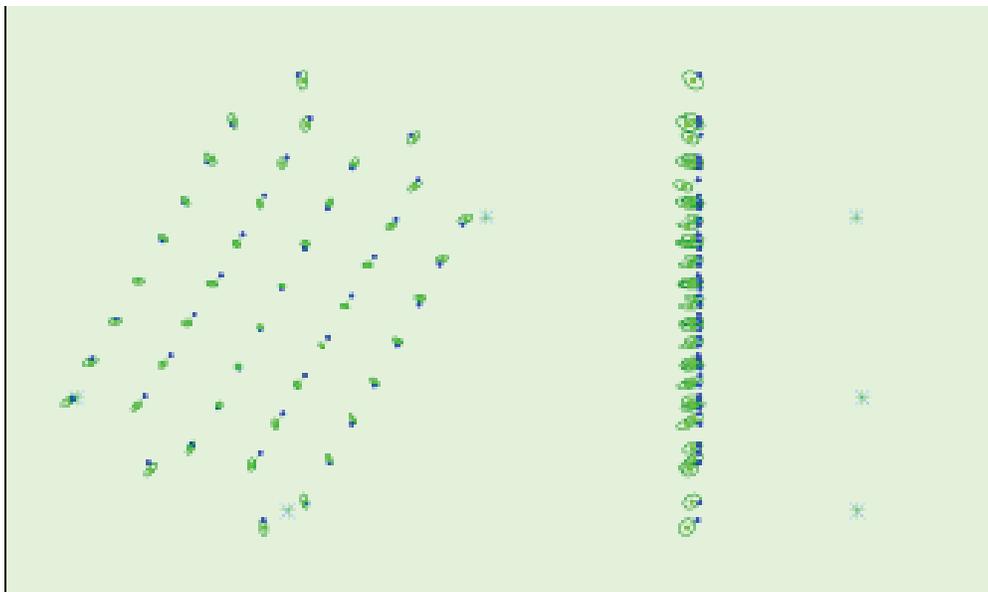
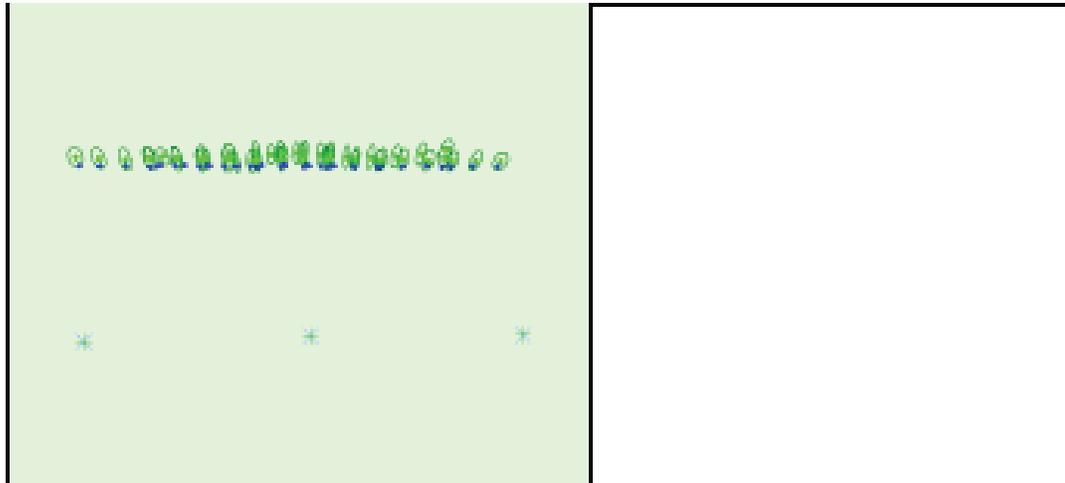


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/OCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 100x magnified

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

#### Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega (degree)	Phi (degree)	Kappa (degree)
Mean	0.013	0.013	0.027	0.015	0.015	0.003
Sigma	0.004	0.004	0.008	0.006	0.004	0.001

