

EMPLEO DE NUBES DE PUNTOS LIDAR PARA LA OBTENCIÓN DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO Y OTROS PRODUCTOS.

Use of lidar point clouds to obtain digital terrain model and other products.

Yaimara Yero Cabrales¹, Arlet Alvarez Romero², Juan Carlos Pérez García³.

1. GEODESA, Cuba, yaimarayercabrales@gmail.cu

2. GEODESA, Cuba, arletalvarezromero@gmail.com

3. GEODESA, Cuba, jperez@geodesa.geocuba.cu

RESUMEN

En Cuba, a partir de la adquisición del escáner láser aerotransportado LiDAR (modelo Riegl VQ780i), el cual puede ser acoplado a una plataforma aérea tripulada (avión AN-02), se ha facilitado la realización de estudios y evaluaciones, atendiendo a las bondades técnicas que posee, sus aplicaciones y los diferentes métodos que se utilizan para obtener un producto final. La integración de este conocimiento, al ya adquirido en cursos impartidos para el procesamiento de los datos generados con el objetivo de obtener Modelos Digitales del Terreno (MDT) detallados y precisos, empleando el software Terrasolid, constituye una tecnología potente para crearlos, principalmente en zonas boscosas por su capacidad de penetración en la vegetación y captura de la posición del suelo. Este sistema es prácticamente nuevo en el país, y aunque se han realizado trabajos para obtener MDT, es necesario explotar al máximo la nube de puntos que se genera con el objetivo de crear nuevos productos, a partir del levantamiento topográfico que se realiza en la zona. Precisamente este es el objetivo fundamental del presente trabajo, compilar toda la información existente sobre los trabajos realizados, el empleo de otros softwares en el procesamiento de los datos y algunos de los usos que se le pueden dar a estos, tales como modelos tridimensionales para la gestión catastral, industria eléctrica, en la agricultura, forestal y estudios de costas.

Palabras claves: aplicaciones; Modelos Digitales del Terreno; nube de puntos; LiDAR; software de procesamiento.

ABSTRACT

In Cuba, since the acquisition of the airborne LiDAR laser scanner (model Riegl VQ-780i), which can be coupled to a manned aerial platform (AN-02 aircraft), studies and evaluations have been facilitated, taking into account the technical benefits it has, its applications and the different methods used to obtain a final product. The integration of this knowledge, to the one already acquired in courses taught for the processing of the data generated with the aim of obtaining detailed and accurate Digital Terrain Models (DTM), using Terrasolid software, constitutes a powerful technology to create them, mainly in wooded areas due to their ability to penetrate vegetation and capture soil position. This system is practically new in the country, and although work has been

carried out to obtain MDT, it is necessary to exploit to the maximum the cloud of points that is generated with the aim of creating new products, from the topographic survey that is carried out in the area. Precisely this is the fundamental objective of this work, to compile all the existing information on the work carried out, the use of other software in the processing of the data and some of the uses that can be given to these, such as three-dimensional models for cadastral management, electrical industry, in agriculture, forestry and coastal studies.

Keywords: Applications; Digital Terrain Model; point cloud; LiDAR; processing software.

Recibido :16/01/2023

Aprobado: 08/05/2023

1. INTRODUCCIÓN

El sistema LiDAR (*Light Detection and Ranging*), basado en el registro aerotransportado que utiliza láser, se está convirtiendo en el principal instrumental para la recogida de la información cartográfica, debido principalmente a la gran densidad de puntos, precisión alcanzada y rapidez en la obtención de modelos digitales. La tecnología calcula la distancia entre el sensor y el objeto del terreno, midiéndola a partir del tiempo que tarda el rayo de luz en alcanzar el suelo y regresar al sensor. El sistema GPS (*Global Positioning System*) calcula la posición del sensor que emite el láser al objeto del terreno, y el sistema IMU (*Inertial Measurement Units*) calcula los giros del sensor que escanea los objetos del terreno. Si se conocen las coordenadas, los ángulos de actitud del avión y el ángulo del espejo, se pueden calcular a partir de estos datos y de las distancias medidas las coordenadas de los puntos escaneados en el terreno. Por estudios que se han hecho anteriormente se ha arribado a la conclusión de que el LiDAR captura la información del terreno y su superficie más rápido y con mayor resolución que con la técnica de la fotogrametría. Además, constituye una herramienta poderosa para generar MDE (Modelo Digital de Elevación), MDT (Modelo Digital del Terreno) y MDS (Modelo Digital de Superficie).

