



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

**TÍTULO:** “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”

- 1. AUTOR:** Luis Germán Andrade Narváez
- 2. DIRECTOR:** Ing. José Raúl Guzmán Paz Msc.
- 3. COMITÉ LECTOR:** Arq. José Solórzano  
Ing. Juan Pablo Aragón Suárez Msc.  
Ing. Franklin Sánchez Msc.
- 4. AÑO:** 2018
- 5. LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN:** Ciudad de Otavalo
- 6. BENEFICIARIOS:** GAD Municipal de Otavalo

## **HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR**



**APELLIDOS: ANDRADE NARVÁEZ**

**NOMBRES: LUIS GERMÁN**

**CÉDULA DE CIUDADANÍA: 1001101086**

**TELÉFONO CONVENCIONAL: 062926715**

**TELÉFONO CELULAR: 0983603139**

**CORREO ELECTRÓNICO: lgan\_59@yahoo.com**

**DIRECCIÓN: Imbabura, Otavalo, Calle Bolívar y Mejía**

**AÑO: 2018**

## ESTUDIOS REALIZADOS

<b>INSTRUCCIÓN</b>	PRIMARIA
<b>LUGAR</b>	OTAVALO
<b>INSTITUCIÓN</b>	ESCUELA CATOLICA "ULPIANO PÉREZ QUIÑÓNEZ"

<b>INSTRUCCIÓN</b>	SECUNDARIA
<b>LUGAR</b>	IBARRA
<b>INSTITUCIÓN</b>	COLEGIO SEMINARIO "SAN DIEGO"
<b>ESPECIALIDAD</b>	FÍSICO-MATEMÁTICO-QUIMICO-BIOLOGO

<b>INSTRUCCIÓN</b>	SUPERIOR
<b>LUGAR</b>	IBARRA
<b>INSTITUCIÓN</b>	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
<b>ESPECIALIDAD</b>	ING. EN AGRONEGOCIOS AVALÚOS Y CATASTROS

## CURSOS REALIZADOS

<b>INSTITUCIÓN</b>	ESTUDIOS INTEGRALES GEOGRÁFICOS ESINTEGEO CIA. LTDA.
<b>TEMA</b>	GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA CON EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS.
<b>DURACIÓN</b>	20 HORAS
<b>LUGAR Y FECHA</b>	Quito-mayo 2017

<b>INSTITUCIÓN</b>	UTN
<b>TEMA</b>	TALLER DE VALORACIÓN AGRARIA CON ENFOQUE EN AGRONEGOCIOS.
<b>DURACIÓN</b>	40 HORAS
<b>LUGAR Y FECHA</b>	Ibarra-noviembre 2014

<b>INSTITUCIÓN</b>	UTN
<b>TEMA</b>	CURSO INTENSIVO AUTOCAD
<b>DURACIÓN</b>	64 HORAS
<b>LUGAR Y FECHA</b>	Ibarra-enero 2016

<b>INSTITUCIÓN</b>	CÁMARA DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN
<b>TEMA</b>	AVALÚOS DE BIENES INMUEBLES
<b>DURACIÓN</b>	40 HORAS
<b>LUGAR Y FECHA</b>	Quito, febrero, 2014

<b>INSTITUCIÓN</b>	UTN
<b>TEMA</b>	TOPOGRAFÍA, MANEJO DE ESTACIÓN TOTAL Y GPS
<b>DURACIÓN</b>	80 HORAS
<b>LUGAR Y FECHA</b>	Ibarra, marzo 2014

### **EXPERIENCIA LABORAL**

- Residencia de obras en varios lugares de la provincia de Imbabura y Pichincha.
- Avalúos de predios urbanos y rurales en el banco Nacional de Fomento, banco Pichincha, banco Internacional, banco Solidario y Procredit, Cooperativa de ahorro y Crédito 23 de julio-Suc. Cayambe Coop. Chuchuquí-Otavaló.
- Armado, mantenimiento y reparación de equipos de computación.

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA- UTN

**Fecha:** 9 de noviembre del 2018

**Luis Germán Andrade Narváez:** “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/ Ingeniero en Agronegocios Avalúos y Catastros/Universidad Técnica del Norte/ Carrera de Ingeniería en Agronegocios Avalúos y Catastros. Ibarra, 9 de noviembre del 2018. 13 páginas.

