

Tesis defendida por
Ivan Ulloa Enriquez
y aprobada por el siguiente comité

Dr. Jorge Torres Rodríguez
Director del Comité

Dr. Hugo Homero Hidalgo Silva
Miembro del Comité

Dr. Rogelio Vázquez González
Miembro del Comité

M. en C. José Eleno Lozano Rizk
Miembro del Comité

Dr. José Antonio García Macías
Coordinador del Programa de Posgrado
en Ciencias de la Computación

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales
Director de la Dirección de Estudios de
Posgrado

28 de febrero de 2013

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA



Programa de Posgrado en Ciencias
en Ciencias de la Computación

Análisis y visualización de nubes de puntos LiDAR en internet

Tesis

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Ivan Ulloa Enriquez

Ensenada, Baja California, México,
2013.

Resumen de la tesis de Ivan Ulloa Enriquez, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Computación.

Análisis y visualización de nubes de puntos LiDAR en Internet

Resumen aprobado por:

Dr. Jorge Torres Rodríguez
Director de Tesis

La tecnología LiDAR ha incursionado en el ámbito de la percepción remota logrando ser una de las opciones que ofrecen mayor eficiencia y precisión en el campo del mapeo topográfico. Su principal ventaja es que proporciona información 3D en forma rápida y directa. Esta información puede ser de utilidad en diversas disciplinas, que van desde estudios hidrológicos y riesgo por inundación, hasta el cálculo de biomasa vegetal o la planificación y el desarrollo urbano. Sin embargo, el aprovechamiento de estos datos muchas veces es limitado por la falta de acceso a éstos, la carencia de los recursos de cómputo necesarios, o bien la falta de experiencia en su manejo. El principal problema en el análisis de nubes de puntos LiDAR es el volumen masivo de sus datos, lo cual implica retos en su manipulación y visualización.

El objetivo de esta tesis fue diseñar, desarrollar e implementar una plataforma web para el análisis y visualización de nubes de puntos LiDAR en Internet. Se eligieron las tecnologías con mejor soporte en la actualidad con el objeto de que la plataforma mantenga cierto nivel de actualización en el futuro cercano, utilizando tecnologías de código libre para facilitar su implementación en distintos sistemas operativos y equipos.

Como resultado se cuenta con una plataforma web que minimiza los tiempos de respuesta, permitiendo a los usuarios una rápida consulta y una sencilla operación. Se implementaron herramientas de visualización en 2D y 3D, las cuales permiten visualizar la nube de puntos como una imagen en valores de altura o intensidad, o bien, como un modelo tridimensional el cual puede ser rotado en sus tres ejes para facilitar su análisis.

La plataforma desarrollada puede propiciar la interacción entre expertos de diversas disciplinas, obteniéndose un mayor provecho de los datos LiDAR disponibles.

Palabras Clave: LiDAR, SIG en Internet, Web Mapping, Nubes de Puntos, Sistemas Distribuidos, Modelo de Elevación Digital.

Abstract of the thesis presented by Ivan Ulloa Enriquez as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Computer Sciences.

Analysis and visualization of LiDAR point clouds over internet

Abstract approved by:

Dr. Jorge Torres Rodríguez
Thesis Director

LiDAR technology has ventured into remote sensing technologies to become one of the best options to provide efficient and accurate data in the field of topographic mapping. Its main advantage is that it provides 3D information in a quick and direct fashion. This information can be useful in different areas of scientific research, ranging from hydrological studies and flood risk, to estimating plant biomass or urban planning & development. However, the use of such data is often limited by lack of access to the raw data, lack of the necessary computer resources, or the lack of experience in the use of this data. The main problem in the analysis of LiDAR point clouds is the massive quantities of data, which offers challenges in both the handling and visualization.

The aim of this thesis has been to design, develop and release a web platform for the analysis and visualization of LiDAR point clouds on the Internet. Technologies choices were based on popularity and current update speed in order to maintain compatibility over the platform in the near future. Open source technologies were used for easy deployment across multiple operating systems and equipment.

This has resulted in a web platform that minimizes response times, allowing users quick queries and ease of use. Visualization tools in 2D and 3D have been implemented, which allow the user to visualize the point cloud as an image created with height or intensity values, or as a tri-dimensional model which can be rotated in three axes to improve analysis.

The created platform looks out to foster interaction between experts from different areas of study, in the effort of promoting better use of the LiDAR data available.

Keywords: LiDAR, WebGIS, Distributed Systems, Point Cloud, Digital Elevation Model

Dedicatoria

*A Mis Padres
Por darme el apoyo y deseo de educación.*

Agradecimientos

Al CICESE por darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico mediante la beca No. 14980.

Al Doctor Jorge Torres Rodríguez, por su paciencia y apoyo durante este proceso.

A mi familia y su apoyo incondicional durante mi estancia en ensenada.

Contenido

Resumen español.....	1
Resumen inglés.....	2
Dedicatorias.....	3
Agradecimientos.....	4
Lista de Figuras.....	7
Lista de Tablas.....	9
1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del Problema.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo Principal.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Organización de la tesis.....	5
2. Tecnología LiDAR.....	6
2.1 Detección de Luz.....	6
2.2 Tipos de Dispositivos LiDAR.....	8
2.3 Sistema LiDAR Aéreo.....	12
2.3.1 Componentes de un Sistema LiDAR Aéreo.....	12
2.3.2 Proceso de Georreferenciación.....	17
2.3.3 Densidad de los Puntos.....	20
3. Tecnologías de Internet.....	23
3.1 WebGIS y Web Mapping.....	23
3.2 Evolución de GIS.....	26
3.3 Arquitectura Cliente - Servidor.....	28
3.4 Tipos de Cliente.....	29
4. Sistema Propuesto.....	34
4.1 Descripción del Sistema Propuesto.....	34
4.2 Tipos de Herramientas.....	35
4.3 Tipos de Usuarios.....	36
4.4 Seguridad.....	38

Contenido

5. Requerimientos del Sistema.....	39
5.1 Descripción y Preparación de Datos.....	39
5.2 Requisitos Generales	42
5.2.1 Requisitos del Sistema	42
5.2.1 Requisitos del Cliente	43
5.3 Requerimientos Funcionales del Sistema.....	44
5.3.1 Requerimientos Generales	44
5.3.2 Requerimientos de Seguridad	45
5.3.3 Requerimientos de Salida	46
5.3.4 Requerimientos de Visualización	47
6. Diseño del Sistema.....	49
6.1 Diseño de la base de datos.....	49
6.2 Construcción del repositorio de datos	51
6.2.1 Preparación de los Juegos de Datos	52
6.2.2 Herramientas de Soporte.....	53
6.3 Librerías de Soporte	54
6.4 Desarrollo y Programación del Sistema	56
6.4.1 Lectura de Datos	56
6.4.2 Visualización de Datos	58
6.4.3 Herramientas de Visualización	58
6.5 Seguridad.....	61
6.5.1 Control de Acceso.....	62
6.5.2 Usuarios	62
6.6 Servicios Hospedados en el Servidor	63
6.6.1 Servicios de Autenticación y Permisos	63
6.6.2 Servicios de Búsqueda y Filtrado	63
7. Implementación del Sistema	64
Conclusiones y Trabajo Futuro	72
Referencias Bibliográficas	74
Apéndice A.....	76

Lista de Figuras

1.	Eco-pulso recibido por un distanciómetro láser (Modificada de Petrie y Toth, 2009)	6
2.	Distanciómetro LiDAR de Onda Continua (Modificada de Petrie y Toth, 2009).	7
3.	Estación robotizada de LiDAR Terrestre.	8
4.	Vehículo equipado con un sistema LiDAR Móvil.	9
5.	LiDAR Topográfico de vuelo alto.	10
6.	LiDAR Topográfico de vuelo bajo.	11
7.	LiDAR Batimétrico para aplicaciones costeras.	11
8.	Sistema LiDAR Aéreo.	12
9.	Esquema generalizado de un distanciómetro láser (Modificada de Petrie y Toth, 2009).	13
10.	Múltiples retornos provenientes de la estructura de un árbol y del suelo.	14
11.	Componentes del sistema POS (Tomada de Wehr, 2009).	15
12.	Unidad IMU montada encima del escáner láser (Tomada de Wehr, 2009). ...	15
13.	Esquema de sincronización de la unidad de control LiDAR con la unidad de control POS (Tomada de Wehr, 2009).	16
14.	Georreferenciación de puntos LiDAR en la superficie de la Tierra (Modificada de Wehr, 2009).	17
15.	Configuración de la unidad LiDAR, la unidad IMU y el GPS (Modificada de Wehr, 2009).	18
16.	Rotaciones de una aeronave en sus componentes de Roll, Pitch y Yaw (Modificada de Wehr, 2009).	19
17.	Línea de escaneo sobre terreno horizontal (Modificada de Wehr, 2009).	22
18.	Línea de escaneo sobre terreno inclinado (Modificada de Wehr, 2009).	22
19.	Segmentación con presentación distribuida.	30
20.	Segmentación con presentación remota.	31

21.	Segmentación con función distribuida.	31
22.	Segmentación con acceso remoto a datos.	32
23.	Segmentación con base de datos distribuida.	32
24.	Esquema de la base de datos utilizada en la plataforma.	51
25.	Modelo de etiquetado de archivos LAS.	53
26.	Imagen generada utilizando altura (izquierda) y utilizando intensidad (derecha).	59
27.	Ejemplo del uso de una paleta monocromática (izquierda) y la utilización de una paleta azul - verde - roja (derecha).	60
28.	Ejemplo de una imagen a la que se le ha aplicado un filtro suavizante.	61
29.	Encabezado de archivo LiDAR desplegado previo al procesado.	65
30.	Visualización de datos LiDAR interpolados e ilustrados en escala de grises... ..	66
31.	Menú de herramientas disponibles durante la visualización de datos en 2D. ..	66
32.	Visualizador de nubes de puntos en 3D.	67
33.	Cubrimiento en visualizador en 3D tras un aumento en su escala vertical.	67
34.	Reemplazo de intensidad por altura en la paleta de color.	68
35.	Mash-Up de Google Earth con herramientas propietarias.	69
36.	Interfaz de Visualización en 3D.	70
37.	Interfaz de visualización en 3D. Se observa el tamaño de punto 1, este es el tamaño más pequeño disponible.	70
38.	Interfaz de visualización en 3D. Se observa el tamaño de punto 8, este es el tamaño estándar.	71

Lista de Tablas

1.	Descripción de las distintas arquitecturas GIS. Obtenido de Peng et al (2003).	27
2.	Tabla 2. Definición del Encabezado LAS, versión 1.3. ASPRS. Obtenida de The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (2010).	40
3.	Tabla 3. Composición por punto LAS versión 1.3. ASPRS. Obtenida de The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (2010).	41
4.	Tabla 4. Requerimientos Funcionales Generales.	45
5.	Requerimientos funcionales de seguridad.	46
6.	Requerimientos funcionales de movilidad.	47
7.	Requerimientos funcionales de visualización.	48

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se presenta la motivación que ha dado pie al desarrollo de este proyecto de tesis, así como los antecedentes sobre algunas iniciativas existentes relacionadas con el tema. Se presentan además los objetivos y justificaciones del estudio, así como la estructura y organización del documento.

El LiDAR aéreo es quizás el desarrollo tecnológico más importante de la última década en el campo del mapeo topográfico. Su principal ventaja consiste en proveer un medio para coleccionar información 3D en forma rápida y directa, además de tener una alta exactitud debido a la precisión centimétrica de los distanciómetros laser y sus sistemas integrados de orientación y posicionamiento.

A diferencia de los métodos fotogramétricos tradicionales, un LiDAR puede coleccionar en forma directa densas nubes de puntos georreferenciados, las cuales pueden ser utilizadas directamente en aplicaciones topográficas. Sin embargo, la explotación eficiente de estos datos implica retos en el desarrollo de nuevos métodos, diferentes a los usados en la fotogrametría tradicional. Durante la última década se han generado avances importantes en varios campos de investigación como la graficación por computadora, el reconocimiento de patrones y el cómputo de alto desempeño. Como consecuencia, las técnicas tradicionales basadas en el procesamiento de imágenes se han adaptado paulatinamente a nuevos enfoques basados en la colecta de nubes de puntos, su calibración, georreferenciado y extracción de información. Uno de los principales problemas en el análisis de nubes de puntos LiDAR es la naturaleza altamente masiva de sus datos (del orden de GB a TB), implicando retos en su almacenamiento, manipulación y visualización.

Esta información puede ser de gran utilidad en diversos campos de trabajo como el cálculo de biomasa vegetal, la evaluación de recursos forestales, estudios hidrológicos y de riesgo por inundación, erosión costera, planificación y desarrollo urbano, entre otros más. Sin embargo, la falta de acceso a estos datos, así como la carencia de los recursos de cómputo necesarios y a veces la falta de experiencia técnica del analista, hacen que los usuarios comunes y los tomadores de decisiones no aprovechen las ventajas que ofrece la tecnología LiDAR.

En esta tesis se plantea el desarrollo de un sistema distribuido para el análisis y visualización de nubes de puntos LiDAR. El sistema tendrá capacidad de procesar volúmenes masivos de datos, así como permitir la interacción entre usuarios con diferentes niveles de experiencia en el análisis y procesado de datos LiDAR. Para ello se propone el desarrollo de un sistema distribuido basado en cómputo de alto desempeño, redes de alta velocidad y sistemas avanzados de visualización.

1.1 Antecedentes

Con la introducción de la tecnología LiDAR se han buscado maneras de hacer accesibles los datos a los usuarios. Las tecnologías de Web Mapping han sido el medio más eficiente para lograr este objetivo, ofreciendo toda una variedad de herramientas para la selección y descarga de datos. En este proyecto se han tomado como referencia varias iniciativas existentes orientadas al uso de datos LiDAR. Estas plataformas pertenecen tanto a grupos privados como gubernamentales, ofreciendo distintas herramientas y ventajas que las hacen sobresalir en la distribución y visualización de datos LiDAR. En el Apéndice A se describen las principales características de cada una de ellas.

Las iniciativas analizadas durante el proceso de revisión fueron Open Topography (www.opentopography.org), NOAA Digital Coast (www.csc.noaa.gov/dataviewer), USGS LiDAR (lidar.cr.usgs.gov/LIDAR_Viewer) y Dielmo Online (www.lidar-online.com). Todas estas alternativas generan un Mash-up que consiste en la mezcla de un servidor de

mapas (Google Maps y otros) con diferentes características como polígonos de cubrimiento y otras herramientas de selección y visualización.

Con excepción de USGS LiDAR, todas las iniciativas mencionadas anteriormente hacen uso de Google Maps para realizar la visualización de los rasters. Sobre estos se sobreponen diferentes herramientas utilizadas exclusivamente en cada uno de los sitios. Estas herramientas como las de selección de áreas y en algunos casos magnificación (Zoom) se encuentran integradas a la interfaz para facilitar la interacción con el servicio de mapas. La herramienta de selección de datos se encuentra en cada una de las herramientas, permitiendo al usuario delimitar el área a descargar.

Todas las plataformas permiten la descarga de los datos LiDAR, la mayoría soportando el formato LAS, excepto donde los datos a descargar no lo permitan por su naturaleza. Los datos pueden tomar desde un par de minutos hasta más de una hora dependiendo del tamaño del cubrimiento, sin embargo, se ofrece la opción de ser notificado por correo electrónico cuando la descarga se encuentra lista.

Adicionalmente a la descarga de datos, Open Topography ofrece los servicios de generación de una red irregular de triángulos (TIN) o modelos de elevación digitales (DEM) con diferentes técnicas de interpolación. Estos productos pueden ser descargados también ya sea como imágenes, GeoTiff o Arc ASCII Grid. Dielmo Online, adicionalmente, ofrece la visualización de capas que contienen los DEM como imágenes en diferentes rampas de color, dependiendo del cubrimiento que se visualiza.

Cientos de Juegos de datos con más de un millardo de puntos se encuentran disponibles en estas plataformas, libres para ser descargados por cualquier usuario que visite los sitios. En base al uso de estas plataformas y el análisis de todas las herramientas que ofrecen, se observa que estas plataformas se enfocan enormemente en la distribución de los datos LAS. El procesamiento y visualización de los datos, por otro lado, se ha visto encasillado actualmente, solamente al uso de aplicaciones de escritorio.

1.2 Planteamiento del Problema

Al analizar las iniciativas existentes, y tras generar diversas peticiones en ellas, se observa que estas se concentran en el almacenado y distribución de los datos dejando poco interés, de haberlo, en la visualización de estos. Todas las iniciativas analizadas ofrecen al usuario la posibilidad de descargar los datos solicitados. Adicionalmente, algunas ofrecen la descarga de productos derivados de los datos, pero ninguna ofrece herramientas adicionales para la visualización.

De ofrecer herramientas para la visualización, los usuarios podrían realizar consultas sin la necesidad de realizar descargas de los datos. La carencia de las herramientas mencionadas impide en segundas ocasiones que el usuario obtenga información relevante sobre los datos que está explorando, u ocasiona la selección errónea.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Principal.

Diseñar e implementar una plataforma de servicios web que permita la búsqueda, selección y visualización de nubes de puntos LiDAR sobre el navegador.

1.3.2 Objetivos Específicos.

Diseñar e implementar una herramienta para la búsqueda y descarga de nubes de puntos LiDAR, en formato LAS.

Diseñar e implementar una herramienta para la visualización de los juegos de datos por medio de interpolación sobre web.

Diseñar e implementar un Mash-up que permita la visualización de DEM en Google Maps.

Diseñar e implementar una herramienta para la visualización en 3D de los juegos de datos.

1.4 Organización de la Tesis

El documento está organizado de la siguiente manera: el Capítulo 2 presenta una descripción de la tecnología LiDAR. En el Capítulo 3 se describen las tecnologías de Internet empleadas en el desarrollo de este proyecto. Posteriormente en el Capítulo 4 se hace una descripción del sistema propuesto. Los Capítulos 5 y 6 consisten en un análisis de requerimientos y en el diseño del sistema respectivamente. Finalmente, en el Capítulo 7 se muestra la implementación del sistema mediante un par de casos de uso ficticios, mientras que en el Capítulo 8 se presentan las conclusiones y se proponen líneas de trabajo a futuro.

Capítulo 2

Tecnología LiDAR

2.1 Detección de Luz

La tecnología LiDAR (Light Detection And Ranging) es una herramienta de percepción remota utilizada para obtener información acerca de un objeto mediante la medición de la luz transmitida por un dispositivo láser y reflejada por este objeto. A diferencia de la tecnología RaDAR (Radio Detection And Ranging) un LiDAR utiliza energía de longitud de onda más corta, generalmente en la porción infra-roja del espectro electromagnético, lo cual le permite obtener mayor resolución en la medición de distancias que la tecnología de RaDAR.

Un LiDAR puede ser implementado en dos maneras. La primera y más común, utiliza pulsos discretos para determinar la distancia al objetivo (target). El LiDAR mide el tiempo de viaje (TOF – Time of Flight) de un pulso desde el transmisor hasta el objetivo y la llegada al receptor de la señal reflejada por este objeto (figura 1).

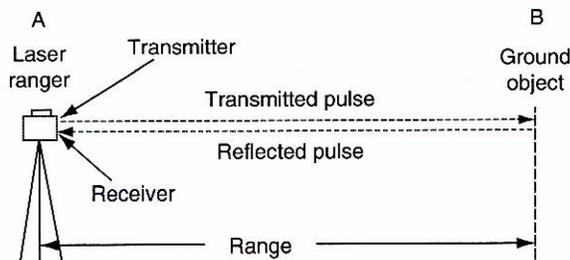


Figura 1. Eco-pulso recibido por un distanciómetro láser (Tomada de Petrie y Toth, 2009 p.4.).

El LiDAR calcula la distancia al objetivo mediante el TOF y la velocidad del pulso (velocidad de la luz). Como se expresa en la Ecuación 1. C es la velocidad de la luz, Δt es el TOF y R es la distancia al objeto. La Ecuación 1 tiene un factor de $\frac{1}{2}$, esto con el propósito de estimar únicamente el tiempo de viaje entre el transmisor LiDAR y el objetivo.

$$R = C * \frac{\Delta t}{2} \quad (1)$$

Otro método, utilizado comúnmente en distancias menores a los 100 metros, es el modo de onda continua (CW – Continuous Wave). En este caso el LiDAR determina la distancia mediante la medición de un número entero de longitudes de onda ($M\lambda$) y la diferencia de fase ($\Delta\lambda$) entre las formas de onda transmitidas y recibidas para un rayo emitido.

El número M de longitudes de onda es calculado mediante la variación en frecuencia del rayo emitido (Petrie y Toth, 2009). La figura 2 muestra la diferencia en fase entre las señales transmitida y recibida, medidas en el punto A. El punto B representa la ubicación del objetivo a más de dos longitudes de onda.

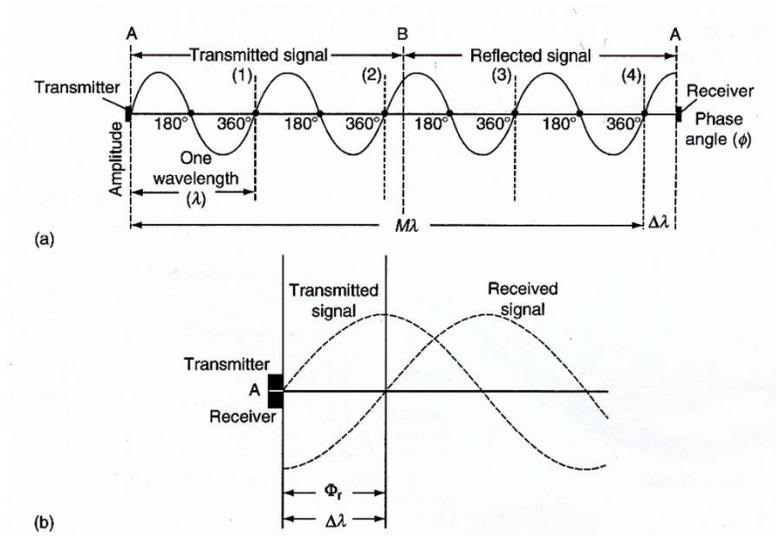


Figura 2. Distanciómetro LiDAR de Onda Continua (Tomada de Petrie y Toth, 2009 p. 5.).