#### Overlap

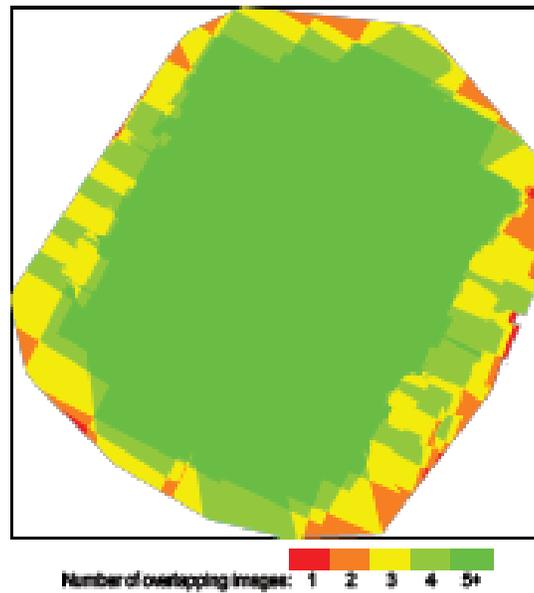


Figure 4: Number of overlapping images computed for each plot of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 4 images for every plot. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint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

## Bundle Block Adjustment Details

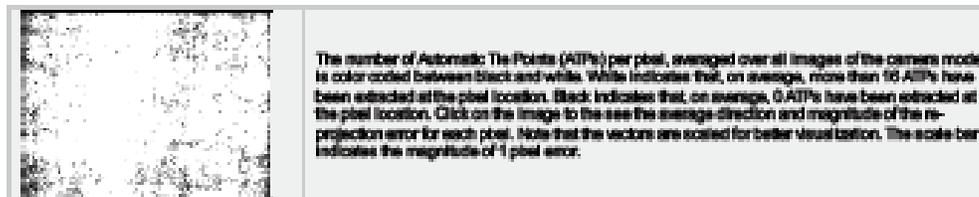
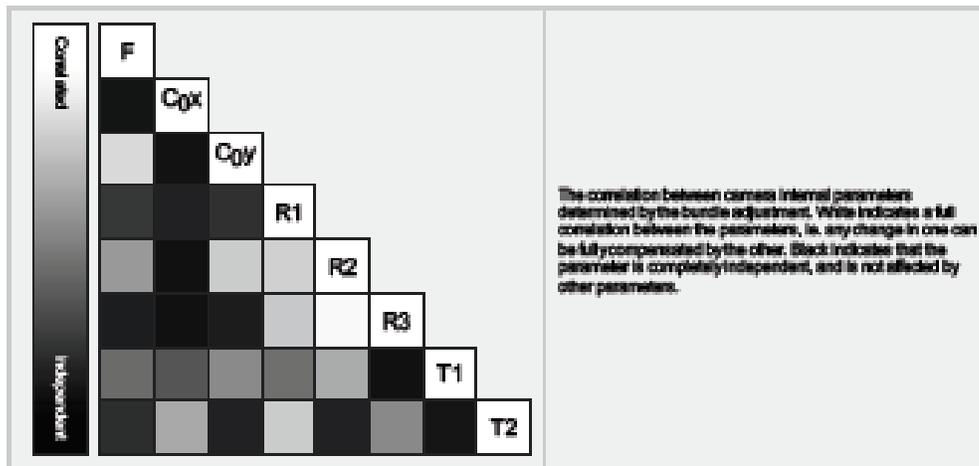
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	378637
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	145193
Mean Reprojection Error [pixels]	0.208

### Internal Camera Parameters

CanonPowerShotS200HS\_4.5\_4000x3000 (RGB), Sensor Dimensions: 8.198 [mm] x 4.648 [mm]

EDF ID: CanonPowerShotS200HS\_4.5\_4000x3000

	Focal Length	Principal Point.x	Principal Point.y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	2904.300 [pixel] 4.500 [mm]	2000.000 [pixel] 3.000 [mm]	1500.000 [pixel] 2.324 [mm]	-0.013	0.005	-0.002	0.005	-0.003
Optimized Values	3013.544 [pixel] 4.000 [mm]	1933.887 [pixel] 2.995 [mm]	1552.447 [pixel] 2.455 [mm]	-0.003	-0.008	0.040	0.005	-0.005
Uncertainties (Sigma)	1.445 [pixel] 0.002 [mm]	0.181 [pixel] 0.000 [mm]	0.251 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000