La empresa GEODESA a finales del 2018 adquirió la tecnología LiDAR, modelo Lite Mapper 7800 VQ con cámara IGI DigiCam-60 mp y los softwares para el ajuste y procesamiento de la nube de puntos, RiPROCESS y Terrasolid, respectivamente. Actualmente se han realizado proyectos con el fin de obtener MDT, curvas de nivel, digitalización de la nube de puntos y se está trabajando para generar otros productos. En este trabajo se mencionarán algunos de los softwares libres que se utilizan para el procesamiento de las nubes de puntos y sus aplicaciones en las distintas industrias del mercado, surgiendo la necesidad de identificar otros usos que se le puede dar a esta nube densa, a partir de conocer los tamaños y formas de las construcciones, vías de comunicación, tendidos eléctricos, bosques, vegetación y otros elementos topográficos, que permitan generar nuevos productos de interés social y económico.

2. METODOLOGÍA

El vuelo se realiza empleando la aeronave AN-02 y el sistema LiDAR dotado con el escáner láser y la cámara digital. A continuación se muestran las características técnicas principales que se tuvieron en cuenta para la planificación del vuelo y la obtención de la nube de puntos.

Tabla 1. Características generales del modelo de aeronave AN-02.

Tripulación	Mínima 3, máxima 5	
--------------------	--------------------	--


Tiempo de vuelo	4h como máximo	
Velocidad mínima	140 km/h (86 MPH; 75 kt)	
Velocidad máxima	245 km/h (132 kt)	
Techo de vuelo	2 500 m (8202.09 ft)	
Presurización	No	

Tabla 2. Principales características del Sistema LiDAR VQ 780i de Riegl.



Densidad de puntos	1-30 pts /m ²	
Precisión del sensor	2 cm	
Frecuencia de repetición del pulso láser	Hasta 1 MHz	
Velocidad de medición efectiva	333 000 - 666 000 mediciones/seg	
Máxima altura de vuelo a operar	400-2400 m	
Ancho de la franja	460 m - 2700 m	
Productividad	64 km ² /h - 960 km ² /h	

Tabla 3. Principales características de la cámara digital DigiCAM.

Formatos de datos	TIFF, JPEG, DNG (8 o 16 bit)	
Resolución	60 megapíxeles	
Distancia focal	50 mm	
Acumulación y procesamiento de datos	SSD 500 GB	
Consumo de potencia a máximo rendimiento	60 W	

Los formatos de los datos son específicos para cada uno de los procesos:

Datos POF, Posición y orientación del sistema (Trayectoria). Un conjunto de datos que contiene la marca de tiempo, la posición y la orientación, medido por los hardware IMU/GPS y posteriormente post-procesado (con un mínimo de una estación base) con el software del proveedor correspondiente.

RXP, contienen datos de medición brutos proporcionados por los escáneres RIEGL V-Line y forman la base para el tratamiento posterior, los datos son procesados por SDCImport.

SDC/SDW, los archivos de datos extraídos (*.sdc, *.sdw) contienen, aparte de la información adicional valiosa sobre los blancos detectados, datos geométricos en diferentes sistemas de coordenadas y diferentes formatos de datos. Los archivos SDC contienen además datos sobre el alcance y el ángulo de exploración de cada objetivo. Los archivos SDW contienen valores tridimensionales en un sistema de coordenadas mundial, es decir, WGS 84.

PEF, se utilizan para importar planos de control o áreas de proyecto a RiPROCESS o RiACQUIRE.

LAS, es la cantidad de canales de colores que se requiere asignar a los valores de colores de los puntos. TerraScan puede asignar hasta 10 canales de color para cada punto. La cantidad máxima de canales de color sólo se puede almacenar en el formato binario TerraScan Fast. LAS 1.4 y posteriores pueden almacenar hasta 4 canales de color, LAS 1.2 y posteriores hasta 3.

Para trabajar, en las diferentes etapas, con los datos que se obtienen del vuelo aéreo con el LiDAR, los softwares que se han empleado son: el IGIPlan, orientado a la planificación del vuelo; GrafNav, AeroOffice, para el procesamiento de los datos GPS; RiPROCESS para el ajuste de las líneas de vuelo a partir de los datos de navegación y tres módulos de Terrasolid: el TerraScan, TerraMatch y TerraModeler, para el procesamiento de la nube de puntos ajustada, dígase filtrado de los elementos topográficos, modelado y ajuste, respectivamente.

