

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA**

INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA



PROYECTO FIN DE CARRERA

**Comparativa de aplicaciones informáticas
destinadas al procesamiento de datos obtenidos
con metodología LiDAR aerotransportado y
obtención de modelos digitales de elevación**

Alumnos:

Sabina Gómez Garre

M^a Dolores Parra Pedregosa

Tutores:

José Juan Arranz Justel

Andrés Díez Galilea

Noviembre 2013



En primer lugar, queremos agradecer a nuestros tutores, profesores José Juan Arranz y Andrés Díez por su inestimable ayuda en este proyecto.

En segundo lugar, queremos dar las gracias a nuestras familias y amigos por habernos aguantado tantos años. Os queremos.

A nuestra pequeña Sabina



ÍNDICE

1	ESTADO DEL ARTE	4
1.1	Alcance del Proyecto.....	5
1.2	Introducción de la tecnología LiDAR.....	5
1.3	Origen y evolución de los sistemas Airborne Laser Scanning (ALS) Y Airborne Laser Bathymetry (ALB)	6
1.3.1	Airborne Laser Scanning (ALS)	6
1.3.2	Airborne Laser Bathymetry (ALB).....	7
1.4	Características Técnicas.....	9
1.4.1	Airborne Laser Scanning (ALS)	9
1.4.1.1	Sensor Laser	10
1.4.1.2	Sistema de Navegación Inercial	11
1.4.1.3	Sistema de Posicionamiento Global	12
1.4.2	Airborne Laser Bathymetry (ALB).....	12
1.5	Comparación de los dos sistemas.....	16
1.6	Los Sensores en la Actualidad.....	17
1.6.1	Los Sensores Airborne Laser Scanning (ALS)	17
1.6.2	Los Sensores Airborne Laser Bathymetry (ALB).....	19
2	OBJETIVOS	22
2.1	Objetivos Generales.....	22
2.2	Objetivos Específicos	22
2.3	Necesidades de comparativa entre aplicaciones informáticas de tecnología “lidar”	22
3	METODOLOGÍA.....	24
3.1	Presentación de zona volada y características del vuelo con ambos sensores.....	24
3.2	Control de calidad.....	28
3.2.1	Consideraciones del vuelo.....	30
3.2.2	control de calidad altimétrico.....	31
3.2.2.1	Datos batimétricos:.....	31
3.2.2.2	Datos topográficos:.....	31
3.2.2.3	Datos en zonas mixtas:.....	32
3.2.3	Control de Calidad Planimétrico.....	37



3.2.4	Control de Integridad en la Información	37
3.2.5	Conclusiones y Recomendaciones	38
3.3	Justificación de la elección de distintas zonas a editar y presentación de cada una de ellas	39
3.3.1	Sistemas ALS.....	39
3.3.2	Sistemas ALB	40
3.4	Criterios a comparar	41
3.4.1	Costes.....	41
3.4.2	Herramientas de Visualización	45
3.4.3	Herramientas de Clasificación	49
3.4.3.1	Clasificación Geométrica	49
3.4.3.2	Clasificación por Intensidades.....	51
3.4.3.3	Combinada Geométrica-Intensidad	52
3.4.3.4	Combinada Geométrica-RGB.....	53
3.4.4	Extracción de la Información de la Nube de Puntos	54
3.4.5	Generación de MDT.....	57
3.4.6	Extracción Cartográfica	58
3.4.7	Compatibilidad con otros formatos	59
3.4.8	Facilidad de manejo o aprendizaje.....	61
3.4.9	Sistemas Operativos	62
3.4.10	Matriz de ponderación.....	65
3.5	Edición generada con las aplicaciones.....	66
3.5.1	FUSION.....	66
3.5.1.1	Edición ALS	67
3.5.1.2	Edición ALB.....	95
3.5.2	MDTopX.....	106
3.5.2.1	Edición ALS	107
3.5.2.2	Edición ALB.....	119
3.5.3	TerraScan	127
3.5.3.1	Edición ALS	129
3.5.3.2	Edición ALB.....	144
3.5.4	MARS	151
3.5.4.1	Edición ALS	151
3.5.4.2	Edición ALB.....	167
3.5.5	SCOP++	173
3.5.5.1	Edición ALS	175
4	CONCLUSION.....	184



ANEJO	186
BIBLIOGRAFÍA	188

1 ESTADO DEL ARTE

La aparición y desarrollo de sistemas *Light Detection and Ranging* (LIDAR) Aerotransportado, en sus diferentes versiones, tanto *Airborne Lidar Scanning* (ALS) como *Airborne Lidar Bathymetry* (ALB) ha supuesto la necesidad de procesar la gran cantidad de datos geoespaciales obtenidos con dichos sistemas. Es por ello que han ido apareciendo diferentes aplicaciones informáticas con dicho objetivo, el procesamiento de datos geoespaciales obtenidos con el LiDAR.

El propósito final de este proyecto es ver el comportamiento de algunas de las aplicaciones de mayor difusión. No todas las aplicaciones realizan las mismas funciones, ni muestran la misma información, ni poseen la misma velocidad de procesado o rapidez en el manejo de la información, entre otras diferencias, por lo que el objetivo del proyecto es realizar un estudio de comparación de las aplicaciones seleccionadas que nos servirá para poder elegir una u otra según las necesidades del trabajo a realizar.

Para que el estudio sea lo más objetivo posible se ha tenido en cuenta que los sensores tienen respuestas muy diferenciadas según el tipo de terreno, se han seleccionado zonas de marcada diferencia topográfica, para poder analizar cada una de las aplicaciones en este estudio.

Para poder llegar a establecer unos criterios comparativos de cada aplicación, primero habrá que analizar los fundamentos teóricos de la tecnología LiDAR. Por tanto se comenzará estudiando los fundamentos físicos, para, de esta manera, tener unos conocimientos básicos y poder entender cómo se obtienen los datos e identificar los posibles errores.

Los objetivos generales carácter académico de este trabajo son los siguientes:

- Aplicar los conocimientos adquiridos en las diferentes materias (durante la etapa formativa) de la titulación de Ingeniero Técnico en Topografía.
- Saber coordinar las técnicas y herramientas disponibles apropiadas en cada una de las fases del proyecto.
- Realizar un trabajo que pueda servir de referencia para personal docente, discente o profesional técnico.

Los objetivos generales de carácter técnico son los siguientes:

- Obtener unos los fundamentos básicos de los sistemas Airborne Lidar Scanning (ALS) y Airborne Lidar Bathymetry (ALB).

La consecución de los objetivos generales es posible a partir del planteamiento de los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar los fundamentos de los sistemas Airborne Lidar Scanning (ALS) y Airborne Lidar Bathymetry (ALB).
- Estudiar y conocer el funcionamiento de las distintas aplicaciones que se van a emplear.

- Analizar los diferentes procedimientos y comportamientos a aplicar para el diseño modelos digitales.

1.1 ALCANCE DEL PROYECTO

El trabajo que se ha realizado está enmarcado en el ámbito de actuación de la asignatura “Proyecto Fin de Carrera” de la titulación de Ingeniero Técnico en Topografía que se imparte en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía de la Universidad Politécnica de Madrid.

Este proyecto se presenta como la prueba final que debe superar el aspirante educando a obtener el título de **Ingeniero Técnico en Topografía**.

El contenido del Proyecto Fin de Carrera está desarrollado para profundizar en el conocimiento de las aplicaciones para el procesado de datos LiDAR, si bien, puede ser utilizado también como guía o consulta por el personal docente y técnico interesado, en el desarrollo o explicación de otros trabajos de comparación de herramientas relacionadas con la topografía.

Por último, se pretende con esta comparación que se pueda elegir con facilidad una u otra aplicación según las necesidades de los proyectos y las capacidades con las que se cuentan, teniendo en cuenta las limitaciones a la hora de disponer de todo lo necesario para su realización.

1.2 INTRODUCCIÓN DE LA TECNOLOGÍA LIDAR

La palabra LiDAR es el acrónimo de “*Light Detection And Ranging*”. Se trata de un potente sistema de recolección de datos que provee información geométrica de un determinado ámbito de estudio, útil para muchos usos como obtención de la superficie, de la vegetación, de los edificios, etc. Dispone de un sensor que utiliza un láser que contiene un transmisor y un receptor. El láser normalmente trabaja en una longitud de onda de 532 a 1550 nm. La precisión en la altura suele estar marcada entre 5 cm y 10 cm, según la mayoría de especificaciones, pero este valor puede ser mayor.

La utilización de LiDAR requiere conocer los requerimientos del proyecto en los que se desea emplear. Una de las primeras decisiones a tomar es el tipo de técnica para la captura de los datos (aérea, terrestre, etc.). Pero también se deben tener en cuenta las estaciones del año, en función de la aplicación (por ejemplo, por la presencia o ausencia de hojas en los árboles caducos), entre otros factores.

El LiDAR aéreo se emplea normalmente para grandes áreas. El sensor se coloca en un avión, que normalmente vuela a una altura entre 400 m y 2.500 m sobre la superficie. La precisión suele estar en este caso entre 9,25 cm y 18,5 cm verticalmente, y entre 20 cm y 1 m horizontalmente.

Disponer de los datos es el primer paso para poder sacarles provecho. Para la gestión de dichos datos, comenzamos extrayendo los datos en bruto del sistema. Este proceso normalmente se llama preprocesado, y consiste en validar los datos obtenidos en función de los resultados de la posición del GNSS/ INS de abordaje, y otros parámetros (como por ejemplo una estación de referencia...). Una vez realizado esto, se obtienen como output los archivos en formato LAS, que son el estándar para la mayoría de los sistemas LiDAR. Si el vuelo se contrata a una empresa, lo más habitual es que la misma ya ofrezca directamente los archivos LAS.

Las operaciones a realizar sobre los archivos LAS son las que se incluyen en el llamado posprocesado, y están dirigidas a convertirlas en formatos utilizables en ingeniería y en Sistemas de Información Geográfica. Si bien el procedimiento varía en función de las aplicaciones, su denominación es común (extracción de datos), y consiste en atribuir algunos valores a los puntos registrados (asignar una clasificación). Para ello, en aquellos sistemas que también toman fotos durante la recogida de datos, suele ser de mucha utilidad consultarlas en esta fase. La clasificación incluye categorías como base del terreno, vegetación, edificios y otros elementos. A partir de esta clasificación, se facilita mucho el trabajo con los Sistemas de Información Geoespacial, para obtener de esta forma productos avanzados como modelos digitales de superficies, modelos digitales del terreno, alturas de la vegetación, características del matorral, morfología de la red de drenaje, etc.

1.3 ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS AIRBORNE LASER SCANNING (ALS) Y AIRBORNE LASER BATHYMETRY (ALB)

1.3.1 AIRBORNE LASER SCANNING (ALS)

El primer láser óptico fue desarrollado en la década de los sesenta en EE.UU. Se realizaron mediciones láser a la Luna desde satélite, así como investigación atmosférica y oceanográfica. En esta década también se probó el primer láser aerotransportado, el ATM (*Airborne Topographic Mapper*) de la NASA, desarrollándose en la década de los setenta también para aplicaciones batimétricas, mediante el AOL (*Atmospheric Oceanographic LiDAR*). En estos años, esta tecnología estaba en desarrollo e investigación y los instrumentos eran demasiado costosos, además de la falta de disponibilidad de sistemas de posicionamiento GNSS/INS fiables (Arranz, 2013).

Con la aparición del GPS en los ochenta y la desclasificación de sistemas inerciales utilizados en el ámbito militar se pudieron utilizar escáneres (*Airborne Laser Scanning, ALS*) que montaban dispositivos GPS e INS. En 1996, sólo había una empresa que vendiera ALS y pocos proveedores de datos, pero tres años después ya había varios constructores y alrededor de cuarenta proveedores de datos. En esta década, un sensor LiDAR podía registrar entre 2000 y 25000 pulsos por segundo y proporcionaba una densa nube de puntos que no podía generarse desde la topografía o la fotogrametría clásica. En este momento, la comunidad geomática se interesa por estos dispositivos esperando incluso la extracción de entidades como edificios, carreteras o zonas boscosas.

La cobertura LiDAR es similar a la obtenida en fotogrametría pero tiene la capacidad de poder atravesar la cobertura vegetal para medir el suelo, donde los operadores de fotogrametría no pueden medir, generando datos con mayor densidad que en fotogrametría. Por tanto, el LiDAR se convirtió en una alternativa óptima por ser un método rápido, preciso y directo para obtener datos 3D.

Sin embargo, en esa época todavía existía una limitación en el tratamiento de los datos, tanto por la velocidad de los ordenadores como por la ausencia de software que procesara la información.

En este momento, los sensores registraban cincuenta mil puntos por segundo, los sistemas de posicionamiento GNSS/INS eran más precisos y se registraba el nivel de la intensidad. Además, empezaron a surgir aplicaciones de tratamiento y los ordenadores mejoraron en prestaciones y almacenamiento.

Actualmente, existen más de 200 sistemas LiDAR operando mundialmente. Los sistemas son capaces de registrar hasta medio millón de puntos por segundo, pudiendo enviar múltiples pulsos en el aire (MPiA) al mismo tiempo y procesando varios retornos del pulso para restituir la forma del objeto que reflejó. Además, incluyen cámaras ópticas de medio formato para añadir información complementaria en el espectro visible a cada punto medido.

Existen diferentes sensores con características propias que permiten ser utilizados en un rango de altitudes desde 80 m a 5000 m. Incluso existe un sensor LiDAR de alta potencia operado por la NASA que permite volar a diez metros y que se denomina LVIS (*Laser Vegetation Imaging Sensor*) destinado al estudio de la topografía, hidrología y vegetación (Arranz, 2013).

1.3.2 AIRBORNE LASER BATHYMETRY (ALB)

El uso de sistemas aerotransportados de pulso láser para medidas batimétricas deriva del intento, en los años sesenta, de emplear el láser para la detección de submarinos. El *Naval Air Development Centre* (NADC), financió numerosos estudios teóricos y modelos láser como apoyo al programa antisubmarino.

Al mismo tiempo, se llevaban a cabo experimentos en el *Scripps Institution of Oceanography*, en este caso, la naturaleza de las investigaciones también era de tipo militar, ya que buscaban un sistema que les proporcionase sondas (profundidades) para operaciones tácticas en territorios hostiles.

En 1969 Hickman y Hogg, del Centro de Investigación de la Universidad de Syracuse escribieron un artículo confirmando la capacidad del *Airborne Laser Bathymetry* (ALB) para detectar batimetrías cerca de la costa.

A principios de los años 70 la marina de los EEUU, la NASA, Canadá y Australia, probaron diversos sistemas ALB con éxito. Los primeros trabajos de la Unión Soviética, Suecia y Canadá fueron sistemas transportados en barcos. Más tarde, el ejército del aire de los EEUU

apoyó la creación de un sistema aerotransportado, puesto a prueba con éxito en lo alto de una torre en el Golfo de México. Se convocaron diversos congresos, copatrocinados por la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) y la NASA, para establecer las necesidades de los usuarios y los objetivos a conseguir de la segunda generación de los sistemas ALB. La primera prueba de campo de esta segunda generación se completó con éxito en 1977. Paralelamente se construyeron y comprobaron sistemas similares en Canadá y en la Unión Soviética. El sistema canadiense, mejorado con un escáner, también se probó en Suecia. Fue entonces cuando sus creadores empezaron a ser conscientes de que con esta tecnología se podrían realizar levantamientos hidrográficos en aguas someras con más rapidez y a un menor precio.

La década de los 80 comienza con el 4º Simposio de Láser Hidrográfico en Australia en el que se mostraron numerosos avances. A partir de entonces en Canadá se desarrolló el sistema LARSEN por la compañía Optech para el Servicio Hidrográfico Canadiense y el Centro de Teledetección de Canadá, para apoyar las campañas de realización de cartografías náuticas en el Ártico, aprovechando el deshielo del verano. También se realizaron otras campañas en los Grandes Lagos y en las costas de Canadá. De esta manera, se convirtió en el primer sistema ALB operativo en el mundo. En Australia se desarrolló el sistema WRELADS II, su versión operativa se denominó LADS, por encargo de la Marina Real Australiana. Se realizaron otros diseños y pruebas de sistemas ALB; la Marina de los EEUU (HALS), Suecia (FLASH), Unión Soviética y China. En 1988 el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EEUU (USACE) inició el programa SHOALS en colaboración con Optech.

En los años 90 LADS comenzó a estar operativo en Australia, SHOALS en EEUU y Hawk Eye en Suecia. LADS y LARSEN iban montados en avión y el SHOALS y el Hawk Eye en helicóptero. Al final de la década SHOALS incorporó el uso de sistemas GPS, se dobló el rango del pulso emitido y el sistema pasó a poder montarse en aviones. Al sistema LADS Mk II, construido por la empresa Tenix LADS, se le añadieron diversas mejoras, entre ellas nuevas funciones de navegación y un aumento en el ratio del pulso. A estas alturas los sistemas ALB ya demostraban ser precisos, rápidos, flexibles y significativamente más baratos que otros sistemas de medición montados en barcos para ciertos tipos de proyectos.

Ya se comenzaba a realizar trabajos con sistemas ALB contratados por gobiernos (Canadá, Australia, México, Nueva Zelanda, Noruega, Indonesia, etc.), empresas comerciales de gas y petróleo, empresas de ingeniería oceánica y agencias de los EEUU (NOAA, Geological Survey, Federal Management Agency, etc.).

Con la llegada del siglo XXI, se ha registrado un gran aumento de proyectos, desarrollo de nuevos sistemas, creación de planes para el futuro y el salto al campo comercial. El primer sistema operativo en el mundo, el LARSEN, fue retirado en el 2001 tras 16 años en funcionamiento. A mediados de la década Fugro Pelagos se convirtió en la primera empresa comercial en adquirir un sistema ALB, en concreto el SHOALS-100T.

1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

1.4.1 AIRBORNE LASER SCANNING (ALS)

Un sistema ALS consiste en un sensor láser instalado en una plataforma móvil que barre las superficies que se encuentran entre el sensor y el terreno, obteniendo una nube de puntos de coordenadas precisas. Sin embargo, el sistema descrito es más complejo y precisa de más componentes para poder llevar a cabo el proceso de registro.

Básicamente, se compone de un sensor láser, un sistema de navegación inercial (INS) y un sistema de posicionamiento global de navegación por satélite (GNSS). Todo esto está acompañado por un ordenador a bordo con software apropiado para la navegación y gestión del vuelo, con dispositivos de almacenamiento con capacidad para almacenar enormes cantidades de datos. Además, incluye un reloj muy preciso que permite sincronizar todos los sensores.

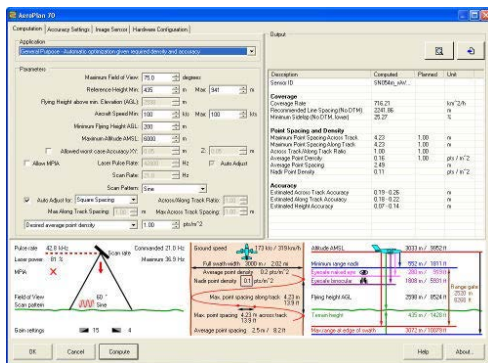


Figura 1: Software Leica FPES para el diseño del plan de vuelo.

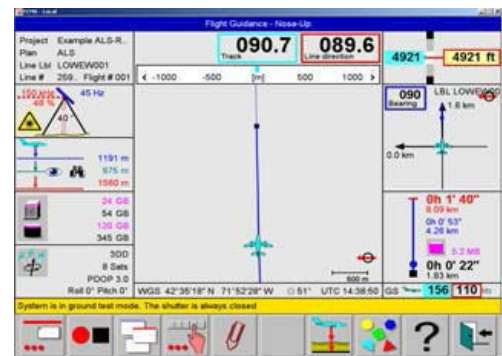


Figura 2: Software Leica FCMS para el control del sistema y pilotaje del avión

Opcionalmente, se pueden incorporar otros sensores pasados en peicuias (por ejemplo, Leica RC30) o, más habitualmente, óptico-electrónicos de área (por ejemplo, Intergraph DMC-II) o de línea (por ejemplo, Leica ADS80), como muestra la figura 4. Este último tipo de sensores habilitan la generación posterior de ortoimágenes de manera rápida, pues las imágenes son digitales. También se puede equipar con cámaras CCD estándar o de vídeo para documentación, por ejemplo, en aplicaciones de ingeniería civil (carreteras o ferrocarriles), conducciones o líneas eléctricas. Estas imágenes se geo-referenciarán junto con el resto de datos y su función primordial es ayudar en la identificación de objetos registrados por el sensor LiDAR. Además, esta información multispectral puede ser incorporada posteriormente a cada punto registrado.

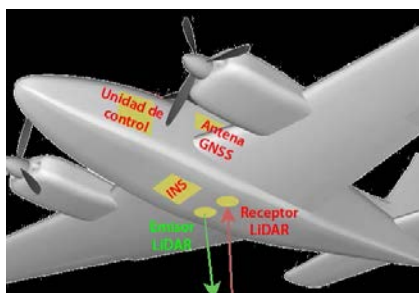


Figura 3: Distribución esquemática de los componentes en el interior del avión.



Figura 4: Sistema LiDAR Leica ALS60 con cámara digital Leica ADS80 (derecha).

Debido al excesivo coste de las cámaras de gran formato, existe la posibilidad de incorporar cámaras de medio formato, cuya precisión y tamaño de imagen se asemeja a la tomada con el sensor LiDAR. Esta opción es cada día más elegida ya que mejora la salida de los datos LiDAR, que radiométricamente son muy pobres. Además, si las cámaras son de medio formato se montan de manera solidaria con el sensor LiDAR y se calibran juntos, mejorando la integración.

1.4.1.1 *Sensor Laser*

El sensor láser mide las distancias desde su centro óptico al terreno y, casi siempre, el nivel de intensidad reflejado. Existe multitud de configuraciones del sensor, empezando por el modo de trabajo del láser empleado, que puede ser de tiempo de vuelo por pulso (TOF) que envía pulsos a intervalos regulares de tiempo o de onda continua (CW) que registran las diferencias de fase.

Actualmente, los sensores TOF son los más utilizados. La mayoría de los sensores CW se dan en equipos terrestres, aunque existió uno aéreo desarrollado por la Universidad de Stuttgart en 1997 denominado ScaLARS. No obstante, varios autores han tratado con detalle la medida de distancias con cada sensor, tanto de pulso (Baltsavias, 1999), como de onda continua (Wehr & Lohr, 1999).

Los elementos del sensor láser son el emisor y el receptor. El emisor contiene el láser, la óptica de salida de la señal y el monitor de salida. La óptica de salida de la señal consiste en un mecanismo de desvío del rayo láser (espejo, polígono, etc.) que genera una determinada distribución de puntos sobre el terreno. Diferentes montajes de los sensores de barrido láser. Por su parte, el monitor de salida registra el momento de salida de la señal que, en la mayoría de los sensores, coincide con el 90% de la potencia del pulso.

El sistema receptor consta de un telescopio, un analizador del espectro, un detector y una unidad procesadora de los datos. El telescopio recoge la señal reflejada que pasa al analizador del espectro donde se aíslan las longitudes de onda deseadas para enviárselas al detector. Esta señal filtrada es analizada por el procesador, determinando los retornos. Comparando el tiempo de los retornos con el tiempo de emisión, se puede determinar el tiempo que recorre la señal y, por tanto, la distancia al objeto observado.

Cada sistema registra de manera distinta los retornos. Algunos registran sólo el último pulso, otros los tres primeros y el último, otros sólo el primero y el último, y los más modernos guardan toda la forma del retorno (análisis full-waveform). El cociente de la potencia de pico recibida y la emitida es la reflexividad que es función de la superficie donde se ha reflejado el pulso.

Las dispersiones de energía en cada reflexión dificultan la identificación de cada pulso y, por tanto, el tiempo de llegada. El error de una medida depende de la capacidad de evaluar con precisión el tiempo de recepción/emisión y la relación de señal/ruido (SNR). Su desviación

típica es relación inversa del SNR y los valores oscilan normalmente entre 1 cm y 2.25 cm (Baltsavias, 1999).

Por último, habría que considerar la refracción atmosférica, la cual modifica la trayectoria del rayo afectando a la distancia medida. Se puede estimar el coeficiente de refracción en función de la altura de vuelo. Por ejemplo, para un vuelo a 1000 m de altura, la desviación angular del haz láser traducida al terreno es de 10.2 mm, valor poco significativo comparado con otros errores en la posición del punto láser, por lo que puede considerarse despreciable (Walker Morin, 2002).

1.4.1.2 *Sistema de Navegación Inercial*

El sensor láser mide la distancia y la orientación (plano de barrido perpendicular a la dirección de vuelo) de un punto respecto de su propio origen y sistema de referencia. Sin embargo, el sensor está cambiando su dirección de vuelo y actitud debido al movimiento del avión, por lo que para conocer la posición de cada punto en un sistema de referencia único, se necesita un sistema que proporcione estos valores en todo momento (plataforma aerotransportada), pues la medición de puntos es continua. Este sistema deberá proporcionar los parámetros de posición y actitud, puesto que el avión se traslada pero también gira. Además, para no perder calidad en las coordenadas del punto medido, se necesita una precisión en estos parámetros de forma similar o mejor que la del escáner láser. Para ello, es necesario utilizar un Sistema de posición y orientación dinámico (POS), consistente en un Sistema de Navegación Inercial (INS) y un receptor GNSS.

El sistema INS permitirá conocer los ángulos de inclinación respecto de un sistema cartesiano con origen en la antena GNSS. Este sistema está compuesto por la unidad de medida inercial (IMU) y el procesador de la navegación y determina los tres movimientos principales: alabeo, cabeceo, y giñada (ω , ϕ , κ). Los tres sistemas de medida (sensor láser, INS y GNSS) son solidarios y deberán estar perfectamente sincronizados. Además, deberán haber sido calibrados previamente para conocer perfectamente las posibles excentricidades y posiciones relativas entre ellos.

Por tanto, el IMU es un componente del INS y es el dispositivo encargado de medir la velocidad y orientación utilizando acelerómetros, giróscopos y, a veces, magnetómetros. Normalmente, incluyen tres elementos de cada uno de ellos, dispuestos en direcciones perpendiculares. Suelen trabajar de manera conjunta con una antena GNSS, permitiendo calcular la posición del vehículo que los transporta (avión, automóvil o barco) cuando éste pierde la señal. Los acelerómetros detectarán un cambio en la aceleración del vehículo y los giróscopos detectarán un cambio en el movimiento de rotación, es decir, en los ángulos. Si el IMU incluye magnetómetros, le permitirán obtener mejores medidas en el cálculo de la orientación dinámica respecto de un sistema de referencia.

Al ser cambios (valores relativos) lo que detecta, el principal problema de los IMU es la acumulación de errores que tienen, ya que el sistema va añadiendo los pequeños cambios detectados respecto de posiciones previas, acumulando pequeños errores de una posición a

otra, lo que lleva a una deriva del sistema. Esta deriva crece con el tiempo y puede alcanzar valores de 0.5° por hora. Por ello, es necesario calibrar el sistema periódicamente.

El mejor emplazamiento del IMU es el más cercano posible al sensor láser. Disminuir la distancia entre el origen de la unidad inercial y el sensor láser mejora la calibración del sistema, que consistirá en aplicar determinadas correcciones para alinear los ejes de los distintos elementos. La frecuencia de estos sistemas oscila entre 128 y 500 Hz, siendo más frecuentes valores cercanos a 200 Hz. Los valores típicos de precisión en la medida de los ángulos son de 0.007° para el cabeceo y 0.003° para el alabeo y el giro. En el apartado 9.2.B.5. Sistemas inerciales, se explican brevemente detalles técnicos de los diferentes tipos de IMU, así como de algunos modelos comerciales.

1.4.1.3 *Sistema de Posicionamiento Global*

El objetivo de este sistema es determinar la posición de la plataforma. Para alcanzar las máximas precisiones en el avión se sitúa un receptor GNSS de doble frecuencia, mientras que en tierra se establece una red que realiza una observación simultánea con el receptor móvil. Por tanto, se debería trabajar en modo diferencial, aunque no existen reglas fijas para situar el receptor de referencia en tierra. A menudo, las distancias entre el receptor de tierra y el avión se encuentran entre 10 km y 50 km, dependiendo obviamente de la topografía del terreno y las posibles perturbaciones GNSS que puedan existir.

La frecuencia del sistema varía entre 1 Hz (1 punto cada segundo) y 10 Hz, muy inferior a la del láser (miles de puntos por segundo). A una velocidad de 70 m/s, se tendrían los parámetros de orientación externa de un punto cada 70 m. Los sistemas disponibles trabajan en tiempo real RTK y/o en post-proceso (DGPS). Debido a que debe haber comunicación constante entre la antena del avión y el receptor en tierra, trabajar en RTK no siempre es posible, sobre todo en áreas extensas debido a la orografía del terreno y a las limitaciones de distancia que tienen las correcciones enviadas al receptor móvil. Las precisiones pueden llegar a $20 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$ en RTK y a $6 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ ppm}$ en DGPS para altimetría y a $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$ en RTK y a $3 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ ppm}$ en DGPS para planimetría. Evidentemente, estos modos de trabajo no están libres de efectos cinemáticos, troposféricos o de multi-camino, por lo que, para evitar posibles fallos en la resolución de ambigüedades, se recomienda utilizar más de una estación en tierra, que las líneas base sean inferiores a 20 km, que haya más de cinco satélites y que el GDOP sea inferior a tres (Arranz, 2013).

1.4.2 AIRBORNE LASER BATHYMETRY (ALB)

La diferencia que encontramos en el ALB es el sensor, todo lo demás (GNSS/ INS) expuesto anteriormente es igual, por lo que nos vamos a centrar en el sensor y sus características.

El componente principal de un sistema LiDAR Batimétrico es un láser infrarrojo Nd:YAG (*Neodymium-Doped Yttrium Aluminum Garnet*). Este rayo láser tiene una longitud de onda de 1064 nm, que corresponde a la región del espectro del Infrarrojo Cercano (IC). Doblando su frecuencia se consigue una señal laser adicional con una longitud de onda que es igual a la mitad de la anterior, 532 nm (Aunque corresponda a la región del espectro conocida como azul-verde, es común referirse a él como “laser verde”). Esta longitud de onda es la más apropiada para este fin, por ser la que tiene mayor capacidad de penetración en el agua, atravesándola hasta llegar al fondo.

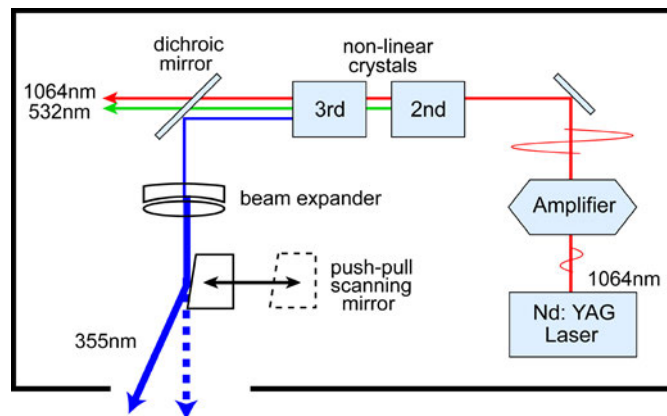


Figura 5: Esquema simplificado del funcionamiento interno de un sensor ALB.

Las medidas de la profundidad se basan en la diferencia de tiempos de llegada de las reflexiones de la señal laser entre la superficie y el fondo.

La situación geométrica ideal para el funcionamiento de los sistemas ALB, es que una pequeña porción de la señal láser se refleje en la superficie del agua, y todo lo demás se refracte a través de ella, atravesando la columna de agua subyacente para reflejarse de nuevo, pero esta vez en el fondo, a partir de aquí el rayo iniciaría el camino de vuelta siguiendo el mismo recorrido, atravesando nuevamente la superficie hasta llegar al receptor.

Sin embargo la realidad es mucho más compleja debido a las interacciones físicas del rayo con el medio (principalmente superficie, columna de agua y fondo).

Cuando el láser incide sobre la superficie, la cantidad de luz (correspondiente al rayo verde) reflejada por la superficie es de, aproximadamente, un 2% del total. Este 2% puede variar ligeramente en función de factores tales como el ángulo nadiral de la señal y la velocidad del viento, pudiendo incluso llegar al límite de que la cantidad de señal reflejada por la superficie que llega al receptor sea nula. En este caso la medida de la profundidad no sería viable, porque no tendríamos de un origen para poder calcular la distancia entre la

superficie y el fondo. En definitiva, la amplitud del pulso del rayo verde es demasiado grande para poder obtener de manera adecuada el límite entre el aire y el agua.

Este es el motivo por el cual no es suficiente solo con el rayo verde, por lo que se hace necesaria la emisión simultánea de un rayo infrarrojo cercano (IC) y otro verde. Las respuestas de ambos rayos llegarán a receptores independientes y utilizaremos el primero para detección de la superficie, y el segundo para el fondo, quedando así resuelta la ambigüedad del origen.

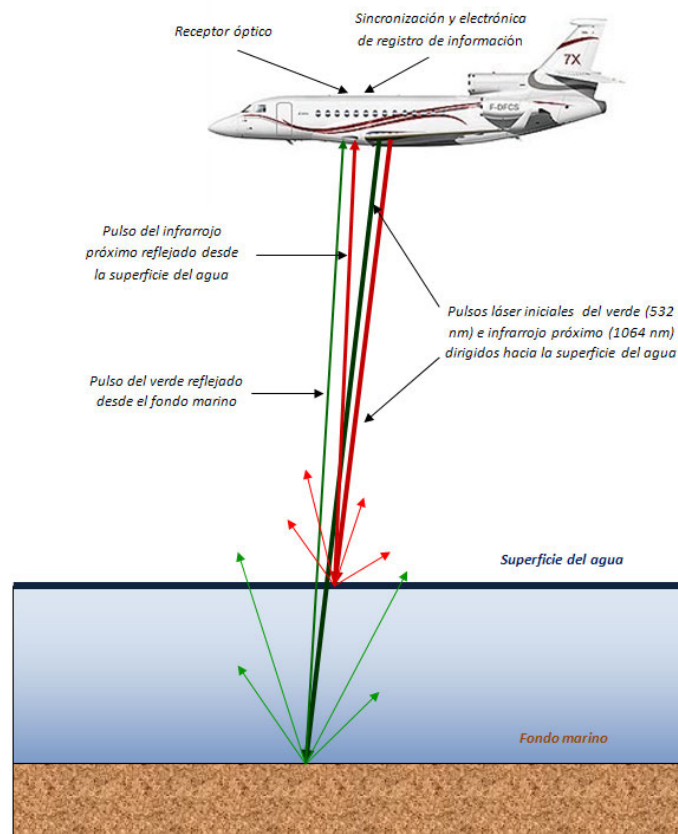


Figura 6. Funcionamiento de un sistema ALB montado sobre un avión.

Los sistemas ALB deben estar diseñados cumpliendo una serie de requisitos, que podemos dividir en dos grandes campos.

Requisitos generales. El diseño del sistema debe reunir una serie de características de manera que cumpla los objetivos para los que ha sido concebido. Es decir, debe ser capaz de proporcionar información sobre los fondos en aguas someras (hasta 50 m).

Requisitos de efectividad-coste. El diseño final del sistema debe ser económicamente viable en función de los trabajos que es capaz de realizar.

De todos los requisitos que vamos a estudiar, hay uno que indudablemente prima sobre los demás, que es la capacidad del sistema para levantar un área determinada con la precisión exigida para el fin que se persigue.

La precisión en las medidas de la profundidad es función de los requisitos generales del sistema, por lo que se procederá a su estudio.

Un sistema ALB (Guenther y Thomas, 1983; Guenther, 1985; Guenther, 1989; Estep, 1993) consta de dos transmisores de pulso láser: infrarrojo próximo (1064 nm) y de verde-azul (532 nm), un espejo de barrido, un telescopio receptor, un filtro óptico de banda estrecha para suprimir la luz de día del fondo, un tubo detector fotomultiplicador (PMT), un sistema de restricción de la señal, un digitalizador de ondas o un procesador de señal en tiempo real para determinar la profundidad y un ordenador para el control del sistema.

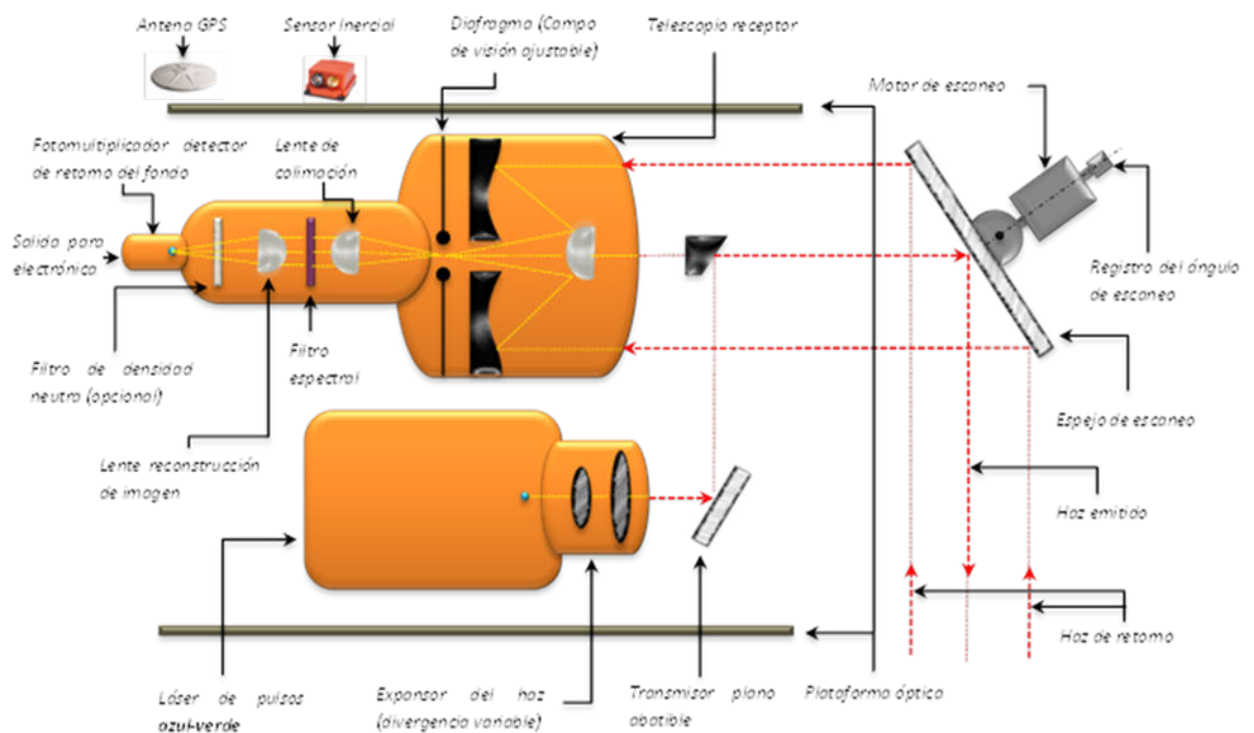


Figura 7. Esquema interno de un sensor ALB (Díez, 2013)

El área de medida consiste de una amplia franja bajo la aeronave de la que se toma una muestra discreta de puntos como resultado del escaneado de haz de pulsos, de acuerdo a un patrón fijo.

1.5 COMPARACIÓN DE LOS DOS SISTEMAS

A continuación mostramos un cuadro comparativo con respecto a los sistemas ALB

Categoría	ALS (ALS60, Leica)	ALB (Hawk Eye II)
Especificaciones del hardware	Mayor frecuencia Ratio del pulso <100 khz Menor energía del láser	Menor frecuencia Ratio del pulso <1 khz Mayor energía del laser
Altura de vuelo	800 - 2200 m	350 - 600 m
Precisión vertical	15 cm	50 cm batimétrico 1m topográfico
Precisión horizontal	1/3000 por altitud (aprox 60 cm)	5 m
Datum vertical	Alturas GPS Se utiliza modelo del geoide en cálculos	Sin modelo del geoide Mareógrafos locales
Resolución	1 - 2 m	2 - 5 m
Huella	0.25 - 1 m	2 - 3 m
Ancho de pasada	800 - 2000 m Variable con la altitud	50 - 300 m Independiente de la altitud

La energía del láser requerida para las medidas batimétricas es significativamente más alta que la requerida para medidas topográficas resultando menores medidas por segundo y una repetición del pulso más lenta.

En levantamientos batimétricos la altura de vuelo es normalmente más baja, pero debido al diseño del sistema esta tiene un impacto mínimo en la precisión, tamaño de huella del láser y del ancho de cada pasada, sin embargo en el LiDAR topográfico la altura de vuelo influye en todos estos factores.

Los sistemas ALS están diseñados para alcanzar una mayor precisión en la medición de alturas del terreno con una precisión vertical de ± 15 cm mientras que los sistemas ALB tienen una precisión de ± 1 m.

El LiDAR batimétrico está diseñado con una huella mayor para detectar el rasgo más alto dentro de la huella, por lo que en la zona de solape con el topográfico puede dar una altura mayor del terreno en ciertos puntos.

1.6 LOS SENSORES EN LA ACTUALIDAD

1.6.1 LOS SENSORES AIRBORNE LASER SCANNING (ALS)

Los sistemas *Airborne Laser Scanning* (ALS) son aquellos conocidos como LiDAR topográfico. Estos sistemas sólo utilizan un rayo infrarrojo, por lo que sólo obtienen información del terreno.

ALS60 (Airborne Laser Scanner)

ALS60, desarrollado por la casa Leica, es un sistema compacto basado en láser diseñado para la adquisición de datos topográficos y de intensidad de la señal de retorno a partir de una variedad de plataformas aerotransportadas. Los datos se calculan utilizando el alcance y mediciones de la intensidad de la señal de retorno registrada en vuelo, junto con datos de posición y actitud derivados de GNSS en el aire y subsistemas inerciales. El ALS60 se encuentra en la categoría de instrumentos aéreos conocido como LiDAR (*Light Detection and Ranging*).

El ALS60 es un sistema de cartografía LiDAR aerotransportado llave en mano. El usuario puede suministrar una estación de medición de calidad de doble frecuencia GNSS base y el equipo de post-procesamiento (un PC de gama alta). El sistema ALS60 incluye todo el software de post-procesamiento necesario para proporcionar latitud / longitud / altura / intensidad de salida, y este software está diseñado para procesar la salida para una amplia variedad de series ALS40, ALS60, ALS60 con configuraciones Mapper Corredor ALS.

Mediante la medición de la posición (latitud, longitud y altitud) y la actitud (balanceo, cabeceo y giñada) de la aeronave, la distancia al suelo y ángulo de barrido (con respecto a la base del cuerpo del escáner), se puede determinar la posición del punto para cada pulso láser que incide en el terreno.

Este sensor fue el utilizado en nuestro vuelo.

Leica ALS70

Último modelo de la casa suiza que actualiza sus anteriores modelos: ALS40, ALS50 y ALS60. El sistema incorpora el escáner láser (LS70-LP) con tres posibles patrones de muestreo, sistema GNSS con soporte para GPS y GLONASS, sistema inercial propio (IPAS20), una cámara digital (1280 x 1024 píxeles) y controladores y software para el manejo de todo el equipo en vuelo y en post-proceso. Además, tiene la opción de incorporarle el módulo WDM65 para el registro "full-waveform" a 120 kHz. Puede alcanzar una frecuencia de barrido de 200 Hz (200 líneas por segundo). Emite pulsos láser a una frecuencia máxima de 500 kHz.

En esta familia de productos, Leica ofrece un producto para el registro de ciudades y franjas de terreno (ALS70-CM), uno para cartografía de propósito general (ALS70-HP) y uno para vuelos de grandes alturas (ALS70-HA). El Leica ALS70 utiliza un espejo oscilante en dos direcciones, presentándose los datos en forma sinusoidal. (Leica, 2013).

Optech ALTM Pegasus HD500

El modelo Pegasus es el último y más potente sensor de la familia ALTM que esta compañía canadiense ofrece. Existen otras opciones para alturas de vuelo (hasta 50 m y precisiones de 3 cm) y tamaños de proyectos menores como son los modelos Orion H, Orion M y Orion C. Estos modelos son más ligeros por lo que pueden equiparse en helicópteros. También ofrecen el modelo Gemini que permite volar con un mayor rango de alturas (150-4000 m) pero con frecuencias de barrido menores. Tanto el modelo Gemini como el Pegasus, llevan incorporada la tecnología CMP (Continuos MultiPulse) que permite emitir y recibir el doble de pulsos, tal y como se explica en el apartado A.7. Además, Pegasus tiene incorporada una cámara digital de 5 megapíxeles y tiene la posibilidad de montar una cámara digital de 60 megapíxeles. También tiene la opción de equiparse con un digitalizador “full-waveform”. Al igual que Leica, los LiDAR de Optech utilizan un espejo oscilante en dos direcciones, pero los datos se presentan en forma de zigzag (Optech, 2013).

Riegl LMS-Q780

Esta compañía austríaca construye y monta sus propios escáneres, pero también equipa a otras compañías de instrumentos geomáticos, por ejemplo, Trimble, IGI, iMAR, Tuck Mapping o LSI. De hecho, este sensor no lleva incorporado GNSS/INS. En octubre de 2012, Riegl ha presentado su nuevo modelo LMS-Q780 para vuelos a gran altura (entre 2000 y 3000 m), cuya potencia le permite medir 266 mil puntos por segundo a una altura de dos mil metros. Posee un sistema para procesar MTA (Multi-Time-Around), ya equipado en modelos anteriores, que le permite utilizar hasta ocho pulsos simultáneamente. Puede registrar a 400 kHz e infinitos ecos para “full-waveform”. Utiliza un espejo de polígono rotante unidireccional de cuatro caras, por lo que el patrón generado son líneas paralelas (Riegl, 2013).

Como alternativa al modelo anterior, Riegl tiene el modelo VQ-580 para vuelos a media altura (entre 500 y 1500 m). Al igual que su hermano, tiene el mismo sistema de desvío del haz láser por lo que genera el mismo patrón de puntos. También posee un sistema para procesar MTA. Por sus características, está destinado a la instalación sobre helicópteros o UAV (Riegl, 2013).

Fugro FLI-MAP

Fugro es una compañía holandesa que en 1992 empezó a desarrollar su propio sensor láser. Actualmente, tiene un sistema montado sobre helicóptero y, al mismo tiempo, da servicio en proyectos para registro LiDAR.

El sistema que monta se denomina FLI-MAP y va equipado con dos receptores GNSS de Trimble y un sistema inercial Applanix. Lleva equipadas una cámara digital de 16 megapíxeles y dos cámaras de video. Además, lleva una cámara RGB de línea rígidamente acoplada al sensor láser para dotar de radiometría a los puntos registrados. Tiene posibilidad de registro mediante múltiples pulsos y utiliza espejo de polígono rotante, por lo que el patrón de salida está formado por líneas paralelas (Fugro, 2013).

1.6.2 LOS SENSORES AIRBORNE LASER BATHYMETRY (ALB)

LADS MKII

En 1971 la institución *Hydrographer of the Royal Australian Navy* (RAN) analizó la necesidad de uso de sistemas LiDAR para mejorar la información costera de Australia. Se crearon dos prototipos: WRELADS I (1975) y WRELADSII (1986).

En 1989 se contrata a BHP Engineering y a Vision Systems, para la mejora del sistema WRELADSII, obteniendo el sistema LADS. La RAN utilizó el sistema LADS para solventar el retraso en la cartografía náutica de las costas australianas.

El sistema LADS MKII es una versión mejorada del sistema LADS. Construido por *Vision System's LADS Corporation*, que en la actualidad pertenece a *Tenix Defence Systems*. Este sistema lleva operativo desde el 1998.

Se monta el equipo en un avión de considerable tamaño, capaz de volar grandes distancias, una velocidad de hasta 250 nudos y a altitudes de hasta 25000 pies, pudiendo llegar a volar durante 8 horas y 2000 millas náuticas. Aunque los trabajos de levantamiento se llevan a cabo a altitudes de entre 400 m y 700m, a velocidades comprendidas entre los 140 y los 210 nudos.

El diseño es básicamente el mismo que el sistema LADS, pero mejorado el láser, el ordenador y el sistema de navegación para así conseguir una mayor densidad de puntos, mayores profundidades y un incremento en la productividad.

La precisión de la profundidad se ha mejorado para alcanzar los requisitos del orden 1 según los estándares de la Organización Hidrográfica Internacional. Puede llegar a medir profundidades de hasta 70 m operando en aguas extremadamente claras, con una densidad de puntos de entre 2x2 m y 6x6 m.

SHOALS-3000 (Scanning Hydrographic Operational Airborne LiDAR Survey)

Los sistemas SHOALS son construidos y mantenidos por la empresa canadiense Optech. En 1994 empezó a operar el SHOALS-200, apareciendo una nueva versión del mismo, el SHOALS-400, en 1998, con doble ratio de pulso e implementación de sistemas GPS.

Después crearon el SHOALS-1000, cuyo objetivo era construir un dispositivo más compacto, de menor peso y más portátil, cuyo tamaño y requerimientos de energía hicieran posible su uso en los mismos aviones que se utilizaban para vuelos fotogramétricos, para poderlo integrar con otros sensores. También se mejoró el software, reduciendo de esta manera el trabajo de edición manual y mejorando la visualización y la rapidez.

El sistema más moderno en la actualidad es el SHOALS-3000. Se puede utilizar tanto en avión como en helicóptero y sus características principales son las siguientes:

Precisión vertical (profundidad): 25 cm.

Precisión horizontal: 2.5 m.

Máxima penetración: 50 m.

Densidad de sondas: desde 5x5 m hasta 2x2 m.

Optech CZMIL

El modelo CZMIL es el más importante y ha visto la luz en el año 2012 con ayuda del gobierno de EE.UU. Es la actualización del anterior modelo, SHOALS (*Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey System*). Ofrece de manera simultánea imágenes e información 3D de la costa y de zonas sumergidas poco profundas y turbias, hasta 50 m de profundidad. De hecho, combina un LiDAR batimétrico con una cámara óptica digital de 16 megapíxeles y un sistema de imágenes multiespectral. Para gestionar y fusionar la información de los tres sensores, Optech ofrece el software HydroFusion (Optech, 2013).

Características técnicas:

Precisión en la medida de la profundidad: $[0.3^2 + (0.013 \times \text{profundidad})^2]^{1/2}$ m.

Precisión horizontal del fondo acuático: $(3.5 + 0.05 \times \text{profundidad})$ m.

Máxima profundidad: Hasta 3 veces la profundidad de Secchi.

CHARTS (Compact Hydrographic Airborne Rapid Total Survey)

El sistema CHARTS es fruto del programa de la Naval Oceanographic Office de los EEUU. Es técnicamente un SHOALS-3000TH que consta de un sistema SHOALS-3000, una cámara hiperspectral CASI-1500 y una cámara digital DT-4000. Los sensores SHOALS y CASI, aunque ocupan la misma plataforma, requieren controladores distintos.

CHARTS es controlado y gestionado por la *Joint Airborne Lidar Bathymetry Technical Center of eXpertise (JALBTCX)*. La cámara toma imágenes cada segundo con una resolución cercana a los 20 cm el píxel. El sensor CASI-150 tiene una resolución espacial y espectral de 0.25 m a 1.5 m y 288 bandas respectivamente.

Hawk Eye II

A mediados de los años 80 la *Swedish Defense Research Establishment (FOA)* trabajó con la empresa Optech para desarrollar el sistema FLASH para evaluar la capacidad y utilidad de las tecnologías ALB para la detección de objetos. El éxito de este programa, llevó a desarrollar dos sistemas Hawk Eye, idénticos derivados de SHOALS, a principio de los años 90. Fue un trabajo conjunto de Saab Instruments AB y Optech. Estos sistemas ya no están en uso.

Este sistema se probó por primera vez en 2005, y fue entregado de manera oficial a la ACSAB a principios del 2006 e incorpora una tecnología muy mejorada respecto a sus precursores. Se describen a continuación sus características técnicas.

Precisión vertical: 25 cm

Precisión horizontal: 2.5 m

Densidad de puntos: desde 1.7x1.7 hasta 3x3 m.

Máxima penetración: 70 m.

Este fue el sensor utilizado en nuestro proyecto.

EAARL (*Experimental Advanced Airborne Research LiDAR*)

El sistema EAARL fue desarrollado por la NASA y tiene la capacidad de realizar levantamientos de alta resolución de zonas poco profundas para cartografiar playas arenosas, obtención de batimetrías de aguas someras, arrecifes de coral y ecosistemas bentónicos costeros.

EAARL ha estado operativo desde el 2001 cuando se realizó un levantamiento de arrecifes de coral en Florida. Este sistema se ha utilizado de manera habitual por la USGS y la USACE para la evaluación de daños tras huracanes. Representa un diseño único dentro de los sistemas ALB. Hay dos características principales que lo diferencian del resto de sistemas:

Utiliza un pulso laser verde corto y de poca energía con un FOV muy estrecho.

Produce huellas de 20 cm con una densidad de puntos de 2 m a una altitud de 300 m.

Un pulso tan corto aumenta la precisión en la medida de la profundidad y mejora la resolución espectral, mientras que un FOV tan estrecho ayuda a mejorar la resolución espacial del sistema batimétrico, al evitar la distorsión producida por la luz ambiente y la luz que ha sufrido dispersión debido a la columna de agua. Por otro lado, también provoca que la intensidad del retorno del fondo se debilite rápidamente, disminuyendo así la profundidad que se puede detectar. En condiciones ideales de aguas muy claras puede alcanzar hasta los 25 m. Puede alcanzar una precisión de 2 cm a 5 cm.

Es decir, es un sistema especialmente concebido para aguas más someras de lo normal en este tipo de sensores, por lo que aunque esto haga que el rango de funcionamiento en cuanto a máxima penetración se vea reducido, consigue aumentar la precisión si el objetivo es levantar la parte más cercana a la costa.

El sensor EAARL, de la misma forma que sus homólogos, también incluye una cámara digital de 80 cm de resolución y una cámara multiespectral de 3 bandas color/infrarrojo.

2 OBJETIVOS

Una vez que ya hemos realizado una pequeña introducción a la tecnología LiDAR tenemos que definir unos objetivos así como establecer la necesidad de una comparativa entre distintas aplicaciones informáticas que se emplean en la tecnología “LiDAR”

2.1 OBJETIVOS GENERALES

En este punto definimos, a grandes rasgos, en que va a consistir este proyecto y los objetivos que se quieren alcanzar.

- Obtención de datos geospaciales de unas zonas para su posterior procesado.
- Realizar un control de calidad general para comprobar que los datos son aptos para nuestro trabajo.
- Elegir las aplicaciones informáticas y establecer unos criterios de comparación.

Para después poder realizar la comparativa de las aplicaciones informáticas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

La consecución de los objetivos generales es posible a partir del planteamiento de los siguientes objetivos específicos:

- Presentar el vuelo de una zona y las características de este.
- Realizar un control de calidad específico en altimetría y planimetría.
- Justificar la elección de distintas zonas a editar.
- Definir los criterios que se van a comparar.
- Edición generada con las aplicaciones que se han elegido, las cuales son: *FUSION*, *MDTopX*, *TerraScan*, *MARS* y *SCOP*.
- Y por último realizar una comparativa entre las aplicaciones según los criterios elegidos.

2.3 NECESIDADES DE COMPARATIVA ENTRE APLICACIONES INFORMÁTICAS DE TECNOLOGÍA “LIDAR”

En los últimos años la tecnología LiDAR ha incrementado su presencia en el mundo de la cartografía, topografía, hidrografía y demás áreas, tanto es así que han surgido diferentes aplicaciones que nos permiten trabajar con los datos obtenidos mediante LiDAR de diferentes formas, dependiendo cada una de ellas de la finalidad perseguida. Por tanto, se plantea como



objetivo de este proyecto fin de carrera establecer un estudio de las principales aplicaciones que se utilizan para poder establecer cuáles son las ventajas y desventajas de cada aplicación según el proyecto que se realice.

Pretendemos con ello ayudar en la selección de la aplicación necesaria para la realización de un proyecto, esta decisión dependerá de criterios tales como, costes, finalidad del proyecto o producto, tiempos, etc.

Por ello, otro objetivo del proyecto es establecer un criterio para la selección óptima de la aplicación que permita a los usuarios elegir la correcta aplicación para su proyecto y evitar así casos en los que el coste de la aplicación a utilizar sea muy elevado, ya que consta de herramientas muy específicas y no sean necesarias para la realización del proyecto o el caso contrario, la elección de una aplicación que no tenga las herramientas necesarias para la elaboración del proyecto y resultado final.

No pretendemos con ello generar una ayuda de usuario de cada aplicación sino una guía en la cual, teniendo en cuenta unos pocos criterios, sea fácil para el usuario la elección de la aplicación idónea para realizar su proyecto.

Por ello hemos tenido en cuenta diferentes zonas de estudio (urbanas, rurales, con diferentes vegetaciones...) y también diferentes sensores (ALS, ALB), así podemos mostrar un abanico más amplio de posibilidades donde elegir.

3 METODOLOGÍA

La metodología que se va a emplear es de forma esquemática y sencilla la siguiente: Se elige el vuelo una zona describiendo la zona y las características de dicho vuelo, realizamos un control de calidad de los datos proporcionados para comprobar que cumplen con los requisitos necesarios para nuestro proyecto, elección y presentación de las zonas seleccionadas para el estudio y por último editamos las distintas zona con las diferentes aplicaciones informáticas.