**DIRECTOR:** Ing. José Guzmán Msc.

El objetivo general de la presente investigación fue: 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. Los objetivos específicos fueron: 1).- Comparar la precisión y el costo operativo de dos tipos de drones para generar la ortofotografía. 2).- Generar la ortofotografía de la zona elegida en estudio, para evaluar con el catastro actual. 3).- Realizar la cartografía catastral con el software, métodos adecuados a partir de la ortofotografía y su análisis económico. 4).- Determinar las ventajas y desventajas, del uso de la ortofotografía utilizando Drones, comparando con la ortofotografía del IGM.

Ibarra, 9 de noviembre del 2018

  
Ing. José Raúl Guzmán Paz Msc.  
**DIRECTOR DE TESIS**

  
Luis Germán Andrade Narváez  
**AUTOR**

# **“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 de tesis: Ing. José Guzmán Msc.

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales

Carrera de Ingeniería en Agronegocios Avalúos y Catastros

Universidad Técnica del Norte

Ibarra-Ecuador

lgan\_59@yahoo.com

Teléfono: 2926715/ 0983603139

## **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.

Para el presente estudio, 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. Es importante indicar que el catastro es un sistema de información de tierras basados en el predio, útil para determinar derechos de propiedad, para la planificación física del territorio, control del uso de suelo y para funcionamiento del mercado inmobiliario, convirtiéndose los catastros urbanos y rurales en la base técnica fundamental para los planes de Ordenamiento Territorial y sus perspectivas de desarrollo futuro. Palabras clave: Vehículo Aéreo no Tripulado (drone), catastro, ortofotografía, software, ordenamiento territorial, 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.

In the investigation it was used two types of Drones, 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. The results obtained will serve as a basis for socializing in the GAD of Otavalo, a model for data collection at a lower cost, taking into account that the Cadastre is a land information system based on the land, and highly useful to facilitate property rights, for the physical planning of the territory, control of land use and for the functioning of the real estate market, making the urban and rural cadastres the fundamental technical basis for Territorial Planning plans and their development future prospects. Keywords: Unmanned aerial Vehicle (drone), cadastre, orthophotography, software, land use planning, satellite images.

## INTRODUCCIÓN

La ortofoto digital es la imagen fotográfica geo referenciada a la cual se han eliminado las distorsiones causadas por la no-verticalidad del eje de la cámara aero fotogramétrica 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. (Corea y Asociados S.A., 2008)

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)

De igual forma, el software que se utilizó para el procesamiento de la información adquirida mediante los drones para obtener la ortofotografía, para el uso en los catastros, fue Agisoft Photoscan y PIX4D Mapper. Se utilizó dos aplicaciones para generar los planes de vuelos a las diferentes alturas establecidas que fueron 30, 40 y 50 metros para cada drone 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.

### 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. (Ver figura 1).

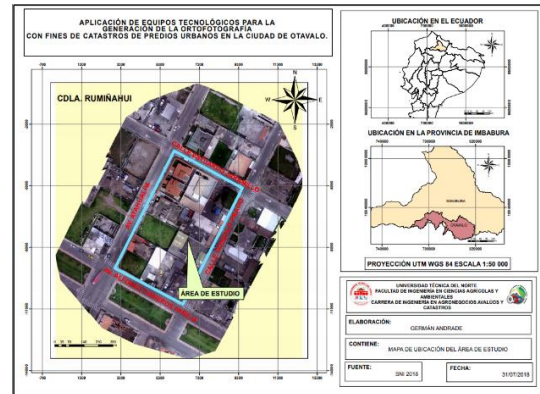


Figura 1: Mapa de ubicación área de estudio

### Materiales. Equipos, Insumos

Los materiales que se utilizaron para el levantamiento de información fueron los siguientes:

- Dos drones
- GPS diferencial
- Laptop
- Cámara fotográfica
- Tablet
- Cinta métrica
- Impresora
- Aplicaciones DroneDeploy y Mission Planner
- Software Agisoft PhotoScan, PIX4D, Autocad Civil 3D 2017

### Métodos.

#### 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.

Este pos proceso se lo 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. En las figuras 3 y 4 se puede observar los puntos sin corregir y corregidos respectivamente