La distancia al objetivo se calcula utilizando la ecuación 2, la cual también utiliza un factor de $\frac{1}{2}$ para estimar solo la distancia entre el transmisor y el objetivo.

$$R = \frac{(M\lambda - \Delta\lambda)}{2} \quad (2)$$

2.2 Tipos de Dispositivos LiDAR

Debido al acelerado avance de la tecnología LiDAR, en la actualidad existe una amplia variedad de dispositivos LiDAR en el mercado. Estos se pueden agrupar en tres tipos de sistemas: LiDAR Terrestre, LiDAR Móvil y LiDAR Aéreo. A su vez, el Sistema LiDAR aéreo se subdivide en LiDAR Topográfico y LiDAR Batimétrico.

El LiDAR Terrestre consiste en una estación fija situada sobre un punto georreferenciado, desde donde efectúa un escaneo de la escena mediante un mecanismo robotizado y un sistema de medición similar al de una estación total (figura 3).

Las distancias de detección de estos instrumentos varían entre unas decenas y unos centenares de metros. Sus campos de aplicación son múltiples, desde el monitoreo de avance de obra en ingeniería civil y el levantamiento de monumentos arquitectónicos, hasta el análisis morfométrico de topofomas en estudios geomorfológicos.



Figura 3. Estación robotizada de LiDAR Terrestre (Tomado de Monniaux, 2007).

Por otra parte, el LiDAR Móvil es un sistema de mapeo consistente en un láser rotatorio con 360° de cubrimiento, el cual viaja montado sobre un vehículo en movimiento

(figura 4). El sistema opera en conjunto con una unidad de posicionamiento GPS lo cual le permite georreferenciar los objetos detectados a lo largo de su trayectoria.

Entre las aplicaciones más importantes de este tipo de dispositivos destaca el mapeo de vías de comunicación y la restitución de fachadas de edificios en modelos de ciudades virtuales.



Figura 4. Vehículo equipado con un sistema LiDAR Móvil (Tomada de RIEGL USA, 2011).

El sistema LiDAR Aéreo es el más relevante en este trabajo. En la siguiente sección se hará una descripción más detallada de este sistema. A continuación se mencionarán algunas de las principales diferencias entre los sistemas topográfico y batimétrico.

El LiDAR Topográfico de vuelo alto está basado en un láser de alta potencia capaz de emitir pulsos y captar sus retornos desde alturas entre los 4000 y 6000 metros sobre el nivel del terreno (figura 5). El objetivo de estos sistemas es poder realizar campañas de mapeo a nivel regional. Su principal aplicación es la generación de modelos de elevación del terreno con resolución espacial media a baja, los cuales pueden ser utilizados en estudios geomorfológicos y modelos hidrológicos a nivel regional.

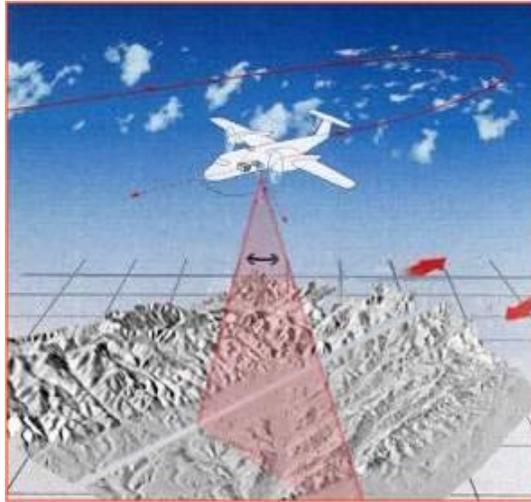


Figura 5. LiDAR Topográfico de vuelo alto (Universal, 2013).

El LiDAR Topográfico de vuelo bajo opera a alturas entre los 200 y 800 metros sobre el terreno (figura 6). Debido a motivos de seguridad, se emplea un láser de menor potencia con el objeto de no causar daño a las población de las inmediaciones a la zona de colecta.

Este tipo de sistema es ideal para el mapeo a detalle de corredores; como por ejemplo vías de comunicación, poliductos y líneas de conducción eléctrica, así como litorales en lagos y costas. Generalmente sus aplicaciones consisten en levantamientos con una alta densidad de puntos.

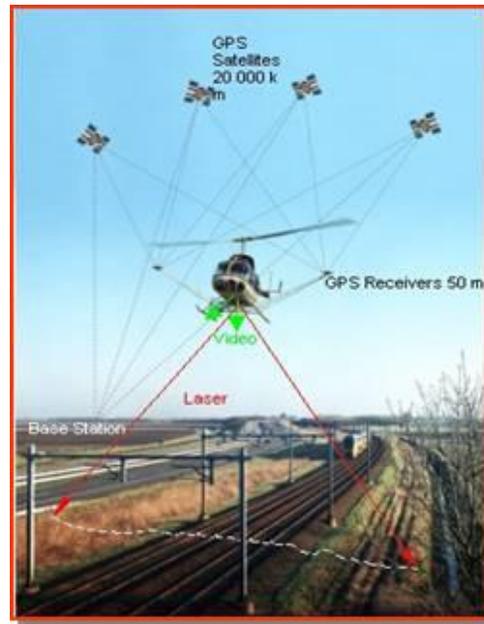


Figura 6. LiDAR Topográfico de vuelo bajo (Tomada de EVROGeomatika, 2007).

Finalmente, el LiDAR Batimétrico consiste en un láser que opera en el intervalo del azul-verde del espectro electromagnético, lo cual le da capacidad de penetrar la columna de agua, permitiendo realizar mapeos batimétricos en regiones de aguas claras y relativamente someras (figura 7). Esta característica lo convierte en una excelente herramienta de mapeo en zonas costeras, permitiendo por una parte superar las deficiencias de los métodos terrestres tradicionales, y por otro lado evitando los riesgos que implica el empleo de embarcaciones en aguas poco profundas y en la zona de rompiente.

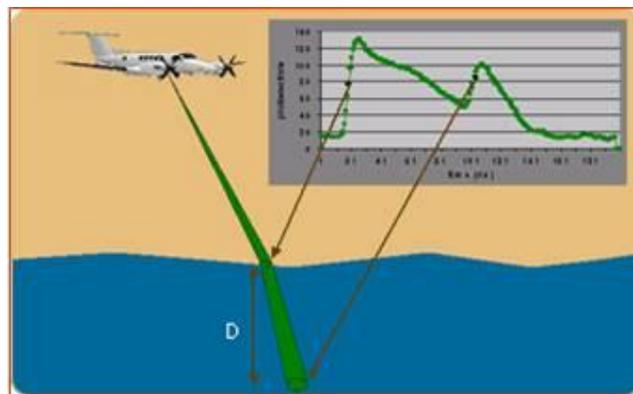


Figura 7. LiDAR Batimétrico para aplicaciones costeras (Tomado de FUGRO, 2013).

2.3 Sistema LiDAR Aéreo

Los avances en la tecnología GPS (Global Positioning System) y su integración con los sistemas de navegación inercial (INS – Inertial Navigation System) han permitido el uso de los sistemas LiDAR a bordo de plataformas aéreas, los cuales se han denominado Sistema LiDAR Aéreo (ALS – Airborne LiDAR System).

Durante las dos últimas décadas se han desarrollado sistemas ALS más confiables y precisos, lo cual ha originado un incremento en el uso de datos LiDAR para la generación de Modelos Digitales de Elevación (DEM – Digital Elevation Model). La figura 8 representa una plataforma aérea mapeando la superficie del terreno y muestra los tres componentes principales de un sistema ALS: la unidad de escaneo láser, el sistema GPS, y el sistema INS.

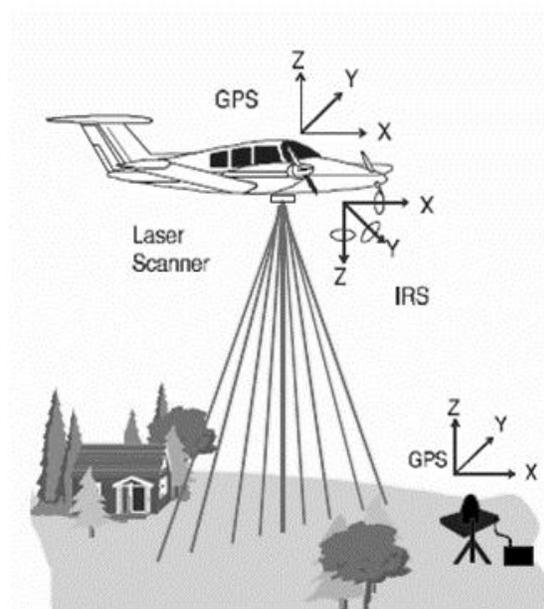


Figura 8. Sistema LiDAR Aéreo (Digital Photogrammetry Research Group, 2013).

2.3.1 Componentes de un Sistema LiDAR Aéreo

Un sistema LiDAR aéreo está compuesto básicamente por tres elementos: la unidad de escaneo láser, el sistema de posicionamiento y orientación, y el sistema de sincronización.

Unidad de Escaneo Láser: Esta unidad consiste en un láser de estado sólido comúnmente fabricado a base de Nd:YAG (Neodymium-doped Yttrium Aluminum Garnet), el cual transmite pulsos a longitudes de onda entre los 0.8 μm y 1.6 μm . Las longitudes de onda típicamente empleadas son 1.064 μm ó 1.500 μm . Generalmente los pulsos láser tienen amplitudes de 4 a 15 ns, con energías pico de varios mili-joules, y son emitidos a tasas de frecuencia de hasta 250 Khz (Liu, 2008).

Se utiliza un fotodiodo para detectar los pulsos reflejados y dispersados por los objetos (targets), convirtiéndolos en señales eléctricas. Estos fotodiodos pueden ser fabricados a base de silicio para longitudes de onda de hasta 1100 nm, o bien a base de germanio para longitudes de onda entre 1000 y 1650 nm (Wehr, 2009).

La figura 9 muestra el principio de funcionamiento de un detector láser. Los pulsos son emitidos por un láser de alta potencia de estado sólido a través de un colimador. Los pulsos reflejados son colectados por los espejos primario y secundario, y son dirigidos hacia el fotodiodo detector.

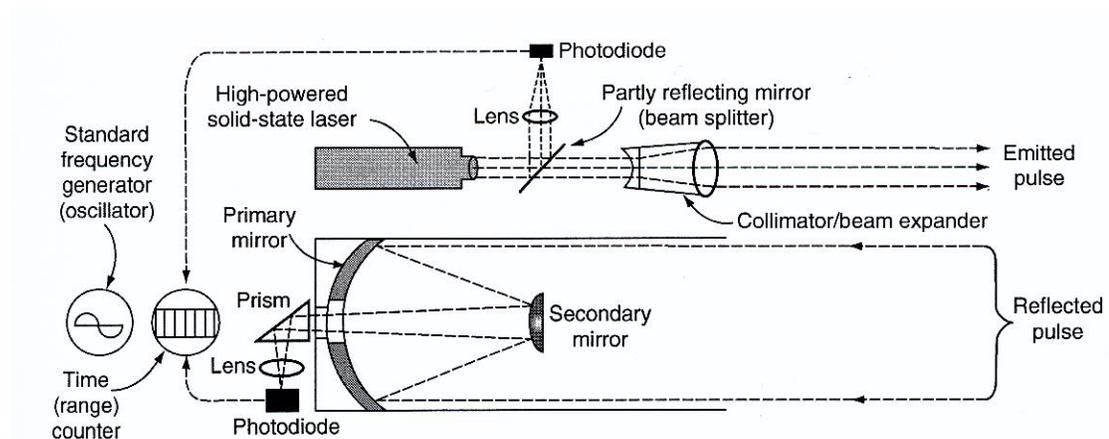


Figura 9. Esquema generalizado de un distanciómetro láser (Tomada de Petrie y Toth, 2009 p.15.).

Algunos distanciómetros láser tienen capacidad para detectar múltiples retornos (returns) provenientes del mismo pulso transmitido (figura 10). Estas señales de retorno son detectadas cuando su energía excede cierto umbral de intensidad. En áreas con vegetación los primeros retornos corresponden a los primeros frentes de energía de la señal detectada, y pueden provenir de la cima de los árboles. Los siguientes retornos podrán provenir de

capas intermedias del follaje; como ramas, troncos o vegetación de menor altura. Finalmente, los últimos retornos corresponden a los últimos picos de energía detectados en la señal, y pueden provenir del terreno o suelo desnudo, o bien, de alguna capa intermedia del follaje (Harding, 2009).

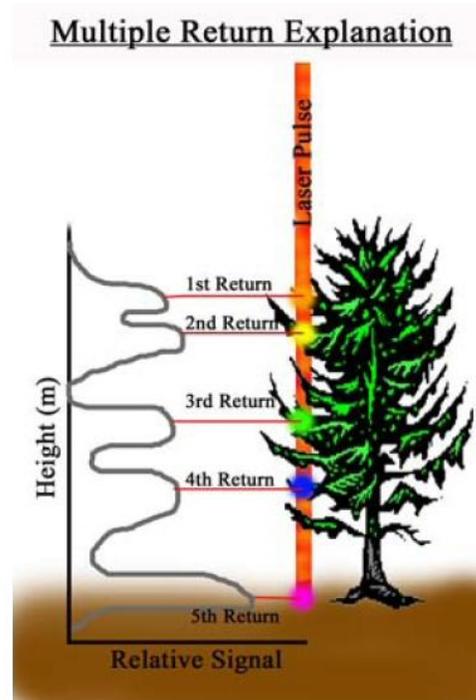


Figura 10. Múltiples retornos provenientes de la estructura de un árbol y del suelo (Tomado de PennState, 2013).

Sistema de Posicionamiento y Orientación: El sistema de posicionamiento y orientación (POS – Position and Orientation System) está constituido por la integración de un sistema GPS diferencial (DGPS – Differential Global Positioning System) y una unidad de medición inercial (IMU – Inertial Measurement Unit) los cuales proveen al sistema ALS con información acerca de su trayectoria sobre el terreno y su actitud (pitch, roll y yaw – cabeceo, alabeo y rumbo). En la figura 11 se muestran los componentes del sistema POS. Adicionalmente se utiliza una unidad de memoria o disco duro para almacenar la información de posición y orientación, etiquetada con la información de tiempo-GPS.

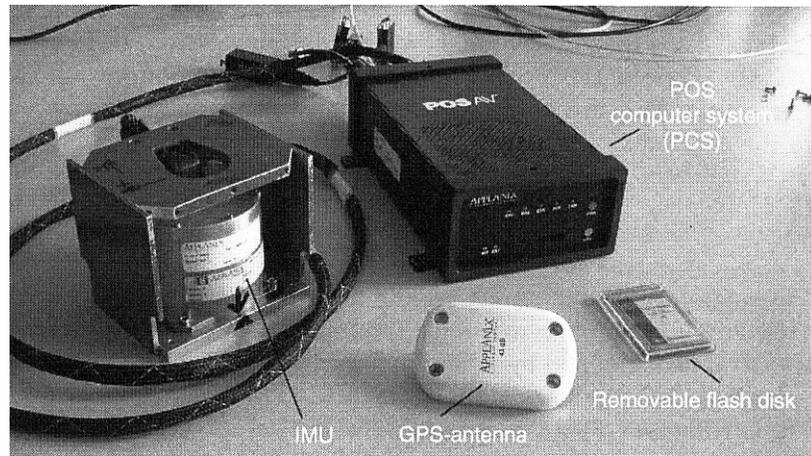


Figura 11. Componentes del sistema POS (Tomada de Wehr, 2009 p. 151.).

El sistema DGPS requiere de estaciones de referencia en el terreno, las cuales deben formar una línea base con distancia máxima de unos 25 km, esto con el objeto de que el sistema ALS pueda alcanzar una precisión a nivel centimétrico. Típicamente la unidad IMU va montada encima de la estructura que soporta el escáner láser, esto con el objeto de poder registrar la orientación y vibraciones de la plataforma en el sitio exacto de la ubicación del LiDAR (figura 12).

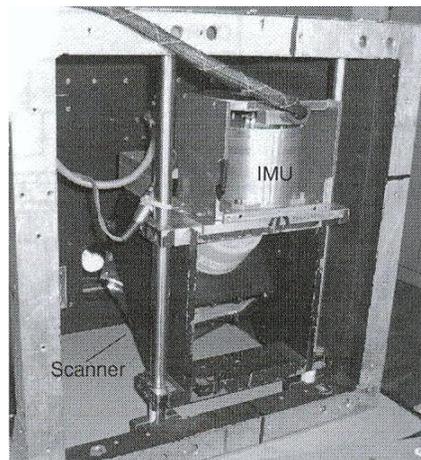


Figura 12. Unidad IMU montada encima del escáner láser (Tomada de Wehr, 2009 p. 152).

Sistema de Sincronización: El distanciómetro láser y el sistema POS son unidades independientes, por lo que es necesaria la sincronización de los datos y mediciones obtenidos. La unidad de control LiDAR (LCU – LiDAR Control Unit) controla y almacena las mediciones hechas por el distanciómetro láser, mientras que la unidad de control POS (PCU – POS Control Unit) controla y almacena las mediciones hechas por el sistema GPS y la unidad IMU (figura 13).

El tiempo de la unidad LCU es definido por el reloj de su computadora interna, mientras el tiempo de la unidad PCU está relacionado con el tiempo del sistema GPS. Debido a que el escáner láser tiene una tasa de muestreo mucho más alta que la del sistema POS, un archivo LiDAR tendrá más datos por intervalo de tiempo que un archivo POS. Una vez que los datos han sido sincronizados, entonces son utilizados como entrada al proceso de georreferenciación.

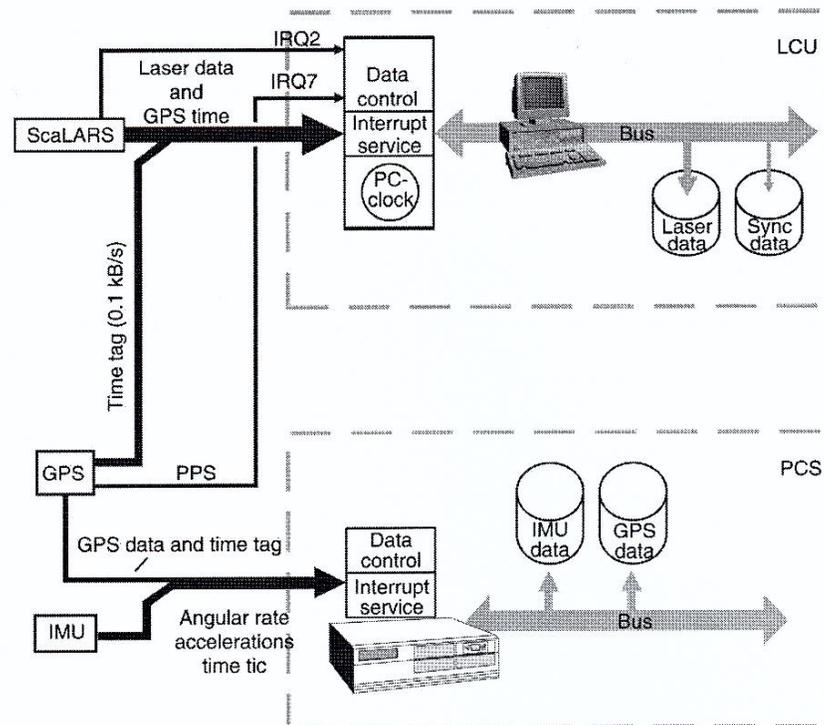


Figura 13. Esquema de sincronización de la unidad de control LiDAR con la unidad de control POS (Tomada de Wehr, 2009 p.153.).

2.3.2 Proceso de Georreferenciación

El proceso de georreferenciación consiste en asignar a cada dato LiDAR una posición sobre la Tierra de acuerdo a un sistema de coordenadas 3D. Esto puede describirse mediante un simple enfoque vectorial como se muestra en la figura 14, o como se expresa en la Ecuación 3.

$$\vec{G} = \vec{r}_L + \vec{S} \quad (3)$$

donde \vec{G} es el vector desde el centro de la Tierra hasta el punto en el terreno, \vec{r}_L es el vector desde el centro de la Tierra hasta el punto de origen del LiDAR, y \vec{S} es el vector de alcance (slant) desde el LiDAR hacia el punto en el terreno. El punto de rotación del espejo del LiDAR define el origen del sistema de coordenadas L , y se considera como el punto en el cual se origina el pulso del láser. El eje X_L apunta sobre la dirección de vuelo, el eje Y_L apunta a la derecha de la plataforma aérea, y el eje Z_L apunta hacia abajo, perpendicular al plano definido por los ejes X_L y Y_L .

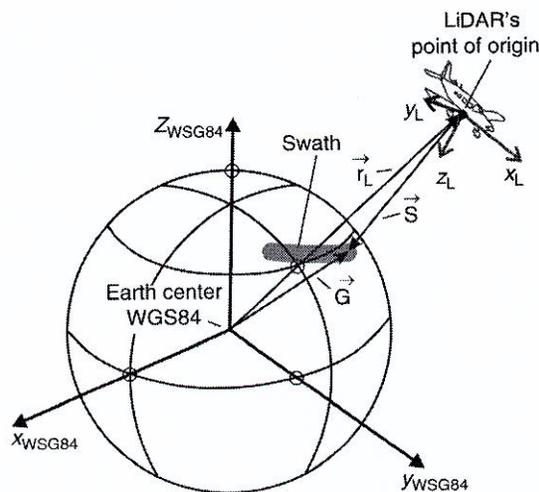


Figura 14. Georreferenciación de puntos LiDAR en la superficie de la Tierra (Tomada de Wehr, 2009 p. 132.).

Tanto el punto de origen de la unidad LiDAR, como los de la unidad IMU y el GPS, todos están en diferentes ubicaciones dentro del avión, por lo tanto se deben hacer algunas

transformaciones para determinar la ubicación exacta de \vec{r}_L . La configuración de estos tres componentes se muestra en la figura 15.

