

**DESARROLLO DE UNA SOLUCIÓN DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE  
INFORMACIÓN EN UN SISTEMA SIG PARA LA APLICACIÓN DE UNA  
METODOLOGÍA DE CORINE LAND COVER BASADA EN IMÁGENES DE  
DRONES**

**ELIAN MARGARITA HENRIQUEZ AVILEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2017**

**DESARROLLO DE UNA SOLUCIÓN DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE  
INFORMACIÓN EN UN SISTEMA SIG PARA LA APLICACIÓN DE UNA  
METODOLOGÍA DE CORINE LAND COVER BASADA EN IMÁGENES DE  
DRONES**

**ELIAN MARGARITA HENRIQUEZ AVILEZ**

**Trabajo de grado para optar el título de  
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**DIRECTOR:  
HOMERO ORTEGA BOADA  
Dr. en Ingenierías**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2017**

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

*A mi padre Jorge Henríquez por su confianza y apoyo incondicional para poder emprender esta gran aventura. A mi madre Elodia Avilez por su amor infinito y consejos que me ayudaron a tomar las decisiones correctas. Siempre han sido un ejemplo para mí y gracias a ello estoy alcanzando mis metas con mucho orgullo, les debo un eterno agradecimiento y mi retribución total por su gran amor.*

*A mis hermanos, por ser mi ejemplo a seguir.*

*A mis amigos por enseñarme el verdadero valor de la amistad y por compartir conmigo momentos de risa, alegría y tristezas. Sin ustedes no hubiera sido lo mismo.*

***Elian Margarita Henríquez Avilez***

## **AGRADECIMIENTOS**

Al PhD. Homero Ortega Boada, director del proyecto por su colaboración y orientación.

Al Ing. José Jorge Oñate por su asistencia con drones.

Al Ing. Forestal German Cárdenas por su contribución y conocimientos compartidos en la cobertura vegetal con CLC.

Finalmente, expreso mis agradecimientos al grupo de investigación Radiogis y a la Universidad Industrial de Santander por ser mi alma mater.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mis agradecimientos a la Universidad Industrial De Santander por ser mi alma mater, al grupo de investigación RadioGIS, a mi director de proyecto PhD. Homero Ortega Boada por su colaboración y orientación, al Ing. Electrónico José Oñate por su asistencia con los drones, al Ing. Forestal German Cárdenas por su contribución en cobertura vegetal con CLC.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	15
1. MARCO TEÓRICO .....	17
1.1. FOTOGRAMETRÍA AÉREA.....	17
1.2. METODOLOGÍA CORINE LAND COVER .....	18
2. METODO PROPUESTO.....	21
2.1. SOLUCIÓN DE CAPTURA DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS USANDO UAV.....	22
2.1.1. Selección UAV. ....	23
2.1.2. Selección e inspección física del terreno. ....	23
2.1.3. Delimitación del terreno. ....	24
2.1.4. Planeación de misiones de vuelo.....	24
2.2. GENERACIÓN MODELO DIGITAL DEL TERRENO. ....	26
2.2.1. Selección del software. ....	27
2.2.2. Procesamiento de nube de puntos y generación de mapas 3D.....	27
2.2.3. Validación del modelo digital del terreno.....	27
2.3. OBTENCIÓN COBERTURA VEGETAL.....	28
3. EXPERIMENTO REALIZADO.....	30
3.1. MODELO DE LA SOLUCIÓN .....	30
3.2. SOLUCIÓN DESARROLLADA PARA DEMOSTRAR VIABILIDAD .....	31
3.2.1. Los usuarios.....	31
3.2.2. El equipo de campo. ....	31
3.2.2.1. El UAV y su dotación. ....	31
3.2.2.2. El computador usado al lado del dron y las aplicaciones requeridas. ....	32
3.2.3. Las Base de datos en QGIS. ....	33
3.2.4. Aplicación de visualización. ....	33
4. RESULTADOS DEL PILOTO REALIZADO .....	34

4.1. ZONA SELECCIONADA PARA EL PILOTO.....	34
4.2. INSPECCIÓN FÍSICA DEL TERRENO.....	35
4.3. DELIMITACIÓN DEL TERRENO.....	35
4.4. PLANEACIÓN DE MISIONES DE VUELO .....	36
4.5. EJECUCIÓN DEL VUELO .....	40
4.6. MODELO DIGITAL DEL TERRENO .....	41
4.6.1. Selección del software. ....	41
4.6.2. Procesamiento de nube de puntos y generación de mapas 3D.....	42
4.7. VALIDACIÓN DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO .....	46
4.8. COBERTURA VEGETAL ZONA PILOTO .....	49
4.9. BASE DE DATOS GEOGRÁFICA .....	50
5. CONCLUSIONES .....	52
6. RECOMENDACIONES.....	53
CITAS REFERENCIAS.....	55
BIBLIOGRAFIA.....	58
ANEXOS.....	61

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Modelo para captura de ortofotos. Referencia.....	18
Figura 2. Metodología Corine Land Cover. Referencia.....	19
Figura 3. Método propuesto para generación del modelo digital del terreno. ....	21
Figura 4. Método propuesto para realizar la distribución de cobertura vegetal adaptada a CLC.....	22
Figura 5. Diagrama del campo de visión del sensor. ....	25
Figura 6. Modelo de la solución Tic. ....	30
Figura 7. Phantom 3 Professional. Referencia .....	32
Figura 8. El playón-Santander. Referencia .....	34
Figura 9. Panorámica del predio. ....	35
Figura 10. Área de la zona piloto .....	36
Figura 11. Misión 1 .....	38
Figura 12. Misión 2. ....	39
Figura 13. Misión 3. ....	39
Figura 14. Misión 4. ....	39
Figura 15. Área de cada misión. ....	40
Figura 16. Nube de puntos densa Misión 4. ....	43
Figura 17. Mapa 3D texturizado Misión 4. ....	43
Figura 18. Modelo digital del terreno misión 4. ....	44
Figura 19. Modelo digital del terreno de zona piloto. ....	45
Figura 20. Cobertura vegetal zona piloto. ....	50
Figura 21. Geodatabase QGIS. ....	51

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Especificaciones técnicas cámara. ....	32
Tabla 2. Parámetros Cartográficos y Fotogramétricos.....	37
Tabla 3. Número de ortofotos por misión.....	38
Tabla 4. Cuadro Comparativo de Software.....	42
Tabla 5. Coordenadas puntos GPS referenciados.....	46
Tabla 6. Coordenadas puntos GPS imagen georreferenciada.....	47
Tabla 7. Distancia entre coordenadas tomadas en campo y las arrojadas por el MDT.....	48
Tabla 8. Error cuadrático medio en cada misión.....	48
Tabla 9. Resumen de áreas unidades de cobertura y uso del suelo. ....	49

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. GENERACIÓN DE NUBE DE PUNTOS Y MAPA DE TEXTURA 3D. ....	61
ANEXO B. CREACIÓN MODELO DIGITAL DEL TERRENO EN 2D EN QGIS. ....	71
ANEXO C. CÓDIGO PYTHON PARA MEDIR DISTANCIA ENTRE DOS PUNTOS GPS. ....	73
ANEXO D. CÓDIGO PYTHON PARA MEDIR DISTANCIA ENTRE DOS PUNTOS GPS. ....	74
ANEXO E. CREACIÓN DE GEODATABASE .....	76

## RESUMEN

**TITULO:** DESARROLLO DE UNA SOLUCIÓN DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN EN UN SISTEMA SIG PARA LA APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE CORINE LAND COVER BASADA EN IMÁGENES DE DRONES.\*

**AUTOR:** ELIAN MARGARITA HENRIQUEZ AVILEZ \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Drones, modelo digital del terreno, sistema de información geográfica, corine land cover.

### DESCRIPCIÓN:

Se recomienda un método y una primera versión de una solución que permite adaptar la metodología Corine Land Cover al uso de drones y herramientas TIC para un futuro servicio de apoyo al monitoreo de los bosques y el manejo ambiental comunitario para el desarrollo sostenible acorde a los lineamientos del programa REDD+. El método señala los principales pasos a seguir cuando se usa este tipo de metodología, desde el ángulo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones incluyendo: la planeación de las operaciones de campo, el proceso de captura de información, el tratamiento de las imágenes hasta obtener las coberturas vegetales de manera coherente con la metodología del Corine Land Cover. La solución desarrollada consiste en el uso de un drone con cámara, el uso de herramientas especializadas en procesamiento de imágenes hasta llegar a las correspondientes al Corine Land Cover, a su almacenamiento en GIS y una aplicación de consulta para usuarios interesados en observar las coberturas vegetales, dejando abierta la posibilidad de la intervención de los ingenieros ambientales y forestales y de otros actores en una solución cada vez más madura. El trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto “Plataforma IoT para el desarrollo de servicios inteligentes de apoyo al monitoreo ambiental” del CentroTic de la Universidad Industrial de Santander. Por primera vez la metodología Corine Land Cover, basada originalmente en imágenes satelitales es puesta a prueba con imágenes tomadas con ayuda de drones para comprobar que esta nueva adaptación representa nuevas potencialidades para las soluciones TIC de apoyo a la vigilancia de los bosques.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director Homero Ortega Boada Dr. en Ingenierías

## ABSTRACT

**TITLE:** DEVELOPMENT OF A CAPTURE AND INFORMATION STORAGE SOLUTION IN A GIS SYSTEM FOR THE APPLICATION OF A CORINE LAND COVER METHODOLOGY BASED ON DRONE IMAGES. \*

**AUTHOR:** ELIAN MARGARITA HENRIQUEZ AVILEZ\*\*

**KEYWORDS:** Unmanned aerial vehicle, digital ground model, geographic information system, corine land cover.

### DESCRIPTION:

This paper recommends a method and a first version of a solution that allow adapt the Corine Land Cover methodology to the use of drones and TIC tools for a future forest monitoring task to support the community environmental management initiative which is part of the REDD+ program for sustainable development.

The work is done from the information technologies perspective and the main steps include: field operations planning, data acquisition process and image processing to obtain vegetable coverings in a consistent manner with the Corine Land Cover methodology. The developed solution involves the usage of a drone with a camera and other local specialized image processing tools, the usage of Geographic Information System (GIS) and an application for consulting purposes. Both methods and solutions are opened to the intervention of environmental and forests engineers as well as other actors for future improvements. This work has been developed as part of the project "Plataforma IoT para el desarrollo de servicios inteligentes de apoyo al monitoreo ambiental" of the Center Technology of the information and communication of the Universidad Industrial de Santander. For the first time, the Corine Land Cover methodology, based originally in satellite images, this is tested taking images by drones with the purposed to demonstrate the capabilities of this kind of adaptation for solutions TICs support for forest monitoring.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physics-Mechanics. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Director Homero Ortega Boada Dr. in Engineering

## INTRODUCCIÓN

Muchos organismos nacionales e internacionales realizan esfuerzos para impulsar el monitoreo comunitario de los bosques como estrategia para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Colombia juega un papel importante en esta tarea por ser considerado un pulmón del mundo por sus bosques, pero no se tiene suficiente control para prevenir su degradación.

En el curso del proyecto “Plataforma IoT para el desarrollo de servicios inteligentes de apoyo al monitoreo ambiental” del Centro Tic se determinó la necesidad de desarrollar un sub proyecto para estudiar la viabilidad técnica de adaptar la metodología Corine Land Cover (CLC) a una solución TIC de apoyo al monitoreo de bosques. El CLC es actualmente usada para realizar el inventario de las diferentes coberturas vegetales de la tierra aprovechamiento imágenes satelitales disponibles por diferentes medios. La adaptación propuesta para este trabajo consiste en usar imágenes tomadas desde drones ya que, según lo manifestado por organismos como la agencia alemana GIZ, las satelitales no brindan suficiente información para la toma ágil de decisiones con apoyo de la comunidad.

Como parte de este sub proyecto se planteó una estrategia metodológica para obtener las coberturas vegetales de manera que sea de utilidad para un futuro servicio de apoyo al monitoreo comunitario de los bosques. Esta estrategia consta de varias fases que van desde la planificación de vuelos, toma de imágenes, procesamiento de las imágenes in situ hasta el uso de QGIS para facilitar la participación de un ingeniero forestal experto en CLC para obtener las coberturas y almacenarlas en una Geodatabase. También se realizó un piloto en campo y en laboratorio para verificar la estrategia metodológica.

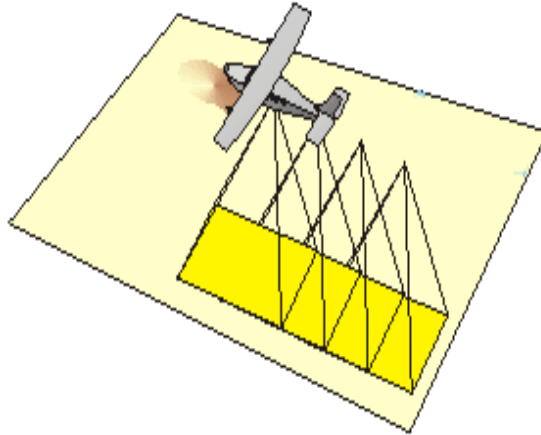
Como resultado, se logró comprobar la viabilidad y el potencial que tiene el uso de drones combinado con ciertos elementos de la metodología CLC apoyar las tareas de monitoreo de los bosques de una manera más confiable y económica.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. FOTOGRAMETRÍA AÉREA

Las fotos que se toman desde los drones pueden ser vistas como tales, pero también como vídeos, por eso se habla de fotogramas, término usado para referirse a cada una de las fotos que forma parte de un vídeo. Es bien sabido que la fotogrametría permite realizar mediciones a partir de los fotogramas. Para el caso que nos atañe, lo que se busca es lograr obtener, a partir de los fotogramas que resultan de una misión de vuelo de drone, el modelo digital del terreno (MDT). El MDT es una nube de puntos, que en el caso más sencillo combina la información fotográfica con la de georreferenciación y de profundidades del terreno. Para lograrlo, las misiones son programadas para para que los fotogramas sean tomados de manera perpendicular a la tierra, por ello se habla de ortofotos y representan el principal insumo para la aplicación de técnicas de restitución fotogramétrica junto con geometría proyectiva y visión estereoscópica para obtener la percepción de la tercera dimensión, tal como lo realiza de forma natural la visión humana [1] para obtener finalmente las profundidades de cada punto de esa nube. El MDT puede ser usado como insumo por herramientas adicionales de procesamiento de imágenes, por ejemplo, las herramientas que hoy compiten con la topografía para obtener las curvas de nivel de un terreno. Para el caso que nos atañe, lo que se busca es crear las condiciones para que un ingeniero forestal pueda apoyar las labores de identificación visual de las coberturas vegetales, mediante herramientas propias de un sistema de información geográfica (GIS). Por esa razón, el MDT es usado para producir lo que se conoce como ortomosaico del terreno que consiste en una foto 2D de todo el terreno de interés complementada con información de alturas y posicionamiento apta para ser guardada y procesada en GIS capaz de relacionar toda esta información en forma de capas.