### 2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	25451	5762
Min	19932	2640
Max	378632	13662
Mean	25844	5605

### 3D Points from 2D Keypoint Matches

Number of 3D Points Observed
------------------------------

In 2 images	102361
In 3 images	23566
In 4 images	6665
In 5 images	3944
In 6 images	2328
In 7 images	1547
In 8 images	1033
In 9 images	615
In 10 images	403
In 11 images	250
In 12 images	110
In 13 images	38
In 14 images	24
In 15 images	7

### 2D Keypoint Matches

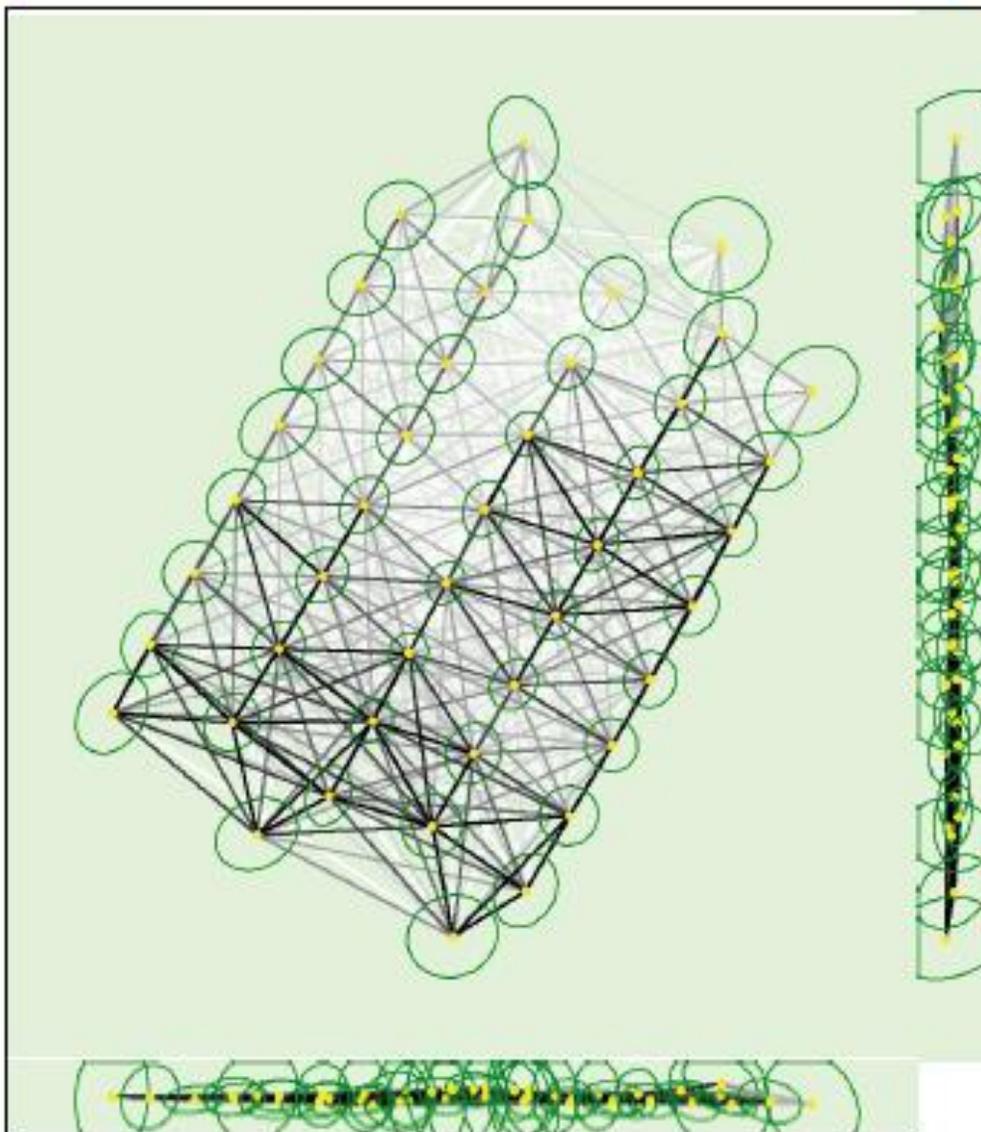




Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The thickness of the links indicates the number of matched 2D keypoint between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty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

### Relative camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Psi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.005	0.005	0.004	0.014	0.012	0.003
Sigma	0.001	0.001	0.002	0.007	0.006	0.001