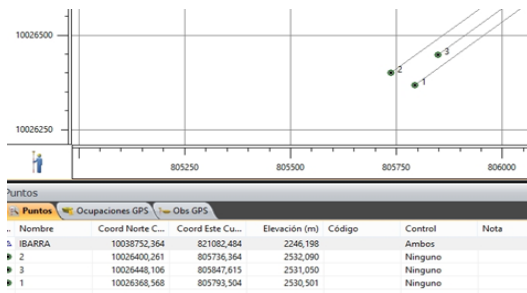


Figura 2: Puntos de control sin corregir

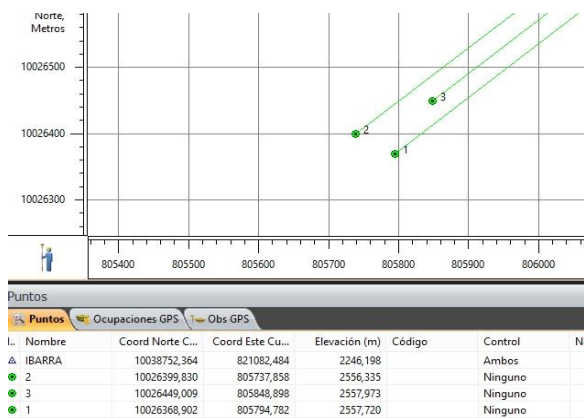


Figura 3: Puntos de control corregidos



Figura 4: Ubicación de los 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.

### Métodos 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, Acuicultura 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 2017.

### Plan de Vuelo

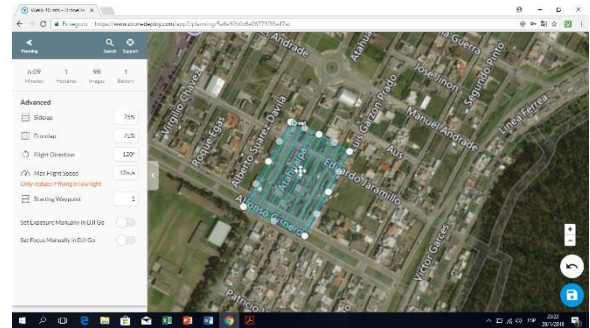
El plan de vuelo se efectuó con cálculos previos a la realización del planeo para obtener la tomas de fotografías, mismas que debían cumplir con ciertos parámetros como son: recubrimiento longitudinal y transversal, altura de vuelo especificada en función de la escala. Para la presente investigación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

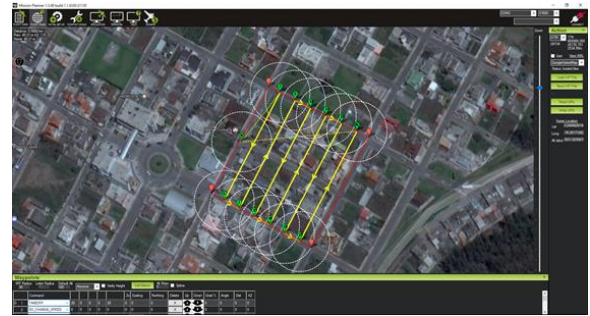
### **Plan de vuelo con la aplicación DroneDeploy y Mission Planner**

Previamente se identificó el área a realizar 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. 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 drone. Concluida la programación se dio un nombre a la misión y se grabó. Es importante anotar que la aplicación también nos brinda una pre información del tiempo de vuelo (factor importante a tomar en cuenta en la duración de las baterías), el área a cubrir, el número de pixeles respectivos por centímetro. Este plan se lo realizó para el Drone DJI Phantom 3 4k Profesional. 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. (Ver figuras 5 y 6)



**Figura 5:** Plan de vuelo con DroneDeploy



**Figura 6:** Plan de vuelo con Mission Planner

### **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. (Ver figuras 7 y 8)



**Figura 7:** Preparación plan de vuelo



**Figura 8:** Preparación del drone

### **Vuelo y toma de fotografías**

Se procedieron a realizar los vuelos de forma automática para tomar las fotografías una vez establecidos los planes de vuelo para para cada caso con cada uno de los drones.