**Figura 1. Modelo para captura de ortofotos. Referencia.**



Fuente. [http://www.catalonia.org/cartografia/Clase\\_07/Fotogrametria/Fotogrametria\\_index.html](http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_07/Fotogrametria/Fotogrametria_index.html)

Las herramientas de software disponibles permiten aplicar la fotogrametría y producir la información que requiere un SIG [2]. Sin embargo, no es perfecta debido a múltiples factores que entran en juego en el proceso de captura de información desde un dron. Es por eso que se requiere ir más allá del uso de herramientas de software

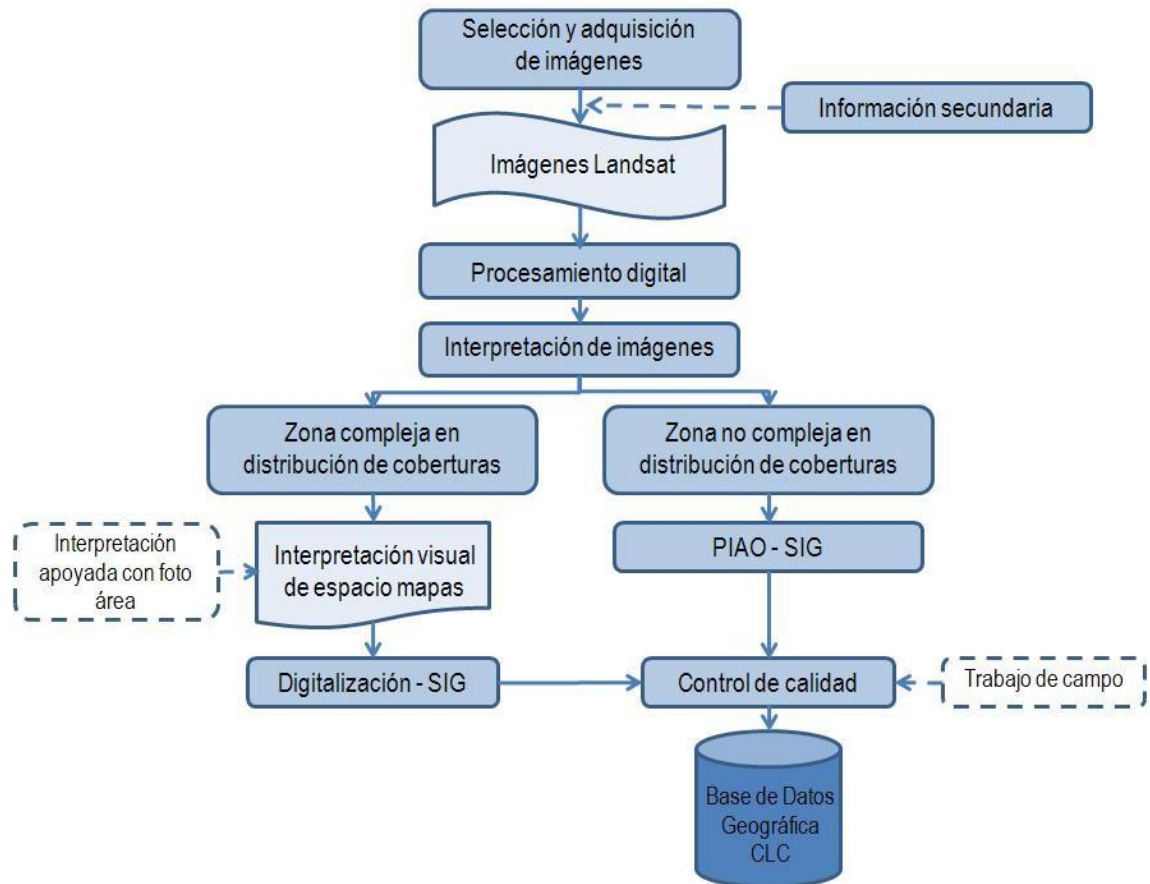
## **1.2. METODOLOGÍA CORINE LAND COVER**

Corine Land Cover (CLC) es una metodología la cual realiza el inventario de la cobertura de la tierra. La base de datos de Corine Land Cover Colombia permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.

El esquema metodológico Corine Land Cover contempla las siguientes etapas: adquisición y preparación de la información; análisis e interpretación de las

coberturas, verificación de campo, control de calidad y generación de la capa temática escala 1:100.000.

**Figura 2. Metodología Corine Land Cover. Referencia.**



Fuente. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>

La Nomenclatura o leyenda CLC europea es jerárquica y distingue 44 clases al tercer nivel, 15 en el segundo y 5 en el primero. La nomenclatura ha sido desarrollada con el fin de cartografiar todo el territorio. Los distintos niveles permiten la generalización de los datos y su análisis a distintas escalas [3].

La principal característica de la nomenclatura de cobertura adaptada para Colombia es permitir mapear todos los territorios.

La nomenclatura jerárquica tiene tres niveles principales, el primero, con cinco categorías, que indica las más grandes categorías de cobertura del territorio:

- Superficies Artificiales
- Áreas Agrícolas
- Bosques y áreas semi-naturales
- Zonas Húmedas
- Cuerpos de agua

El CLC adaptado para Colombia se puede observar en [4].

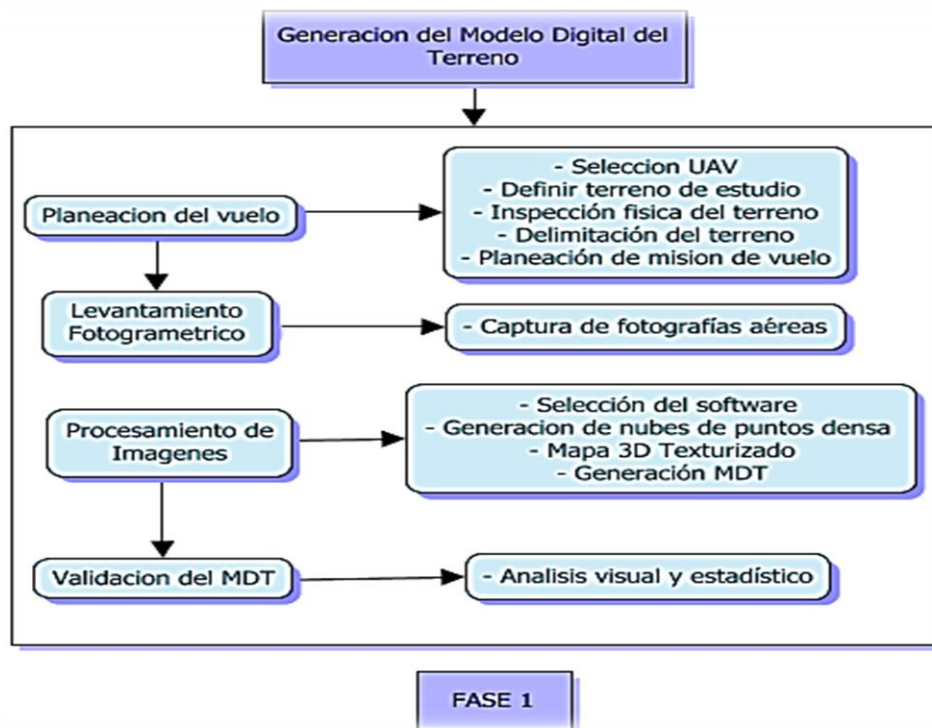
## 2. METODO PROPUESTO

En la presente sección se propone un método y una primera versión de una solución que permite adaptar la metodología Corine Land Cover al uso de drones y herramientas TIC para un futuro servicio de apoyo al monitoreo de los bosques. El método se divide en 2 fases: Generación del modelo digital del terreno y la distribución de cobertura vegetal adaptada a CLC.

El método consiste en los siguientes pasos:

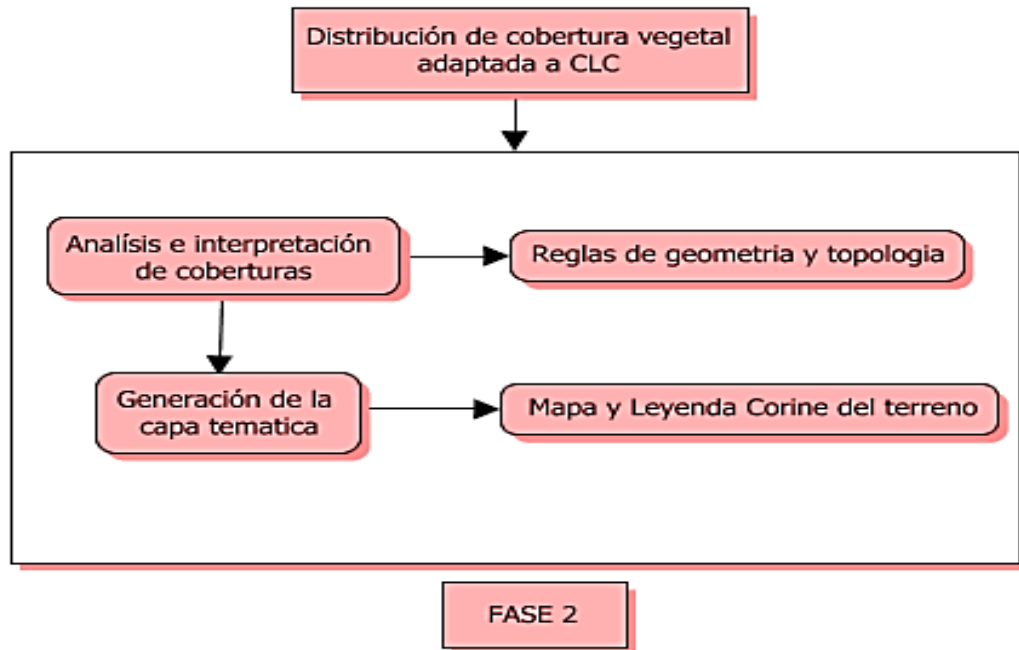
- Generación del modelo digital del terreno

**Figura 3. Método propuesto para generación del modelo digital del terreno.**



- Distribución de cobertura vegetal adaptada al Corine Land Cover

**Figura 4. Método propuesto para realizar la distribución de cobertura vegetal adaptada a CLC.**



## 2.1. SOLUCIÓN DE CAPTURA DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS USANDO UAV

El procedimiento utilizado para la captura de las ortoimágenes para la creación modelo digital del terreno contó con siete etapas:

- Definir UAV.
- Selección e inspección física del terreno.
- Delimitación del terreno.
- Planeación y diseño de las misiones de vuelo.
- Captura de las ortofotos aéreas.
- Captura de puntos GPS de referencia.

**2.1.1. Selección UAV.** Actualmente debido a la gran cantidad de plataformas aéreas consideradas UAV, se presentan diferentes maneras para clasificarlas. Estas pueden ser: por tamaño, por capacidad de carga, por altura de vuelo, por autonomía de vuelo o por tipo de misión, entre otras.

Para definir el UAV a utilizar se debe tener en cuenta el modo de vuelo de las plataformas multirrotor y las de ala fija. De estas dos plataformas se determina que, para espacios reducidos, registro fotográfico a baja altura o modelamiento 3D de objetos, las plataformas multirrotor son las apropiadas, mientras que el registro de grandes extensiones y vuelos a mediana y gran altura, las plataformas de ala fija presentan mayores ventajas.

**2.1.2. Selección e inspección física del terreno.** El reconocimiento e inspección del sitio de estudio, brinda al operador del sistema *UAV* un perímetro limitado a la hora de realizar el despegue. Para ello se debe tener siempre en consideración los límites de altura de vuelo, estructuras que puedan presentar un peligro para el “drone” y definir zonas seguras de despegue y aterrizaje.

Según el manual del usuario de la mayoría de los drones se recomienda:

- Evitar obstáculos como líneas eléctricas de alta tensión, altura de los árboles y masas de agua.
- Reducir al mínimo las interferencias evitando zonas con altos niveles de electromagnetismo, incluidos repetidores y torres de radiotransmisión.
- Condiciones climáticas adversas, como viento a una velocidad superior a 10m/s, nieve, lluvia y bruma industrial.

En [5] se presentan las consideraciones propuestas por la Aeronáutica Civil de Colombia a la fecha de conclusión de este trabajo.

**2.1.3. Delimitación del terreno.** Para determinar el área total de la zona y poder programar las rutas de vuelo se debe realizar una delimitación del predio, para ello, se toman fotografías en punto claves de los linderos las cuales se sobreponen en Google Earth y se extraen las coordenadas confiables para esos linderos.

**2.1.4. Planeación de misiones de vuelo.** Una vez realizada la delimitación de terreno, es necesario llevar a cabo la planeación de las misiones de vuelo, siguiendo la metodología que se describe a continuación:

- Determinar la escala cartográfica requerida.
- Calcular la altura de vuelo
- Definir solapamiento longitudinal, solapamiento transversal.
- Distribuir el área delimitada en misiones de vuelo.
- Determinar la ruta de cada una de las misiones de vuelo
- Generar la nube de puntos GPS de cada ruta.