## Geolocation Details

### Ground Control Points

GCP Name	Accuracy X/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/0.020	0.003	-0.006	-0.003	1.027	7/7
2 (3D)	0.020/0.020	0.001	0.009	0.022	0.065	2/2
3 (3D)	0.020/0.020	-0.018	0.002	0.029	1.066	3/3
Mean [m]		-0.003858	0.001900	0.015784		
Sigma [m]		0.006328	0.006078	0.013840		
RMS Error [m]		0.009178	0.006368	0.020882		

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

### Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	58.09	52.27	43.18
0.00	3.00	40.91	47.73	56.82
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
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]		0.457727	0.717198	-2.032975
Sigma [m]		1.017294	1.554040	0.880281
RMS Error [m]		1.115500	1.711551	2.137506

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]	0.457727	0.717198	-2.032975

## 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
Stdev 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.

## Initial Processing Details

### System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-4720HQ CPU @ 2.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) HD Graphics 4600 (Driver: 20.19.15.4631)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

### Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS84 (epsg:31466)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS84 / UTMzone 17N (epsg:31466)
Output Coordinate System	WGS84 / UTMzone 17N (epsg:31466)

### Processing Options

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

## Point Cloud Densification details

### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half Image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
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 Denormalization	07m:06s
Time for 3D Textured Mesh Generation	00m:07s

## Results



Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Denormalized Points	4232102
Average Density(per m <sup>2</sup> )	733.8

## DSM, Orthomosaic and Index Details



### Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.51 cm/px/ft)
DSM Filter	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (1.51 cm/px/ft)
Time for DSM Generation	04m:29s
Time for Orthomosaic Generation	07m:12s
Time for DTM Generation	00m:07s

## Anexo 4: Memorando Dirección de Avalúos y Catastros.



GOBIERNO AUTÓNOMO  
DESCENTRALIZADO  
MUNICIPAL DE OTAVALO

### OFICIO AYC-AL-80-2018

Otavaló 10 de octubre del 2018

SEÑOR ABOGADO  
GUSTAVO PAREJA CISNEROS  
ALCALDE DE GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE OTAVALO

De mi consideración.

Me refiero al documento recibido con fecha 9 de octubre del 2018 No UTN-FCAYA-CIAAC-2017-18-M, suscrito por el ingeniero Juan Pablo Aragón M.Sc - COORDINADOR DE CARRERA ( E ) DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES, en lo pertinente solicita : ".....conocer información respecto al avalúo y catastro de la ciudad.....".

Al respecto me permito adjuntar el memorando No 2015-259-DAYC-R del 15 de octubre del 2018 suscrito por la ingeniera Ivonne Chávez Guevara - Técnica de Avalúos y Catastros Rural, en donde realiza el alcance a la petición del Oficio No UTN-FCAYA-CIAAC-2017-187 - M de fecha - de noviembre del 2017 en donde indica: Revisada la base cartográfica de la municipalidad se ha venido trabajando en dos sistemas de coordenadas WGS-87-17S y PASAD S. En la actualidad toda la base de datos que se encontró en PASAD S6 se migro al otro sistema por lo que existe un desfase en la desviación poligonal del catastro ya que son dos geoides diferentes por esta razón existe un mínimo desplazamiento. Se adjunta información digital- ORTOFOTO.

Aplazamiento

  
INGENIERO DIEGO MIÑO  
DIRECTOR DE AVALÚOS Y CATASTROS ( E )

Méto  
TRABE 808

Dirección: García Moreno # 505 / Tel: 00 2 920 - 401 / 06 2 924 - 598  
Fax: 00 2 920 - 401  
OTAVALO - ECUADOR

  
ADM NISTRACIÓN  
2014 - 2019  
Nueva  
2018-10-15  
AS-23  
Córdova M.



GOBIERNO AUTÓNOMO  
DESCENTRALIZADO  
MUNICIPAL DE OTAVALO

## MEMORANDO

Otavalo, 15 de octubre del 2018  
2015 – 259 – DAYC – R

**PARA:** DIRECTOR DE AVALUOS Y CATASTROS  
**DE:** TÉCNICO DE AVALUOS Y CATASTROS  
**ASUNTO:** EN EL TEXTO

En alcance a la petición del Oficio N° UTN – FICAYA – CIAAC – 2017 – 187 – M de fecha 9 de noviembre del 2017 por parte del Ing. Juan Pablo Aragón Coordinador Carrera E, de la Universidad Técnica del Norte – Coordinación Ingeniería Agronegocios Avalúos y Catastros quien solicita se otorga la información correspondiente a la información catastral del cantón Otavalo correspondiente al sistema de coordenadas en el que la municipalidad se encontró trabajando en los anteriores periodos y se adjunte una ortofoto correspondiente al estudio del testista para el análisis.