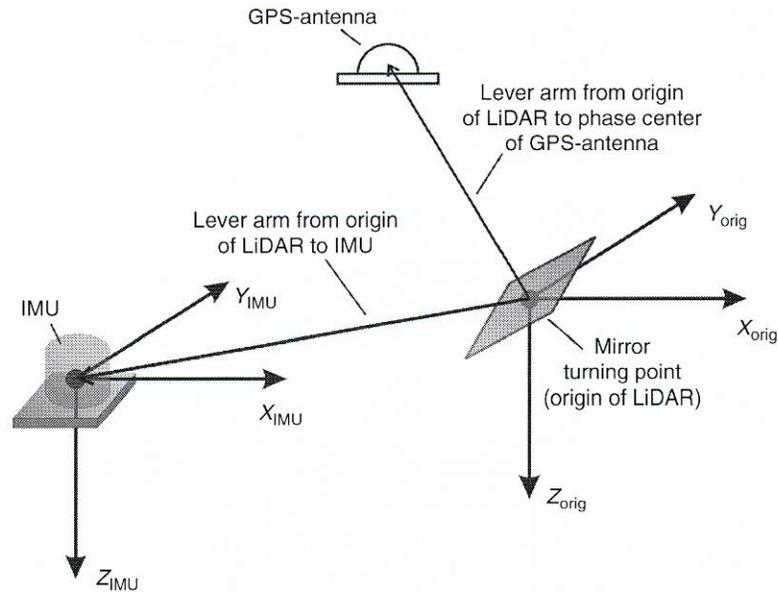


Figura 15. Configuración de la unidad LiDAR, la unidad IMU y el GPS (Tomada de Wehr, 2009 p.155.).

Los datos provenientes del sistema POS (IMU y GPS) necesitan ser transformados al punto de origen del LiDAR, utilizando dos rotaciones tridimensionales (lever arms) para determinar la ubicación y orientación del LiDAR. Una de estas rotaciones es desde el punto de origen del LiDAR hacia el centro de la unidad IMU, y la otra es desde el punto de origen del LiDAR hacia el centro de fase de la antena del GPS. Debido a que el GPS está basado en el sistema de referencia WGS84, el vector \vec{r}_L también estará definido en el sistema WGS84.

El vector \vec{S} , medido en el sistema de coordenadas L , debe ser transformado al sistema WGS84 para determinar \vec{G} en WGS84. Así, la Ecuación 3 puede escribirse como

$$G_{WGS84} = r_{L_{WGS84}} + ()_{H}^{WGS84} * ()_{IMU}^H * ()_{L}^{IMU} * S_L \quad (4)$$

El producto $()_{IMU}^H * ()_{L}^{IMU}$ describe la orientación del sistema de coordenadas L con respecto a un sistema de coordenadas horizontal H . La matriz $()_{IMU}^H$ describe la

orientación de la unidad IMU respecto al sistema horizontal H debido a los movimientos de alabeo o “roll” (ω – rotación sobre el eje X_L), cabeceo o “pitch” (φ – rotación sobre el eje Y_L), y rumbo o “yaw” (κ – rotación sobre el eje Z_L). Estas rotaciones se describen en la figura 16.

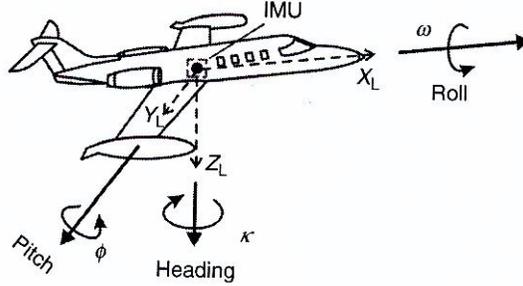


Figura 16. Rotaciones de una aeronave en sus componentes de Roll, Pitch y Yaw (Tomada de Wehr, 2009 p.156.).

Si estas rotaciones son efectuadas en la secuencia de Roll \rightarrow Pitch \rightarrow Yaw, la matriz $(_)_{IMU}^H$ se define como

$$(_)_{IMU}^H = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{pmatrix} \quad (5)$$

donde

$$\begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\kappa) * \cos(\varphi) \\ \text{sen}(\kappa) * \cos(\varphi) \\ -\text{sen}(\varphi) \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} a_{21} \\ a_{22} \\ a_{23} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\kappa) * \text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\omega) - \text{sen}(\kappa) * \cos(\omega) \\ \text{sen}(\kappa) * \text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\omega) + \cos(\kappa) * \cos(\omega) \\ \cos(\varphi) * \text{sen}(\omega) \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} a_{31} \\ a_{32} \\ a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\kappa) * \text{sen}(\varphi) * \cos(\omega) - \text{sen}(\kappa) * \text{sen}(\omega) \\ \text{sen}(\kappa) * \text{sen}(\varphi) * \cos(\omega) + \cos(\kappa) * \text{sen}(\omega) \\ \cos(\varphi) * \cos(\omega) \end{pmatrix} \quad (8)$$

La matriz $(_)_{L}^{IMU}$ en la Ecuación 2.4 considera el desalineamiento entre el sistema POS y el LiDAR. Esta es similar a la matriz $(_)_{IMU}^H$, excepto que la anterior considera los ángulos de desalineamiento $\delta\omega$, $\delta\varphi$ y $\delta\kappa$ en lugar de los ángulos ω , φ y κ respectivamente. Si el LiDAR ha sido alineado perfectamente con la unidad IMU, entonces el sistema de coordenadas L y el sistema de coordenadas del IMU tendrán la misma orientación, y por lo tanto la matriz $(_)_{L}^{IMU}$ se convierte en unitaria (Wehr, 2009).

Finalmente, la matriz $(_)_{H}^{WGS84}$ en la Ecuación 4 está relacionada con la orientación entre el sistema horizontal H y el sistema WGS84. Esta se define geográficamente por su latitud Φ_0 y su longitud Λ_0 de la siguiente manera.

$$(_)_{H}^{WGS84} = \begin{pmatrix} -\cos(\Lambda_0) * \text{sen}(\Phi_0) & -\text{sen}(\Lambda_0) & -\cos(\Lambda_0) * \cos(\Phi_0) \\ -\text{sen}(\Lambda_0) * \text{sen}(\Phi_0) & \cos(\Lambda_0) & -\text{sen}(\Lambda_0) * \cos(\Phi_0) \\ \cos(\Phi_0) & 0 & \text{sen}(\Phi_0) \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

2.3.3 Densidad de los Puntos

La densidad de puntos (laser spots) por metro cuadrado se determina por

$$\rho = \frac{1}{\Delta x_{long} * \Delta x_{trans}} \quad (10)$$

$$\Delta x_{long} = \frac{V}{f_{esc}} \quad (11)$$

donde Δx_{long} es la densidad longitudinal de puntos en la dirección de vuelo de la plataforma aérea y Δx_{trans} es la densidad de puntos transversal a la línea de vuelo. Δx_{long} es dependiente de la velocidad de vuelo de la plataforma V , y de la tasa de barrido del escáner láser f_{esc} . Por otra parte, Δx_{trans} se calcula mediante

$$\Delta x_{trans} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\theta}{N} * \frac{H}{\cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right) * \cos(i) * \left[1 - \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * \tan(i)\right]^2} , \quad si \ i \geq 0 \\ \frac{\theta}{N} * \frac{H}{\cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right) * \cos(i) * \left[\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * \tan(i) - 1\right]^2} , \quad si \ i < 0 \end{array} \right\} \quad (12)$$

donde θ es la amplitud de la franja de barrido (swath) expresada en metros o grados angulares, H es la altitud de vuelo sobre el terreno, N es el número de puntos por línea de barrido, y i es la pendiente del terreno a lo largo de la de la línea de escaneo. N se deriva a partir de la tasa de escaneo f_{esc} y de la tasa de pulsos f_{pulso} .

$$N = \frac{f_{pulso}}{f_{esc}} \quad (13)$$

En la figura 17 se ejemplifica la geometría para una superficie de terreno horizontal, mientras que en la figura 18 se muestra la geometría para una superficie de terreno inclinado.

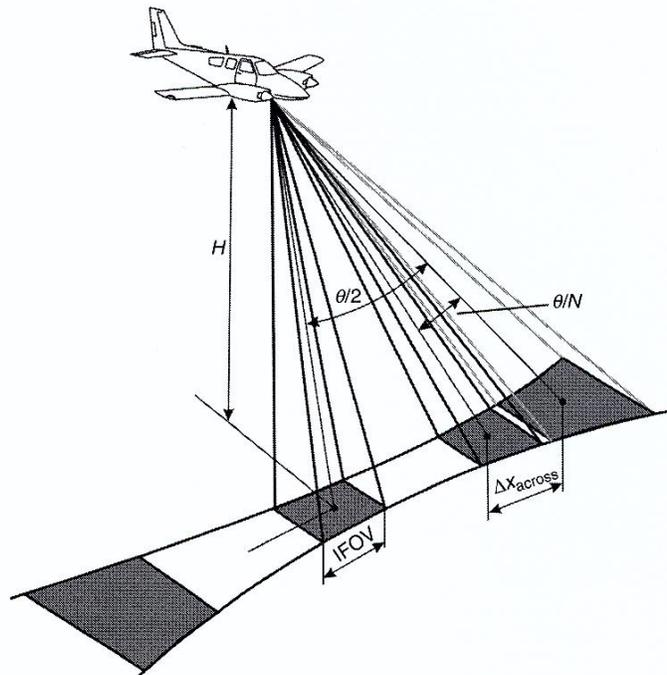


Figura 17. Línea de escaneo sobre terreno horizontal (Tomada de Wehr, 2009 p.163.).

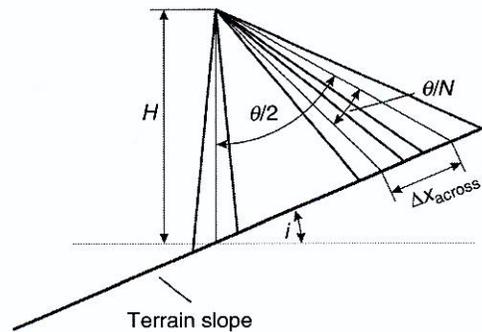


Figura 18. Línea de escaneo sobre terreno inclinado (Tomada de Wehr, 2009 p.164.).

Si el terreno a lo largo de la línea de escaneo es plano ($i \approx 0$) entonces la Ecuación 12 se reduce a la expresión

$$\Delta x_{trans} = \left\{ \frac{\theta}{N} * \frac{H}{\cos^2(\theta/2)} \right\} \quad (14)$$

Capítulo 3

Tecnologías de Internet

En este capítulo se presentan las tecnologías y arquitecturas que permiten que un sistema web pueda funcionar e interactuar con los usuarios. Además se representa la evolución de los sistemas de información geográfica; desde su creación original, hasta llegar a posicionarse en distintas plataformas y dispositivos desde servidores centrales hasta dispositivos móviles.

Año con año surgen nuevas innovaciones tecnológicas, por lo que es razonable asumir que cada vez habrá un ambiente más favorable para la implementación de herramientas científicas sobre internet. Han surgido algunas tecnologías o el Web Mapping, que han apostado a lo anterior, generando modelos para mapeo sobre web.

3.1 Web GIS y Web Mapping

Aunque estos dos términos se consideran intercambiables en la práctica, de acuerdo con Li et al. (2011) cada uno de ellos se refiere a una característica en especial. Un sistema que implementa Web Mapping se concentra en la presentación de rasters y distintas representaciones del mundo real plasmadas en dos dimensiones. Estas imágenes hacen referencia a un punto sobre la superficie terrestre, permitiendo su localización gracias a sus coordenadas geográficas. El Web Mapping incluye también otros tipos de información vectorial para la representación de características como calles, edificios, sitios de interés, entre otros.

Por otro lado, una implementación de Web GIS se basa en los mismos principios agregando la posibilidad de realizar análisis espacial, lo cual le permite realizar operaciones básicas como el sobre-posicionamiento de capas y diferentes cálculos sobre las características de la información disponible (i.e. distancia, altura, etc.). Además, un sistema Web GIS también puede realizar operaciones más complejas, como la generación de

imágenes en 3D o 2.5D, cuando se cuenta solamente con un valor de altura para cada par de coordenadas geográficas. Los servicios GIS basados en Internet (Web GIS) han sido desarrollados para satisfacer distintas necesidades y demandas, desde simples funciones de mapeo hasta aplicaciones avanzadas con interfaces de alta funcionalidad e interactividad.

El intercambio de información geográfica útil es de gran interés para la comunidad GIS, sin embargo, no se le ha prestado la suficiente atención al intercambio de herramientas para el procesamiento de ésta. Según Zhong-Ren y Tsou (2003), es común perder más del 80% de los recursos de un proyecto de información geográfica en la búsqueda, descubrimiento, recuperado y formateo de información, por lo que el Web GIS representa una ventaja para eliminar este impedimento al hacer uso eficiente de un GIS.

Desde su concepción, el Web GIS ha ido de la mano con el desarrollo de las tecnologías de presentación de datos para Web del momento, teniendo en un principio las limitaciones obvias de presentación que ofrecían HTML, Java Applets y ActiveX. Una de las razones por las que actualmente no proliferan este tipo de sistemas es debido a los estándares cambiantes a los que se ven sujetos los navegadores web, así como a las tecnologías de apoyo que han surgido en los últimos años.

El desarrollo del Web Mapping, por igual, se ha visto influenciado mayormente por las innovaciones y el desarrollo de las tecnologías web, sus modelos de arquitectura, especificaciones y estándares. Sin embargo, la arquitectura cliente-servidor ha sido y seguirá siendo el modelo dominante dentro del Web Mapping.

Durante la última década, algunas tecnologías web han permitido que el Web_Mapping y Web GIS pasen de ser sistemas estáticos, a ser altamente interactivos, y por lo tanto encontrarse integrados en ambientes distribuidos. También se han orientado a soluciones de código y acceso libre, permitiendo implementar servicios más interactivos y ricos en funciones (Li et al 2011).

Actualmente el Javascript Asíncrono (Ajax) le otorga interactividad al Web_Mapping y Web GIS por medio de llamadas al servidor sin la necesidad de cargar de nuevo la interfaz, lo cual permite al usuario cargar distintos mapas y moverse con gran libertad sobre los cubrimientos y manejar las distintas funciones de manera más intuitiva.

Por el lado del desarrollador, distintas interfaces de programación de aplicaciones (APIs) han sido creadas por compañías como Google (Google Maps), Microsoft (Bing Maps), Yahoo (Yahoo Maps) y Ordnance Survey (OS OpenSpace) los cuales ayudan al desarrollador a generar servicios Web GIS altamente personalizados, incluyendo mapas con distintos servicios a la vez.

La accesibilidad y usabilidad de los datos geoespaciales como servicios, se encuentran influenciados y sustentados por los avances tecnológicos. El poder acceder a información geoespacial y procesarla, sin embargo, no es suficiente, pues se requiere de un medio para poder presentarla y visualizarla, por lo que distintas propuestas han surgido en la última década, como Google Earth, o Microsoft Virtual Earth, que permiten integrar imágenes, rasters y datos geoespaciales en forma de vector en un ambiente web.

Las plataformas anteriores han llegado incluso hasta la integración de soporte 3D dentro de sus sistemas Web, permitiendo realizar visualizaciones, que si bien son simples en la actualidad, muestran el potencial que estas plataformas tendrán en el futuro.

Finalmente el termino *Mash-Up* se utiliza para describir sitios web que mezclan el manejo de APIs con diferentes usos. Estas pueden ser de RSS (Rich Site Summary), sitios de imágenes o en el caso de este trabajo, de mapas. A estas APIs se les integran herramientas propias, como sería la integración de análisis espacial a servicios de rasters en Google Earth. Varios sistemas donde se utilizan el Web GIS o Web Mapping hacen uso de las tecnologías de Mash-Up, con el fin de proveer al usuario con distintas fuentes no solo de rasters, sino también de características geográficas y herramientas que pudieran serle de interés.

3.2 Evolución de los SIG

En los primeros sistemas de información geográfica, los cuales seguían una arquitectura monolítica donde toda la información se encontraba en un nodo central que controlaba todos los aspectos, los recursos podían ser accedidos solamente mediante una terminal sin mayor poder de procesamiento que el necesario para visualizar los datos solicitados.

Ante la necesidad de tener múltiples usuarios haciendo uso de la información geográfica a la vez, surgió el concepto de sistemas de información geográfica distribuidos, los cuales consistían en un servidor central que contiene la mayoría de los datos. Sin embargo las herramientas eran contenidas y ejecutadas en el equipo de los usuarios, que se conectaban al servidor para solicitar los datos y procesarlos posteriormente en su propio equipo. Este sistema, si bien sigue siendo bastante popular en la actualidad, dificulta la disseminación de la información geográfica, por lo que se han establecido alternativas que permiten a los usuarios el proveer datos que otros puedan evaluar y utilizar en caso de serles útiles. Estos servicios han sido denominados GIS en Internet y GIS Móvil, los cuales como se observa en la tabla 1 son diferentes, aunque tienen el mismo objetivo, que es el aumentar el número potencial de usuarios concurrentes.

Tabla 1 Descripción de las distintas arquitecturas GIS. Obtenido de Peng et al (2003) p.8.

Característica	GIS Central	GIS de Escritorio	GIS en Internet	GIS Móvil
Arquitectura	Monolítico	Cliente / Servidor vía Ethernet.	Cliente / Servidor Web.	Cliente / Servidor inalámbricos.
Cliente	Terminales remotas	Computadora de escritorio	Cliente Web.	Dispositivos inalámbricos.
Interfaz del Cliente	Ninguna	Clients de interfaz de usuario grueso.	Explorador Web, JavaBeans, ActiveX.	Mini explorador web, protocolo de aplicación inalámbrica.
Redes	Redes de área local (LAN)	LAN o redes de área amplia (WAN)	Internet	Redes inalámbricas e internet.
Servidor	Central	Servidores de aplicación y de datos	Servidores Web, servidores de aplicación, GIS y datos.	Servidor de salida, web y GIS.
Servidores Accesibles	Uno	Uno o pocos	Múltiples y escalables	Múltiples y escalables

Debido a que con tecnologías anteriores no era posible conocer los contenidos de un archivo hasta que este era transferido desde el cliente hasta el servidor, ni tampoco era posible desplegar un raster que se encontraba almacenado en el equipo del usuario, la interacción del usuario con el sistema era pobre e ineficiente.

Gracias a las nuevas versiones de java script y otros lenguajes de script, es posible tener una mejor interacción con el cliente, incluso mediante módulos de lógica y procesamiento que realizan las acciones en el equipo del cliente sin realizar grandes transferencias de datos sobre la red. Esto permite la existencia de clientes gruesos que no solamente contengan el módulo de presentación sobre el explorador, sino que realicen una parte o la totalidad de la lógica sobre el mismo cliente.

3.3 Arquitectura Cliente-Servidor

Una aplicación típica incluye tres elementos esenciales: presentación, lógica y datos. La presentación corresponde a la interfaz de usuario, mientras la lógica son los procesos disponibles, usualmente enfocados hacia los datos, los cuales son formados por las bases de datos o demás datos alojados en el servidor de datos.

Todo GIS, ya sea local o en internet, contiene estos tres elementos con alguna variación. En un escenario usual el cliente utilizará la interfaz, contenida en el nodo de presentación, para hacer distintas peticiones de información, las cuales serán interpretadas por el nodo de lógica para ser traducidas y formar una petición hacia el nodo de datos. El nodo de datos recibirá la petición, la cual contestará con la información solicitada, en este caso podrá ser información de una base de datos; como un raster o cualquier otra pieza de información geográfica. Será entonces cuando el nodo de lógica tome esta respuesta y prepare los datos, en ocasiones realizando operaciones adicionales para extraer información adicional y ser desplegados por la interfaz (Shan and Earle, 1998).

Estos tres elementos pueden coexistir en un mismo equipo, o ser instalados en forma separada. Esta última modalidad es la más común, manteniendo sus componentes en equipos diferentes, en ocasiones separados geográficamente, estableciendo un modelo cliente/servidor.

El Cliente: se refiere usualmente al elemento de presentación, o interfaz en un sistema cliente/servidor, siendo el responsable de realizar las peticiones de servicios al servidor y presentar los datos e información recibida. Cuando el usuario realiza una petición de información, el equipo del cliente recibe instrucciones para una consulta, la prepara para el servidor, y la envía sobre la red al servidor, el cual recibe y procesa la petición (Orfali et al., 1999). El cliente no necesariamente tiene que ser una computadora personal, pues con el avance de la tecnología, tenemos PDAs, Tablets, Celulares y otros equipos capaces de realizar estas peticiones.

El servidor: se refiere a la entidad que provee recursos compartidos tales como bases de datos o aplicaciones del lado del servidor a múltiples clientes. El servidor recibe las peticiones del cliente, las procesa, y envía la información procesada de regreso al cliente. Dado que el servidor usualmente administra los datos y procesa peticiones, este se encuentra alojado en un equipo más poderoso que el de los clientes. Debido a que en ocasiones el servidor atenderá múltiples peticiones a la vez, este deberá tener capacidad de utilizar hilos, de lo contrario no podrán atender a más de un par de clientes sin experimentar baja de desempeño (Orfali et al., 1999).

El Intermediario: el cliente y el servidor no se pueden comunicar de forma directa, sino que usualmente necesitan de un intermediario, el cual ayuda a controlar la interacción entre estos dos componentes. Este intermediario es llamado comúnmente middleware, el cual actúa como un moderador y administrador de mensajes entre el cliente y el servidor.

Dependiendo del tipo de servicio, la comunicación cliente/servidor podrá ser síncrona, requiriendo que ambos elementos se encuentren activos para que se realice un intercambio de información, como es el caso cuando se realizan llamadas a procedimientos remotos (Orfali et al., 1999). Por otro lado, el middleware orientado a mensajes genera un sistema de colas que permite al servidor realizar las tareas cuando se encuentre disponible, y arroja el resultado al cliente una vez que el servidor a terminado de procesar la tarea específica sin requerir que se encuentren ambos disponibles al mismo tiempo, generando una comunicación de tipo asíncrona.

3.4 Tipos de Cliente

Algunos factores como el hardware con el que cuentan el servidor y el cliente, así como la intensidad del procesamiento que los datos requieren e incluso la velocidad de conexión con la que se cuenta, son decisivos cuando se realiza una segmentación en la aplicación.

La segmentación consiste en la distribución de los tres elementos principales anteriormente mencionados; la presentación, la lógica y los datos en dos o más equipos con distintos fines. Estos pueden disminuir la capacidad de memoria y procesador con la que

deberá contar el cliente para acceder a la plataforma, o aumentar el número de usuarios concurrentes que el servidor podrá atender.