Por la perspectiva cónica y el efecto ondulante del terreno cada punto dentro de una ortofoto tiene su propia escala, se debe escoger una escala media para cada fotograma.

Para determinar la altura del vuelo se debe tener en cuenta los parámetros de la cámara usada y la resolución cartográfica requerida.

$$\frac{f}{H} = \frac{1}{E} \quad (1)$$

Donde,

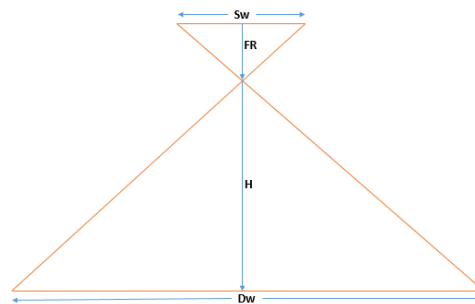
$f$  representa la distancia focal de la cámara usada.

$H$  es la altura media del vuelo.

$E$  es el denominador de escala.

La distancia de muestreo llamado en inglés *Ground Sampling Distance* (GSD), es usado en fotografía digital para hacer referencia a la distancia entre el centro de píxeles adyacentes medido desde tierra. Con un valor alto de distancia de muestreo, menor será la resolución espacial de la imagen y los detalles en la imagen serán menos visibles. Por lo tanto, el valor de la distancia de muestreo está relacionado a la altura del vuelo [6]. Para calcular el GSD, el ancho del suelo capturado y el largo de la imagen en píxeles se utilizan las siguientes formulas:

**Figura 5. Diagrama del campo de visión del sensor.**



SW: Ancho del sensor de imagen de la cámara (mm)

FR: Distancia focal de la cámara (mm)

H: Altura de vuelo (m)

GSD: Tamaño de pixel del suelo (cm/pixel)

DW: Ancho del suelo capturado

DH: Largo del suelo capturado

ImW: Ancho de la imagen en píxeles

imH: Largo de la imagen en píxeles

$$\frac{SW}{FR} = \frac{DW}{H} \quad (2)$$

$$DW = GSD * imW \quad (3)$$

$$DH = GSD * imH \quad (4)$$

De las anteriores ecuaciones obtenemos que;

$$GSD = \frac{Sw * H * 100}{FR * imW} [cm/pixel] \quad (5)$$

$$DW = GSD * imW [m] \quad (6)$$

$$DH = GSD * imH [m] \quad (7)$$

El área delimitada en misiones de vuelo se escoge en función del tiempo máximo del vuelo del UAV.

Se deben crear rutas de vuelo teniendo en cuenta zona de despeje, aterrizaje, punto de inicio y final de la toma de fotogramas.

Una vez construidas las misiones de vuelo, durante cada misión se debe cargar al controlador de vuelo la nube de puntos generada. Para el piloto realizado se usó en este caso la aplicación DJI Assistant. Una vez que el plan se envía al controlador de vuelo, se ejecuta el vuelo de manera autónoma.

## **2.2. GENERACIÓN MODELO DIGITAL DEL TERRENO.**

El procedimiento para la generación del modelo digital del terreno consta de dos etapas:

- Procesamiento de imágenes.
- Generación del modelo digital del terreno, análisis y validación de la calidad.

**2.2.1. Selección del software.** Existen diferentes soluciones de software comercial para generar modelos digitales del terreno a partir de imágenes capturadas desde vehículos aéreos no tripulados (UAV). Es necesario escoger un software capaz de llevar a cabo técnicas de restitución fotogramétrica para generar mapas en 3D.

**2.2.2. Procesamiento de nube de puntos y generación de mapas 3D.** El análisis y la construcción de los productos cartográficos parten de una secuencia de pasos en cascada hasta llegar a la construcción del ortomosaicos y otros productos derivados (nubes de puntos, ortomosaicos, modelos 3D). De acuerdo al software escogido, se deberá crear la secuencia de pasos para obtener el modelo 3D.

Un ortomosaico es una composición de imágenes a la que se le han corregido todos los errores geométricos para que cada punto en el terreno sea observado desde una perspectiva perpendicular.

Se debe tener en cuenta que la cantidad de puntos generados post-procesamiento de las imágenes obtenidas por el UAV es una variable importante al momento de la visualización de la nube de puntos y el proceso previo a la obtención del modelo digital del terreno, debido a que está ligado directamente con el tiempo que se utiliza dependiendo a los que se desee realizar. Es por esto, que el procesamiento de grandes cantidades de puntos puede tomar un tiempo considerable y el gasto de recursos de la maquina donde se esté realizando el proceso.

**2.2.3. Validación del modelo digital del terreno.** Un análisis visual del modelo permitirá una evaluación global de la calidad del mismo, especialmente si se trata de un MDT con alta resolución. Puede compararse una visualización 3D del modelo con una fotografía (o directamente en el campo) y tratar de descubrir puntos erróneos.

Se verificaron puntos GPS de referencia sobre el modelo fotogramétrico donde el porcentaje de error suele darse en función del desfase entre el punto GPS de referencia y el que marca la imagen georreferenciada a partir de un análisis visual. Se decidió tomar 4 puntos GPS por cada ortomosaico ya que el número de puntos depende de la escala y el nivel de solapamiento de las fotos. Entre mayor sea la escala, más puntos de referencia. Para nuestro caso utilizamos un número bajo de puntos ya que es un solapamiento longitudinal alto y escala baja.

La validación será aceptada o rechazada si cumple o no el criterio de calidad que el error medio cuadrático no debe sobrepasar la sensibilidad del receptor GPS/GLONASS, la cual es de 1,5m.

### **2.3. OBTENCIÓN COBERTURA VEGETAL**

En la identificación de coberturas se emplea la Metodología Corine Land Cover la cual permite la zonificación de las coberturas de la tierra donde se proporciona información de las características temáticas que el país requiere para el conocimiento de los recursos naturales para la evaluación de las formas de ocupación y apropiación del espacio geográfico. (IDEAM 2010). Esta identificación de coberturas permite realizar un proceso de planeación ordenado, sistemático y estandarizado en las características de las coberturas encontradas para la zona de estudio.

El procedimiento a seguir para obtener las coberturas consiste en la unión de esfuerzos entre un ingeniero forestal con experiencia en CLC y el personal de TIC. El primero se apoya en la observación visual de las imágenes del ortomosaico para identificar zonas con coberturas homogéneas y asignarles a ellas un identificador acorde con la metodología CLC. El segundo con el software QGIS para crear una

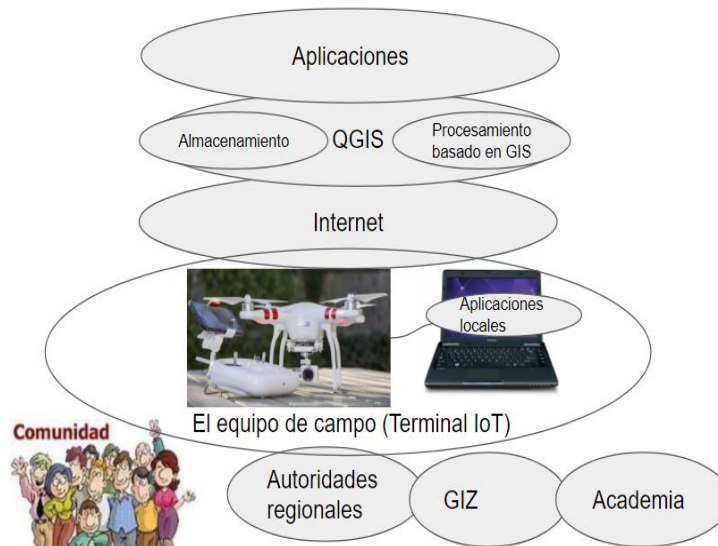
nueva capa al ortomosaico con todas las zonas identificadas y debidamente codificadas.

Específicamente la prueba piloto se enfocará hasta el nivel 3 del CLC, se decidió tomar trabajar hasta este nivel para demostrar la viabilidad del uso de imágenes de drones, pero para validar el CLC en una solución más real es necesario complementar el análisis con personal en campo

### 3. EXPERIMENTO REALIZADO

#### 3.1. MODELO DE LA SOLUCIÓN

Figura 6. Modelo de la solución Tic.



Este modelo es la solución que se busca en el largo plazo de acuerdo al modelo que se desarrolla en el marco del proyecto “Plataforma IOT” para el desarrollo de servicios inteligentes de apoyo al monitoreo ambiental. El servicio se brindará a autoridades regionales, empresas internacionales como GIZ y a la academia. Uniendo el equipo de campo con los usuarios que necesiten consultar a través de una geodatabase de QGIS las imágenes de cobertura que fueron procesadas en el software Agisoft PhotoScan y que podrá ayudar a varias aplicaciones.

## **3.2. SOLUCIÓN DESARROLLADA PARA DEMOSTRAR VIABILIDAD**

**3.2.1. Los usuarios.** Los esfuerzos se destinaron a dos tipos de usuarios: el técnico, que trabaja en el proceso de recolección y tratamiento de la información; el usuario que desea consultar las imágenes de cobertura.

**3.2.2. El equipo de campo.** El equipo de campo requerido consiste en: un dron dotado apropiadamente, se recomienda contar con más de 2 baterías de repuesto y un computador con el software adecuado para el procesamiento de las imágenes.

**3.2.2.1. El UAV y su dotación.** Para el proceso de captura de imágenes aéreas se usó un UAV de tipo ala rotatoria debido a que los motores se encuentran equidistantes al centro de gravedad de la aeronave lo cual le brinda una mayor precisión, simpleza y eficacia a la hora de realizar una ruta de vuelo que uno de ala fija, en contraprestación de tener menor autonomía de vuelo que el otro.

En el desarrollo de la investigación, se utilizó un Phantom 3 Professional; se seleccionó este vehículo principalmente porque cuenta con un controlador de vuelo que permite la ejecución de rutas de vuelo autónomas. Cuenta con un sistema de posicionamiento global híbrido GPS/GLONASS con una sensibilidad horizontal de  $\pm 1.5[m]$  y una sensibilidad vertical de  $\pm 0.5[m]$ . En la tabla 1 se presentan las especificaciones de la cámara del Phantom 3. Su autonomía de vuelo asciende a los 23 minutos, permitiendo cubrir un área máxima de 30 hectáreas en un procedimiento fotogramétrico. Adicionalmente se cuenta con una batería de repuesto y una Tablet para visualizar el recorrido del dron.

**Tabla 1. Especificaciones técnicas cámara.**

Ancho del Sensor	6.3 mm
Resolución	12.4 Megapíxeles
Apertura Focal	FOV 94°
Distancia Focal	4 mm
Rango ISO	100 – 1600 (foto)
Velocidad del Obturador	8s – 0.125 ms
Ancho de la Imagen	4000píxeles
Alto de la Imagen	3000 píxeles

**Figura 7. Phantom 3 Professional. Referencia**



Fuente. <http://www.drones.openopin.com/marcas/dji/dji-phantom-3-pro/>

**3.2.2.2. El computador usado al lado del drone y las aplicaciones requeridas.**

Para el tratamiento de imágenes obtenidas del drone se necesita contar con software especializado, para crear el modelo digital del terreno. Se recomienda utilizar el software Agisoft PhotoScan ya que permite llevar a cabo diferentes procesos en la generación de modelos de elevación y se caracteriza por su bajo costo económico para la academia. En esta etapa se genera la nube de puntos, modelo texturizado 3D del terreno y el modelo digital del terreno.

**3.2.3. Las Base de datos en QGIS.** La Geodatabase es una colección de sistema de archivos que se constituye en el almacenamiento físico de la información geográfica.

Una GDB sirve para almacenar y gestionar cartográfica de una forma más óptima que los modelos de ficheros (ej. shapefile) otorgando una mayor organización y capacidad para definir comportamientos en nuestro modelo de datos [7].

Con la ayuda de un ingeniero forestal se crean las capas para la generación de las coberturas vegetales, en donde se elaboran tablas directamente relacionadas con la leyenda Corine Land Cover y posteriormente estas tablas y capas de cobertura se agregan a una base de datos llamada SpatialLite.

**3.2.4. Aplicación de visualización.** Como primera versión del proyecto, la visualización del almacenamiento de la información de los resultados de la metodología adaptada para drones se da a través directamente de la herramienta que brinda la geodatabase SpatialLite de QGIS.

Se logra visualizar los atributos y códigos definidos en la metodología Corine Land Cover referente a la cobertura del suelo, así como la imagen del modelo digital del terreno de la zona piloto.

## 4. RESULTADOS DEL PILOTO REALIZADO

Se realizó una prueba de campo para probar todo lo propuesto anteriormente en donde se presentan resultados de la validación del método y la solución.

### 4.1. ZONA SELECCIONADA PARA EL PILOTO

La zona piloto está ubicada en la sede del SENA Agropecuario ( $7^{\circ}28'13''N$  -  $73^{\circ}12'12''O$ ) ubicada en la vereda de Aguas Calientes del municipio del Playón, departamento de Santander; la cual es un centro donde se realizan cursos prácticos de explotaciones diversificadas con el que se establecieron las unidades productivas tanto de la parte pecuaria como agrícola. Se escogió este lugar ya que cuenta con un variado uso del suelo, contando con lugares urbanizados, vegetación secundaria alta, bosques densos, plantaciones forestales, entre otros; lo que lo hace un lugar idóneo para trabajar sobre la presente investigación.

**Figura 8. El playón-Santander. Referencia**



Fuente. [https://es.wikipedia.org/wiki/El\\_Playón\\_\(Santander\)](https://es.wikipedia.org/wiki/El_Playón_(Santander))

## 4.2. INSPECCIÓN FÍSICA DEL TERRENO

Teniendo en cuenta el manual del usuario del Phantom 3 [8] se evaluaron las estructuras que podrían representar un peligro para el dron y se detectaron líneas eléctricas de media tensión con una altura de 15 metros y árboles con una altura aproximada de 20 metros de altura; como se muestra en la siguiente panorámica.