Revisado la base cartográfica de la municipalidad se ha venido trabajando en dos sistemas de coordenadas WGS 84 – 17s y PASAD 58 de los cuales se han venido trabajando. En la actualidad toda la base de datos que se encontró en PASAD 58 se migro al otro sistema por lo que existe un desfase en la desviación poligonal del catastro ya que son dos geoides diferentes por esta razón existe un mínimo desplazamiento.

Particular que informo para los fines pertinentes.

Atentamente,

ING. IVONNE CHÁVEZ GUEVARA

Dirección: Calle Bolívar # 309 / 308 / 307 - 306 / 305 - 304 / 303 - 302 / 301 / 300 - 299  
P.O. BOX 5 005 - 001  
OTAVALO - ECUADOR

*Nueva*  
**OTAVALO**  
ADMINISTRACIÓN  
2014 - 2019



GOBIERNO AUTÓNOMO  
DESCENTRALIZADO  
MUNICIPAL DE OTAVALO

Otavalo, 18 de octubre del 2018  
Oficio Nro.0355-GADMCO-A

Ingeniero,  
Juan Pablo Aragón M.Sc.  
**COORDINADOR(E) DE LA COORDINACIÓN INGENIERIA  
AGRONEGOCIOS AVALÚOS Y CATATASTROS DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Ibarra,

De mi consideración:

Permítame expresar el saludo cordial, y atender la solicitud formulada a esta Alcaldía, mediante oficio Nro. UTN-FICAYA-CIAAC-2017-187-M.

Al respecto me permito remitir el informe Nro. AYC-AL-80-2018 del 10 de octubre del presente año, presentado por el Arquitecto Pedro Manuel Ramírez Director de Avalúos y Catastros del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo; y el Memorando Nro. 2015-259-DAYC-R del 15 de octubre del 2018, elaborado, por la Ing. Ivonne Chávez Guevara Técnica de Avalúos y Catastros; en que anexa la información solicitada en digital-ORTOFOTO

Con sentimientos de consideración y estima.

Atentamente,

  
Ab. Gustavo Pareda Cisneros  
ALCALDE DE OTAVALO



HPC/ijr  
Copia: Avalúos y Catastros

Dirección: García Moreno # 505/ Telf.: 06 2 920-460/ 06 2 925-566  
Fax: 06 2 920 - 404 / [www.otavalo.gob.ec](http://www.otavalo.gob.ec)

OTAVALO-ECUADOR

ALCALDÍA  
OTAVALO

## Anexo 5: Instituto Geográfico Militar (IGM)

### 4. Siglas y/o Acrónimos.

<b>ANSI:</b>	<i>American National Standards Institute</i> (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares)
<b>ASCII:</b>	<i>American Standard Code</i> (Código Estadounidense Estándar para el Intercambio de Información)
<b>ASPRS:</b>	<i>American Society of Photogrammetry and Remote Sensing</i> (Sociedad Americana de Fotogrametría y Percepción Remota)
<b>BIL:</b>	<i>Band Interleaved by Line</i> (Bandas Intercaladas por Línea)
<b>BIP:</b>	<i>Band Interleaved by Pixel</i> (Píxeles Intercalados)
<b>BSQ:</b>	<i>Band Sequential</i> (Bandas Secuenciales)
<b>CEP:</b>	Círculo de Error Probable
<b>FGDC:</b>	<i>Federal Geographic Data Committee</i> (Comité Federal de Datos Geográficos)
<b>IGM:</b>	Instituto Geográfico Militar Ecuador.
<b>INEC:</b>	Instituto Nacional de Estadística y Censos
<b>INSAR:</b>	<i>Interferometric Synthetic Aperture Radar</i> (Radar Interferométrico de Apertura Sintética)
<b>LASER:</b>	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i> (Amplificación de Luz Mediante Emisión Estimulada de Radiación)
<b>LIDAR:</b>	<i>Light Detection and Ranging</i> (Medición de Distancias Mediante Luz Laser)
<b>MDE:</b>	Modelo Digital de Elevación
<b>Pixel:</b>	<i>Picture Element</i> (Elemento de la Imagen)
<b>RADAR:</b>	<i>Radio Detection and Ranging</i> (Medición de Distancias mediante Ondas Radioeléctricas)
<b>RGB:</b>	<i>Red, Green, Blue</i> (Rojo, Verde y Azul)
<b>UTM:</b>	Universal Transversa de Mercator