3.1 PRESENTACIÓN DE ZONA VOLADA Y CARACTERÍSTICAS DEL VUELO CON AMBOS SENSORES

La laguna de Ría Formosa, ubicada en Algarve, en Portugal meridional, es un sistema de islas de barrera que comunica con el mar a través de seis ensenadas. Cinco de estas ensenadas son naturales y tienen características móviles. La sexta es una ensenada artificial que fue abierta con el propósito de permitir un acceso más fácil al puerto de Faro.

Dentro del sistema de Ría Formosa se han encontrado usos diferentes y a veces antagónicos. Parte del sistema es un parque natural, pero Ría Formosa también tiene un papel importante en la economía de la región. Más allá del uso turístico el sistema también apoya otras actividades económicas como granjas de mariscos (incluyendo la cosecha de almeja fina) y el puerto de Faro.

La Ría Formosa es también un parque natural de más de 170 km² (figura 8) y un lugar de parada para cientos de especies diferentes de aves en los períodos de migración de la primavera y el otoño.

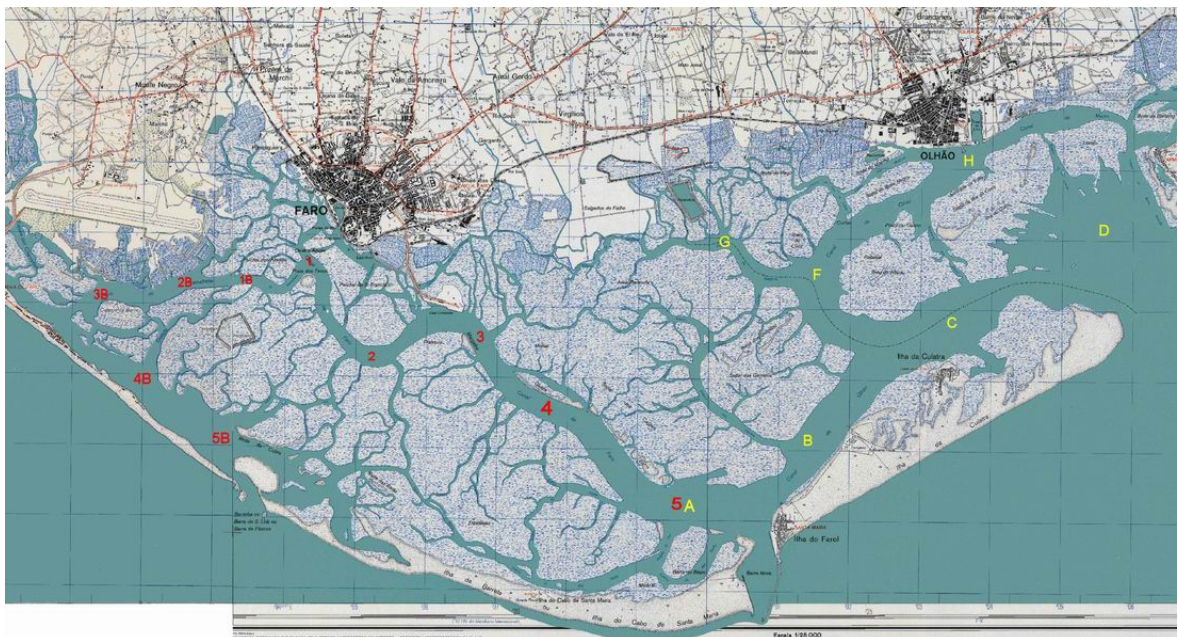


Figura 8. Mapa del parque natural de Ría Formosa



Figura 9. Imagen aérea del parque natural de Ría Formosa

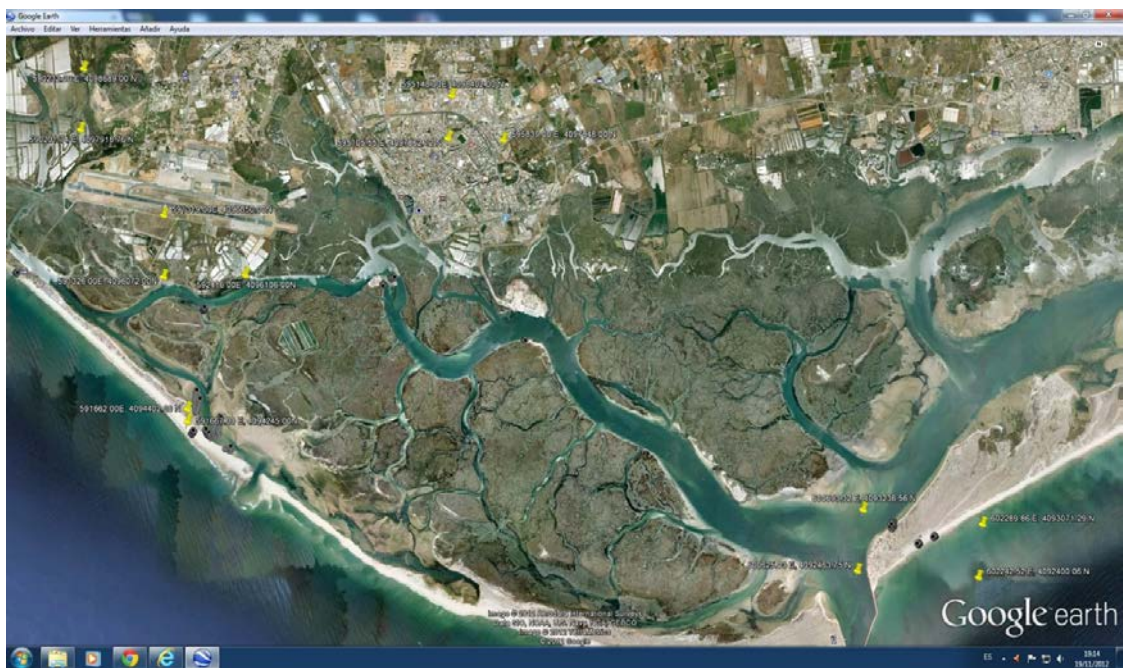


Figura 10. Imagen Google earth de las distintas zonas elegidas.

El proyecto se puede dividir en varias etapas fundamentales para una perfecta ejecución y obtener buenos resultados: planificación, registro, procesado, resultados, control de calidad y conclusiones de la información obtenida.

Una de las características más relevantes del proyecto es la captura de información por medio de dos sistemas LiDAR: Hawk Eye II para la captura de información batimétrica y el ALS60 para la captura de datos topográficos.

El sensor Hawk Eye II puede registrar información batimétrica y topográfica. No obstante, el costo de la captura de datos topográficos se triplica respecto del ALS60. Por esta razón, se decidió realizar el levantamiento con ambos sensores. En este sentido, la densidad mínima de puntos establecida fue 1 pto/m², es decir que la información que se obtuvo con Hawk Eye II fue sobrevolando las zonas a 500 metros de altura con recubrimientos del 50% con las pasadas adyacentes, asegurando el 100% de cobertura por pasada, figura 11. Sin embargo, operando con ALS60, se pudo aumentar la altura de vuelo hasta 2.000 metros por la opción MPIA (*Multiple Pulses in Air*) que permite duplicar la frecuencia del pulso.

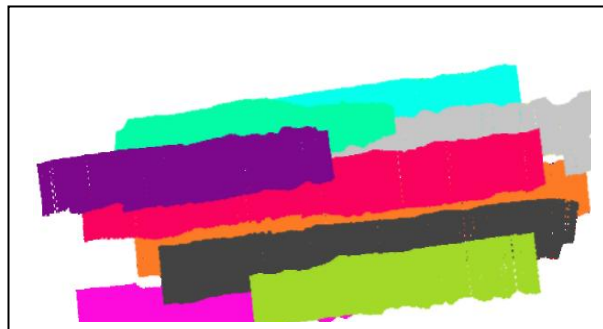


Figura 11. Gráfico de solape entre pasadas.

Se diseñó un proyecto específico para cada uno de los sensores, dividiendo en tres bloques la costa de Portugal. La distribución corresponde a cada una de los aeropuertos utilizados como base de operaciones en la realización del vuelo, Faro, Lisboa y Oporto.

La planificación del sensor batimétrico, que se estima de aproximadamente 915 líneas con un total de 8.430 kilómetros de vuelo para una altura de 500 metros, asegura una cobertura del 100% en direcciones opuestas para evitar zonas sin información debido al relieve y los acantilados pronunciados. En cuanto al sensor topográfico, realizó aproximadamente 265 líneas y 3.219 kilómetros de vuelo. Para nuestro proyecto solo vamos a emplear el bloque correspondiente a Faro.

Otro aspecto importante a tener en cuenta en el registro de los datos batimétricos son las condiciones de turbidez del agua. Para ello, se utilizó el “disco de Secchi” que es un instrumento de medición visual de la penetración luminosa. Se analizaron diversas zonas a lo largo de toda la costa, en función de las características específicas de transparencia del mar. La campaña anterior, se llevó a cabo unos días antes del vuelo. Asimismo, es importante destacar la variabilidad que las aguas del Atlántico sufren todos los días, y aun teniendo una serie de muestras, tanto de la salinidad y la turbidez del agua, es imposible predecir después de unos días que se mantienen las condiciones observadas. En estos casos la planificación del

proyecto se vio alterada debido al bajo rendimiento del sensor por el cambio de características de la zona. Esta circunstancia obligó a modificar in situ y en función de los resultados de la información adquirida hasta el momento, la planificación prevista de trabajo.

En cuanto a las condiciones climáticas para la realización del vuelo, al conocerse previamente en el protocolo de operación de vuelo, se trataron de cumplir con las premisas de cualquier vuelo LiDAR, que en resumidas cuentas se corresponden con cielos despejados y sin fuertes ráfagas de viento.

El vuelo se efectuó en verano del 2011, comenzando el 22 de junio y finalizando el 19 de agosto. El trabajo se completó con 51 misiones independientes que se realizaron en un total de 32 días.

Diariamente, antes de cada vuelo, se analizaban las mareas con el fin de sobrevolar la costa en pleamar, que junto con los modelos de turbidez conocidos, nos proporcionaban a priori las zonas más problemáticas para el registro.

En cuanto a la profundidad y conociendo la capacidad de captura del sensor en este tipo de aguas, se acometió un estudio de sectores a menos de 500 m de la costa donde la profundidad era mayor de 20 m, sin embargo estas observaciones se aproximaron, pues el límite de la costa no era fiable y el modelo batimétrico existente en esos momentos tenía poca resolución. En ciertas zonas (figura 12), se decidió llevar a cabo un apoyo especial topográfico con técnicas GPS durante el registro de la información, con el fin de sobrevolar la misma en las condiciones idóneas para obtener la información.

Para cada día de vuelo, la información se procesó en tiempo real, asegurando de esta forma la cobertura de los datos y permitiendo diseñar un nuevo plan de vuelo en las zonas donde no se registró la nube de puntos. El número total de líneas batimétricas registradas fue de 995, dando lugar a 8.391 kilómetros de vuelo completando la operación. En nuestro proyecto afectaba a la zona de Espigón.

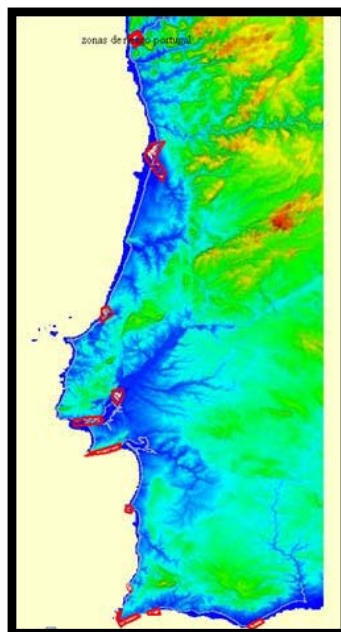


Figura 12. Zonas identificadas como problemáticas.

Los resultados obtenidos fueron los esperados, logrando cubrir el 90% de los 1.250 kilómetros previstos. La zona más problemática apareció en el Río Guadiana y en la parte norte de la costa de Portugal, exactamente entre las localidades de Espinho y da Figueira Foz.

Las malas condiciones de turbidez del agua y el fuerte oleaje dificultaron, en un primer momento, el registro de información en estas zonas. De igual forma, las condiciones meteorológicas adversas en la zona norte de la costa, acompañaron en los últimos días del trabajo con fuertes ráfagas de viento, nubosidad y lluvias continuas. Estas circunstancias obligaron a repetir trazas del vuelo con falta o deficiente información.

Basándonos en las características problemáticas de este tipo de aguas, cuya profundidad de medida se estimaba en 25 m, se consiguió profundidades superiores a los 29 m.

De toda la información capturada, se han generado modelos digitales de elevación de alta precisión, así como su representación mediante curvas de nivel, tanto de la parte topográfica como la batimétrica de modo separado. De igual forma, en muchos casos, los datos se trataron de forma conjunta, en la obtención del producto.

3.2 CONTROL DE CALIDAD

La calidad se define como una propiedad inherente de cualquier cosa que permite que esta sea comparada con cualquier otra de su misma especie o naturaleza y cumpla unos requisitos con el fin de satisfacer a unos clientes que requieren unos productos con unas características determinadas en función de sus necesidades y expectativas. Estas necesidades y expectativas se expresan en especificaciones del producto y generalmente nos referiremos a ellas como los requisitos del cliente (Díez, 2013).

En este punto podemos diferenciar dos conceptos estrechamente relacionados que son garantía y control de calidad. Veamos los indicadores que se establecen para cada uno de ellos:

- **Garantía de calidad:** Gestión de actividades que garantizan un proceso, tema o servicio proporcione la calidad que necesita el usuario. Trata de la creación de controles de gestión que cubren la planificación, ejecución y revisión del registro de datos de una actividad. Los procedimientos de calibración es una actividad clave para asegurar la calidad.
- **Control de calidad:** Se tienen que proporcionar rutinas y controles que garanticen la integridad y exactitud para la totalidad de los datos. Se tiene que verificar si la calidad deseada se ha logrado.

Para nuestro proyecto se parte de la comprobación visual de la coherencia espacial de los datos proporcionados. Seguidamente se realizan las diferencias y se obtienen los correspondientes estadísticos analizando la desviación de las medidas donde se puede comprobar variaciones en función de la morfología del suelo (rocoso, asfalto, arenoso, vegetación, etc.) y las condiciones del medio (aguas de las marismas o mar abierto). Por

último, se describen los factores particulares de la zona objeto de estudio para que se puedan extrapolar e incluir en la elaboración de los futuros proyectos de levantamientos con ALB.

La información obtenida a partir de los requisitos iniciales, deben cumplir con los niveles de precisión de la Organización Hidrográfica Internacional (IHO) de Orden Especial y el Orden 1a con detección de rasgos cúbicos de 1 m y de 2 m respectivamente como exigencias mínimas. Es decir, si utilizamos la fórmula que se describe a continuación para calcular el máximo de Incertidumbre Vertical Total (TVU) permitido al 95% de nivel de confianza, tenemos que:

$$\sigma_v = \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad \text{Eq. (2)}$$

Dónde:

a: Representa la porción de la incertidumbre que no varía con profundidad.

b: Es un coeficiente que representa la porción de la incertidumbre que varía con profundidad.

d: Es la profundidad en metros.

b • d: Representa la porción de la incertidumbre que varía con profundidad.

Y cuyos valores según orden y profundidad serán:

Orden Especial: a= 0.25 m, b= 0.0075

Para d: 0.30 m $\sigma_v = 0.25$ m

Para d: 30 m $\sigma_v = 0.35$ m

Orden 1a: a= 0.50 m, b= 0.013

Para d: 0.30 m $\sigma_v = 0.50$ m

Para d: 30 m $\sigma_v = 0.65$ m

Por otro lado, las especificaciones técnicas del sensor Hawk Eye II indican una incertidumbre de ± 0.25 m.

Sin embargo, y habida cuenta de la aplicación del proyecto, las precisiones anteriores mencionadas fueron analizadas en función de las especificaciones técnicas requeridas por el cliente, como se puede observar en la Tabla 1.

De cualquier forma, la realización de un control de calidad no consiste en el análisis de los resultados en función de las condiciones técnicas pero es necesario para cada fase realizar controles específicos, de este modo se asegura la calidad total.

Modelo	Distancia entre puntos	RME (m.)	Error máximo en 90% (m.)
Terreno	1	0,20	0,35
Mixto	2	0,45	0,75

TABLA 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Teniendo en cuenta que se realizaron dos vuelos independientes, uno para la parte batimétrica y otro para la parte topográfica, el control de calidad debe ser más riguroso que en un proceso de análisis convencional debido a la metodología utilizada en la integración de los sensores. En este sentido, contamos con 3 conjuntos de datos:

Información procedente del sensor batimétrico Hawk Eye II

Información procedente del sensor topográfico Hawk Eye II

Información procedente del sensor topográfico ALS60

Por lo tanto, fue necesario realizar controles de calidad independientes para cada información procedente de los diferentes sensores, así como, el control de la información integrada.

3.2.1 CONSIDERACIONES DEL VUELO

Una vez llegada a la conclusión de que la realización práctica del levantamiento es posible, deberán tenerse en cuenta los aspectos logísticos. Es importante determinar la relación entre el tamaño del área a levantar y los costes de desplazamiento del sistema y personal. Además de otras consideraciones como restricciones del espacio aéreo, presencia de montañas en la zona y otros aspectos que puedan ser determinantes a la hora de planificar los vuelos.

El siguiente paso es el que contempla las exigencias del cliente en cuanto a densidad de datos, precisiones, requisitos de detección de objetos, obtención de línea de costa, productos topográficos asociados y todos aquellos aspectos que el cliente quiera enfatizar.

En función de esto habrá que establecer parámetros como:

Datum vertical a utilizar, disponibilidad de mareógrafos en la zona y condiciones en las que se encuentran.

Metodología de posicionamiento y control horizontal, fuente de las correcciones diferenciales del DGPS o número de estaciones de control para GPS, disponibilidad de bases y su estado, sistema de control requerido, etc.

Un aspecto importante a analizar en detalle es el diseño del plan de vuelo, en este caso se procurará hacer una recomendación acorde con el posterior control de calidad que se propone a continuación de manera que los datos obtenidos puedan ser sometidos a dichos controles.

Es evidente que parámetros tales como la densidad o altura de vuelo serán función de los requisitos asociados a los productos que se pretende obtener como ya se ha mencionado. Pueden ser desde un reconocimiento rápido de la zona para evaluar los daños producidos por una catástrofe natural hasta la elaboración de cartografía náutica. El primer uso será mucho menos exigente en cuestiones de precisión que el segundo.

La altura de vuelo según los fabricantes puede variar entre los 200 m y 500 m. Sin embargo para poder garantizar la detección de objetos es preferible una altura de vuelo no demasiado elevada, aunque si volamos demasiado bajo el ancho de franja será demasiado pequeño y se perderá rentabilidad y tiempo. La mayoría de los estudios realizados hasta la fecha han demostrado que una altura de vuelo de 300 m da muy buenos resultados.

3.2.2 CONTROL DE CALIDAD ALTIMÉTRICO

3.2.2.1 *Datos batimétricos:*

Para el control de la información batimétrica, se realizaron las observaciones de cada uno de los bloques en que se dividió el trabajo por medio de una ecosonda multihaz para las zonas de Espinho y Vilamoura y con monohaz para la zona de Cascais. Además de las diferentes zonas de registro se añadieron zonas problemáticas por las condiciones de turbidez del agua.

A continuación, se puede observar en la Tabla 2 un ejemplo de los resultados estadísticos en un área de control del mar:

Media dz	-0,160 m
Mínimo dz	-0,570 m
Máximo dz	0.660 m
Mediana	0,229 m
Valor medio cuadrático	0.264 m
Desviación estándar	0,209 m

TABLA 2. RESULTADOS ZONA BATIMETRÍA

3.2.2.2 *Datos topográficos:*

Se escogieron también una serie de campos de control topográfico para cada uno de los bloques del proyecto. Esta información se tomó con GPS en zonas opuestas, Figura 12, a las zonas marítimas de control con ecosonda multihaz. A continuación, se muestran en la Tabla 3 (A, B y C) los resultados de cada área observada:

Media dz	0.020 m
Mínimo dz	-0.171 m
Máximo dz	0.252 m
Mediana	0.059 m
Valor medio cuadrático	0.077 m
Desviación estándar	0.075 m

TABLA 3 (A). CONTROL NORTE. ESPINHO

Media dz	0.092 m
Mínimo dz	0.021 m
Máximo dz	0.239 m
Mediana	0.103 m
Valor medio cuadrático	0.135 m
Desviación estándar	0.113 m

TABLA 3 (B). CONTROL CENTRO. CASCAIS

Media dz	0.008 m
Mínimo dz	-0.178 m
Máximo dz	0.125 m
Mediana	0.054 m
Valor medio cuadrático	0.070 m
Desviación estándar	0.070 m

TABLA 3 (C). CONTROL SUR. VILAMOURA



Figura 13. Ejemplo de Zonas de Control Batimétrico y Topográfico.

3.2.2.3 Datos en zonas mixtas:

Un aspecto puntual fue la necesidad de realizar la toma de datos en las zonas de las marismas de Formosa y Aveiro. Fundamentalmente en las marismas de “Ría Formosa”, Figura 14, ubicada en Algarve, en Portugal meridional, y donde parte del territorio es un parque natural de más de 170 km² y que forman un ecosistema de islas de barrera que comunica con el mar a través de seis ensenadas. Se puede caracterizar el terreno por canales de interior que dan lugar a las marismas, zonas de dunas, vegetación autóctona, lagunas costeras y playas de arena y escasa roca.



Figura 14. Parque “Ría Formosa” .

Debido a las condiciones peculiares de la zona, se consideró necesario realizar un control de calidad y analizar la respuesta de los sensores con respecto a la precisión altimétrica.

Dividimos el parque Natural en sectores, Figura 14, dentro de los cuales se realizaron una serie de observaciones GPS, Figuras 15 y 16, tomando puntos de control para analizar el comportamiento de respuesta de los pulsos emitidos-recibidos para los diferentes suelos que conforman este tipo de hábitats: agua y lodo, agua y zona inter mareal, algas, arena, asfalto, zona de rocas y vegetación baja costera.

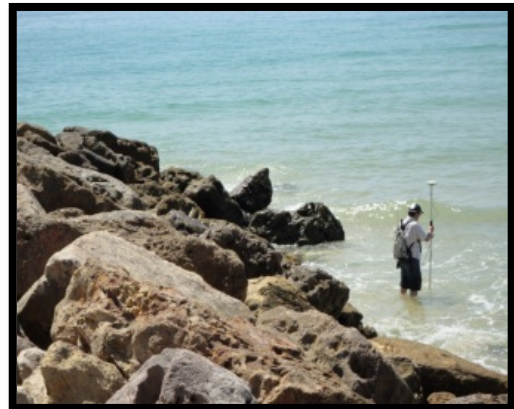
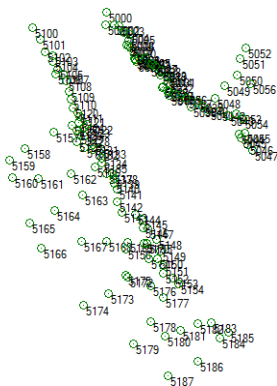
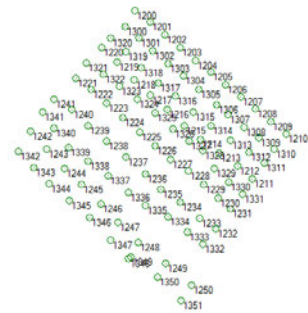


Figura 15. Levantamiento GPS en Zona Intermareal y Roca (Mar Abierto).

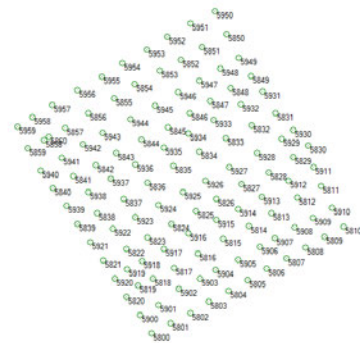




Figura 16. Levantamiento GPS en Zona de Vegetación, Arena e Intermareal (Interior de Marisma).

Posteriormente, se compararon los datos altimétricos registrados por técnicas LIDAR y por metodología clásica RTK-GPS y dónde se obtuvieron los resultados estadísticos correspondientes.

Puntos tomados en zona inter mareal con sensor batimétrico Hawk Eye II:

Zona inter mareal	Radiación verde 532 nm
Media dz	-0.246 m
Mínimo dz	-1.250 m
Máximo dz	0.840 m
Mediana	-0.190 m
Error típico de la media	0.019 m
Desviación estándar	0.255 m

Puntos tomados en zona inter mareal con sensor topográfico Hawk Eye II:

Zona inter mareal	Radiación I.R. 1064 nm
Media dz	-0.069 m
Mínimo dz	-0.210 m
Máximo dz	0.120 m
Mediana	-0.080 m
Error típico de la media	0.006 m
Desviación estándar	0.073 m

Puntos tomados en zona de arena con sensor batimétrico Hawk Eye II:

Zona arena	Radiación verde 532 nm
Media dz	-0.092 m
Mínimo dz	-0.480 m
Máximo dz	0.080 m
Mediana	-0.080 m
Error típico de la media	0.006 m
Desviación estándar	0.091 m

Puntos tomados en zona de arena con sensor topográfico Hawk Eye II:

Zona arena	Radiación I.R. 1064 nm
Media dz	-0.067 m
Mínimo dz	-0.400 m
Máximo dz	0.100 m
Mediana	-0.060 m
Error típico de la media	0.005 m
Desviación estándar	0.072 m

Puntos tomados en zona de rocas con sensor batimétrico Hawk Eye II:

Zona roca	Radiación verde 532 nm
Media dz	-0.300 m
Mínimo dz	-1.370 m
Máximo dz	0.770 m
Mediana	-0.339 m
Error típico de la media	0.037 m
Desviación estándar	0.420 m

Puntos tomados en zona de rocas con sensor topográfico Hawk Eye II:

Zona roca	Radiación I.R. 1064 nm
Media dz	-0.105 m
Mínimo dz	-0.570 m
Máximo dz	0.360 m
Mediana	-0.003 m
Error típico de la media	0.019 m
Desviación estándar	0.180 m

Puntos tomados en zona de vegetación baja con sensor batimétrico Hawk Eye II:

Zona vegetación baja	Radiación verde 532 nm
Media dz	0.039 m
Mínimo dz	-0.390 m
Máximo dz	0.370 m
Mediana	0.078 m
Error típico de la media	0.060 m
Desviación estándar	0.144 m

Puntos tomados en zona de vegetación baja con sensor topográfico Hawk Eye II:

Zona vegetación baja	Radiación I.R. 1064 nm
Media dz	-0.003 m
Mínimo dz	-0.160 m
Máximo dz	0.140 m
Mediana	-0.000 m
Error típico de la media	0.004 m
Desviación estándar	0.048 m

Puntos tomados en zona de algas con sensor batimétrico Hawk Eye II:

Zona algas	Radiación verde 532 nm
Media dz	-0.357 m
Mínimo dz	-1.440 m
Máximo dz	0.380 m
Mediana	-0.260 m
Error típico de la media	0.026 m
Desviación estándar	0.371 m

Puntos tomados en zona de asfalto con sensor batimétrico Hawk Eye II:

Zona asfalto	Radiación verde 532 nm
Media dz	0.006 m
Mínimo dz	-0.780 m
Máximo dz	0.320 m
Mediana	0.025 m
Error típico de la media	0.016 m
Desviación estándar	0.181 m

Como se puede observar, los valores más bajos en las diferencias en altimetría con respecto a los puntos de control vienen dados en las zonas de arena, vegetación baja y asfalto respectivamente. Para el resto de las zonas los valores obtenidos no superan a la tolerancia y podemos decir que la exactitud del sensor batimétrico Hawk Eye II, tanto individual como en la información integrada, son aceptables desde el punto de vista de tolerancias teóricas de los sensores para esta altura de vuelo y de la especificaciones técnicas del proyecto.

En cuanto a las dos radiaciones emitidas por el Sensor, se producen algunas diferencias significativas en zonas donde existe agua de poca profundidad (inter mareal y roca). Debemos entender, dentro de las especificaciones propias del sensor, la incertidumbre de respuesta (forma de onda) del “canal verde” para profundidades menores de 30 centímetros, además de la diferencia de densidad de puntos y frecuencia de sondeo de los mismos.

3.2.3 CONTROL DE CALIDAD PLANIMÉTRICO

Teniendo en cuenta las limitaciones del sensor LIDAR, tanto batimétrico como topográfico, con respecto a la precisión en planimetría, se realizaron diferentes controles para asegurar la integración de la información.

Para efectuar el control planimétrico, se realizó por un lado, un control visual de la posición de los puntos de coordenadas conocidas, figura 17, respecto a la nube de puntos y, de otro lado, se comprobó la correspondencia altimétrica de la zona seleccionada. Los resultados obtenidos del análisis visual son los que se muestran a continuación:

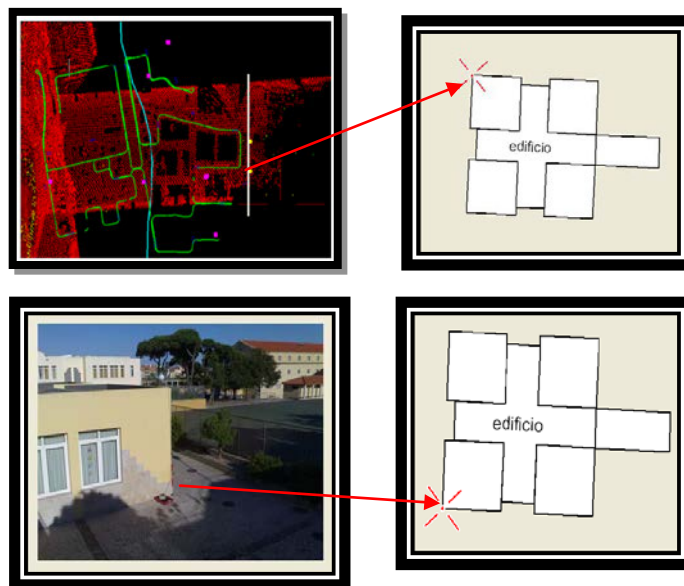


Figura 17. Ejemplo de Puntos de Control.

Seguidamente, se muestra el análisis estadístico en altimetría de los puntos de control terreno.

Media dz	0.083 m
Mínimo dz	-0.315 m
Máximo dz	0.356 m
Mediana	0.142 m
Valor medio cuadrático	0.197 m
Desviación estándar	0.175 m

3.2.4 CONTROL DE INTEGRIDAD EN LA INFORMACIÓN

Para validar el conjunto de los datos registrados, a través de las pasadas proyectadas y coincidentes con las zonas de control, se realizó un chequeo para garantizar la integración de la información batimétrica y topográfica. Para este propósito, se hicieron coincidir, solapando, las pasadas proporcionadas por el sensor topográfico ALS60 y el batimétrico Hawk Eye II. De esta forma, y a partir de un trazado aleatorio de perfiles transversales del conjunto de datos, se analizó visualmente la coherencia de la información.

3.2.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto a la metodología en la captura de datos, posproceso de la información y exactitud de la información obtenida, la mayor parte de los resultados obtenidos cumplen con especificaciones técnicas requeridas.

En la metodología de captura de información se llega a la conclusión de la necesidad de exhaustivos análisis previos para determinar el momento exacto de la captura. Aspectos como la meteorología, condiciones de la turbidez del agua y la salinidad son causas que pueden afectar directamente a la información. En concreto, la turbidez y oleaje son los factores que más afectan a la calidad de la información.

En cuanto a los dos transmisores de pulso láser, el infrarrojo próximo (1064 nm) y el verde-azul (532 nm), los resultados en las zonas de chequeo para las diferentes tipologías del terreno por encima de la superficie del agua, se ven mejorados los de longitud de onda más larga (infrarrojos).

En cuanto al pulso verde, se puede observar buenos resultados en zonas de asfalto y vegetación y empeoran en zonas de rocas, algas e intermareal. Respecto a las zonas de roca puede ser lógico debido a las propias dispersiones del elemento en sus diferencias de geometría irregular. Sin embargo en las zonas de algas e intermareales debemos tener cuenta que son zonas de poca profundidad, siendo algunos casos menores de 30 cm. En este sentido, la incertidumbre del rayo se pone de manifiesto en cuanto a la mala discriminación entre la superficie y fondo marino para aguas muy someras. Los mejores resultados se obtienen en zonas de arena, tanto en los valores de tendencia central como dispersión.

Para profundidades a partir de 30 cm y hasta 30 m reales, pues los estimados a priori eran 25 m, los resultados del rayo verde son mejores, como se pudo comprobar en otras zonas de la costa de Portugal pero con datos procedentes de ecosonda multihaz.

Pese a que los errores, a veces superiores a los 40 cm, los sistemas Láser Batimétrico Aerotransportado (ALB) se caracteriza por proporcionar simultáneamente datos altimétricos de la superficie del terreno y fondo marino de aguas someras, integrando los datos de forma rápida y eficiente, y dando solución de homogeneidad y continuidad cartográfica (marco de referencia) en ambos medios.

Este sistema, relativamente joven en el uso comercial, está en constante desarrollo y experimentación en las áreas de láser, óptica y electrónica. Por lo que se concluye definitivamente que es una tecnología con un futuro muy prometedor y los resultados cumplen con los niveles de precisión de la IHO de Orden 1a y en muchos casos mejor.

Respecto a la necesidad de evaluar la calidad de los datos, los procesos de control de calidad son fundamentales para garantizar la fiabilidad de los datos en estas nuevas técnicas emergentes; especificar y unificar los métodos operativos, en los controles de calidad, que permitan concretar el contenido de los Pliegos de Condiciones Técnicas y normalizar el procedimiento de trabajo permite desarrollar herramientas concretas (software), así como

utilizar datos procedentes de otros sensores u otras fuentes de información fiable que permitan garantizar el método y los resultados (Díez, 2013).

3.3 JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DE DISTINTAS ZONAS A EDITAR Y PRESENTACIÓN DE CADA UNA DE ELLAS

Dada la variedad de las características de las zonas potenciales para levantamientos de este tipo se hace necesario hacer una distinción de zonas según el sensor.

3.3.1 SISTEMAS ALS

Lo vamos a dividir en dos, rústica y urbana.

- Zona rústica: como ejemplo de esta zona escogemos una zona donde podemos ver “monte y cultivo” y otra a la que hemos denominado “matorral”.



Matorral



Monte y cultivo

- Zona urbana: para esta hemos elegido una parte de la ciudad de Faro.



Urbana

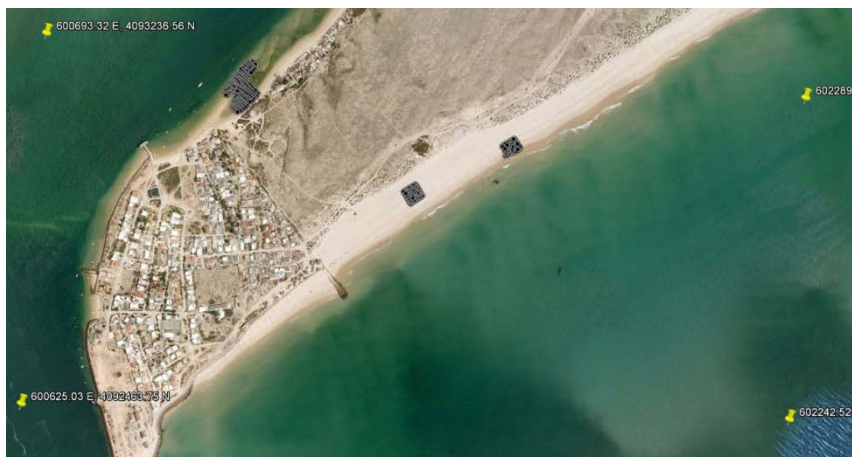
3.3.2 SISTEMAS ALB

- Zona marisma: Toda la superficie que se encuentra sumergida, es decir, aquellas zonas donde siempre habrá agua.



Marisma

- Zona Espigón: Esta zona la hemos elegido porque en ella encontramos a la vez tres zonas distintas que a continuación describimos.
 - Zona intermareal: Toda superficie comprendida entre la línea definida por la pleamar y la definida por la bajamar. Esta región es de gran importancia medioambiental debido a que el aumento de la actividad humana amenaza su delicado equilibrio.
 - Zona aguas someras: La comprendida desde la zona intermareal hasta una profundidad máxima de 50 m.
 - Zona arena y matorral



Espigón

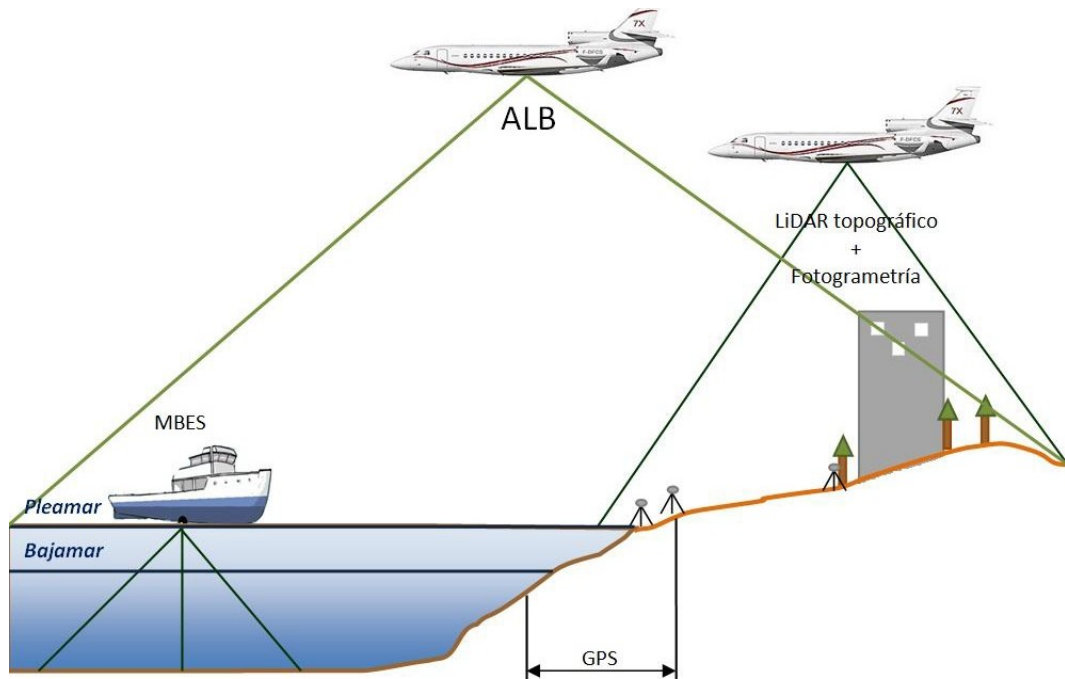


Figura 18. Representación de las tres zonas objeto de estudio.

3.4 CRITERIOS A COMPARAR

A continuación presentamos los criterios que se van a tener en cuenta para llegar a las conclusiones finales, las cuales serán incluidas en una matriz matemática dando valores, en base a la importancia que cada uno de los criterios tienen según nuestra experiencia en la edición.

3.4.1 COSTES

En este apartado vamos a indicar los diferentes costes de cada una de las aplicaciones, indicando también si cada una de ellas tiene o no versión DEMO y qué podemos hacer con estas versiones.

FUSION: La Versión 3.30 es la última versión de *FUSION*. Ésta es totalmente gratuita e incluye un proyecto de ejemplo.

MDTopX: Este programa tiene dos opciones, una gratuita y otra de compra del programa que a su vez tiene varias opciones.

- Software de prueba: versión gratuita de evaluación. Esta versión tiene todas las herramientas y puede funcionar como un perfecto visor de archivos. Sin embargo, no es posible guardar los resultados a disco. Incluye archivos con los datos necesarios para evaluar todas las características de *MDTopX* e incluye archivos de ejemplo con datos LiDAR.

- Compra/renovación de productos: La compra incluye dos años de garantía, un año de soporte técnico y un año de actualizaciones.

Lista de precios para el Software de Modelos Digitales Topográficos:

Versión	Descripción	Precio
---------	-------------	--------

TERRASCAN: Para este software tenemos tres opciones, una gratuita de prueba, otra de compra y la opción de alquilar.

- Software de prueba: versión gratuita de evaluación. Las aplicaciones se ejecutan como versiones de evaluación de 10 días después de su primera instalación con funcionalidad completa y se pueden usar para propósitos de prueba durante este tiempo. Podemos descargar las aplicaciones de la página de descargas y ejecutarlas durante el período de prueba sin licencias. Después de que el período de prueba ha terminado se necesita una licencia válida para poder trabajar con el software.
- Compra productos: Podemos adquirir los productos directamente de *Terrasolid*. Nos podemos poner en contacto con *Terrasolid* por correo electrónico con el fin de solicitar una oferta de venta de las aplicaciones que necesitemos, también podemos consultar la lista de precios vigentes. En general, es más ventajoso combinar varias aplicaciones como paquetes que comprar las licencias por separado.
- Licencias en Renta: existe la opción de alquilar licencias para un período de tiempo limitado. Las licencias incluyen el derecho a utilizar versiones totalmente funcionales de software *Terrasolid*, actualizaciones de software durante el período de arrendamiento, y el apoyo de los usuarios normales. El plazo mínimo de arrendamiento de la licencia es de dos meses.

Lista de precios para el Software *Terrasolid* (Ex Works Helsinki, VAT 0%) 01.01.2012

Licencias individuales:

- Versión completa
 - *TerraScan* 5.100 €
 - *TerraModeler* 3.400 €
 - *TerraPhoto* 5.100 €

- *TerraMatch* 5.100 €
- *TerraSlave* 3.000 €
- *TerraSurvey* 3.400 €
- Versión Lite
 - *TerraScan Lite* 1700 €
 - *TerraModeler Lite* 1700 €
 - *TerraPhoto Lite* 1700 €

Paquetes (sobre todo la primera selección)

- Versión completa
 - *TerraScan + TerraModeler* 7.650 €
 - *TerraScan + TerraPhoto* 9.180 €
 - *TerraScan + TerraMatch* 9.180 €
 - *TerraScan + TerraModeler+ TerraPhoto* 10.880 €
 - *TerraScan + TerraModeler+ TerraMatch* 10.880 €
 - *TerraScan + TerraMatch+ TerraPhoto* 12.240 €
 - *TerraScan + TerraModeler+ TerraPhoto + TerraMatch* 13.090 €
- Versión Lite
 - *TerraScan Lite + TerraModeler Lite* 3060 €
 - *TerraScan Lite + TerraPhoto Lite* 3060 €
 - *TerraPhoto Lite + TerraModeler Lite* 3060 €
 - *TerraScan Lite + TerraModeler Lite + TerraPhoto Lite* 4060 €

MicroStation: Todos los paquetes se están ejecutando en son por medio de *MicroStation V8 Edition, MicroStation V8i, Bentley Map V8i y Bentley Map V8i PowerView*.

- Volumen:
 - Primer paquete / licencia de 0%
 - Segundo paquete / licencia -20%
 - Tercer paquete de licencia / -30%
 - Cuarto paquete / licencia -40%
 - Quinto o más paquetes / licencias -50%

"Los descuentos por volumen" (abajo) se aplicarán sólo si compramos varios lotes / licencias en el mismo día.

- Cuota anual de mantenimiento de software: la cuota de mantenimiento anual total depende del número de copias de los paquetes. Se calcula por separado para cada paquete de la siguiente manera:

Cuota de mantenimiento anual = 15% * Válido Lista de precios * Número de licencias de paquetes - Descuento del usuario.

Descuento por Cantidades del usuario, se calculará por separado para cada paquete. El descuento depende del número de licencias de la siguiente manera:

- Primera licencia: 0%
- Segunda licencia: -5%
- Tercera licencia: -10%
- Cuarta licencia: -15%
-
- Undécimo o más: -50%

Ejemplo:

3 pcs. *TerraScan* + 1 pc. *TerraModeler*

- *TerraScan*:

Primera licencia de 15% 5100-0% = 765 €

Segundo licencia 15% 5100-5% = 727 €

Tercer licencia 15% 5100 -10% = 688 €

- *TerraModeler*:

Primera licencia de 15% 3400-0% = 510 €

El costo total de todas las licencias: 2.690 €

Certificados académicos: Usuarios académicos como universidades, escuelas u otros similares, que utilizan los paquetes sólo para la educación y la investigación, sólo pagan por la cuota de mantenimiento anual de una licencia de cada aplicación. El total depende de los paquetes seleccionados.

MARS: Este programa tiene cinco opciones, dos gratuitas y tres opciones de compra.

- *MARS* ® *Freeview* TM: software de prueba, es una versión gratuita de evaluación. Esta aplicación gratuita de visualización es compatible con la navegación básica LiDAR y visualización de datos en 3D, la herramienta perfecta para los usuarios ocasionales. No se requiere licencia.
- *MARS* ® *Evaluación Explorador*: versión libre de prueba de 30 días con capacidades de importación / exportación de datos y funciones automatizadas de producción de datos .LAS con una limitación de tamaño de archivo de 300 MB.

- *MARS ® Explorador*: versión robusta comercial de la *MARS ®* suite de software con soporte para el procesamiento de 64 bits de datos, clasificación de datos LiDAR, procesamiento multi-core y visualización mejoradas.
- *MARS ® Explorador de control de calidad*: incluye toda la funcionalidad de *MARS ® Explorador* más un nuevo módulo automatizado de control de calidad LiDAR Merrick (QC). El nuevo módulo genera un informe detallado de control de calidad que ahorra tiempo y dinero.
- *MARS ® Production*: versión de producción de calidad del *MARS ®* suite de software. Proporciona funcionalidad adicional para la compilación de línea de rotura, herramientas avanzadas de nivel de producción y el número ilimitado de temas para las operaciones múltiples de subprocesos.

Lista de precios para el Software de *MARS ®*:

- | | |
|--|-------------------|
| • <i>MARS ® Freeview™</i> | Libre |
| • <i>MARS ® Explorador Evaluación</i> | Libre |
| • <i>MARS ® Explorador</i> | 4,995 dólares US |
| • <i>MARS ® Explorador de control de calidad</i> | 9995 dólares US |
| • <i>MARS ® Producción</i> | 11.995 dólares US |

El precio incluye una (1) licencia permanente del software *MARS ®* y soporte de mantenimiento / producto técnico (actualizaciones de software) por un (1) año a partir de la fecha de instalación del software. Las tasas anuales de mantenimiento de software se calculan como el 20% del precio de lista del software (en el momento de la compra) y son opcionales después del primer año.

Hay disponible descuentos empresariales, académicos y de volumen.

SCOP ++: No tenemos información.

3.4.2 HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN

En este apartado vamos a valorar todo lo relativo a la visualización de la nube de puntos, vamos a encontrar unos sub-criterios que vamos a valorar en cada una de las aplicaciones:

- VISTA 3D:

Todas las aplicaciones tienen este tipo de visualización menos Scop++

- MOVIMIENTO DE LA NUBE DE PUNTOS:

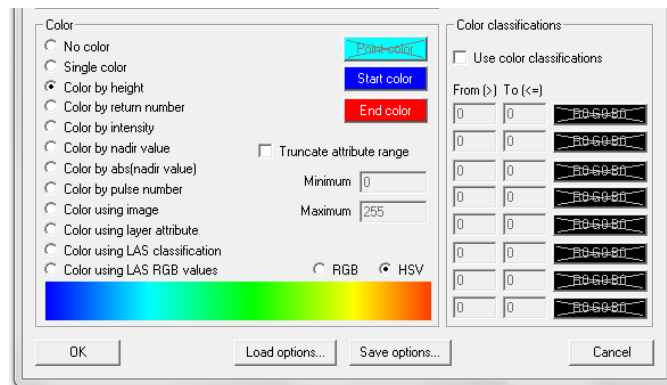
Aquí ponemos en valor la celeridad y facilidad del movimiento de la nube de puntos, las dos aplicaciones que manejan con más celeridad la nube son *TerraScan* y *MARS*, le siguen

MDTopX y por último *FUSION*, *Scop++* no permite movimiento de los puntos, ni siquiera presenta la nube de puntos.

- COLOR DE LA NUBE DE PUNTOS:

En este caso valoramos las diferentes opciones que nos da cada una de las aplicaciones para poder visualizar la nube de puntos en base a la información que contiene el fichero, de tal manera que podemos ver los puntos según la intensidad de cada punto, la clasificación o la altimetría entre otros. Vamos a dar más valor a la aplicación que nos proporcione más opciones de visualización.

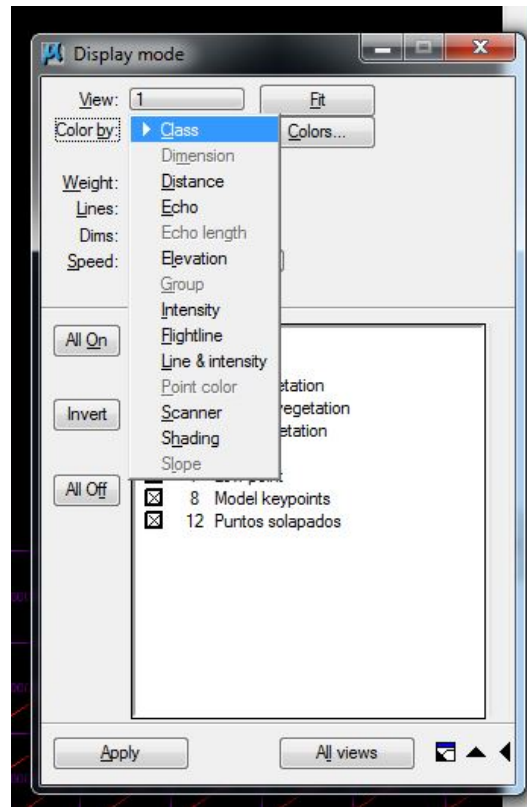
FUSION: Aquí tenemos 12 formas de ver la nube de puntos.



MDTopX: Aquí encontramos 7 formas diferentes de ver la nube.



TerraScan: Nos ofrece 14 formas diferentes de poder visualizar la nube de puntos, según podemos ver en la imagen, estas se activaran o no dependiendo de la información que el archivo contenga.



MARS: Nos ofrece 11 formas de ver la nube.



SCOP++: Solo podremos ver MDT nunca nube de puntos

- PUNTOS DE VISTA:

En esta ocasión nos referimos a si la aplicación contiene la opción de visualizar la nube de puntos según unas vistas normalizadas, tanto de forma ortogonal como isométrica. Todas las aplicaciones tienen esta aplicación menos Scop++

- TAMAÑO DE PUNTO:

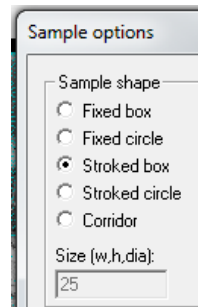
En este apartado diferenciamos entre las aplicaciones que poseen la propiedad de modificar el grosor del punto y las que no. TerraScan, MDTopX, MARS y FUSION si tienen integrada esta opción.

- EXAGERACIÓN DE LA VERTICALIDAD:

Diferenciamos entre las aplicaciones que pueden exagerar la verticalidad en la vista 3D y aquellas que no tienen esta herramienta. TerraScan, MDTopX, MARS y FUSION si tienen integrada esta opción.

- PERFILES:

FUSION: La forma que tiene esta aplicación de ver los datos LIDAR es en el visor y para ello se hacen perfiles de distinto tamaño y forma. Una vez definido el perfil, se abre una ventana secundaria (LDV) y en esta pantalla podemos mover los puntos e incluso ver la imagen y el MDT. Una vez creado el perfil no podemos modificarlo, sí podemos moverlo hacia ambos lados con dos botones que se activan cuando estamos dentro de la pantalla del perfil. Para poder definir otro perfil tenemos que salir de la pantalla secundaria y sobre la planta definir otro perfil.



MDTopX: Esta aplicación también dispone de la posibilidad de generar perfiles, podemos crear un perfil, el ancho de este variará dependiendo del zoom de la vista en planta sobre la que hacemos la sección, una vez definido el perfil, se abre una ventana secundaria bajo la vista general y sobre esta pantalla podemos movernos a lo largo del perfil. Una vez creado el perfil no podemos modificarlo, si podemos moverlo hacia ambos lados con dos botones que se activan cuando estamos dentro de la pantalla del perfil. Podemos seleccionar dentro del perfil puntos y reclasificarlos. La edición manual es lenta ya que para poder definir otro perfil tenemos que salir de la pantalla secundaria y sobre la planta definir otro perfil.

TerraScan: En esta aplicación podemos generar perfiles, al crearlos podemos indicar el ancho del perfil y en que vista lo queremos visualizar. Una vez generado el perfil, dentro de él podemos moverlo hacia ambos lados e incluso girarlo, también podemos mediante la ruleta del ratón hacer el largo del perfil mayor o menor e incluso podemos sincronizar la vista del perfil con otra ventana que nos presente la zona en una vista 3D. Dentro de las herramientas de *TerraScan* hay una barra de herramientas dedicada la clasificación de puntos mediante perfiles, en esta tenemos 6 formas distintas de poder seleccionar puntos y reclasificarlos a nuestro antojo. La herramienta de los perfiles trabaja de forma rápida y resulta muy fácil para terminar la clasificación de forma manual.

MARS: Para esta aplicación la opción de poder generar transversales es imprescindible, ya que para poder obtener puntos *GROUND* hay que hacer un estudio previo mediante perfiles transversales por zonas para llegar a la conclusión de una cota media de aquellos puntos que vamos a considerar como *ground*. La herramienta de perfiles funciona de tal manera que sobre la planta definimos el perfil, podemos definir numéricamente el ancho del perfil, una vez definido el perfil se abre una ventana secundaria donde podemos ver el perfil creado, podemos desplazar este perfil hacia los lados ayudándonos de las flechas del teclado y podemos girar ayudándonos del ratón. Al igual que en las anteriores aplicaciones sobre el perfil podemos reclasificar los puntos a nuestro antojo.

SCOP++: No genera perfiles.

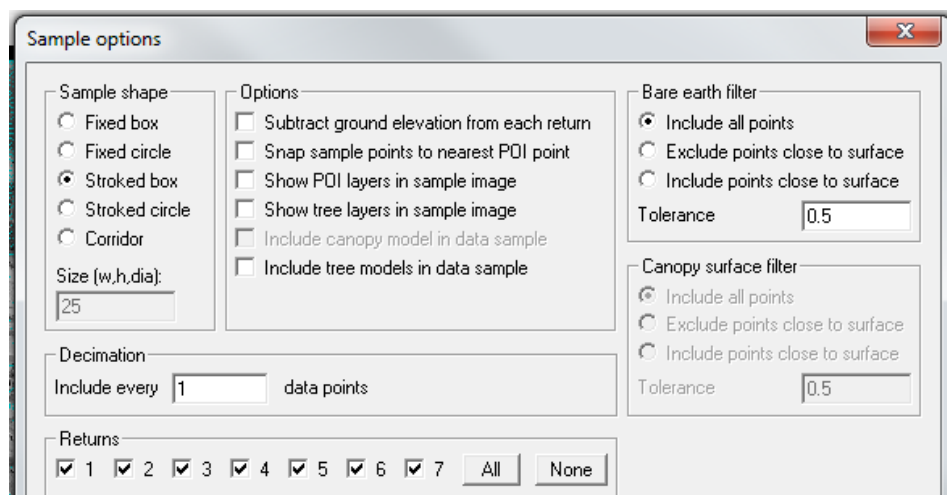
3.4.3 HERRAMIENTAS DE CLASIFICACIÓN

Este apartado lo vamos a dividir en cuatro tipos de clasificación y dentro de ellos valoraremos los mismos criterios para cada aplicación.

3.4.3.1 *Clasificación Geométrica*

Valoramos las herramientas de cada aplicación para realizar una clasificación mediante criterios exclusivos geométricos.

FUSION: esta aplicación no clasifica, pero nos permite ver los datos clasificados en otras aplicaciones. Además, puede hacer una selección para realizar un modelo de tierra limpio de vegetación.

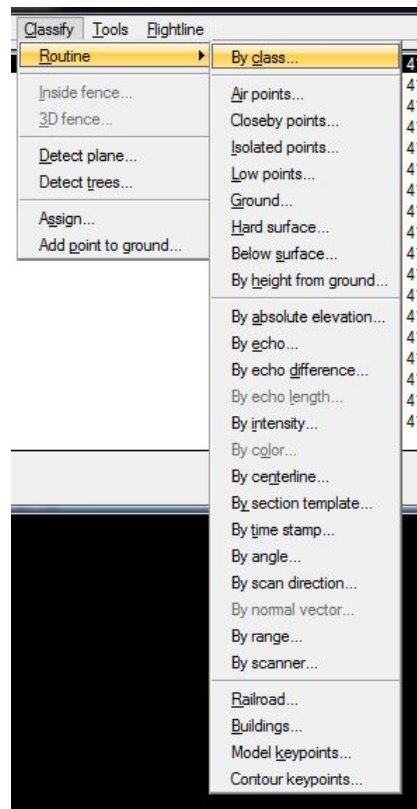


MDTopX: Las herramientas geométricas que cuenta dicha aplicación las podemos encontrar por separado o combinadas entre ellas. A su vez se subdividen en aquellas que realizan filtrado de puntos ruido y las que realizan clasificaciones. Para el filtrado tenemos tres herramientas: Puntos aéreos, puntos aislados y puntos hundidos, en los tres tenemos que indicarles el radio de búsqueda y los criterios comparativos para poder diferenciar cada uno de ellos.