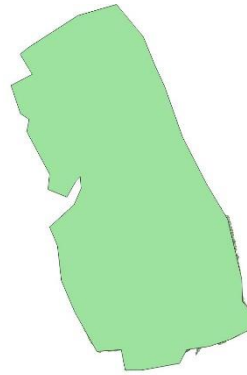
**Figura 9. Panorámica del predio.**



## 4.3. DELIMITACIÓN DEL TERRENO

Para determinar el área total de la zona a trabajar se realizó una delimitación del predio, para ello, se capturaron las coordenadas de los linderos y se delimito el terreno, dando un área total de la zona piloto de 62,257 hectáreas.

**Figura 10. Área de la zona piloto**



#### **4.4. PLANEACIÓN DE MISIONES DE VUELO**

Una vez realizada la delimitación de terreno, se llevó a cabo la planeación de las misiones de vuelo, siguiendo la metodología que se describe a continuación:

- ✓ Determinar la escala cartográfica requerida.
- ✓ Calcular la altura de vuelo, solapamiento longitudinal, solapamiento transversal.
- ✓ Distribuir el área delimitada en misiones de vuelo, en función del tiempo máximo de vuelo del UAV.
- ✓ Determinar la ruta de cada una de las misiones de vuelo
- ✓ Generar la nube de puntos GPS de cada ruta.

Se estableció que la escala cartográfica media para esta investigación será de 1:5000.

Luego se determinó la altura de vuelo, teniendo en cuenta los parámetros de la cámara usada y la resolución cartográfica requerida.

$$\frac{20 * 10^{-3}}{H} = \frac{1}{5000}$$

Calculando H;

$$H = 100 [m]$$

Ahora se calcula el área del terreno que se puede representar en un fotograma.

Calculando el GSD;

$$GSD = 3,937 [cm/pixel]$$

Calculando DW y DH;

$$DW = 157,5 [m]$$

$$DH = 118,12 [m]$$

De lo anterior, se puede deducir que cada orto foto tomada abarca un área de 18604 metros cuadrados.

Los parámetros cartográficos y fotogramétricos se describen en la tabla que se muestra a continuación:

**Tabla 2. Parámetros Cartográficos y Fotogramétricos**

ZONA PILOTO						
MISIÓN	ALTURA (m)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	ÁNGULO DE INCIDENCIA DE LA CAMARA	SOLAPAMIENTO TRASNVERSAL	SOLAPAMIENTO LONGITUDINAL	TIEMPO DE VUELO (min)
1	100	8	-90°	50	70	7
2	100	8	-90°	50	70	6,69
3	100	8	-90°	50	70	4,85
4	100	8	-90°	50	70	5,87

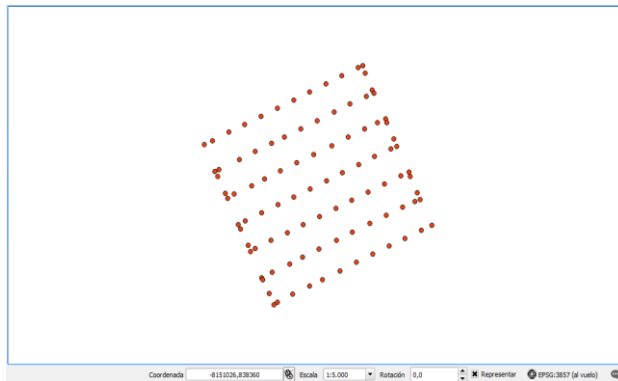
Con el área abarcada por cada fotograma, el solapamiento longitudinal y transversal y el área a cubrir por cada misión de vuelo se encontraron el número de ortofotos necesarias para realizar el levantamiento, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3. Número de ortofotos por misión.**

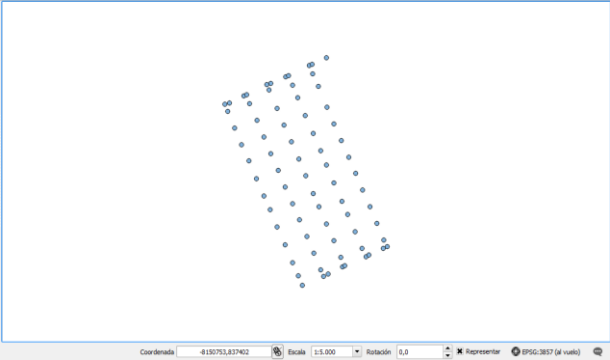
Misiones	Numero de Ortofotos
1	97
2	75
3	87
4	92
Total	351

Las rutas de vuelo planificadas en cada misión se realizaron como se muestran a continuación:

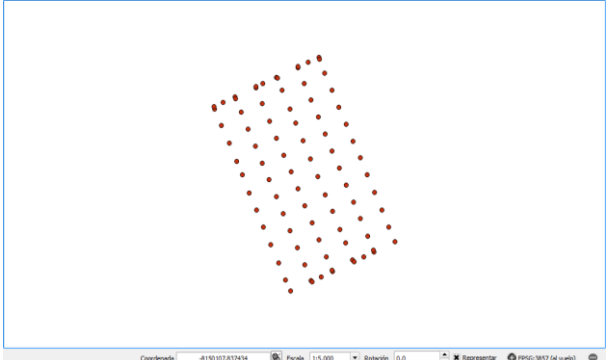
**Figura 11. Misión 1**



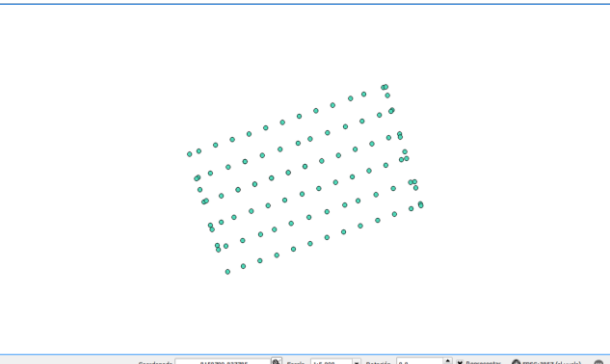
**Figura 12. Misión 2.**



**Figura 13. Misión 3.**



**Figura 14. Misión 4.**



**Figura 15. Área de cada misión.**



La cámara fotográfica, en todo momento tendrá un ángulo de incidencia de  $90^\circ$  con respecto al terreno y sin aplicación de zoom; en cuanto al ajuste de contraste de la cámara se realiza de forma manual antes de realizar el vuelo y dependiendo de las condiciones de luminosidad del día.

El Phantom 3 tiene una restricción de tiempo de vuelo de 23 minutos, pero se debe tener en cuenta el tiempo de la maniobra de despegue y aterrizaje, donde la velocidad máxima en ascenso es de 5m/s y la velocidad máxima en descenso es de 3m/s; pero en los datos experimentales observamos que es un valor estimado ya que aproximadamente la velocidad máxima con la que asciende el UAV es de 3m/s y con la que desciende es de 1,5 m/s. Teniendo en cuenta estos datos el UAV toma aproximadamente 3 minutos para ascender y descender, dejando solamente 20 minutos para el vuelo. Para mayor seguridad se harán vuelos de máximo 14 minutos por misión.

#### **4.5. EJECUCIÓN DEL VUELO**

Una vez construidas las misiones de vuelo, durante cada misión se cargó al controlador de vuelo la nube de puntos generada por la misma a través de la

aplicación DJI Assistant. Una vez que el plan se envió al controlador de vuelo, se ejecutó el vuelo de manera autónoma.

Se utilizó la aplicación DJI GO para supervisar en tiempo real las condiciones del UAV durante el vuelo, así como para validar la trayectoria que seguía, además de sus datos telemétricos.

#### **4.6. MODELO DIGITAL DEL TERRENO**

El procedimiento para la generación del modelo digital del terreno contó con dos etapas:

- Procesamiento de imágenes.
- Generación del modelo digital del terreno, análisis y validación de la calidad.

**4.6.1. Selección del software.** Se realizó un análisis de los diferentes softwares comerciales que se utilizan para generar modelos digitales del terreno a partir de imágenes capturadas desde vehículos aéreos no tripulados (UAV). La ponderación para la selección se da de la siguiente manera, muy bueno (4), bueno (3), regular (2), malo (1).

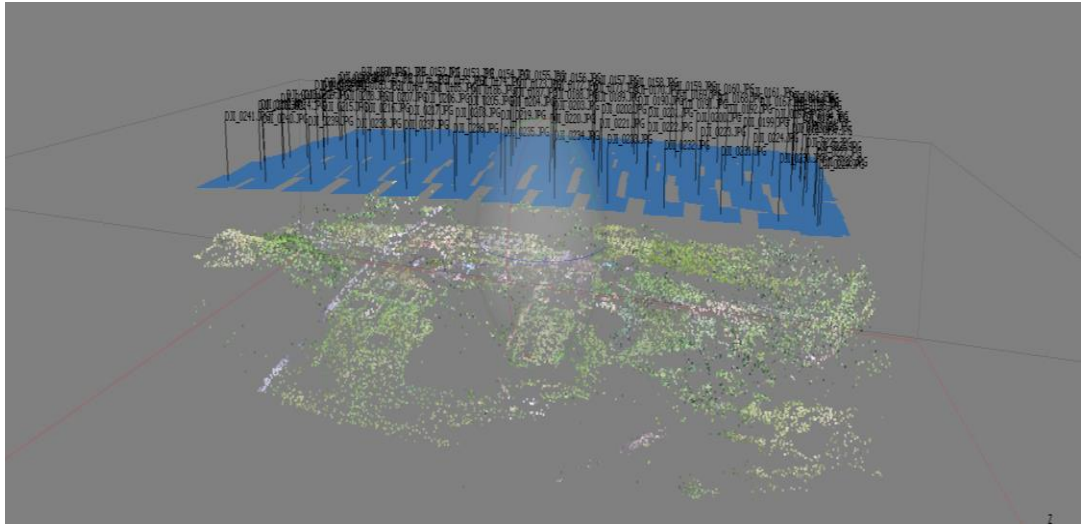
**Tabla 4. Cuadro Comparativo de Software.**

<b>Características</b>	<b>Agisoft PhotoScan</b>	<b>Pix4D</b>	<b>Erdas Imagine</b>	<b>PhotoModeler Scanner</b>
Sistemas Operativos soportado	Muy bueno	Malo	Malo	Malo
Costo (licencia)	Muy bueno	Regular	Bueno	Regular
Flexibilidad	Bueno	Regular	Regular	Regular
Funcionalidad	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Requisito estación de trabajo	Bueno	Malo	Regular	Regular
Ponderado	17	9	11	10

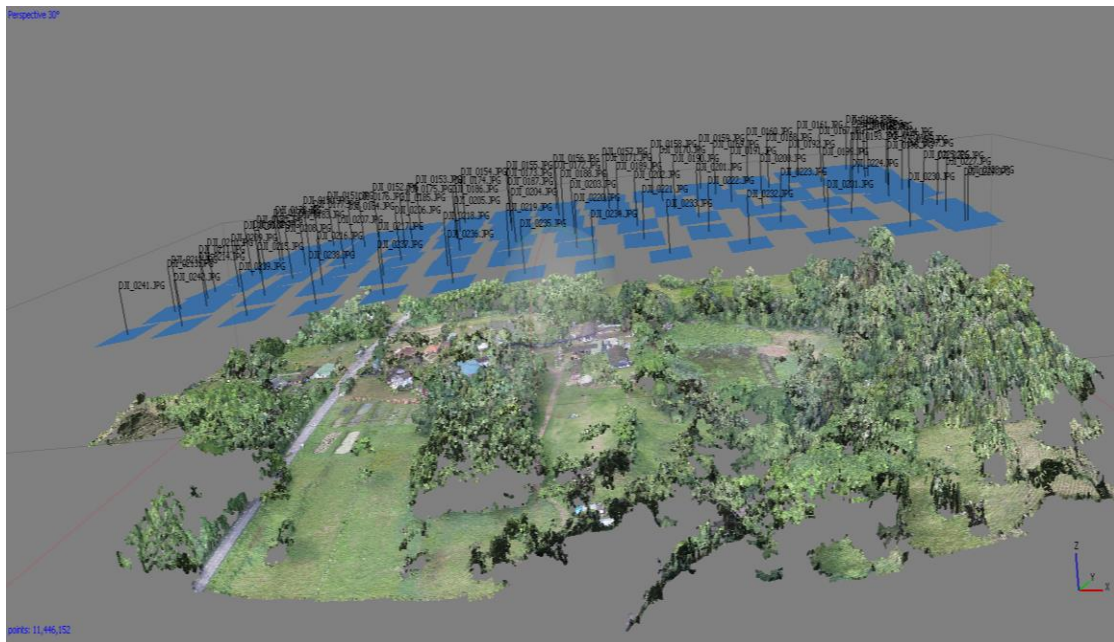
Se tomó la decisión de utilizar el software Agisoft PhotoScan para realizar la generación de mapas en 3D, el cual permite llevar a cabo diferentes procesos en la generación de modelos de elevación y se caracteriza por su bajo costo económico para la academia. En versión profesional, tiene la facultad de implementar scripts en Python, utilizar la unidad de procesamiento gráfico, ser usado en un servidor o clúster en los diferentes sistemas operativos y procesar imágenes multiespectrales.

**4.6.2. Procesamiento de nube de puntos y generación de mapas 3D.** Una vez capturadas las imágenes, se realizó el procesamiento de imágenes para cada misión por separado, obteniendo así 4 formatos de puntos de nubes densa y 4 formatos de mapas 3d texturizados. Los cuales fueron utilizados luego para generar el ortomosaico final con su modelo digital del terreno. El paso a paso de la creación de la nube de puntos densa y mapa 3D texturizado se encuentra en el anexo A.