### 5. Referencia con otras Normas.

- Especificaciones Técnicas IGM-PG-N-ET-01 Especificaciones técnicas generales para la realización de cartografía topográfica a cualquier escala – 2006.
- Norma Técnicas de Estándares de Exactitud Posicional, en la que se establecen los aspectos de calidad posicional.
- Principales conceptos, normas y procedimientos - FOTOGRAFIA AEREA - V2.0
- Especificaciones Técnicas para realizar levantamientos geodésicos – control horizontal, (primer borrador).

### 6. Especificaciones Técnicas.

#### 6.1 Clasificación.

Las Ortofotos Digitales pueden clasificarse de acuerdo a sus características de procesamiento (formada a partir de una sola imagen o de un mosaico de imágenes, procesada como ortofoto verdadera -true ortho-, con reducción de sombras), o por los insumos empleados (fotografía blanco y negro, color o infrarrojo color), por el tipo de sensor (cámara analógica, cámara digital, LIDAR, RADAR).

No es objetivo de esta especificación establecer una clasificación de las Ortofotos Digitales, por lo mismo, en los metadatos deberán anotarse los insumos así como la tecnología y el método empleado para su creación y las características de la Ortofoto Digital generada.

## **6.2 Insumos para la Generación de Ortofotos Digitales.**

La Ortofoto Digital se crea a partir de imágenes del terreno digitalizadas con un scanner fotogramétrico o tomadas con una cámara digital o algún otro tipo de sensor. Las imágenes digitales del terreno se rectifican diferencialmente a una proyección ortográfica procesando cada pixel de la imagen mediante fotogrametría analítica. Para llevar a cabo este proceso se necesitan las coordenadas de puntos de control, los parámetros de orientación del sensor y un Modelo Digital de Elevación (MDE).

### **6.2.1 Imágenes del Terreno.**

Los sensores que proporcionan imágenes del terreno incluyen los foto-ópticos (cámaras analógicas), electro-ópticos (cámaras digitales), RADAR, LIDAR y microondas.

Las fotografías aéreas son las imágenes que más comúnmente se emplean en la generación de ortofotos, en su caso, éstas deberán cumplir con las especificaciones establecidas en los Principales conceptos, normas y procedimientos - FOTOGRAFIA AEREA - V2.0.

La escala de representación de la Ortofoto Digital depende de la escala de la fotografía aérea que sirve como insumo, esta especificación técnica establece como máximo una relación de ampliación 1 a 6 de acuerdo al uso destinado de la ortofoto.

Las fotografías aéreas empleadas pueden corresponder a imágenes en blanco y negro, color o infrarrojo color.

### **6.2.2 Digitalización de las Fotografías Aéreas.**

La digitalización de las fotografías aéreas debe realizarse mediante el uso de un scanner fotogramétrico que asegure la exactitud geométrica y radiométrica de la imagen.

La resolución de la imagen escaneada debe estar de acuerdo con el tamaño del pixel de la ortofoto de salida y de la escala de la fotografía aérea empleada. Así, para fotografía aérea escala 1:30 000 de la cual se genera una ortofoto escala 1:5 000 con un tamaño de pixel de 0.4 metros, la resolución de la imagen escaneada deberá ser, como máximo, de 13 micras.

Se establece la siguiente relación para determinar el valor máximo del tamaño del pixel de la imagen escaneada:

**Valor Máximo (en micras) = tamaño del píxel de la ortofoto (en metros) / denominador de la escala de la fotografía aérea.**

Se acepta que la resolución final de una imagen escaneada sea resultado de un remuestreo sólo si el tamaño del píxel original es de menores dimensiones que el tamaño del píxel final.

### **6.2.3 Coordenadas de Puntos de Control**

El control empleado en la ortorectificación es producto de levantamientos geodésicos de campo, en su caso, de levantamientos con GPS aerotransportado y de procesos de triangulación aérea.