Se realizaron 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

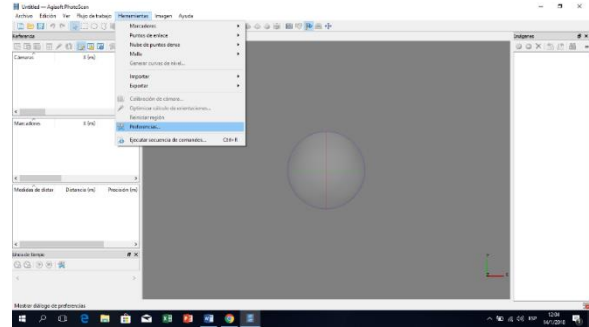
40 m con un tiempo de vuelo de 6 minutos 3 segundos

50m con un tiempo de vuelo de 4 minutos 36 segundos

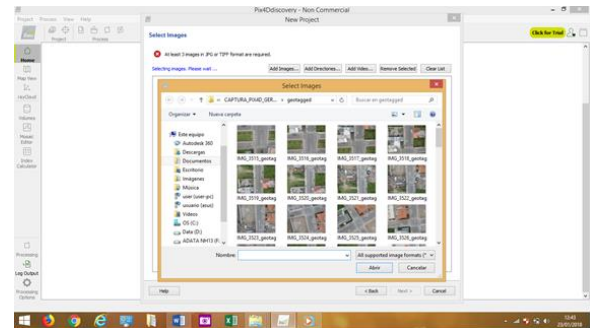
### **Proceso de las imágenes apoyadas con los puntos de control.**

Una vez realizado los vuelos respectivos 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 uno de los vuelos y drones respectivamente.

Se observa que el software Pix4D es mejor por cuanto ahorra algunos pasos respecto al Agisoft PhotoScan, de igual forma el proceso lo hace en menor tiempo. (Ver figuras 9 y 10)



**Figura 9:** Proceso con Agisoft PhotoScan



**Figura 10:** Proceso con Pix4D

## **Resultados y Discusión**

### **Fase 1: Comparación de la precisión y el costo operativo de dos tipos de 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 drone.

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

### **Análisis PIX4D Mapper.**

De acuerdo a la Tabla 1 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 1 como en el caso anterior que el dron LAS-LISX8 tiene una ventaja en la calidad de la fotografía.

PIX4D MAPPER						
DRONE DJI PHANTOM	FECHA Y HORA	GSD	AREA	fotos	GEOREFERENCIA	DSM
NOMBRE DEL PROYECTO		cm/pixel	km2	Nro.	media RMS=error	cm/pixel
VUELO 30 MTS	1/12/2017-01:03:11	1,4	0,0217	203	-----	1,4
VUELO 40 MTS	2017-11/30-02:46:35	1,83	0,0253	124	-----	1,84
VUELO 50 MTS	2017-11/29-11:24:58	2,25	0,0283	85	0,046 m	2,25
DRONE LAS-LISX8	FECHA Y HORA	GSD	AREA	fotos	GEOREFERENCIA	DSM
NOMBRE DEL PROYECTO		cm/pixel	km2	Nro.	media RMS=error	cm/pixel
VUELO_03_30_METROS	2017-11-17-19:25:12	0,95	0,0129	65	0,024 m	0,95
VUELO_02_40_METROS	2017-11/15-23:05:57	1,18	0,0151	69	0,008 m	1,19
VUELO_01_50_METROS	2017-11/15-21:31:10	1,51	0,0156	44	0,009 m	1,51

**Tabla 1:** Análisis de calidad de la ortofotografía según PIX4D MAPPER

### Análisis Agisoft Photoscan

De acuerdo a la tabla 2 se concluye que el GSD (Distancia de Muestreo en la Tierra), es la distancia entre dos píxeles sobre el suelo, igual que en el caso anterior 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 6 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. Además no arroja el DSM (Modelo Digital de Superficie).