**Figura 16. Nube de puntos densa Misión 4.**



**Figura 17. Mapa 3D texturizado Misión 4.**



**Figura 18. Modelo digital del terreno misión 4.**



Luego de tener el modelo digital de las 4 misiones se procedió en QGIS a unir todos los ortomosaicos para crear un orto mapa, este procedimiento se encuentra en el anexo B, obteniendo así el siguiente modelo digital de terreno de la zona piloto:

**Figura 19. Modelo digital del terreno de zona piloto.**



El principal problema presentado durante la generación de los modelos digitales del terreno consistía en la aparición de un desfase aleatorio entre los fotogramas causando una alineación incompleta de éstos; observando detalladamente las imágenes desfasadas sobre las que se originó el error de alineación, se pudo apreciar que en dichos fotogramas había pocos elementos de referencia que permitieran su alineación.

Para solucionar este inconveniente, se aumentó el solapamiento transversal a un 60%, con el fin de entregarle más elementos de referencia sobre la misma área al algoritmo de restitución fotogramétrica.

#### 4.7. VALIDACIÓN DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO

Para validar el modelo digital del terreno se tomaron los puntos GPS de referencia y los que marca la imagen georreferenciada. En las siguientes tres tablas se observarán los valores de cada tabla.

**Tabla 5. Coordenadas puntos GPS referenciados**

Misiones	Puntos	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
1	1	7°30'19.67"N	73°12'55.99"O
	2	7°30'17.98"N	73°12'57.75"O
	3	7°30'19.46"N	73°13'2.06"O
	4	7°30'25.25"N	73°13'4.33"O
2	5	7°30'13.92"N	73°12'57.35"O
	6	7°30'11.91"N	73°12'55.90"O
	7	7°30'11.69"N	73°12'53.08"O
	8	7°30'9.53"N	73°12'51.66"O
3	9	7°30'8.24"N	73°12'55.52"O
	10	7°30'4.11"N	73°12'58.68"O
	11	7°30'9.97"N	73°13'0.48"O
	12	7°30'15.27"N	73°12'59.59"O
4	13	7°30'1.99"N	73°12'51.57"O
	14	7°30'6.17"N	73°12'51.87"O
	15	7°30'4.85"N	73°12'55.52"O
	16	7°29'57.49"N	73°12'56.12"O

**Tabla 6. Coordenadas puntos GPS imagen georreferenciada.**

Misiones	Puntos	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
1	1	7.50546	- 73.21556
	2	7.50500	- 73.21604
	3	7.50540	- 73.21724
	4	7.50702	- 73.21787
2	5	7.50387	- 73.21594
	6	7.50331	- 73.21553
	7	7.50325	- 73.21475
	8	7.50265	- 73.21434
3	9	7.50229	- 73.21543
	10	7.50115	- 73.21630
	11	7.50278	- 73.21680
	12	7.50424	- 73.21655
4	13	7.50055	- 73.21432
	14	7.50171	- 73.21441
	15	7.50134	- 73.21543
	16	7.49931	- 73.21558

Para calcular la distancia entre las coordenadas geográficas tomadas en campo y las obtenidas a partir del MDT georreferenciado se usó el algoritmo de Vicenty, considerando el modelo geodético WGS84, implementado en lenguaje Python. El código se encuentra en el anexo C.

**Tabla 7. Distancia entre coordenadas tomadas en campo y las arrojadas por el MDT.**

Misión	Puntos	Distancia en (m) entre los puntos
1	1	0.559621
	2	0.644495
	3	0.629776
	4	0.682278
2	5	1.105187
	6	0.307184
	7	0.685938
	8	1.144882
3	9	0.866301
	10	0.926624
	11	1.173724
	12	0.357940
4	13	0.631857
	14	0.469841
	15	1.174795
	16	1.269731

**Tabla 8. Error cuadrático medio en cada misión.**

Misión	Error cuadrático medio (m)
1	0.6306
2	0.8799
3	0.8824
4	0.9503

En la tabla 8, se puede observar que el error medio cuadrático de cada misión está por debajo de la sensibilidad del receptor GPS/GLONASS la cual es del 1,5m. Es decir, el modelo digital realizado es válido.

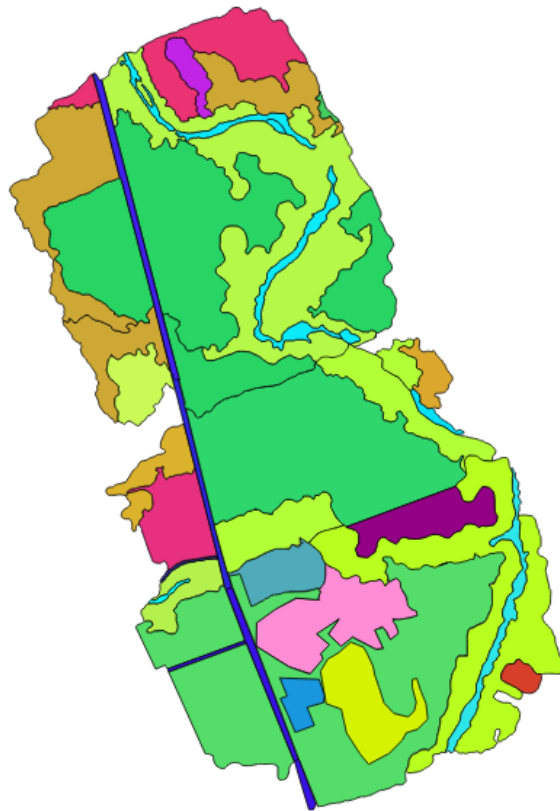
#### 4.8. COBERTURA VEGETAL ZONA PILOTO

De acuerdo a las reglas de geometría y topología del anexo D y teniendo en cuenta el nivel 3 de Bosque y áreas semi-naturales de la leyenda CLC [4], a una escala de 1:5000, se obtienen las unidades de cobertura y usos del suelo estimado para cada una de las unidades que se presentan en la tabla 9.

**Tabla 9. Resumen de áreas unidades de cobertura y uso del suelo.**

Leyenda	Clase	Codigo	Cobertura	Hectareas
1.Territorios Artificializados	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	■ 1.2.2	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2752
	Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	■ 1.4.2	Instalaciones recreativas	2.1074
2.Territorios Agrícolas	Cultivos transitorios	■ 2.1.1	Otros cultivos transitorios	1.1776
	Áreas Agrícolas Heterogéneas	■ 2.43	Mosaico de pastos cultivos y espacios naturales	27.6662
		Pastos	■ 3.1.1	Pastos limpios
			■ 2.3.3	Pastos enmalezados
3.Bosques y áreas seminaturales	Bosques	■ 3.1.4	Bosque de galería y ripiario	17.4681
		■ 3.1.5	Plantación forestal	0.3869
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	■ 3.2.3	Vegetación secundaria	5.6220
5. Superficies de agua	Agua continentales	■ 5.1.1	Río	1.6581
		■ 5.1.4	Cuerpo de agua artificial	1.3622
TOTAL				62.2575

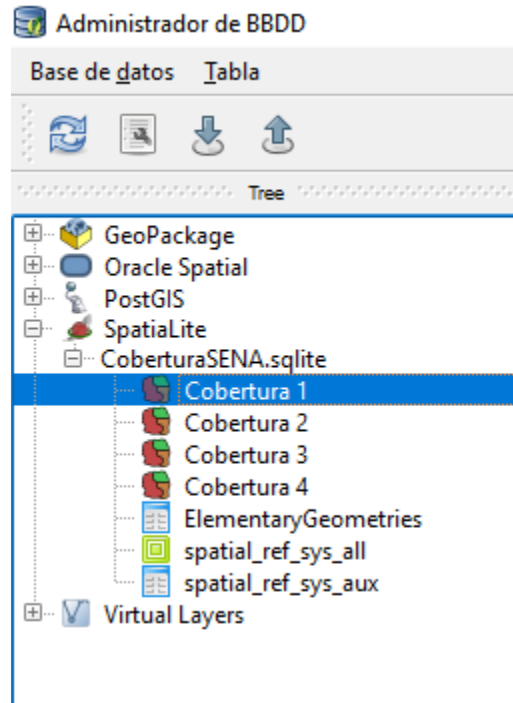
**Figura 20. Cobertura vegetal zona piloto.**



#### **4.9. BASE DE DATOS GEOGRÁFICA**

Se creó una base de datos soportada en SpatiaLite 3.16 donde se encuentra información referente a la cobertura de suelos almacenando los atributos y códigos definidos en la metodología Corine Land Cover, así como la imagen del modelo digital del terreno de la zona piloto. Su construcción se describe de forma detallada en el anexo E.

Figura 21. Geodatabase QGIS.



## 5. CONCLUSIONES

- Se logró demostrar que el uso de imágenes de drones con la metodología Corine Land Cover es viable, además es lo más recomendado para una solución de monitoreo comunitario de los bosques.
- El proceso de adquisición de las ortofotos con drones se logró observar que es muy ágil ya que se realizó la delimitación del predio y la ejecución de las misiones de vuelo en un tiempo de 6 horas; con una buena planeación y organización de las misiones de vuelo usando el UAV del caso se extrapoló y se obtuvo que se pueden realizar al día levantamientos fotogramétricos de hasta 200 hectáreas.
- El uso de drones para la metodología Corine Land Cover a una escala de 1:5000 permitió apreciar una mayor variedad de ecosistemas invisibles en la escala 1:100000 de la metodología tradicional, obteniendo así una zonificación del terreno más cercana a la realidad.
- El cambio del uso de imágenes satélites por el uso de imágenes de drones eliminó la necesidad de realizar correcciones atmosféricas y radiométricas a las imágenes.
- La verificación del modelo digital del terreno de la zona piloto basado en la revisión de puntos de referencia visuales sobre la imagen, señala que el error cuadrático medio se encuentra por dentro de la sensibilidad del receptor GPS/GLONASS, es decir que el MDT se considera válido.
- Se construyó una base de datos geográfica en *SpatiaLite* con el fin de consolidar la información obtenida de la metodología CLC adaptada con imágenes de alta resolución para facilitar la divulgación de los resultados.

## 6. RECOMENDACIONES

- Según la experiencia obtenida en campo, se debe definir una ruta crítica de vuelo durante la planeación para agilizar los procedimientos fotogramétricos. Una correcta planificación debe incluir el número de misiones, velocidad y altura de vuelo dependiendo de la escala deseada, inclinación de la cámara, solapamiento longitudinal y transversal.
- Se debe tener en cuenta la elección de la fecha con sus condiciones meteorológicas y ambientales previstas; condiciones desfavorables pueden afectar la operatividad del sistema y degradar el alcance y precisión esperada. En general, el vuelo no debe realizarse cuando exista niebla, nieve, humo, polvo, zonas inundadas o factores medio ambientales que dificulten o degraden la precisión del sensor. Se deben tomar las imágenes en horario diurno.
- Los drones o UAV más usados para cartografía, al menos en extensiones más o menos grandes, son los de ala fija, por su mayor estabilidad, mayor velocidad de crucero y mayor autonomía de vuelo. Si se desea utilizar un UAV multirrotores se recomienda escoger alguno que tenga su cámara sobre una plataforma de giro estabilizadas y sea aislante de vibraciones para evitar errores en las fotografías.
- Las cámaras deben contar con lentes de distancia focal menor a 10 mm, distancia focal real no en el formato equivalente de 35 mm, y apertura focal superior a  $75^\circ$ , con el fin de mantener el criterio de gran angularidad; este criterio es importante dentro de la fotogrametría porque permite maximizar el área abarcada sin afectar la resolución de cada ortofoto.
- En función del indicador "*ground sample distance*", se recomienda realizar los vuelos a una altura máxima de 200 metros con respecto al nivel del suelo, para obtener resoluciones máximas en los fotogramas de escala 1:10000.

- Escoger software de acuerdo a las necesidades del usuario teniendo en cuenta sistema operativos soportados, costo de licencia, flexibilidad y funcionalidad.
- Según lo aprendido durante la generación de los MDT, se recomienda hacer una alineación inicial en campo con las ortofotos obtenidas para garantizar la correcta alineación entre las mismas; en caso contrario, se debe repetir la misión de vuelo aumentando el solapamiento transversal en la ruta. Una deficiente alineación de las ortofotos entre sí causa errores de proyección y/o espacios en blanco dentro del ortomosaico.
- Para verificar la calidad del producto final se debe realizar un control de calidad, el cual debe ir acompañado de una serie de test de control, que, con la ayuda de un conjunto de herramientas permitan valorar de manera objetiva los resultados obtenidos.
- El error asociado a la validación de cada modelo digital del terreno no debe superar la sensibilidad del receptor GPS/GLONASS usado en el dron.
- Aunque la paleta de colores usada en la metodología Corine Land Cover varía en función del Ingeniero Forestal que la realice, se recomienda establecer una línea base para asociar en todos los proyectos que se desarrollen en un futuro; esta línea base puede ser la misma que se usó en el desarrollo de este proyecto.
- Como trabajo futuro se recomienda:
  - Algoritmos de detección automática de coberturas vegetales.
  - Algoritmos de clasificación automática de las coberturas vegetales.
  - Análisis del índice de biomasa a partir de imágenes multiespectrales obtenidas con drones.
  - Desarrollo de una metodología de estimación de bancos de carbono dentro de las áreas forestales.

## CITAS REFERENCIAS

[1] Kraus, K. (2007). Photogrammetry: geometry from images and laser scans. Walter de Gruyter.

[2][http://www.catalonia.org/cartografia/Clase\\_07/Fotogrametria/Fotogrametria\\_index.html](http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_07/Fotogrametria/Fotogrametria_index.html)

[3] Teh, C., Mavi, H. S. T., Graeme, J., Henson, I. E., Ferrand, M., Revelo, P., ... & Granda, N. J. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra metodología CORINE land cover adaptada para Colombia escala 1: 000.000. In *PORIM International Palm Oil Congress: Update and Vision (Agriculture) September 22-25 Kuala Lumpur, Malaysia* (No. DC-0497). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

[4]<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf>

[5]<http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/certificacion-y-licenciamiento/Documents/PROYECTO%20BORRADOR%20CIRCULAR%20RPA S.pdf>

[6] Getting GCPs on the field or through other sources (optional but recommended) [Pix4D]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/enus/articles/202557489#gsc.tab=0> (2016, Marzo).