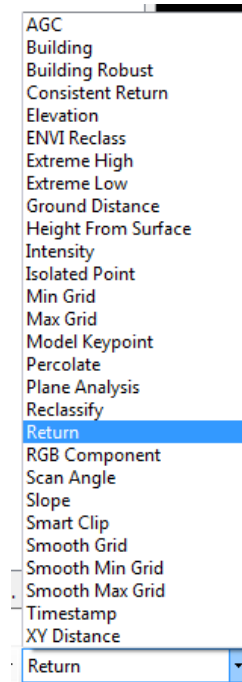
En las herramientas de clasificación encontramos: Puntos elevados, edificaciones, paredes. En ellas mediante criterios geométricos generamos una clasificación, llegando a obtener puntos dentro de la clase vegetación, edificación, etc.



TerraScan: Dentro de las rutinas de clasificación encontramos múltiples exclusivas para generar clasificaciones teniendo en cuenta criterios geométricos, estos son: Puntos aéreos, puntos cercanos, puntos aislados, puntos hundidos Ground (Suelo), puntos por encima/por debajo de la superficie general, puntos con “x” cota sobre los puntos clasificado previamente como ground, puntos con cota absoluta, clasificación de carreteras, edificios, puntos solapados.



MARS: Esta aplicación cuenta con diversas formas de clasificación por criterios geométricos, entre ellas encontramos las que se indican en la siguiente imagen, de ellas Intensity y RGB Component son las únicas dos rutinas que no clasifican sólo con criterios geométricos ya que utilizan otros valores a parte de los geométricos para realizar la clasificación. Podemos ver entre otras, rutinas comunes como Ground, Building, Extreme High, Extreme Low.



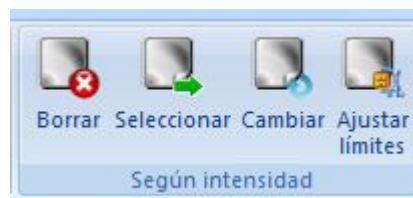
SCOP++: Esta aplicación únicamente cuenta con criterios geométricos para llegar a una clasificación, y estos son bastantes rígidos, pudiendo únicamente elegir los radios de búsqueda (anchos de celda como él los denomina) y el área a partir de la cual consideramos que estamos ante una edificación.

3.4.3.2 Clasificación por Intensidades

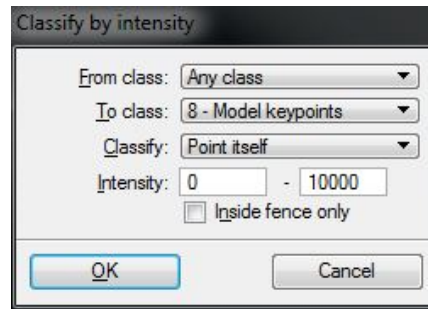
Aquí ponemos en valor que la aplicación tenga una herramienta para poder realizar clasificaciones teniendo en cuenta criterios exclusivos de intensidades.

FUSION: Como ya hemos indicado, esta aplicación no clasifica.

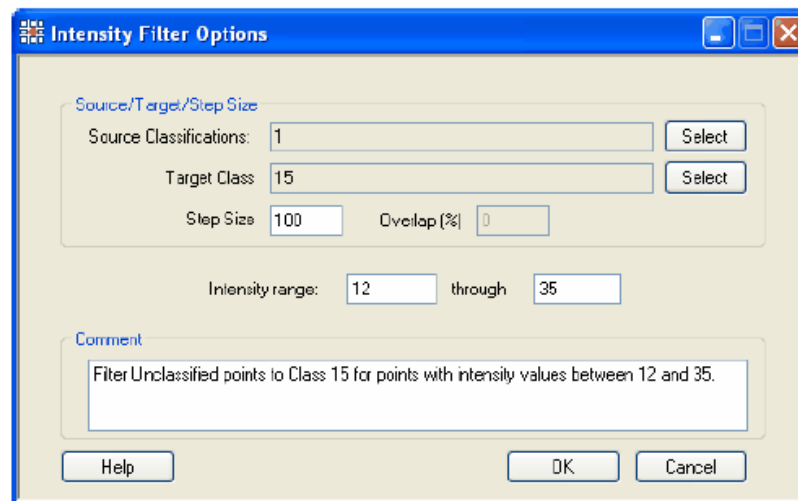
MDTopX: Nos encontramos con herramientas para poder aislar nubes de puntos introduciendo intervalos de intensidades.



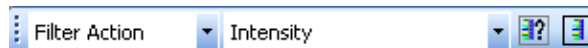
TerraScan: Existe una herramienta exclusiva para clasificar en función de las intensidades, elegimos intervalos de intensidades que queremos aislar:



MARS: Una de las herramientas que incluye es *Intensity*. Trabaja de igual forma que *Terrascan*.



Pero también puede clasificar de forma manual:



Y por medio de macros.

SCOP++: No podemos trabajar por intensidades.

3.4.3.3 Combinada Geométrica-Intensidad

FUSION: No contiene esta combinación.

MDTopX: Nos encontramos una herramienta exclusiva para combinar ambos criterios de clasificación, a su vez también está integrado en la herramienta Superficie mágica la cual integra todas las opciones de clasificación.



TerraScan: No tiene una herramienta de clasificación combinada de geometría-intensidad.

MARS: No contiene ninguna herramienta combinando ambos criterios.

SCOP++: No contiene esta combinación.

3.4.3.4 Combinada Geométrica-RGB

FUSION: No contiene esta herramienta.

MDTopX: De igual forma, para poder aplicar una clasificación con valores de RGB tenemos que sumar al archivo la imagen geo-referenciada de la zona y asignar a la nube de puntos los valores RGB de la imagen, una vez realizado esto podemos ejecutar la herramienta geométrica+RGB.

TerraScan: Para poder clasificar teniendo en cuenta los criterios RGB, antes tenemos que trabajar con la aplicación *Terraphoto*, ya que con ella podemos introducir la imagen geo-referenciada, una vez hecho esto dentro del menú de *TerraScan* tenemos que asignar a los puntos de la nube los valores RGB que se encuentran en la imagen referenciada, y por último podemos introducir los criterios combinando valores de RGB con valores geométricos.

MARS: Al igual que en los casos anteriores tenemos la posibilidad de realizar este tipo de clasificación dando los mismos pasos descritos anteriormente.

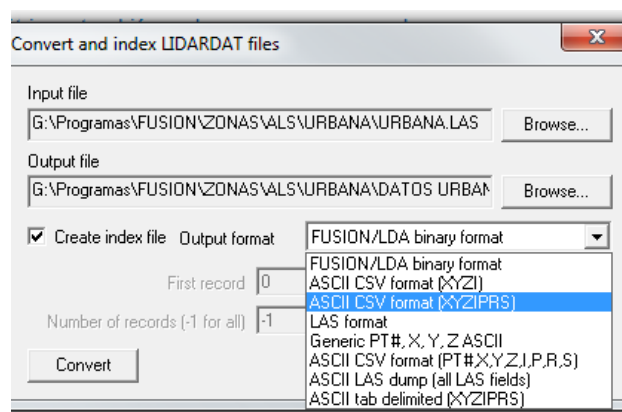
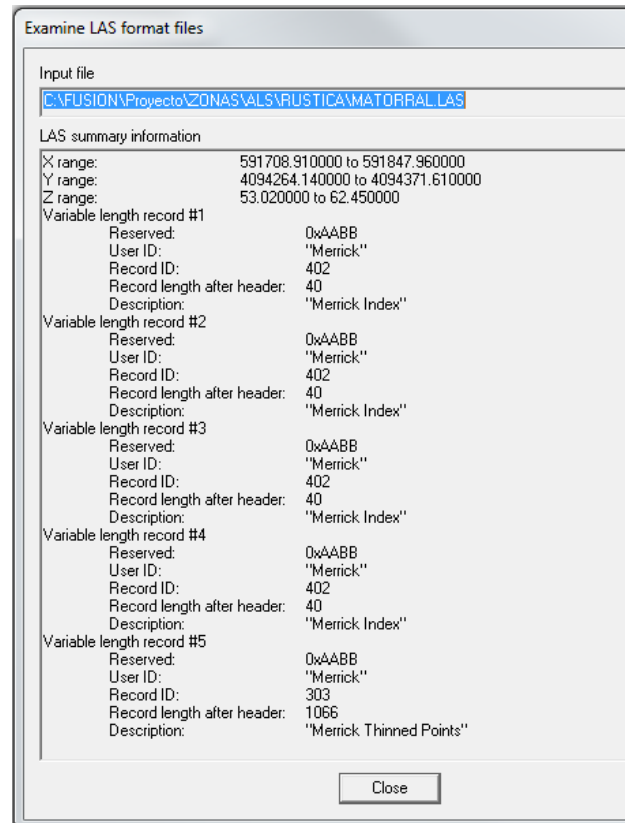
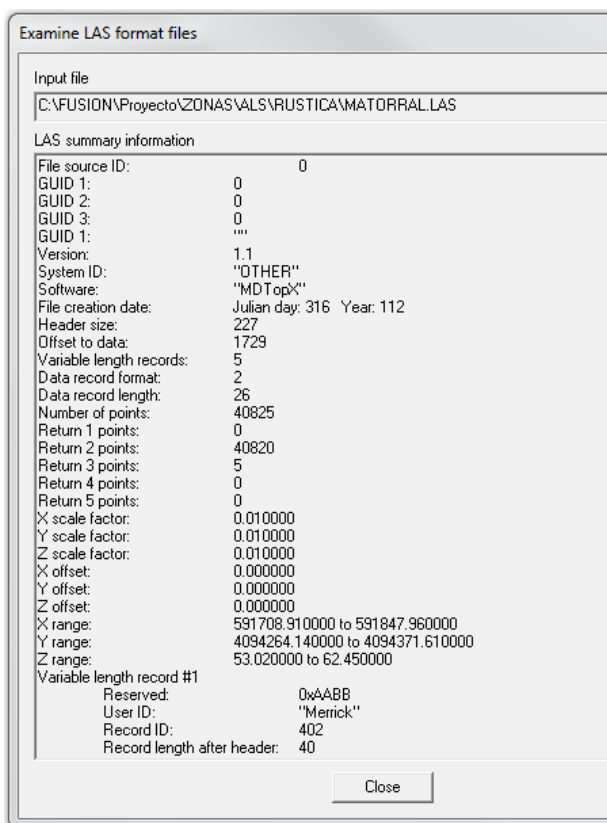
SCOP++: No contiene esta herramienta.

Teniendo en cuenta en general los criterios anteriores podemos indicar, que los dos más completos son *MDTopX* y *TerraScan* y hay que destacar que las herramientas en *MDTopX* son más fáciles al aprendizaje e intuitivas en el manejo y las de *TerraScan* son las que más combinaciones tienen pero son menos intuitivas. Les sigue *MARS*, que no es tan completa, ya que no contiene todas las combinaciones y es el más complicado de aplicar. Y por último valoramos *FUSION* y *SCOP* que tienen pocas o ninguna de las clasificaciones expuestas anteriormente.

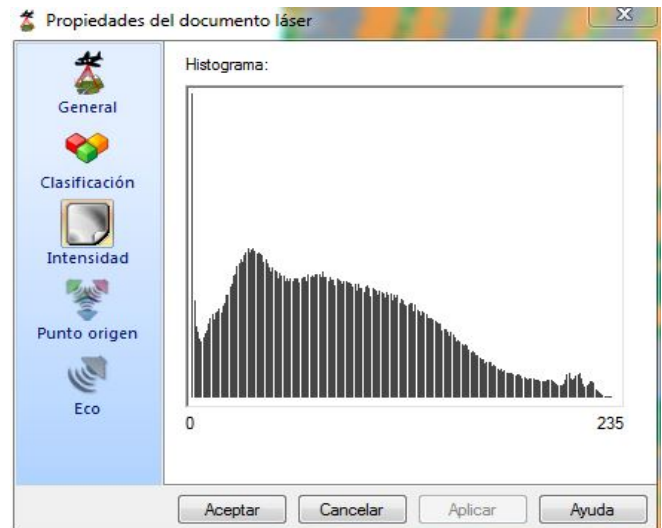
3.4.4 EXTRACCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LA NUBE DE PÚNTOS

En este punto vamos a estudiar la cantidad de información que podemos extraer de la nube de puntos, de forma global como individual. La importancia de este punto es debido a que los archivos .LAS tienen mucha información y no todas las aplicaciones son capaces de interpretarlas y tampoco de manejarlas. Dentro de la información que podemos extraer, la más importante es la densidad de puntos del documento, ya que es la que va a marcar tanto el tiempo de proceso como los criterios a establecer para generar una clasificación.

FUSION: Con esta aplicación podemos extraer la información general de distintos modos. Tenemos la opción de examinar los ficheros así como exportarlos a unos ficheros de texto ASCII o CSV ASCII. También podemos generar “catálogos” que nos dan más información (informes, gráficos, proyecciones...)



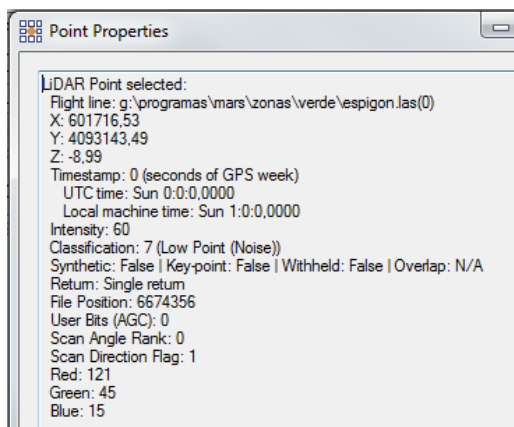
MDTopX: En esta aplicación podemos extraer mucha información de la nube de puntos, tanto de forma individual como global. De forma individual podemos utilizar la herramienta de información donde indicándole a *MDTop* el punto en concreto este nos devolverá un cuadro de diálogo presentándonos: Coordenadas, clasificación, nivel de intensidad, eco, nivel RGB, ángulo de incidencia y tiempo GPS. En cuanto a la información global, no sólo tiene una herramienta que nos devuelve información en conjunto de la nube de puntos sino que también disponemos de herramientas para seleccionar nubes de puntos con distintos criterios. La herramienta que nos devuelve la información (*Doc. Laser*) nos devuelve un cuadro de diálogo dividido a su vez en cuatro opciones. Aquí podemos extraer la densidad de puntos por metro cuadrado y por ende también los metros cuadrados de la zona representada en el archivo y la cantidad de puntos totales del documento. Dentro de ese cuadro de diálogo también nos presenta un histograma de intensidades, la cantidad de puntos dividida por el número de ecos y el número de pasadas y la cantidad de puntos que hay en cada pasada dentro del documento. Como indicábamos anteriormente no sólo podemos conocer esa información, sino también seleccionar los puntos en base a esos criterios y el programa abrirá una nueva ventana con la selección indicada.




TerraScan: Cuando abrimos el módulo TerraScan se nos abre una ventana en la cual, al abrir cualquier archivo .LAS, no sólo se nos presenta la nube de puntos de forma visual sino que en esta ventana podemos ver toda la información de todos los puntos. Esta ventana es configurable y podemos indicarle cuál es la información de los puntos que queremos ver. Existe comunicación entre dicha ventana (*main window*) y la ventana gráfica, podemos indicar en la ventana gráfica un punto que la aplicación automáticamente ira a la información de dicho punto en la *main window* y viceversa. Si queremos conocer la densidad de puntos podemos hacerlo a través de una herramienta individual para obtener este dato, podemos obtenerla de todo el documento y también de un área específica que indiquemos nosotros. Podemos clasificar puntos en base a estos criterios pero no seleccionarlos y aislarlos para trabajar con ellos de forma individual. No tiene una herramienta donde podamos ver la información global de la nube de puntos, pero si podemos obtener esta información ayudándonos de la *main window*.

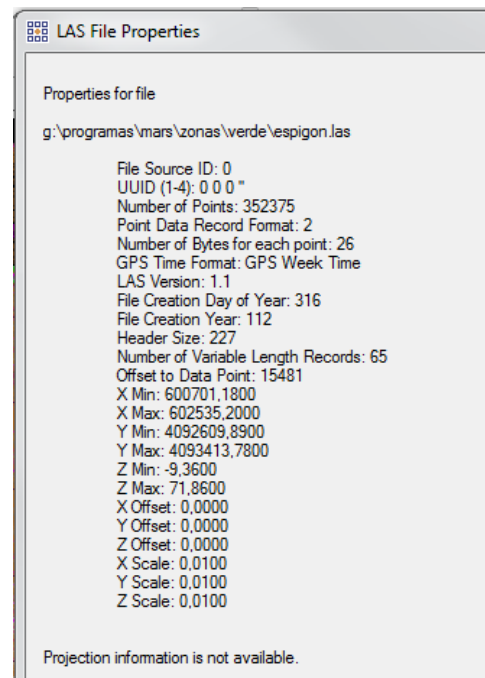
Classification	X	Y	Z	Intensity	Return	Number of Returns	Classification
2	620823.07	4175606.44	+435.07	139	+9	1/1	Ground
2	620823.17	4175606.28	+435.03	151	+9	1/1	Ground
2	620823.27	4175606.13	+434.99	164	+9	1/1	Ground
2	620823.37	4175605.98	+434.95	167	+9	1/1	Ground
2	620823.47	4175605.83	+434.91	164	+9	1/1	Ground
2	620823.56	4175605.68	+434.87	146	+9	1/1	Ground
2	620823.66	4175605.54	+434.86	147	+9	1/1	Ground
2	620823.75	4175605.39	+434.79	136	+9	1/1	Ground
2	620823.85	4175605.24	+434.71	126	+9	1/1	Ground
2	620823.94	4175605.09	+434.60	121	+9	1/1	Ground
2	620824.04	4175604.94	+434.48	131	+9	1/1	Ground
2	620824.14	4175604.80	+434.35	144	+9	1/1	Ground
2	620824.21	4175604.68	+434.35	147	+9	1/1	Ground
2	620824.30	4175604.55	+434.26	157	+9	1/1	Ground
2	620824.38	4175604.42	+434.22	164	+9	1/1	Ground
2	620824.46	4175604.30	+434.20	174	+9	1/1	Ground
2	620824.53	4175604.19	+434.21	182	+9	1/1	Ground
2	620824.60	4175604.07	+434.20	183	+9	1/1	Ground

MARS: En esta aplicación podemos extraer información de la nube de puntos tanto de forma individual como global.



De forma individual podemos utilizar la herramienta de información , después de seleccionarla podemos marcar cualquier punto y nos devuelve un cuadro con la información.

En cuanto a la información global nos devuelve la información del conjunto de la nube de puntos.

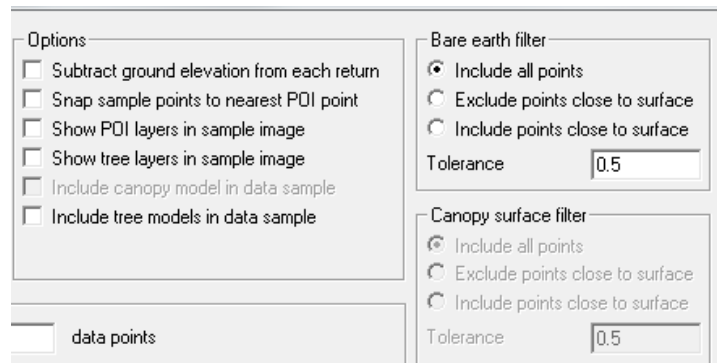


SCOP++: Esta aplicación no cuenta con ninguna herramienta para poder obtener información de la nube de puntos de ninguna de las formas, ni individualmente ni de forma global, ni siquiera podemos ver la nube de puntos.

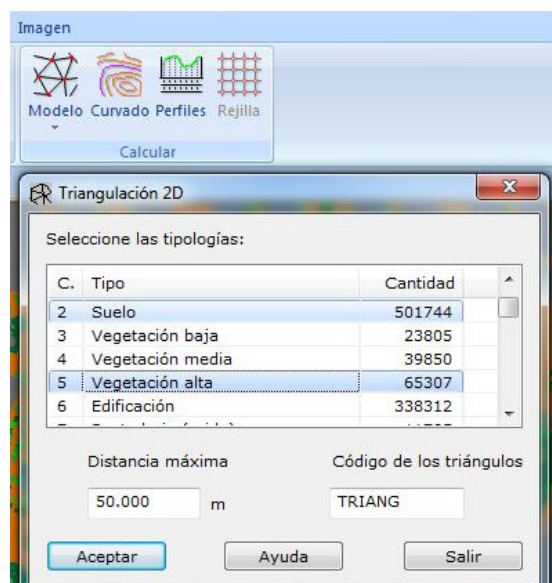
3.4.5 GENERACIÓN DE MDT

El objeto de estudio de este punto se centra en la opción o no de generar modelos de superficie.

FUSION: Esta aplicación genera lo que llama “*Bare Earth (BE) DTM Surface*” que es un modelo del terreno después de realizar una clasificación de los puntos como “*Bare Earth*” (Tierra Desnuda). También podemos generar dos modelos de superficie uno que generamos con el comando “*Canopymodel*” el cual genera un archivo “*CSM.mdt” con la altura de la vegetación y el otro es normalizando el archivo “*CSM.dtm” con “*Bare Earth*” que llamaremos “*CHM.mdt”.



MDTopX: Desde esta aplicación podemos generar modelos realizando una selección de los puntos que los van a generar, esta selección será en base a la clasificación previa de la nube de puntos y podemos hacer tantas combinaciones como queramos, puntos sólo clasificados como suelo (MDT), puntos de suelo más vegetación...



TerraScan: Desde la propia aplicación TerraScan no es posible realizar modelos, tenemos que trabajar con otro módulo que se llama TerraModeler, desde este último si es posible y podemos generar de igual forma tantos modelos como combinaciones queramos sobre la nube de puntos clasificada.

MARS: Para obtener el modelo solo tenemos que indicárselo en la barra de herramientas.



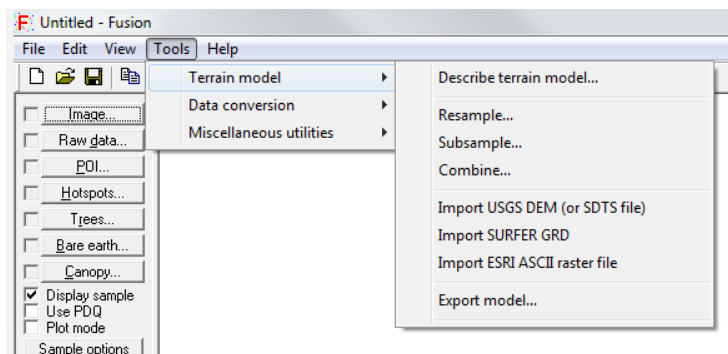
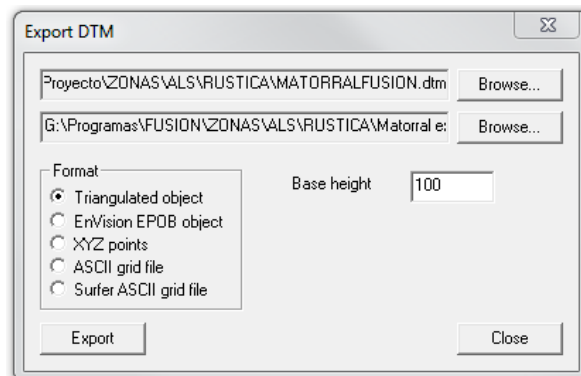
Nos hará el modelo de los puntos que estén visibles, los cuales podemos elegir activando o desactivándolos según su clasificación.

SCOP++: Desde Scop podemos generar modelos, es más, es la principal finalidad de esta aplicación, ya que la clasificación la entiende como parte del proceso para la obtención del modelo.

3.4.6 EXTRACCIÓN CARTOGRÁFICA

En este apartado analizamos los diferentes productos que podemos extraer una vez hemos clasificado la nube de puntos y realizado el modelo. Nos referimos a mapas de sombreados, de tintas hipsométricas, curvados, etc.

FUSION: Esta aplicación nos permite extraer información cartográfica de distintas formas, tales como curvas de nivel, modelos, imágenes raster,...



MDTopX: Una vez realizado el modelo digital sobre él podemos sacar múltiples productos, mapas de sombras, mapas de tintas hipsométricas, mapas de pendientes, mapas de orientaciones, curvados e incluso podemos generar videos moviendo cámaras sobre el modelo. También podemos exportar imágenes raster de los puntos según la visualización que nos interese.

TerraScan: Desde el propio *Terrascan*, podemos exportar imágenes raster de la nube de puntos y mapa de tintas hipsométricas.

MARS: En esta aplicación se puede exportar la malla en diferentes formatos como los puntos, pero no admite mapa de tintas, hipsométricos... También podemos exportar imágenes raster de los puntos según la visualización que nos interese y al igual que MDTopX podemos crear videos.



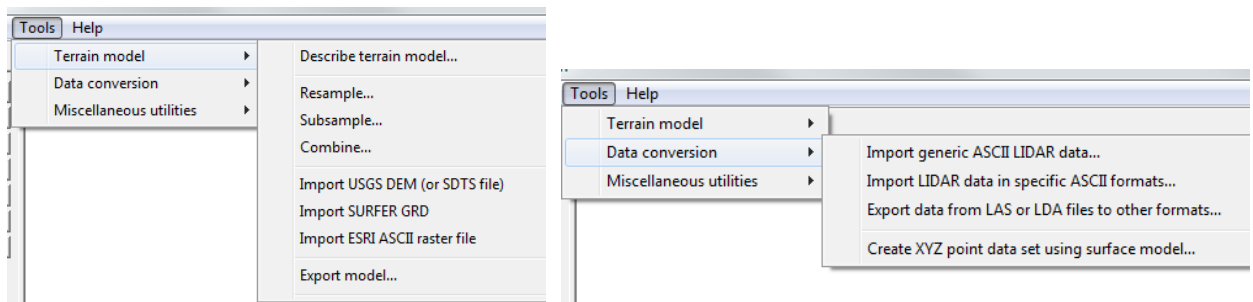
SCOP++: Una vez generado el modelo, podemos visualizar estos como mapa de sombras y tintas hipsométricas, también podemos generar curvados.

3.4.7 COMPATIBILIDAD CON OTROS FORMATOS

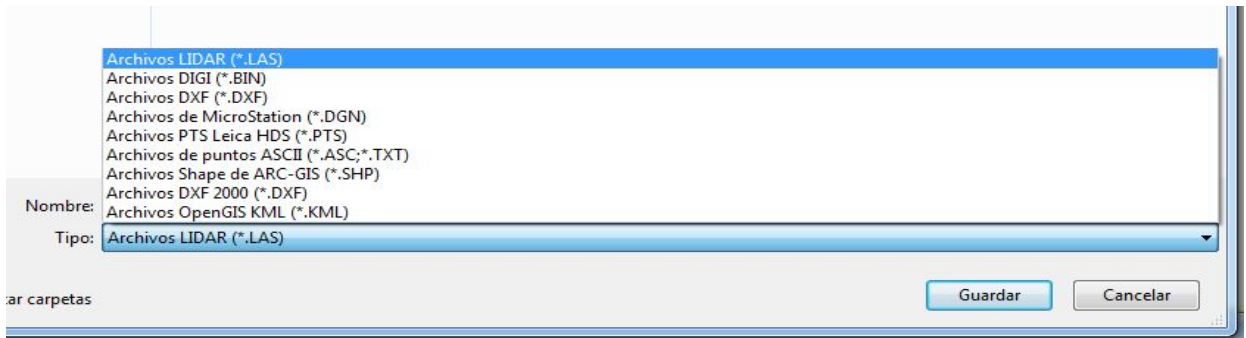
La posibilidad de extraer la información una vez clasificada y ser capaces de poder visualizarla en otras aplicaciones para sacar provecho de ellas es importante ya que no todas las empresas van a tener en su poder las aplicaciones exclusivas de LiDAR y es necesaria la manejabilidad de los datos para poder sacar otros productos derivados de la nube de puntos, por ello introducimos este apartado.

FUSION: Esta aplicación permite importar y exportar en múltiples formatos. Los formatos de datos LIDAR con los que trabaja esta aplicación son LDA y LAS pero también puede transformar ficheros de texto ASCII y ASCII CSV a LDA.

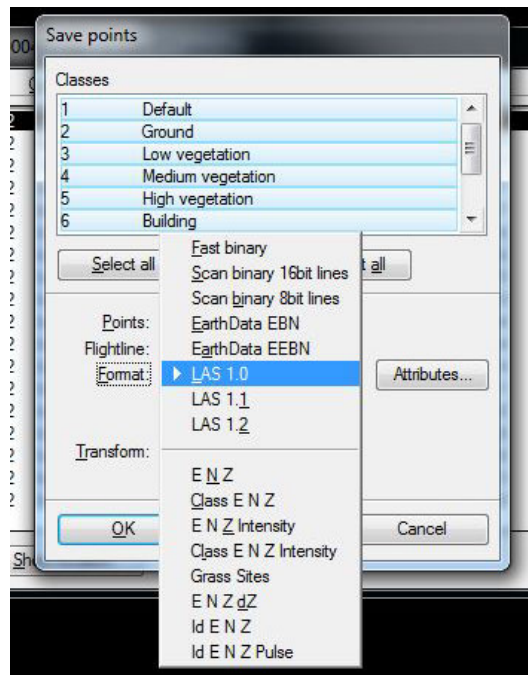
A la hora de exportar, esta aplicación lo puede realizar en múltiples formatos, tanto la nube de puntos como los modelos digitales y a la vez puede crear ficheros con información adicional de los datos que nos pueden ayudar en el análisis.



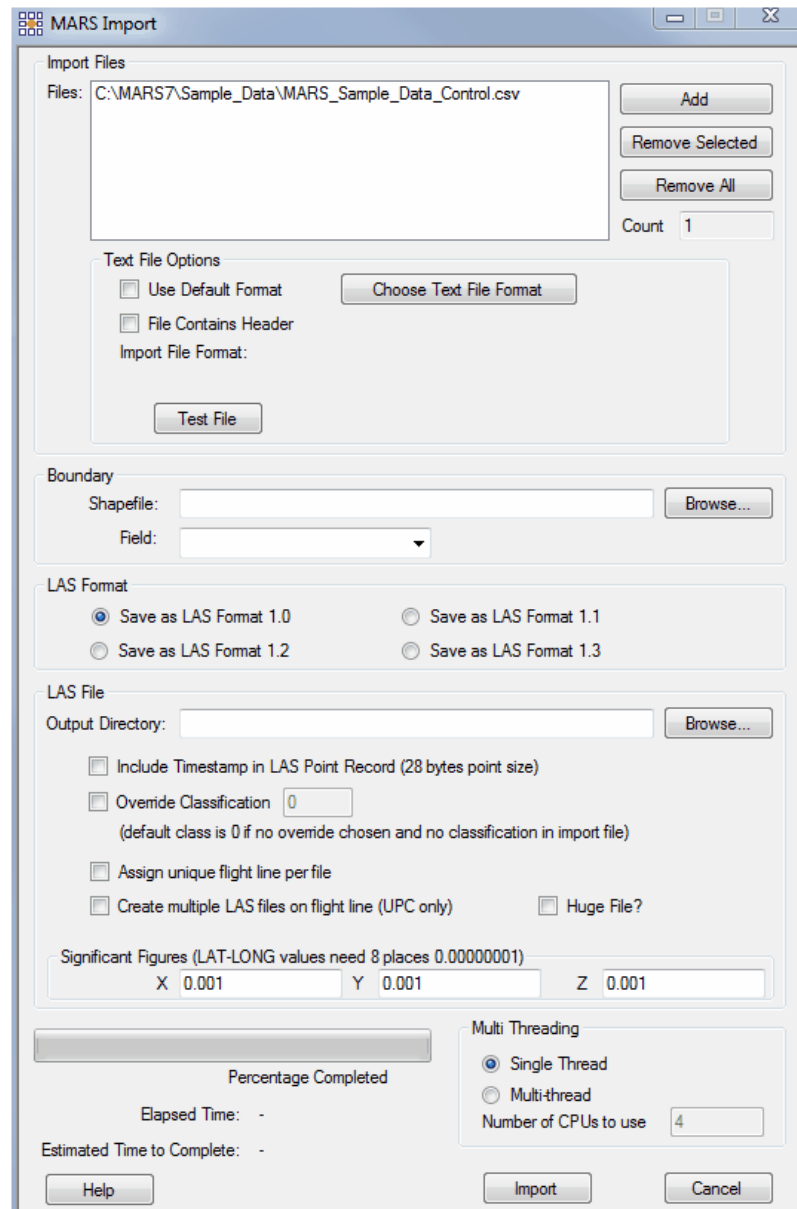
MDTopX: Esta aplicación nos da la posibilidad de exportar en múltiples formatos, tanto la nube de puntos como los modelos digitales.



TerraScan: Al igual que la aplicación anterior tenemos diversas formas de exportar la información



MARS: Esta aplicación nos permite importación datos en distintos formatos y se utiliza para convertir los archivos de datos de elevación al formato LAS. Los formatos de importación de datos que acepta son: Archivos de texto ASCII, ESRI ASCII Grid, ESRI Float Grid, TerraScan binarios, GeoTIFF Grid (o TIFF Grid con el archivo mundial).



Esta aplicación permite exportar los datos en varios formatos compatibles que son: LAS, archivos de texto (ASCII), ESRI, ESRI Float Grid, ESRI ASCII Grid, TerraScan binario, Contornos (Shapefile), curvas de nivel (DGN), Grid - LAS, Grid - TIFF, Grid - IMG, Grid - ENVI (elevación).

SCOP++: Podemos exportar los documentos en el formato exclusivo de SCOP++ y en .DXF

3.4.8 FACILIDAD DE MANEJO O APRENDIZAJE

Queremos introducir esta variable en la comparativa debido a que creemos que las aplicaciones no sólo deben ser potentes y realizar las operaciones de forma eficaz y rápido, sino también de fácil manejo para el usuario, con un interfaz adecuado, para facilitar la

operabilidad, ya que la aplicación por si misma carece de importancia y necesita de un operador que la ejecute forma correcta.

FUSION: Los conocimientos técnicos necesarios para poder usar esta aplicación tienen que ser avanzados.

MDTopX: El interfaz que utiliza esta aplicación es muy intuitivo, trabaja a través de iconos muy gráficos que hacen fácil al operador la elección de la herramienta necesaria. Podemos ver los menús dedicados al procesado de LiDAR. Los criterios que hay que introducir a la hora de generar la clasificación o extracción de información están dentro de cuadros de diálogos de fácil comprensión. A parte *MDTop* consta de una ayuda completa y de fácil comprensión con ejemplos. Es una aplicación altamente recomendable para la docencia ya que permite comprender las operaciones necesarias para la correcta clasificación de la nube de puntos obtenida por tecnología LiDAR.

TerraScan: Para poder manejar esta aplicación, es necesario tener previamente conocimientos de manejo de la aplicación bajo la que trabaja Microstation, aparte los menús tanto desplegados como los iconos de las herramientas no son intuitivos y requiere de un conocimiento previo de cómo clasificar una nube de puntos, para buscar las herramientas que necesitamos, e incluso conociendo los procedimientos es costoso encontrar dichas herramientas. La aplicación es muy potente y está más orientada a la producción, no es recomendable para la docencia y para la comprensión del procedimiento de la metodología de la clasificación, ya que esta todo demasiado automatizado y los procesos no quedan claros.

MARS: Esta aplicación tiene iconos que nos facilitan el manejo y menús desplegados pero no son muy intuitivos y requieren de un conocimiento previo de cómo se clasifica la nube de puntos.

SCOP++: Este es sin duda la aplicación de manejo menos intuitivo, aunque a priori viendo los pocos procesos que podemos realizar pudiera llevar a pensar que es de fácil manejo, la verdad es que no es así, nos encontramos con una aplicación poco flexible y cuyos pasos a dar para generar una clasificación no están claros y por tanto no somos capaces de introducir de forma correcta los criterios de clasificación a no ser que tengas un alto conocimiento de LiDAR. Esta aplicación está orientada para una clasificación automatizada y orientada sólo para obtener modelos digitales, no para obtener información a cerca de LiDAR.

3.4.9 SISTEMAS OPERATIVOS

En este apartado indicamos bajo que sistemas operativos podemos trabajar con cada una de las aplicaciones.

FUSION: El sistema de visualización se compone de dos programas principales, FUSION y LDV (visor de datos LiDAR), implementado como aplicaciones de Microsoft Windows codificados en C + + utilizando Microsoft Foundation Classes.

MDTopX:

Requisitos del sistema:

MDTopX se ejecuta en el sistema operativo *Microsoft Windows*. Para instalar y empezar a utilizar *MDTopX*, es necesario el siguiente hardware y software:

- Un procesador Intel Pentium II (300 Mhz o más), o equivalente que ejecute Windows 2000, Windows NT versión 4 (Service Pack 6), Windows ME o Windows XP.
- Memoria RAM suficiente para cumplir los requisitos del sistema operativo (recomendable 128 Mb)
- 15 Mb de espacio disponible en disco
- Unidad de CD-ROM
- Un monitor color capaz de alcanzar una resolución de 1024 x 768 píxeles y 16 bits, con miles de colores (se recomiendan millones de colores)
- Un puerto USB o paralelo para conectar la llave de protección.

TerraScan:

Requisitos de hardware y software

TerraScan está construido en la cima de *MicroStation*. Debe tener un sistema informático capaz de ejecutar este entorno CAD. Para ejecutar *TerraScan*, debe tener lo siguiente:

- Procesador Pentium o superior
- Windows XP, 2000 o NT 4.0
- Ratón
- 1024 * resolución de pantalla de 768 o mejor
- 256 MB RAM (1024 MB recomendados para el trabajo de producción)
- *MicroStation SE, MicroStation J, MicroStation V8 o MicroStation GeoOutlook* instalados
- Instalación de *TerraScan* requiere alrededor de 2 MB de espacio libre en el disco duro.

MARS:

Requisitos mínimos del sistema:

- 1 GHz 32-bit (x86) o 64 bits (x64).
- 2 GB de RAM.
- 10 GB de espacio disponible en disco duro.



- Tarjeta gráfica / monitor SXGA (1280 x 1024) o de mayor resolución; 128 MB de memoria de gráficos.
- Conexión a Internet.
- Puerto USB (I / O) si se utiliza una llave de hardware USB (dongle) para las licencias.
- Unidad de CD-ROM o DVD-ROM.
- Teclado y ratón de 2 botones o dispositivo señalador compatible.

Requisitos del sistema recomendados:

- 2 GHz 64-bit (x64) procesadores multi-core, Intel Core i7 o procesador equivalente preferido.
- Microsoft Windows 7 (64-bit) o Server 2008 (64-bit).
- 8,0 GB o más de RAM.
- 20 GB de espacio disponible en el disco duro.
- Tarjeta gráfica / monitor SXGA (1280 x 1024) o de mayor resolución; CUDA tarjeta gráfica nVidia con 512 MB de memoria de gráficos.
- Conexión a Internet.
- Puerto USB (I / O) si se utiliza una llave de hardware USB (dongle) para las licencias.
- Unidad de CD-ROM o DVD-ROM.
- Teclado y ratón de 2 botones con rueda de desplazamiento o dispositivo señalador compatible.

Requisitos del sistema operativo:

- Windows XP x86 (32 bits) con Service Pack 3 o superior.
- Windows XP x64 (64 bits) con Service Pack 2 o superior.
- Windows Vista x86 y x64 (de 32 bits y 64 bits) con Service Pack 2 o superior.
- Windows 7 x86 y x64 (de 32 bits y 64 bits).
- Windows Server 2003 x86 y x64 (de 32 bits y 64 bits) con Service Pack 2 o superior.
- Windows Server 2008 x86 y x64 (de 32 bits y 64 bits) con Service Pack 2 o superior.
- Windows Server 2008 x86 y x64 R2 (ambos de 32 bits y 64 bits).

MARS ® no se ejecutará en un entorno virtual (como un shell de Windows, en MacOS o Linux).

Otras recomendaciones:

- El controlador de gráficos debe ser actualizado a la última versión desde el sitio web del fabricante de la tarjeta gráfica. Por lo general, el controlador de gráficos que incluye con el equipo o la tarjeta no está actualizado.
- Ejecución de Microsoft Update, se recomienda instalar todos los Service Pack y las actualizaciones NET Framework.
- Correr en hardware y sistemas operativos de 64 bits Se recomienda encarecidamente la mayor cantidad de memoria RAM instalada como sea posible.

SCOP++:

Requisitos de hardware:

- Windows 2000/XP/Vista
- Al menos 512 MB de RAM (se recomienda 1024 MB).
- Por lo menos 100 MB de espacio libre en disco.
- Almacenamiento para la resolución *dataScreen* (1280x1024 y superior).

3.4.10 MATRIZ DE PONDERACIÓN

En este punto exponemos de forma cuantitativa lo que hemos reflejado en los apartados anteriores.

La determinación de estos valores se ha realizado en función de la edición generada con cada aplicación y ponderando aquellos que bajo nuestro criterio son decisivos, como la visualización de perfiles, el movimiento de la nube de puntos, el color de la nube, información global,...etc.

La ausencia de alguno de los criterios implica en el cuadro de valores un 0.

Los criterios están agrupados y se han realizado sumatorios de cada uno de los grupos y también un sumatorio final, para poder dar valor no sólo a la aplicación de forma conjunta sino también en cada uno de los conjuntos.

La matriz con todos los valores se encuentra en el anejo.

3.5 EDICIÓN GENERADA CON LAS APLICACIONES

En este apartado describiremos el funcionamiento de cada uno de los programas que hemos propuesto para el estudio y como hemos procesado las distintas zonas elegidas con cada uno de ellos.

3.5.1 FUSION

El software *FUSION* / *LDV* fue desarrollado originalmente para ayudar a los investigadores a comprender, explorar y analizar los datos LiDAR. Los conjuntos de datos, de gran tamaño, producidos comúnmente por las misiones LiDAR, no podían utilizarse en SIG comerciales o entornos de procesamiento de imágenes sin un amplio procesamiento previo.

Las tareas simples, tales como la extracción de una muestra de datos LiDAR que correspondían a una parcela de campo se complicaron por el tamaño de corte de los datos y la variedad de formatos de texto ASCII proporcionados por diversos proveedores. Las versiones originales del software permiten a los usuarios seleccionar una muestra de datos y visualizarla de forma interactiva. El software se modificó para leer los formatos de datos y se añadieron características dependiendo de las necesidades de un proyecto de investigación particular. Después de un año o así, los científicos de la Estación de Investigación del Pacífico Noroeste y la Universidad de Washington decidieron diseñar un sistema más completo para apoyar sus esfuerzos de investigación.

El sistema de análisis y visualización consiste en dos programas principales, *FUSION* y *LDV* (visor de datos LiDAR), y una colección de programas específicos de tareas de línea de comandos. La interfaz principal, proporcionada por *FUSION*, consta de una pantalla de visualización gráfica y una ventana de control. La pantalla de *FUSION* presenta todos los datos del proyecto mediante una pantalla 2D típica de los sistemas de información geográfica. Es compatible con una gran variedad de tipos y formatos de datos, incluyendo archivos de formas, imágenes, modelos digitales del terreno, modelos de la superficie del dosel, y devolver datos LiDAR. El *LDV* proporciona el entorno de visualización 3D para el examen y valoración de los subconjuntos de datos espacialmente explícitos. Unos programas de línea de comandos proporcionan un análisis específico y capacidades de procesamiento de datos diseñadas para hacer *FUSION* adecuado para el procesamiento de grandes adquisiciones LiDAR.

En *FUSION*, las capas de datos se clasifican en seis categorías: imágenes, datos primarios, puntos de interés, puntos de acceso, árboles, y los modelos de superficie:

- Imágenes: pueden ser cualquier imagen geo-referenciada, pero por lo general son ortofotos, imágenes desarrolladas utilizando intensidad o valores de elevación a partir de datos de retorno LiDAR, u otras imágenes que muestran los resultados del análisis espacialmente explícito.
- Datos primarios: incluyen datos de retorno LiDAR y archivos de puntos XYZ simples.

- Puntos de interés (POI): pueden ser cualquier punto, línea, polígono o capa que proporciona información visual útil o ubicaciones de los puntos de muestreo.
- Puntos de acceso (*hotspots*): son marcadores espacialmente explícitos vinculados a referencias externas tales como imágenes, sitios web, o pre-muestra de subconjuntos de datos.
- Archivos de árboles: contienen datos, por lo general se miden en el campo, en representación de los árboles individuales.
- Modelos de superficie: representan el suelo desnudo o una superficie *canopy*. Deben estar en un formato de cuadrícula.

FUSION utiliza el formato de los planes para sus modelos de superficie y proporciona utilidades para convertir varios formatos al formato PLANES. La aplicación *FUSION* actual limita al usuario a una sola imagen, modelo de superficie, y el modelo de cubierta, sin embargo, permite el uso de múltiples datos en bruto, PDI, árbol, y las capas de puntos de acceso. La interfaz *FUSION* proporciona a los usuarios una pantalla fácil de entender con todos los datos del proyecto. Los usuarios pueden especificar atributos de visualización para todos los datos y pueden alternar la visualización de los diferentes tipos de datos.

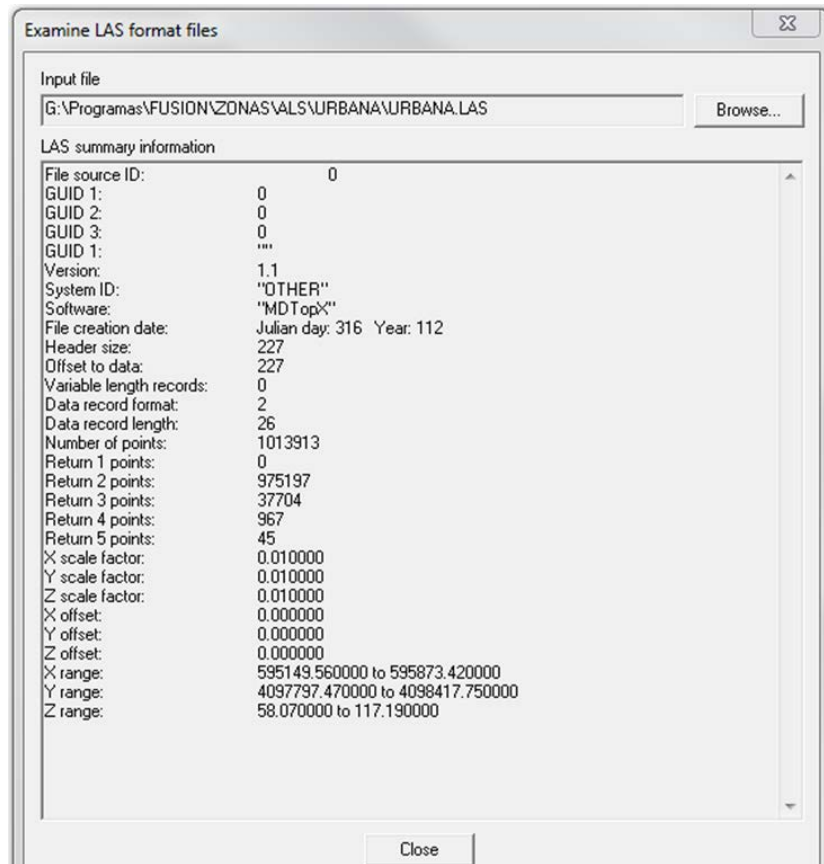
FUSION permite a los usuarios seleccionar y mostrar subconjuntos de grandes datos LiDAR rápida y fácilmente. Los usuarios especifican el tamaño del subgrupo, la forma y las reglas que se utilizan para asignar colores a los puntos de los datos brutos individuales y luego seleccionar los lugares de la muestra en la pantalla gráfica o introduciendo manualmente las coordenadas de los puntos que definen la muestra.

LDV presenta al usuario un subconjunto para poder examinar. Los subconjuntos incluyen no sólo los datos en bruto, sino también la parte de la imagen y los modelos de superficie para el área muestreada.

3.5.1.1 Edición ALS

Con este programa no podemos hacer una clasificación como realizaremos con los otros programas pero podemos analizar los datos de otra forma.

Los datos pueden venir en varios formatos (texto ASCII, CSV ASCII, LDA o LAS). Una vez determinado el formato tenemos que inspeccionar su contenido y para ello podemos utilizar: dentro de *FUSION*/ Utilidades /Comprobación de los archivos LAS, un editor de texto (por ejemplo, Wordpad o el bloc de notas) para abrir un archivo de texto ASCII, o utilizar Excell para abrir un archivo CSV ASCII.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X,"Y","Elevation","Intensity","PulseNumber","ReturnNumber","NadirAngle"							
2	595149.620000,4098400.680000,82.809998,52.000000,0,1,3.000000							
3	595149.690000,4098402.150000,82.879997,56.000000,0,1,3.000000							
4	595149.760000,4098403.590000,82.989998,83.000000,0,1,3.000000							
5	595149.840000,4098405.040000,82.980003,81.000000,0,1,3.000000							
6	595149.720000,4098406.540000,86.709999,0.000000,0,1,3.000000							
7	595149.920000,4098406.520000,83.050003,73.000000,0,2,3.000000							
8	595149.810000,4098407.980000,86.480003,3.000000,0,1,3.000000							
9	595149.990000,4098407.970000,83.110001,0.000000,0,2,3.000000							
10	595149.880000,4098409.450000,86.519997,2.000000,0,1,3.000000							
11	595150.140000,4098410.890000,83.160004,74.000000,0,1,3.000000							
12	595150.220000,4098412.350000,83.150002,85.000000,0,1,3.000000							
13	595150.290000,4098413.810000,83.309998,44.000000,0,1,3.000000							
14	595150.360000,4098415.270000,83.269997,92.000000,0,1,4.000000							
15	595150.430000,4098416.700000,83.220001,80.000000,0,1,4.000000							
16	595150.880000,4098416.310000,83.250000,59.000000,0,1,4.000000							
17	595150.800000,4098414.840000,83.239998,65.000000,0,1,3.000000							
18	595150.740000,4098413.390000,83.190002,96.000000,0,1,3.000000							
19	595150.670000,4098411.930000,83.180000,67.000000,0,1,3.000000							
20	595150.600000,4098410.480000,83.050003,71.000000,0,1,3.000000							
21	595150.360000,4098409.040000,86.220001,0.000000,0,1,3.000000							
22	595150.250000,4098407.560000,86.769997,2.000000,0,1,3.000000							
23	595150.450000,4098407.540000,83.110001,59.000000,0,2,3.000000							
24	595150.380000,4098406.070000,83.000000,75.000000,0,1,3.000000							
25	595150.310000,4098404.620000,82.879997,74.000000,0,1,3.000000							
26	595150.240000,4098403.150000,82.860001,67.000000,0,1,3.000000							
27	595150.160000,4098401.680000,82.910004,64.000000,0,1,3.000000							
28	595150.090000,4098400.260000,82.790001,71.000000,0,1,3.000000							
29	595150.020000,4098398.790000,82.769997,74.000000,0,1,3.000000							
30	595149.950000,4098397.310000,82.680000,69.000000,0,1,3.000000							
31	595149.880000,4098395.860000,82.650002,61.000000,0,1,3.000000							
32	595149.800000,4098394.390000,82.610001,57.000000,0,1,3.000000							
33	595149.580000,4098392.970000,85.419998,2.000000,0,1,3.000000							
34	595149.670000,4098391.480000,82.540001,62.000000,0,1,3.000000							
35	595149.590000,4098390.030000,82.580002,69.000000,0,1,3.000000							
36	595149.600000,4098374.090000,82.139999,90.000000,0,1,2.000000							
37	595149.670000,4098375.550000,82.209999,91.000000,0,1,2.000000							
38	595149.750000,4098376.980000,82.209999,101.000000,0,1,2.000000							
39	595149.820000,4098378.430000,82.220001,71.000000,0,1,2.000000							
40	595149.900000,4098379.870000,82.260002,77.000000,0,1,2.000000							

Lo primero que tenemos que hacer es cargar una imagen georeferenciada que proporcionará el sistema de coordenadas y de referencia visual para los datos LiDAR. Hay al menos tres formas de introducir una imagen de referencia utilizable:

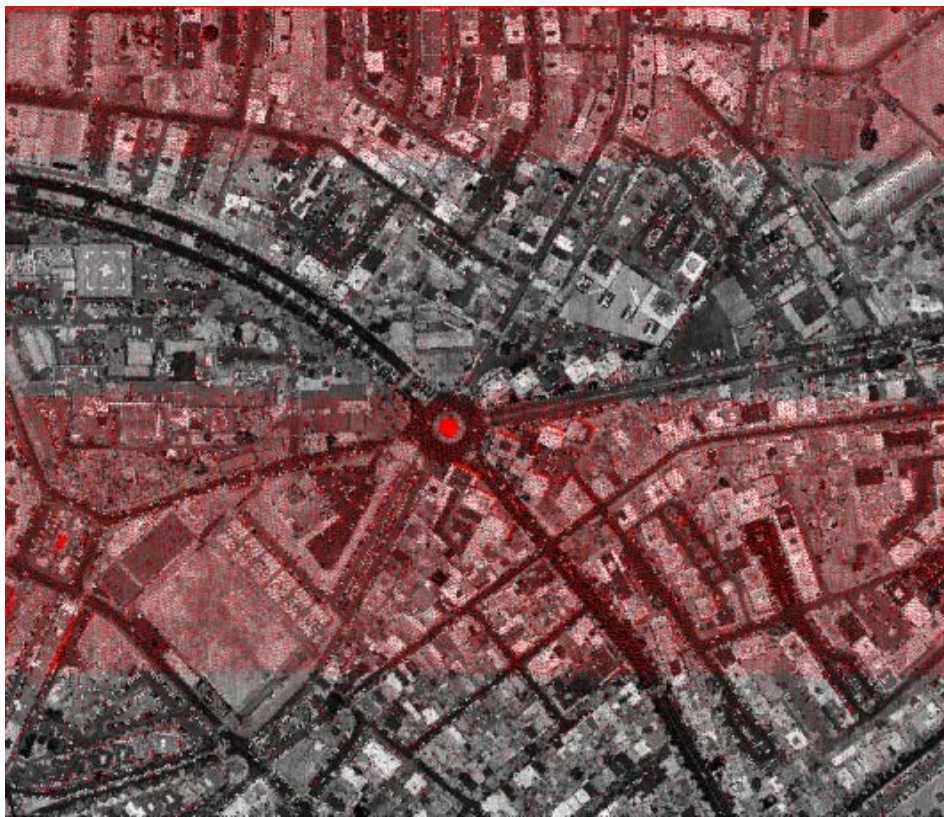
- 1) Encontrar una imagen georreferenciada existente (por ejemplo NAIP), recordando como volver a proyectar la imagen para que coincida con la proyección LIDAR pues esta debe estar en la misma proyección y las mismas unidades que los datos LiDAR aunque puede ser más pequeña o más grande;
- 2) Utilizar la imagen Crear usando la utilidad de datos LIDAR (botón Utilidades);

- 3) se puede crear una imagen de referencia de forma automática mediante la ejecución de la utilidad de línea de comandos de DOS catalog.exe

```
urbana_fusion.bmpw: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
1.000000
0.000000
0.000000
-1.000000
595149.560000
4098417.750000
```

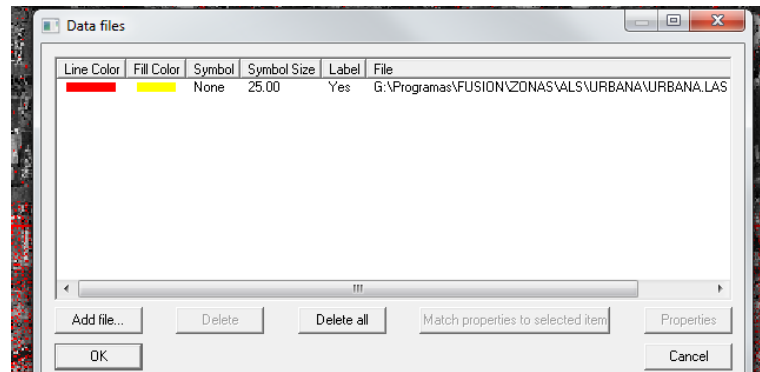
En este caso vamos a cargar la imagen con la utilidad “Crear usando datos LiDAR” para crear nuestra imagen de referencia.

ZONA URBANA



Los píxeles rojos representan el fondo de la imagen (sin datos). Esta es una manera rápida de verificar la distribución de los datos, sin embargo, puede volver a crear la imagen de referencia (o crear otra) o aumentar el tamaño de píxel.

Una vez que tenemos la imagen cargamos los datos LiDAR



El siguiente paso es crear la Superficie de tierra desnuda (*Bare Earth Surface*).