El procedimiento que se lleva a cabo para la obtención del modelo, parte de la realización del vuelo, el procesamiento de los datos de posicionamiento y el ajuste de la nube de puntos (ver Fig. 1) que puede llegar a tener una precisión de hasta 2 cm (ver Tabla 2), empleando planos automáticos, manuales y de control (importados para la georreferenciación, control planimétrico y altimétrico).

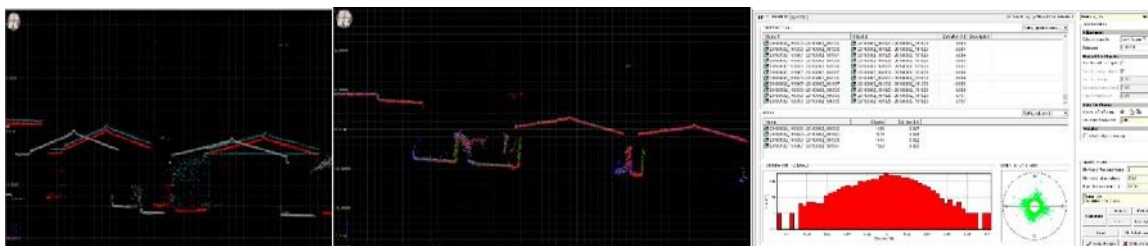


Figura 1. Ajuste de la nube de puntos empleando el RiPROCESS.

Esta nube de puntos se exporta en archivos con extensiones .LAS y .LAZ, listas para ser procesadas por cualquier programa capaz de cargarlas y manipularlas, en este proceso se utiliza el Terrascan (ver Fig. 2), para la clasificación de la nube de manera semiautomática y manual, a partir de las herramientas que posee.

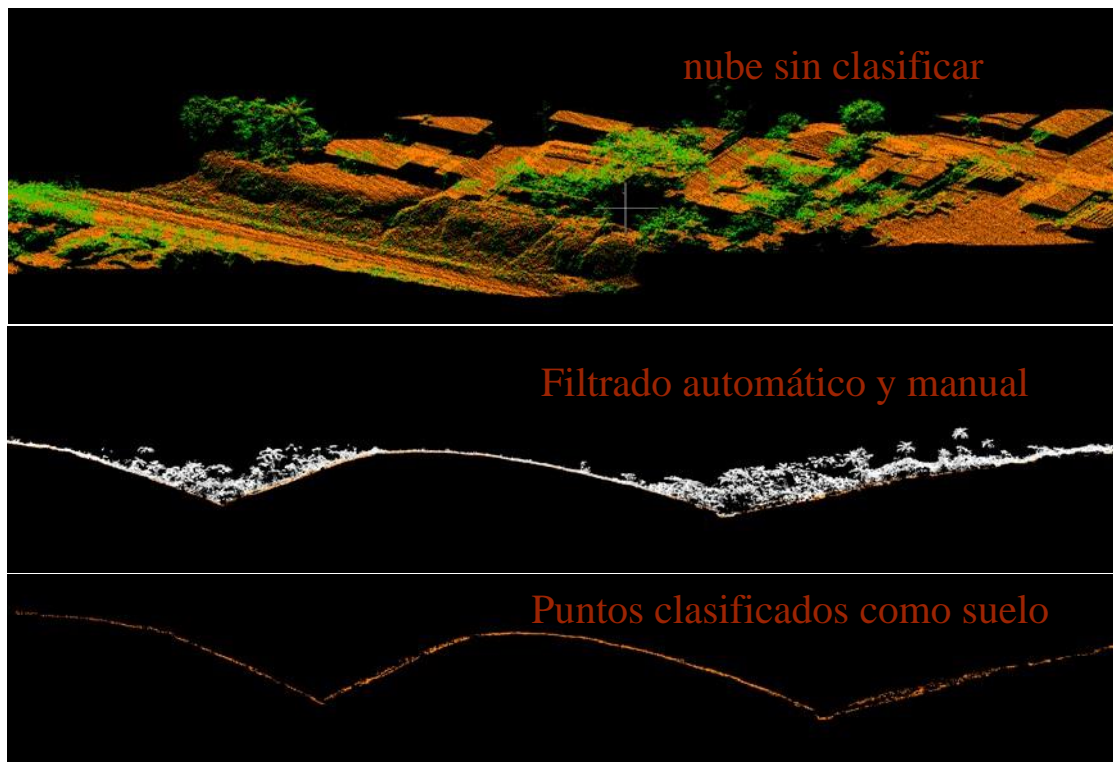


Figura 2. Procesamiento de nube de puntos empleando el Terrascan.