Esta segmentación puede ser realizada sobre cualquiera de los tres principales componentes de la aplicación; la presentación, la lógica o los datos. Esto con el fin de poder localizar cada uno de los segmentos resultantes en diferentes equipos y en algunas ocasiones en distintas ubicaciones geográficas. Dependiendo del punto de separación, se contará con las siguientes características y capacidades.

Presentación distribuida: es una configuración donde la lógica y los datos, así como una parte del cliente se encuentran localizados en el servidor. El cliente es responsable solamente de una porción de la interfaz como se observa en la figura 19. Todos los procesos se encuentran localizados en el servidor. Por parte del cliente no se cuenta con requerimientos mayores a un navegador que soporte HTML.

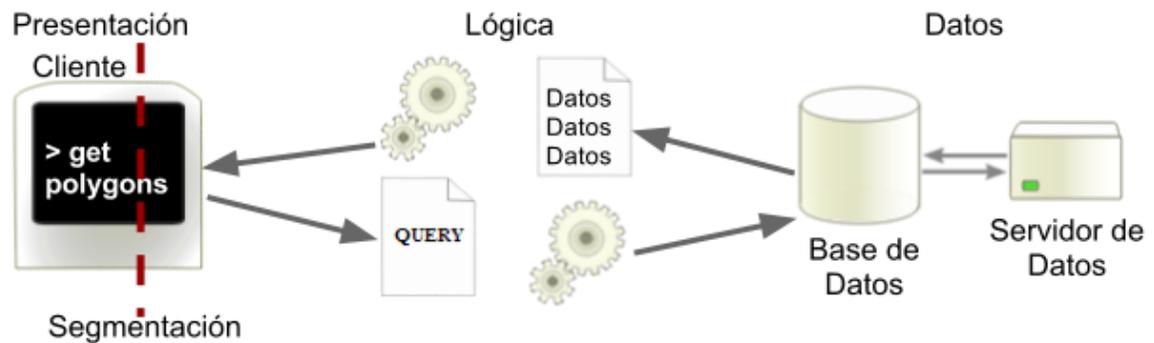


Figura 19. Segmentación con presentación distribuida.

Presentación remota: delega completamente la interfaz al cliente, mientras que la lógica y los datos residen completamente en el servidor (figura 20). Anteriormente esta configuración solía ser común cuando se utilizaba CGI para generar la interfaz del cliente, el cual se encargaba de la comunicación con el servidor y el despliegue de los resultados.

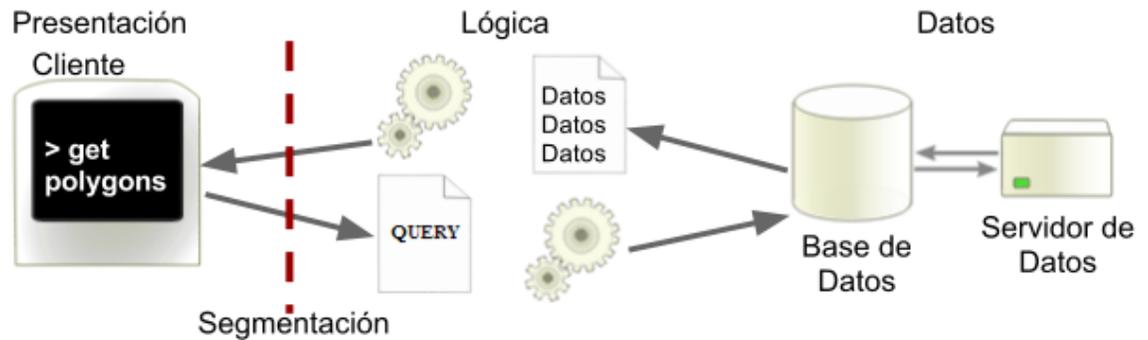


Figura 20. Segmentación con presentación remota.

Función distribuida: genera una partición sobre el elemento de lógica, permitiendo que algunas de las funciones usualmente bajas en consumo de recursos computacionales se ejecuten en el cliente, mientras ignora otras que requieren procesamiento más intensivo para ser ejecutadas por el servidor (figura 21).

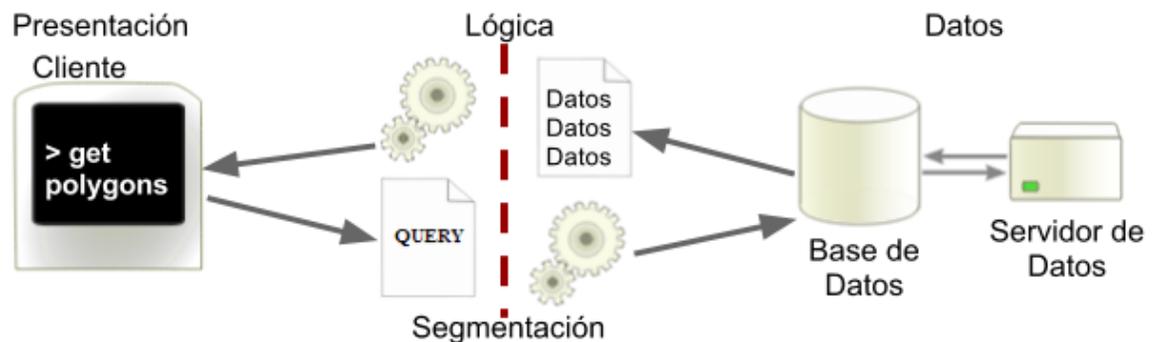


Figura 21. Segmentación con función distribuida.

Acceso remoto a datos: sitúa a la interfaz y la lógica completamente en el cliente, requiriendo solamente recuperar los datos de una base de datos remota. Este modelo tiene la ventaja de abrir infinitas posibilidades sobre las fuentes de los datos, siendo posible obtener datos de múltiples servidores, gracias a que la lógica comprendida por todas las herramientas y procesos se encuentra situada totalmente en el cliente, como se observa en la figura 22.

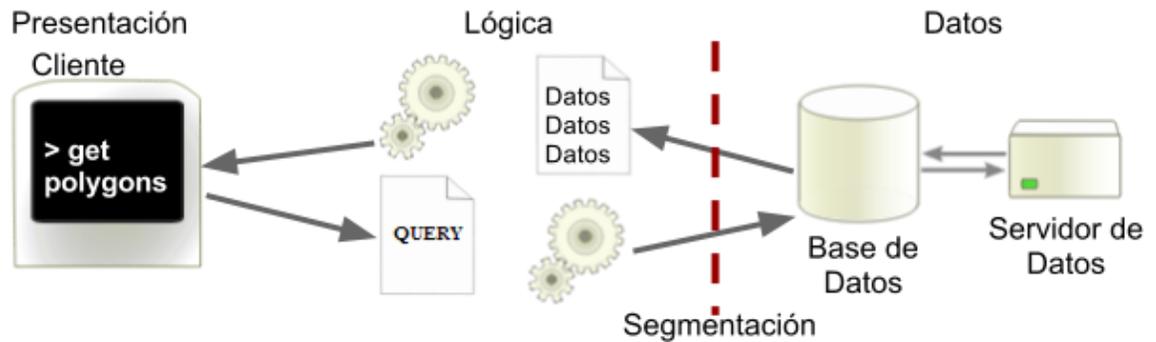


Figura 22. Segmentación con acceso remoto a datos.

Base de datos distribuida: divide las funciones de bases de datos, permitiendo tener múltiples fuentes de datos, e incluso convirtiendo a cada cliente en una fuente potencial de información geográfica (figura 23).

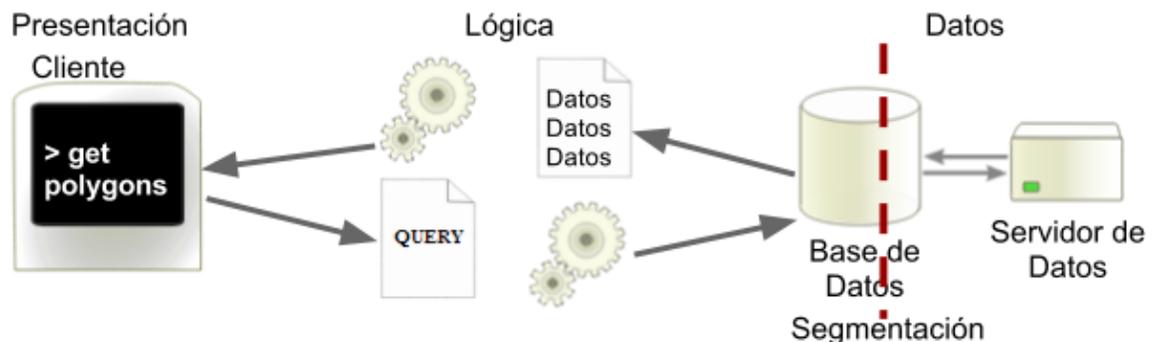


Figura 23. Segmentación con base de datos distribuida.

Dependiendo del lugar donde se realice la segmentación, la cual dependerá de las características del equipo con las que cuente el cliente así como de la infraestructura de red y servidores con que se cuenta, se definen dos tipos de cliente principal; cliente delgado y cliente grueso, los cuales se describen a continuación:

Cliente Delgado: se consideran clientes delgados aquellos que solamente operan sobre una parte o toda la presentación, sin tener control sobre la lógica o los datos. Este modelo es de gran utilidad cuando se quiere proveer servicios a usuarios con equipos de características sencillas y con bajo poder de procesamiento y memoria.

Cliente Grueso: los clientes gruesos por otro lado, son considerados aquellos que gracias a sus características superiores y poder de procesamiento y memoria, son capaces de realizar algunas o todas las tareas del módulo de lógica y contener incluso parte de los datos.

Capítulo 4

Sistema Propuesto

En este capítulo se presenta una descripción del sistema que se propone en esta tesis, así como de las herramientas y tipos de usuarios que se pretenden integrar. Lo anterior se ha definido con base en un análisis de requerimientos previo, el cual se describe en el capítulo siguiente.

Las iniciativas mencionadas en el primer capítulo nos brindan una idea general del campo de los sistemas de información geográfica orientados a la administración, distribución y visualización de datos espaciales, específicamente nubes de puntos LiDAR. Por otra parte, con base en la problemática previamente planteada así como las limitaciones de las iniciativas previamente mencionadas, se ha propuesto un sistema que busca ofrecer una aportación al campo de análisis y visualización de datos LiDAR por medio de herramientas flexibles y novedosas.

4.1 Descripción del sistema propuesto.

Se propone un sistema completo para la lectura, análisis y visualización de datos LiDAR, incluyendo desde la adecuación de los datos que permanecerán en el servidor, hasta la distribución y visualización de estos en el equipo del cliente.

El sistema propuesto estará compuesto por una parte a ejecutarse en el servidor, encargada de la administración de los juegos de datos, la cual atenderá las peticiones de los usuarios y le suplirá con distintas herramientas que éste solicite. El equipo del usuario, por otro lado, ejecutará la otra parte de la plataforma, la cual correrá por completo sobre el explorador de internet encargándose de funcionar como la interfaz en la cual el usuario realizará las peticiones hacia el servidor.

4.2 Tipos de Herramientas.

Dado que algunas acciones sobre los datos solo requieren realizarse una vez, tras la cual los juegos de datos pueden ser utilizados una y otra vez, se prevé la utilización de ciertas herramientas que solo serán utilizadas por el usuario administrador, o bien, automáticamente por el servidor mediante scripts. Por lo anterior todas las herramientas que el sistema contendrá se clasifican en dos categorías (privadas y públicas) definidas a continuación.

4.2.1 Herramientas Privadas

Son herramientas de acceso libre creadas para el manejo de las nubes de puntos LiDAR, las cuales serán almacenadas y leídas en su formato original (LAS). Estas herramientas solamente podrán ser utilizadas por el administrador, o en su defecto, por el sistema mismo. Algunas de estas herramientas solamente serán utilizadas una vez sobre cada uno de los juegos de datos en caso de que requieran algún tipo de tratamiento antes de ponerse a disposición de los usuarios, mientras que otras se utilizarán cada vez que el usuario genere una solicitud. Estas herramientas realizarán diferentes acciones entre las que se cuentan las siguientes:

Corrección de errores: algunos juegos contienen errores generados al momento de tomar los datos, por ejemplo los errores generados en las orillas de las líneas de vuelo, así como los generados al unir las mismas. Mientras los primeros pueden ser arreglados, o bien, ignorados mediante el filtrado de los datos para excluir aquellos puntos que fueron tomados más allá de cierto ángulo, los posteriores requieren de mayor trabajo. En algunos casos no es posible corregirlos preservando los datos reales, por ejemplo, en el caso de cubrimientos sobre cuerpos de agua, ya que presentan fluctuaciones en su altura causadas por el viento y las mareas.

Formación de malla: se espera que la petición de datos promedio no contendrá más de dos millones de puntos para desplegarse a la vez, por lo tanto se propone la formación de

mallas de datos. Las mallas de datos serán constituidas por rectángulos regulares llamados mosaicos, conteniendo una densidad que no sobrepasará 1 millón de puntos. La formación de las mallas tiene como propósito el facilitar el acceso a la visualización de los datos, por medio de la fácil localización y delimitación en uno o más mosaicos para un área geográfica dada.

Filtrado de Datos: una vez que los datos se encuentran divididos en mosaicos, el usuario podrá solicitar un juego de datos formado por los puntos dentro de un área personalizada. El usuario definirá un área delimitada por los valores de norte y este, conforme al sistema de coordenadas UTM que el servidor utilizará para definir los mosaicos del juego de datos dado y generará a partir de estos un archivo LAS temporal.

Clasificación: algunos juegos de datos contienen información sobre su clasificación, en algunas ocasiones generada incluso al momento de la toma del cubrimiento, otra puede ser agregada posteriormente. Si es necesario también se puede realizar una clasificación de datos básica, mayormente consistente en la extracción de suelo desnudo, por medio de herramientas como lastools, descrita a detalle en el capítulo 5.

4.2.2 Herramientas Públicas

Las herramientas públicas son todos los procesos a los cuales el usuario tendrá acceso, y utilizará para visualizar y analizar los datos para los que tiene permisos, así como distintas herramientas que le permitirán enriquecer estas visualizaciones, como filtros que permiten eliminar alturas extremas, agregan iluminación direccional o suavizan la imagen, y la aplicación de diferentes paletas de color, entre otras, que se describen a fondo en el capítulo 6.

4.3 Tipos de Usuario.

Se propone un sistema que contenga múltiples juegos de datos en el servidor. Estos podrán ser administrados y hacerse accesibles a los diferentes usuarios que usen la

plataforma. Sin embargo en ocasiones no será posible hacer todos los juegos accesibles para todos los usuarios, debido a que el usuario propietario podrá imponer restricciones de privacidad. En este caso existe la necesidad de crear grupos de control que permitan gestionar el acceso a los datos, por lo que se propone el siguiente esquema de tipos de usuarios.

4.3.1 Administradores

Los usuarios administradores, incluyendo al administrador general del sistema que se propone, tendrán acceso completo a todos los sets de datos, así como a todas las herramientas comprendidas dentro del sistema, públicas y algunas de las privadas. Estos usuarios a su vez serán los encargados de la creación de otros usuarios, así como de la asignación de distintos permisos para el uso de los juegos de datos.

4.3.2 Usuarios Propietarios

Estos usuarios serán usualmente los propietarios de uno o más juegos de datos, o serán personas autorizadas por los mismos para hacer uso de ellos. El propietario podrá elegir quien tiene acceso a los datos y contará con herramientas para la administración de los mismos. Los usuarios propietarios tendrán acceso a todas las herramientas públicas para la selección, manipulación y visualización de datos. A su vez, los usuarios que cuentan con los juegos de datos en su propio equipo, adicionalmente, podrán hacer uso de herramientas exclusivas para este tipo de datos. Sin embargo la selección de sub conjuntos de datos, así como el filtrado de estos, dependerá completamente del usuario.

4.3.3 Usuarios Invitados

Estos usuarios, los cuales serán aprobados y creados por el usuario administrador gozarán de acceso a juegos de datos con libre acceso, es decir, que no generen conflicto en su uso. Adicionalmente, podrán hacer uso de juegos de datos sobre los cuales hayan recibido autorización por parte de los propietarios. El acceso a la obtención de las nubes de puntos crudas no será permitido a estos usuarios.

4.3.4 Visitantes

Algunos visitantes del sitio no contarán con un usuario registrado, sin embargo se les permitirá acceder a algunas herramientas sencillas y juegos de muestra que les permitirá ver las posibilidades que ofrece el sistema.

4.4 Seguridad.

Si bien el sistema de usuarios permitirá proveer de la información justa a cada uno de estos, se requiere de un sistema de seguridad que regule y se asegure de que se cumpla con el esquema. Para esto se propone un sistema basado en listas de acceso que autentifique y defina los derechos con los que contara cada usuario que ingresa al sistema. Con el fin de preservar la integridad y privacidad de los datos, se propone integrar el siguiente conjunto de salvaguardas en el sistema:

Autenticación de Usuario: con el propósito de administrar los juegos de datos y regular el acceso a estos por distintos usuarios, se requerirá ingresar una combinación de usuario y contraseña para tener acceso a las herramientas y datos del sistema. La autenticación será controlada por una base de datos alojada en el servidor, la cual se encontrará cifrada con SHA-2, el cual a la fecha es uno de los algoritmos de encriptación más fuertes, siendo el estándar de procesamiento de información federal de Estados Unidos.

Marco de Sesión Limitado: para complementar la seguridad se manejarán marcos de sesión cortos. Después de un tiempo determinado en el que no se realice ninguna actividad en el sitio la sesión del usuario se verá terminada, solicitándole ingresar sus datos de nuevo. Esto con el fin de evitar accesos no autorizados.

Capítulo 5

Requerimientos del Sistema

En este capítulo se describen los requisitos necesarios para el desarrollo del sistema propuesto, así como los requerimientos del sistema en cuanto al hardware y software. Estos han sido obtenidos de un análisis previo de otros sistemas, así como del diseño del propio sistema.

5.1 Descripción y preparación de datos.

La Sociedad Americana de Fotogrametría y Percepción Remota (ASPRS), creó las especificaciones del formato LAS, con el objetivo de almacenar los datos LiDAR, proveyendo un formato abierto que permite a diferentes creadores de hardware y software generar datos de salida en un formato común.

Un archivo LAS almacena información en su encabezado acerca del hardware que tomó los datos, así como del software que generó el archivo. Dado que se usan coordenadas UTM, y los cubrimientos suelen tener algunas decenas de kilómetros, se pueden utilizar valores “offset” y de escalamiento, lo cual nos permite utilizar valores más pequeños para cada punto, ahorrando así espacio y disminuyendo los tiempos de transferencia. Como se observa en la tabla 2, los datos previamente mencionados se almacenan en el encabezado, pues prevalecen sobre todos los datos. Gracias a su estructura, es posible agregar información personalizada al encabezado sin afectar la lectura de los datos. Realizando el cálculo basado en la información presentada en la tabla 2, un encabezado con datos estándar ocupará 241 bytes de espacio de almacenaje.

Tabla 2. Definición del Encabezado LAS, versión 1.3. ASPRS. Modificada de The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (2010), p.5.

Dato	Formato	Tamaño	Requerido
Identificador de Archivo (“LASF”)	char[4]	4 bytes	Si
Identificador de Fuente	unsigned short	2 bytes	Si
Codificación Global	unsigned short	2 bytes	Si
Identificador de Proyecto 1	unsigned long	4 bytes	No
Identificador de Proyecto 2	unsigned short	2 bytes	No
Identificador de Proyecto 3	unsigned short	2 bytes	No
Identificador de Proyecto 4	unsigned char[8]	8 bytes	No
Versión mayor	unsigned char	1 byte	Si
Versión menor	unsigned char	1 byte	Si
Identificador de sistema	char[32]	32 bytes	Si
Software de generación	char[32]	32 bytes	Si
Día del año de creación	unsigned short	2 bytes	Si
Año de creación	unsigned short	2 bytes	Si
Tamaño de encabezado	unsigned short	2 bytes	Si
Recorrimiento a Datos.	unsigned long	4 bytes	Si
Número de registros variables.	unsigned long	4 bytes	Si
Formato de Datos.	unsigned char	1 byte	Si
Longitud de Registro	unsigned short	2 bytes	Si
Número de Registros	unsigned long	4 bytes	Si
Número de Puntos por retorno	unsigned long[5]	20 bytes	Si
Factor de Escalamiento X	Double	8 bytes	Si
Factor de Escalamiento Y	Double	8 bytes	Si
Factor de Escalamiento Z	Double	8 bytes	Si
Recorrimiento X	Double	8 bytes	Si
Recorrimiento Y	Double	8 bytes	Si
Recorrimiento Z	Double	8 bytes	Si
X Máxima	Double	8 bytes	Si
X Mínima	Double	8 bytes	Si
Y Máxima	Double	8 bytes	Si
Y Mínima	Double	8 bytes	Si
Z Máxima	Double	8 bytes	Si
Z Mínima	Double	8 bytes	Si
Comienzo de registros de paquetes de onda.	Unsigned long long	8 bytes	Si

En el formato LAS cada punto contiene información, no solamente acerca de su posición x-y-z, sino también el ángulo en el que se encontraba el espejo del sistema LiDAR, y el número de reflejo que constituyó, lo cual permite a la persona que maneja los datos generar una reconstrucción de las circunstancias que rodeaban a cada punto en específico cuando este fue capturado. Realizando cálculos basados en la tabla 3, utilizando solamente información estándar para cada punto, para un total de 20 bytes por unidad, se podrán almacenar 51,200 puntos por Megabyte bajo el formato LAS.

Tabla 3. Composición por punto LAS versión 1.3. ASPRS. Obtenida de The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (2010). p.9.