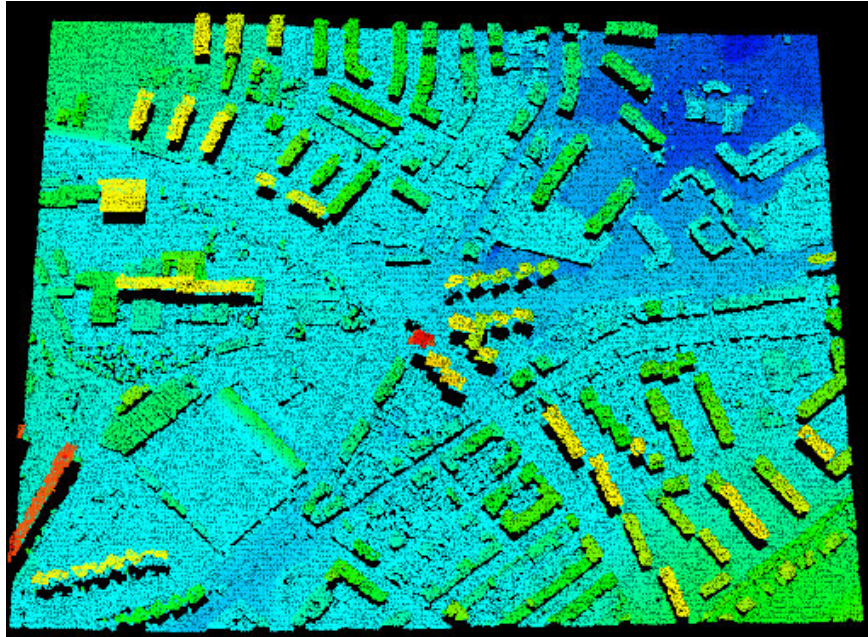
La superficie de tierra desnuda es importante en sí misma, ya que también proporciona la elevación de referencia para la medición de las alturas de las características de los datos (es decir, por lo general estamos más interesados en las alturas de las características sobre el nivel del suelo que en la elevación sobre el nivel del mar).

Es un proceso de dos pasos, primero vamos a filtrar los datos para eliminar los retornos LIDAR sobre el suelo, entonces vamos a crear la superficie de la Tierra Desnuda de los restantes (tierra).

Este procedimiento se lleva a cabo desde el símbolo del sistema DOS usando el programa *GroundFilter* para crear un archivo de datos con solo los puntos de tierra del archivo "urbana.las". Al archivo que genera le llamamos "urbana_groundpoints.las"

```
Símbolo del sistema - cmd - "cmd"
c:\FUSION>Groundfilter /gparam:-1 /wparam:2 /tolerance:0.1 /iterations:10 c:\FUSION\Proyecto\urbana_groundpoints.las 2 c:\FUSION\Proyecto\ZONAS\ALS\URBANA\URBANA.LAS
GroundFilter v1.62 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 12:00:50) DEBUG
Command line: Groundfilter /gparam:-1 /wparam:2 /tolerance:0.1 /iterations:10 c:\FUSION\Proyecto\urbana_groundpoints.las 2 c:\FUSION\Proyecto\ZONAS\ALS\URBANA\URBANA.LAS
Run started: Thu Nov 07 23:11:52 2013
Data files:
c:\FUSION\Proyecto\ZONAS\ALS\URBANA\URBANA.LAS: 1013913 points
Ground point file produced:
c:\FUSION\Proyecto\urbana_groundpoints.las Nov 7, 2013 @ 11:11 PM
593431 ground points
Run finished: Thu Nov 07 23:11:58 2013 (elapsed time: 6 seconds)
Done
```

Cargamos urbana_groundpoints.las en FUSION (botón...Raw data) y revisamos los resultados.



Los colores representan los datos de elevación.

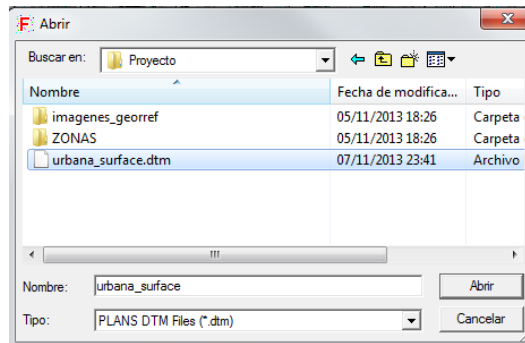
El siguiente paso es crear la Superficie de Tierra Desnuda (*Bare Earth*) (BE) DTM.

Una vez más, vamos a trabajar desde el símbolo del sistema DOS, esta vez utilizando el comando "GridSurfaceCreate" para crear una superficie BE desde los puntos de BE que acabamos de crear.

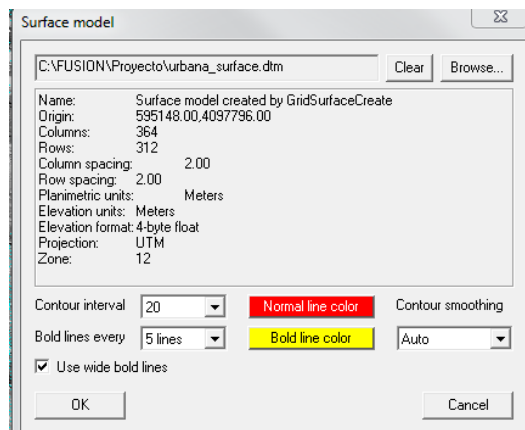
```
Símbolo del sistema - cmd - "cmd"
c:\FUSION>gridsurfacecreate c:\FUSION\Proyecto\urbana_surface.dtm 2 M M 1 12 0 0
c:\FUSION\Proyecto\urbana_groundpoints.las
GridSurfaceCreate v1.94 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 11:58:01) DEBUG
Command line: gridsurfacecreate c:\FUSION\Proyecto\urbana_surface.dtm 2 M M 1 1
2 0 0 c:\FUSION\Proyecto\urbana_groundpoints.las
Run started: Thu Nov 07 23:41:03 2013
Using 1 data files:
c:\FUSION\Proyecto\urbana_groundpoints.las: 593431 pts
Surface model file produced:
c:\FUSION\Proyecto\urbana_surface.dtm Nov 7, 2013 @ 11:41 PM
Run finished: Thu Nov 07 23:41:04 2013 (elapsed time: 1 seconds)
Done
```

Una vez que se ha ejecutado correctamente el comando anterior. Antes de colocar la superficie que acabamos de generar, nos aseguraremos de que la imagen de referencia se carga.

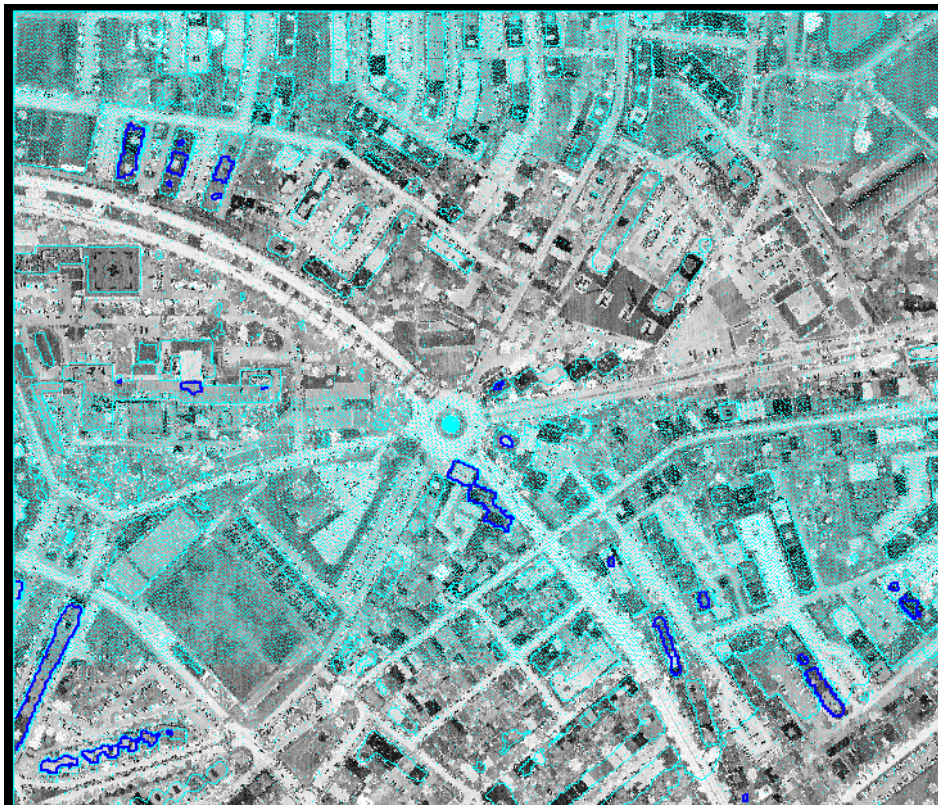
Seleccionamos el botón de tierra desnuda, buscamos y seleccionamos urbana_surface.dtm.



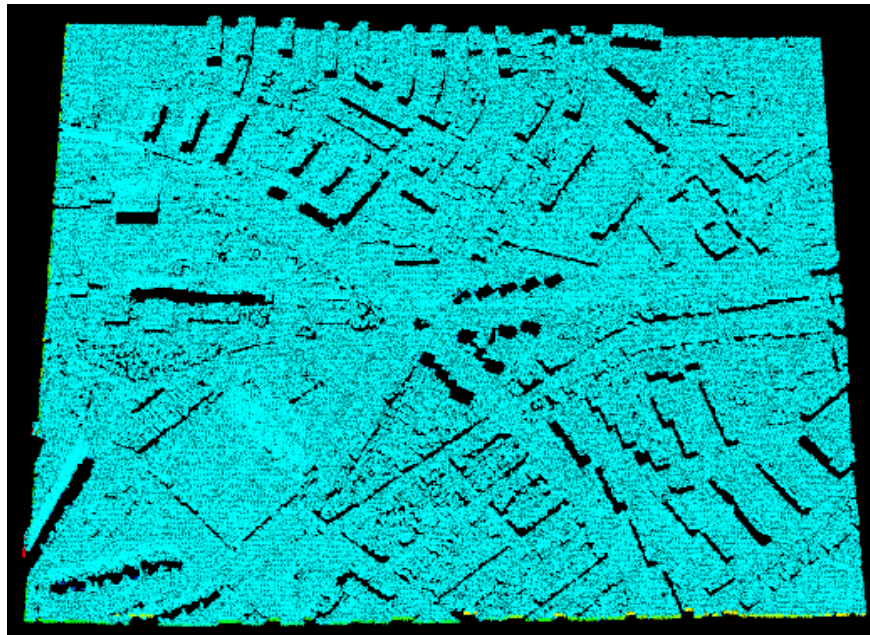
Hacemos clic en Abrir para que se abra el cuadro de diálogo del modelo de la superficie.



El archivo urbana_surface.dtm se mostrará como curvas de nivel dentro de la ventana de visualización de FUSION.



Hacemos clic y arrastramos en el visor de FUSION para crear una muestra en LDV.



En el menú desplegable del “botón derecho” seleccionamos “superficies” (o Alt-U) y desactivamos “datos” (o Alt-D).



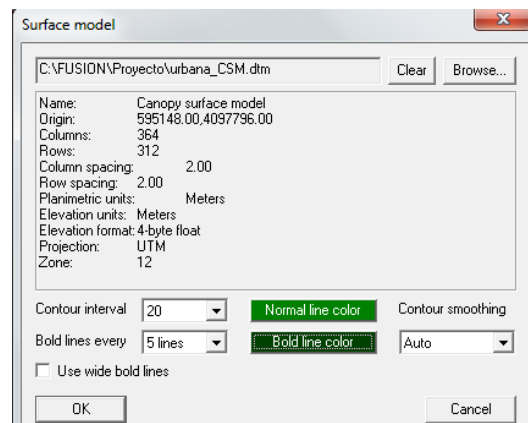
Ahora continuamos con la creación de un modelo de superficie cubierta (CSM, elevaciones en la parte superior de la cubierta) y un modelo de altura de cubierta (CHM elevaciones de cubierta normalizado con el uso de un modelo de tierra desnuda).

Se crea el modelo de superficie de cubierta desde la interfaz de línea de comandos mediante el ejecutable “*CanopyModel*”.

```
Símbolo del sistema
c:\FUSION>canopymodel c:\fusion\proyecto\urbana_CSM.dtm 2 M M 1 12 0 0 c:\fusion
\proyecto\zonas\als\urbana\urbana.las
CanopyModel v1.83 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 12:00:22) DEBUG
Command line: canopymodel c:\fusion\proyecto\urbana_CSM.dtm 2 M M 1 12 0 0 c:\f
usion\proyecto\zonas\als\urbana\urbana.las
Run started: Fri Nov 08 10:16:39 2013
Using 1 data files:
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\urbana\urbana.las
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\urbana\urbana.las: 1013913 points
Reading data files...
  Reading data from c:\fusion\proyecto\zonas\als\urbana\urbana.las (file 1 of 1
) ...1013913 points
Canopy surface model file produced:
  c:\fusion\proyecto\urbana_CSM.dtm   Nov 8, 2013 @ 10:16 AM
Run finished: Fri Nov 08 10:16:42 2013 (elapsed time: 3 seconds)
Done
```

Una vez que la utilidad *canopymodel* ha finalizado con éxito, agregamos el modelo de cubierta al proyecto de FUSION.

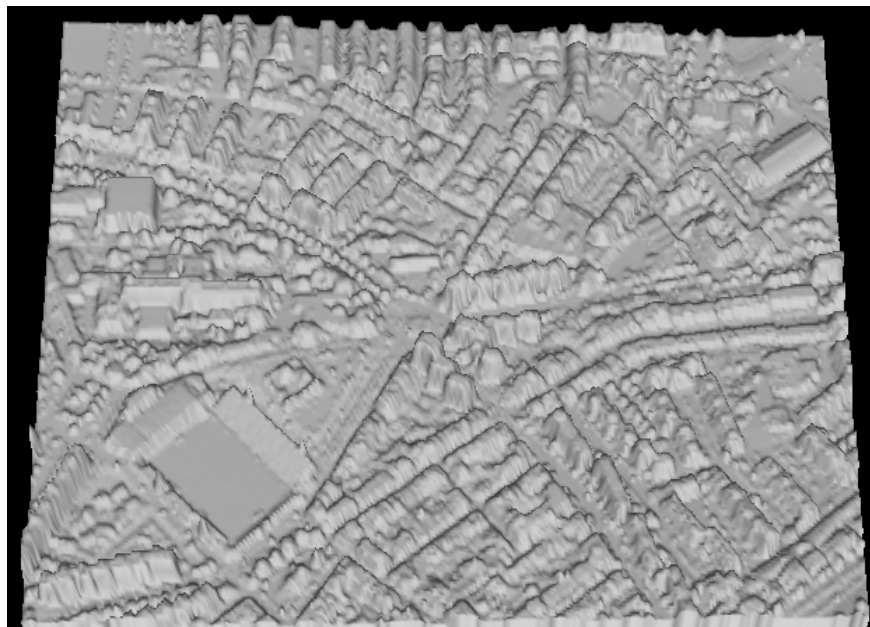
Desde la interfaz FUSION hacemos clic en el botón... *Canopy* en el menú lateral izquierdo, buscamos y seleccionamos el archivo de modelo *canopy* urbana_CSM.dtm y hacemos clic en Abrir para abrir el diálogo de modelo de superficie.



El modelo se muestra con líneas de contorno verde en la ventana.



Abrimos el visor para ver los datos y en la opción “*Surface file*” buscamos el archivo de *canopy* “urbana_CSM.dtm” que acabamos de generar.



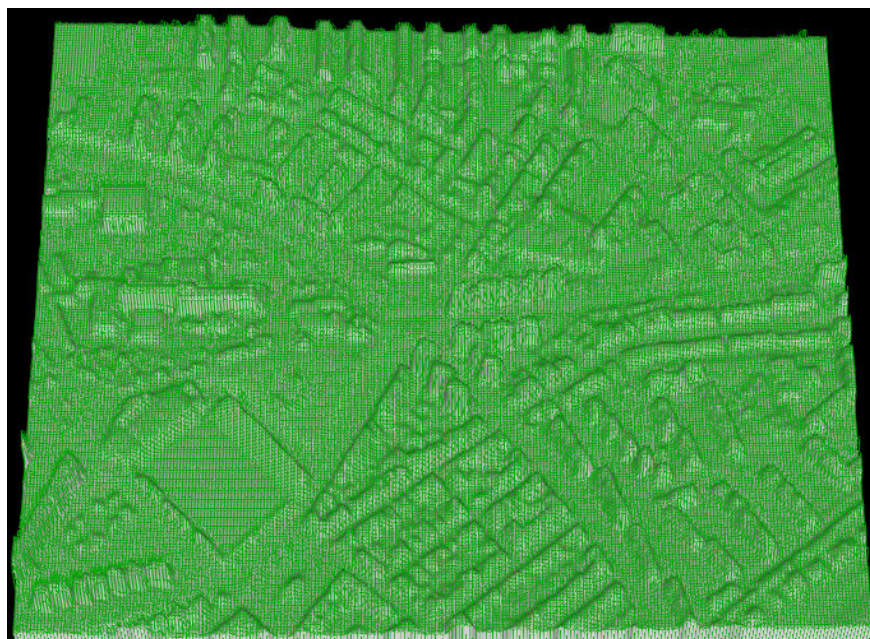
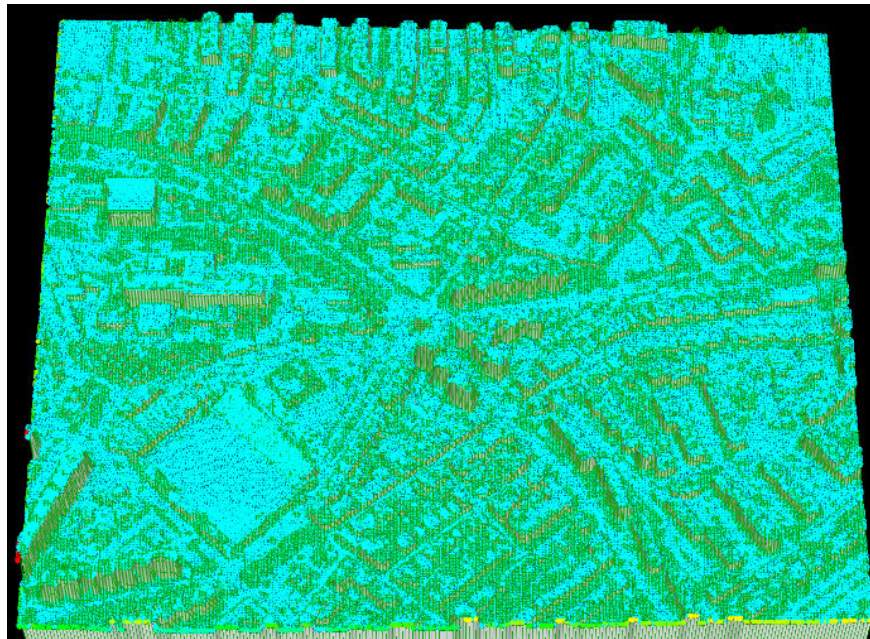
Una vez que se crea el modelo de cubierta, y se añade al proyecto, comenzamos abriendo el cuadro de dialogo “Opciones de muestra” y seleccionamos “incluir el modelo de cubierta”.

Seleccionamos una nueva muestra o hacemos clic en el botón de muestra de la última repetición para cargar los datos en el visor de LDV.

Una vez que el visor LDV muestra los puntos de datos, las superficies se pueden agregar mediante el acceso al menú del botón derecho y seleccionando superficies (o ALT-U).

El modelo de la tierra desnuda (urbana_surface.dtm) se mostrará como una superficie gris y el urbana_CSM.dtm se mostrará como un TIN verde.

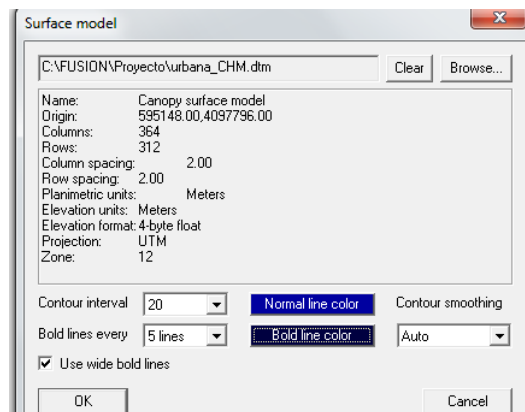
Usamos de Alt-D para alternar la salida de datos de punto (barra lateral) o acceder a esta opción a través del menú del botón derecho.



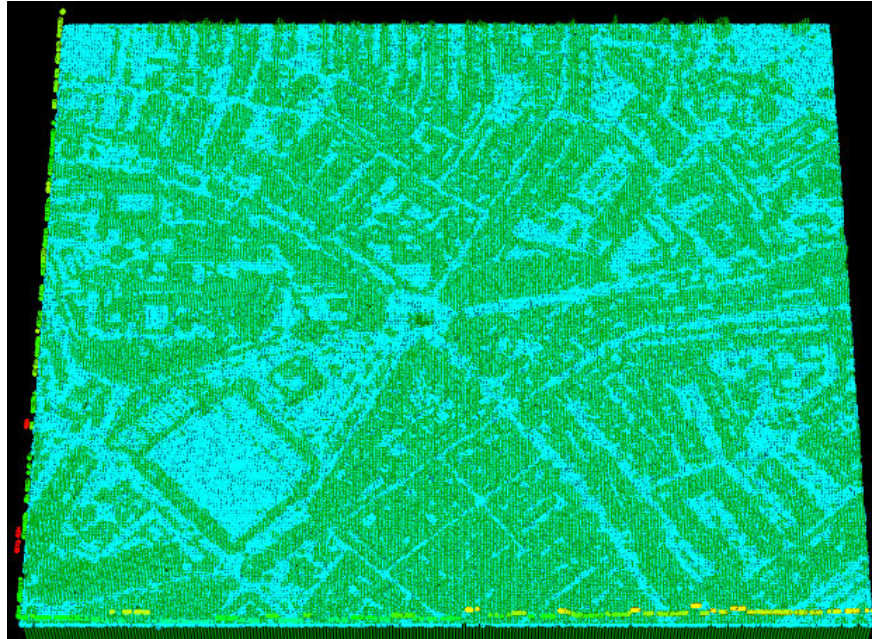
Para crear un modelo de altura de cubierta (CHM) usamos el programa *canopymodel* de nuevo pero esta vez añadiendo el interruptor de normalización (*/ground: file*) en la sintaxis que normaliza la parte superior del modelo de cubierta a la superficie de la tierra desnuda y proporcionar un nuevo archivo de salida.

```
ca: Símbolo del sistema
c:\FUSION>canopymodel /ground:c:\fusion\proyecto\urbana_surface.dtm c:\fusion\pr
oyecto\urbana_CHM.dtm 2 M M 1 12 0 0 c:\fusion\proyecto\zonas\als\urbana\urbana.
las
CanopyModel v1.83 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 12:00:22) DEBUG
Command line: canopymodel /ground:c:\fusion\proyecto\urbana_surface.dtm c:\fusi
on\proyecto\urbana_CHM.dtm 2 M M 1 12 0 0 c:\fusion\proyecto\zonas\als\urbana\ur
bana.las
Run started: Fri Nov 08 10:51:13 2013
Using 1 data files:
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\urbana\urbana.las
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\urbana\urbana.las: 1013913 points
Reading data files...
  Reading data from c:\fusion\proyecto\zonas\als\urbana\urbana.las (file 1 of 1
)...1013913 points
Canopy surface model file produced:
  c:\fusion\proyecto\urbana_CHM.dtm   Nov 8, 2013 @ 10:51 AM
Run finished: Fri Nov 08 10:51:16 2013 (elapsed time: 3 seconds)
Done
```

Después de ejecutar el programa con éxito *canopymodel* creamos "urbana_CHM.dtm".



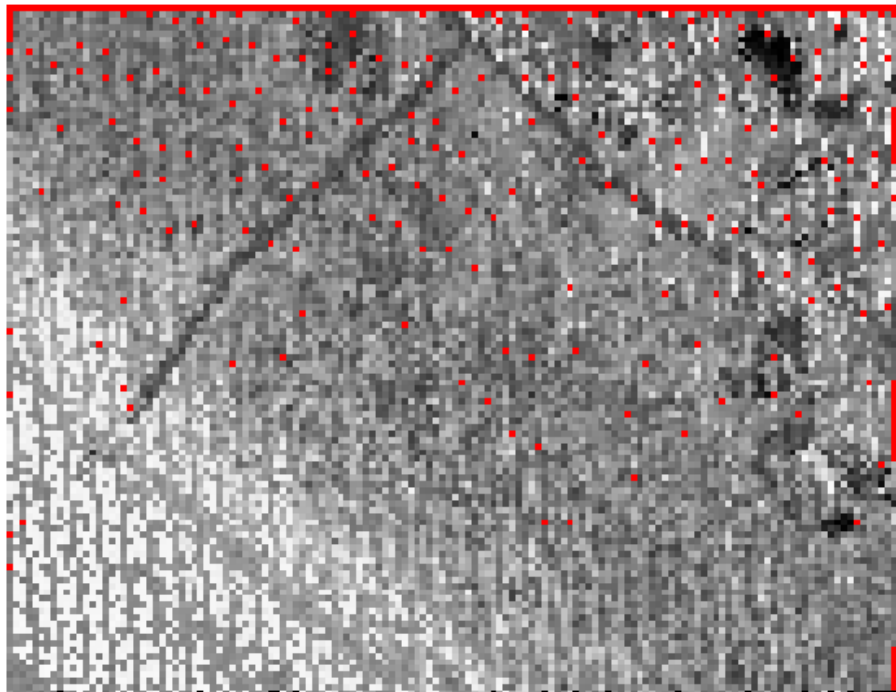
Nos aseguramos de que el botón "restar elevaciones del terreno a partir de cada punto" esté marcado en la sección Opciones de la muestra en la ventana de Opciones de FUSION porque si no el archivo CHM no se mostrará. Inversamente el CSM sólo se mostrará si "Sustraer las elevaciones del terreno de cada punto" no está marcado.



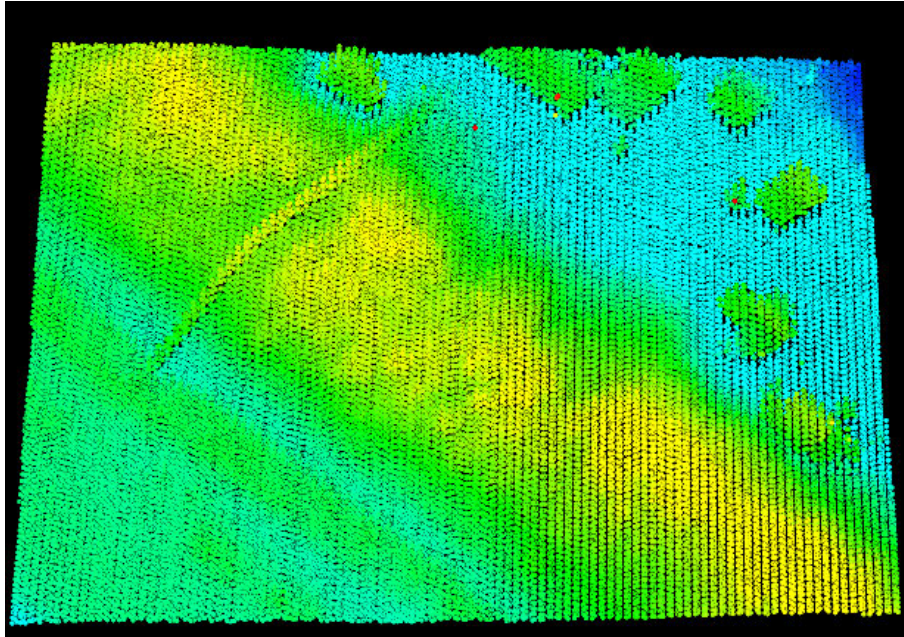
ZONAS RURALES

MATORRAL

Examinamos el fichero “matorral.las” y generamos la imagen georeferenciada:



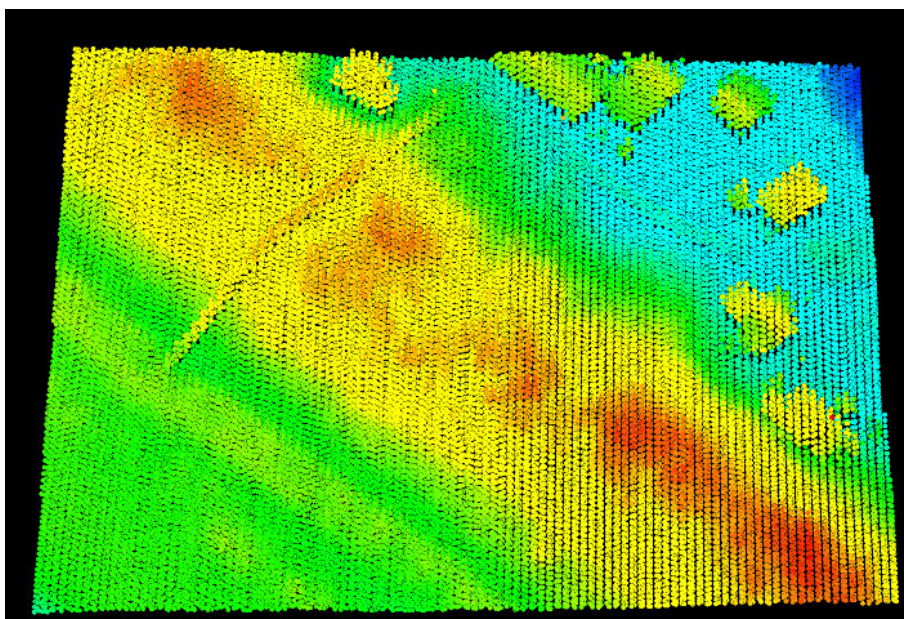
Cargamos el fichero “matorral.las” y echamos un vistazo en el visor LDV



Después usamos la utilidad groundfile para crear un archivo de datos con solo los puntos de tierra del archivo “matorral.las”. Al archivo que genera le llamamos “matorral_groundpoints.las”.

```
Símbolo del sistema
c:\FUSION>groundfilter /gparam:2 /wparam:2 /tolerance:0.1 c:\fusion\proyecto\matorral_groundpoints.las 2 c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\matorral.las
GroundFilter v1.62 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 12:00:50) DEBUG
Command line: groundfilter /gparam:2 /wparam:2 /tolerance:0.1 c:\fusion\proyecto\matorral_groundpoints.las 2 c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\matorral.las
Run started: Fri Nov 08 11:43:11 2013
Data files:
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\matorral.las: 40825 points
Ground point file produced:
  c:\fusion\proyecto\matorral_groundpoints.las   Nov 8, 2013 @ 11:43 AM
  40821 ground points
Run finished: Fri Nov 08 11:43:12 2013 (elapsed time: 1 seconds)
Done
```

Lo activamos en el botón “Raw data” y abrimos el visor:



Creamos una superficie BE desde los puntos de BE que acabamos de crear.

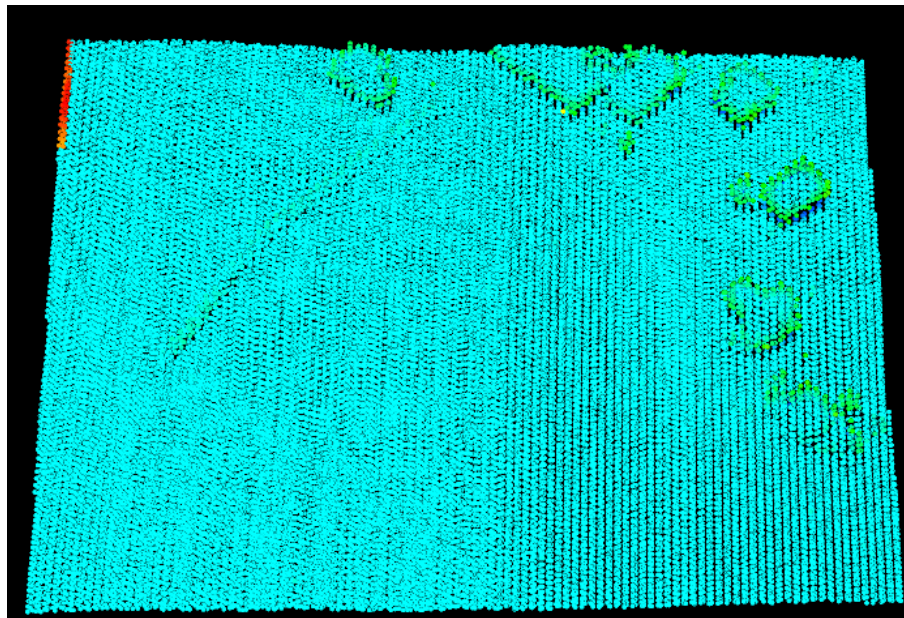
```
Símbolo del sistema
40821 ground points
Run finished: Fri Nov 08 11:43:12 2013 (elapsed time: 1 seconds)
Done
c:\FUSION>gridsurfacecreate c:\fusion\proyecto\matorral_surface.dtm 2 M M 1 12 0
0 c:\fusion\proyecto\matorral_groundpoints.las
GridSurfaceCreate v1.94 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 11:58:01) DEBUG
Command line: gridsurfacecreate c:\fusion\proyecto\matorral_surface.dtm 2 M M 1
12 0 0 c:\fusion\proyecto\matorral_groundpoints.las
Run started: Fri Nov 08 11:49:52 2013
Using 1 data files:
c:\fusion\proyecto\matorral_groundpoints.las: 40821 pts
Surface model file produced:
c:\fusion\proyecto\matorral_surface.dtm Nov 8, 2013 @ 11:49 AM
Run finished: Fri Nov 08 11:49:52 2013 (elapsed time: 0 seconds)
Done
```

Una vez que se ha ejecutado correctamente el comando anterior. Antes de colocar la superficie que acabamos de generar, nos aseguraremos de que la imagen de referencia se carga.

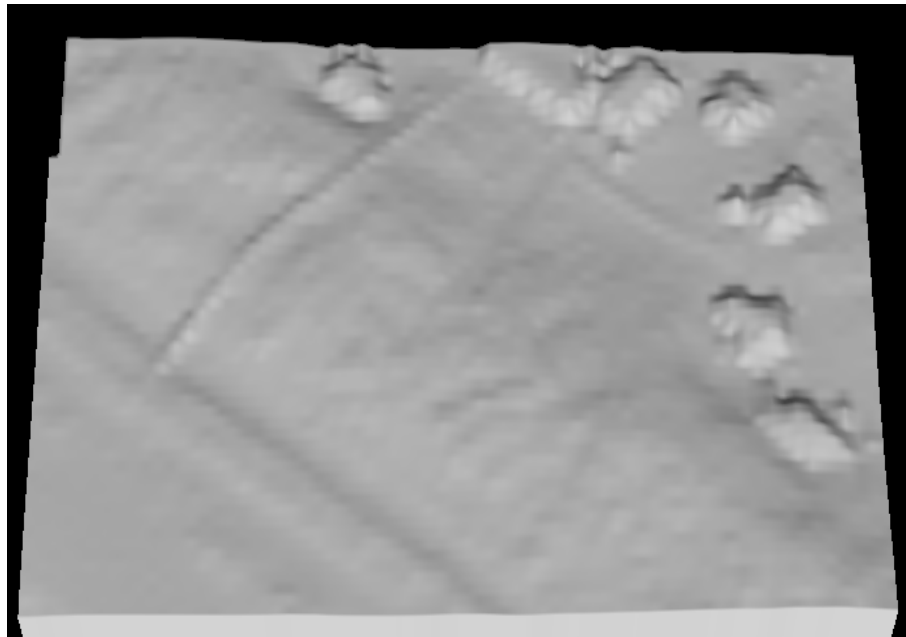
Seleccionamos el botón de “tierra desnuda...” y buscamos y seleccionamos matorral_surface.dtm. Hacemos clic en Abrir para que se abra el cuadro de diálogo del modelo de la superficie.

El archivo matorral_surface.dtm se mostrará como curvas de nivel dentro de la ventana de visualización de FUSION.

Hacemos clic y arrastramos en el visor de FUSION para crear una muestra en LDV.



En el menú desplegable del “botón derecho” seleccionamos “superficies” (o Alt-U) y desactivamos “datos” (o Alt-D).



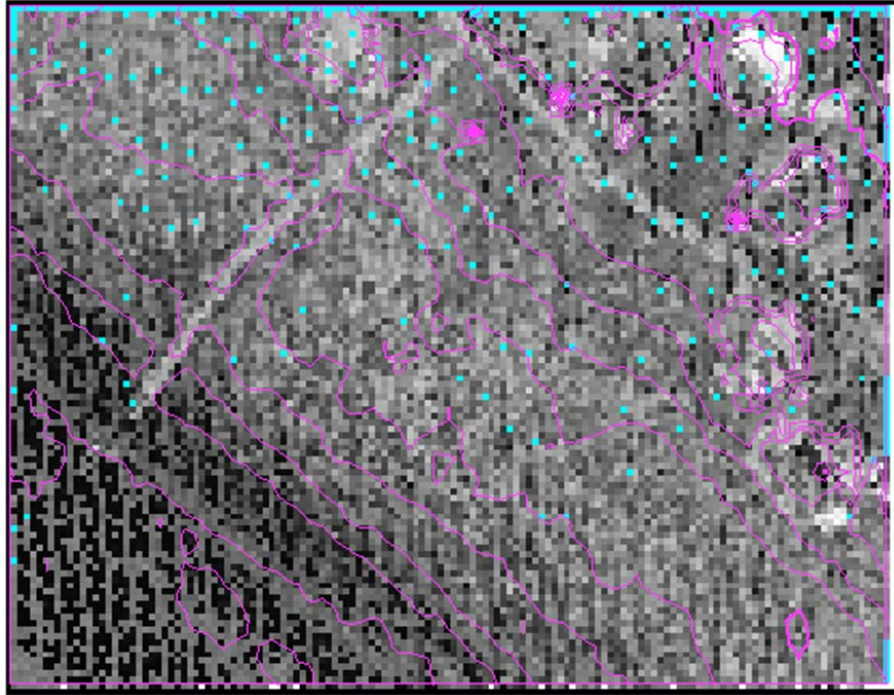
Se crea el modelo de superficie de cubierta desde la interfaz de línea de comandos mediante el ejecutable “*CanopyModel*”.

```
Símbolo del sistema
c:\FUSION>canopymodel c:\fusion\proyecto\matorral_CSM.dtm 2 M M 1 12 0 0 c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\matorral.las
CanopyModel v1.83 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 12:00:22) DEBUG
Command line: canopymodel c:\fusion\proyecto\matorral_CSM.dtm 2 M M 1 12 0 0 c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\matorral.las
Run started: Fri Nov 08 12:10:52 2013
Using 1 data files:
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\matorral.las
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\matorral.las: 40825 points
Reading data files...
  Reading data from c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\matorral.las (file 1 of 1)...40825 points
Canopy surface model file produced:
  c:\fusion\proyecto\matorral_CSM.dtm   Nov 8, 2013 @ 12:10 AM
Run finished: Fri Nov 08 12:10:52 2013 (elapsed time: 0 seconds)
Done
```

Una vez que la utilidad *canopymodel* ha finalizado con éxito, agregamos el modelo de cubierta al proyecto de FUSION.

Desde la interfaz FUSION hacemos clic en el botón... Canopy en el menú lateral izquierdo, buscamos y seleccionamos el archivo de modelo canopy matorral_CSM.dtm y hacemos clic en Abrir para abrir el diálogo de modelo de superficie.

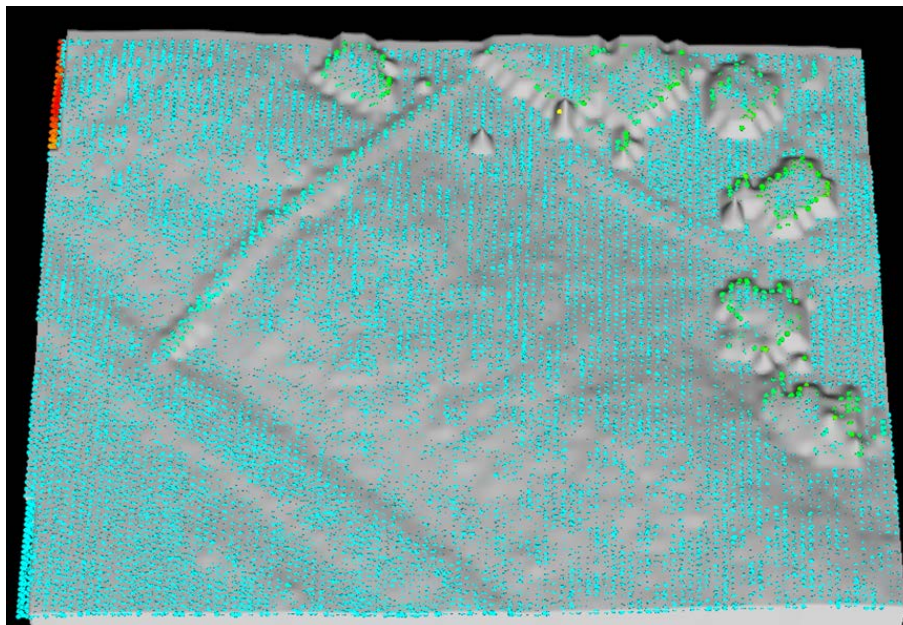
El modelo se muestra con líneas de contorno en la ventana.



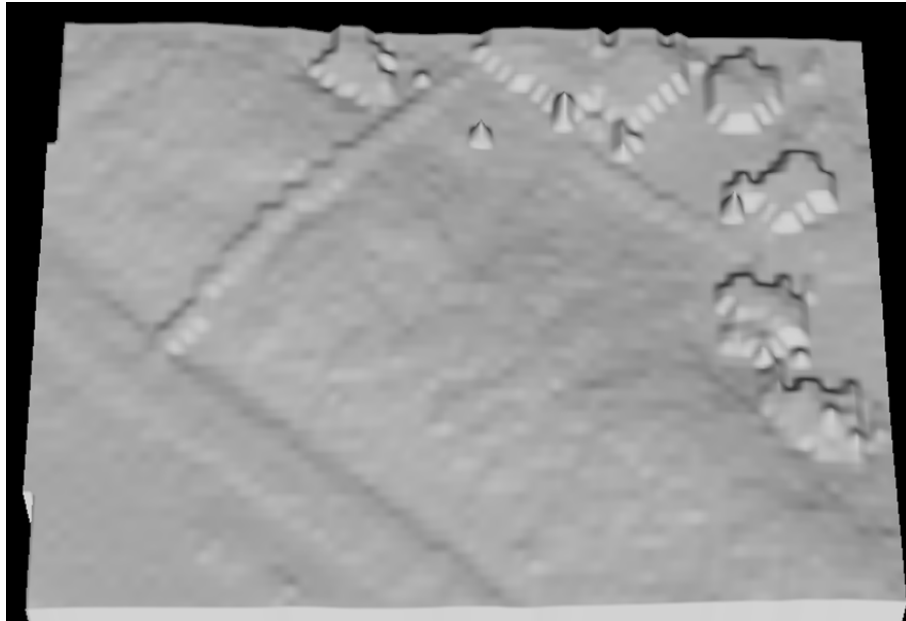
Abrimos el visor para ver los datos y en la opción “*Surface file*” buscamos el archivo de *canopy* “matorral_CSM.dtm” que acabamos de generar.

Una vez que se crea el modelo de cubierta, y se añade al proyecto, comenzamos abriendo el cuadro de diálogo “Opciones de muestra” y seleccionamos incluir el modelo de cubierta.

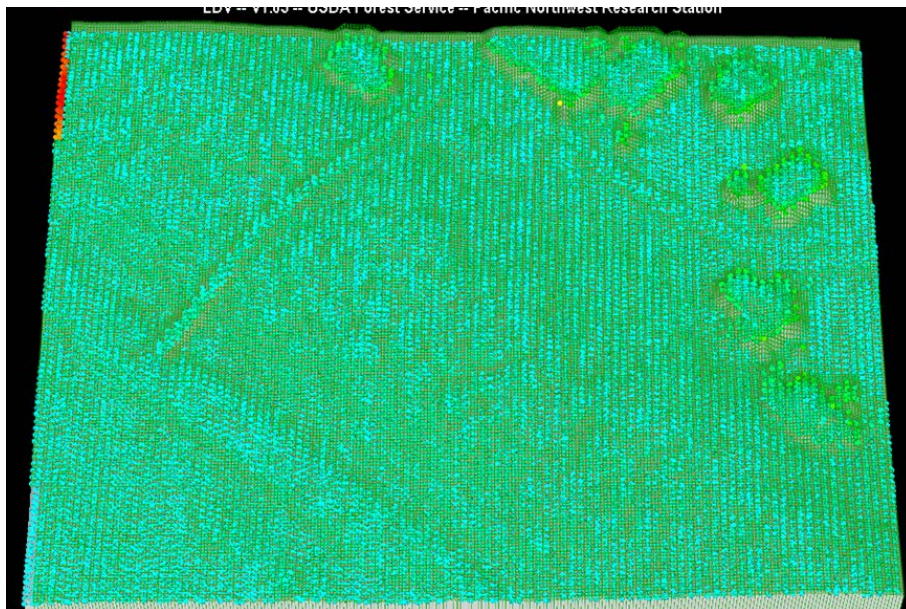
Seleccionamos una nueva muestra o hacemos clic en el botón de muestra de la última repetición para cargar los datos en el visor de LDV.



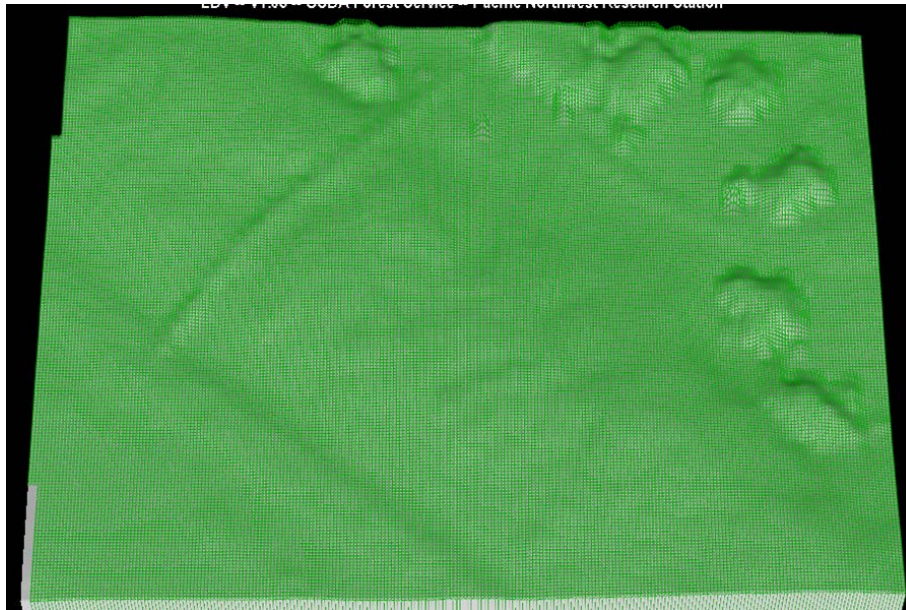
Una vez que el visor LDV muestra los puntos de datos, las superficies se pueden agregar mediante el acceso al menú del botón derecho y seleccionando superficies (o ALT-U).



El modelo de la tierra desnuda (matorral_surface.dtm) se mostrará como una superficie gris y el matorral_CSM.dtm se mostrará como un TIN verde).



Usamos de Alt-D para alternar la salida de datos de punto (barra lateral) o acceder a esta opción a través del menú del botón derecho.

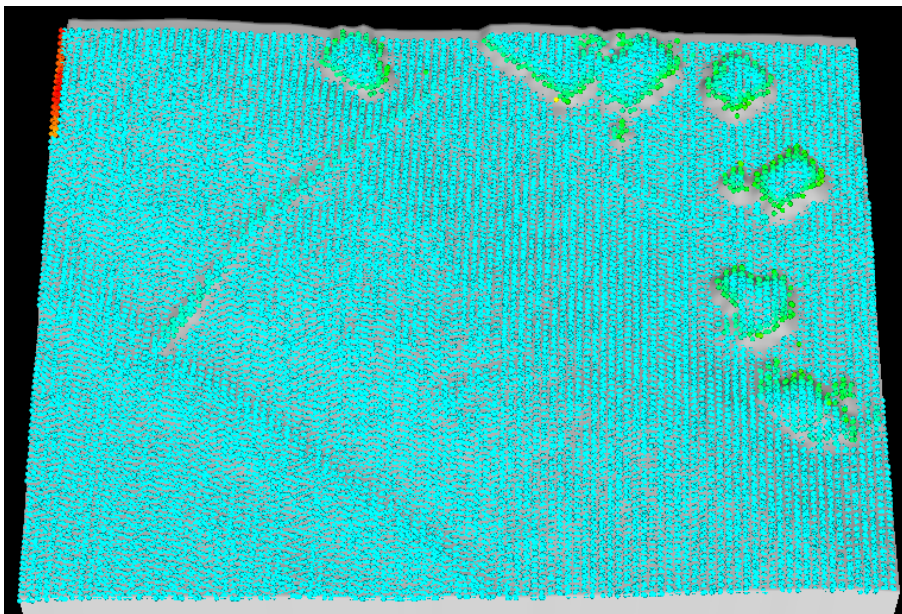
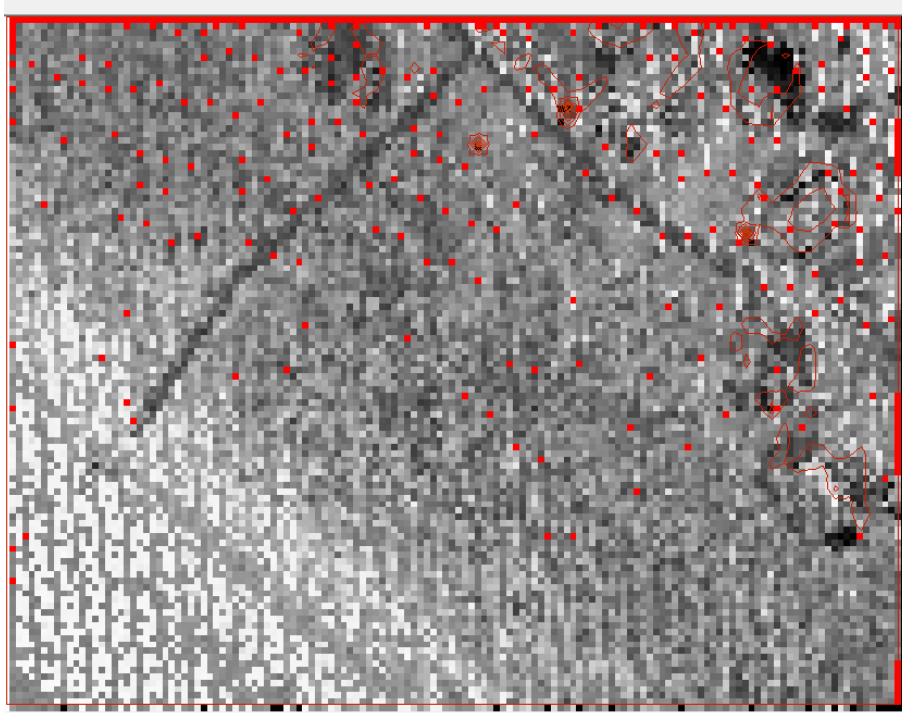


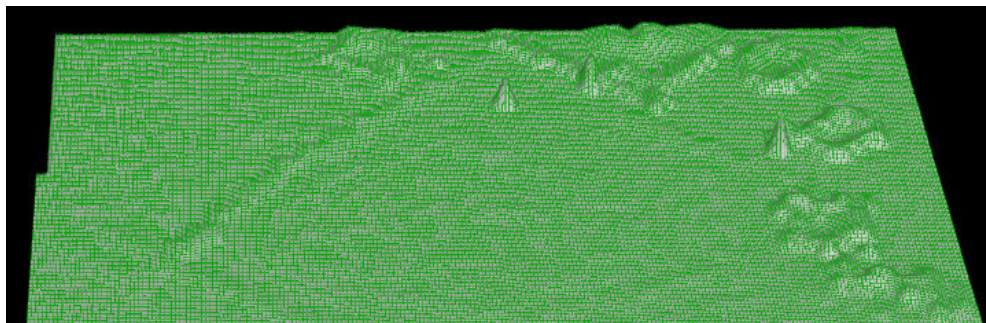
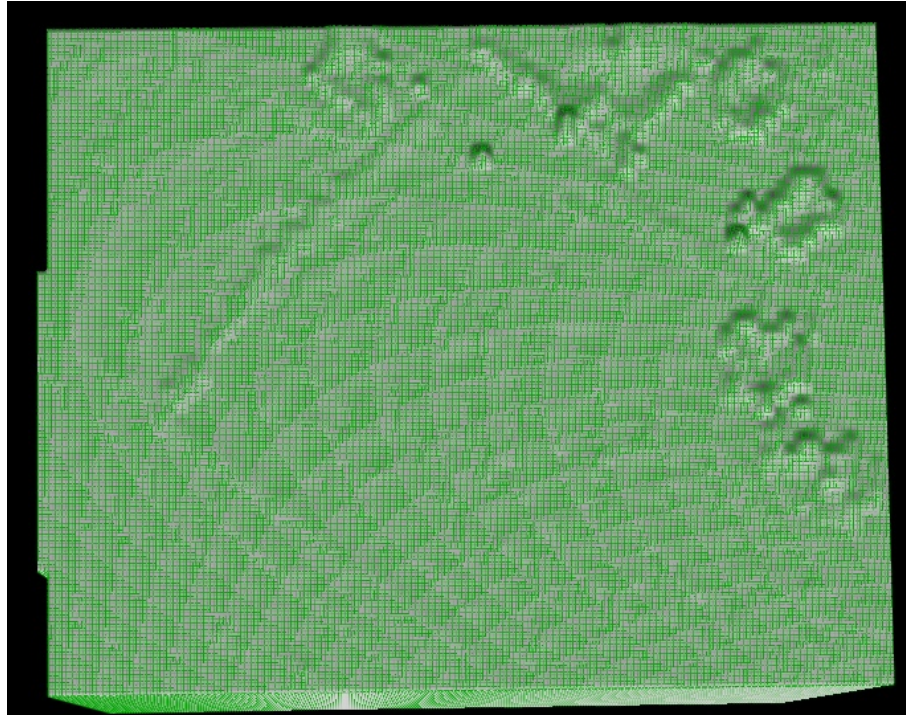
Para crear un modelo de altura de cubierta (CHM) usamos el programa *canopymodel* de nuevo pero esta vez añadiendo el interruptor de normalización (*/ground: file*) en la sintaxis que normaliza la parte superior del modelo de cubierta a la superficie de la tierra desnuda y proporcionar un nuevo archivo de salida.

```
Símbolo del sistema
proyecto\matorral_CHM.dtm 2 M M 1 12 0 0 c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\ma
torral.las
CanopyModel v1.83 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 12:00:22) DEBUG
Command line: canopymodel /ground:c:\fusion\proyecto\matorral_surface.dtm c:\fu
sion\proyecto\matorral_CHM.dtm 2 M M 1 12 0 0 c:\fusion\proyecto\zonas\als\rusti
ca\matorral.las
Run started: Fri Nov 08 12:28:22 2013
Using 1 data files:
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\matorral.las
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\matorral.las: 40825 points
Reading data files...
  Reading data from c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\matorral.las (file 1 o
f 1)...40825 points
Canopy surface model file produced:
  c:\fusion\proyecto\matorral_CHM.dtm      Nov 8, 2013 @ 12:28 AM
Run finished: Fri Nov 08 12:28:22 2013 (elapsed time: 0 seconds)
Done
```

Después de ejecutar el programa con éxito *canopymodel* creamos *matorral_CHM.dtm*.

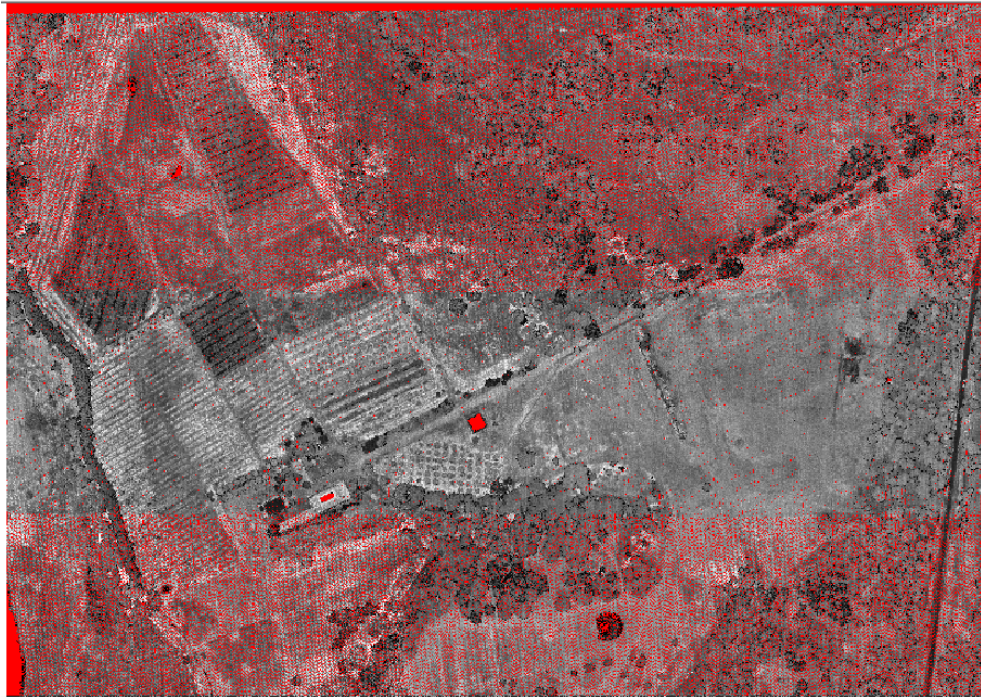
Nos aseguramos de que el "restar elevaciones del terreno a partir de cada punto" esté marcada en la sección Opciones de la muestra en la ventana de Opciones de FUSION.