Con la limpieza manual realizada se obtiene un modelo digital del terreno idóneo (Fig. 3), listo para exportar en .TIFF (puede ser en cualquier otra extensión, en dependencia de lo que se desee obtener) y poder realizar los análisis deseados y observar realmente el comportamiento del relieve.

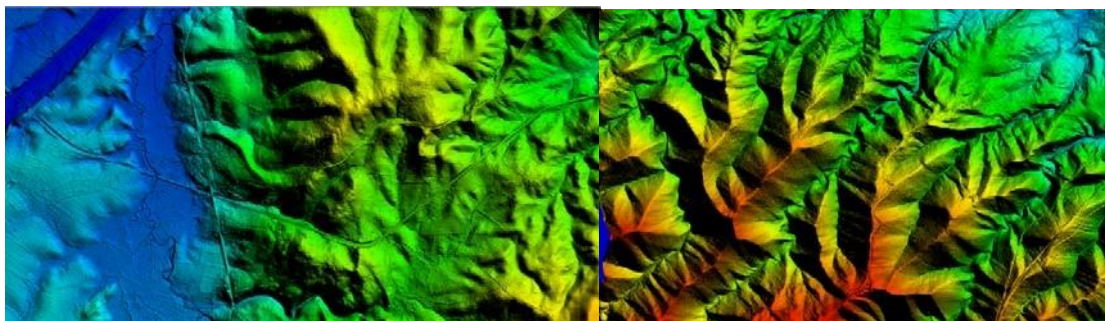


Figura 3. Modelo Digital del Terreno.

De esta manera se obtiene el MDT; por otra parte, el uso de la tecnología LiDAR ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años y con ello el número de aplicaciones que manejan este tipo de datos, ya sean aplicaciones web o de escritorio, enfocadas únicamente a trabajar con LiDAR o como parte de un software más general.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El procedimiento descrito ha garantizado la obtención de MDT con una precisión altimétrica de 10 cm y una resolución de 12 pts/m². El mismo se ha aplicado en distintos proyectos de Geocuba Oriente Norte, Geocuba Villa Clara – Sancti Spíritus, Ferrocarriles de Cuba (FFCC), DIP Mariel y actualmente MoaNiquel en las concesionarias mineras, pertenecientes a la provincia de Holguín. Los resultados se obtuvieron con buena calidad, en menos tiempo, disminuyendo gastos y cantidad de

operadores, en grandes extensiones de tierras con el consiguiente aumento de la productividad, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. Productividad del sistema LiDAR.

Densidad (pts/m ²)	2.5	5	10	15	20	30
Altura de vuelo (m)	2400	1600	1200	800	600	400
Ancho del corredor (m)	2771	1848	1386	924	693	462
Productividad (km ² /h)	443	295	222	148	111	74
Frecuencia (kHz)	500	700	1000	1000	1000	1000

Los clientes de estos trabajos adolecen de softwares con licencias para gestionar estos datos, lo que conllevó a la realización de una búsqueda de softwares libres para su manipulación y procesamiento. A continuación, se mencionan algunos de ellos.

MicroStation: ofrece un cargo de opciones de modelos tridimensionales (3D), comandos para crear modelos de superficies complejas, herramientas de modelación avanzada para sólidos con características fáciles de cambiar y ajustar. Tiene una visualización foto realista, comandos para recorridos virtuales, puede personalizarse y desarrollar nuevas aplicaciones mediante el Visual Basic (VBA). Soporta una gran cantidad de aplicaciones especializadas orientadas a la ingeniería civil, caminos, plantas, terrenos, cartografía, puentes y fotogrametría, como es el caso del Terrasolid.

Terrasolid: es un programa para procesar datos LiDAR que desarrolló una empresa de Finlandia. Este programa procesa la calibración de los datos LiDAR, la clasificación de las nubes de puntos, generación de ortofotos, generación de DEM, DTM, DSM y ciudades en 3D.

ArcGIS: es un sistema completo que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

SOFTWARES LIBRES

Global Mapper: el módulo LiDAR posee una colección de herramientas para el procesamiento de nubes de puntos y la creación de superficies, incluyendo la clasificación automática de nube de puntos, extracción de elementos, visualización y edición de perfiles. Por una fracción del costo de otras aplicaciones comparables, es una herramienta imprescindible para cualquier persona que procese o gestione datos LiDAR.