Dato	Formato	Tamaño	Requerido
X	Long	4 bytes	Si
Y	Long	4 bytes	Si
Z	Long	4 bytes	Si
Intensidad	unsigned short	2 bytes	No
Número de retorno	3 bits (bits 0, 1, 2)	3 bits	Si
Número de retornos	3 bits (bits 3, 4, 5)	3 bits	Si
Indicador de dirección de escaneo	1 bit (bit 6)	1 bit	Si
Borde de línea de vuelo	1 bit (bit 7)	1 bit	Si
Clasificación	unsigned char	1 byte	Si
Angulo de escaneo	Char	1 byte	Si
Datos del usuario	unsigned char	1 byte	No
Identificador de fuente de punto.	unsigned short	2 bytes	Si

Gracias a la organización altamente eficiente con la que se encuentran almacenados los puntos, no es necesario ingresar toda la información a una base de datos, sino que se puede leer directamente de los archivos LAS donde se encuentran almacenados. Es por esto que el sistema podrá leer los archivos previamente divididos según su posición geográfica. Los juegos de datos serán divididos en mallas regulares, contando cada mosaico, con dimensiones cuadradas de aproximadamente 200,000 puntos por mosaico, los cuales, al igual que en el archivo original, se encontrarán distribuidos espacialmente de manera irregular a través del espacio. Lo anterior será para facilitar la localización de los puntos

para cualquier par de coordenadas geográficas, por medio de simples operaciones matemáticas.

Dado que el formato LAS almacena información x-y-z con gran precisión, las imágenes generadas no necesitan ningún tipo de ortorrectificación, pues mantienen su posición absoluta en el espacio.

5.2 Requerimientos Generales.

Dado que el propósito principal del proyecto es facilitar el acceso a los datos LiDAR así como su visualización, se ha identificado un número de componentes necesarios para la elaboración de dicho proyecto. En este caso se examinan los requerimientos de software con los que deberán contar tanto los servidores que mantengan los datos y diferentes servicios web, como los clientes que quieran realizar peticiones a los anteriores.

5.2.1 Requerimientos del sistema

El sistema deberá contar con un servidor HTTP para atender las peticiones de los usuarios a través de internet, específicamente por medio de un navegador Web. Un servidor HTTP es un servidor dedicado que espera peticiones en un puerto específico, usualmente el número 80, y regresa al usuario un documento HTML y cualquier otro contenido que esté ligado a este, como hojas de estilo, scripts e imágenes.

El usuario, adicionalmente, puede subir también contenido a este servidor, por medio de formas HTML y peticiones POST. El servidor HTTP a utilizarse en la creación del sistema propuesto estará compuesto por los siguientes servicios:

Servidor Web Apache 2.4.3: es un servidor web que gracias a su apertura de código y fácil escalabilidad y adición de módulos, ha permitido su implementación para el servicio de más de 100 millones de sitios web en la actualidad.

PHP 5.4.6: Es un lenguaje de programación de propósito general ejecutado del lado del servidor, que permite la creación de páginas web dinámicas. El código es interpretado por un servidor web con un módulo de procesamiento PHP, el cual genera un documento HTML a partir del código parseado.

Lastools: Es una librería creada en C++, que contiene una gran variedad de herramientas para la selección y manipulación de archivos LAS, permitiendo el filtrado de los puntos para generar nuevos archivos según sea necesario. Es una herramienta adecuada debido a su alto desempeño y a su capacidad para funcionar en procesadores de múltiples núcleos.

Dado que el sistema propuesto no requiere de bases de datos para almacenar los juegos de datos, pues todos los sets de puntos se encuentran almacenados como archivos, se requerirá de un servidor de archivos. Este proveerá a los usuarios, tras su autenticación, el acceso a los sets de datos a los cuales tiene acceso. Los metadatos sobre los juegos de datos, por otro lado, si serán almacenados en una base de datos MySQL, para facilitar el acceso a los detalles de cada cubrimiento.

Por medio de una conexión http directa, el usuario tendrá acceso a los datos que podrán ser desplegados sobre el navegador web, así como múltiples productos que se generaran a través de estos. El servidor de archivos no tiene necesidades específicas en sus características, pero deberá tener capacidad para atender las peticiones de múltiples usuarios.

5.2.2 Requerimientos del cliente

Debido a las tecnologías que el sistema propuesto manejará, se requerirá de un navegador de reciente generación, compatible con HTML5 y WebGL. Esto para poder hacer completo uso de las herramientas que serán implementadas. Se planea ofrecer completa compatibilidad con los siguientes navegadores:

Mozilla Firefox: Es un explorador web creado por la fundación no lucrativa Mozilla. Es el tercer explorador más popular con un cubrimiento del mercado de aproximadamente 19%,

su misión es llevar todo el poder del internet al público. Ha cobrado gran popularidad en los últimos años gracias a su ambiente de código abierto. Firefox utiliza Gecko como motor de renderizado, el cual es de código abierto.

Google Chrome: Este navegador maneja una parte de su código de manera abierta y a su vez ostenta un diseño minimalista, lo cual lo ha llevado a escalar los peldaños hasta ocupar el primer lugar en popularidad en el 2012, con aproximadamente 27% del mercado. Chrome, al igual que Safari de Apple, utiliza Webkit como motor de renderizado

Una de las características principales de los navegadores descritos anteriormente, así como la principal razón para la decisión de darles soporte, fue su compatibilidad con WebGL. WebGL es un API de JavaScript creada por Khronos Group para la visualización interactiva de gráficos 3D y 2D sobre cualquier explorador web sin la necesidad de plugins. WebGL se integra completamente a todos los estándares web del explorador permitiendo el uso del procesamiento acelerado por tecnología GPU. Dado que Mozilla, Google, Opera y Apple forman parte del comité que genera los estándares para WebGL, se cuenta con una gran compatibilidad de estos exploradores hacia esta tecnología emergente.

5.3 Requerimientos Funcionales del Sistema

5.3.1 Requerimientos Generales.

A continuación se identifican los requerimientos base que se han planteado para la implementación del sistema propuesto en esta tesis, se enumeran los requerimientos base para que la plataforma opere, sin embargo, no se limita a lo aquí descrito y podrá contener más herramientas y características.

Los requerimientos planteados han surgido en base a las características que poseen otras iniciativas que se encuentran trabajando actualmente en un campo igual, o parecido al que se dirige el sistema propuesto, las cuales fueron evaluadas durante la investigación previa. Se han generado también, a través de la evaluación de las anteriores, nuevos

requerimientos que agreguen funcionalidad deseada inexistente en otras propuestas, con el fin de que el sistema cuente con una aportación valiosa al campo al que incursiona. La tabla 4 describe brevemente los requerimientos de ámbito general definidos a partir de la evaluación de las propuestas anteriormente evaluadas.

Tabla 4. Requerimientos Funcionales Generales

Clave	Requerimiento	Descripción
RFG-01	Lectura de datos LAS	El sistema interpretará los datos almacenados en el formato estándar LAS para nubes de puntos LiDAR, manteniendo sus características generadas durante la toma de datos.
RFG-02	Acceso remoto a datos	Los juegos de datos serán almacenados en servidores dedicados, los cuales podrán atender peticiones realizadas por los usuarios a través de un servicio Web.
RFG-03	Métodos de Visualización de datos	El sistema proveerá distintos métodos de visualización de los datos leídos en 2 y 3 dimensiones, utilizando distintas escalas y colores.
RFG-04	Flexibilidad de herramientas	El sistema contará con herramientas que permitirán al usuario manipular la visualización de los datos, y le permitirán a la vez, guardar sus preferencias para uso futuro.
RFG-05	Métodos de salida de resultados	El sistema permitirá al usuario imprimir, o guardar como imagen el resultado de la visualización, ya sea en 2 o 3 dimensiones.

5.3.2 Requerimientos de Seguridad

Dado que los juegos de datos con los que contará el servidor pudieran haber sido generados, o pertenecer a terceros, algunos se encontrarán disponibles solamente para ciertos usuarios autorizados, los cuales deberán ser autenticados antes de acceder a los

datos. La tabla 5 describe los requerimientos relacionados con la seguridad y administración de usuarios.

Tabla 5. Requerimientos funcionales de seguridad

Clave	Requerimiento	Descripción
RFS-01	Autenticación de usuario.	El sistema solicitará al usuario la utilización de un nombre de usuario único y una contraseña de al menos 8 caracteres.
RFS-02	Distinción de tipos de usuario	Se contará con distintos niveles de usuario, contando estos con acceso global, o restringido a ciertos sets de datos según sea el caso.
RFS-03	Administración de usuarios	El sistema proveerá un sistema de administración de usuarios que permitirá la creación de usuarios así como la asignación de derechos a los mismos.

5.3.3 Requerimientos de Movilidad

Dado que el sistema propuesto en esta tesis ofrecerá al usuario múltiples herramientas para la visualización e interpretación de los juegos de puntos LiDAR, este podría desear en cualquier momento guardar alguno de los productos obtenidos para su uso en otro momento, por lo que se ha provisto de un diseño que cuente con distintos métodos de salida de datos.

Los requerimientos de movilidad, presentados en la tabla 6 se refieren a los productos que pueden ser obtenidos y conservados por el usuario para un uso ajeno al sistema propuesto. Ya sea su salida a medios físicos como la impresión, o lógicos, como el guardar imágenes en el equipo o los juegos de datos crudos, para su utilización en otro equipo o paquete de software.

Tabla 6. Requerimientos funcionales de movilidad

Clave	Requerimiento	Descripción
RFM-01	Salida para Impresión	El sistema permitirá al usuario realizar la impresión de los productos generados a partir de las nubes de puntos base.
RFM-02	Imagen derivada de visualización 2D	El sistema permitirá al usuario guardar en su equipo las imágenes generadas a partir de las nubes de puntos en formato JPEG y PNG
RFM-03	Imagen derivada de visualización de 3D	El sistema permitirá al usuario generar una imagen bidimensional a partir la posición en la que se encuentre la visualización del modelo 3D.
RFM-04	Archivo KML de Cubrimiento	El KML que contiene el cubrimiento de los juegos de datos disponibles se encontrará disponible para usuarios que cuenten con la autorización necesaria.
RFM-05	Nubes de puntos Crudas	Las nubes de puntos crudas, así como los subconjuntos generados a partir de estas estarán disponibles para usuarios autorizados.

5.4.4 Requerimientos de Visualización

Esta sección describe los requerimientos de visualización del sistema que tienen el objetivo de permitir al usuario la interpretación de los juegos de datos, compuestos por nubes de puntos irregularmente ordenados en el espacio. En la tabla 7 se describen algunas de las herramientas que deberán estar disponibles para los usuarios que cuenten con los permisos correspondientes.

Tabla 7. Requerimientos funcionales de visualización

Clave	Requerimiento	Descripción
RFV-01	Creación de malla	Se generara una imagen a partir de los puntos irregulares, asignando valores a cada pixel basado en los puntos más cercanos a este.
RFV-02	Cambio de rampas de color	Se podrán representar los puntos utilizando diferentes rampas de color, para resaltar características del terreno deseadas por el usuario.
RFV-03	Representación de intensidad	Se podrá generar una imagen generada por el valor de intensidad almacenado para cada punto.
RFV-04	Visualización 3d	El sistema proveerá al usuario con una visualización en tres dimensiones de los puntos seleccionados, permitiendo al usuario manipular los datos, mediante el giro, zoom, y traslado de los datos.
RFV-05	Filtrado de Imagen	El sistema contará con la implementación de diversos filtros que permitirán eliminar datos no deseados.

Capítulo 6

Diseño del Sistema

En este capítulo se describe el proceso de diseño del sistema, incluyendo todos los elementos que lo componen. Se describen las características principales y fundamentos bajo los cuales fue creado el sistema propuesto, desde la creación del componente principal para la lectura de datos, hasta las diferentes herramientas disponibles para los distintos modos de visualización de los datos.

Siguiendo las necesidades planteadas en la propuesta del sistema y el establecimiento de los requerimientos del mismo, se creó una plataforma web que ofrece a múltiples usuarios la posibilidad de leer datos LiDAR, así como disponer también de distintas herramientas para su visualización y análisis.

6.1 Diseño de la Base de Datos

Con el fin de tener un mayor control sobre los usuarios existentes, así como los datos contenidos y sus límites geográficos, se ha establecido una base de datos basada en MySQL, la cual se ilustra en la figura 24, y que contiene información sobre los conjuntos de datos y los mosaicos que conforman éstos, así como los distintos usuarios y los permisos con los que cuentan.

Las tablas han sido creadas utilizando nombres en inglés, con el fin de mantener un nivel de uniformidad entre éstos y los comandos de MySQL, formando consultas que se encuentren en un solo idioma. Se describe a continuación el contenido y función de las tablas creadas:

Users: es utilizada por el módulo de control de acceso. Contiene información básica para identificar al usuario, como su contraseña y su nivel o tipo de usuario, así como un espacio

adicional que se pudiera utilizar al crearse y contendría cualquier comentario adicional que el administrador desee agregar.

Sets: contiene la información proveniente del encabezado principal de cada uno de los cubrimientos, así como los valores máximos y mínimos en coordenadas geográficas de los puntos que lo conforman. Se almacena también en esta tabla el nombre del usuario u organización que aportó los datos a la plataforma.

Mosaics: contiene una entrada por cada uno de los mosaicos en los que se dividen los juegos de datos; estos almacenan información sobre los Estes y Nortes donde comienza, así como el número de puntos que contienen y el cubrimiento al que pertenecen.

User_types: almacena los distintos tipos de usuarios que existen actualmente. Si bien no se prevé la introducción de nuevos tipos de usuarios en el futuro próximo, se ha decidido crear la infraestructura necesaria para que sea posible hacerlo.

User_set_rights: relaciona a cada uno de los sets existentes con los usuarios que tienen permisos para accederlos. Esta tabla será consultada cada vez que un usuario inicie sesión, para asegurarse que solo se le ofrezcan los juegos de datos pertinentes.

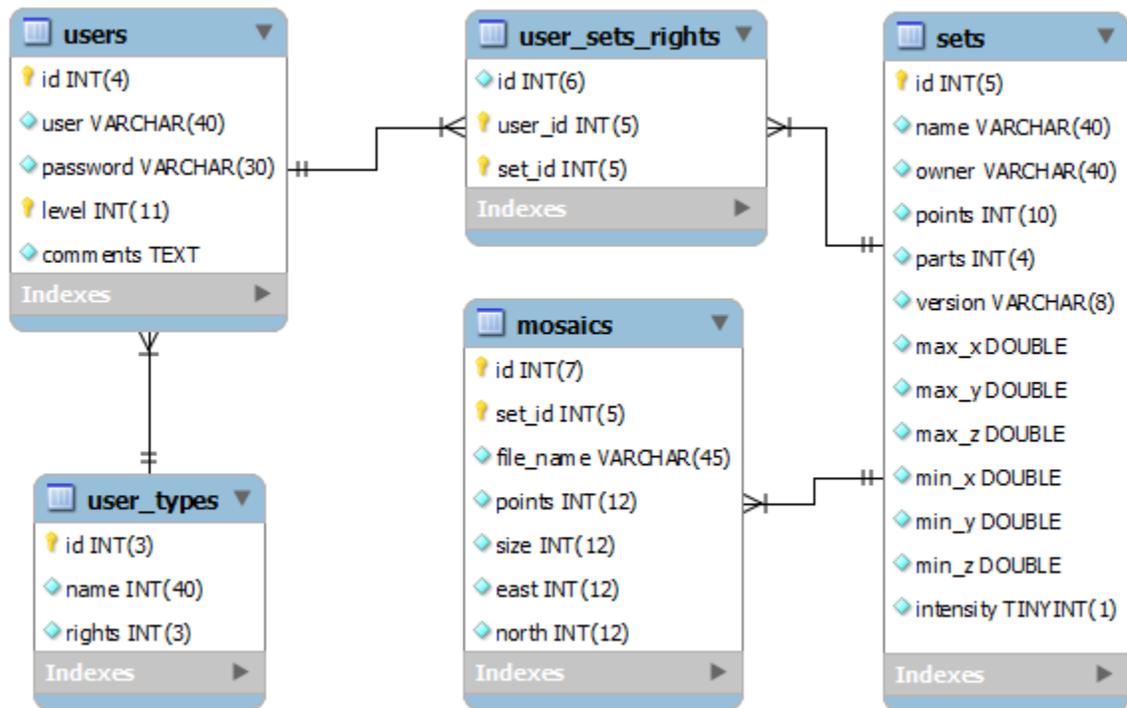


Figura 24. Esquema de la base de datos utilizada en la plataforma.

6.2 Construcción del repositorio de datos.

El repositorio actual cuenta con varios juegos de datos de prueba, los cuales comprenden zonas con diversas características geográficas, esto con el fin de cubrir distintos escenarios comunes del mundo real. Para fines de este trabajo, se supone que los datos se encuentran geográficamente correctos y no contienen errores originados durante su colecta, como los generados durante la unión de las líneas de vuelo o los errores originados por ruido; estos últimos sin embargo, pueden ser ignorados gracias a algunas de las herramientas provistas por la plataforma.

Se cuenta con un juego de datos, el cual se encuentra en un servidor ubicado en las instalaciones de CICESE y cuenta con un cubrimiento de 136 millones de puntos, cubriendo la zona de la Sierra Cucapah–El Mayor, Baja California, y proporcionados por INEGI. Estos datos han sido previamente acondicionados para facilitar su distribución, mediante las siguientes acciones:

6.2.1 Preparación de los Juegos de Datos

Con el fin de poder ofrecer acceso a los juegos de datos con los que se cuenta actualmente en el servidor, se realizaron distintas rutinas para dividir y acondicionar los datos, permitiendo su organización y fácil acceso.

División en malla: Los datos fueron divididos en bloques rectangulares, cuyo cubrimiento geográfico varía dependiendo de la densidad de los datos, procurando siempre tener un promedio de un millón de puntos por bloque. Esto con el fin de que toda solicitud esté confinada a un número fácilmente identificable de archivos para su fácil recuperación y transferencia.

Dado que los juegos de datos suelen estar compuestos originalmente por líneas de vuelo con una de sus dimensiones notablemente mayor a las demás, primero se realizó la unión de las diferentes líneas de vuelo, para tener el cubrimiento total en un solo archivo. Una vez teniendo el cubrimiento total, este fue seccionado en bloques cuadrangulares llamados mosaicos, los cuales conservaron los valores originales del encabezado en cuanto a condiciones de captura y propietarios, pero actualizando sus máximos y mínimos con el fin de proporcionar información perteneciente solamente a cada mosaico. Las dimensiones del cubrimiento total, por otro lado, seguirán estando disponibles tanto en la base de datos establecida como en el archivo de metadatos existente para cada cubrimiento.

Etiquetado: Una vez que se cuenta con los elementos de la malla divididos, los cuales llamamos mosaicos, estos necesitan ser etiquetados para su fácil reconocimiento, basándose en el sistema de coordenadas UTM. Dicho modelo de etiquetado se describe en la figura 25.

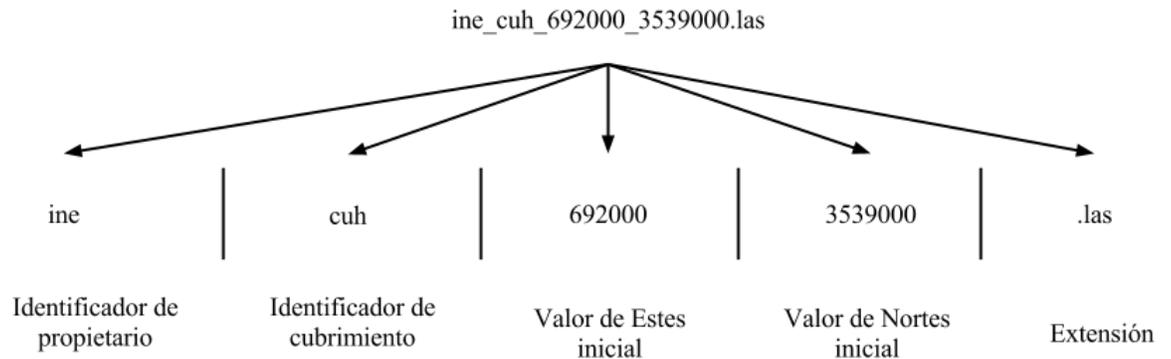


Figura 25. Modelo de etiquetado de archivos LAS.

6.2.2 Herramientas de Soporte

El repositorio de datos descrito anteriormente fue construido utilizando distintas herramientas abiertas o con versión gratuita, así como distintas rutinas automatizadas que hacen uso de las anteriores. Durante la etapa de adecuación de los datos, las siguientes herramientas fueron utilizadas:

Liblas: es una librería creada en c/c++ para la lectura y escritura de datos en formato LAS. Es completamente abierta y si bien su número de herramientas es reducido, provee las funciones básicas para la administración de los datos.

Lastools: Es un conjunto de herramientas creadas por Martin Isenburg (Rapidlasso GmbH, 2012) a partir de LibLAS. Estas ayudan a manipular los datos LiDAR en cualquiera de sus formatos populares, permitiendo unir o separar datos, así como filtrar, delimitar e incluso obtener productos más sofisticados como los polígonos envolventes o los modelos de elevación. Cuenta también con un subconjunto de herramientas de código abierto que permiten realizar tareas sencillas pero extremadamente útiles, las cuales forman parte de las mencionadas anteriormente.

6.3 Librerías de Soporte

A continuación se describen las diversas librerías utilizadas en la plataforma propuesta, ya sea para realizar la lectura de los datos, facilitar la interacción con el usuario o permitir visualizaciones en 3D. Se realiza una descripción de cada una de éstas y en caso de ser necesario, los cambios que se realizaron para adecuarlas al proyecto.

jQuery: es una librería para Javascript creada por John Resig (The jQuery Project, 2010) que permite una rápida y sencilla navegación a través de los elementos HTML, facilitando la interacción del usuario con las interfaces web sin intervenir con otras librerías, esto gracias a que todas sus clases y métodos se encuentran contenidos dentro de su *namespace* o identificador único. Debido a esto, jQuery ha llegado a convertirse en un estándar para la creación de páginas web de contenido altamente interactivo, y como afirma The jQuery Project (2010), es utilizado en sitios populares como Amazon y Twitter. Esta librería se encuentra actualmente en su versión 1.8.2 e interactúa sin problema alguno con otras librerías.

jQuery UI: es una extensión de jQuery (jQuery User Interface, 2013) que permite al usuario insertar distintos objetos que permiten la creación de interfaces visualmente agradables, como por ejemplo botones personalizados, barras deslizantes de selección, calendarios, barras de progreso, entre otros. Permite también proveer a cualquier objeto de características adicionales a las dadas por el estándar HTML5, como por ejemplo dar al usuario la capacidad de arrastrar o cambiar el tamaño de distintos elementos haciendo uso del ratón.