AGISOFT						
DJI PHANTOM	FECHA Y HORA	GSD	AREA	fotos	GEOREFERENCIA	DSM
DEL PROYECTO		cm/pixel	km2	Nro.	media RMS=error	cm/pixel
LO 30 MTS	20/06/2018	1,38	0,0217	203	-----	-----
LO 40 MTS	20/01/2018	1,81	0,0253	124	-----	-----
LO 50 MTS	20/01/2018	2,21	0,0283	85	-----	-----
IE LAS-LISX8	FECHA Y HORA	GSD	AREA	fotos	GEOREFERENCIA	DSM
DEL PROYECTO		cm/pixel	km2	Nro.	media RMS=error	cm/pixel
J3_30_METROS	03/06/2018	1,14	0,0129	65	-----	-----
J2_40_METROS	03/02/2018	1,16	0,0151	69	-----	-----
J1_50_METROS	23/01/2018	1,47	0,0156	44	-----	-----

**Tabla 2:** Análisis de calidad de la ortofotografía según AGISOFT PHOTOSCAN

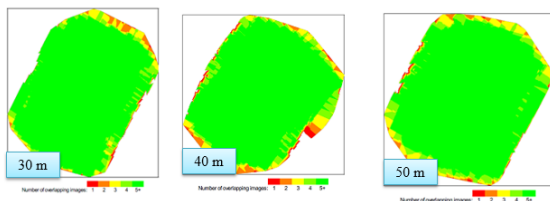
### Análisis de Overlap (Solapamiento entre imágenes consecutivas).

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 11 y 12 la sobreposición de imágenes de los vuelos del dron DJI Phantom 3 son mejores vs el dron 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.

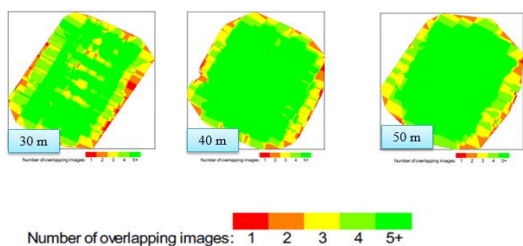
En las figuras 11 y 12 se visualiza, que el vuelo de 30 metros tiene una diferencia de coloración verde en el centro del orto mosaico lo que indica que no hay una mayor calidad de Overlap en el dron LAS-LISX8.

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

Al realizar una sobreposición de la ortofotografía obtenida en la presente investigación sobre la ortofotografía del catastro del GAD municipal de Otavalo, se concluye que coinciden las mismas lo que da como resultado que las ortofotografías generadas con drones son de gran confiabilidad. Se observa 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, 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 13, 14 y 15)



**Figura 11:** Análisis de Overlap en ortofotos drone DJI Phantom 3



**Figura 12:** Análisis de Overlap drone las-lisx8

**Análisis del costo operativo de los drones utilizados para ortofotografía**

De acuerdo a las tablas 3 y 4 se concluye que el costo del drone DJI Phantom 3 es menor con respecto al drone LAS-LISX8.

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 3 :** Precio del Drone DJI PHANTOM 3

DETALLE	NRO	PRECIO
Copter X8-XL	1	700
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	100
Cámara RGB de 24MP	1	109
	<b>SUBTOTAL</b>	9719.
	<b>IVA</b>	1166.
	<b>TOTAL</b>	10885

**Tabla 4 :** Precio del Drone LAS-LISX8



Figura 1: Montaje en Longitud



Figura 2: Montaje en Latitud



Figura 15: Ortografía final considerando medidas in situ.

**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 se 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. 5

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

**Tabla 5** : Procesamiento de software

Como podemos observar en la Tabla 5 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.

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

Se tomaron mediciones a cinta en los frentes de todos los predios de la manzana objeto de estudio y luego se digitalizo 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. (Ver figura 16)



**Figura 22:** Digitalización con medidas a cinta en el sitio

## Análisis económico, software utilizado en la creación de la ortofotografía

De acuerdo a la tabla 6, se puede visualizar 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.

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

**Tabla 6 :** Precios, software utilizados en la creación de la ortofotografía.

#### **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 utilizan 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 kilómetro 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.

### **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 dron 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 dron DJI PHANTOM 3 tiene un precio de 2000 USD frente al dron LAS-LISX8 de

10000 USD. Comprobándose que los costos operativos una vez que se inició la inversión inicial de la compra del dron 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.

## **RECOMENDACIONES**

En calidad de ortofotografía, las diferencias son mínimas entre los drones objeto de estudio, se recomienda el uso del dron DJI PHANTON 3 principalmente por los costos operativos respecto al dron 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 GAS 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 dronero se recomienda usar la nueva versión de dronero 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.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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). Pontifica 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 dronero como

alternativa en el registro topográfico y 3D de sitios arqueológicos.

Ogea, 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 drone, 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.