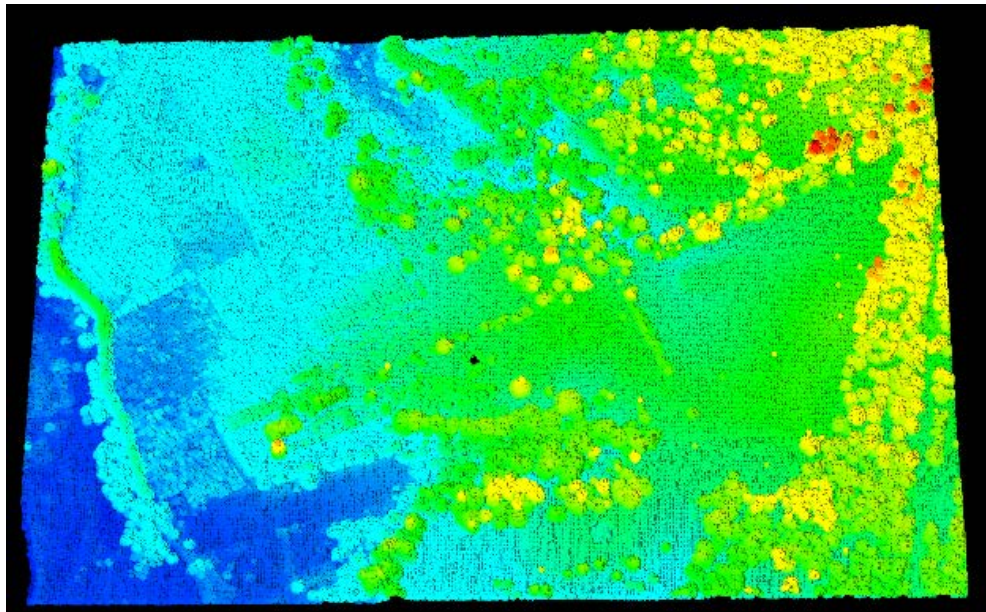


MONTE Y CULTIVO

Examinamos el fichero “matorral.las” y generamos la imagen georeferenciada:



Y cargamos el fichero “monte+cultivo.las” y echamos un vistazo en el visor LDV:

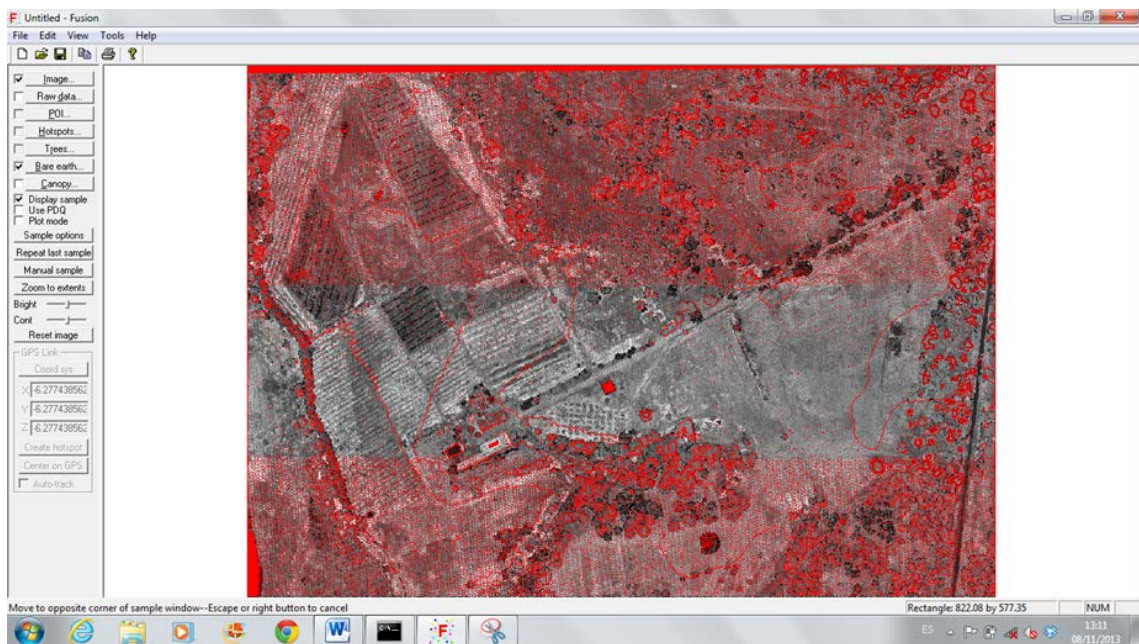


Creamos un archivo con solo los puntos de tierra al que llamamos “monte+cultivo_groundpoints.las”. Con este archivo creamos una superficie BE desde los puntos de BE que acabamos de crear a la que llamaremos “monte+cultivo_surface.dtm”

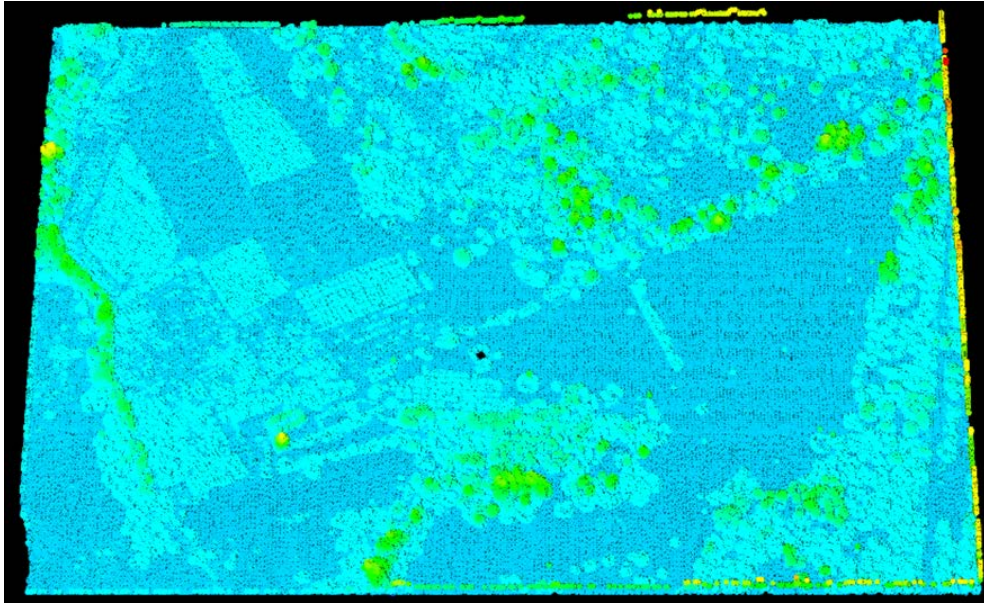

```
Símbolo del sistema
c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_groundpoints.las  Nov 8, 2013 @ 12:58 AM
605678 ground points
Run finished: Fri Nov 08 12:58:58 2013 (elapsed time: 5 seconds)
Done

c:\FUSION>gridsurfacecreate c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_surface.dtm 2 M M 1
12 0 0 c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_groundpoints.las
GridSurfaceCreate v1.94 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 11:58:01) DEBUG
Command line: gridsurfacecreate c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_surface.dtm 2
M M 1 12 0 0 c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_groundpoints.las
Run started: Fri Nov 08 13:08:32 2013
Using 1 data files:
c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_groundpoints.las: 605678 pts
Surface model file produced:
c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_surface.dtm  Nov 8, 2013 @ 1:08 PM
Run finished: Fri Nov 08 13:08:33 2013 (elapsed time: 1 seconds)
Done
```

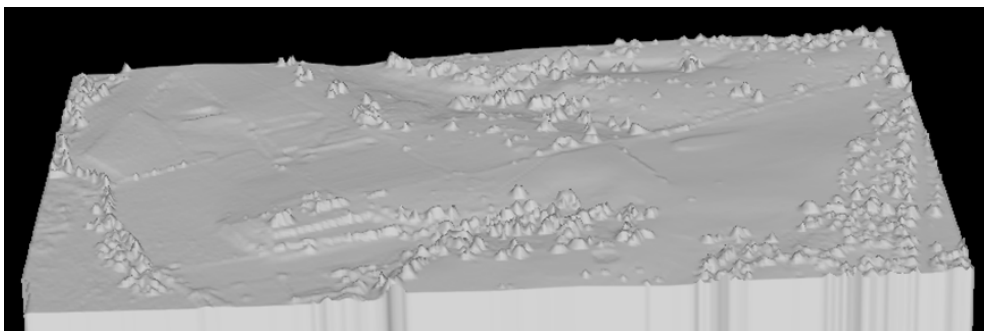
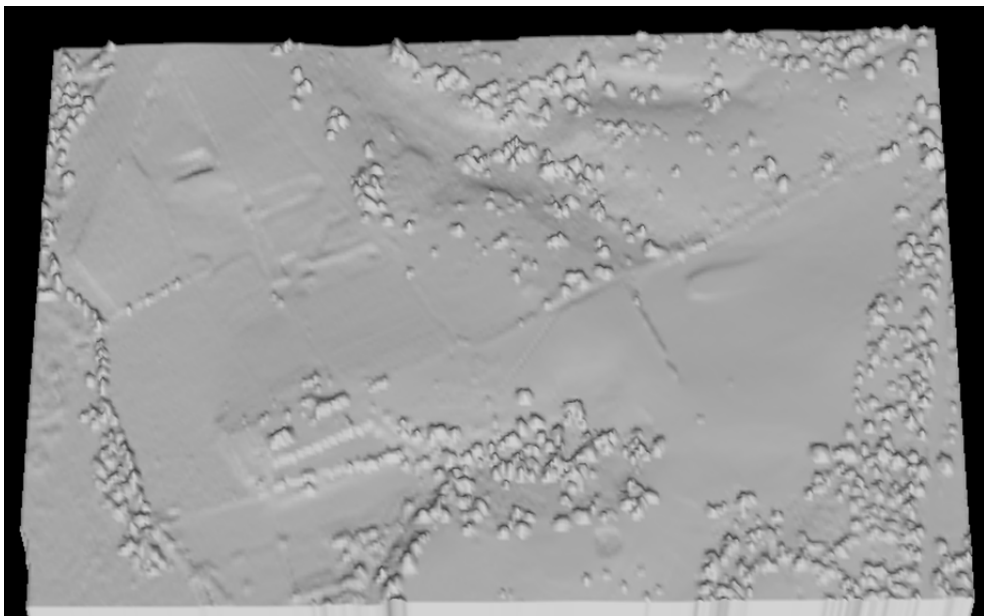
Seleccionamos el botón de tierra desnuda... y buscamos y seleccionamos monte+cultivo_surface.dtm. Hacemos clic en Abrir para que se abra el cuadro de diálogo del modelo de la superficie. El archivo monte+cultivo_surface.dtm se mostrará como curvas de nivel dentro de la ventana de visualización de FUSION.



Hacemos clic y arrastramos en el visor de FUSION para crear una muestra en LDV.



En el menú desplegable del “botón derecho” seleccionamos “superficies” (o Alt-U) y desactivamos “datos” (o Alt-D).

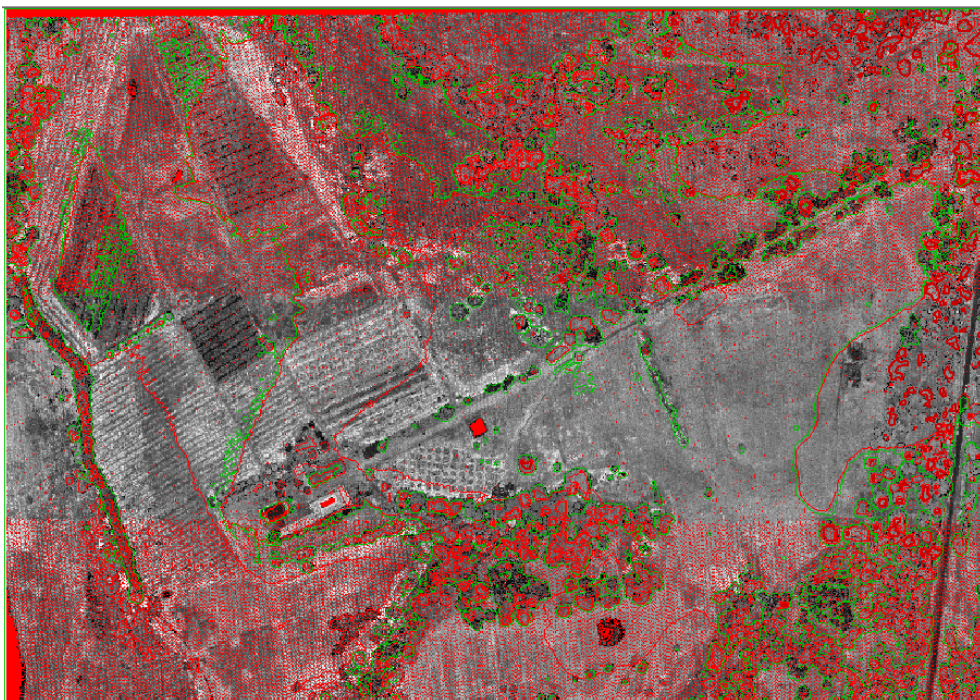


Se crea el modelo de superficie de cubierta y se agrega al proyecto

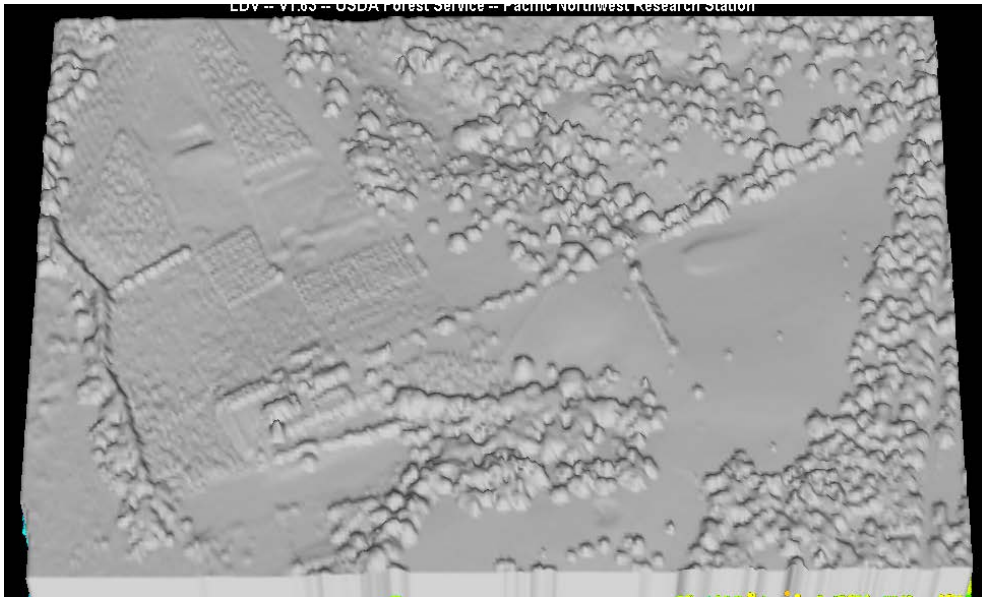

```
ca: Símbolo del sistema
c:\FUSION>canopymodel c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_CSM.dtm 2 M M 1 12 0 0 c:
\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\monte+cultivo.las
CanopyModel v1.83 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 12:00:22) DEBUG
Command line: canopymodel c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_CSM.dtm 2 M M 1 12 0
0 c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\monte+cultivo.las
Run started: Fri Nov 08 14:12:03 2013
Using 1 data files:
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\monte+cultivo.las
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\monte+cultivo.las: 874343 points
Reading data files...
  Reading data from c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\monte+cultivo.las (fil
e 1 of 1)...874343 points
Canopy surface model file produced:
  c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_CSM.dtm   Nov 8, 2013 @ 2:12 PM
Run finished: Fri Nov 08 14:12:03 2013 (elapsed time: 0 seconds)
Done
```

Marcamos el botón... *Canopy* en el menú lateral izquierdo, buscamos y seleccionamos el archivo de modelo canopy “monte+cultivo_CSM.dtm” y hacemos clic en Abrir para abrir el diálogo de modelo de superficie.

El modelo se muestra con líneas de contorno en la ventana.

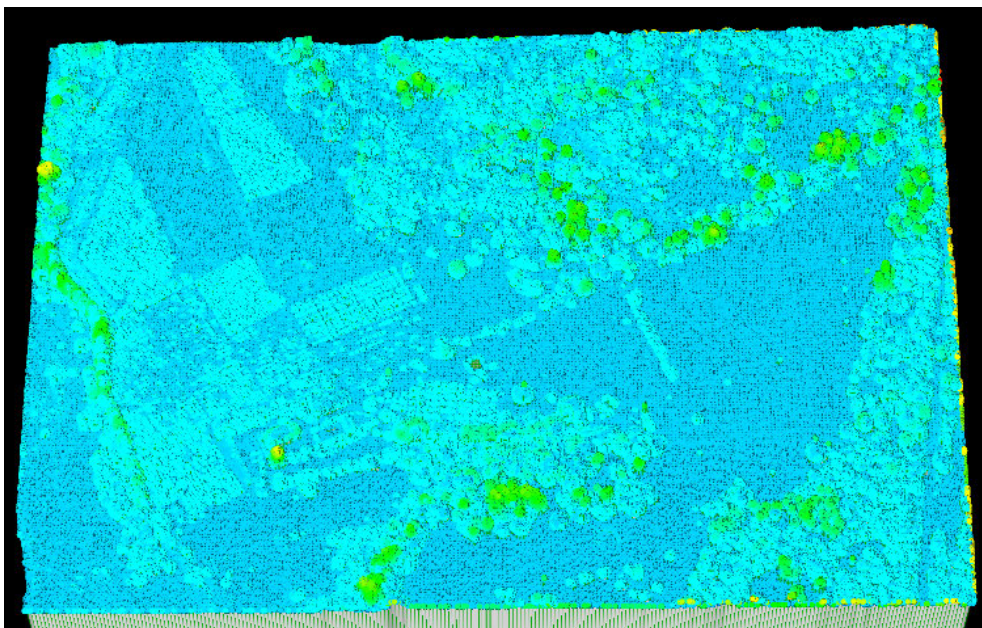


Abrimos el visor para ver los datos y en la opción “*Surface file*” buscamos el archivo de *canopy* “monte+cultivo_CSM.dtm” que acabamos de generar.

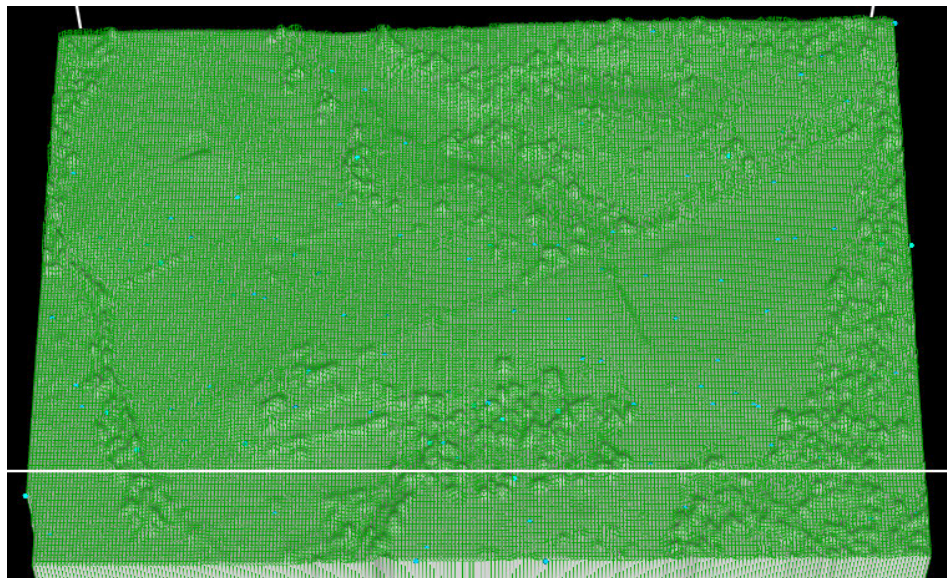
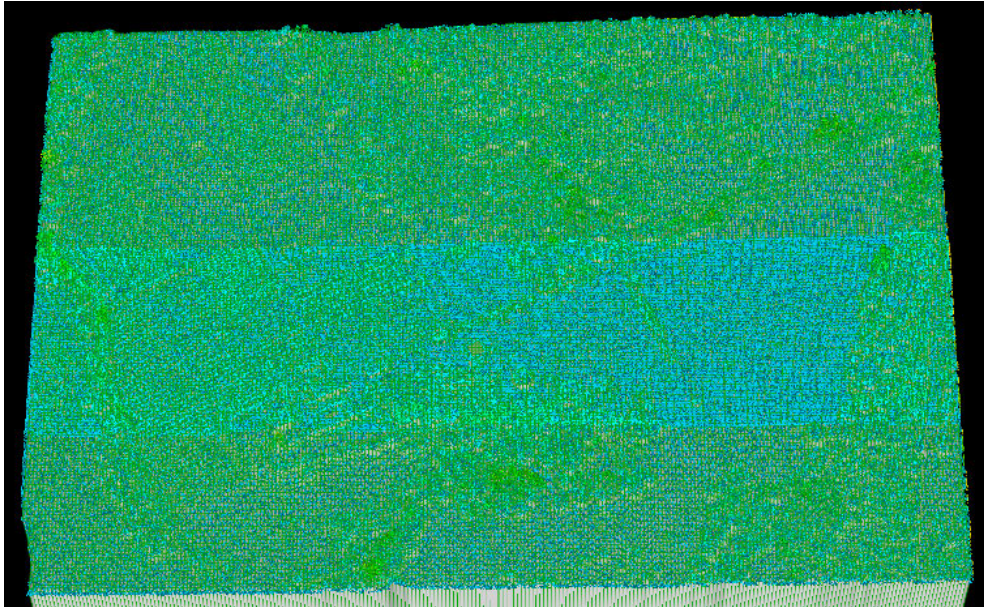


Una vez que se crea el modelo de cubierta, y se añade al proyecto. Comenzamos abriendo el cuadro de diálogo “Opciones de muestra” y seleccionamos incluir el modelo de cubierta.

Cargar los datos en el visor de LDV, las superficies se pueden agregar mediante el acceso al menú del botón derecho y seleccionando superficies (o ALT-U).

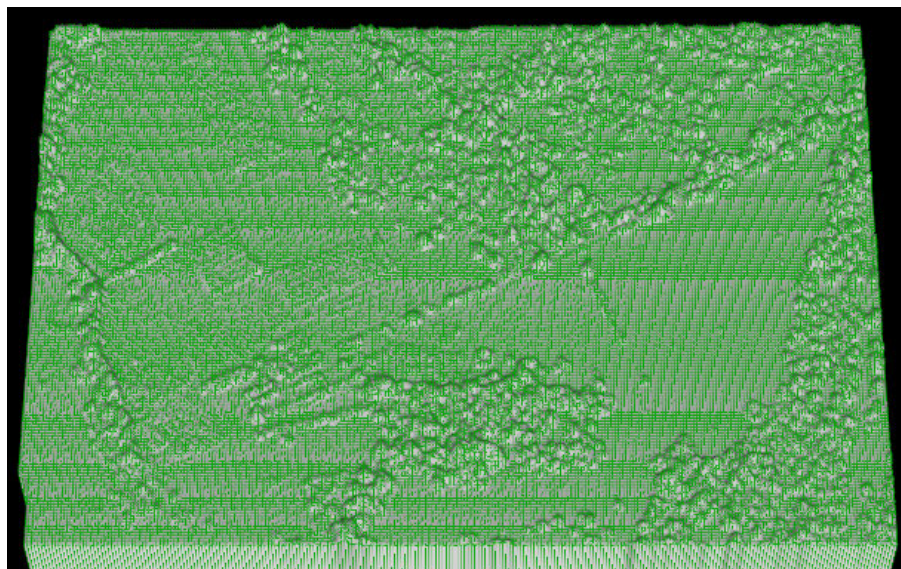
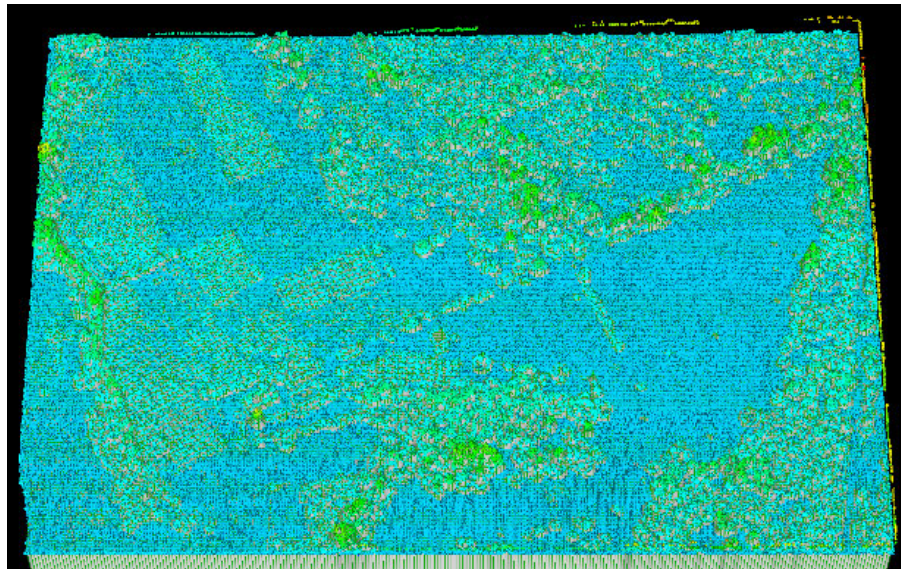
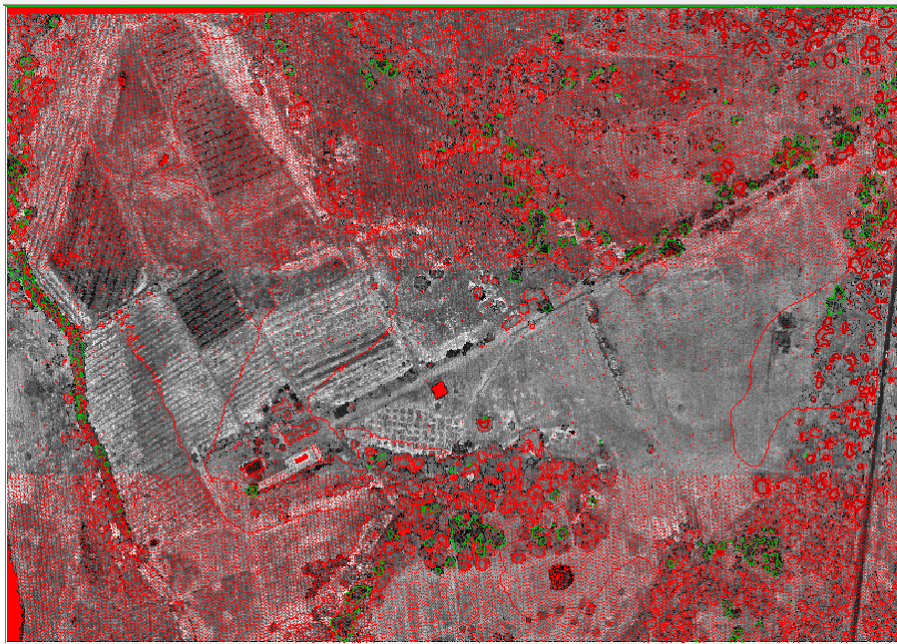


El modelo de la tierra desnuda (monte+cultivo_surface.dtm) se mostrará como una superficie gris y el monte+cultivo-_CSM.dtm se mostrará como un TIN verde.



El siguiente paso será crear un modelo de altura de cubierta (CHM)

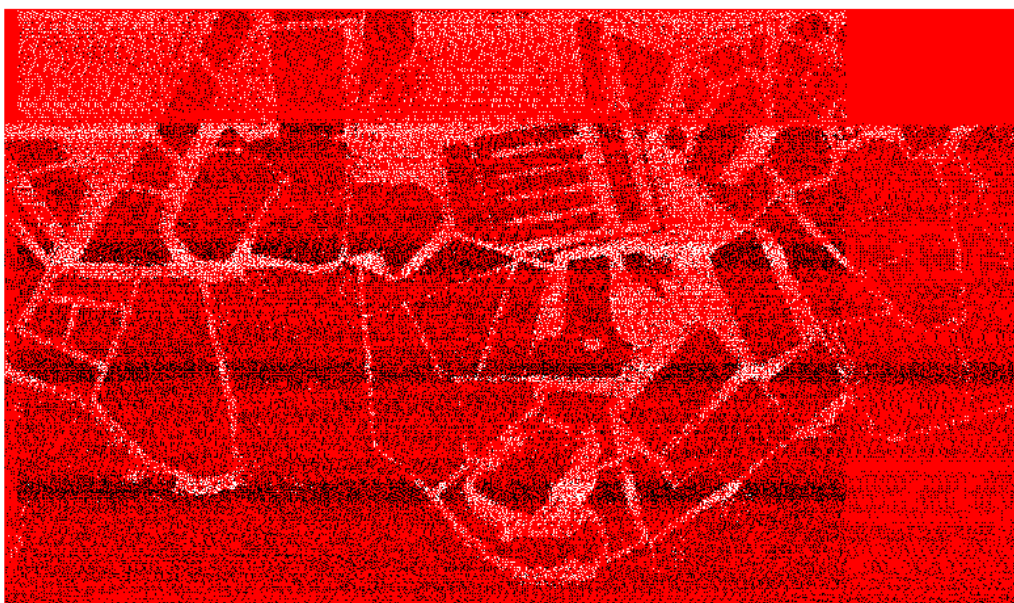
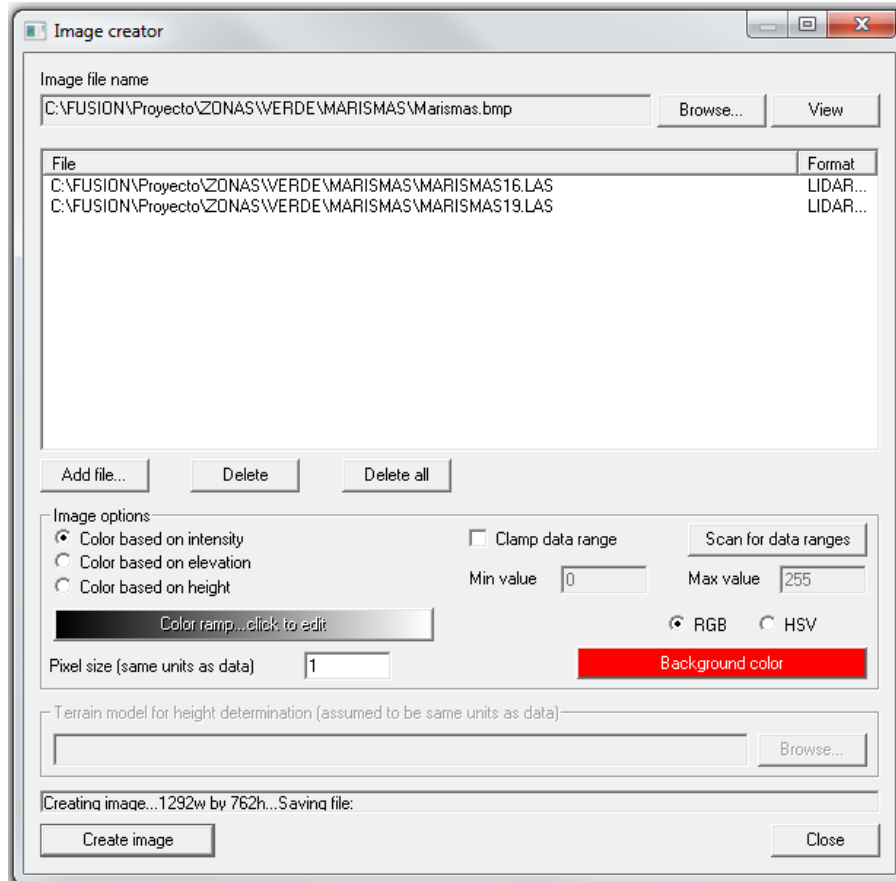
```
Símbolo del sistema - cmd
c:\FUSION>canopymodel /ground:c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_surface.dtm c:\fu
sion\proyecto\monte+cultivo_CHM.dtm 2 M M 1 12 0 0 c:\fusion\proyecto\zonas\als\
rustica\monte+cultivo.las
CanopyModel v1.83 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 12:00:22) DEBUG
Command line: canopymodel /ground:c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_surface.dtm
c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_CHM.dtm 2 M M 1 12 0 0 c:\fusion\proyecto\zonas
\als\rustica\monte+cultivo.las
Run started: Fri Nov 08 22:02:10 2013
Using 1 data files:
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\monte+cultivo.las
  c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\monte+cultivo.las: 874343 points
Reading data files...
  Reading data from c:\fusion\proyecto\zonas\als\rustica\monte+cultivo.las (fil
e 1 of 1)...874343 points
Canopy surface model file produced:
  c:\fusion\proyecto\monte+cultivo_CHM.dtm   Nov 8, 2013 @ 10:02 PM
Run finished: Fri Nov 08 22:02:11 2013 (elapsed time: 1 seconds)
Done
```

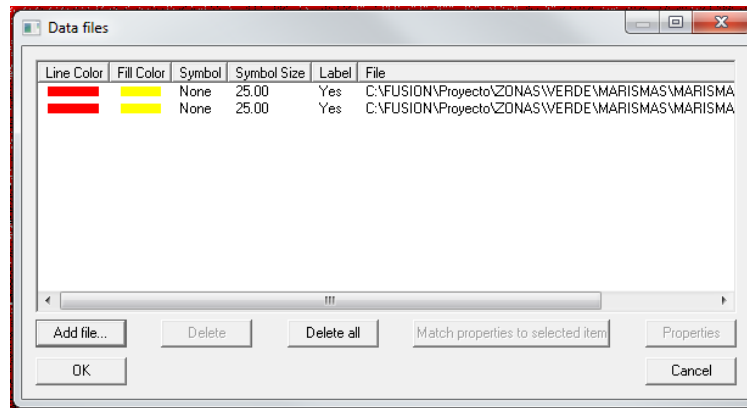
3.5.1.2 Edición ALB

MARISMAS

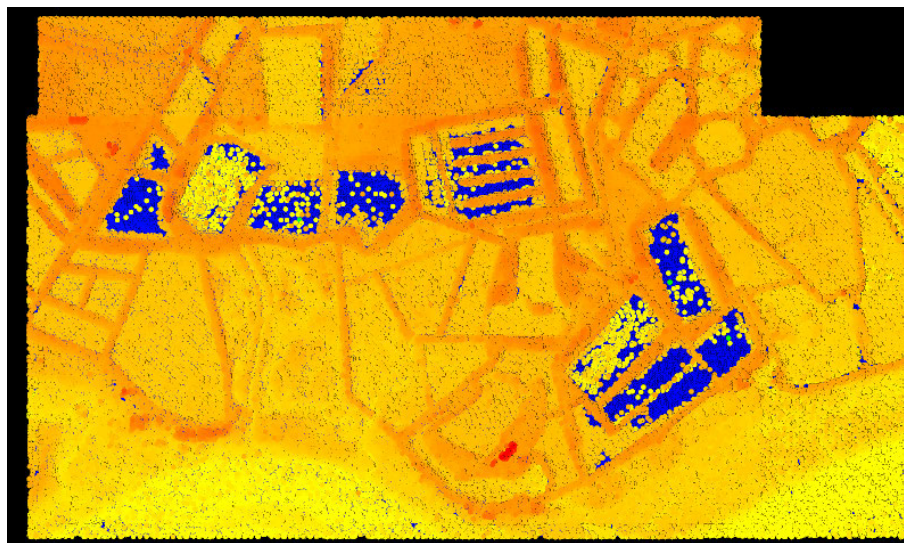
Examinamos el fichero “marisma16.las y marismas19.las” y generamos la imagen georeferenciada:



Cargamos los ficheros “marisma16.las” y “marisma.19”:



Y echamos un vistazo en el visor LDV

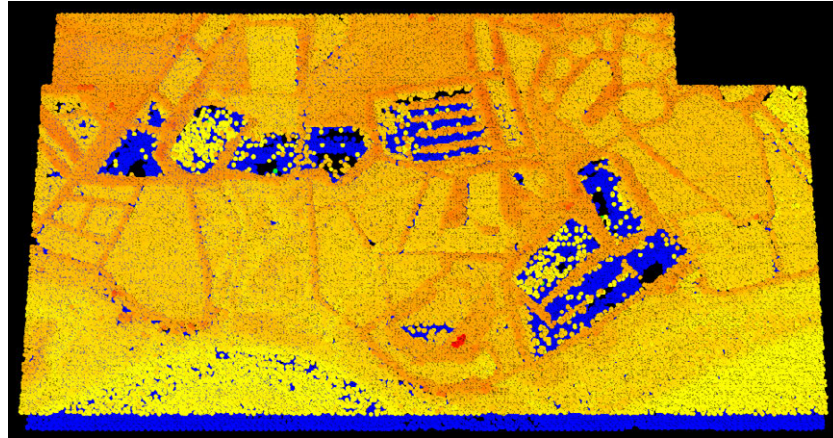


Para trabajar con los dos archivos vamos a crear un catálogo que nos permite generar un índice y unos ficheros para no tener que escribir todo en los comandos. Así como unos ficheros con información.

Después usamos la utilidad *groundfile* para crear un archivo de datos con solo los puntos de tierra del archivo “marismas16.las y marismas19.las”. Al archivo que genera le llamamos “marismas_groundpoints.las”.

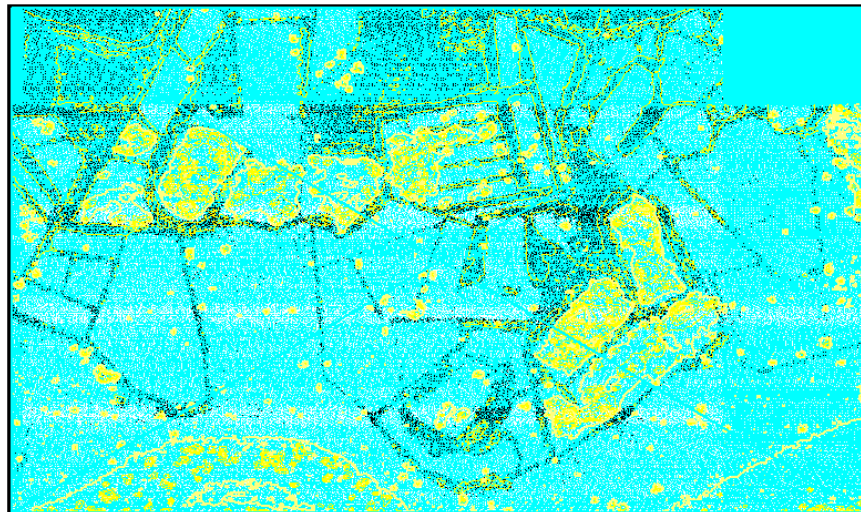
```
Símbolo del sistema - cmd
c:\FUSION>groundfilter /gparam:2 /wparam:2 /tolerance:0.1 /iterations:10 c:\fusion\proyecto\marismas_groundpoints.las 2 c:\fusion\proyecto\marismas_tiles.txt
GroundFilter v1.62 (FUSION v3.30) (Built on Feb 22 2013 12:00:50) DEBUG
Command line: groundfilter /gparam:2 /wparam:2 /tolerance:0.1 /iterations:10 c:\fusion\proyecto\marismas_groundpoints.las 2 c:\fusion\proyecto\marismas_tiles.txt
Run started: Sat Nov 09 22:01:30 2013
Data files:
  c:\fusion\proyecto\zonas\verde\marismas\marismas16.las: 124049 points
  c:\fusion\proyecto\zonas\verde\marismas\marismas19.las: 114933 points
Ground point file produced:
  c:\fusion\proyecto\marismas_groundpoints.las   Nov 9, 2013 @ 10:01 PM
  193498 ground points
Run finished: Sat Nov 09 22:01:32 2013 (elapsed time: 2 seconds)
Done
```

Lo activamos en el botón “Raw data” Y abrimos el visor:

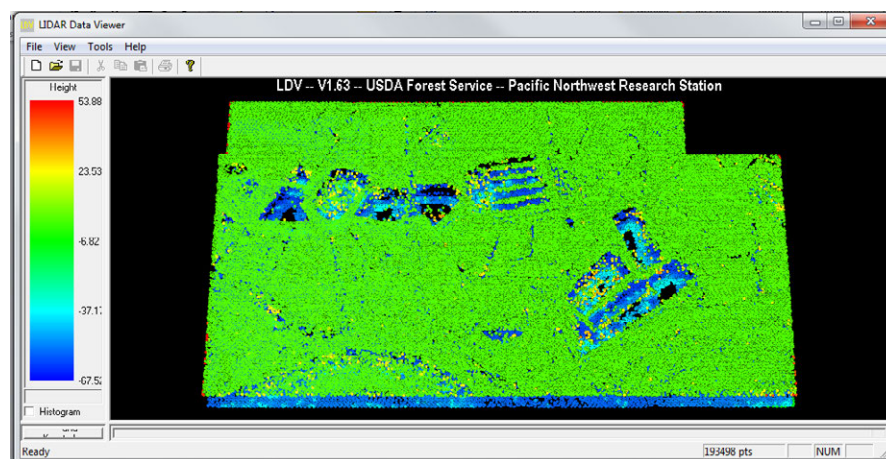


Creamos una superficie BE desde los puntos de BE que acabamos de crear.

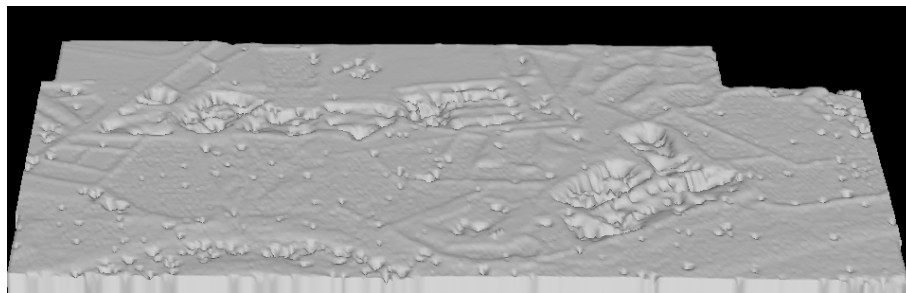
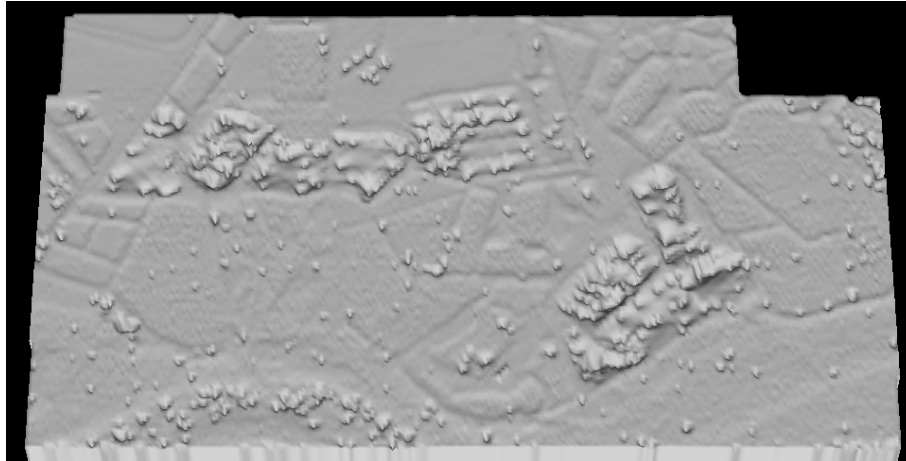
Buscamos y seleccionamos marismas_surface.dtm. Hacemos clic en Abrir para que se abra el cuadro de diálogo del modelo de la superficie. Este archivo se mostrará como curvas de nivel dentro de la ventana de visualización de FUSION.



Hacemos clic y arrastramos en el visor de FUSION para crear una muestra en LDV.

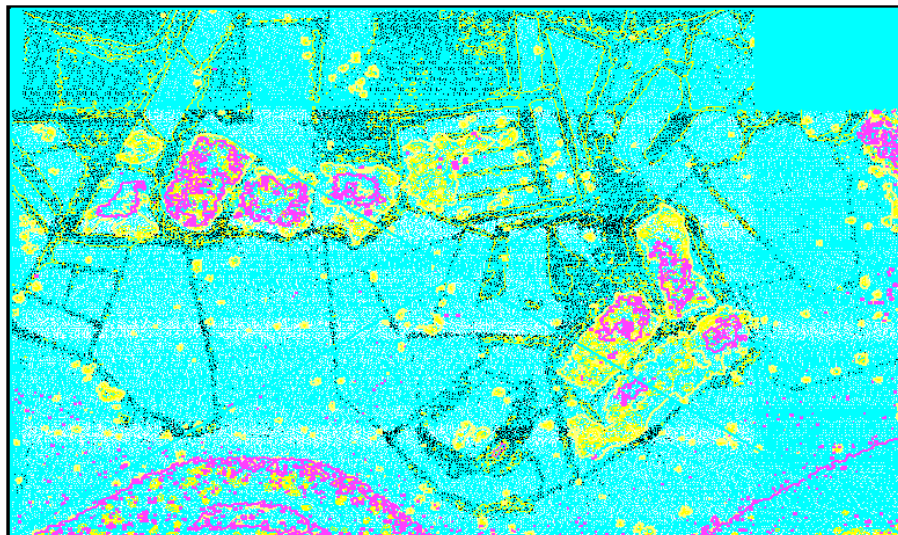


Seleccionamos “superficies” (o Alt-U) y desactivamos “datos” (o Alt-D).

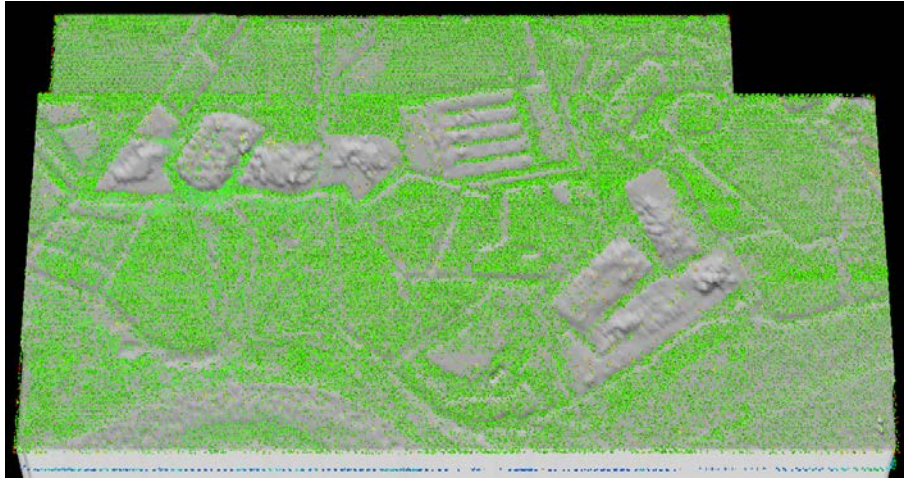


Se crea el modelo de superficie de cubierta desde la interfaz de línea de comandos mediante el ejecutable “*CanopyModel*” y una vez que la utilidad *canopymodel* ha finalizado con éxito, agregamos el modelo de cubierta al proyecto de FUSION.

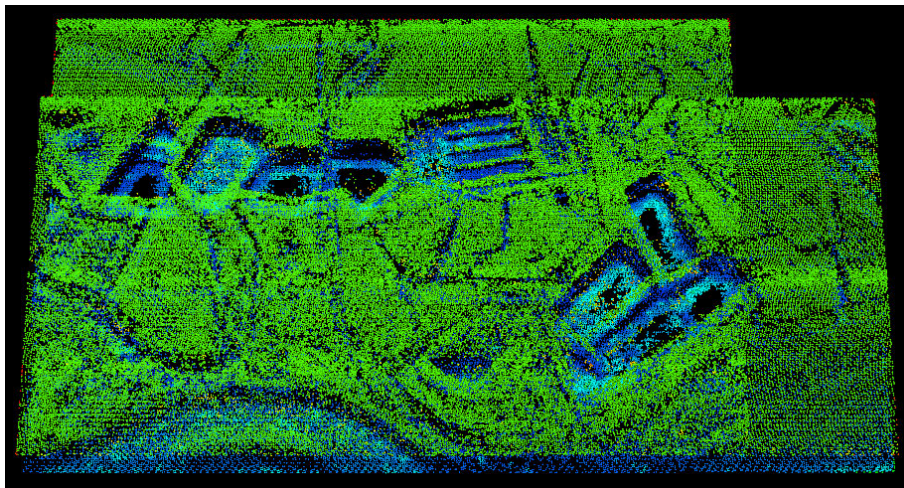
El modelo se muestra con líneas de contorno en la ventana.



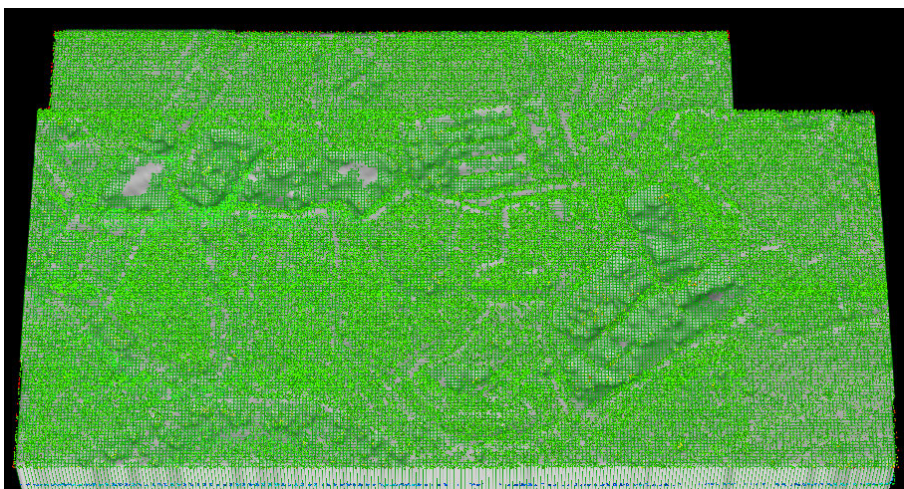
Abrimos el visor para ver los datos y en la opción “*Surface file*” buscamos el archivo “*marismas_CSM.dtm*” que acabamos de generar.



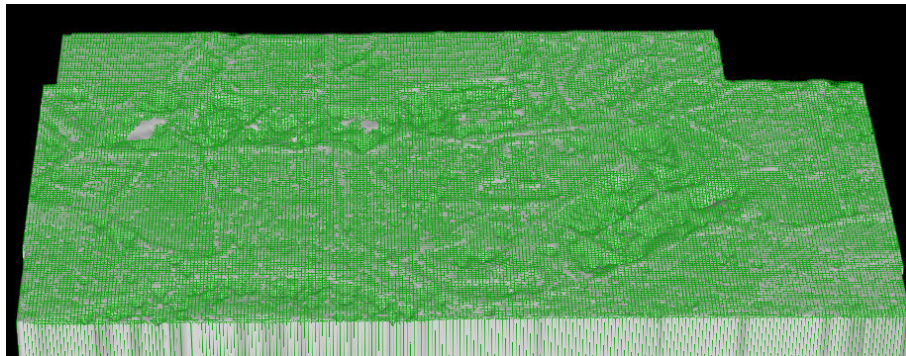
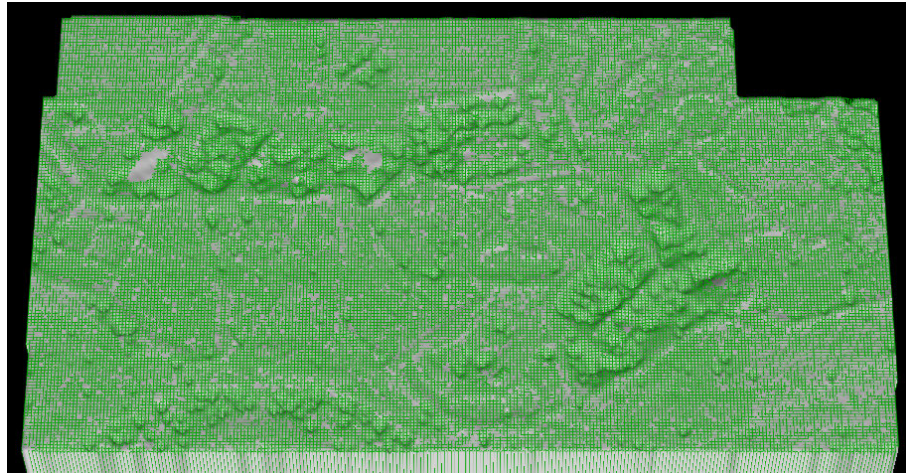
Una vez que se crea el modelo de cubierta, y se añade al proyecto, comenzamos abriendo el cuadro de dialogo "Opciones de muestra" y seleccionamos incluir el modelo de cubierta. Seleccionamos una nueva muestra o hacemos clic en el botón de muestra de la última repetición para cargar los datos en el visor de LDV.



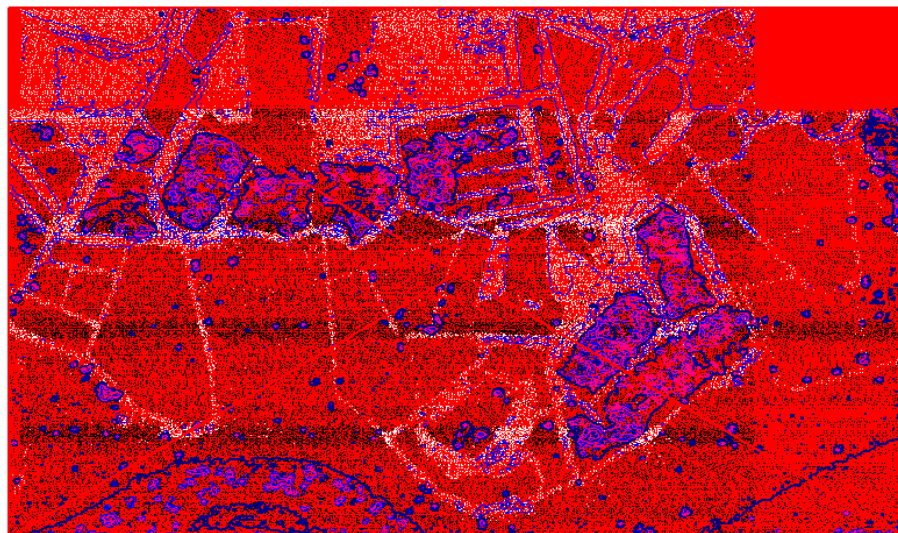
Agregamos la superficie.

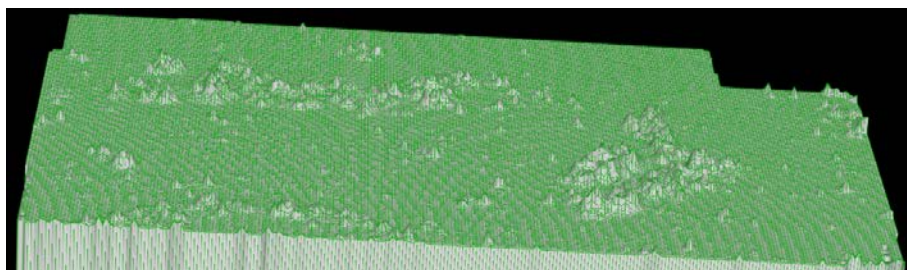
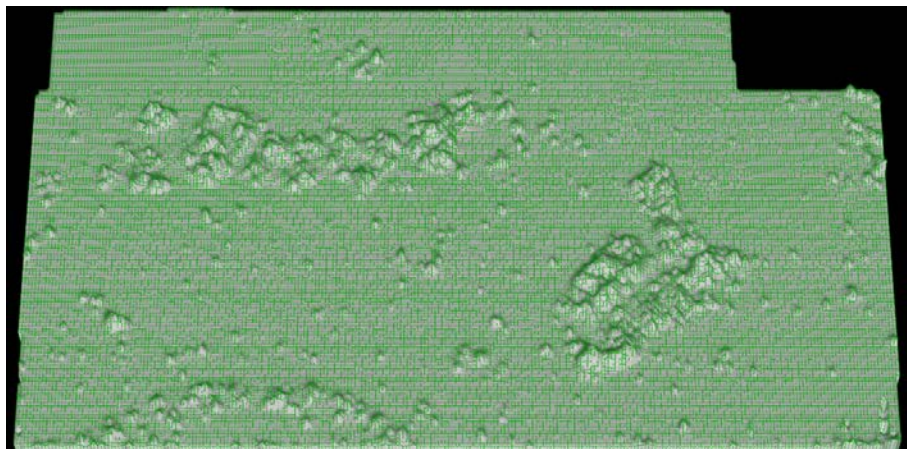
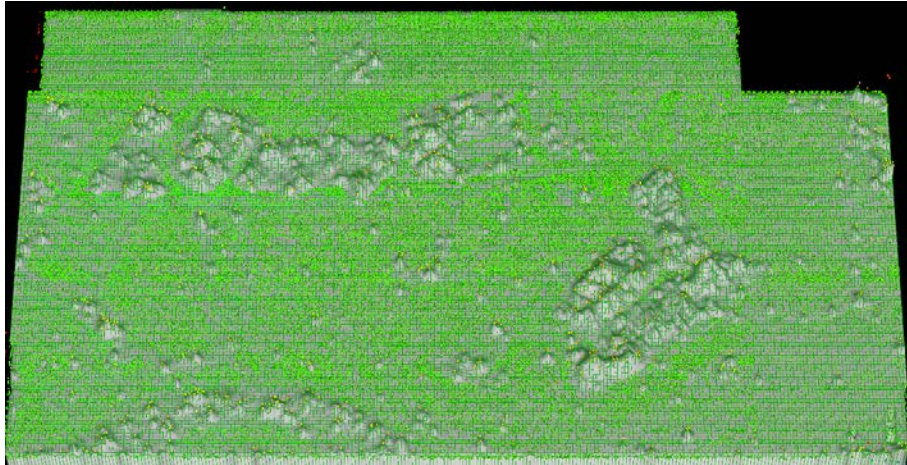


El modelo de la tierra desnuda (marismas_surface.dtm) se mostrará como una superficie gris y el marismas_CSM.dtm se mostrará como un TIN verde).