[7] Huisman Otto (2009). Principles of Information Geographic System.

- [8][https://www.todophantom.com/Manuales/Phantom\\_3\\_Profesional\\_Manual\\_Usuario\\_v1.0\\_esp.pdf](https://www.todophantom.com/Manuales/Phantom_3_Profesional_Manual_Usuario_v1.0_esp.pdf)
- [9] Alonso Sarría, F. (2005). sistemas de información geográfica. *Correcciones a las imágenes de satélites*.
- [2] Herver Acosta, M. (2011). *Aprobación operacional de vuelo para un UAS* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- [10] Rodríguez Buriticá, Susana (2016). Biodiversity and Degradation Monitoring in Colombia.
- [11][TEMA\\_11\\_FOTOGRAMETRIA\\_Y\\_TELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria\\_cap\\_libro.pdf](#)
- [12] Felicísimo, À.M. (Abril 1999). La utilización de los MDT en los estudios del medio físico. À.M. (Abril 1999). La utilización de los MDT en los estudios del medio físico. 10.<https://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesSistemaInfoGeografica.do>
- [13] Stuart L, Aky Alibhai, Richard Bergls, Alex Dehgan, Chandra Giri, Zoe Jeweell, Lucas Joppa, Roland Kays, Scott Loarie. Emerging technologies to conserve Biodiversity. *Journal Trends in Ecology & Evolution*, vol 30 nº 11, pp 685-696, 2015.
- [14] Checa, Z. J. P., Fernández, A., & Hernández, L. A. (2014). Combinación de fotogrametría terrestre y aérea de bajo coste: el levantamiento tridimensional de la iglesia de San Miguel de Ágreda (Soria). *Virtual Archaeology Review*, 5(10), 51-58.
- [15] Santos Clavero, D. (2014). Fotogrametría usando plataforma aérea UAV (Unmanned Aerial Vehicle).

[16] Hilario Tacca, Q. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional.

[17] Macancela Poveda, J. C., & Lucero Otorongo, P. M. (2016). Procesamiento de imágenes mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para el monitoreo y detección de incendios forestales (Bachelor's thesis).

[18] Wohciech Gruszczynski, Wojciech Matwij, Pawel Cwiakala, Comparison of low-altitude UAV photogrammetry with terrestrial laser scanning as data-source methods for terrain covered in low vegetation. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing. Vol 126. Pp 168-179. 2017

## BIBLIOGRAFIA

ALONSO Sarría, F. (2005). sistemas de información geográfica. *Correcciones a las imágenes de satélites*.

CHECA, Z. J. P., Fernández, A., & Hernández, L. A. (2014). Combinación de fotogrametría terrestre y aérea de bajo coste: el levantamiento tridimensional de la iglesia de San Miguel de Ágreda (Soria). *Virtual Archaeology Review*, 5(10), 51-58.

FELICISIMO, À.M. (Abril 1999). La utilización de los MDT en los estudios del medio físico. À.M. (Abril 1999). La utilización de los MDT en los estudios del medio físico. 10.https://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesSistemaInfoGeografica.do

GETTING GCPs on the field or through other sources (optional but recommended) [Pix4D]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/enus/articles/202557489#gsc.tab=0> (2016, Marzo).

HERVER Acosta, M. (2011). *Aprobación operacional de vuelo para un UAS* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

HILARIO Tacca, Q. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional.

<http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/certificacion-y-licenciamiento/Documents/PROYECTO%20BORRADOR%20CIRCULAR%20RPA%20S.pdf>

[http://www.catalonia.org/cartografia/Clase\\_07/Fotogrametria/Fotogrametria\\_index.html](http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_07/Fotogrametria/Fotogrametria_index.html)

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf>

[https://www.todophantom.com/Manuales/Phantom\\_3\\_Profesional\\_Manual\\_Usuario\\_v1.0\\_esp.pdf](https://www.todophantom.com/Manuales/Phantom_3_Profesional_Manual_Usuario_v1.0_esp.pdf)

HUISMAN Otto (2009). Principles of Information Geographic System.

KRAUSS, K. (2007). Photogrammetry: geometry from images and laser scans. Walter de Gruyter.

MACACENLA Poveda, J. C., & Lucero Otorongo, P. M. (2016). Procesamiento de imágenes mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para el monitoreo y detección de incendios forestales (Bachelor's thesis).

SANTOS Clavero, D. (2014). Fotogrametría usando plataforma aérea UAV (Unmanned Aerial Vehicle).

STUART L, Aky Alibhai, Richard Bergls, Alex Dehgan, Chandra Giri, Zoe Jeweell, Lucas Joppa, Roland Kays, Scott Loarie. Emerging technologies to conserve Biodiversity. *Journal Trends in Ecology & Evolution*, vol 30 n° 11, pp 685-696, 2015.

TEH, C., Mavi, H. S. T., Graeme, J., Henson, I. E., Ferrand, M., Revelo, P., ... & Granda, N. J. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra metodología CORINE land cover adaptada para Colombia escala 1: 000.000. In *PORIM International Palm Oil Congress: Update and Vision (Agriculture) September 22-*

25Kuala Lumpur, Malaysia (No. DC-0497). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

[17]TEMA\_11\_FOTOGRAMETRIA\_Y\_TELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria\_cap\_libro.pdf

RODRIGUEZ Buriticá, Susana (2016). Biodiversity and Degradation Monitoring in Colombia.

WOHCIECH Gruszczynski, Wojciech Matwuj, Pawel Cwiakala, Comparison of low-altitude UAV photogrammetry with terrestrial laser scanning as data-source methods for terrain covered in low vegetation. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing. Vol 126. Pp 168-179. 2017








## ANEXOS

### ANEXO A. GENERACIÓN DE NUBE DE PUNTOS Y MAPA DE TEXTURA 3D

Una vez capturadas las imágenes, se utilizó el software Agisoft gracias a que usa un algoritmo de restitución fotogramétrica para realizar el procesamiento del modelo digital del terreno, generarlas sub-secciones del ortomapa final y validar cada una de ellas.

Agisoft PhotoScan, permite incorporar las imágenes aéreas capturadas por el dron y comenzar un proceso de restitución de imágenes por coincidencia espacial entre los elementos representados en cada imagen. De esta forma podremos visualizar las fotografías realizadas en altura y la composición de la representación espacial de los objetos proyectados en superficie generando volúmenes.

El análisis y la construcción de los productos cartográficos parten de **una secuencia de pasos en cascada** hasta llegar a la construcción del ortomosaicos y otros productos derivados (nubes de puntos, ortomosaicos, DEM, modelos 3D).

-  Tie Points (21,785 points)
-  Dense Cloud (3,104,222 points, Medium quality)
-  3D Model (206,948 faces)
-  Tiled Model (7 levels, 1.33 cm/pix)
-  DEM (3151x3155, 5.32 cm/pix)
-  Orthomosaic (6076x5931, 2 cm/pix)
-  Contours (984 polylines, 11,238 polygons)

En un primer paso, Agisoft PhotoScan, se realizó una obtención de puntos dispersas correspondientes a las imágenes obtenidas por UAV.

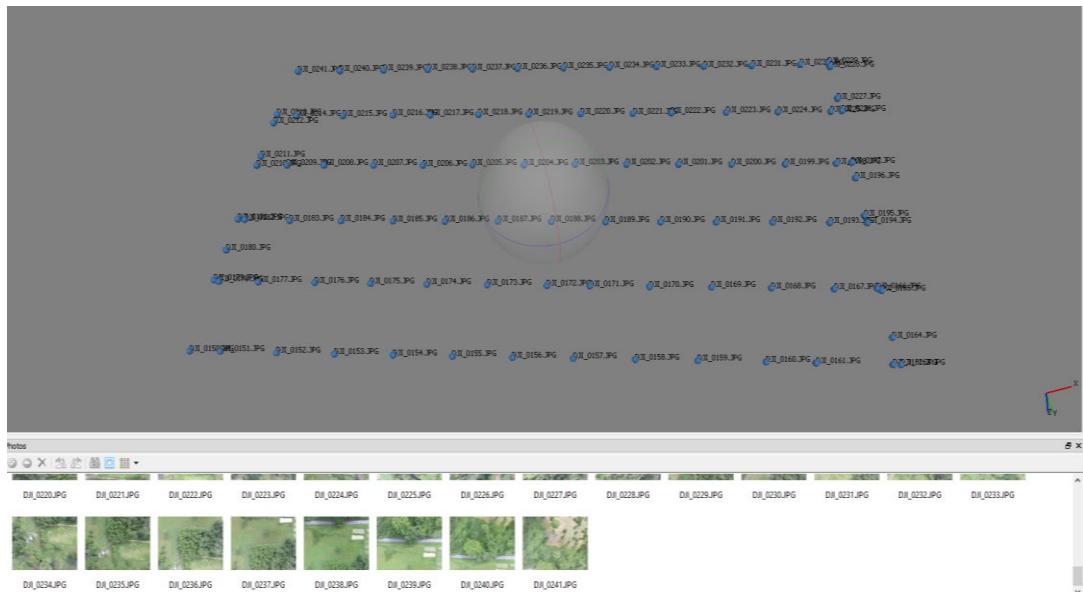
- **Agregar Fotografías**

Para agregar las fotografías obtenidas por el dron, se seleccionó el comando Add Photos donde se desplego el gestor de archivos para la ubicación de las fotografías a procesar.

**Imagen 1. Add Photos**



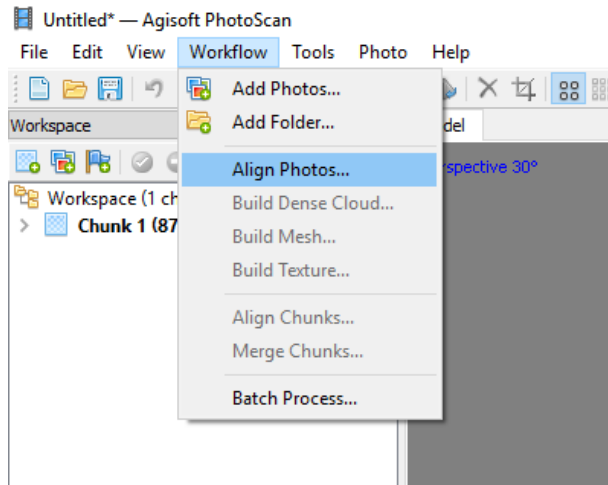
**Imagen 2. Visualización de imágenes cargadas en Agisoft PhotoScan**



- **Alineación de Fotografías**

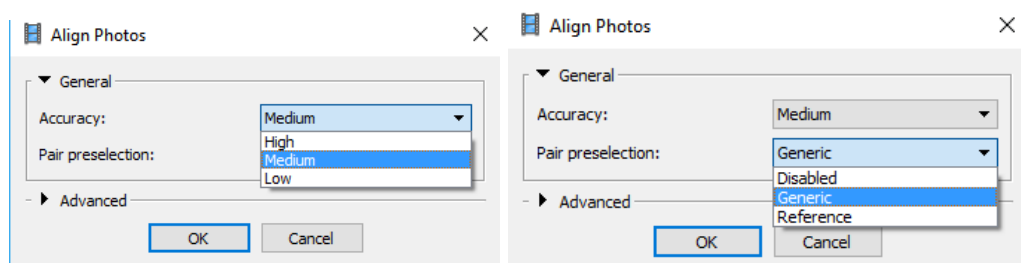
En la opción de alinear fotografías el software permite al usuario refinar la posición de la cámara para cada foto y construye el modelo correspondiente a la nube de puntos.

### Imagen 3. Align Photos



La Imagen 3 presenta las diferentes opciones disponibles: **Accuracy** se refiere a la resolución con la que va a trabajar el programa para realizar la alineación de las fotografías. Si se quiere tener una buena alineación, hay que dejarlo en “High”, si solo queremos hacer pruebas se elige “Medium” o “Low”, además se debe de tener en cuenta la cantidad de fotografías ya que el tiempo varía en cada una de las opciones, se recomienda escoger nivel Alto para colecciones de fotos más pequeñas, nivel medio para colecciones de fotos medianas y nivel bajo para colecciones de fotos grandes. **Pair preselection** permite al usuario elegir si habilita la opción de unir imágenes que se encuentren superpuestas con el fin de acelerar el proceso de la obtención de la nube de puntos si la cantidad de fotografías es alta. Se debe escoger Disabled, si al final del proceso se presentan errores de alineamiento se realiza de nuevo el procedimiento con la opción Generic.

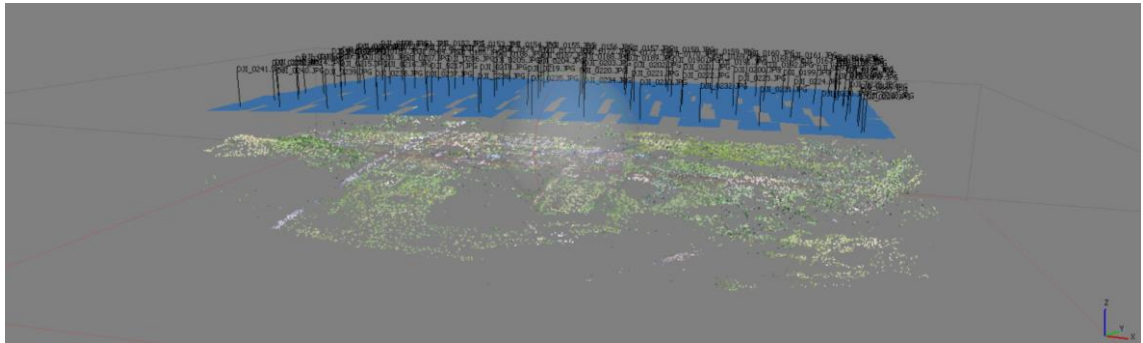
### Imagen 3. Opción Accuracy y Pair preselection.