Las coordenadas de los puntos de control deben cumplir con las especificaciones establecidas en las Especificaciones Técnicas de Estándares de Exactitud Posicional y en las Especificaciones Técnicas para realizar Levantamientos Geodésicos – control horizontal, (primer borrador).

### **6.2.4 Modelo Digital de Elevación (MDE).**

El MDE empleado en la ortorectificación debe tener mayor cobertura que la ortofoto a elaborar (5% más por lado).

El MDE deberá cumplir con lo establecido en las Especificaciones Técnicas para generar Modelos Digitales de Elevación<sup>2</sup>

## **6.3 Características de las Ortofotos Digitales.**

### **6.3.1 Remuestreo de los Valores de Reflectancia.**

El proceso de ortorectificación de una imagen considera una corrección geométrica para eliminar las deformaciones propias de la imagen, y después de ello, asigna valores de reflectancia a los píxeles mediante un proceso de remuestreo. Los métodos de interpolación empleados para ello pueden ser: vecino más cercano, interpolación bilineal y convolución cúbica.

### **6.3.2 Resolución Radiométrica.**

La brillantez de una ortofoto se codifica mediante la asignación de valores discretos a cada píxel en función de la reflectancia del terreno. Los valores de brillantez de la ortofoto en blanco y negro deben ser representados como datos binarios de 8 bits y para ortofotos a color de 24 bits (3 bytes – 1 byte por banda). De esta manera los valores de brillantez de la imagen serán representados mediante 256 valores de gris (con valores de 0 a 255), y de la misma forma, para cada banda empleada en una imagen a color. El valor de 0 representa el color negro y el valor de 255 al color blanco.

<sup>2</sup> Especificaciones Técnicas próximas a publicarse.

## 6.4 Cubrimiento Geográfico.

La Ortofoto Digital puede tener el cubrimiento geográfico que sea de interés para el productor, sin embargo, una ortofoto referida a un sistema cartográfico o serie cartográfica debe elaborarse de acuerdo a los formatos establecidos.

En este último caso, si es elaborada en un sistema de coordenadas rectangulares o de proyección, se debe asegurar el cubrimiento del formato cartográfico mediante franjas laterales de excedencia.

Las áreas de excedencia que no cubran el formato cartográfico pueden no contener imagen del terreno, en este caso deberán asignarse valores de 255 (blanco) a las áreas sin información, para archivos de impresión.

### 6.4.1 Continuidad.

Una Ortofoto Digital, como aquellas referidas a un formato cartográfico o aquellas que forman parte de una serie, deberá tener continuidad con otra Ortofoto Digital adyacente si las características del sistema de referencia, proyección y resolución son las mismas. Se establece una tolerancia para esta continuidad que deberá ser menor que un cuarto del valor de exactitud.

## 6.5 Resolución Espacial

La resolución espacial de una Ortofoto Digital depende de la escala de representación en la que vaya a ser empleada, de la exactitud requerida, de la escala de la imagen empleada y del tamaño del píxel de la misma.

La resolución horizontal deberá corresponder, como máximo, con valores iguales a los anotados en la tabla 1 (ver 6.6, Exactitud Horizontal), y deberá ser en unidades de metro para el caso de Ortofotos Digitales en coordenadas de proyección cartográfica (la posición de cada píxel, en E o N, deberá ser un múltiplo de la resolución empleada), o en segundos de arco para Ortofotos Digitales en coordenadas geográficas (la posición de  $\phi$  ó  $\lambda$  de cada píxel deberá ser un múltiplo de la resolución empleada).

## 6.6 Exactitud Horizontal

La exactitud horizontal de una Ortofoto Digital depende de las características de la cámara o sensor, en su caso, del escaner fotogramétrico, de la escala de la imagen fuente y de la exactitud de los puntos de control. Por lo mismo en los metadatos deberán indicarse las características de los insumos y de los procesos y equipos empleados.

Para describir la exactitud horizontal de las Ortofotos Digitales se acude a un análisis estadístico en los términos establecidos en los Estándares de Exactitud Posicional. En este documento se establece el Círculo de Error probable (CEP) en el intervalo de confianza del

95%, CEP<sub>95</sub>, como el estadístico a emplear.