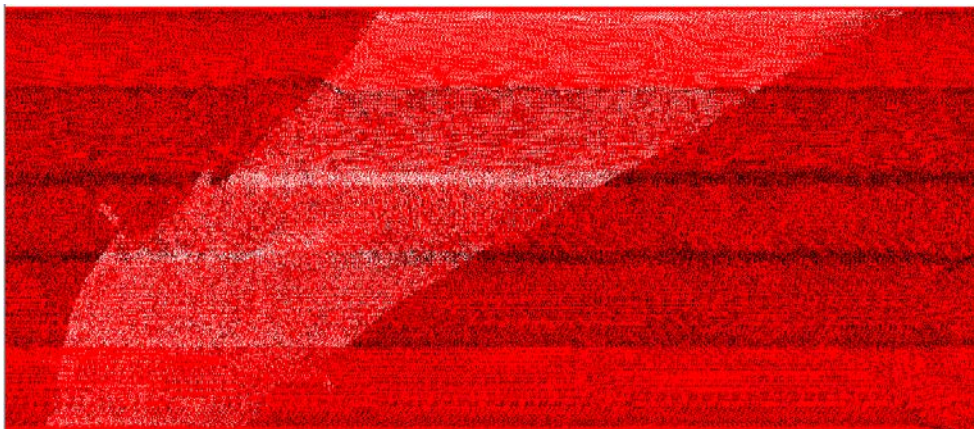
A continuación, creamos un modelo de altura de cubierta (CHM). Después de ejecutar el programa con éxito *canopymodel* creamos marismas_CHM.dtm.



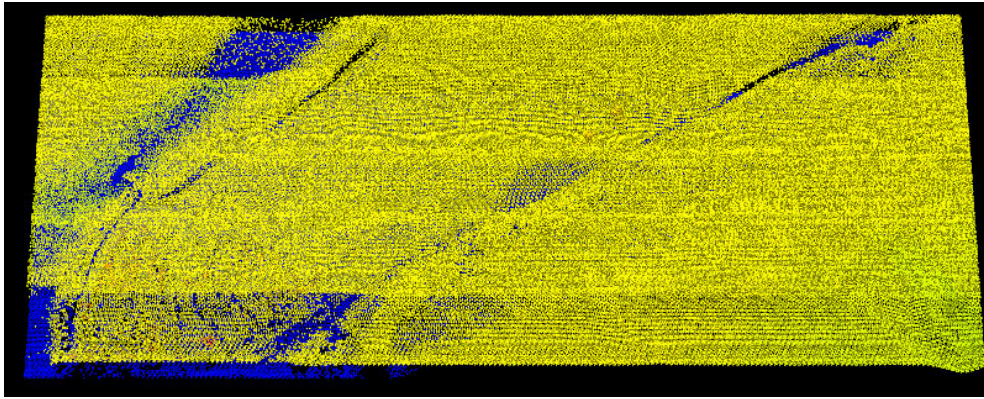


ESPIGÓN

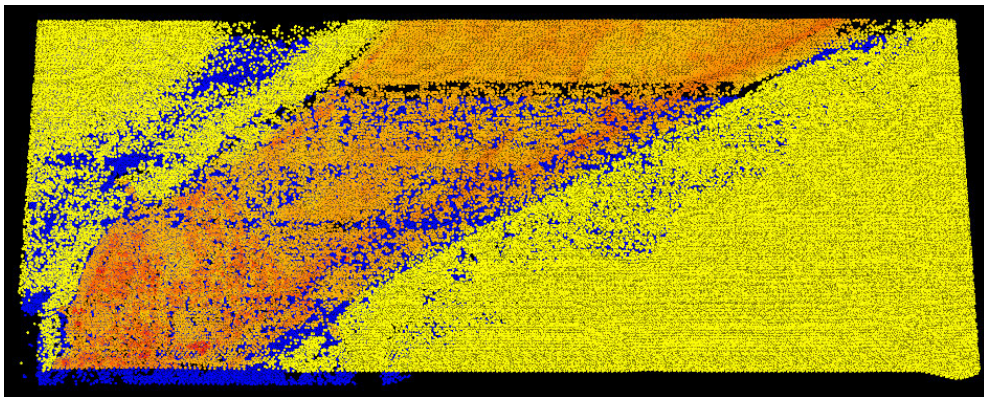
Examinamos el fichero “espigon.las” y generamos la imagen georeferenciada:



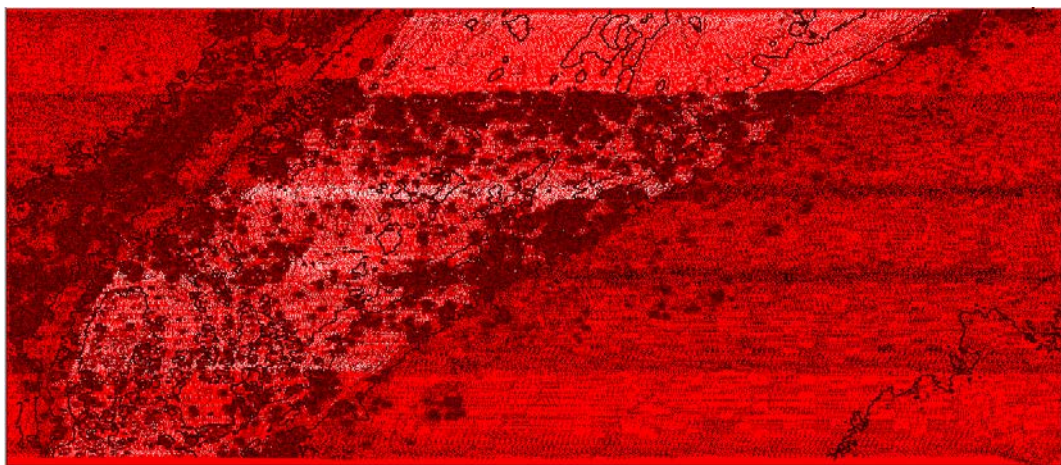
Cargamos el fichero y echamos un vistazo en el visor LDV



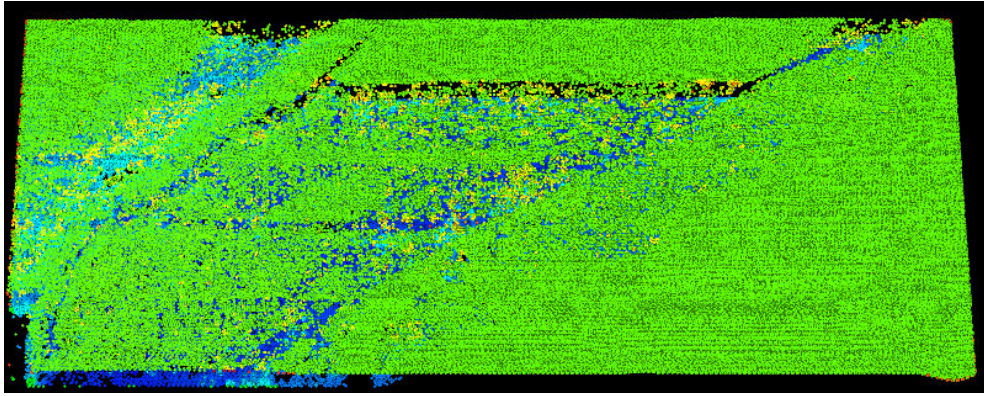
Después, creamos el archivo “espigon_groundpoints.las” y lo activamos en el botón “Raw data” para abrirlo en el visor:



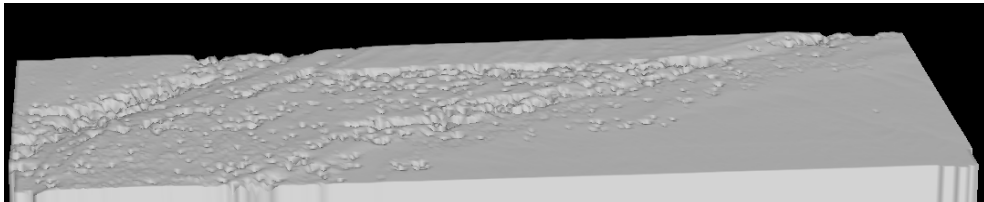
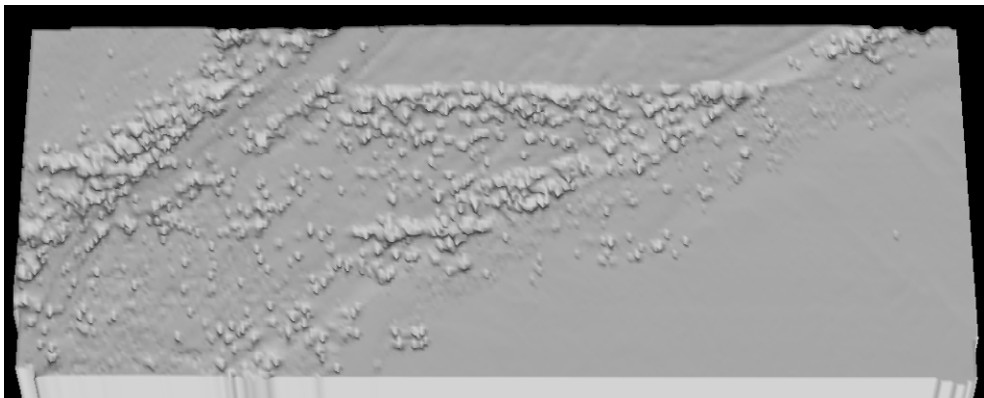
Se crea el modelo “espigon_surface.dtm”. El archivo se mostrará como curvas de nivel dentro de la ventana de visualización de FUSION.



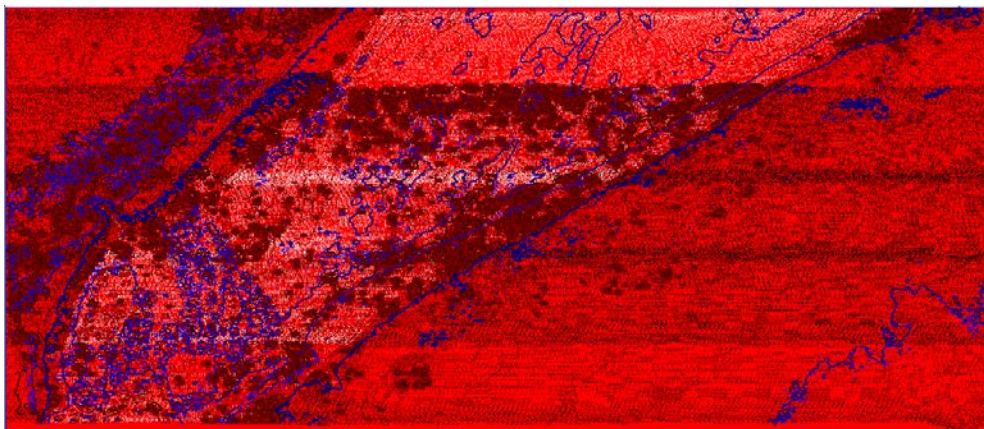
Hacemos clic y arrastramos en el visor de FUSION para crear una muestra en LDV.



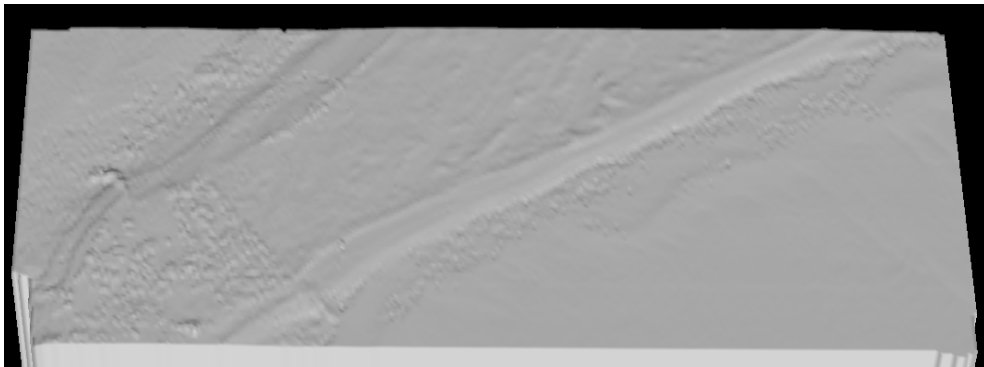
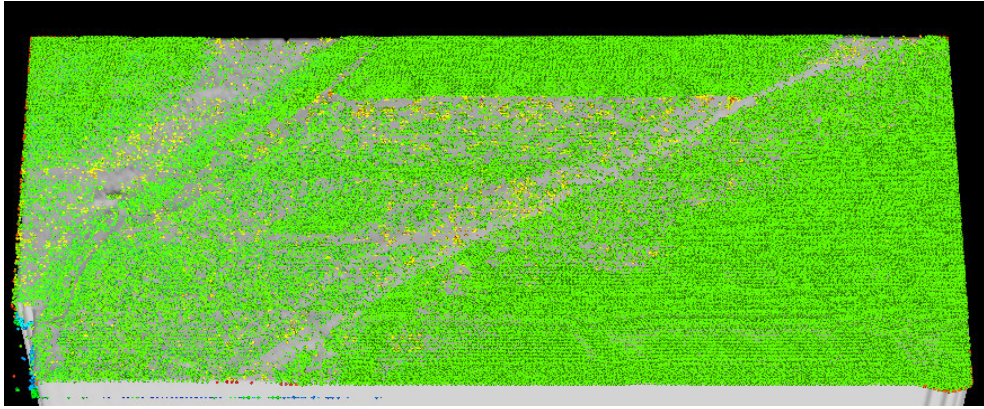
Seleccionamos “superficies” (o Alt-U) y desactivamos “datos” (o Alt-D).



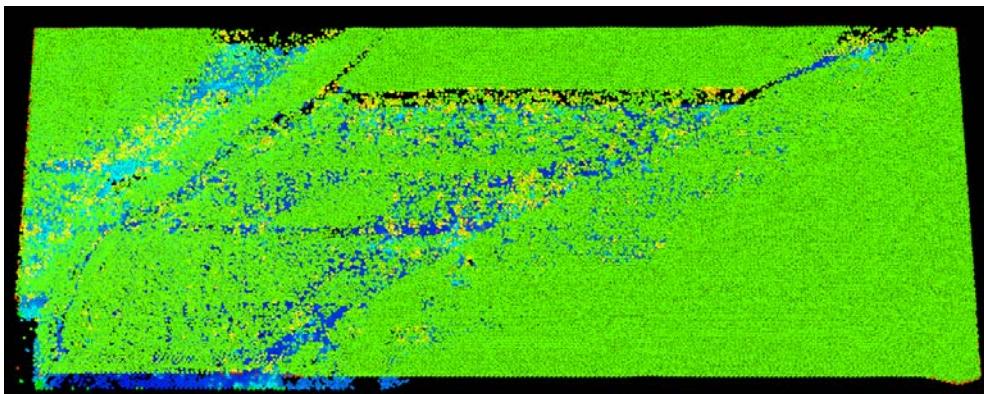
Se crea el modelo de superficie de cubierta, el modelo se muestra con líneas de contorno en la ventana.



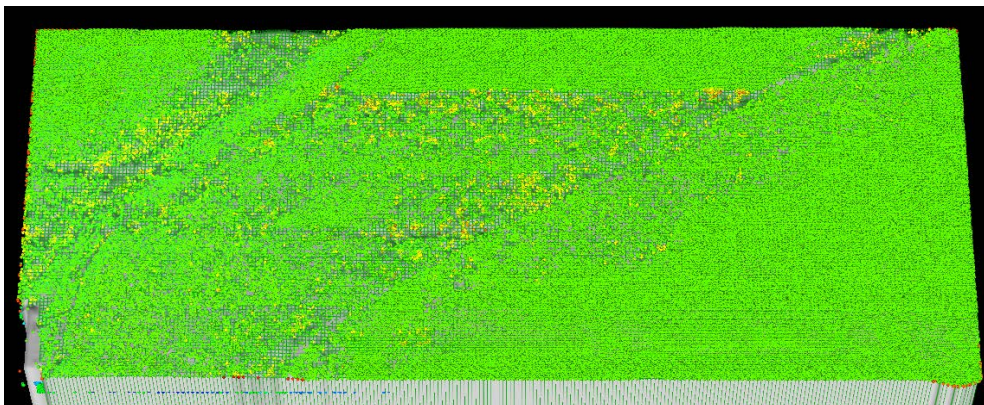
Abrimos el visor para ver los datos y en la opción “*Surface file*” buscamos el archivo “espigon_CSM.dtm”.



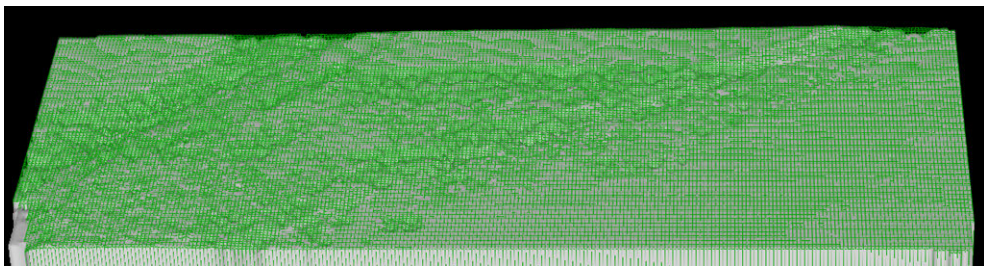
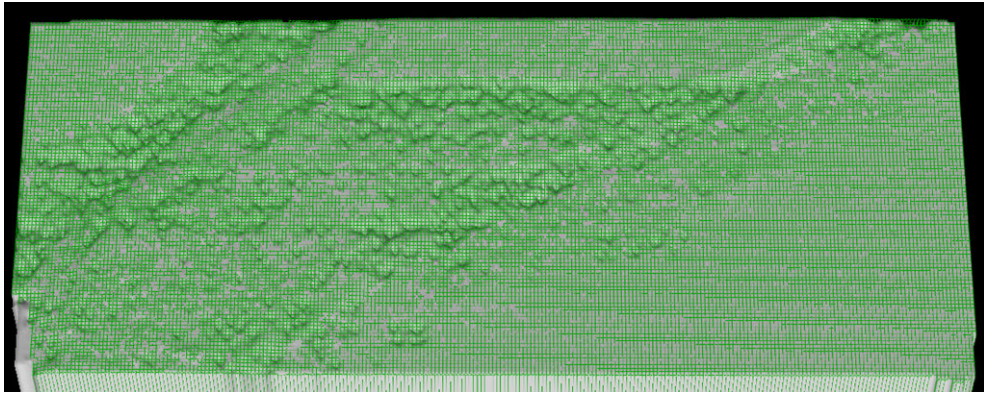
Seleccionamos incluir el modelo de cubierta.



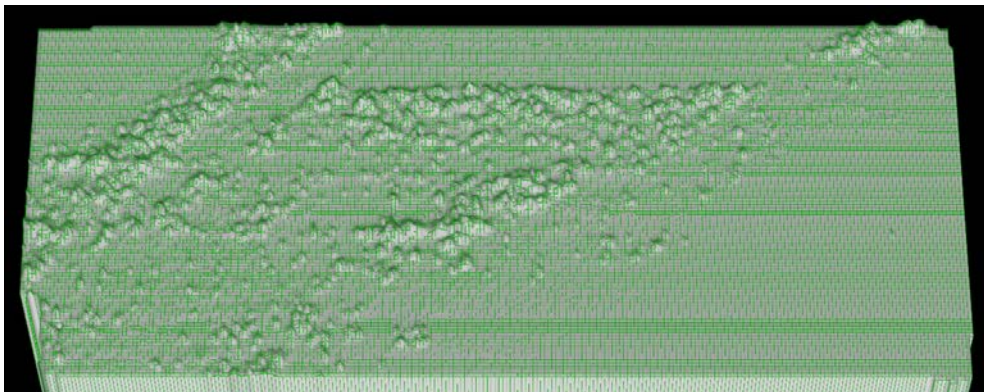
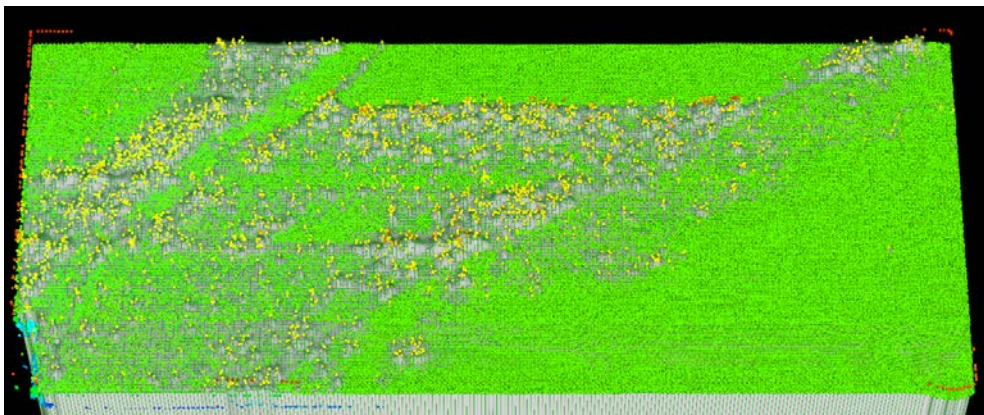
Una vez que el visor LDV muestra los puntos de datos agregamos las superficies.

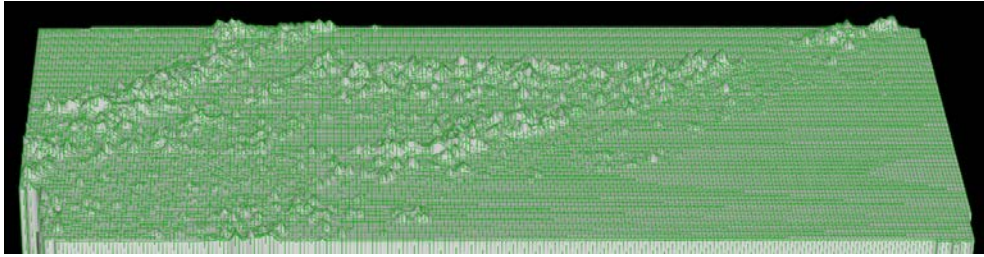


El modelo de la tierra desnuda (espigon_surface.dtm) se mostrará como una superficie gris y el espigon_CSM.dtm se mostrará como un TIN verde).



Creamos el modelo de altura de cubierta (CHM).





3.5.2 MDTOPX

El programa *MDTopX* está diseñado para la generación de modelos digitales del terreno y su posterior aprovechamiento dentro de la cartografía y la ingeniería.

El programa calcula un modelo digital utilizando datos procedentes de ficheros con cartografía o topografía y lo almacena en formato especial donde se guardan las relaciones de vecindad entre los distintos puntos y líneas. En este formato es posible, además, almacenar y conservar las posibles líneas de ruptura definitorias del terreno, que son aquellas que representan los diferentes cambios de pendiente de éste.

La estructura de almacenamiento de modelos digitales elegida es la denominada TIN (*Triangulated Irregular Network*), que utiliza los datos originales dispuestos de forma heterogénea sobre el espacio, valiéndose para ello del algoritmo de la triangulación de *Delaunay* cuyas propiedades matemáticas de gran importancia confieren solidez al modelo digital.

Los archivos de entrada / salida válidos para el programa son, entre otros, ficheros DIGI, ficheros DXF, ficheros DGN, ficheros ASCII y ficheros LAS.

Además permite generar archivos raster geo-referenciados como mapas de tintas hipsométricas o sombreados del relieve de la zona. Asimismo, permite generar modelos digitales basados en rejilla regular (de tipo DEM) y exportar a diferentes formatos de modelos digital, como el MTN 25 del Instituto Geográfico Nacional.

Esta aplicación puede trabajar de manera independiente con un sólo archivo o también tiene la posibilidad de crear proyectos con varios archivos LiDAR, donde podemos ejecutar macros de forma automática y mejorar la producción si es necesario.

Consta de varias pantallas de información, a parte de la propia gráfica, donde entre otras cosas podemos ir conociendo los procesos generados y los resultados obtenidos.

3.5.2.1 Edición ALS

ZONA URBANA

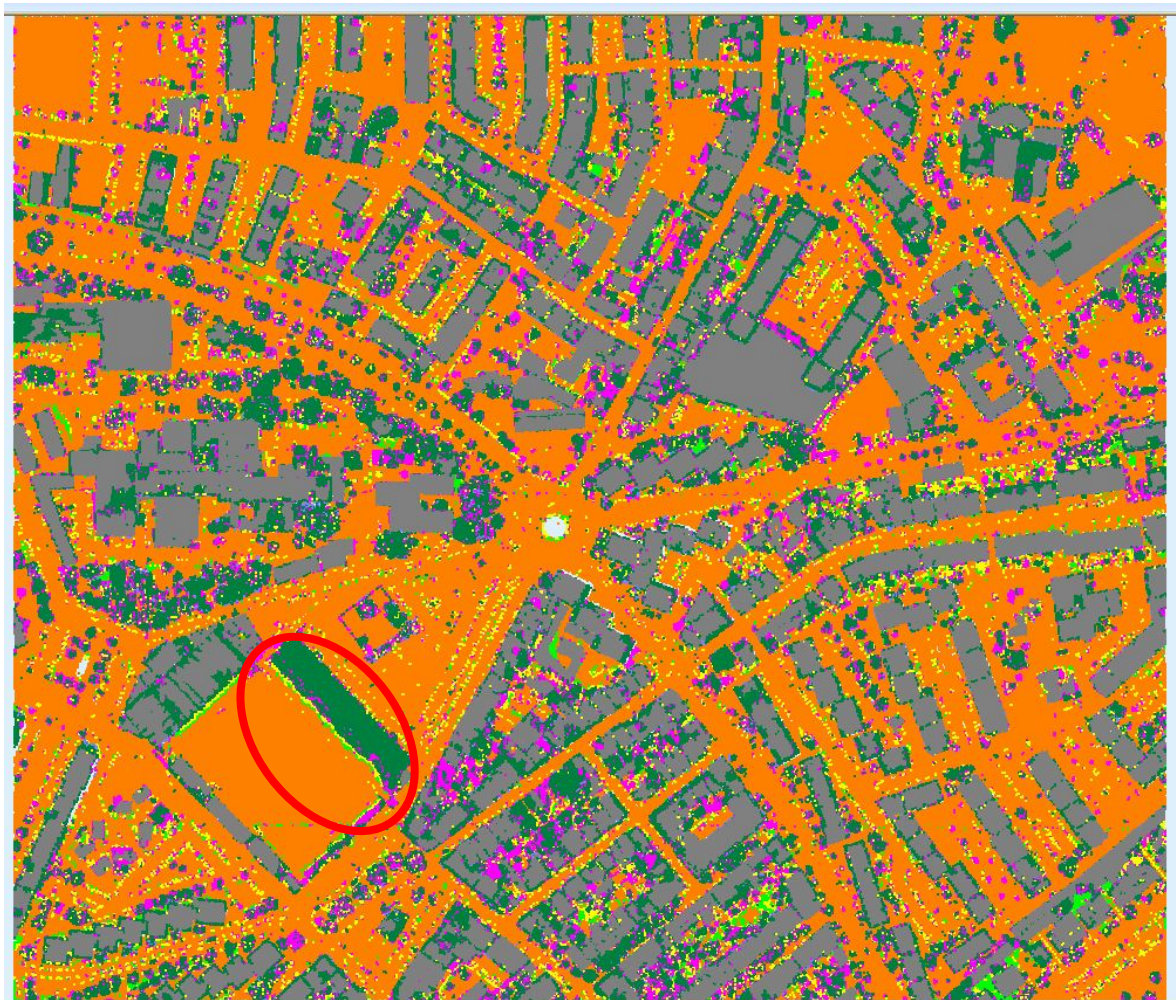
Para la edición de la zona urbana utilizamos la herramienta superficie mágica, en la cual indicamos los criterios geométricos óptimos para la zona. Pueden observarse en el gráfico que sigue:



Una vez ejecutada la herramienta, *MDTopX* nos devuelve la siguiente información del proceso:

<pre>[Abriendo dibujo] 0 líneas 0 textos 1013913 puntos [Buscar Puntos por Línea de Vuelo] Clasificación por línea de vuelo Pasada 1: Puntos clasificados 382045 Pasada 2: Puntos clasificados 30756 Pasada 3: Puntos clasificados 6652 Desnivel Medio = 0.17 m Distancia Media = 1.04 m Clasificación por afinidad Pasada 4: Puntos clasificados 318039 Clasificación por intensidad Pasada 5: Puntos clasificados 26401 Clasificación de puntos altos Pasada 6: Puntos clasificados 0 Clasificación por superficie Puntos triangulados 323695 Comprobación puntos hundidos Pasada 7: Puntos clasificados 5544 Pasada 8: Puntos clasificados 23344 Pasada 9: Puntos clasificados 933 Pasada 10: Puntos clasificados 3615 Pasada 11: Puntos clasificados 54</pre>	<pre>Clasificación de puntos indefinidos Puntos triangulados 495355 Pasada 12: Puntos clasificados 173074 Pasada 13: Puntos clasificados 95246 Clasificación por intensidad Pasada 14: Puntos clasificados 79146 Búsqueda de superficies planas Pasada 15: Puntos clasificados 6414 Clasificación por afinidad Pasada 16: Puntos clasificados 26009 Clasificación por superficie Comprobación puntos hundidos Pasada 17: Puntos clasificados 1360 Pasada 18: Puntos clasificados 3888 Pasada 19: Puntos clasificados 475 Pasada 20: Puntos clasificados 769 Pasada 21: Puntos clasificados 567 Clasificación de puntos altos Pasada 22: Puntos clasificados 41 Operación finalizada con éxito Tiempo empleado 00:05:09</pre>
---	--

Se puede observar que el software procesa los datos de cada línea de vuelo utilizando los criterios previamente establecidos por el mismo e indicando el número de puntos. Esta operación conlleva un tiempo aproximado de cinco minutos y permite visualizar la nube de puntos clasificada.

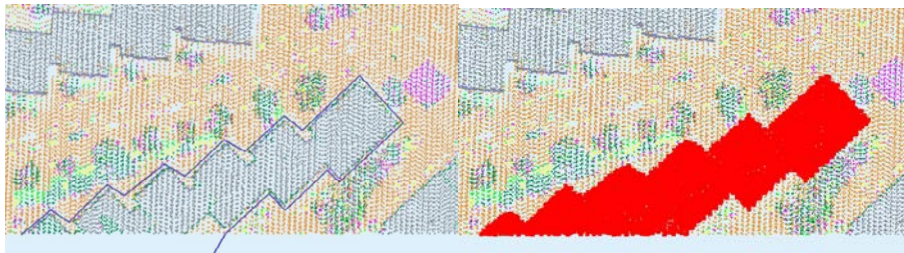


Pueden observarse errores como la zona de la grada que debido a su geometría *MDTopX* la clasifica como vegetación, zonas que deja sin clasificar porque con los criterios indicados no encuentra una solución coherente con la realidad.

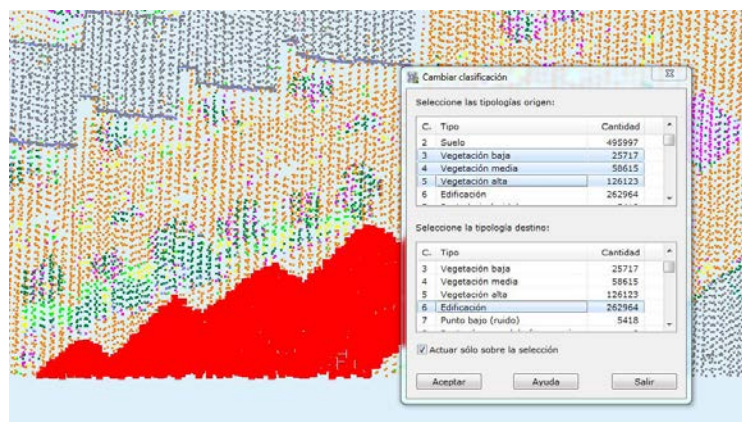
Iniciamos entonces una edición manual, donde interviene la capacidad interpretativa del operador ayudándose con imágenes de la zona.

Se utilizan herramientas sobre todo de cambio de clasificación en zonas seleccionadas, como ejemplo podemos indicar zonas de edificio que han sido clasificadas como vegetación.

Primero seleccionamos la zona en cuestión:



Y posteriormente se realiza un cambio en el cual todos los puntos que estén clasificados como vegetación se clasificarán como edificios:



Obteniendo:

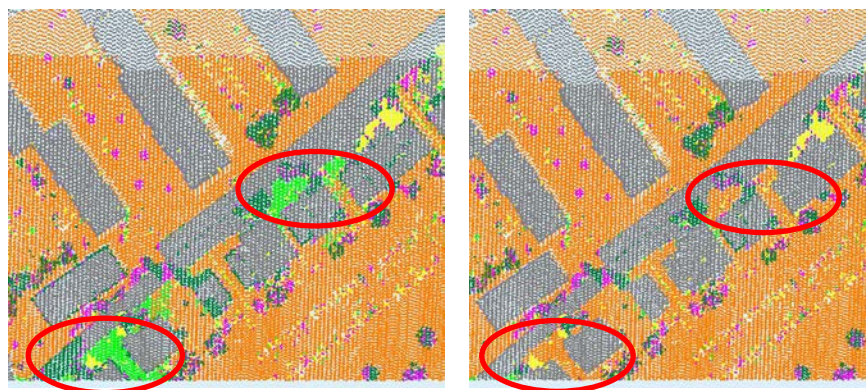


Tenemos que editar las edificaciones ayudándonos de imágenes para distinguir edificación de vegetación alta, suele encontrarse estos problemas en altillos o chimeneas, coches que se han clasificado como vegetación, hay que detectarlos y clasificarlos como ruido ya que pueden influir negativamente en el modelo final. Para ello nos ayudamos con la herramienta denominada *puntos elevados*, donde indicamos un criterio altimétrico y ayudándonos igualmente con las imágenes existentes para diferenciar la vegetación real de los coches.

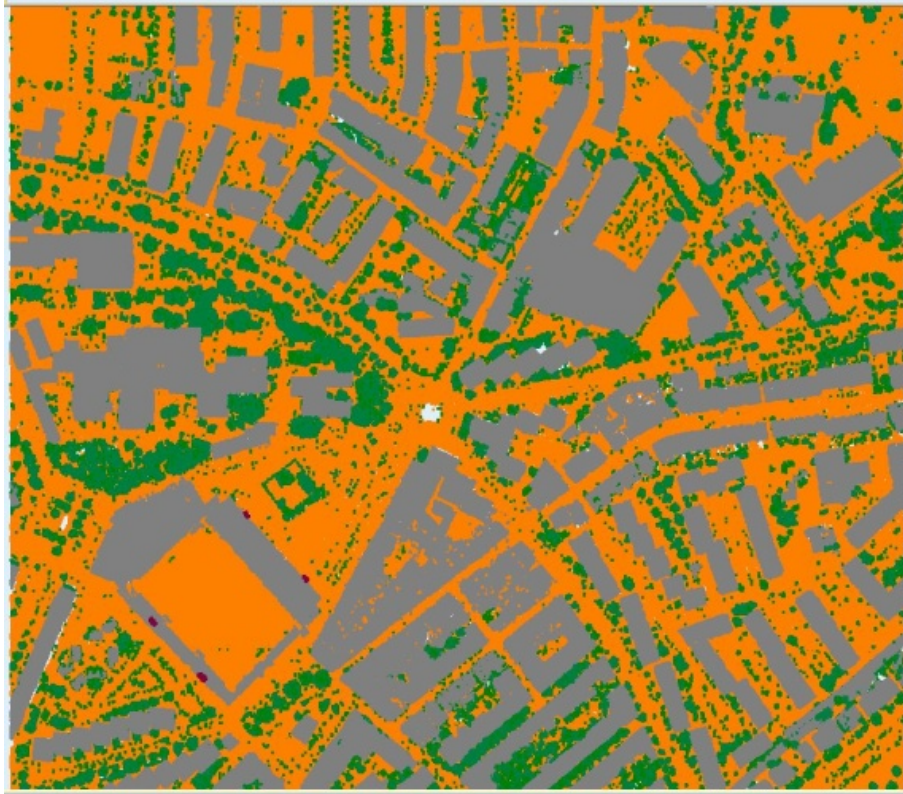
Como ejemplo:



Y por último también editamos zonas de puntos que no se han clasificado. En las zonas próximas a los bordes la aplicación deja puntos sin clasificar, esto sucede porque le falta información a la hora de comparar con puntos cercanos. Ayudándonos de perfiles clasificamos estas zonas y obtenemos:

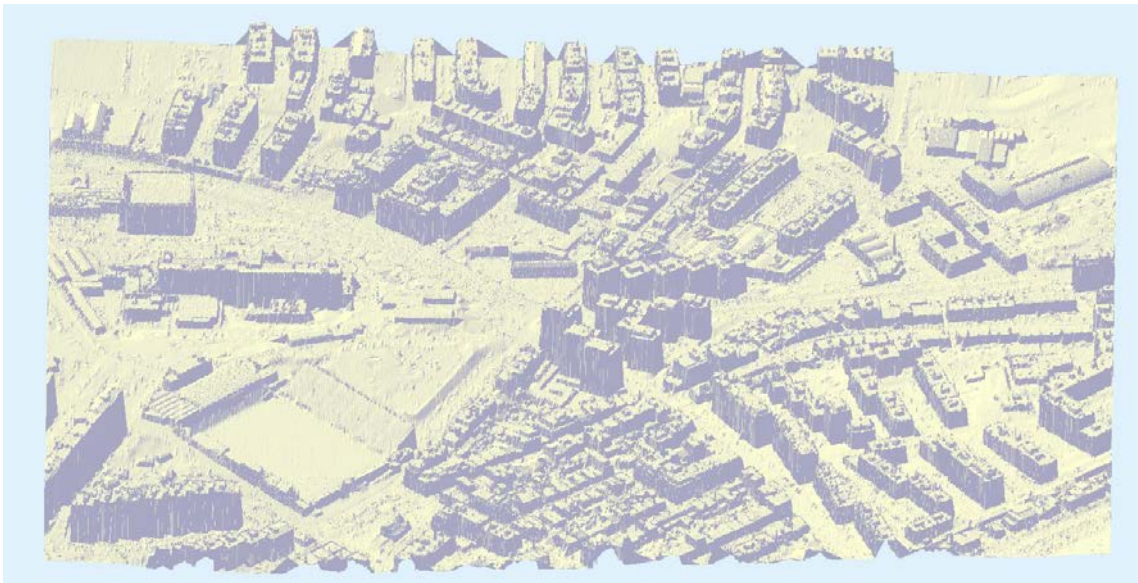


Una vez terminada la edición llegamos a la siguiente clasificación:



La edición de esta zona nos ha llevado un total de 8 horas.

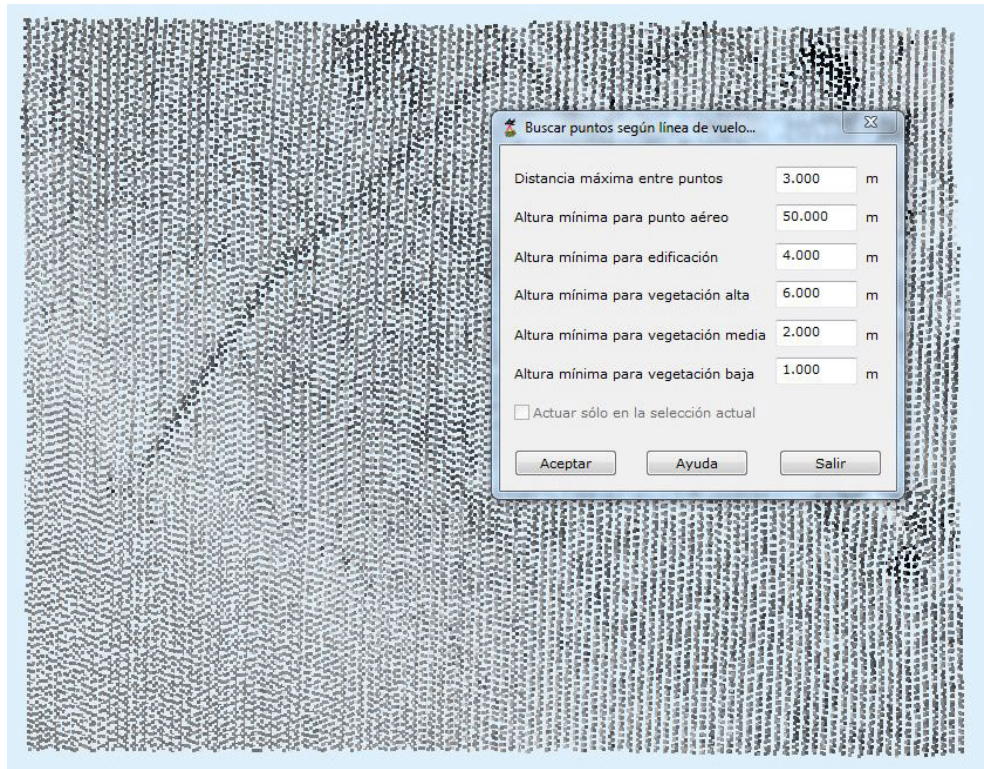
Realizamos MDS:



ZONAS RURALES

MATORRAL

Se realiza una primera clasificación con la herramienta superficie mágica, con los criterios de clasificación que se muestran en la imagen. Tiempo utilizado para dicha clasificación, 10 segundos, obteniendo los siguientes resultados:



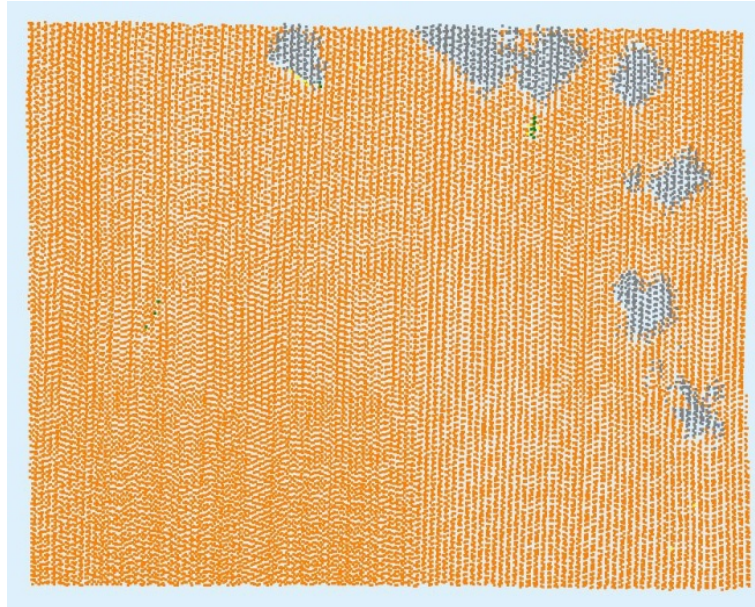
Al ejecutar la herramienta esta nos devuelve los siguientes resultados:

Resultados	
[Abriendo dibujo]	
0 líneas	
0 textos	
40825 puntos	
[Buscar Puntos por Línea de Vuelo]	
Clasificación por línea de vuelo	
Pasada 1: Puntos clasificados 3501	
Pasada 2: Puntos clasificados 1680	
Pasada 3: Puntos clasificados 1013	
Pasada 4: Puntos clasificados 352	
Desnivel Medio = 0.11 m	
Distancia Media = 1.10 m	
Clasificación por afinidad	
Pasada 5: Puntos clasificados 8791	
Clasificación por intensidad	
Pasada 6: Puntos clasificados 113	
Clasificación de puntos altos	
Pasada 7: Puntos clasificados 11	
Clasificación por superficie	
Puntos triangulados 14980	
Comprobación puntos hundidos	
Pasada 8: Puntos clasificados 0	
Pasada 9: Puntos clasificados 0	
Pasada 10: Puntos clasificados 8	
Pasada 11: Puntos clasificados 21	
Pasada 12: Puntos clasificados 0	
Clasificación de puntos indefinidos	
Puntos triangulados 33638	
Pasada 13: Puntos clasificados 18785	
Pasada 14: Puntos clasificados 1928	
Clasificación por intensidad	
Pasada 15: Puntos clasificados 685	
Búsqueda de superficies planas	
Pasada 16: Puntos clasificados 228	
Clasificación por afinidad	
Pasada 17: Puntos clasificados 194	
Clasificación por superficie	
Comprobación puntos hundidos	
Pasada 18: Puntos clasificados 0	
Pasada 19: Puntos clasificados 151	
Pasada 20: Puntos clasificados 8	
Pasada 21: Puntos clasificados 14	
Pasada 22: Puntos clasificados 4	
Clasificación de puntos altos	
Pasada 23: Puntos clasificados 7	
Operación finalizada con éxito	
Tiempo empleado 00:00:06	

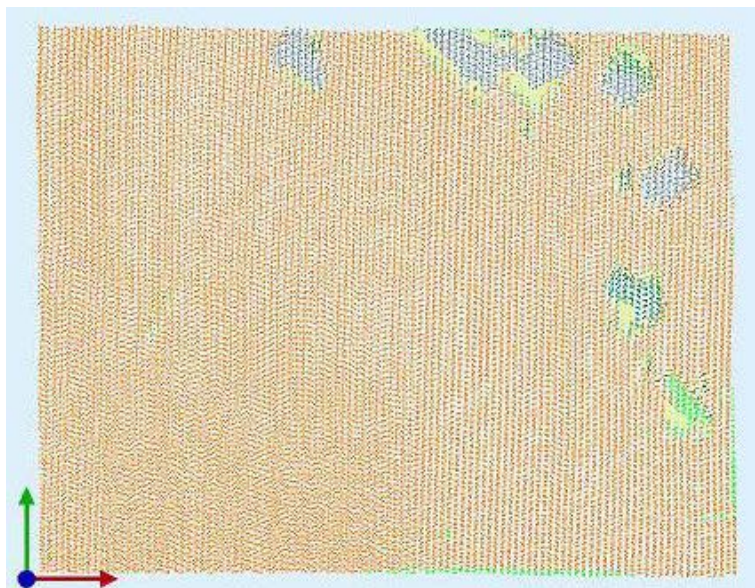
Y como respuesta gráfica:



Se observa que en la parte inferior derecha deja los puntos sin clasificar, esto es debido a la ausencia de zonas clasificadas donde comparar con los criterios indicados. La mejor solución en estos casos es realizar una clasificación de la zona por perfiles, de tal modo que así tendrá la aplicación criterios para comparar con los puntos vecinos y llegará a una solución, siendo esta la siguiente:

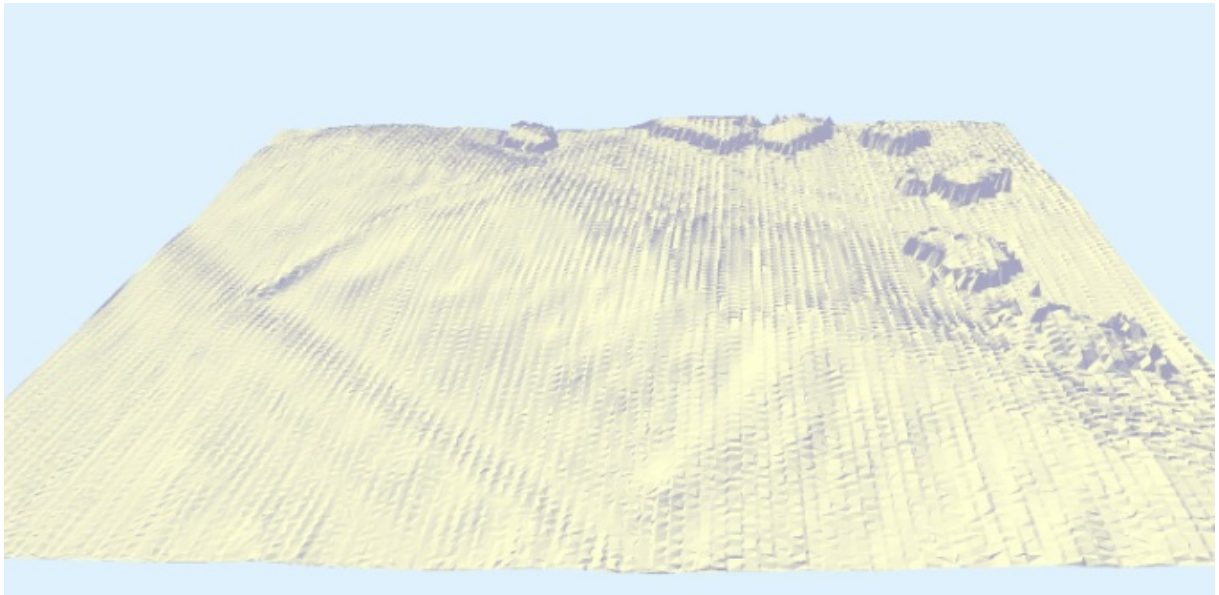


Otra forma de clasificar los puntos es haciendo una selección en la esquina inferior derecha para que tenga puntos de comparación:

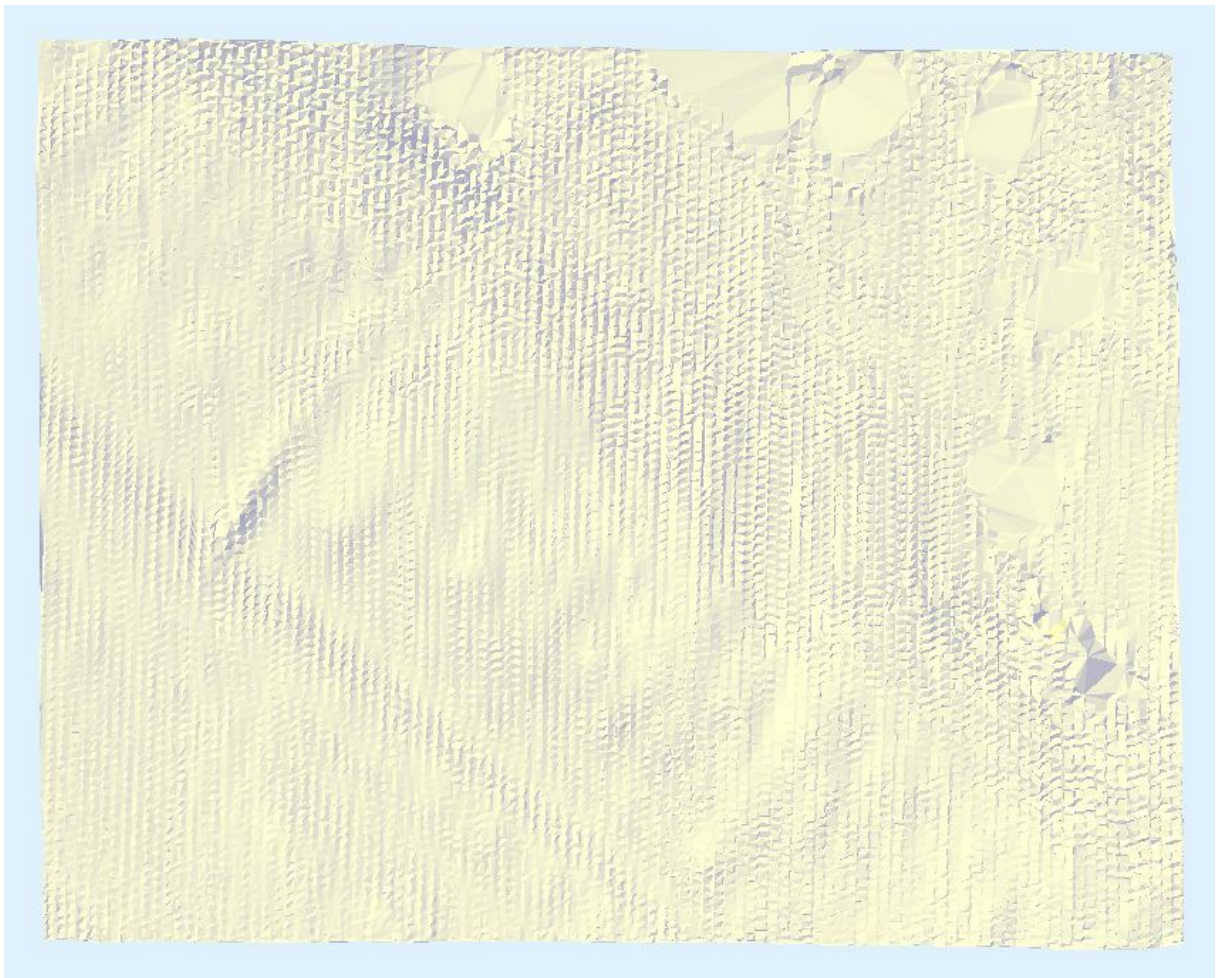


Posteriormente se editó de forma manual las zonas próximas a los edificios mediante perfiles ya que presentaban también errores.

Una vez terminada la edición realizamos el MDS:



Y el MDT:



Cabe destacar la rapidez de la edición, al encontrarse en esta zona sólo con algunas edificaciones y poca vegetación, lo que nos indica que dependiendo de la morfología del terreno el tiempo de edición será diferente.