- **Construcción de la nube de puntos**

Una vez se completa el proceso, se visualiza la nube de puntos de acuerdo a las fotografías que se recibieron como entrada del terreno a modelar. La imagen 4 muestra el resultado generado donde se obtiene una nube de puntos según la unión y detección de puntos comunes en las fotografías, así como la ubicación de la cámara al momento de la captura de las imágenes.

**Imagen 4. Nube de puntos dispersa.**



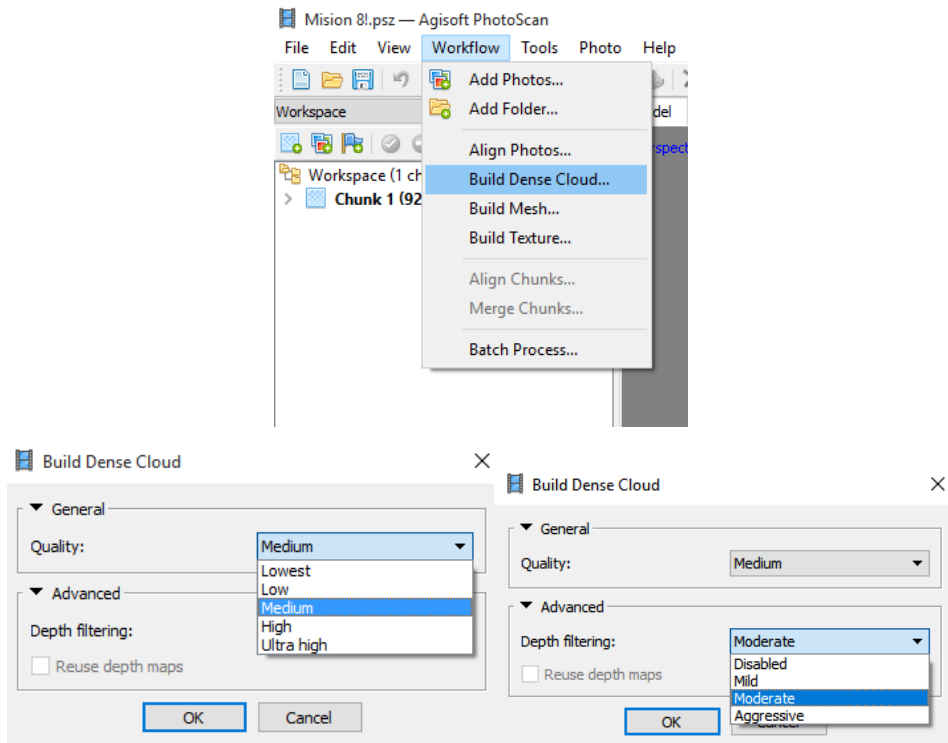
Luego de obtener la nube de puntos dispersa se procede a realizar una nube densa de puntos, que servirá para la construcción de la malla del modelo 3D.

- **Nube densa de puntos.**

En el menú “**Workflow**” se seleccionó la casilla “**Build Dense Cloud**” y se abre una ventana donde podemos seleccionar la calidad con la que se quiere construir la nube de puntos. Calidad media: No requiere tantos recursos y menos tiempo para realizar el procesamiento. Filtrado de profundidad: Debido a fotos con ruido o mal enfocadas PhotoScan tiene que aplicar algunos algoritmos, si hay pequeños detalles que necesitan ser reconstruidos se aconseja Leve, de lo contrario utiliza Agresivo, si lo que se necesita es reconstruir escena con detalles y zonas sin

detalles utiliza Moderado. En ningún caso se recomienda Desactivado porque reconstruye con mucho ruido.

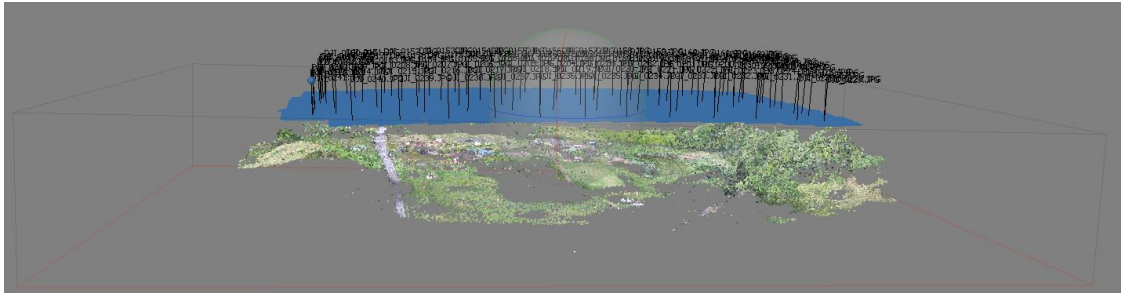
### Imagen 5. Build dense Cloud. Opción General Quality y Advanced.



- **Construcción de la nube densa de puntos**

Una vez se completa el proceso, se visualiza la nube densa de puntos. La imagen 6 muestra el resultado generado donde ya se alcanza a apreciar varios puntos que le van dando forma a la imagen.

**Imagen 6. Nube de puntos densa.**

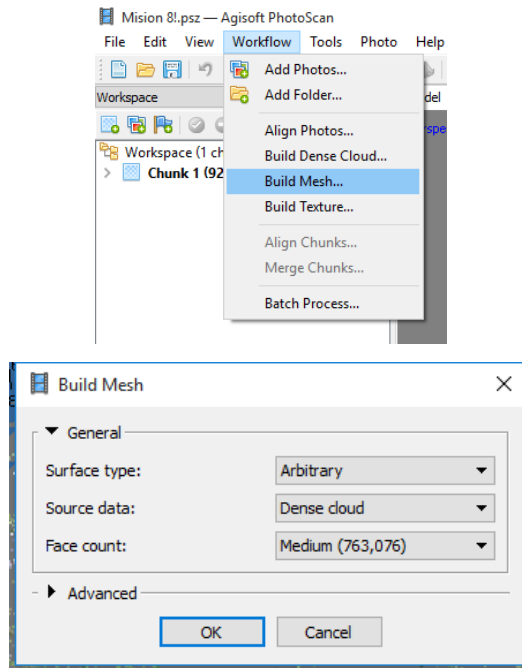


Una vez se completó el paso anterior, se procede a crear el modelo final que sería un modelo de malla o mesh.

- **Creación Modelo 3D.**

En el menú “**Workflow**” se seleccionó la casilla “**Build Mesh**” y en las opciones de general se escoge la opción más adecuada a sus necesidades. Tipo de superficie: Arbitrario se utiliza para crear la malla de modelos como estatuas o edificios. Bajo relieve/Terreno se utiliza para superficies planas. Datos fuente: Se debe especificar de donde va a obtener los datos para la construcción de la malla, en este caso la obtiene de la nube densa de puntos. Numero de caras: Dependiendo de la cantidad máxima de polígono que tendrá la malla, para nuestro caso elegimos “Medium”.

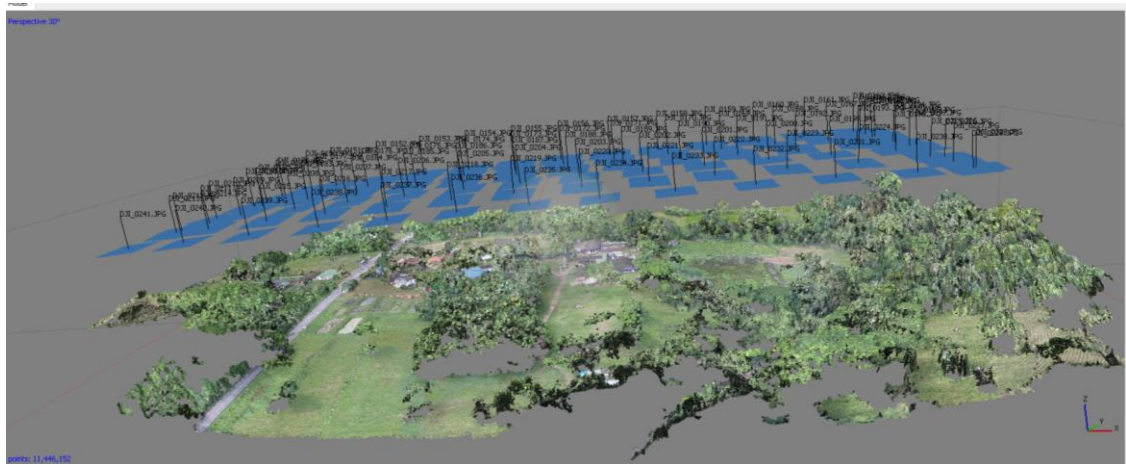
**Imagen 7. Opción General Arbitrary, Dense cloud, Medium.**



- **Construcción de modelo 3D.**

Una vez se completa el proceso, se visualiza el modelo 3d. La imagen 8 muestra el resultado generado donde ya se puede observar la imagen en 3d sin textura.

**Imagen 8. Modelo 3D**

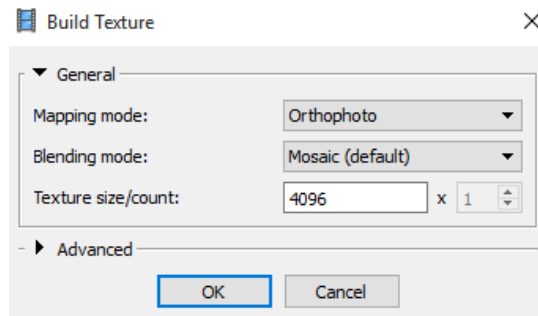


Una vez se completó el paso anterior, se procede a crear la textura de la imagen en 3D.

- **Creación textura.**

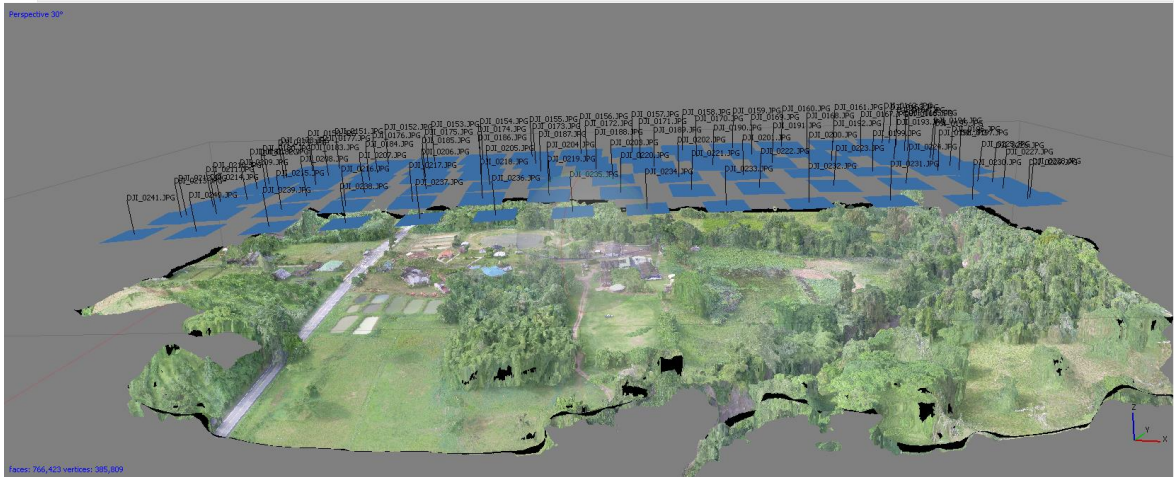
En el menú “**Workflow**” se seleccionó la casilla “**Build Textura**”, donde se despliega una ventana donde estas las opciones: Modo de mapeado: Esto determina como el mapa será texturizado. Modo de mezcla: Mosaico. Tamaño/número de texturas: Determina el tamaño en pixel y el número de archivos para ser exportado. Exportar en varios archivos te permite tener texturas de gran tamaño, mientras que la exportación de alta resolución de la textura en un solo archivo puede fallar debido a las limitaciones de la RAM.

### Imagen 9. Opción General Ortophoto, Mosaic.



La imagen 10 muestra el resultado del mapa 3d con textura.

### Imagen 10. Modelo 3D texturizado.



Se puede crear una imagen .tiff para visualizar la imagen con mayor resolución.

### Imagen 11. Pasos para exportar imagen. Tiff.

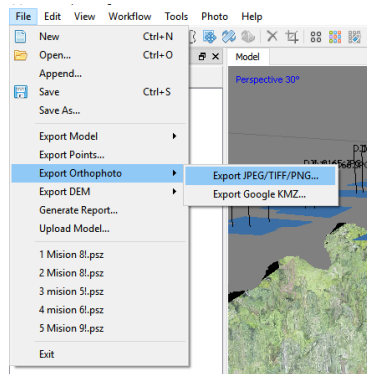


Imagen 12. Imagen .Tiff



## ANEXO B. CREACIÓN MODELO DIGITAL DEL TERRENO EN 2D EN QGIS

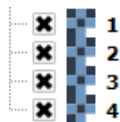
Creados los .tiff de cada misión se procede a abrir el software QGIS 2.18.7 en donde se añadirán las capas Raster de cada misión.

**Imagen 1. Añadir capa Raster.**



Se añade cada la 4 capa Raster y se seleccionan para visualizarlas en el panel de capas, obteniendo así el modelo digital del terreno en 2D.