FUSION: es un programa gratuito que nos proporciona un entorno de visualización 3D para el examen y valoración de los datos geoespaciales. Combina imágenes, datos LiDAR, capas SIG, datos de campo y modelos de superficie.

VisionLidar: es un programa que visualiza, procesa, clasifica, segmenta, anima y edita nubes de puntos para todos sus proyectos de ingeniería civil, agrimensura, arquitectura, BIM, transporte, minas, canteras y silvicultura. No tiene restricciones basadas en un número máximo de puntos, puede leer y procesar una cantidad infinita de puntos para permitirle trabajar con un solo archivo.

CloudCompare: reconoce una multitud de formatos de datos masivos de nubes de puntos, a partir de las cuales realiza: el modelado de sólidos y primitivas, la visualización de información sobre coordenadas de puntos sobre sistema de referencia local y global, valores RGB puntuales, distancia y ángulos entre puntos y superficies mediante etiquetas o mediante la exportación de éstos a otros formatos, la extracción de secciones y perfiles, el cálculo de volúmenes, la obtención de modelos digitales mediante la rasterización de datos 3D y curvas de nivel con ficheros de exportación geotiff o shapes.

Quick Terrain Modeler: es un paquete de software de visualización de terreno y nube de puntos 3D muy utilizado en el mundo, diseñado para usar datos LiDAR, pero lo suficientemente flexible para adaptarse a otras fuentes de datos 3D, proporciona una explotación del terreno potente, simple e intuitiva.

Resultados del procesamiento de nube de puntos LiDAR.

El procesamiento de la nube de puntos LiDAR, permite realizar la clasificación de forma automática, agrupando los puntos por clases: suelo, vegetación, edificación, redes eléctricas y otros, a partir de los cuales se obtienen los siguientes resultados:

- 1) Modelo Digital del Terreno de alta precisión.
- 2) Delimitación de cuerpos de agua con alta precisión.
- 3) Modelo Digital del Terreno en zonas de bosque, medida de la altura de la vegetación, detección de árboles individuales.
- 4) Cálculos de volumen en pantanos, minas a cielo abierto y vertederos. 5) Modelos 3D de ciudades.
- 6) Cartografía de líneas eléctricas, oleoductos, carreteras, vías férreas. 7) Estudios de erosión y deslizamiento del terreno.

Aplicaciones de la nube de puntos LiDAR

El valor de los datos LiDAR, cobra una gran ventaja cuando están combinados con otros datos como los de las fotografías aéreas, las imágenes satelitales o los datos topográficos. LiDAR provee información útil para todas las etapas de trabajos de infraestructura, tales como la planeación de un corredor vial, simulaciones de impactos ambientales, movimientos óptimos de trabajos con tierra, determinación de la deformación de una vía y la detección de obstrucciones como la caída de los árboles después de una tormenta. LiDAR también provee información de la creación de modelos de ciudades digitales tridimensionales, un buen monitoreo de las líneas de electricidad, localización de potenciales inundaciones, modelación de flujo de ríos y tasación de los daños después de un desastre.

Modelado tridimensional en ciudades

El proceso de modelado de ciudades comprende dos pasos fundamentalmente, en primer lugar, la detección de las texturas de la superficie por las alturas del terreno y en segundo lugar la identificación o diferenciación de las texturas en diferentes clases de objetos tales como edificios, vegetación y composición de las calles.

Administración de redes eléctricas

Generalmente, las áreas de riesgo son de difícil acceso con métodos tradicionales, haciendo que los chequeos regulares de las líneas sean difíciles de efectuar. El uso de esta tecnología les permite a los usuarios revisar todas sus líneas con mayor facilidad y eficiencia desde la comodidad de sus oficinas.

La identificación de las áreas con problemas, permite despachar las cuadrillas sólo a los sitios críticos para que efectúen los ajustes y reparaciones cruciales con prontitud.