MONTE Y CULTIVO

Al igual que en las clasificaciones anteriores, comenzamos la edición ejecutando la herramienta superficie mágica con los criterios de clasificación óptimos:



Obteniendo los siguientes resultados:

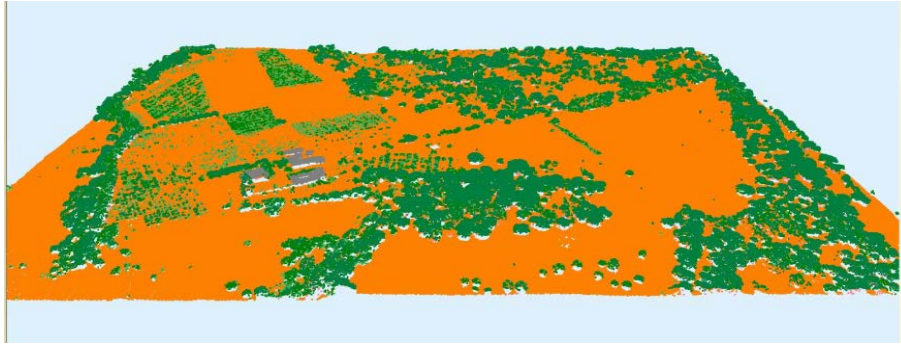


Resultados	Clasificación por superficie
[Abriendo dibujo]	Puntos triangulados 589897
0 líneas	Comprobación puntos hundidos
0 textos	Pasada 8: Puntos clasificados 3458
40825 puntos	Pasada 9: Puntos clasificados 1731
[Triangulación 2D]	Pasada 10: Puntos clasificados 229
Puntos triangulados 38639	Pasada 11: Puntos clasificados 1682
Operación finalizada con éxito	Pasada 12: Puntos clasificados 38
Tiempo empleado 00:00:02	Clasificación de puntos indefinidos
[Triangulación 2D]	Puntos triangulados 676373
Puntos triangulados 40618	Pasada 13: Puntos clasificados 86917
Operación finalizada con éxito	Pasada 14: Puntos clasificados 31651
Tiempo empleado 00:00:01	Clasificación por intensidad
[Abriendo dibujo]	Pasada 15: Puntos clasificados 46816
0 líneas	Búsqueda de superficies planas
0 textos	Pasada 16: Puntos clasificados 33
874343 puntos	Clasificación por afinidad
[Buscar Puntos por Línea de Vuelo]	Pasada 17: Puntos clasificados 17578
Clasificación por línea de vuelo	Clasificación por superficie
Pasada 1: Puntos clasificados 164499	Comprobación puntos hundidos
Pasada 2: Puntos clasificados 27596	Pasada 18: Puntos clasificados 1779
Pasada 3: Puntos clasificados 9027	Pasada 19: Puntos clasificados 725
Pasada 4: Puntos clasificados 4128	Pasada 20: Puntos clasificados 214
Desnivel Medio = 0.16 m	Pasada 21: Puntos clasificados 296
Distancia Media = 1.10 m	Pasada 22: Puntos clasificados 124
Clasificación por afinidad	Clasificación de puntos altos
Pasada 5: Puntos clasificados 560610	Pasada 23: Puntos clasificados 13
Clasificación por intensidad	Operación finalizada con éxito
Pasada 6: Puntos clasificados 16152	Tiempo empleado 00:04:59
Clasificación de puntos altos	
Pasada 7: Puntos clasificados 20	

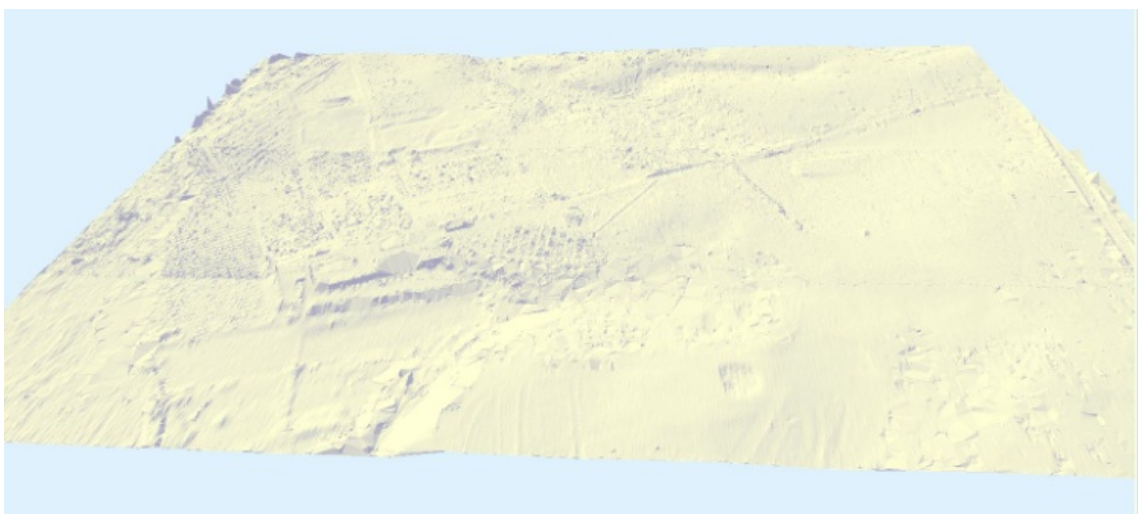
Como se puede ver en la ventana gráfica, *MDTopX* clasifica zonas que claramente son vegetación como edificios, esto se debe a que esta herramienta cuando la utilizamos aún no estaba implementada con criterios de clasificación utilizando también niveles de intensidad, cosa que ahora si cuenta con ello. Otra forma de ayudarnos en la clasificación es a través de la imagen de la zona geo-referenciada, en el caso de tenerla, podemos asignar a los puntos los valores RGB e introducir ese criterio en la clasificación. Conociendo los valores del RGB de los árboles en la imagen y aplicando criterios geométricos la clasificación será aún más fina si cabe.

En este caso no disponíamos de imagen geo-referenciada y aun no estaba implementada la clasificación teniendo en cuenta el nivel de intensidad, así que realizamos una clasificación de esa zona de forma manual ayudándonos de perfiles obteniendo como resultado final:

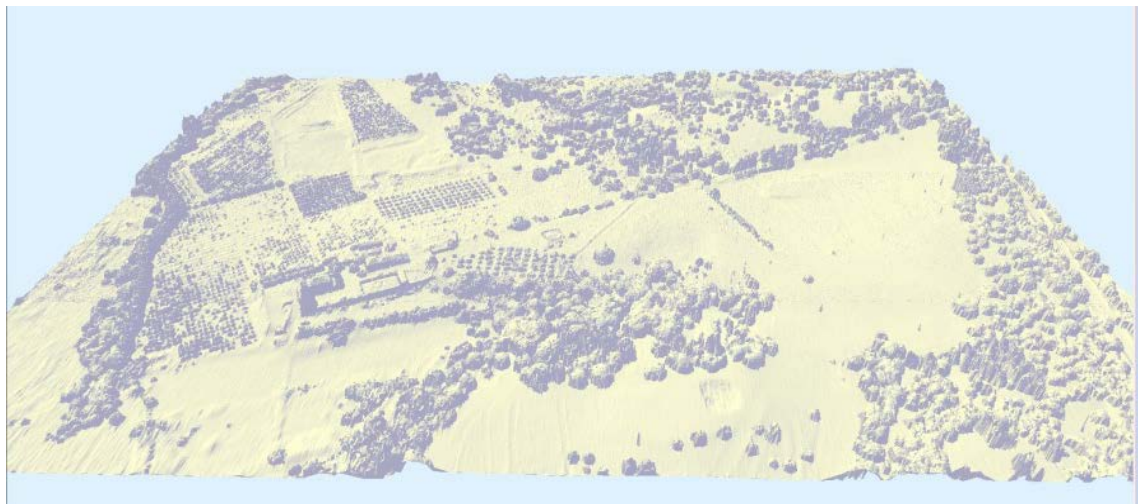
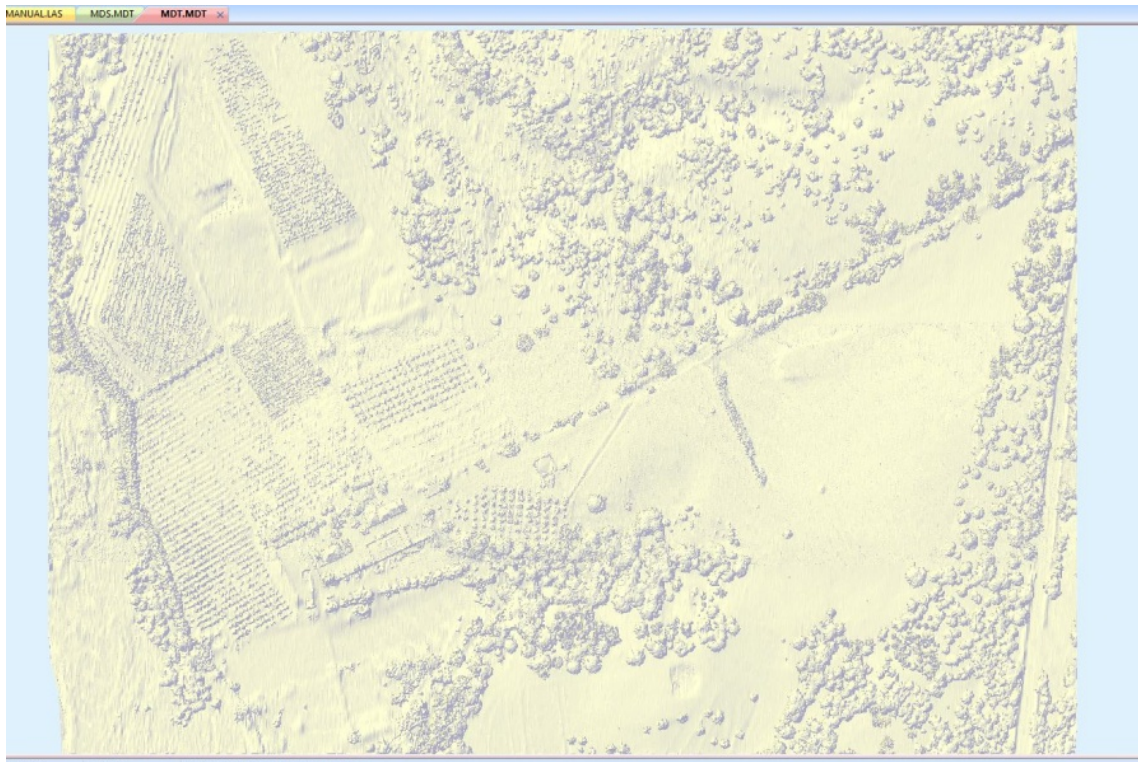




Una vez clasificados los puntos generamos el MDT:



Y el MDS:



3.5.2.2 Edición ALB

Pasamos ahora a la edición de la nube de puntos obtenida con el sensor ALB. Con este sensor nos encontramos tres diferencias muy marcadas respecto a la nube de puntos obtenida con un sensor ALS. La primera que nos encontramos al abrir el fichero es una gran parte de puntos que no se han registrado correctamente y están todos agrupados en la cota -7 metros, es necesario en todos los ficheros clasificar todos estos puntos como ruido para poder comenzar a editar. Otra diferencia es la densidad de puntos obtenida con este sensor que es claramente menor que la obtenida con un sensor ALS y por último la intensidad obtenida por

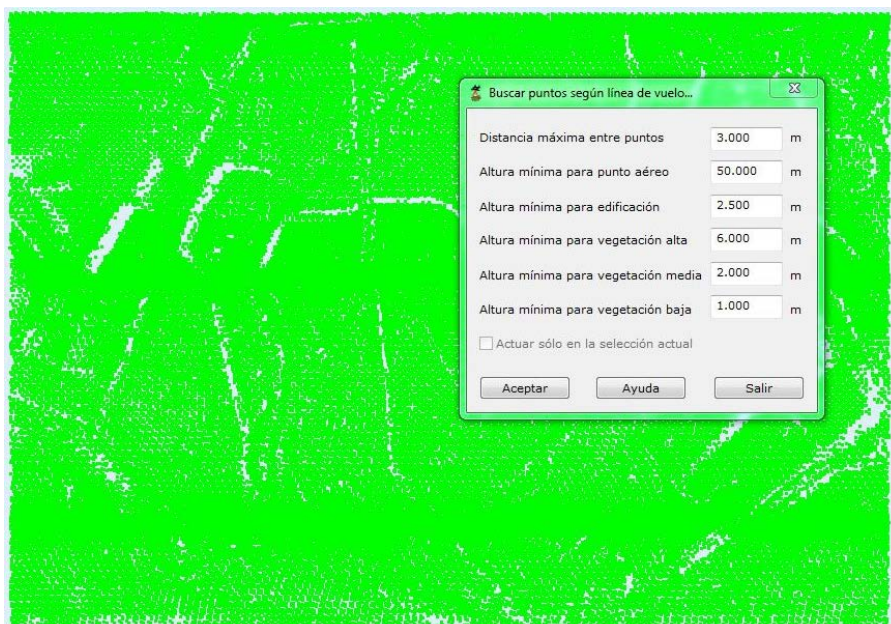
los sensores ALB, ya que esta no se encuentra en el rango al que estamos acostumbrados y las aplicaciones aun no lo utilizan para poder clasificar, ya que la respuesta de intensidad aún no está clara.

MARISMAS

La zona de marismas es la siguiente:

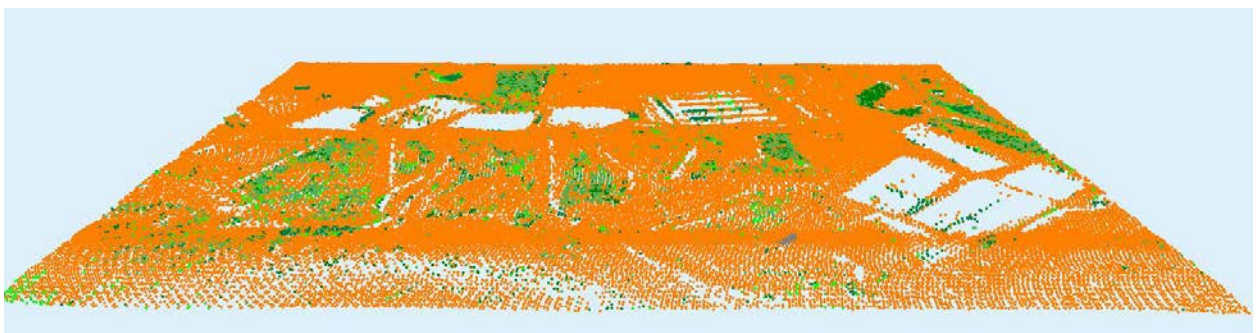


Comenzamos el proceso utilizando la herramienta superficie mágica, teniendo cuidado e indicando que no utilice el nivel de intensidad ya que esta no se encuentra en el rango al que estamos acostumbrados y las aplicaciones aun no lo utilizan para poder clasificar, ya que la respuesta de intensidad aún no está clara:



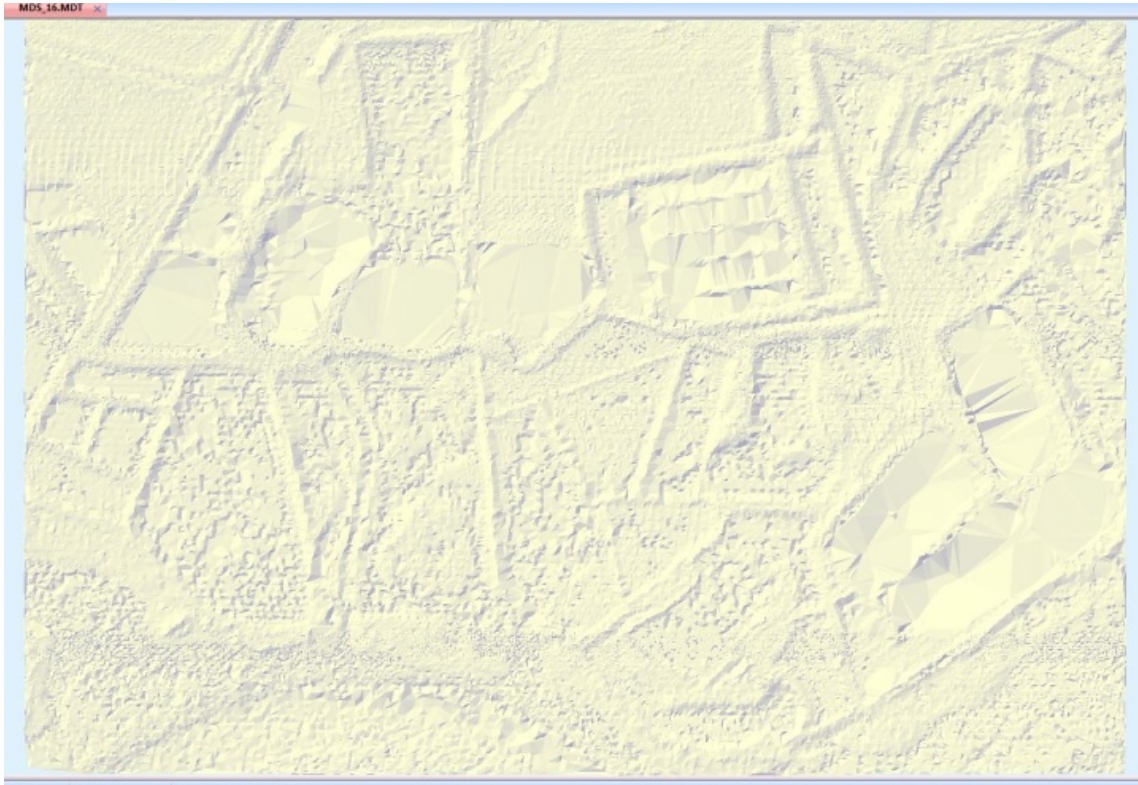
Obtenemos el resultado:

Resultados	
[Abriendo dibujo]	
0 líneas	
0 textos	
124049 puntos	
[Abriendo dibujo]	
0 líneas	
0 textos	
124049 puntos	
[Buscar Puntos por Línea de Vuelo]	
Clasificación por línea de vuelo	
Pasada 1: Puntos clasificados 3131	
Pasada 2: Puntos clasificados 882	
Desnivel Medio = 0.50 m	
Distancia Media = 4.90 m	
Clasificación por afinidad	
Pasada 3: Puntos clasificados 36575	
Clasificación por intensidad	
Pasada 4: Puntos clasificados 127	
Clasificación de puntos altos	
Pasada 5: Puntos clasificados 0	
Clasificación por superficie	
Puntos triangulados 36806	
Comprobación puntos hundidos	
Pasada 6: Puntos clasificados 0	
Pasada 7: Puntos clasificados 0	
Pasada 8: Puntos clasificados 0	
Pasada 9: Puntos clasificados 1	
Pasada 10: Puntos clasificados 0	
Clasificación de puntos indefinidos	
Puntos triangulados 83081	
Pasada 11: Puntos clasificados 46433	
Pasada 12: Puntos clasificados 5984	
Clasificación por intensidad	
Pasada 13: Puntos clasificados 876	
Búsqueda de superficies planas	
Pasada 14: Puntos clasificados 0	
Clasificación por afinidad	
Pasada 15: Puntos clasificados 99	
Clasificación por superficie	
Comprobación puntos hundidos	
Pasada 16: Puntos clasificados 0	
Pasada 17: Puntos clasificados 0	
Pasada 18: Puntos clasificados 0	
Pasada 19: Puntos clasificados 1	
Pasada 20: Puntos clasificados 1	
Clasificación de puntos altos	
Pasada 21: Puntos clasificados 3	
Operación finalizada con éxito	
Tiempo empleado 00:00:11	

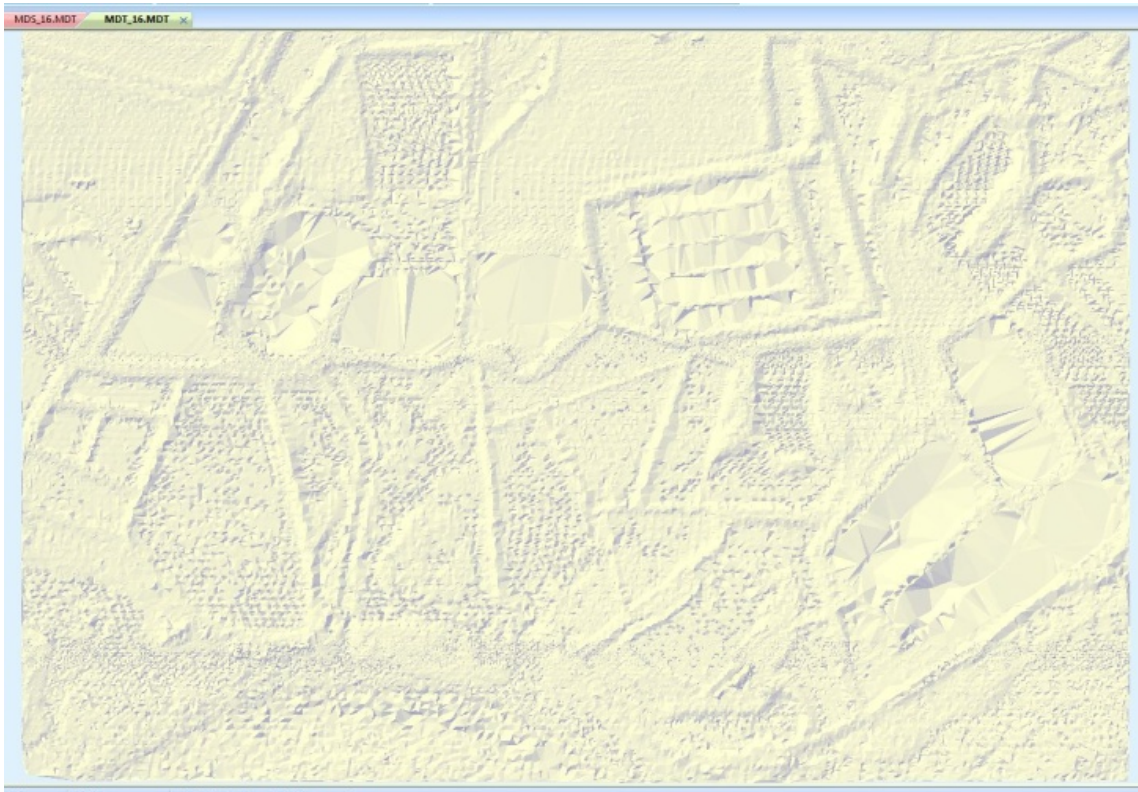


Las zonas con ausencia de datos son aquellas en la que la respuesta del sensor ALB no ha sido correcta y los puntos se han clasificado como ruido, creemos que esto es debido a la estanqueidad del agua y a la salinidad de la misma. No es necesaria una edición manual ya que la herramienta utilizada nos ha devuelto una clasificación óptima, así que pasamos a la triangulación para obtener el MDT y MDS.

MDT:



MDS:

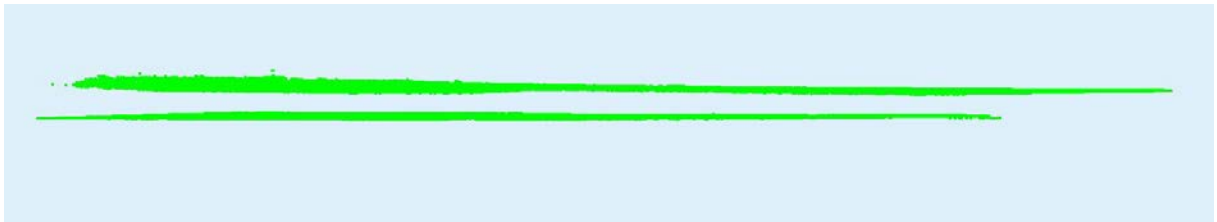


ESPIGÓN

Ya explicamos anteriormente porque elegimos esta zona en concreto, reúne varias tipologías que nos interesaban, zonas de matorral, edificaciones y zonas con distinta profundidad.

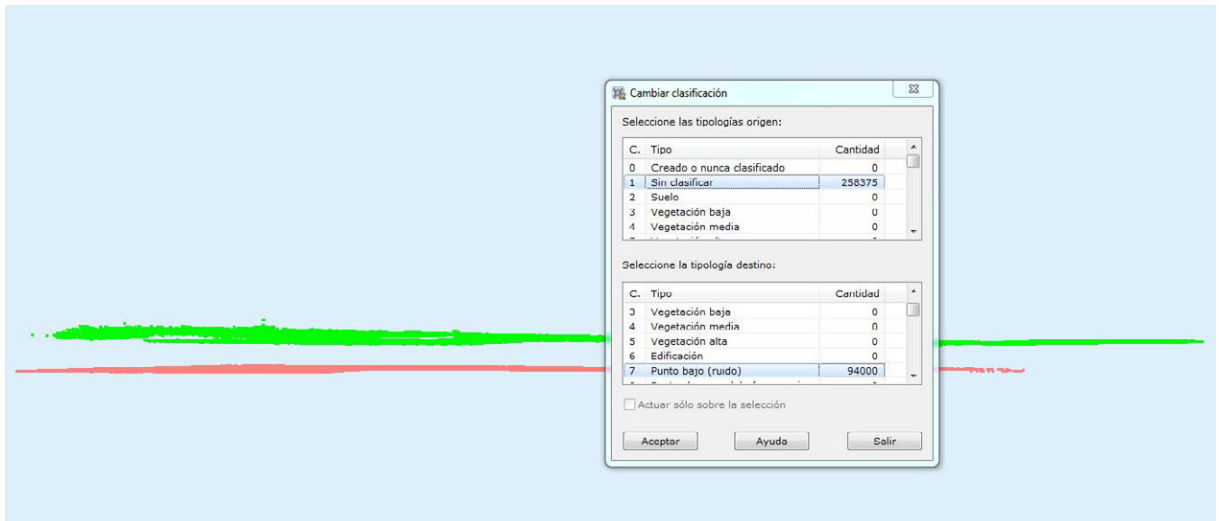


Como indicamos en el apartado anterior nos encontramos con una gran cantidad de puntos no válidos como se puede observar en la imagen

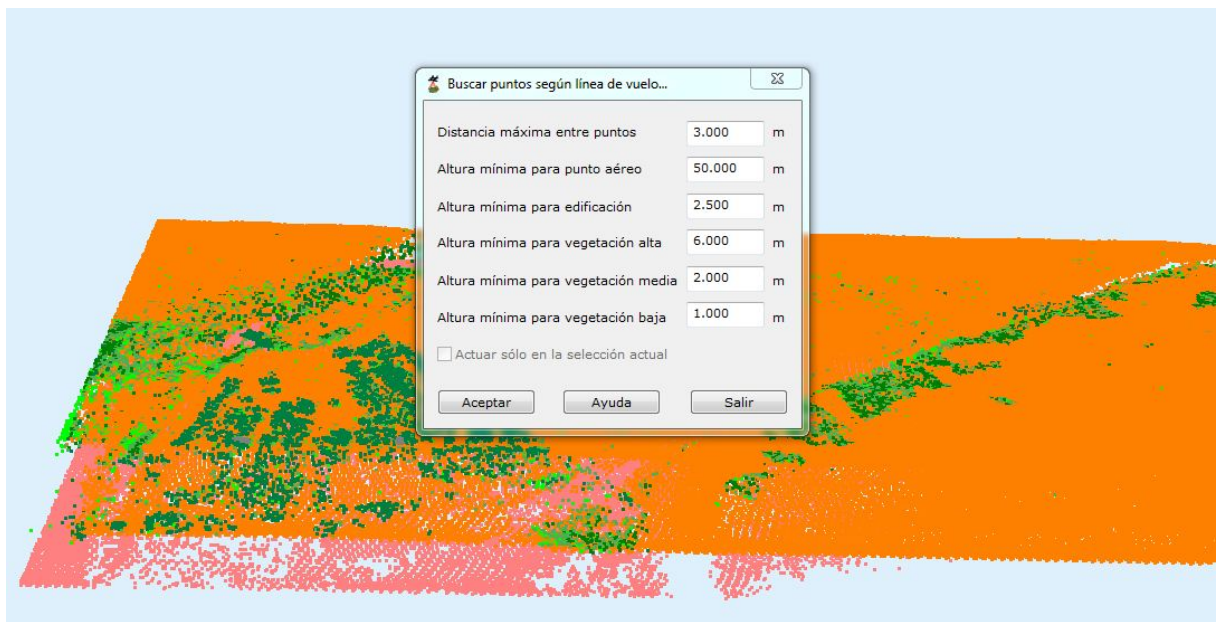


Pasamos a clasificarlo como ruido:





Una vez realizada esta operación comenzamos el proceso de clasificación con la herramienta superficie mágica:

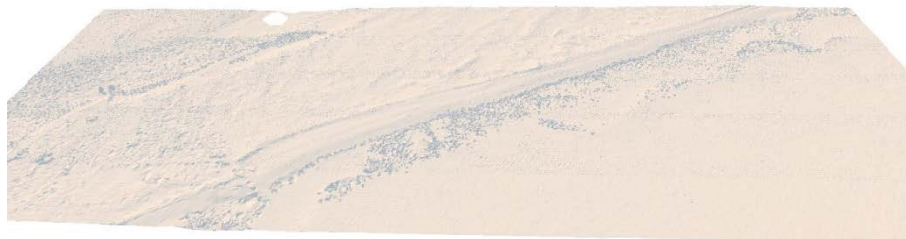


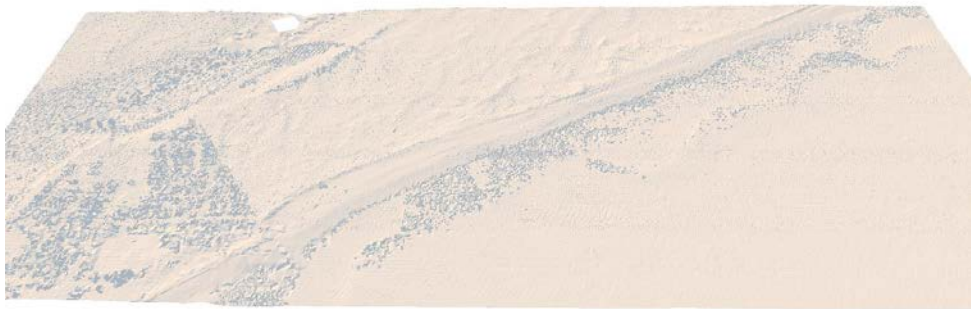
Obteniendo:

Resultados	
[Abriendo dibujo]	
0 líneas	
0 textos	
352375 puntos	
[Buscar Puntos por Línea de Vuelo]	
Clasificación por línea de vuelo	
Pasada 1: Puntos clasificados 15159	
Pasada 2: Puntos clasificados 2273	
Desnivel Medio = 0.25 m	
Distancia Media = 4.91 m	
Clasificación por afinidad	
Pasada 3: Puntos clasificados 211052	
Clasificación por intensidad	
Pasada 4: Puntos clasificados 208	
Clasificación de puntos altos	
Pasada 5: Puntos clasificados 3	
Clasificación por superficie	
Puntos triangulados 216876	
Comprobación puntos hundidos	
Pasada 6: Puntos clasificados 1	
Pasada 7: Puntos clasificados 0	
Pasada 8: Puntos clasificados 0	
Pasada 9: Puntos clasificados 0	
Pasada 10: Puntos clasificados 0	
Clasificación de puntos indefinidos	
Puntos triangulados 243163	
Pasada 11: Puntos clasificados 26346	
Pasada 12: Puntos clasificados 10663	
Clasificación por intensidad	
Pasada 13: Puntos clasificados 4591	
Búsqueda de superficies planas	
Pasada 14: Puntos clasificados 0	
Clasificación por afinidad	
Pasada 15: Puntos clasificados 131	
Clasificación por superficie	
Comprobación puntos hundidos	
Pasada 16: Puntos clasificados 2	
Pasada 17: Puntos clasificados 0	
Pasada 18: Puntos clasificados 0	
Pasada 19: Puntos clasificados 2	
Pasada 20: Puntos clasificados 0	
Clasificación de puntos altos	
Pasada 21: Puntos clasificados 19	
Operación finalizada con éxito	
Tiempo empleado 00:00:40	

Las zonas de edificación *MDTopX* las clasifica como vegetación media/alta, esto se debe a la poca densidad de puntos del sensor ALB, que hace que no se definan superficies planas tales como para que el algoritmo de búsqueda las pueda identificar de forma clara. La única opción de clasificar estas zonas es mediante perfiles transversales de forma manual y ayudándonos con la imagen geo-referenciada de la zona (si la tenemos).

Una vez terminada la clasificación pasamos a la obtención de los MDS y MDT





Como se puede observar en los modelos, la continuidad del terreno desde las zonas hundidas, con una profundidad con un máximo de 56 metros en este caso, hasta el terreno emergido es de gran calidad, queremos con esto dar valor a los sensores ALB para producir cartografía de costas, ya que creemos que es un sistema de bajo coste teniendo en cuenta la producción que podemos obtener y la calidad de los productos. Es por ello que creemos que las aplicaciones deben introducir criterios de clasificación que nos permitan trabajar con datos obtenidos por sensores ALB de una forma más compleja, ya que aún se puede explotar la información que contienen de una forma más exhaustiva.

3.5.3 TERRASCAN

Existen dos versiones de *TerraScan*. La versión completa, *TerraScan* de *MicroStation*, es para un usuario que procesa los datos de escaneo láser. La versión más ligera, *TerraScan Viewer*, proporciona capacidades para la visualización de puntos láser que ya han sido clasificados. Hay herramientas que no están disponibles en el Visor *TerraScan* que están marcadas como "No Viewer".

TerraScan es un software especializado en el tratamiento de los puntos de escaneo láser. Puede manejar fácilmente millones de puntos como todas las rutinas que se ajustan para un rendimiento óptimo.

Sus versátiles herramientas resultan útiles si estamos encuestando líneas de transmisión, llanuras de inundación, propuesta de carreteras, pilas de almacenamiento, áreas forestales o de modelos de ciudad.

La aplicación lee los puntos de archivos de texto o archivos binarios XYZ. Permitiéndonos:

- Ver los puntos en tres dimensiones.
- Definir sus propias clases puntuales tales como tierra, vegetación, edificios o cables.
- Clasificar los puntos.
- Clasificar puntos utilizando rutinas automáticas.
- Clasificar objetos 3D tales como torres de forma interactiva.
- Eliminar los puntos innecesarios o erróneos en una zona vallada.
- Eliminar los puntos innecesarios al adelgazar.
- Digitalizar mediante el ajuste sobre las características en los puntos láser.
- Detectar los cables de línea eléctrica o la construcción de techos.
- Exportar imágenes raster de elevación por colores.
- Los puntos del proyecto en los perfiles.
- Salida clasificada puntos en archivos de texto.

TerraScan está totalmente integrado con *MicroStation*. Este entorno CAD ofrece un gran número de herramientas y capacidades útiles en las áreas de manipulación de vista, la visualización, la colocación de vectores, el etiquetado y el trazado. Se requiere un conocimiento básico del uso de *MicroStation* con el fin de ser productivo con *TerraScan*. Cuanto más familiarizado se esté con *MicroStation*, el beneficio que puede obtener de su enorme conjunto de características será mayor.

TerraScan es sólo una de las aplicaciones de la una familia la de ingeniería civil. Todas las aplicaciones de Terra están estrechamente integradas con *MicroStation* presentar una interfaz gráfica fácil de usar para el usuario.

TerraMatch corrige los desajustes entre los puntos láser de diferentes líneas de vuelo automáticamente. Se puede utilizar para la calibración de un escáner láser aerotransportado o para la fijación de los datos del proyecto.

TerraModeler crea modelos de superficie del terreno por triangulación. Se pueden crear modelos de suelo, capas del suelo o superficies de diseño. Los modelos pueden ser creados a partir de datos de la encuesta, los elementos gráficos o archivos de texto XYZ.

TerraPhoto rectifica fotografías digitales tomadas durante los vuelos de estudio del barrido láser y produce imágenes ortorectificadas.

Todas estas aplicaciones están disponibles para MicroStation SE, J o V8 bajo Windows NT, Windows 2000 o Windows XP.

3.5.3.1 Edición ALS

TerraScan es un módulo de clasificación de datos LiDAR, que funciona sobre la aplicación *Microstation*. Este módulo contiene todas las herramientas necesarias para trabajar con archivos que contienen la información tipo de ficheros .LAS

Junto con él encontramos otros tres módulos que dependen también de *Microstation* que nos serán útiles para el manejo de la nube de puntos. Estos tres módulos son los siguientes:

TerraPhoto, éste es una herramienta que nos permite trabajar con imágenes georeferenciadas para poder ayudarnos en la clasificación, podremos ver la imagen de fondo de la nube de puntos y así poder tener la opción de foto interpretar, además de que esta herramienta nos da la opción de asignar valores RGB de la imagen a los puntos, lo cual nos puede servir para realizar una clasificación con valores geométricos y valores RGB.

TerraMatch, éste módulo contiene las herramientas necesarias para realizar el ajuste de los ficheros .LAS por pasadas, introduciendo en él unos criterios de control tanto altimétrico como planimétrico.

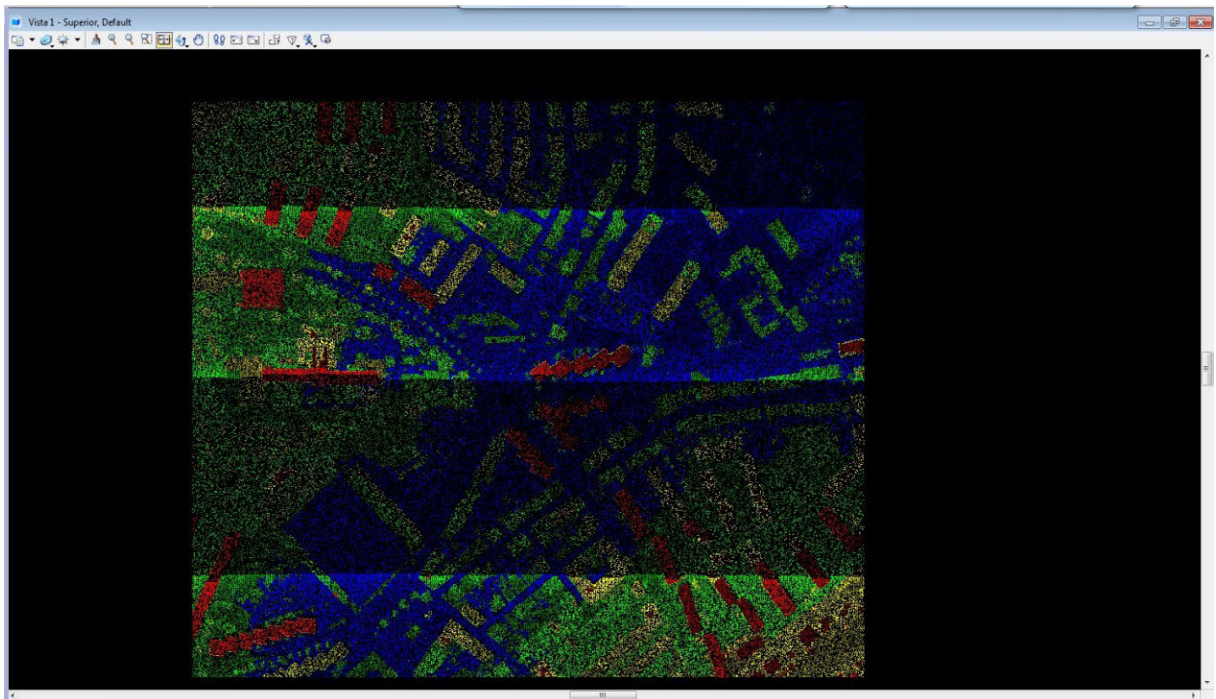
TerraModeler, con éste módulo so sólo podemos realizar modelos digitales desde la nube de puntos sino que también nos permite un tratamiento de los modelos para ayudarnos a la edición.

Para cualquier edición de puntos siempre tenemos que abrir el módulo TerraScan. La edición de los ficheros se puede realizar de dos formas, una primera y más sencilla es tratando cada fichero de forma individual, abriendo el fichero, tratándolo y salvando los cambios realizados. Podemos trabajar también de una segunda forma más compleja, que es creando un proyecto, esta segunda forma la utilizaremos con extensiones muy grandes de editar, ya que nos permite dividir todo el trabajo en hojas que nosotros definimos y trabajar individualmente con cada hoja, evitando así un colapso en la memoria del ordenador. Cuando trabajamos creando proyectos entran en la edición conceptos como ficheros .TRJ (ficheros que definen la trayectoria de vuelo) y la definición del propio proyecto que será un archivo con extensión .PRJ

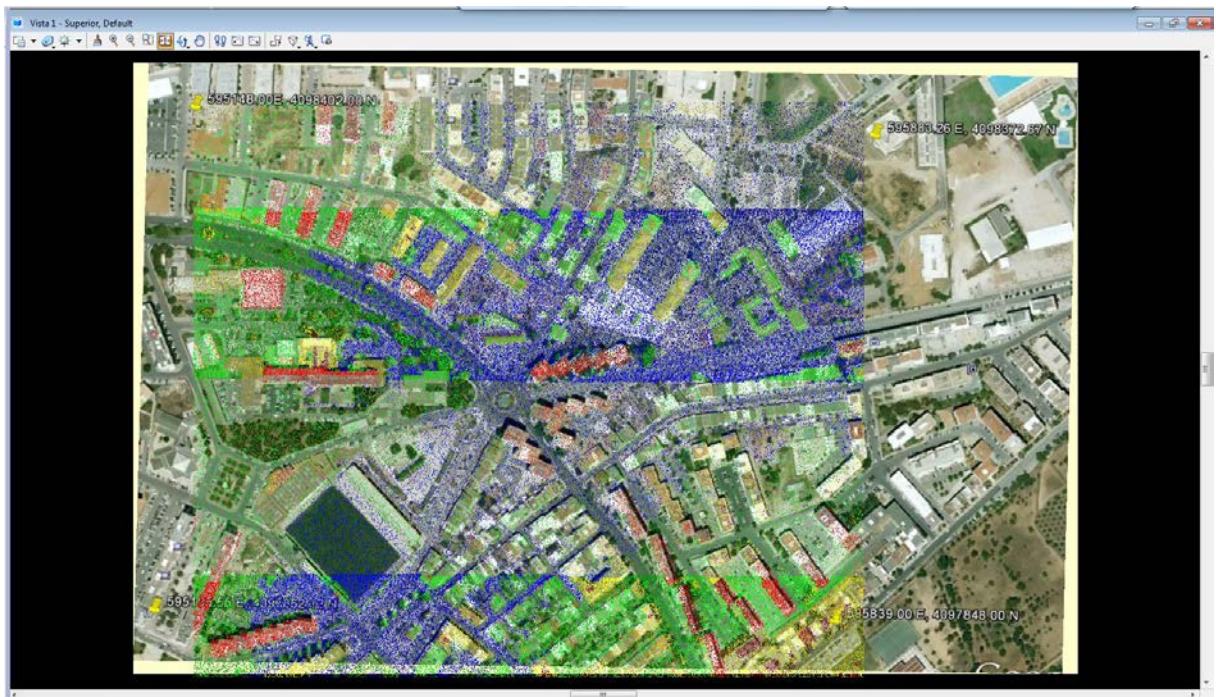
Para nuestro caso, como los archivos de las zonas a tratar son pequeños, trabajaremos de forma individual con cada ellos, pero es importante que toda aplicación de tratamiento de datos LiDAR tenga la opción de crear proyectos y trabajar con ellos de forma segmentaria, ya que por norma general los trabajos más habituales serán extensos.

ZONA URBANA

En primer lugar abrimos el archivo a editar:

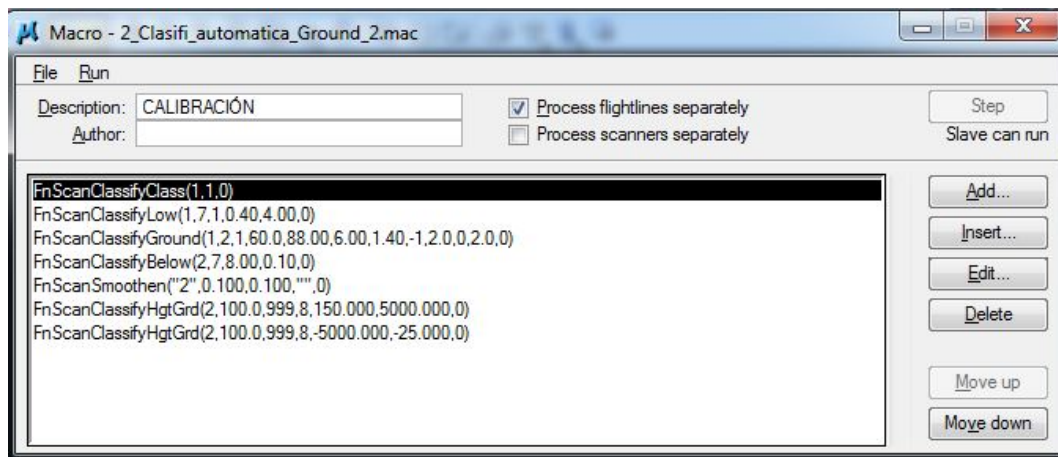


Estamos viendo la nube de puntos por elevación, para hacernos una idea de la zona podemos ayudarnos del módulo *TerraPhoto* y referenciar la imagen de la zona que hemos extraído de *google earth*:



En *TerraScan* no solo podemos clasificar por rutinas de clasificación individuales, sino que también podemos crear macros con varias rutinas y que se ejecuten de una vez, estas macros se pueden lanzar de forma individual en el fichero que tenemos cargado o también se puede lanzar a un listado de ficheros que estén dentro del proyecto para que lo ejecute de forma automática.

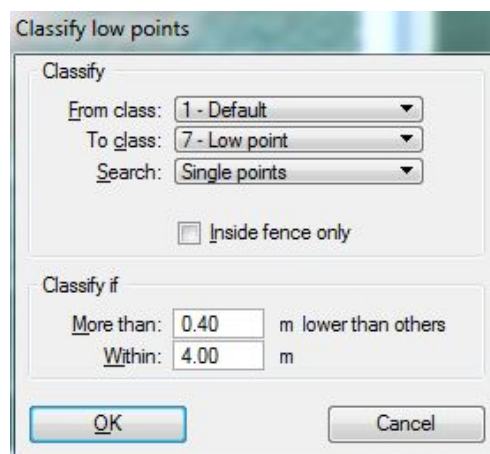
En esta ocasión hemos creado una macro para realizar una clasificación que no sólo nos devuelva los puntos que son suelo sino que también encuentre los puntos aislados y aéreos, pasamos a definir dicha macro:



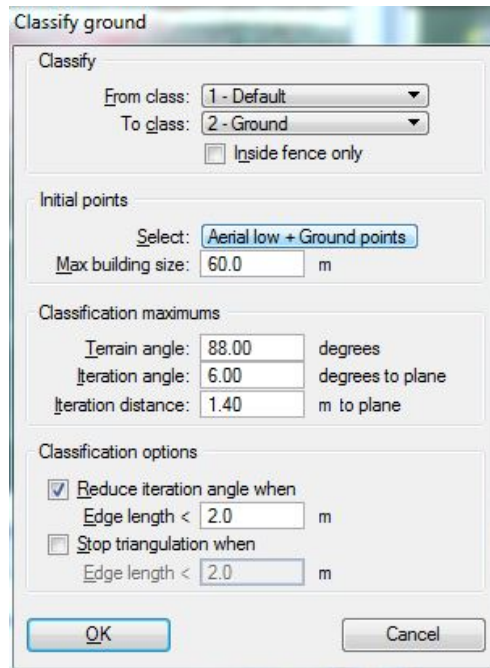
Podemos ver que la macro que vamos a utilizar y que hemos creado consta de 7 pasos, que pasamos a definir a continuación.

Paso 1: El primer paso deshace cualquier clasificación previa, para que esta no introduzca variables que causen error a la hora de clasificar

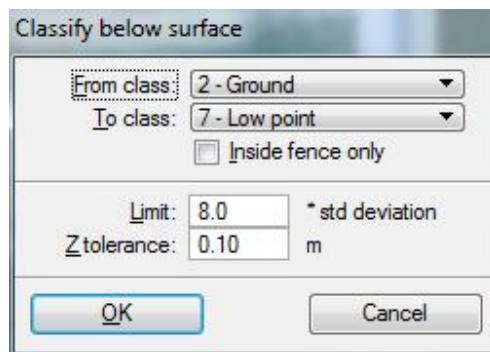
Paso 2: Rutina de *Low point* (Ruido) sobre la nube de puntos sin clasificar:



Paso 3: pasamos una rutina para que nos clasifique una primera estimación de lo que va a ser clasificado como suelo (esta se hace no como final pero a partir de ella se pasará a obtener la definitiva ayudándose con un MDT en el paso 5)

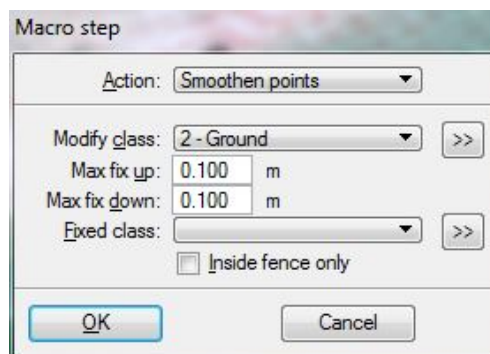


Paso 4: Una vez tenemos ya unos puntos clasificados como suelo volvemos a clasificar puntos que consideramos ruido:

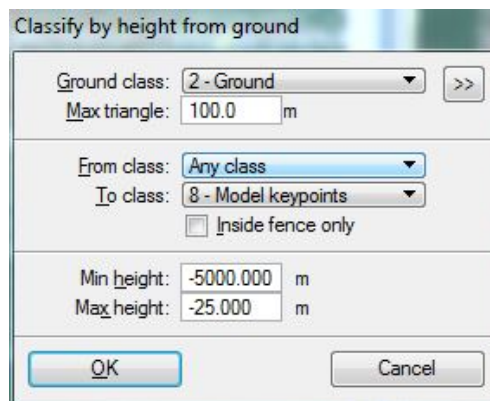
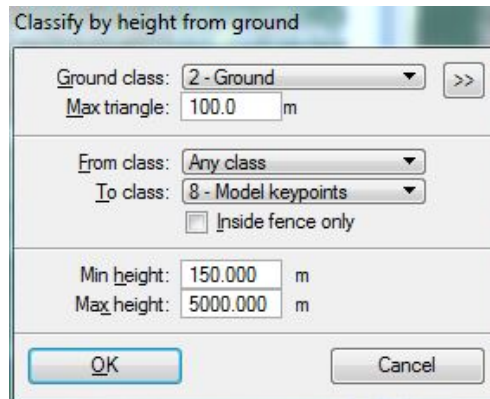


A diferencia de la rutina anterior, los puntos que utilizamos de referencia para los criterios de ruido ya no son todos sino que escogemos solo aquellos que están clasificado como suelo (ground) y con unos criterios más estrictos.

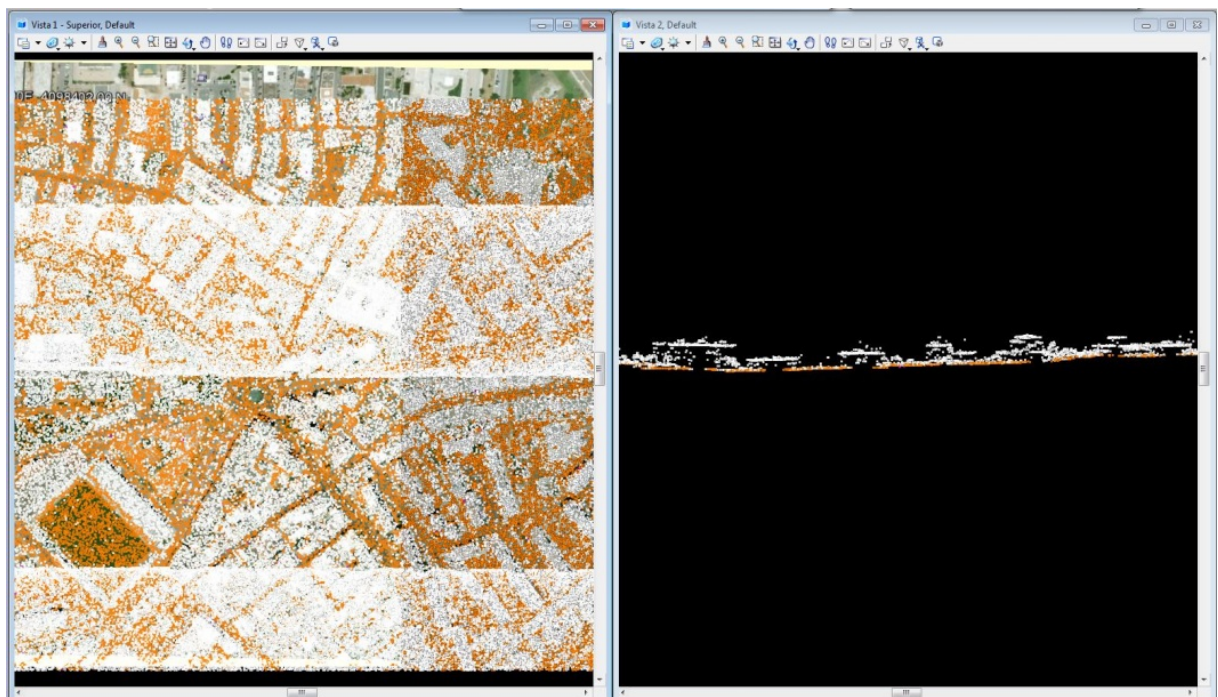
Paso 5: Volvemos a clasificar suelo (*ground*), pero en esta ocasión *TerraScan* va a generar un MDT y se ayudará sobre él para generar una clasificación ya si definitiva de suelo de todo el fichero:



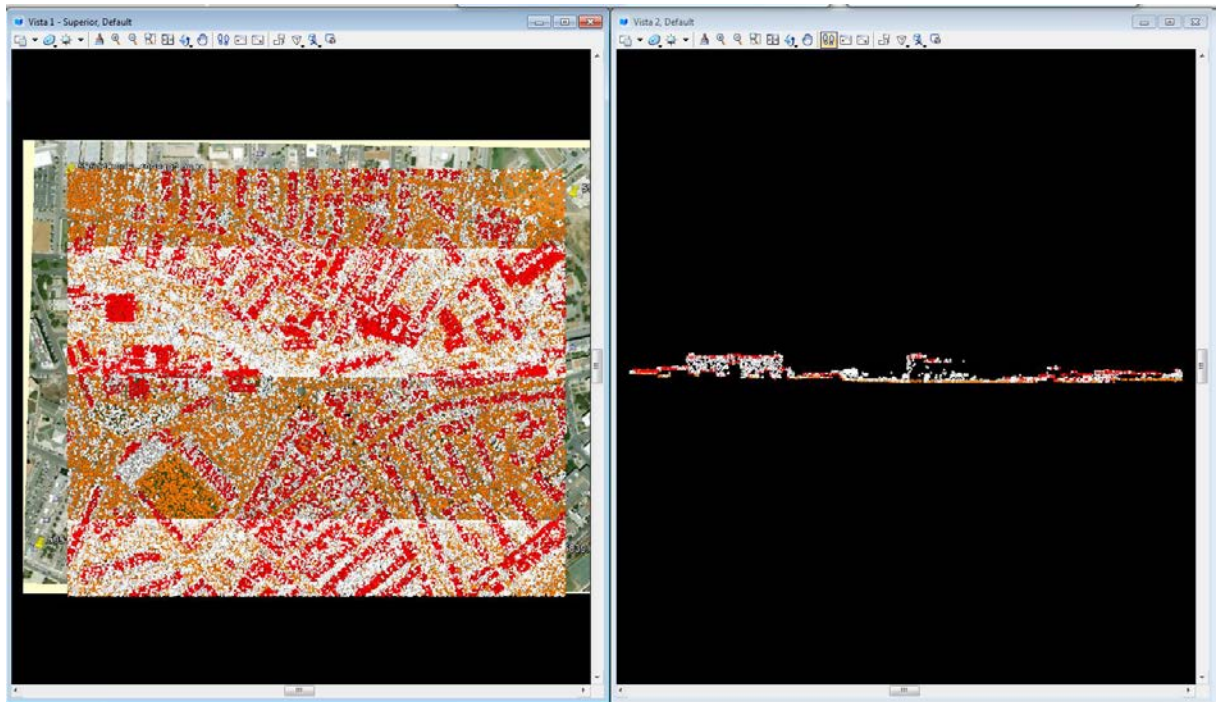
Y por último el paso 6 y 7 son rutinas para obtener puntos aéreos y hundidos respectivamente.