WebGL: es un estándar multiplataforma que provee un API basado en OpenGL a través del elemento canvas de HTML5 para la visualización de objetos 3D. De acuerdo a Khronos Group (2012), WebGL cuenta con diversas ventajas, entre ellas siendo la principal su compatibilidad con diferentes plataformas, existiendo sistemas Linux, Windows, y Mac que son compatibles con el estándar. Esta compatibilidad también se encuentra con distintos

navegadores web populares, los cuales pueden integrar el contenido generado por WebGL con el contenido HTML y añadir eventos de scripting. Gracias a que la programación de estos se realiza mediante scripting, se pueden crear gráficos 3D acelerados por el hardware del usuario, sin necesidad de compilar.

XB PointStream: es una librería creada para la graficación de nubes de puntos sobre el navegador web. Esta librería hace uso de los recientes estándares para WebGL, los cuales son compatibles con las versiones nuevas de los navegadores web más populares. WebGL hace uso de los recursos del equipo del propio usuario, especialmente la tarjeta de video, para generar las visualizaciones que de otro modo no sería posible crear en la web.

Si bien esta librería fue creada para la lectura de nubes de puntos estándar, no se conoce a la fecha de una versión que tenga compatibilidad específica para nubes de puntos LiDAR, por lo que se creó un *parser* personalizado que permitiera la lectura y visualización de archivos de nube de puntos LiDAR con extensión LAS. Este parser lee los datos LAS, ya sea en el equipo local o desde un servidor remoto, bajo un modelo de corriente desplegando los puntos que han sido procesados, mientras los demás siguen siendo transferidos o procesados. Esto permite obtener una visualización a pesar de que la nube de puntos no ha sido aún leída en su totalidad.

Pixastic: es una librería para Javascript que permite realizar una gran variedad de operaciones, filtros y efectos sobre imágenes. Cuenta con compatibilidad para todos los archivos de imagen soportados por el explorador web, así como el elemento canvas. Es compatible también con jQuery, permitiendo utilizar comandos del anterior para controlar los efectos deseados, entre los cuales se encuentran la reducción de ruido, suavizado de imágenes, control de saturación y contraste, entre otros.

jDataView: es una librería que facilita la lectura de archivos binarios dentro del explorador web, recibiendo como entrada datos binarios y, dependiendo del tipo de dato y cantidad de bits que lo componen, da como resultado un valor alfanumérico que podemos interpretar dentro de javascript. Esta librería facilita la lectura de datos provenientes de los archivos de

nubes de puntos LAS, dado que la capacidad de leer archivos en el equipo del cliente es una característica relativamente nueva dentro de javascript, por lo que no se ha previsto la creación de herramientas y métodos especializados para la interpretación de archivos binarios.

Google Maps Javascript API: es un API de Javascript para Google Maps, actualmente en su versión 3, el cual permite integrar los mapas de Google en cualquier sitio, dando al desarrollador un amplio nivel de control sobre distintas características de su visualización. Desde el adicionar contenido al mapa mediante una variedad de servicios y agregar imágenes propias por medio del uso de capas, hasta el manejo de eventos para crear un ambiente interactivo. Todo esto con el objetivo de crear una aplicación de mapas robusta en cualquier sitio.

6.4 Desarrollo y programación del sistema.

6.4.1 Lectura de Datos

Se creó un módulo para la lectura de los datos binarios, el cual comienza por definir las características de los juegos de datos por medio de la lectura del encabezado del archivo de extensión LAS. Estos archivos cuentan con una gran cantidad de información dentro de su encabezado, la cual debe ser utilizada al realizar la representación de los datos. Dependiendo de la localización de los juegos de datos a leer, se realizarán diferentes procedimientos al momento de la lectura de datos, los cuales se han optimizado para dar un mejor desempeño en cada una de las situaciones.

Lectura de datos locales: Cuando se realiza la lectura de datos locales, es decir, datos que se encuentran albergados dentro del equipo del cliente, la lectura se realiza de manera más ágil, gracias a que no se requiere que los datos viajen por la red. La lectura de los datos se realiza siguiendo el siguiente proceso:

Una vez señalado por el usuario el archivo a utilizarse, se realiza la lectura del encabezado con el fin de obtener la información básica sobre el juego de datos, como el

área geográfica que abarca, el número de puntos y los máximos y mínimos de altura. Una vez extraída la información del encabezado, se presentan varias opciones al usuario, como el sub-muestreo de los datos o el establecimiento de cotas inferiores y superiores para los valores de altura. Gracias a su ejecución local, la velocidad de lectura dependerá completamente de las características del equipo del usuario. Durante la lectura de puntos estos son interpolados por distintos métodos, encontrándose actualmente implementados los métodos del mínimo, máximo y mediana. Esto con el fin de obtener una matriz tridimensional donde toda coordenada discreta (x, y) tendrá uno o más valores z .

Lectura de datos en sitios remotos: Cuando se solicita la lectura de datos sobre juegos albergados en servidores remotos, se invocan diferentes rutinas que tienen como objetivo optimizar la transferencia de los datos sobre una red interna o incluso sobre Internet. Se busca mostrar la mayor información posible antes de realizar la transferencia del juego completo de datos, esto con el objetivo de minimizar las posibilidades de que el usuario elija un cubrimiento equivocado. El proceso para la lectura de datos en un servidor remoto tiene diferencias notables sobre el utilizado para la lectura de datos locales, y se describe a continuación:

Dado que se cuenta con una mayor cantidad de información sobre los juegos de datos contenidos en el servidor, es posible presentar al usuario diferentes visualizaciones que le ayuden a tener una mejor noción del contenido en cada juego de datos. Lo anterior se logra mediante el uso de Google Maps y su API de Javascript, el cual nos permite sobreponer distintas imágenes, en este caso imágenes de modelos de elevación con efecto de iluminación (hillshading) y polígonos delimitantes, brindando al usuario una representación gráfica simple pero clara de los puntos que podrá cargar.

Una vez que el usuario ha elegido el juego de datos y confirmado que es la información que busca, comenzará la transferencia de los datos desde el servidor donde se encuentre alojado el juego de datos específico hacia el equipo del usuario. Gracias a las características de la transferencia, es posible comenzar a trabajar en el proceso de interpolación y filtrado de los datos antes de que este se encuentre completamente en el

equipo del usuario. Lo anterior tiene como propósito minimizar los tiempos de entrega y maximizar el uso del equipo local para el procesamiento. Una vez recibido e interpolado todo el archivo, se genera de igual manera una matriz tridimensional que permitirá la visualización de los datos.

6.4.2 Visualización de Datos

Tras realizar la lectura de los datos, los puntos interpolados generan una imagen bidimensional, donde cada pixel puede ser proyectado hacia un par $(x-x', y-y')$ de coordenadas geográficas 2D del mundo real por medio de una serie de operaciones basadas en la reducción de dimensiones que se aplicó en los datos para representar el área en el sitio web.

Esta imagen puede ser manipulada por el usuario, agregando una serie de filtros y paletas de color que ayudarán a distinguir características peculiares en los datos. Una vez que los datos han sido cargados y ha comenzado la visualización, no existen diferencias entre la lectura de datos en el equipo del usuario y desde un equipo remoto. Esto debido a que el usuario cuenta con las mismas opciones y herramientas de visualización sin importar el origen de los datos, las cuales se describen a detalle a continuación.

6.4.3 Herramientas de Visualización

Uno de los objetivos de la plataforma es no solamente ofrecer la capacidad de lectura y visualización de datos, sino ofrecer una variedad de herramientas flexibles que enriquezcan la visualización y permitan al usuario personalizar su interacción con el sistema. Gracias al almacenado de los datos originalmente interpolados, todas las herramientas descritas a continuación son reversibles, es decir, se puede regresar al producto que solicitamos inicialmente, sin pérdida de datos.

Intensidad: adicionalmente a la información sobre altura, las nubes de puntos LAS contienen información sobre la intensidad, la cual es descrita por la American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (ASPRS, 2010) como la representación entera de la magnitud del pulso de retorno causado por la reflectividad del terreno. La información

sobre la intensidad puede reemplazar los datos de altura dentro de una representación bidimensional, proporcionando al usuario una imagen artificial que le permitirá resaltar características del terreno que podrían no observarse de otra manera (figura 26). El usuario puede cambiar dinámicamente el uso de la altura y la intensidad en cualquier momento una vez que la imagen ha sido generada.

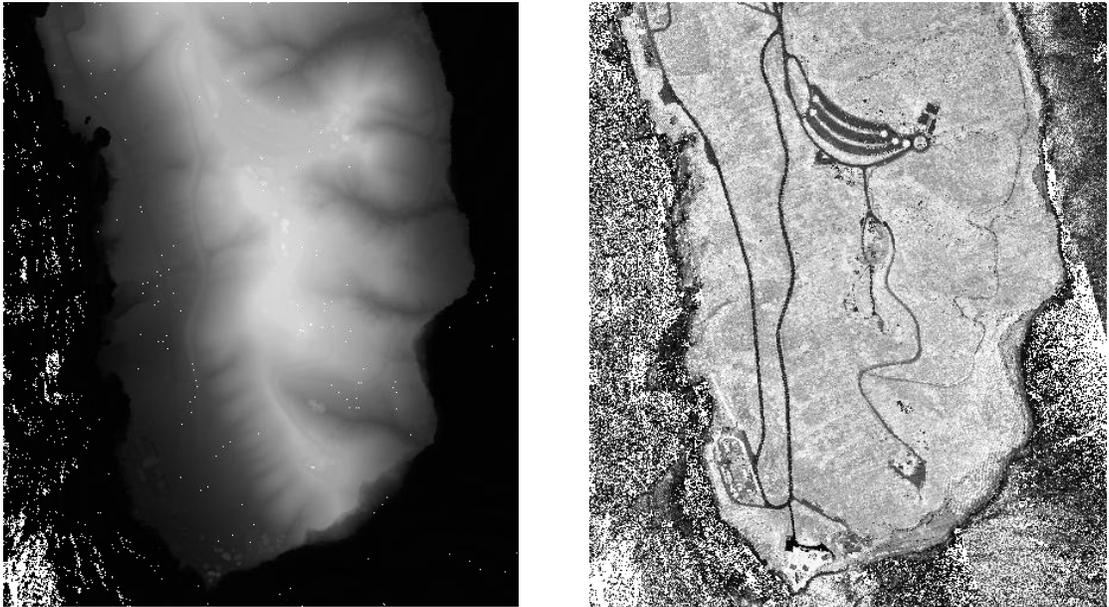


Figura 26. Imagen generada utilizando altura (izquierda) y utilizando intensidad (derecha).

Paletas de Color: por defecto, la imagen creada contará con una paleta de color monocromática, con 256 tonos de gris. Adicionalmente, esta podrá ser cambiada por distintas paletas almacenadas en el servidor, las cuales podrán ser visualizadas por el usuario como se observa en la figura 27. El usuario podrá también crear paletas no lineales, por ejemplo, paletas con crecimientos logarítmicos o exponenciales. El usuario tendrá también la opción de implementar paletas escalonadas, donde elegirá rangos de alturas que serán representadas por un determinado color.

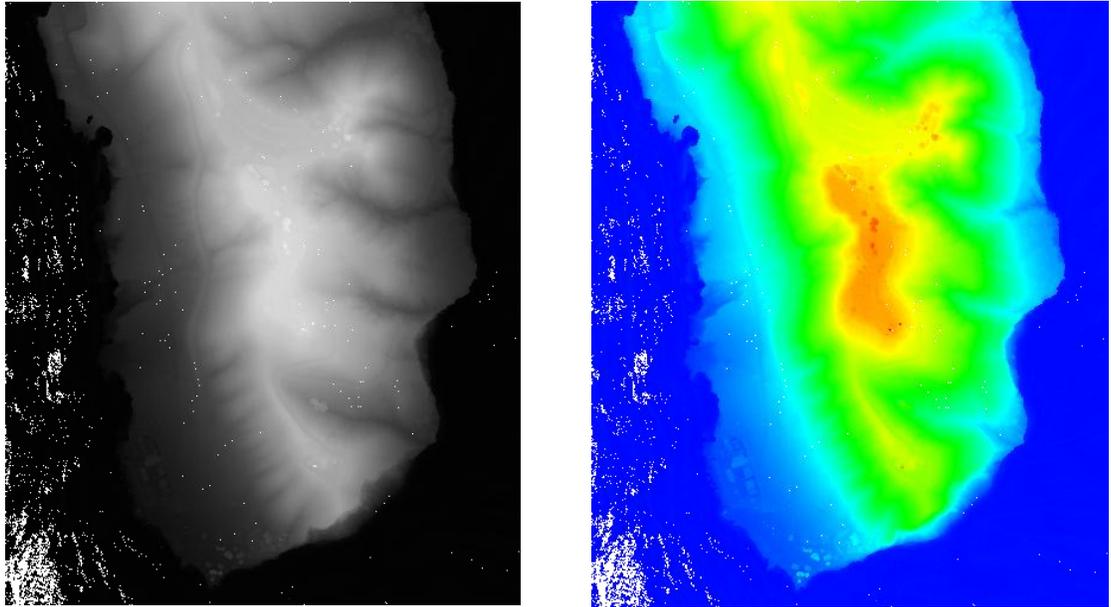


Figura 27. Ejemplo del uso de una paleta monocromática (izquierda) y la utilización de una paleta azul - verde - roja (derecha).

Suavizado: se ofrece la opción de suavizar las imágenes, utilizando promediado de ventana móvil. El usuario puede elegir el tamaño de ventana a utilizarse. Los filtros de suavizado permiten mejorar imágenes con ruido o que cuentan con muy pocos datos, como la que se muestra en la figura 28. El filtro implementado buscará valores cercanos para cada uno de los píxeles de la imagen, y los utilizará para asignar un valor promediado.

Filtros Direccionales: estos filtros ayudan a acentuar estructuras morfológicas que serían difícilmente apreciables en una visualización bidimensional de algunos juegos de datos. Consisten en simular una fuente direccional de luz sobre la imagen, generando bordes y sombras.

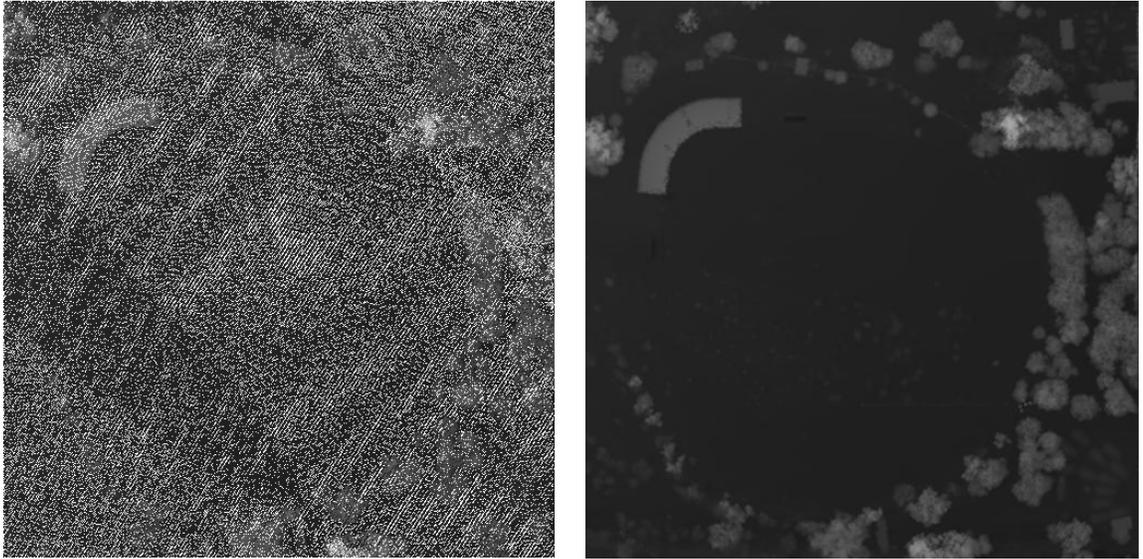


Figura 28. Ejemplo de una imagen a la que se le ha aplicado un filtro suavizante.

Umbrales: los umbrales nos permiten ignorar datos que se encuentren por debajo o por encima de un rango elegido por el usuario, esto con el fin de darle la opción al usuario de eliminar la visualización de datos que pudiesen haber surgido por errores durante la colecta, o que simplemente no son de interés.

Visualización 3D: adicionalmente a la imagen 2D generada a partir del juego de datos interpolado, se puede generar una graficación 3D utilizando los valores de altura como tercer eje, la cual es controlada por el usuario, y contiene variantes de algunas de las herramientas implementadas para la visualización 2D.

6.5 Seguridad

Dado que cada juego de datos cuenta con un propietario distinto, en diversas ocasiones este puede tomar la decisión de mantener un cierto nivel de privacidad sobre los datos. Es por lo anterior que se ha creado un modelo de usuarios y permisos, donde cada

juego de datos será accesible solamente por los usuarios que cuenten con la autorización previa.

6.5.1 Control de Acceso

Para hacer uso de las herramientas del sitio, todo usuario deberá ingresar su nombre y su contraseña, las cuales serán verificadas por el servidor antes de concederle acceso. Una vez que el usuario ha ingresado en el sistema, el servidor consultará los cubrimientos a los que dicho usuario tiene acceso. Con el fin de mantener un nivel de seguridad, todas las contraseñas son encriptadas con la función SHA2.

6.5.2 Usuarios

Los usuarios se encuentran divididos dentro de una jerarquía previamente establecida en el capítulo 4.3, y dependiendo de su contribución o actividad dentro de la plataforma se le asignará uno de los siguientes niveles, con las capacidades que cada uno otorga:

Administradores: tienen la capacidad de crear otros usuarios, de cualquier nivel y cantidad de derechos sobre los juegos de puntos, estas cuentas gozan de control absoluto sobre la plataforma, y se encuentran restringidas actualmente al creador de la plataforma y un administrador. Estos usuarios son los únicos que pueden otorgar el nivel de propietario a otros usuarios.

Propietarios: Poseen control sobre al menos un juego de datos y pueden concederle acceso a otros usuarios al mismo.

Invitados: Usuarios a los cuales se les ha concedido acceso al menos a un juego de datos por los administradores o por los propietarios. Este usuario no puede administrar ni otorgar derechos a otros usuarios, sin embargo, contará con acceso completo al juego de datos para el cual recibió permisos.

Visitantes: todo usuario sin acceso a ningún juego de datos puede ser considerado visitante, ya que contará con acceso a un juego de datos de muestra solamente. Una vez que se le conceda permiso a este usuario para alguno de los juegos de datos, automáticamente se verá aumentado su nivel de usuario al de invitado. Todas las cuentas creadas por los usuarios contarán con este nivel, hasta que reciban permisos adicionales.

6.6 Servicios hospedados en el servidor

Como se definió en la sección 5.2.1, se ha utilizado el servidor HTTP Apache 2.4.3 para hospedar la plataforma, así como ofrecer una serie de servicios web, los cuales atenderán diversas peticiones realizadas por los usuarios a través del sitio web. A través de este servidor se realizará la comunicación entre los usuarios y los distintos juegos de datos y herramientas que se encuentran en el servidor.

6.6.1 Servicios de autenticación y permisos

Los administradores, así como los propietarios, cuentan con acceso a un panel de control que les permitirá otorgar al usuario de su elección los permisos necesarios para acceder a los cubrimientos que les pertenezcan. Estos permisos podrán también ser revocados en cualquier momento.

6.6.2 Servicios de búsqueda y filtrado

Cuando se trabaja con juegos de puntos ubicados en el repositorio de datos en el servidor, se encuentran disponibles algunas herramientas, mayormente para la selección y filtrado de datos, las cuales deben ser ejecutadas por el servidor. Una vez que se recibe la petición de parte del cliente, esta entra en una cola en caso de que haya más peticiones pendientes, para entrar en vigor una vez que se encuentre disponible el servidor.

El filtrado de datos se realizará por medio de distintas herramientas de código abierto, las cuales serán llamadas por medio de PHP.

Capítulo 7

Implementación del Sistema

El objetivo de este capítulo es resaltar las características con que cuenta la plataforma creada. Para ello se ejemplifica con un par de casos de uso ficticios, en los que se describen los pasos que seguiría un cliente del sistema para la obtención y visualización de datos LiDAR.

El primer paso para un usuario que desea hacer uso de la plataforma para visualizar y analizar de datos LiDAR, será el solicitar la creación de una cuenta de usuario, la cual realizará ante los administradores de la plataforma. A continuación se presentan un par de escenarios simples en los que se muestran el manejo del sistema por los usuarios.

Caso de Uso #1

El usuario *Alfa* trabaja en el Instituto de Planeación de su localidad como director de Investigación y Programas. Su proyecto actual consiste en la construcción de una planta desalinizadora para la cual aún no se ha determinado el lugar indicado para su construcción. Por lo tanto *Alfa* debe darse a la tarea de encontrar el sitio más adecuado.

Alfa necesita encontrar una zona que cuente con una altura baja, pues se requiere cercanía a la línea de costa. Se requiere también que la zona no cuente con grandes diferenciales de altura que pudieran elevar los costos de la obra. *Alfa* sabe que una de las formas más fáciles de obtener modelos de elevación con una alta definición es mediante el análisis de datos LiDAR, por lo que decide solicitar asesoría al CICESE.

CICESE, sin embargo, le informó que no contaba con datos LiDAR para su zona de interés, pero le sugirió hacer una búsqueda de información y lo invitó a hacer uso de su sistema para visualización de datos LiDAR. Posteriormente *Alfa* ingresó a uno de los sitios mencionados en el Apéndice A, donde encontró datos colectados sobre su área de interés.

Una vez que contó con estos datos en formato LAS, *Alfa* ingresó al sitio con la cuenta de usuario que le fue asignada.

Al ingresar a la plataforma y abrir el archivo de datos observó la información contenida en el encabezado del archivo, antes de iniciar la lectura de los puntos contenidos en éste (figura 29). En ese momento se le dio la opción de realizar un muestreo (sampling) de sus datos, esto con el fin de hacer más rápida la lectura cuando se manejan grandes cantidades de puntos. Al momento de abrirlo se puede apreciar el avance de la lectura del archivo.