La exactitud de la Ortofoto Digital refleja todas las incertidumbres del proceso de ortorectificación, incluyendo aquellas introducidas por la exactitud de los insumos.

En la Tabla 1, se establecen los valores mínimos de exactitud que deberán garantizar las Ortofotos Digitales.

Tabla 1. Especificaciones Técnicas de Ortofotos Digitales

ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA	TAMANO DEL PIXEL (EN METROS)	ESCALA DE ORTOFOTOS	TAMANO DEL PIXEL (EN METROS)	PRECISIÓN HORIZONTAL (EN METROS)	PRECISIÓN VERTICAL (EN METROS)
1:5 000	0.07	1:1 000	0.10	0.30	0.25
1:10 000	0.14	1:2 000	0.20	0.60	0.50
1:20 000	0.28	1:2 500	0.25	0.80	0.60
1:30 000	0.42	1:5 000	0.50	1.50	1.25
1:60 000	0.84	1:10 000	1.00	3.00	2.50
1:60 000	0.84	1:20 000	1.00	6.00	2.50
1:60 000	0.84	1:25 000	1.00	7.50	5.00
1:60 000	0.84	1:50 000	2.00	15.00	10.00

### 6.7 Sistemas de Referencia

Las Ortofotos Digitales deben observar las especificaciones del Sistema de Referencia Geodésico vigente en el IGM, por lo que sus coordenadas estarán referenciadas a este marco de referencia y el elipsoide asociado.

### 6.8 Metadatos

Las Ortofotos Digitales deberán estar documentadas invariablemente con metadatos de acuerdo con la norma vigente en el momento de su generación.

Las unidades generadoras de los datos deberán adaptar las especificaciones de acuerdo a sus requerimientos, sin embargo, deberán considerar como obligatorios los puntos anotados en la siguiente relación:

- La clave de la ortofoto referida a la nomenclatura IGM, cuando la ortofoto forme parte de una serie cartográfica.
- El nombre del lugar más relevante contenido en el área geográfica de cubrimiento.
- La escala de representación para la que fue creada la ortofoto.
- Las coordenadas geográficas de las esquinas de la ortofoto en grados, minutos y segundos.
- La resolución radiométrica de la ortofoto, así como el número y tipo de bandas espectrales empleadas.
- El número de bits por pixel.
- El orden de los datos, de izquierda a derecha y de abajo a arriba o de arriba a abajo.

1225/096993135//

- El número de filas y columnas.
- La resolución horizontal de la ortofoto en metros o segundos de arco.
- Los sistemas de referencia tanto vertical como horizontal.
- El sistema de coordenadas de proyección y los parámetros empleados.
- Las coordenadas de proyección de las esquinas de la ortofoto.
- Las especificaciones de las imágenes del terreno empleadas como insumo y el proceso seguido para su obtención.
- Las especificaciones de los puntos de control empleados para la generación de las ortofotos.
- Las especificaciones del MDE empleado en la ortorectificación.
- El método de interpolación empleado para la generación de la ortofoto.
- El software empleado en la elaboración de la ortofoto.
- La Institución o Dependencia que genera la ortofoto.
- La exactitud horizontal de la ortofoto en metros, como CEP<sub>90</sub>.
- Las características de los datos de prueba empleados en la definición de la exactitud.
- Fecha en que se genera la ortofoto.
- La Versión y Fecha de la Norma Técnica de Ortofoto Digital y de Metadatos empleadas.
- En general cualquier observación que se considere de utilidad para los usuarios de las ortofotos.

## 6.9 Estructura Digital de las Ortofotos

Las Ortofotos Digitales deberán tener tres partes:

- (a) Un archivo en formato texto, que corresponde al encabezado de la ortofoto. Contiene datos auxiliares para identificar y caracterizar a la ortofoto y proporciona datos necesarios para su despliegue o tratamiento.
- (b) Un archivo en formato binario, que contiene los valores de reflectancia como datos crudos, de 8 bits para imágenes en blanco y negro y 24 bits para imágenes a color, en este caso podrá estar almacenada en uno de los tres formatos: BIL, BIP, BSQ. También se acepta el formato GeoTIFF, TIFF, IMG, JPG, BMP, MRSEED, PNG, entre otros, acompañados del archivo de coordenadas correspondiente.
- (c) Un archivo en formato texto correspondiente a los metadatos de la Ortofoto Digital en los términos planteados en el punto 6.8.