Desarrollo del Catastro

Con el uso de la más alta tecnología, efectuando un solo vuelo LiDAR sobre el entorno urbano, se pueden procesar los datos obtenidos para detectar la altura de cada edificio, las construcciones marginales, usos de suelo, planeación de construcciones de acuerdo al relieve del terreno, detectar la vegetación y crear modelos digitales del terreno con construcciones o separando la infraestructura del terreno (terreno desnudo), obteniendo la información más completa para el estudio y/o planeación de cualquier urbe en el menor tiempo. **Estudio de Cotas e Inundaciones**

El uso de la tecnología LiDAR ha permitido obtener una predicción más precisa de inundaciones. Esto se logra con una captura de datos del área a estudiar en alta resolución, lo cual proporciona elementos que aseguran una mejor planeación para la prevención de inundaciones y protección de las áreas que potencialmente pudieran ser afectadas. Esta tecnología ha permitido a gran escala el estudio preciso y detallado de la línea de costa para la prevención de inundaciones, recubrimientos territoriales, construcciones ilegales y monitoreo de la costa. **En la Industria Forestal y Agropecuaria**

La tecnología LiDAR tiene una gran aceptación dentro del sector forestal, gracias a la ventaja de poder medir la cota del terreno y la cota de la parte alta de la vegetación de forma simultánea, lo que permite obtener directamente la altura de la vegetación. Incluso en zonas de vegetación densa, donde con el uso de sensores ópticos no es posible tener una visión directa del terreno, generando con ello una visión tridimensional de la estructura de la vegetación. Los usos de LiDAR en la Agricultura han sido diversos, entre los más interesantes destacan la evaluación de los parámetros vegetativos en cultivos arbóreos y herbáceos, la obtención de modelos digitales de elevación con vegetación y árboles en 3D, la estimación de la superficie foliar en frutas y viñas, además permite estudiar el potencial del sistema de riego para la mejora de la producción del cultivo, y con ello el estudio de posibles áreas de riesgo de inundación.

4. CONCLUSIONES

La tecnología LiDAR es capaz de hacer levantamientos tridimensionales a partir de una nube de puntos densa con una precisión altimétrica de 10 cm y una representación detallada de los elementos topográficos de la zona. Su eficiencia viene dada por la densidad de puntos que logra, atendiendo a que el escáner laser -en el caso del adquirido por nuestra empresa- puede lograr levantar hasta 30 pto/m², detectando el comportamiento y características de la región. A esta nube se le realiza un filtrado de cada uno de los elementos del terreno, se digitalizan y modelan por separado. No solo se realiza el modelado del terreno sino también de las construcciones, vegetación, puentes, cuerpos de agua y tendidos eléctricos, logrando llevar a cabo estudios y análisis del producto final según el interés del usuario y el perfil técnico. Además, es una técnica que no daña el ecosistema, optimiza los procedimientos, es productiva y menos costosa comparada con los métodos de levantamiento topográfico tradicional.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los compañeros que de una forma u otra contribuyeron al desarrollo de esta investigación, en especial al colectivo que labora en la Agencia de Fotogrametría de la Empresa GEODESA por la atención y el apoyo brindado.

6. BIBLIOGRAFÍA

Arranz, J. J., Ormeño, S., Vicent, J.M., 2012, Universidad Politécnica de Madrid. Algoritmo para la clasificación de nubes de puntos LiDAR en entornos urbanos: discriminación entre vegetación y edificaciones, Madrid, España. Recuperado en <https://oa.upm.es>

Barragán, W., Escobar, L.K. y García, L. (2017). Obtención de parámetros óptimos en la clasificación de nubes de puntos LiDAR, a partir de sensores aerotransportados. Avances Investigación en Ingeniería, (14). Recuperado en <https://doi.org/10.18041/17944953/avances.1.1280>.

Instituto Geográfico Militar, Ecuador, 2016. Especiaciones Técnicas Generales de levantamiento de información mediante SENSOR LIDAR aerotransportado.

Jin, S., 2010. Proyecto Fin de Máster, Universidad de Salamanca. Ciudad 3D a partir de los datos LiDAR y la Ortofotografía. Recuperado en <https://gredos.usal.es>

Parra F. J., 2013. Tesis de Maestría, Universidad de Córdoba, España “Evaluación de diferentes algoritmos de filtrado de datos LiDAR para la clasificación automática de suelo desnudo y microrrelieve. (Edificios, invernaderos y vegetación)”. Recuperado en <https://core.ac.uk> Pérez P. (2017). Tratamiento de datos masivos 3D con software libre. TopoCart Revista del Colegio oficial de ingeniería Geomática y Topográfica. Vol.XXXVII-Nº175.

https://www.cursotddg.com/wp-content/uploads/2018/1/perezrodriguezpablo_2018_cc_topocart175

Sitio web de GeoInnova <https://geoinnova.org/blog-territorio/programas-lidar-gratuitos> consultado 10 de abril de 2023

Sitio web de Geo-Plus, <https://geo-plus.com/es/software-nube-de-punto/>, consultado 10 de abril de 2023