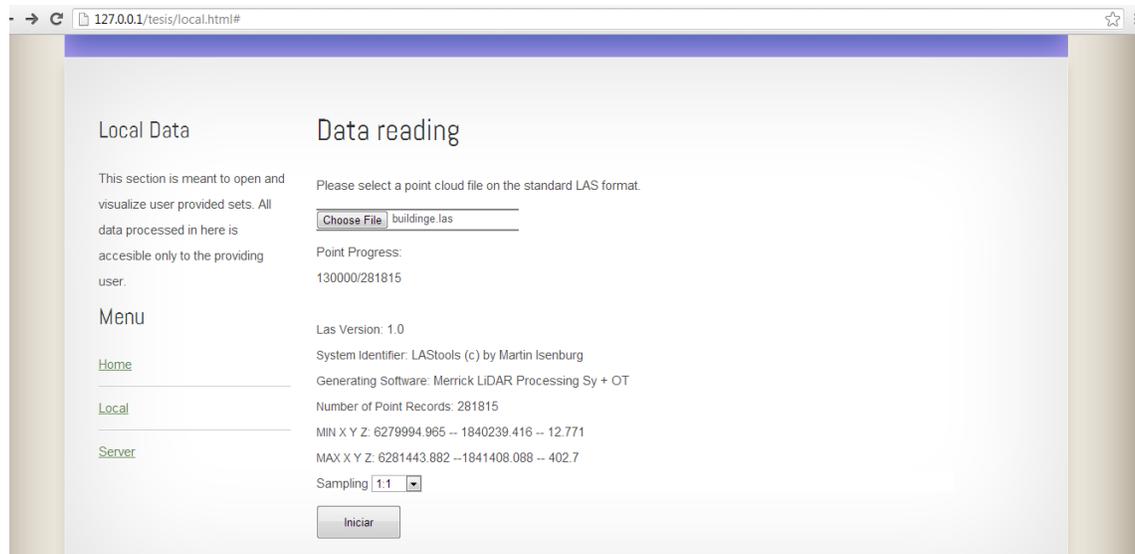


Figura 29. Encabezado de archivo LiDAR desplegado previo al procesado.

Una vez procesados en su totalidad los puntos contenidos en el archivo leído, *Alfa* pudo apreciar por primera vez de manera visual los datos (figura 30). Los datos se presentaron como una imagen en dos dimensiones (2D) en escala de grises, donde los valores de altura más bajos poseen tonos oscuros y los más altos tonos claros. Asimismo se aprecian los límites máximos y mínimos del cubrimiento en coordenadas UTM.

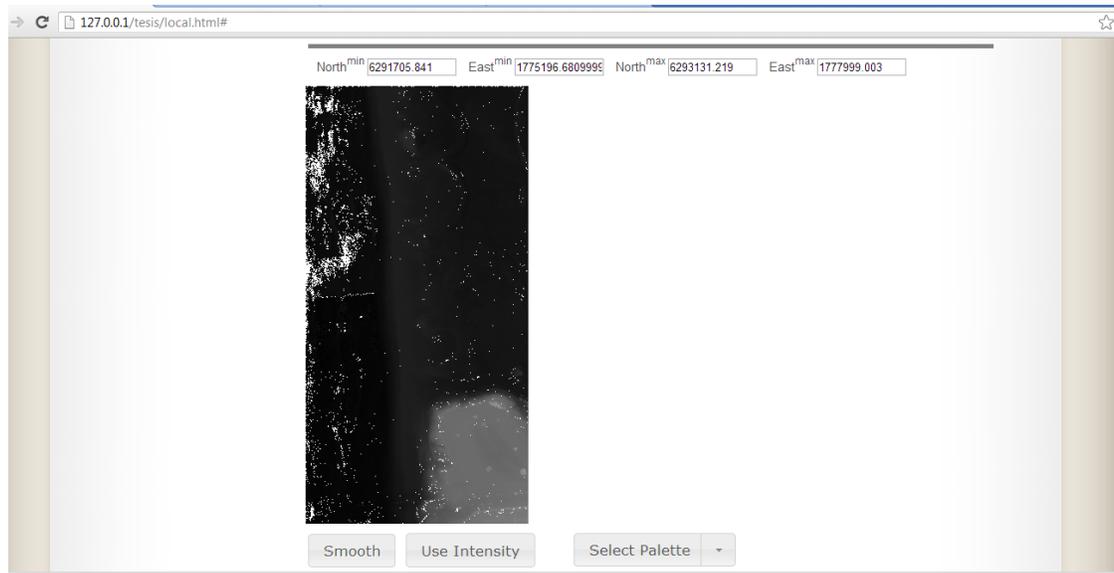


Figura 30. Visualización de datos LiDAR interpolados e ilustrados en escala de grises.

Sin embargo la imagen obtenida no le dio a *Alfa* una idea clara de la zona que estaba analizando, por lo que decidió familiarizarse con las herramientas disponibles una vez desplegados los datos (figura 31). Aunque de momento estas herramientas no tienen como propósito realizar un análisis complejo sobre los datos, permiten mejorar la imagen y resaltar las características que pudieran ser de interés para el usuario. Estas herramientas se describen con más detalle en el capítulo 6.



Figura 31. Menú de herramientas disponibles durante la visualización de datos en 2D.

Una vez familiarizado con la visualización en 2D, *Alfa* decidió hacer uso del visualizador 3D, pudiendo así apreciar los datos desde una perspectiva diferente. Esta herramienta cuenta con controles para efectuar rotaciones del modelo en sus tres ejes, así como controles de zoom y cambios de escala vertical (figura 32). *Alfa* obtuvo una idea más clara de la fisiografía del terreno, gracias a que podía rotar la imagen en cualquier ángulo deseado, y acercarse o alejarse para poder apreciar distintas características del terreno.

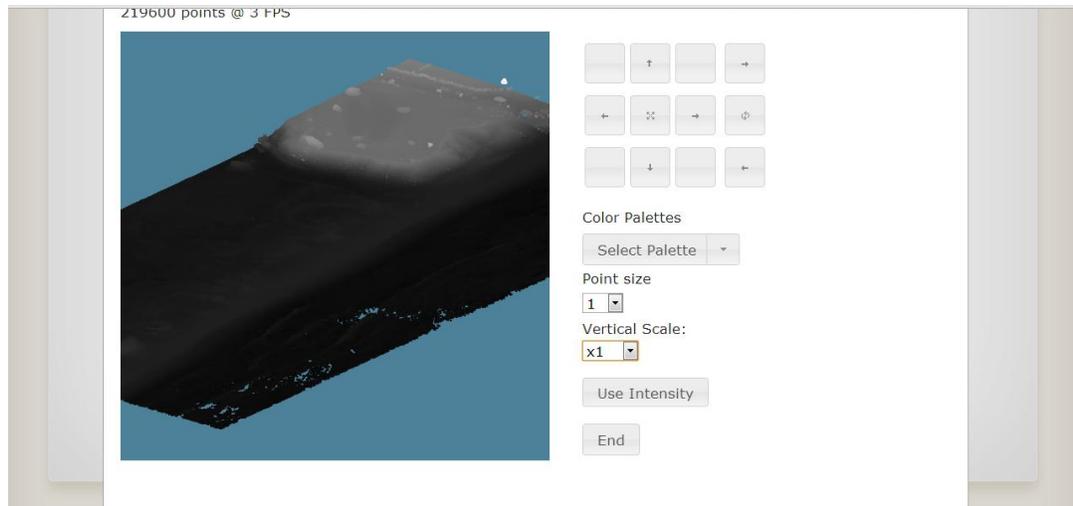


Figura 32. Visualizador de nubes de puntos 3D.

En esta interfaz *Alfa* contó con posibilidad para modificar diferentes parámetros de visualización, como la escala vertical, lo que le permitió apreciar con mayor detalle algunas zonas con un diferencial de altura más homogéneo (figura 33).

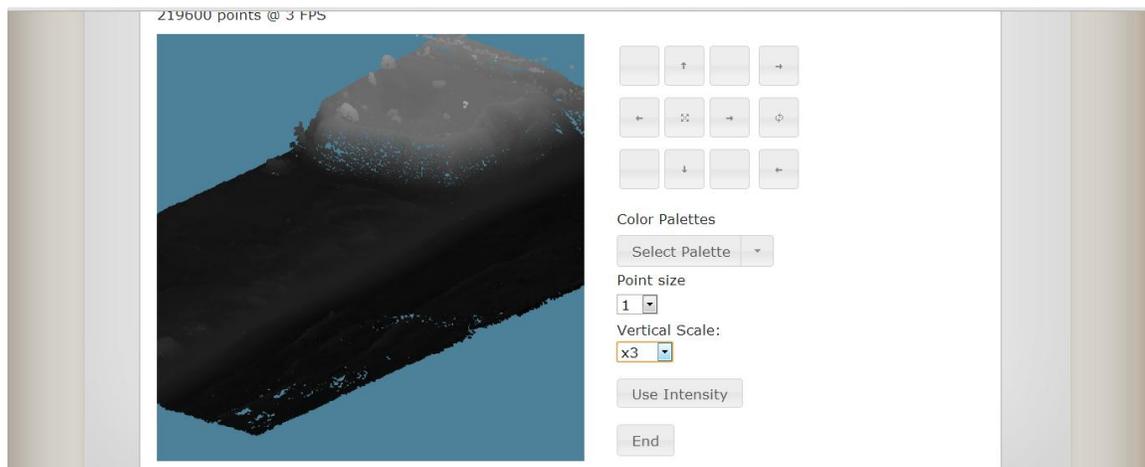


Figura 33. Cubrimiento en visualizador 3D tras un aumento en su escala vertical.

Finalmente *Alfa* eligió utilizar el valor de intensidad en lugar de la altura para controlar las paletas de color, lo cual le permitió descubrir que en la zona existen caminos de acceso y otros tipos de infraestructura (figura 34).

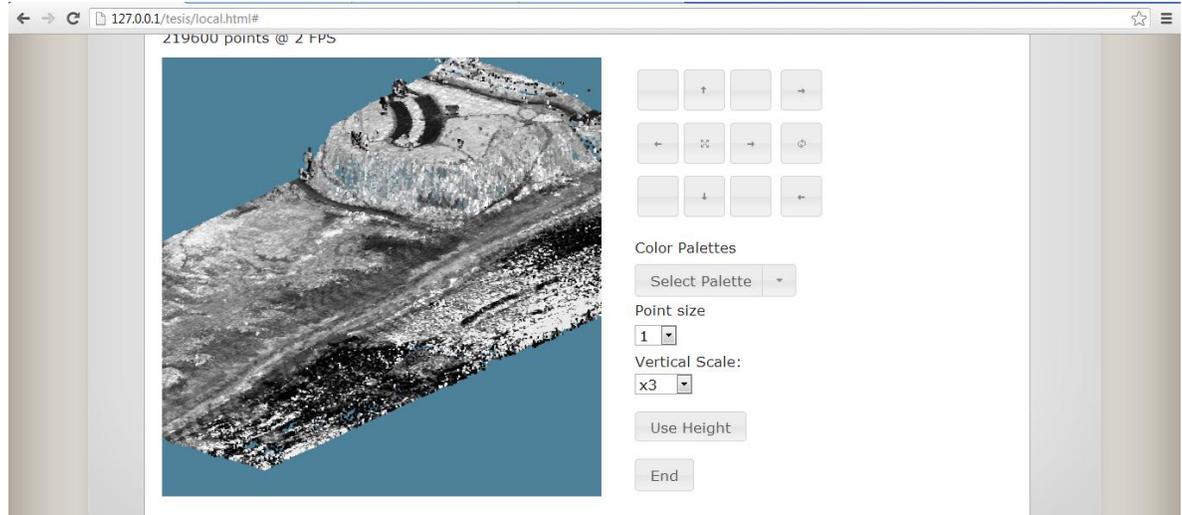


Figura 34. Reemplazo de intensidad por altura en la paleta de color.

Después de un análisis exploratorio sobre la nube de puntos, *Alfa* logró encontrar un sitio idóneo para el desarrollo de su proyecto. El paso siguiente será hacer un análisis a detalle del sitio elegido utilizando los datos LiDAR disponibles a su máxima resolución.

Caso de Uso #2

El usuario *Beta* es un estudiante de Arquitectura que en sus ratos libres ha decidido hacer uso de la Plataforma para explorar diferentes obras arquitectónicas en la ciudad de San Diego por medio de datos LiDAR.

Gracias a que la plataforma cuenta con distintos cubrimientos de esa región, no le es necesario realizar ninguna descarga previa, por lo que puede comenzar a realizar las visualizaciones en el momento.

Debido a que estos cubrimientos se encuentran en el servidor de la plataforma, los datos pueden ser visualizados como una capa en Google Earth en forma de modelos con

efecto de iluminación (hillshading). Una vez elegido el primer cubrimiento a visualizar, basta que *Beta* presione el botón “load” para comenzar la visualización (figura 35).

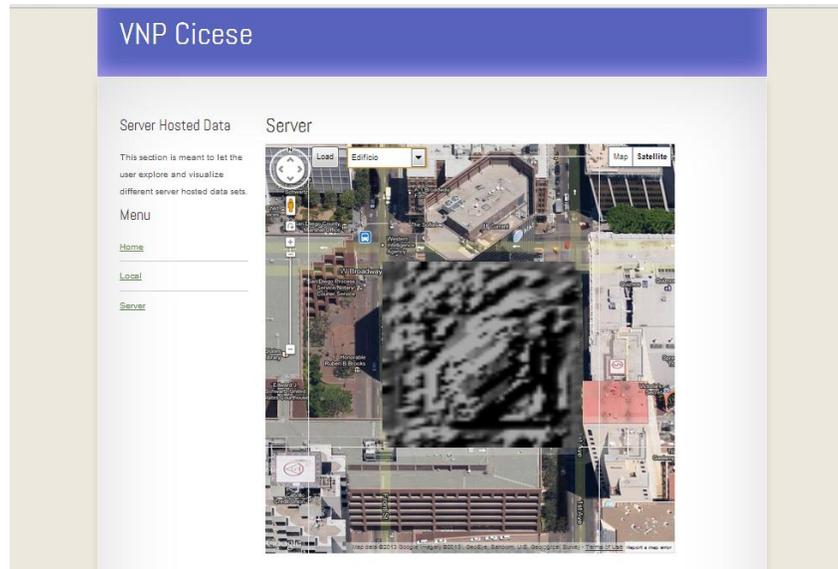


Figura 35. Mash-Up de Google Earth con herramientas propietarias.

Después de unos segundos de carga, debido al tamaño pequeño del juego de puntos utilizado, *Beta* puede apreciar la imagen tridimensional del cubrimiento elegido (figura 36). Sin embargo, éste no era lo que él esperaba, por lo que decidió elegir otro diferente. Gracias a que no requiere hacer descarga alguna, consideró que podía con facilidad visualizar diferentes estructuras antes de elegir la que más le gustara.

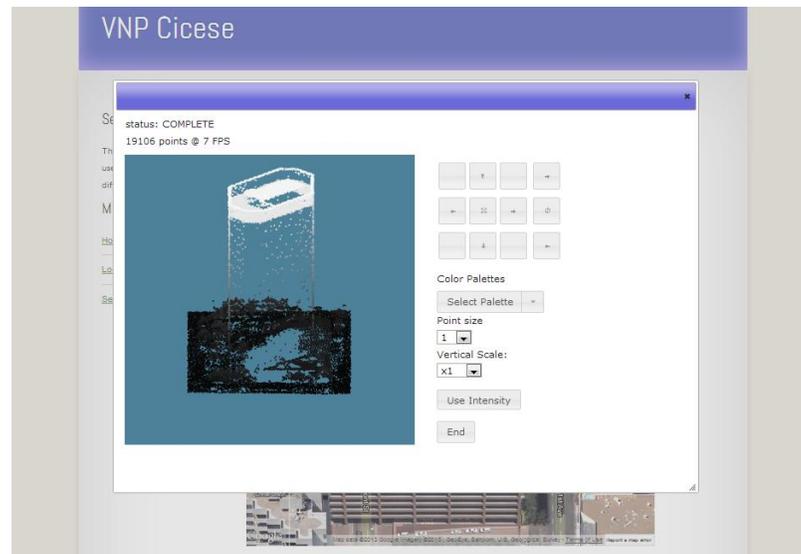


Figura 36. Ventana de Visualización 3D.

Beta cargó posteriormente un complejo de edificios, sin embargo, utilizó un tamaño de punto demasiado pequeño para la densidad del cubrimiento, por lo que no pudo apreciar la estructura de los edificios en el visualizador (figura 37).

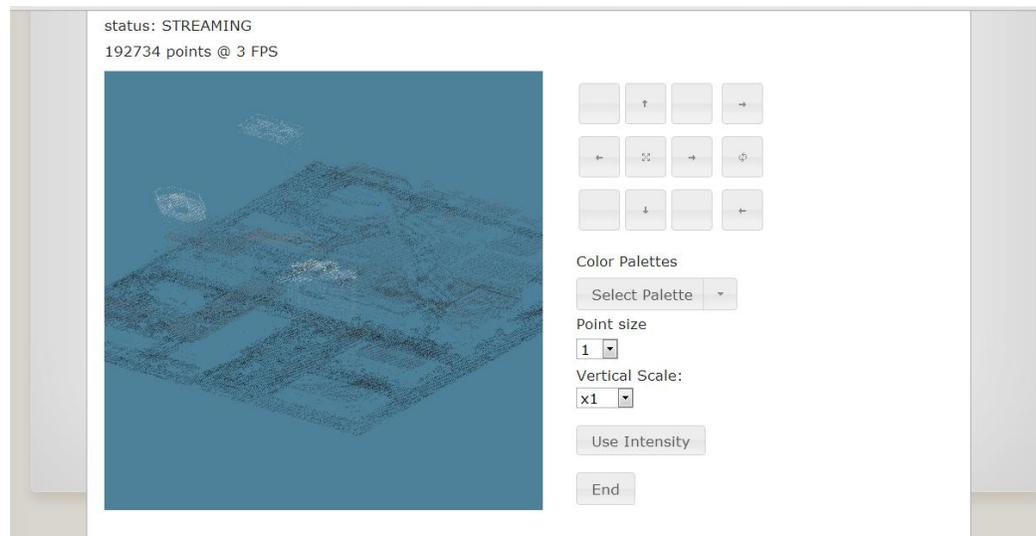


Figura 37. Ventana de visualización 3D. Se observa el tamaño de punto 1, este es el tamaño más pequeño disponible.

No obstante, este problema es fácilmente resuelto cambiando el tamaño de punto en el visualizador. Después de probar interactivamente con diferente tamaño de punto, *Beta* decide que un tamaño de punto de 8 es el apropiado para su visualización (figura 38).

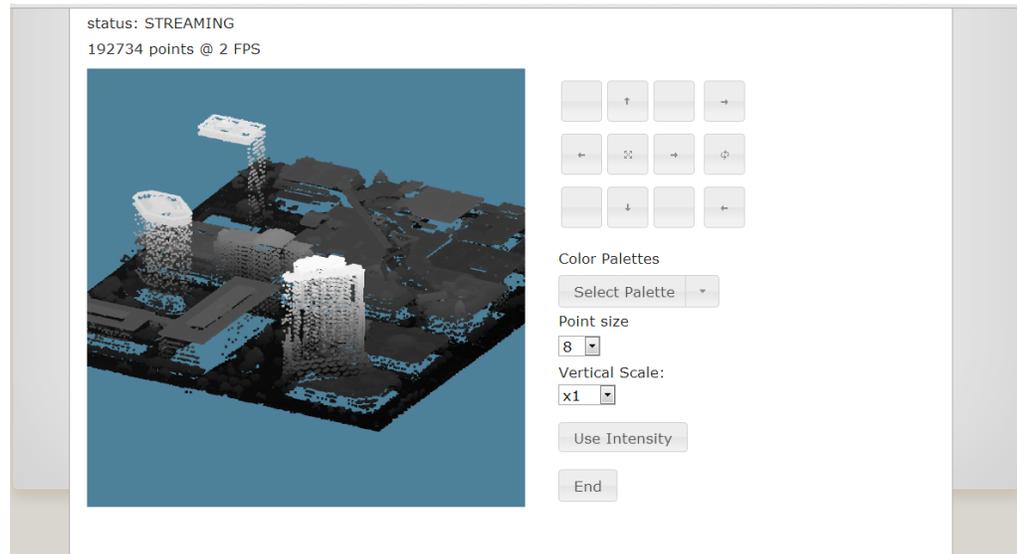


Figura 38. Ventana de visualización 3D. Se observa el tamaño de punto 8, este es el tamaño estándar.

Una vez seleccionada la resolución adecuada para visualizar los datos, *Beta* podrá interactuar con la herramienta haciendo acercamientos a los objetos de interés, utilizar el valor de intensidad o diferentes paletas de color, cambiar la escala vertical, o efectuar rotaciones para obtener diferentes puntos de observación.

Conclusiones y Trabajo Futuro

Se diseñó, desarrolló e implementó una plataforma web para el análisis y visualización de nubes de puntos LiDAR en Internet. Esta plataforma está basada en las tecnologías y lenguajes de programación más populares y con mayor soporte en la actualidad, por lo que se prevé que dicha plataforma se mantenga actualizada en el futuro cercano, siendo cada vez más rápida y eficiente, gracias a los cambios que experimenten los navegadores web en cada actualización.

Se hizo uso únicamente de tecnologías de código abierto o de uso libre, sin la necesidad de plug-ins externos, lo cual trae un alto grado de compatibilidad para su implementación en distintos sistemas operativos y equipos. Todas las librerías y herramientas utilizadas cuentan con licencias MIT o similares, lo cual permite su libre uso y distribución.

Se consultaron varias plataformas de acceso público a datos LiDAR, con el objeto de conocer las prestaciones que ofrecen actualmente otras iniciativas existentes. Con base en este estudio, se observó la necesidad de una plataforma que permitiera al usuario realizar un análisis exploratorio directamente a partir de la nube de puntos LiDAR.

Se desarrollaron estrategias de visualización que minimizan los tiempos de respuesta de la plataforma, permitiendo a los usuarios una rápida consulta a las bases de datos y una sencilla selección de los juegos de puntos. Estas estrategias fueron extendidas hacia una visualización en 3D, lo cual ofrece a los usuarios la posibilidad de controlar el nivel de acercamiento y el ángulo desde el cual se aprecian los cubrimientos. La disponibilidad de datos LiDAR, en conjunto con el acceso a estas herramientas para su exploración, ofrece una gran oportunidad a expertos en distintas áreas para obtener el mayor provecho de la información disponible.