**Imagen 2. Misiones cargadas en capa Raster**



**Imagen 3. Modelo digital del terreno 2D.**



## ANEXO C. CÓDIGO PYTHON PARA MEDIR DISTANCIA ENTRE DOS PUNTOS GPS

```
#Medición de distancia entre dos puntos gps
from math import radians, sin, cos, atan2, sqrt
radio_tierra = 6371000 #En metros
latitud1 = input('grados,min,seg,orientacion: ')
longitud1 = input('grados,min,seg,orientacion: ')
pto2 = input('latitud 2, longitud 2: ')
latitud1 = latitud1.split(',')
longitud1 = longitud1.split(',')
if latitud1[3] == 'N':
    lat1 = float(latitud1[0]) + float(latitud1[1])/60 + float(latitud1[2])/3600
else:
    lat1 = -1*(float(latitud1[0]) + float(latitud1[1])/60 + float(latitud1[2])/3600)
if longitud1[3] == 'E':
    long1 = float(longitud1[0]) + float(longitud1[1])/60 + float(longitud1[2])/3600
else:
    long1 = -1*(float(longitud1[0]) + float(longitud1[1])/60 + float(longitud1[2])/3600)
pto2 = pto2.split(',')
dlat = radians(float(lat1) - float(pto2[0]))
dlong = radians(float(long1) - float(pto2[1]))
lat1 = radians(float(lat1))
lat2 = radians(float(pto2[0]))
a = (sin(dlat/2))**2 + ((sin(dlong/2))**2)*cos(lat1)*cos(lat2)
c = 2 * atan2(sqrt(a), sqrt(1-a))
distancia = c * radio_tierra
print(distancia,'metros')
```

## **ANEXO D. CÓDIGO PYTHON PARA MEDIR DISTANCIA ENTRE DOS PUNTOS GPS**

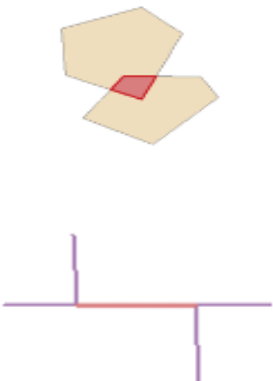




La geometría se denomina a las propiedades de las figuras en el plano xy o el espacio, incluyendo: puntos, líneas, polígonos.

La topología es el conjunto de reglas que aplica a los distintos objetos geométricos, estas normas permiten la relación correcta entre ellos.

Las infracciones de las reglas topológicas se almacenan inicialmente como errores de la topología. Las entidades de error registran donde se detectan errores topológicos durante la validación. Algunos errores pueden ser aceptables, en cuyo caso se pueden marcar las entidades de error como excepciones. Los errores y excepciones se almacenan como entidades en la capa de topología y permiten representar y administrar los casos en los que las entidades no necesitan cumplir las reglas topológicas (ESRI, 2011).

A partir de estas relaciones es posible definir algunas propiedades de los objetos geométricos como la longitud, área, continuidad, conectividad; etc. Estas reglas adjuntas a un conjunto de herramientas y técnicas de edición, permiten a las geodatabases modelar relaciones geométricas con mayor precisión.

En la tabla, se presentan las reglas utilizadas en este proyecto.

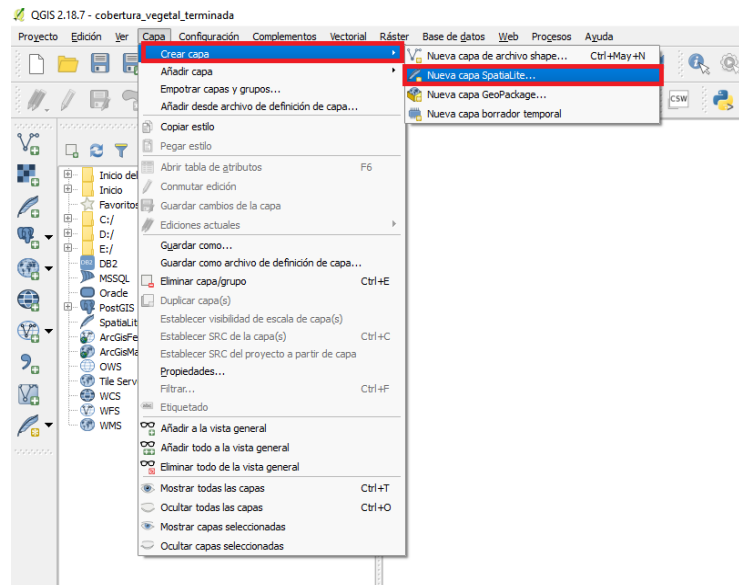
Regla	Descripción	Ejemplo
No debe superponerse	Requiere que el interior de los polígonos no se superponga. Lo que se encuentre superpuesto es un error. Los polígonos pueden compartir bordes y vértices. Esta regla se utiliza cuando un área no puede pertenecer a dos o más polígonos.	
No deben intersectarse	Requiere que las entidades de línea desde la misma clase (o subtipo) de entidad no se crucen ni se superpongan entre sí.	
No deben quedar nodos colgados	Requiere que una línea deba tocar las líneas desde la misma clase (o subtipo) de entidad en ambos extremos. Caso contrario es un error.	
No deben quedar pseudonodos	Esto hace referencia a que una línea se conecte, por lo menos, con otras dos líneas en cada extremo.	
No deben tener huecos	Los polígonos que se encuentren colindando no deben tener huecos. Caso contrario es un error.	

## ANEXO E. CREACIÓN DE GEODATABASE

Se creará una base de datos soportada en SpatialLite 3.16 donde se almacenará información referente a la cobertura de suelos almacenando los atributos y códigos definidos en la metodología Corine Land Cover. Seguir los siguientes pasos:

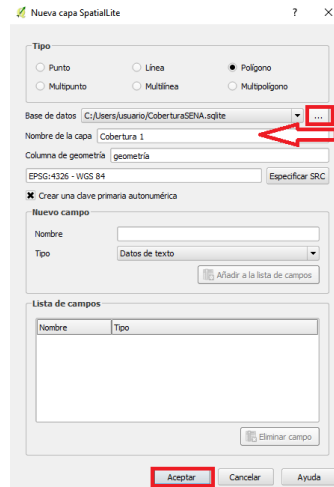
1. Crear una nueva capa SpatialLite

Figura 1. Crear capa



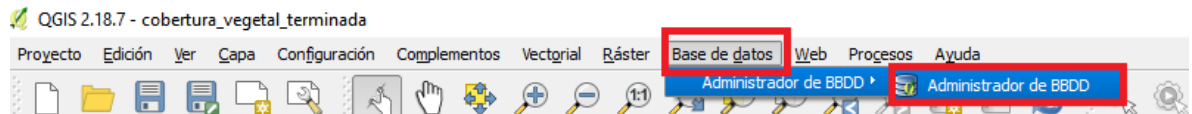
- Introducir nombre en base de datos, en nuestro caso se llamara “CoberturaSENA” y se agrega el nombre de la capa a agregar “Cobertura 1”.

**Figura 2. Nueva capa SpatialLite**



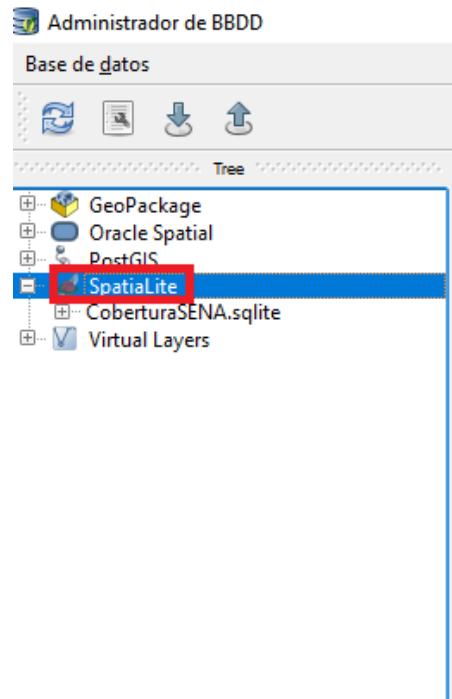
- Abrir Base de datos-Administrador de BBDD

**Figura 3. Abrir Base de datos**



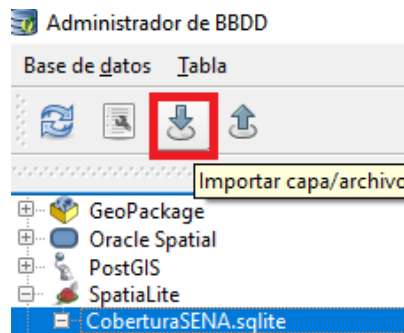
4. En el administrador de BBDD se observa en la base de datos SpatialLite la capa “CoberturaSENA.sqlite” cargada.

**Figura 4. Administrador de BBDD**



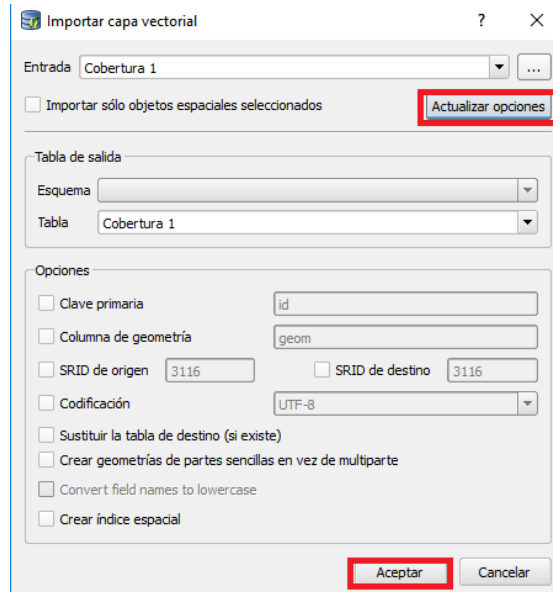
5. Para importar capa o archivo a la base de datos .sqlite se debe seleccionar la opción importar capa/archivo.

**Figura 5. Importar capa/archivo**



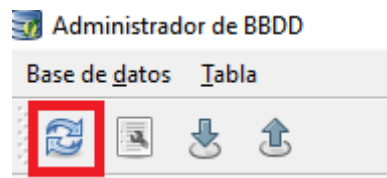
6. En importar capa vectorial se selecciona la entrada deseada en este caso “Cobertura 1” y actualizar opciones, la cual rellenara automáticamente todos los campos vacíos.

**Figura 6. Importar capa vectorial**



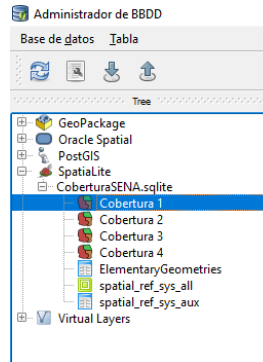
7. Luego de importar la capa vectorial, actualizamos en el siguiente botón para poder visualizar la capa.

**Figura 7. Botón actualizar**



8. Repetir el proceso para todas las coberturas.

**Figura 8. Capas vectorial agregadas a la base de datos**

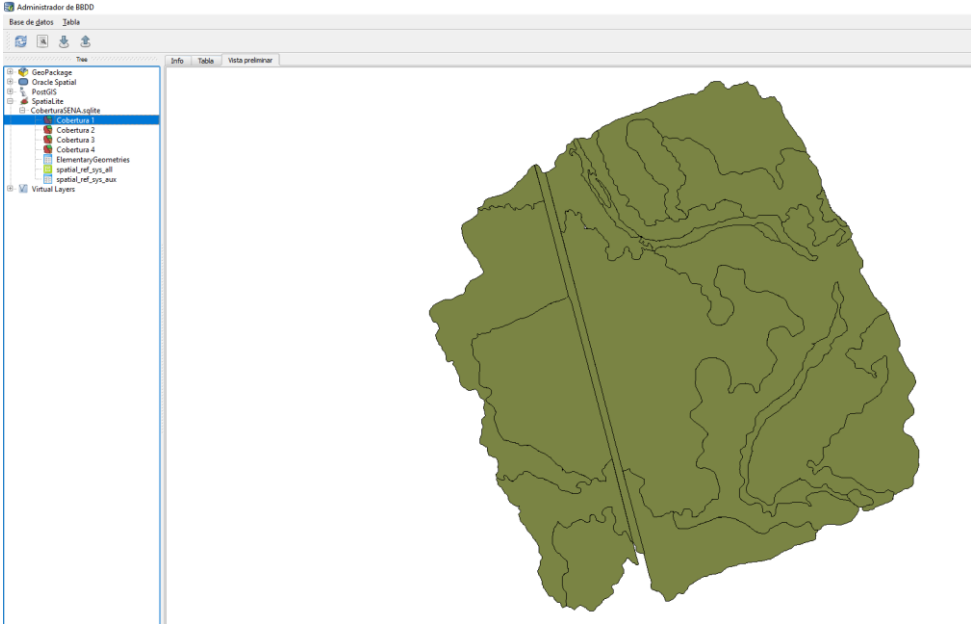


9. Al abrir cualquier capa vectorial en este caso “Cobertura 1” se visualiza la información general, tabla de atributos y vista preliminar de la cobertura.

**Figura 9. Tabla de atributos de capa vectorial.**

id	geom	coberturas	codigo	hectareas
1	MULTIPOLYGON	pastos ermalez	2.A.3	0.0
2	MULTIPOLYGON	vegetacion sec.	3.2.3	1.0
3	MULTIPOLYGON	bosque de galeria	3.1.4	1.0
4	MULTIPOLYGON	mosaico de pas.	2.A.3	2.0
5	MULTIPOLYGON	bosque de pale.	3.1.4	1.0
6	MULTIPOLYGON	bosque de pale.	3.1.4	1.0
7	MULTIPOLYGON	rio	5.1.1	0.0
8	MULTIPOLYGON	plantacion fore.	3.1.5	0.0
9	MULTIPOLYGON	vegetacion sec.	3.2.3	1.0
10	MULTIPOLYGON	pastos ermalez	2.A.3	2.0
11	MULTIPOLYGON	rio	5.1.1	0.0
12	MULTIPOLYGON	rio	5.1.1	0.0
13	MULTIPOLYGON	bosque de pale.	3.1.4	6.0
14	MULTIPOLYGON	mosaico de pas.	2.A.3	5.0
15	MULTIPOLYGON	rio	5.1.1	0.0
16	MULTIPOLYGON	rio	5.1.1	0.0
17	MULTIPOLYGON	mosaico de pas.	2.A.3	1.0
18	MULTIPOLYGON	mosaico de pas.	2.A.3	1.0
19	MULTIPOLYGON	vegetacion sec.	3.2.3	2.0
20	MULTIPOLYGON	via	1.2.2	0.0
21	MULTIPOLYGON	bosque de pale.	3.1.4	0.0

**Figura 10. Vista preliminar de la cobertura**



10. Proceso finalizado.