No obstante los alcances logrados, quedan aún varios temas de trabajo cuyo estudio se ha encontrado viable a lo largo del desarrollo de esta tesis. La implementación de herramientas de clasificación basadas en el reconocimiento de patrones se considera una posibilidad futura, lo cual permitiría no solamente acceder a los modelos de elevación de la superficie, sino también a la extracción de características del terreno. Actualmente este tipo de análisis se lleva a cabo mediante la utilización de software de escritorio, el cual por lo general tiene un alto precio en sus licencias y mantenimiento.

Otra línea de trabajo contemplada es la implementación de algoritmos de procesamiento basados en tecnología CUDA, con el objeto de analizar los juegos de datos hospedados en el servidor de archivos de la plataforma. Las capacidades de cómputo paralelo que ofrece la tecnología CUDA son una poderosa herramienta para el procesamiento de datos altamente masivos.

Paralelamente se buscará la interacción con otras iniciativas existentes, con el fin de tener acceso a otros bancos de datos LiDAR. Esto facilitaría el acceso a las herramientas contenidas en esta plataforma creada, permitiendo no solamente el uso de los datos albergados en ésta, sino también los datos que existan en los servidores de otras instituciones gubernamentales, educativas e incluso del sector privado.

Cada vez son más en cantidad y capacidades los servicios hospedados en la *nube* (*cloud computing*). Ya sea en aplicaciones de tipo científico, comercial o de entretenimiento, la tendencia es estar cada vez más integrado a Internet. Por lo tanto es una decisión lógica el llevar el problema del procesamiento y visualización de nubes de puntos LiDAR en esa misma dirección.

Referencias Bibliográficas

Center for LIDAR Information Coordination and Knowledge (2012). *Click*. Extraído en febrero 15, 2013 de <http://lidar.cr.usgs.gov/>.

DIELMO 3D S.L (2012). *Lidar Online*. Extraído en febrero 15, 2013 de <https://www.lidar-online.com/>

Digital Photogrammetry Research Group (2013). *Optical & Ranging Sensor Integration*. Extraído en febrero 20, 2013, de <http://dprg.geomatics.ucalgary.ca/Research/OpticalRangingSensorIntegration>.

EVROGeomatika (2007). *LiDAR "Light Detection and Ranging"*. Extraído en febrero 20, 2013, de http://www.evrogeomatika.co.rs/index_lidar_eng.html.

FUGRO (2013). *Technical Information on LiDAR Bathymetry*. Extraído en febrero 20, 2013, de http://www.fugro-pelagos.com/lidar/tech/lidar_bathy.html.

Harding, D. (2009). *Pulsed Laser Altimeter ranging Techniques and Implications for Terrain Mapping*. En J. Shan y C. Toth (Eds.), *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida.

jQuery User Interface (2013). *About jQuery UI*. Extraído en febrero 2, 2013 de <http://jqueryui.com/about/>

Khronos Group (2012). *WebGL - OpenGL ES 2.0 for the Web*. Extraído en septiembre 20, 2012 de <http://www.khronos.org/webgl/>

Liu, X. (2008). *Airborne LiDAR for DEM Generation: Some Critical Issues*. *Progress in Physical Geography*, 32(1), 31-49.

Monniaux, David (2007). *Leica terrestrial Lidar*. Extraído en febrero 20, 2013 de <http://www.thenakedscientists.com/HTML/content/interviews/interview/1345/>.

NOAA (2012). *NOAA Data Access Viewer*. Extraído en febrero 15, 2013 de <http://www.csc.noaa.gov/dataviewer/>.

OpenTopography (2012). *Find LiDAR Topography Data*. Extraído en febrero 15, 2013 de <http://opentopo.sdsc.edu/gridsphere/gridsphere?cid=datasets>

- Orfali, R., Harkey, D., and Edwards, J. (1999). *Client/Server Survival Guide*, 3rd ed. New York: Wiley.
- Peng, Zhong-Ren, y Tsou, Ming-hsiang (2003). *Internet GIS: Distributed Geographic Information Services for the Internet and Wireless Networks*. Hoboken, NJ: Wiley.
- PennState (2013). *LiDAR Applications – Forestry*. Extraído en febrero 20, 2013 de <https://www.e-education.psu.edu/lidar/book/export/html/1808>
- Petrie, G. y Toth, C. K. (2009). Introduction to Laser Ranging, Profiling and Scanning. En J. Shan y C. Toth (Eds.), *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida.
- Rapidlasso GmbH (2012). *LAStools software suite*. Extraído en febrero 2, 2013 de <http://rapidlasso.com/lastools/>
- RIEGL USA (2011). *VMX-250 Compact Laser Scanning System*. Extraído en febrero 20, 2013, de <http://products.rieglusa.com/item/mobile-scanners/vmx-250-compact-laser-scanning-system/item-1022>.
- Shan, Y.-P., and Earle, R. H. (1998). *Enterprise Computing with Objects: From Client/Server Environments to the Internet*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (2010). *LAS specification version 1.3 – R11*. Bethesda, Maryland. Extraído en agosto 28, 2012, de http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS_1_3_r11.pdf
- The jQuery Project (2010). *Sites Using jQuery*. Extraído en septiembre 20, 2012 de http://docs.jquery.com/Sites_Using_jQuery
- Universal (2013). *What is LiDAR?*. Extraído en febrero 20, 2013 de <http://www.uni-yaz.com/urunler.aspx?id=27>.
- Wehr, A. (2009). *LiDAR Systems and Calibration*. En J. Shan y C. Toth (Eds.), *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida.

Apéndice A

Con el objeto de tener una idea más clara de los requerimientos necesarios para el diseño de la plataforma propuesta, se realizó un estudio de las diferentes iniciativas existentes en el ámbito de la distribución y visualización de datos LiDAR. A continuación se describen las características más sobresalientes de cada una de las plataformas analizadas. Estas plataformas pertenecen a iniciativas tanto privadas como gubernamentales, y ofrecen distintas herramientas y ventajas que las hacen sobresalir.

A.1 Open Topography

Es un grupo financiado por la Fundación Nacional de Ciencia (NSF), División de Ciencias de la Tierra de Estados Unidos, que tiene por objetivo lograr la democratización del acceso a los datos de alta resolución adquiridos mediante LiDAR y otras tecnologías asociadas (OpenTopography, 2012).

Esta plataforma, como se observa en la figura 1, consta de un Mash-Up que utiliza Google Maps como base, complementándose con capas creadas por el sitio mismo. Esto le permite desplegar tanto cubrimientos propios, como de otros clientes voluntarios que deciden hospedar sus datos en el sitio. Entre sus principales clientes se cuenta el NCALM (National Center for Airborne Laser Mapping) y el USGS (United States Geological Survey).

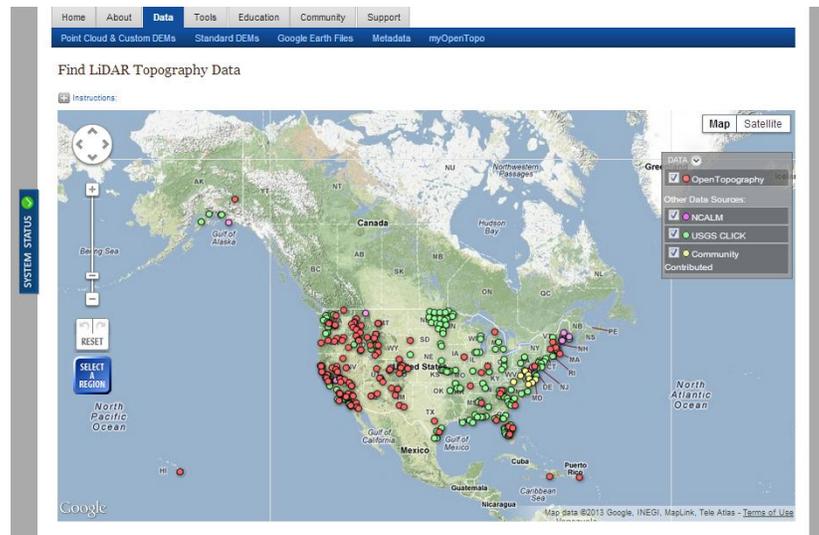


Figura 1. Interfaz de Open Topography para la selección de juegos de datos (Tomada de OpenTopography, 2012).

Una vez que se ha seleccionado el juego de datos del que se desea obtener información, el sistema permite realizar una selección rectangular, la cual, una vez realizada, será descrita en la parte inferior de la interfaz como se aprecia en la figura 2. Esta información incluye datos sobre los límites geográficos y la cantidad de puntos que contiene.

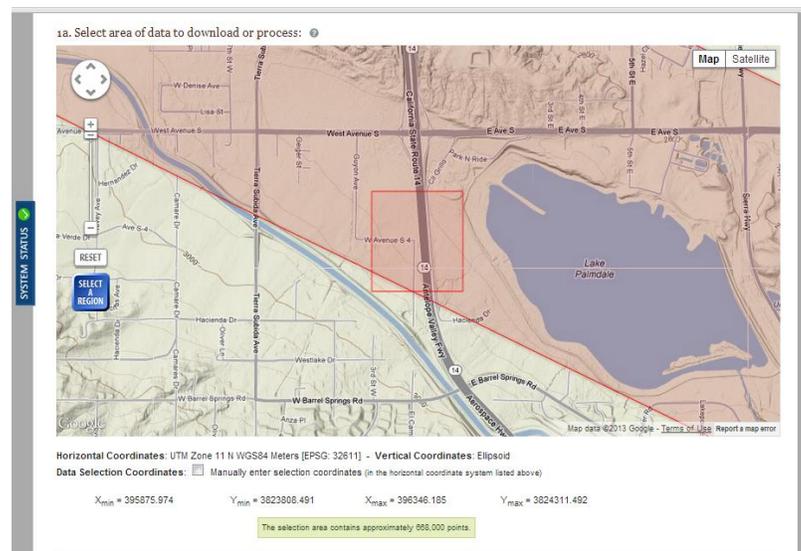


Figura 2. Herramienta de selección de puntos, interfaz de Open Topography (Tomada de OpenTopography, 2012).

Una vez seleccionados los puntos a descargar, se nos presentan diferentes opciones de formatos de descarga para las nubes de puntos (LAS, LAZ, o ASCII). Las primeras dos opciones generan archivos binarios, mientras que la última genera archivos de texto. Adicionalmente, se ofrecen diferentes opciones de interpolación para la generación de los modelos de elevación digitales, esta interpolación puede generar un archivo binario en malla del modelo de elevación, o una imagen del modelo iluminado (hillshading).

La iniciativa Open Topography sobresale por contar con un gran repositorio de datos, contando con más de 80 cubrimientos distintos, muchos de ellos con más de 1000 millones de puntos. Estos datos se encuentran disponibles libres de costo para cualquier usuario. Actualmente se tiene un límite de 150 millones de puntos por descarga para usuarios registrados, sin embargo, no hay un límite al número de descargas que se pueden realizar del sitio. Adicionalmente se pueden descargar los conjuntos completos en forma de mosaicos de 1 kilómetro cuadrado. A diferencia de la descarga estándar, la descarga de mosaicos si requiere que el usuario se encuentre autenticado como usuario registrado en el sitio.

Una vez que se ha elegido un área no mayor de 150 millones de puntos para descargar, el sistema comienza el proceso de recuperación y procesamiento de los datos, el cual puede tomar desde un par de segundos hasta más de una hora, dependiendo del tamaño de los datos. Adicionalmente este sitio cuenta con una opción para hacerle saber al usuario, por medio de correo electrónico, cuando los datos se encuentran listos. Todos los productos obtenidos por el usuario se conservan disponibles por varios días después de la petición.

A.2 NOAA Digital Coast

Esta plataforma, creada y mantenida por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), tiene una amplia variedad de juegos de datos, así como de productos disponibles derivados de éstos en forma de rasters y mapas de contornos. Si bien la exploración y descarga de juegos de datos ilustrada en la figura 3 es la única herramienta disponible en este sitio, la descarga se puede realizar en varios tipos de formatos, desde el

estándar .LAS, hasta algunos formatos propietarios como el *shapefile* de ESRI (NOAA, 2012).

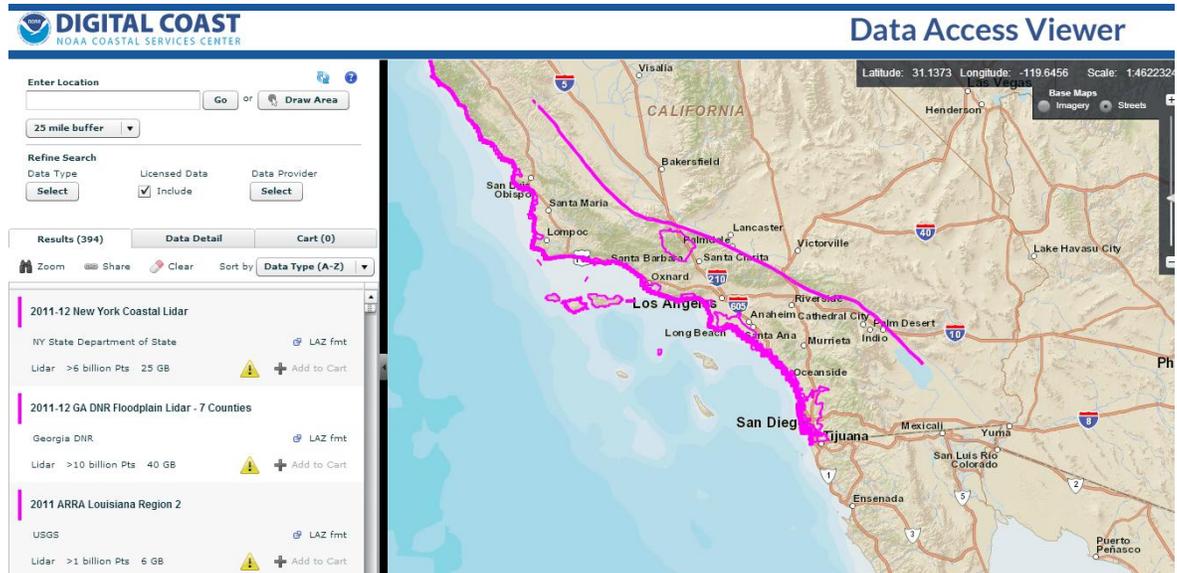


Figura 3. Interfaz de selección de juegos de datos (Tomada de NOAA, 2012).

Una de las características interesantes de esta plataforma es el funcionamiento parecido a un carrito de compras, implementado usualmente en sitios web de comercio. Bajo este modelo el usuario es libre de elegir distintos cubrimientos, los cuales serán agregados a una lista personalizada. Una vez que el usuario ha terminado de elegir los juegos de datos deseados, puede solicitar el procesamiento y descarga de todos en una sola petición. Una vez que los archivos solicitados se encuentran disponibles, el usuario recibirá los *links* de descarga en su correo electrónico.

Por otro lado, una de las características negativas de esta plataforma es la gran cantidad de recursos que consume en el equipo del cliente durante la navegación. No obstante, sus características positivas sobrepasan a las negativas, pues siendo su principal objetivo el proveer al usuario con los juegos de datos, esto es facilitado enormemente gracias a su interfaz.

A.3 USGS LiDAR

Es una plataforma creada por el United States Geological Survey (USGS). Esta iniciativa se creó después de llegar a la conclusión de que uno de los factores que más impedía el uso de datos LiDAR en aplicaciones científicas era el alto costo de las colectas de datos. Sus objetivos han sido facilitar el acceso a la información, así como atender aspectos relacionados con la coordinación y la educación sobre tecnología LiDAR en el ámbito científico (Center for LIDAR Information Coordination and Knowledge, 2012).

La última actualización en su sistema de mapas se realizó en mayo del 2004, por lo que el sistema se encuentra actualmente un tanto desactualizado. Seguramente esto le impide hacer uso de las nuevas tecnologías en servidores de mapas, lo cual le permitiría una navegación más rápida y amigable al usuario.

La interfaz, mostrada en la figura 4, es un tanto lenta pero al mismo tiempo intuitiva, siendo fácil su manejo con un poco de paciencia. Ocurre una larga espera para la selección de los archivos a descargar, problema que las otras plataformas han resuelto ofreciéndole al usuario la opción de ser notificado por correo una vez que los datos se encuentren listos.

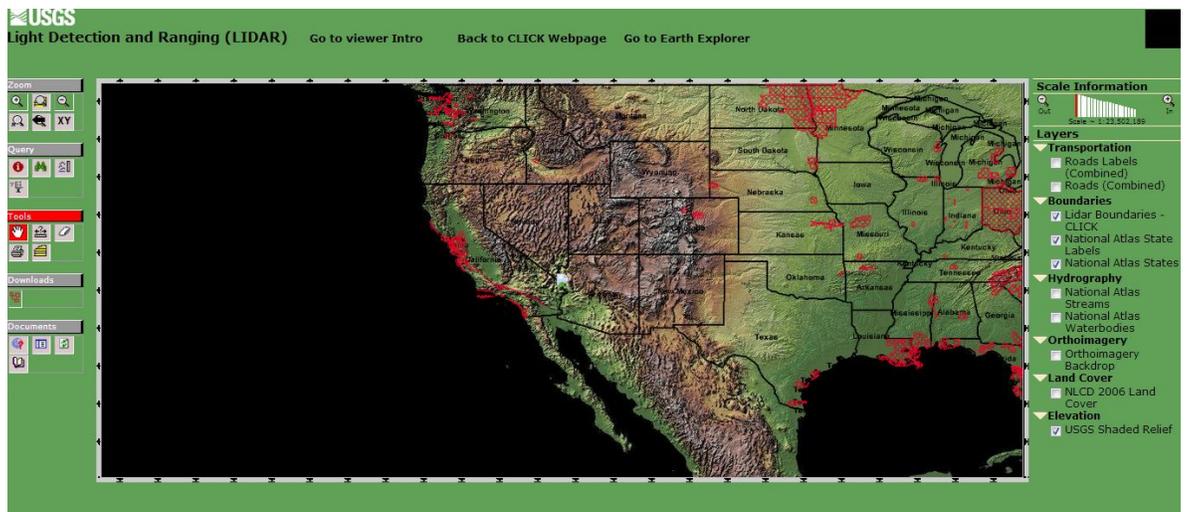


Figura 4. Interfaz de búsqueda y selección de datos LiDAR de USGS (Tomada de Center for LIDAR Information Coordination and Knowledge, 2012).

A diferencia de otras iniciativas, USGS LiDAR solamente busca hacer accesibles los datos a los usuarios, sin ofrecer herramientas para su procesamiento o visualización. De acuerdo con su objetivo original, esta era una de las principales necesidades al momento de su creación.

A.4 DIELMO LiDAR ONLINE

Al igual que el caso anterior, esta plataforma se concentra solamente en la selección y descarga de juegos de puntos, sin ofrecer servicio alguno de visualización, con la excepción de la superposición de los modelos de elevación representados como rampas de color sobre Google Maps (figura 5). Esto facilita la selección del área deseada, presentando al usuario una vista de las diferentes alturas en el relieve del terreno.

A pesar de que la herramienta de selección experimenta algunos errores, estos no impiden que se pueda seleccionar el área deseada y se realice su posterior descarga. Una de las probables razones por las que no se dé importancia a la implementación de herramientas de visualización sobre web en esta plataforma, es que la compañía DIELMO cuenta ya con diversas herramientas comerciales de escritorio que realizan estas tareas.

A pesar de que la herramienta de selección experimenta algunos errores, estos no impiden que se pueda seleccionar el área deseada y se realice su posterior descarga. Una de las probables razones por las que no se dé importancia a la implementación de herramientas de visualización sobre web en esta plataforma, es que la compañía DIELMO cuenta ya con diversas herramientas comerciales de escritorio que realizan estas tareas.

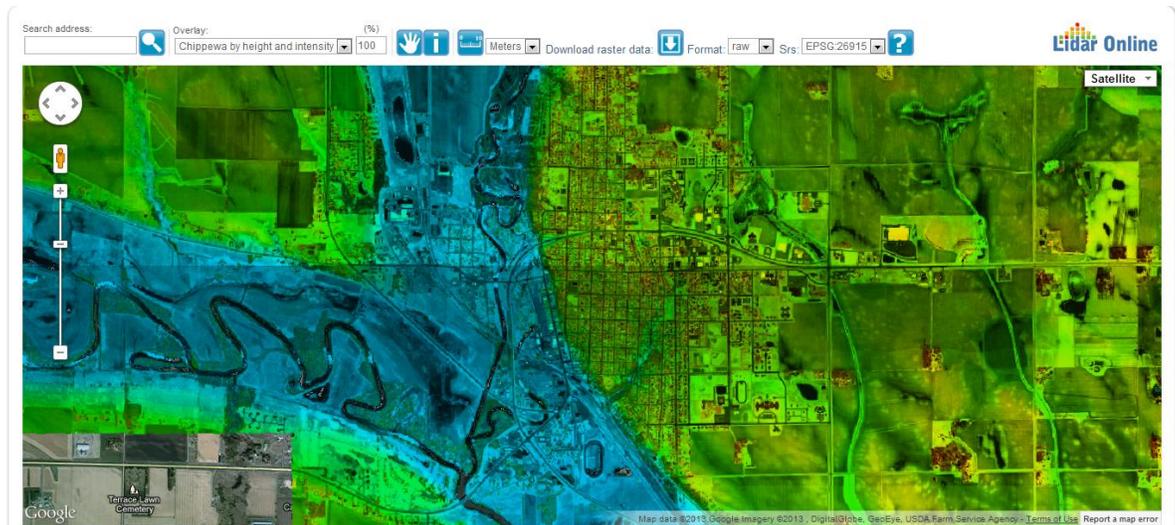


Figura 5. Interfaz de selección de datos de Dielmo Lidar Online (Tomada de DIELMO 3D S.L, 2012).

Otra desventaja de esta plataforma es la necesidad de buscar el cubrimiento que se requiere antes de visualizarlo. Esto tiene como consecuencia el poder visualizar un solo cubrimiento sobre la interfaz de mapas a la vez, requiriendo varios pasos cada vez que se desea realizar una consulta.