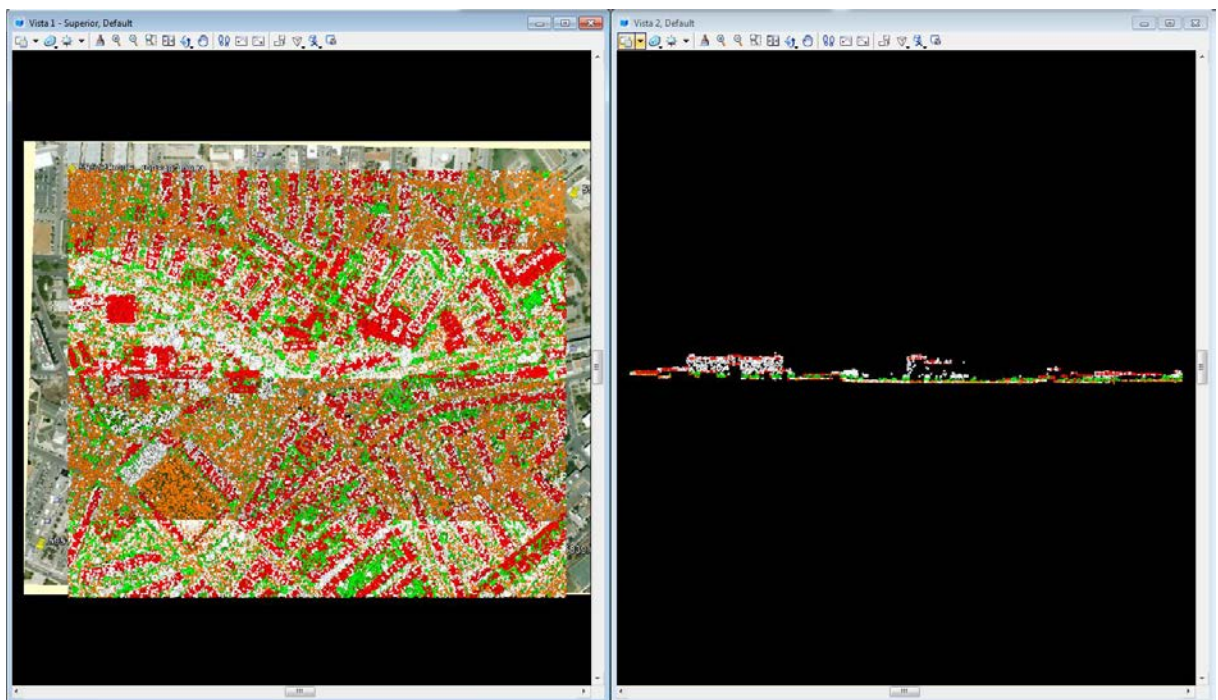
Una vez ejecutada la macro obtenemos la siguiente nube de puntos:



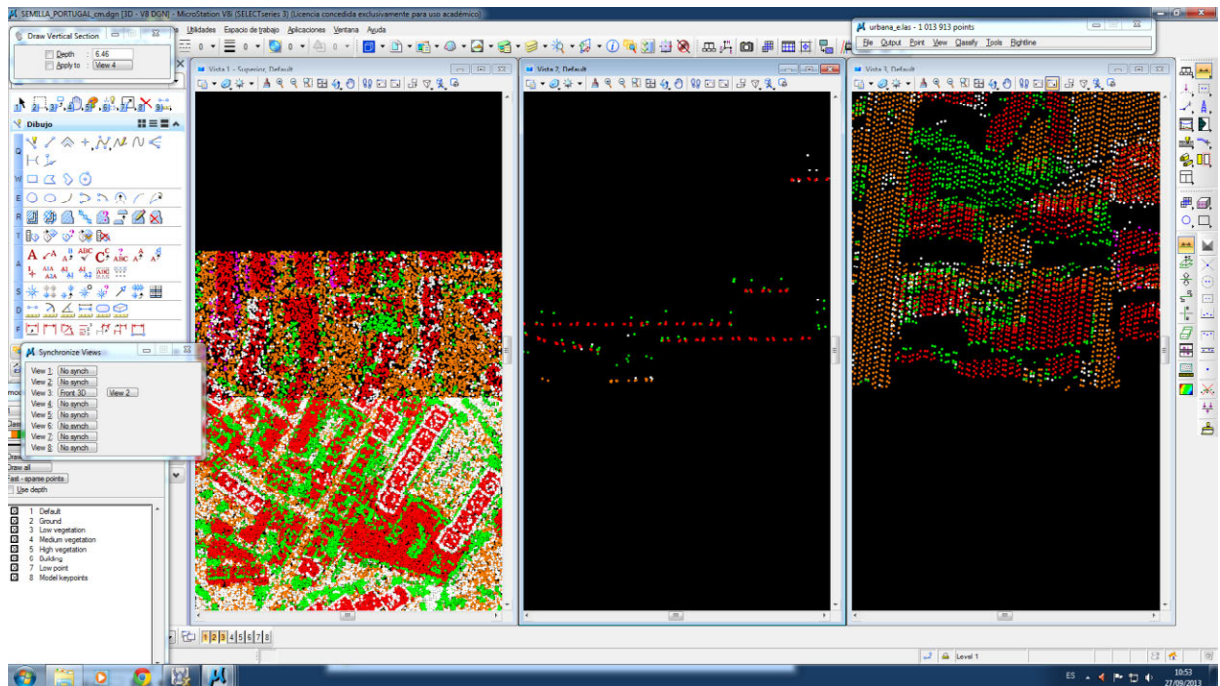
Una vez obtenido los puntos que consideramos dentro de la clasificación suelo, pasamos a obtener la clasificación de edificios. Antes de proceder a la clasificación es importante destacar que *TerraScan*, para cualquier clasificación, necesitará siempre que se empiece clasificando todo lo que es suelo, ya que todas las clasificaciones posteriores (vegetación, edificios...) siempre tomará como referencia los puntos clasificados como suelo. Pasamos entonces a clasificar los edificios:



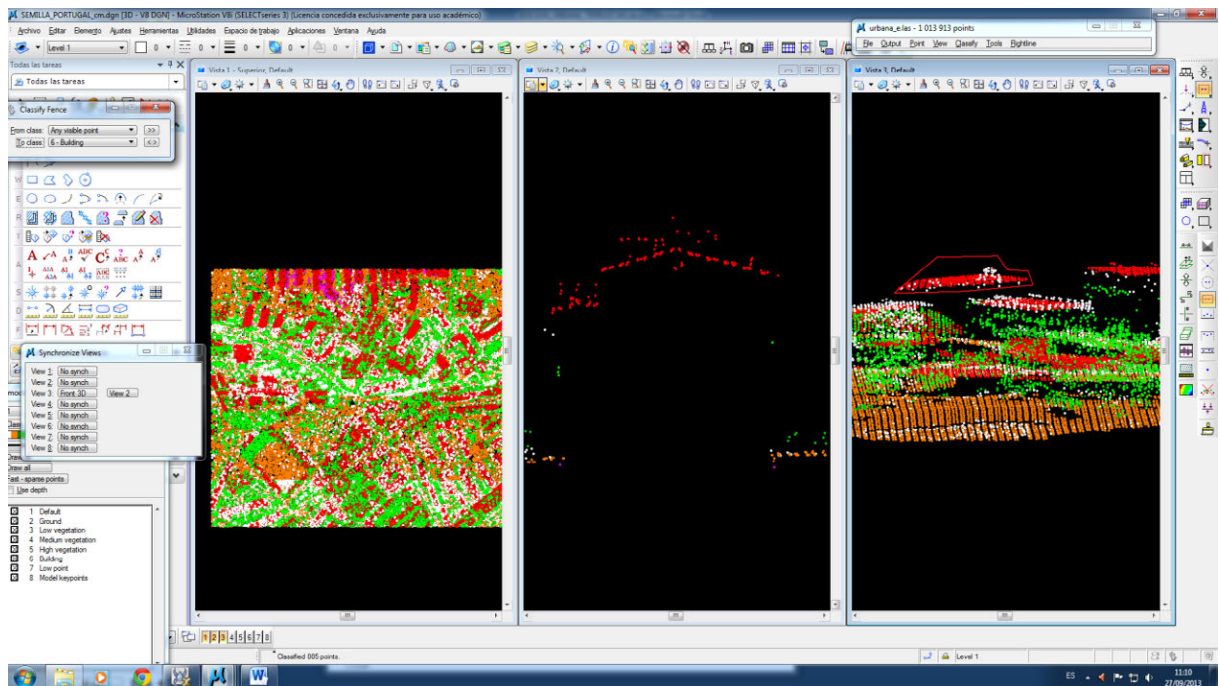
Una vez realizada la clasificación de los edificios pasamos a clasificar las zonas de vegetación:



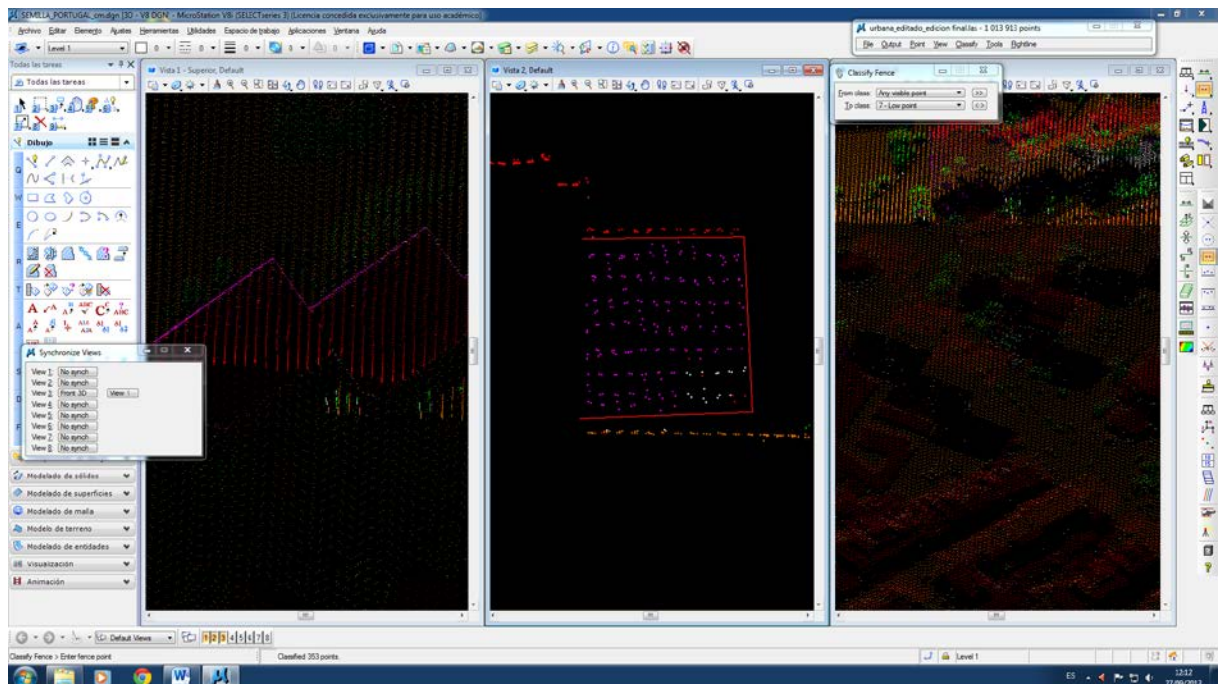
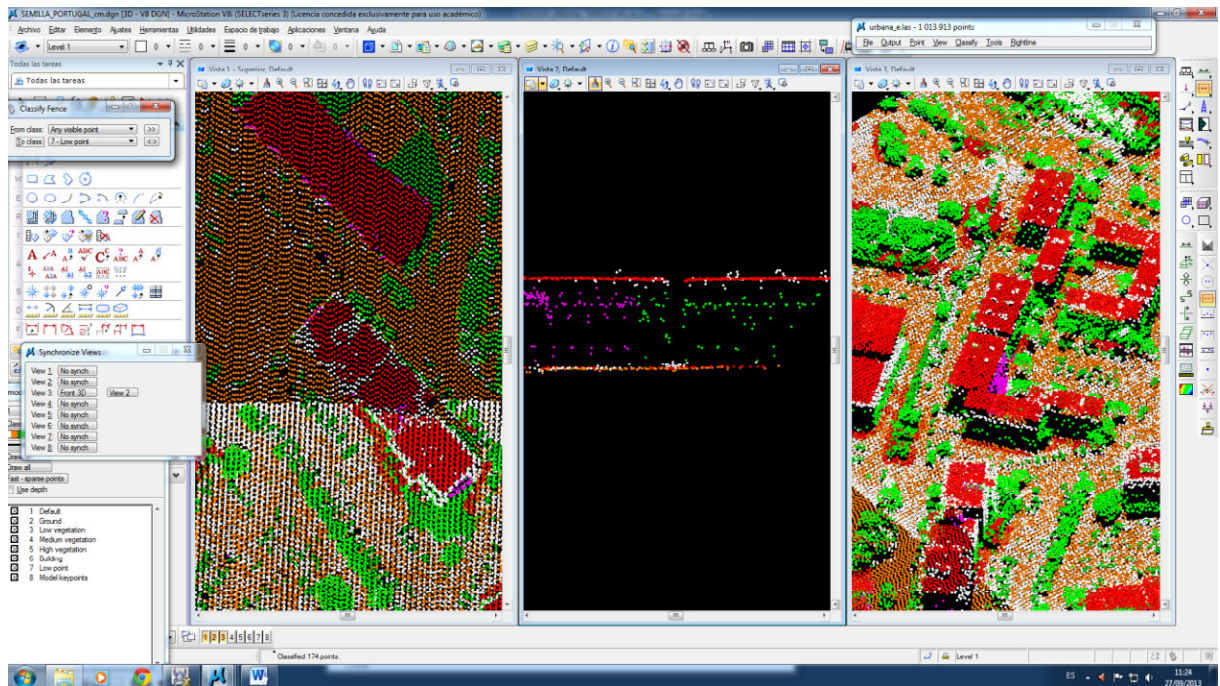
Una vez realizadas las rutinas de clasificación pasamos a una edición mediante perfiles y ayudándonos de diferentes vistas de la nube de puntos.



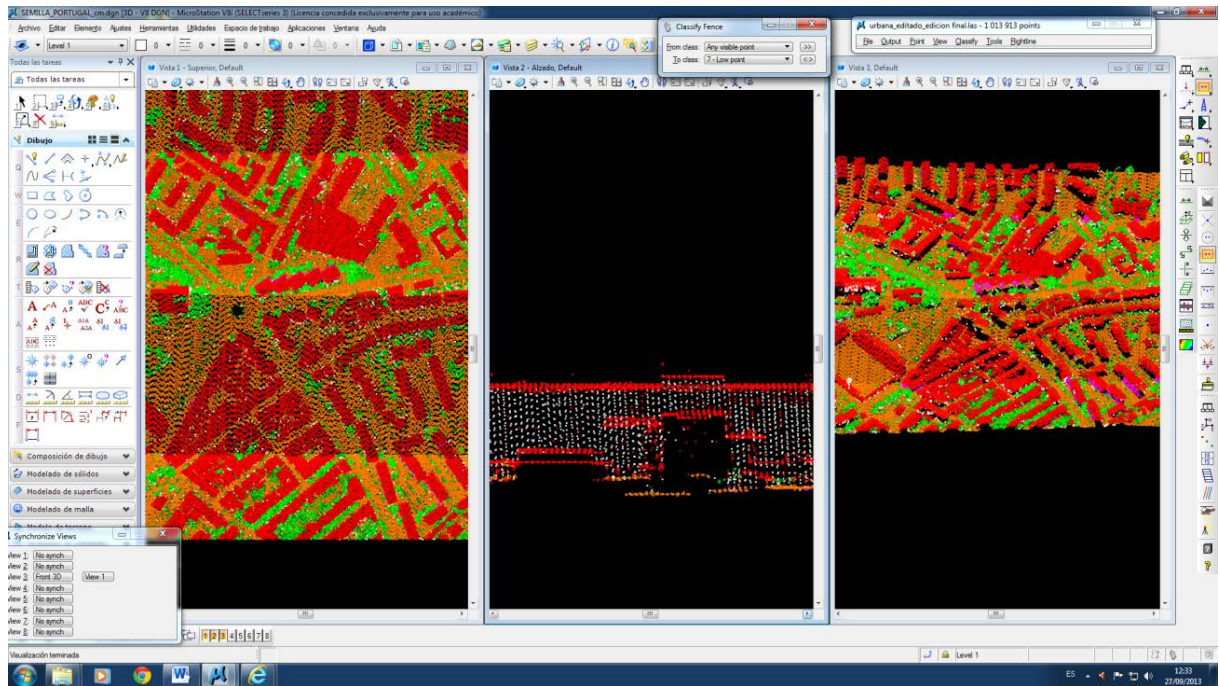
Podemos hacer selección tanto en la vista de planta, como en la de perfil así como en la de alzado 3D, eligiendo siempre la que nos sea más fácil para trabajar:



El trabajo más arduo nos lo encontramos al tener que discriminar el ruido en zonas como paredes de edificios o coches, aquí podemos ver varios ejemplos:



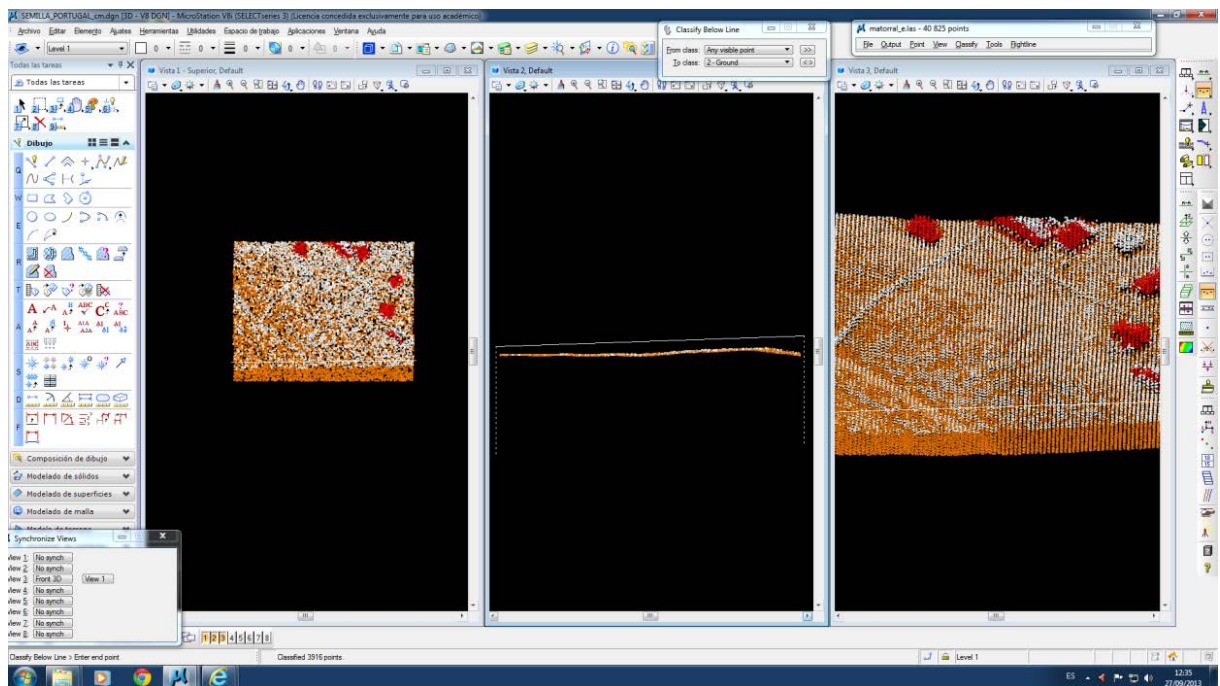
Finalmente obtenemos la siguiente nube de puntos ya clasificada:



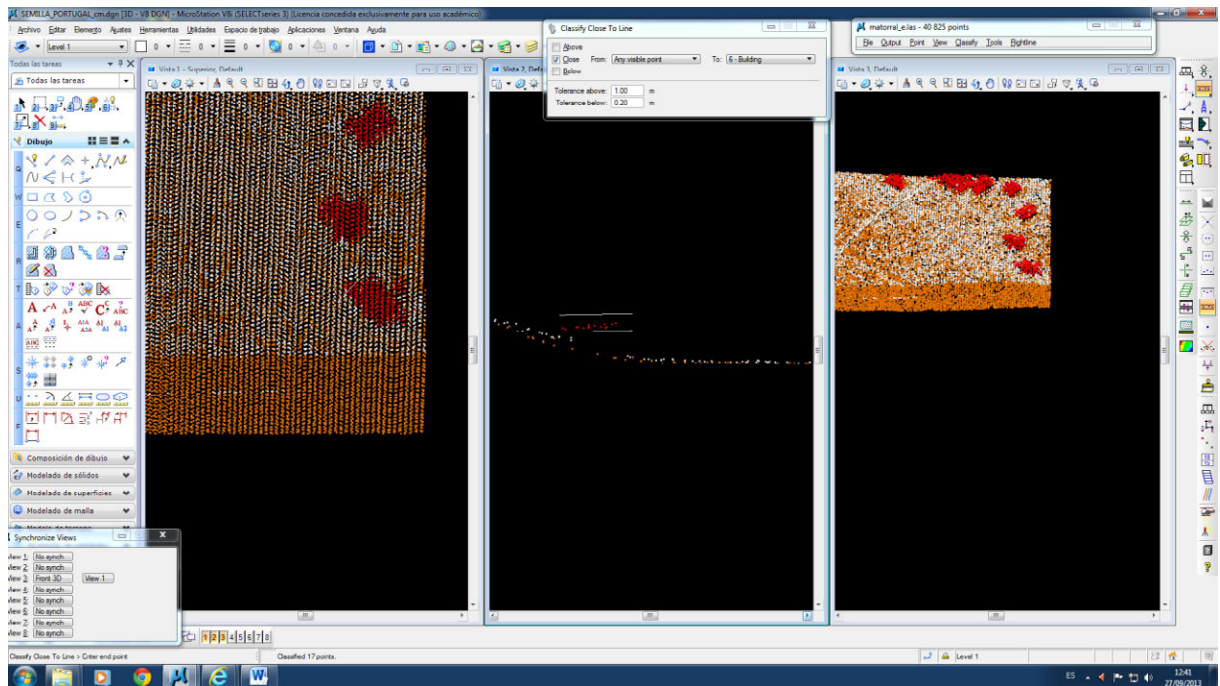
ZONAS RURALES

MATORRAL

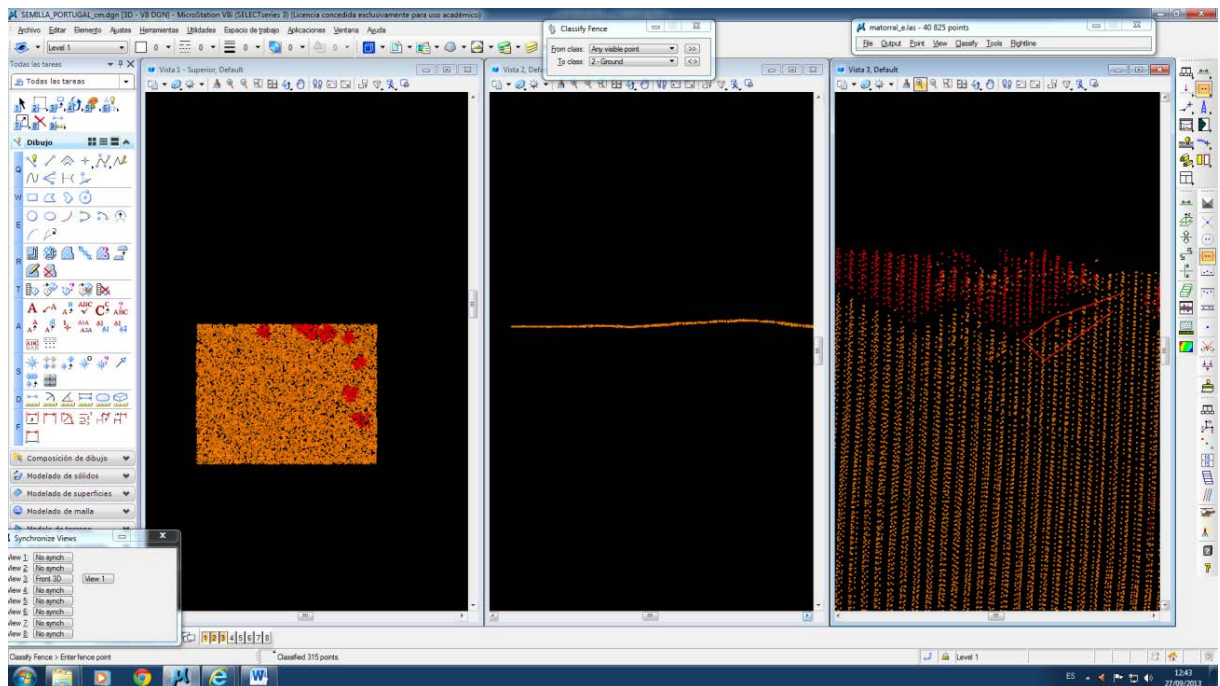
Una vez abierto el archivo pasamos a lanzar la macro suelo que hemos creado anteriormente, cambiando si es necesario los valores geométricos para adaptarlos a la zona que vamos a clasificar, dentro de esta macro podemos incluir la clasificación de edificios, ya que es una zona con escasa edificación.



La clasificación como se puede observar es muy acertada, solo tenemos que completarla de forma manual mediante perfiles, para definir de mejor forma las edificaciones y el suelo:

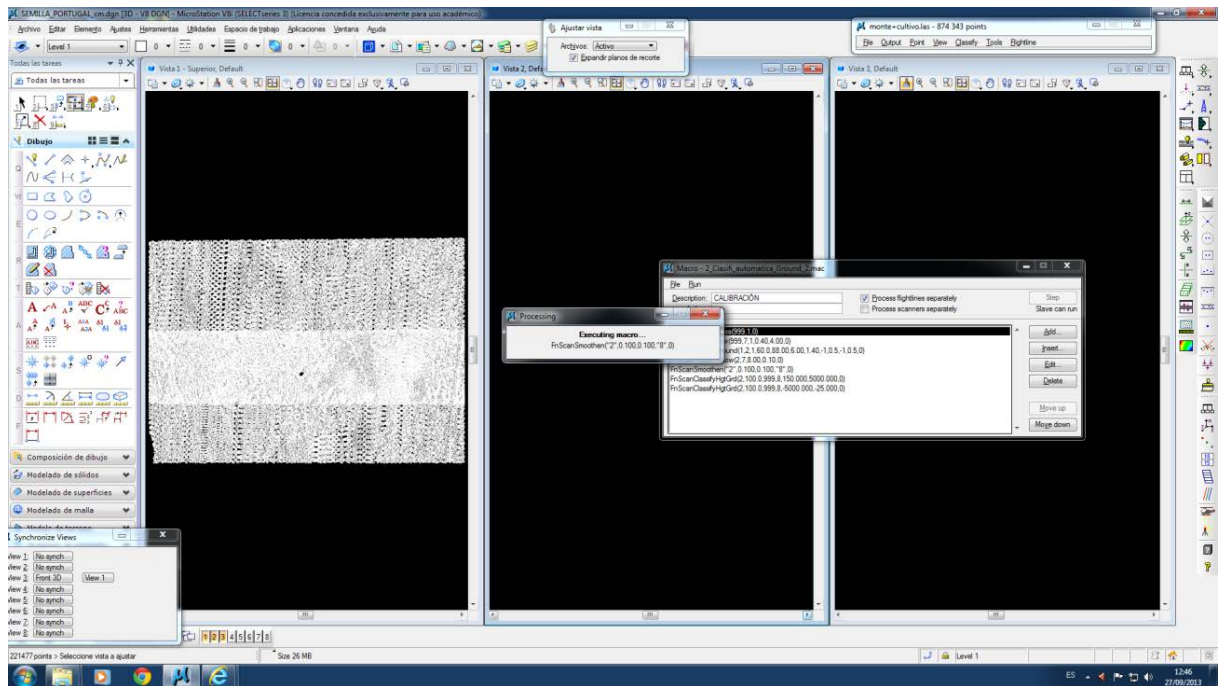


Una vez terminado ese proceso obtendremos la siguiente nube de puntos:

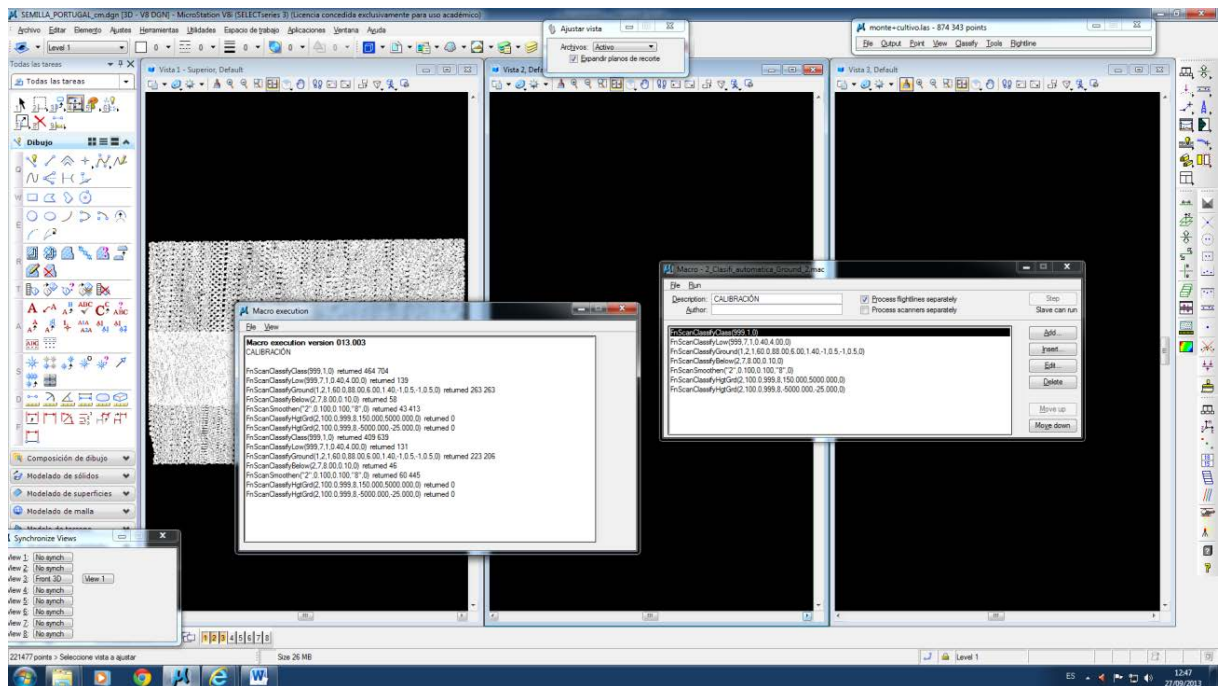


MONTE Y CULTIVO

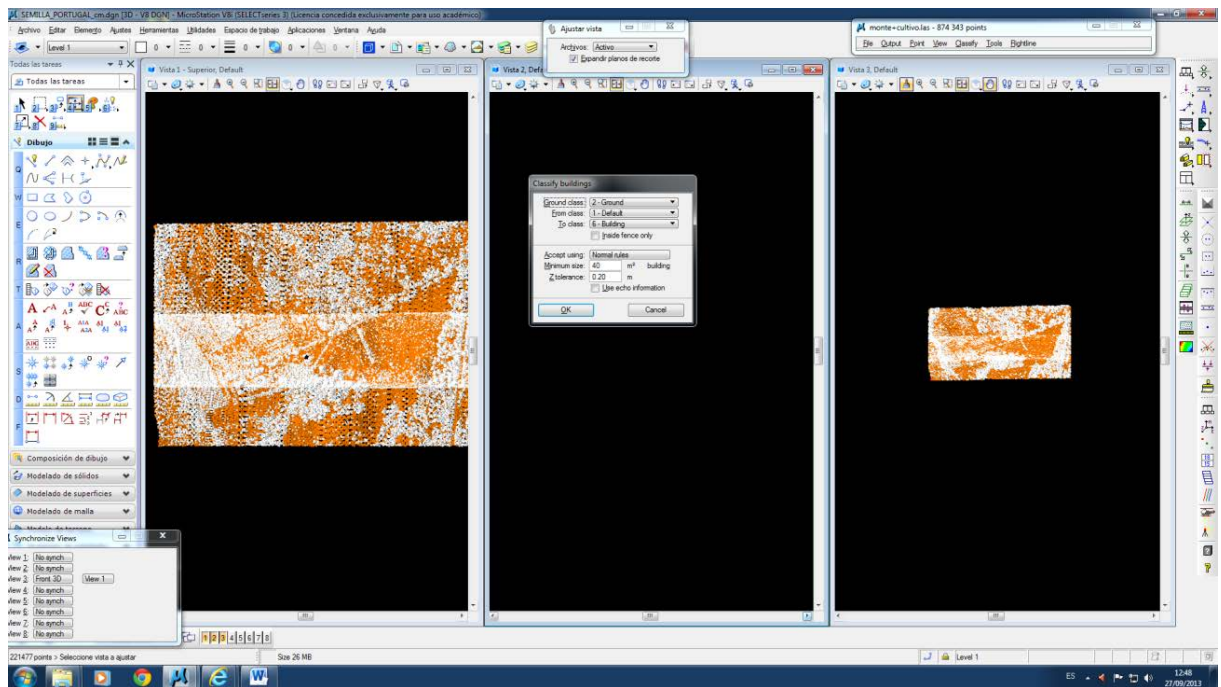
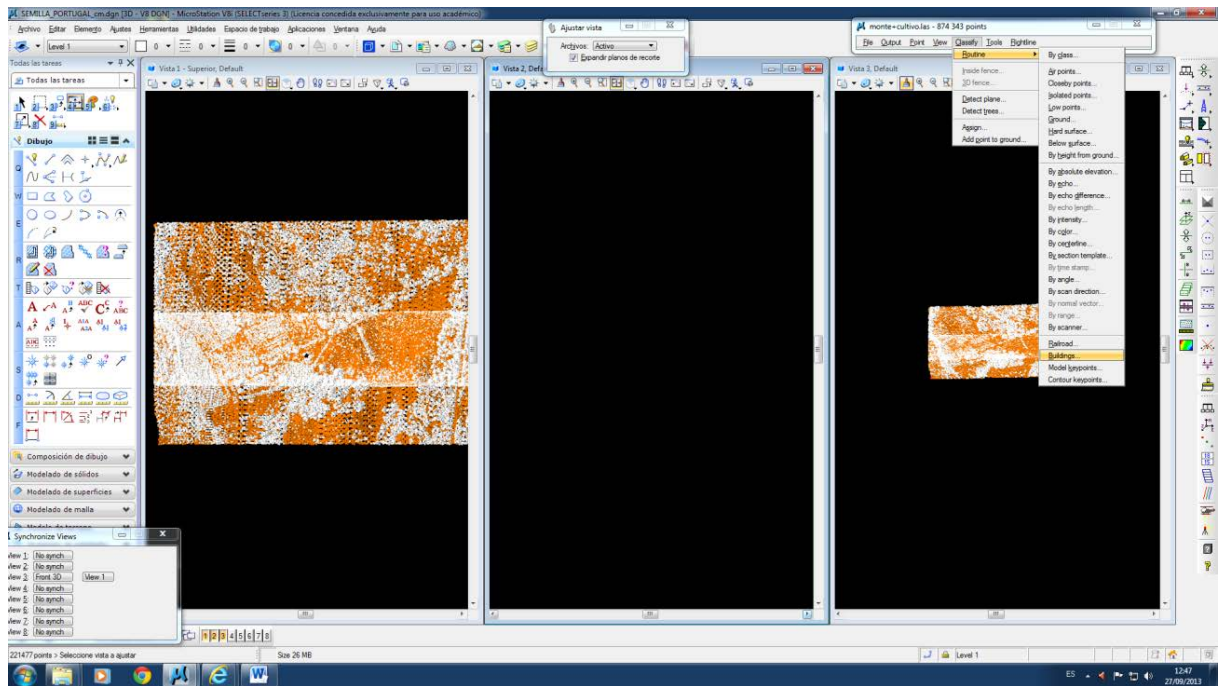
Abrimos el archivo sin clasificar y ejecutamos la macro suelo:



Una vez ejecutada la macro *TerraScan* nos devuelve:

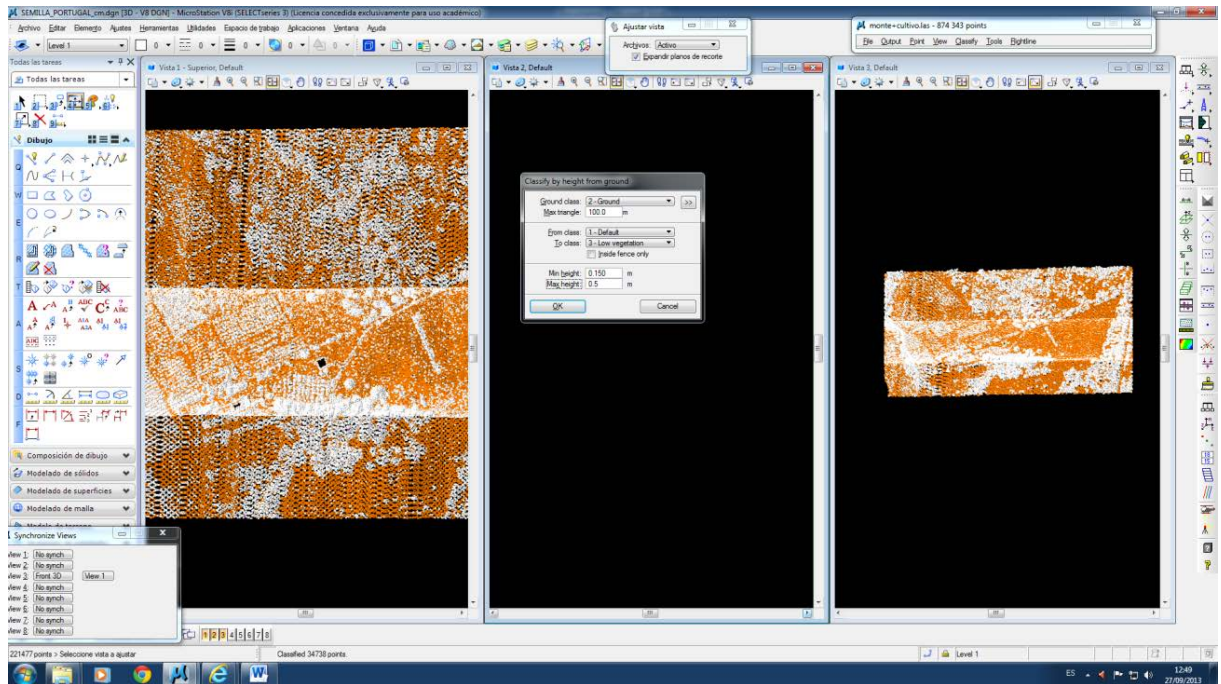


Una vez ejecutada la macro pasamos a generar la rutina de edificación:

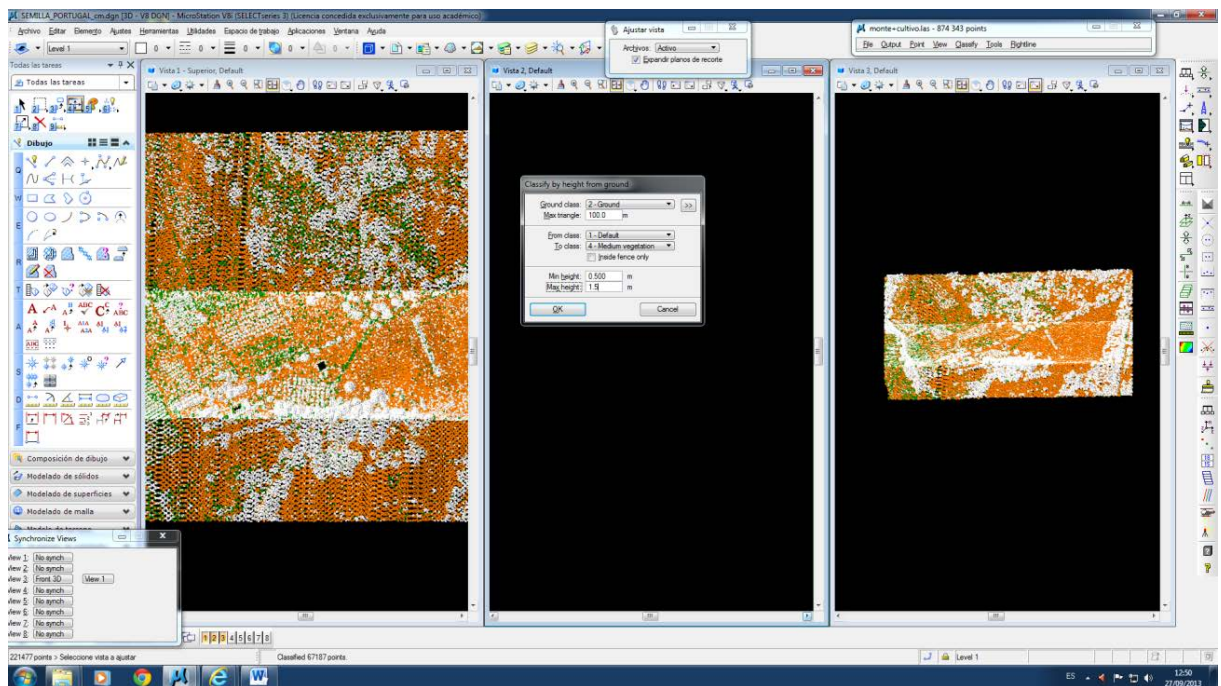


TerraScan no encuentra puntos que se puedan clasificar como edificación, pasamos a la clasificación de vegetación en sus tres modalidades, baja, media y alta:

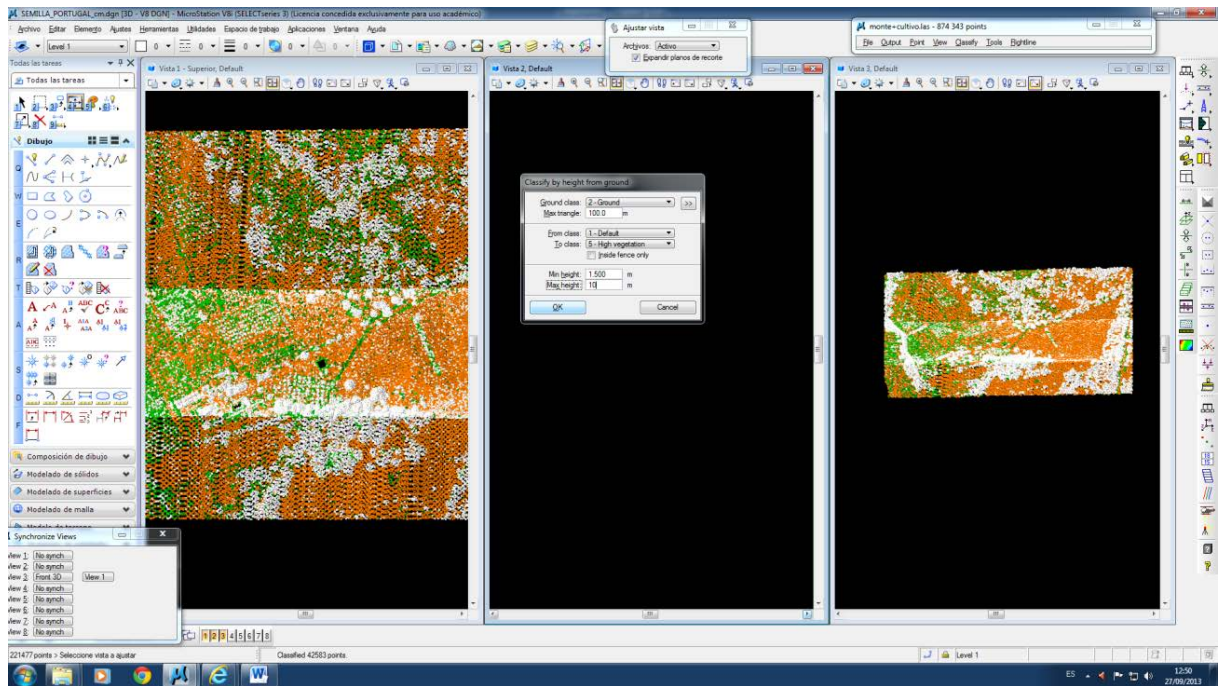
Vegetación baja:



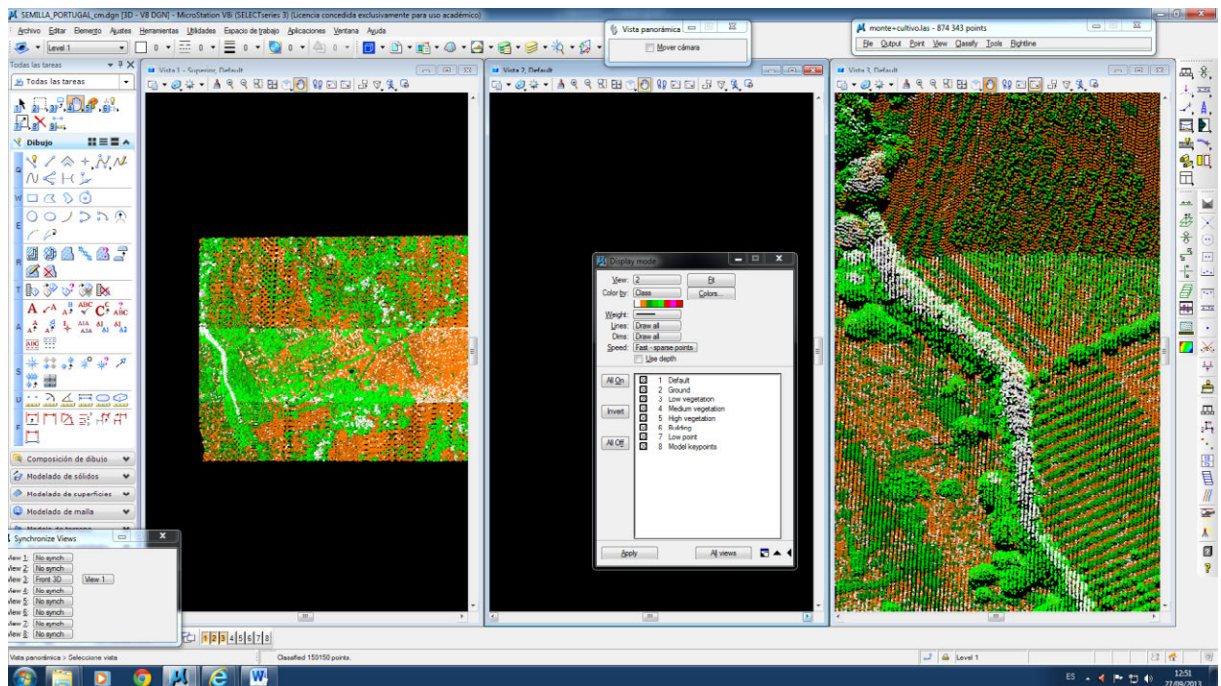
Vegetación media:



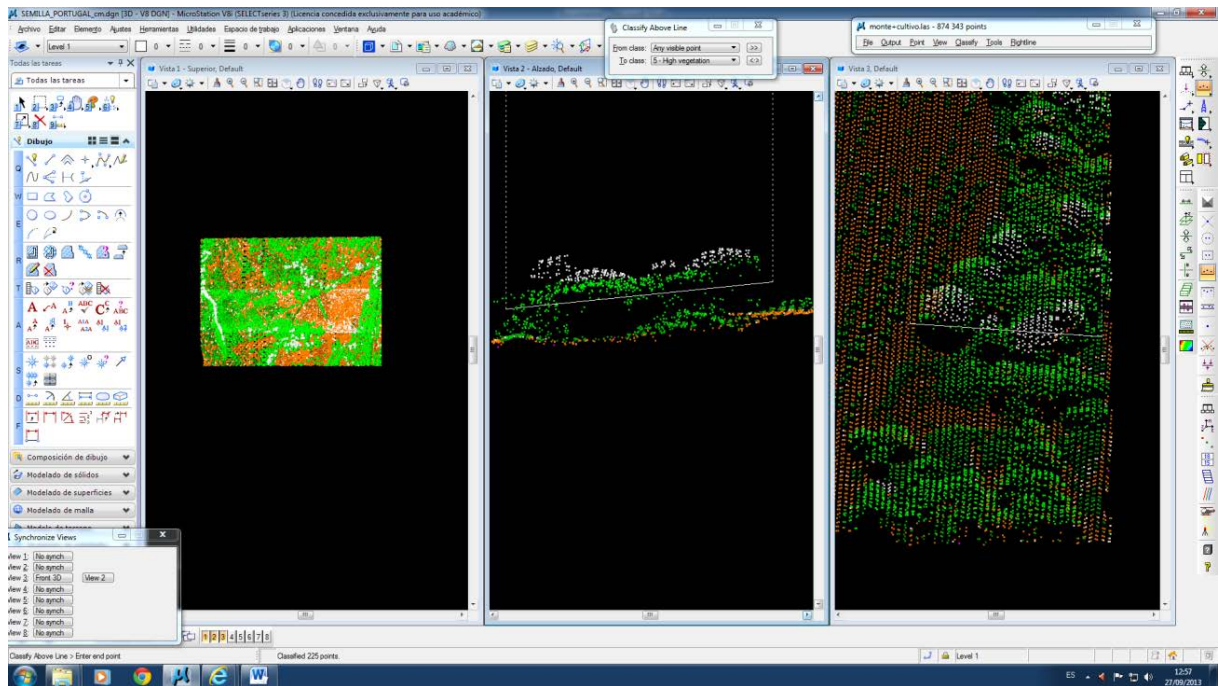
Vegetación alta:



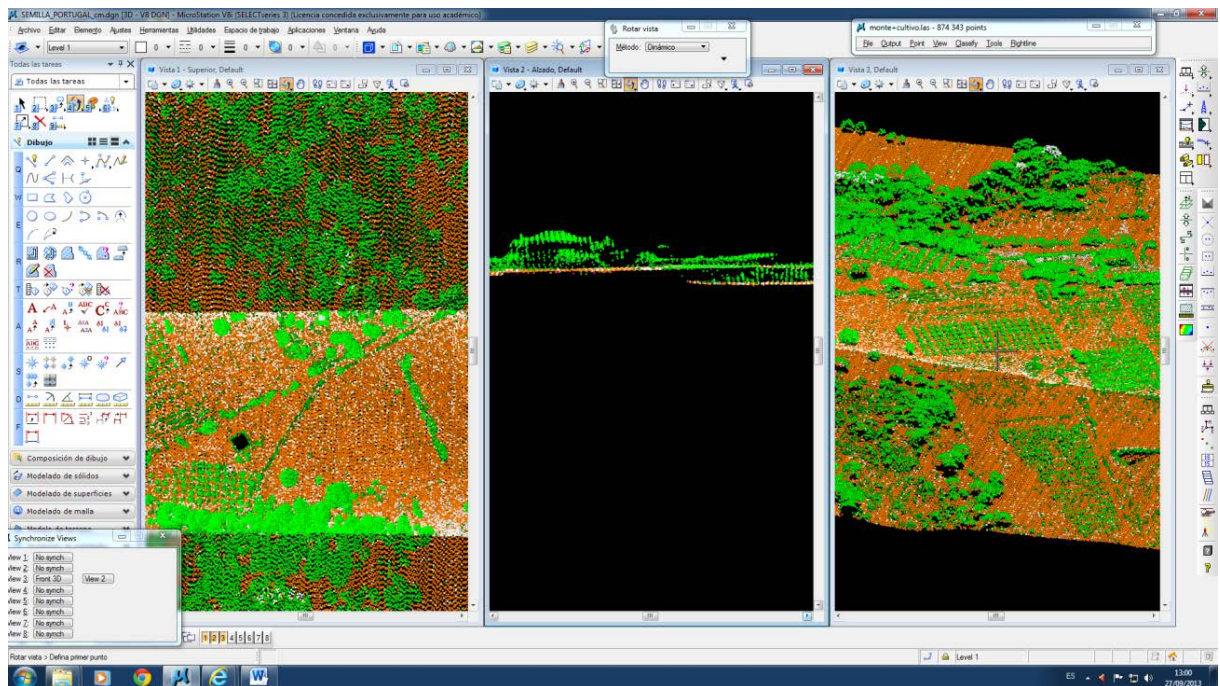
Una vez realizada las rutinas tenemos zonas que no se han clasificado porque no han encontrado un criterio claro para ello y *TerraScan* no las clasifica:



Pasamos a editar estas zonas de forma manual ayudándonos con la herramienta de edición mediante perfiles:



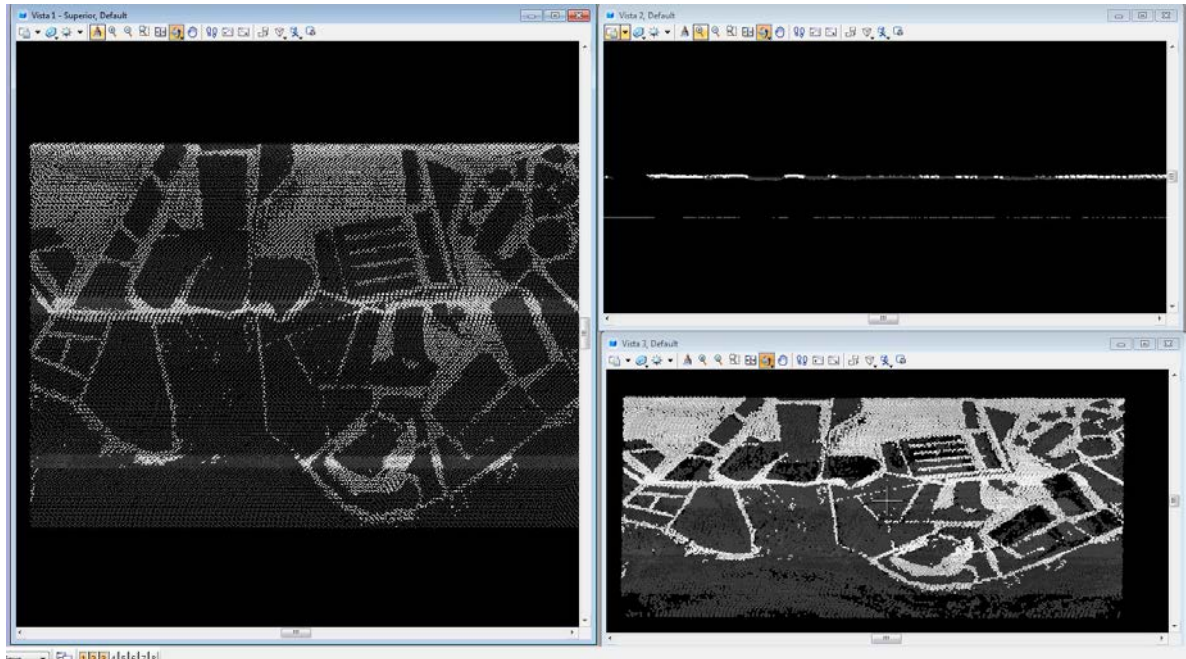
Obteniendo finalmente la clasificación final:



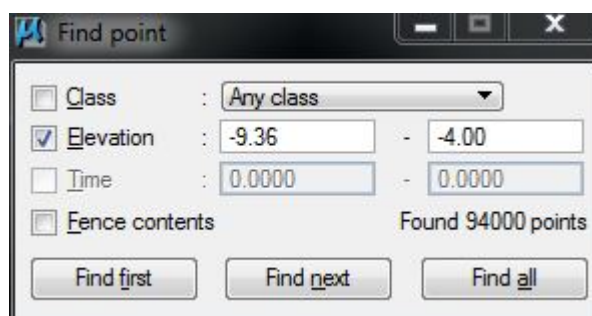
3.5.3.2 Edición ALB

MARISMA

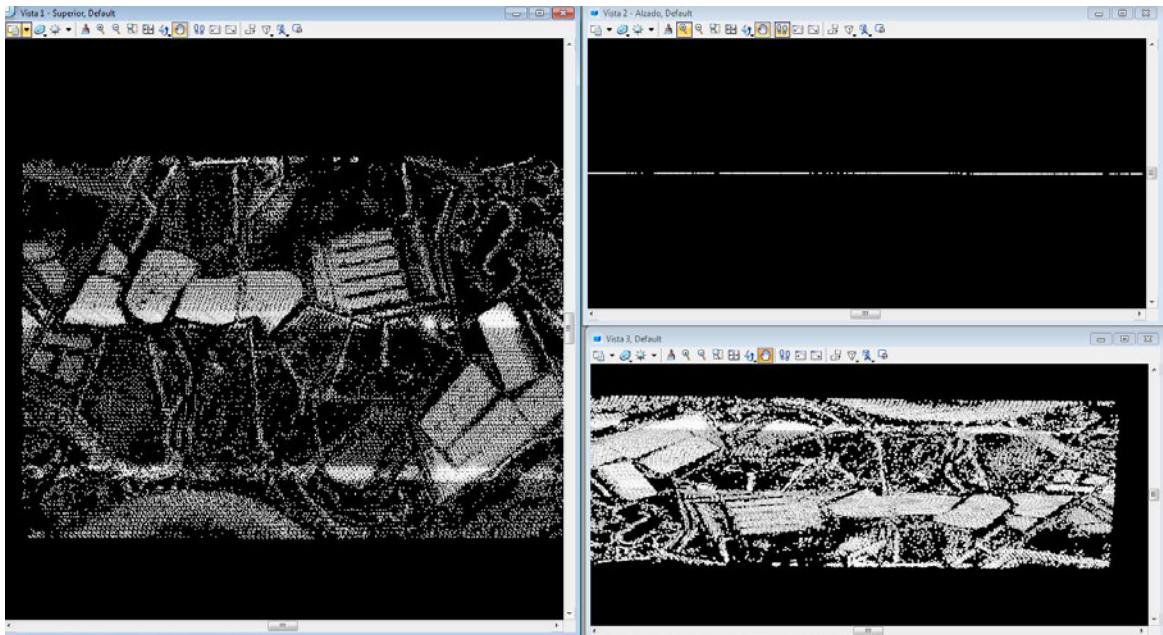
Como ya explicamos en la edición de *MDTopX* en los datos obtenidos mediante ALB se han generado una serie de puntos que tenemos que clasificar como ruido, los podemos ver en la siguiente imagen:



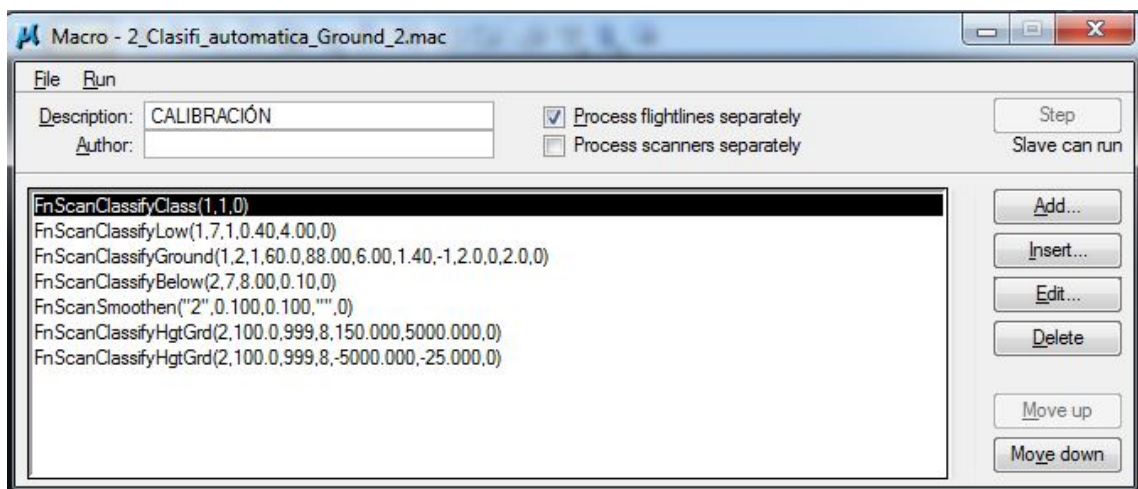
Para seleccionar esos puntos y clasificarlos como ruido utilizamos la herramienta Find point donde indicamos un criterio geométrico para seleccionar los puntos que nos interesan:



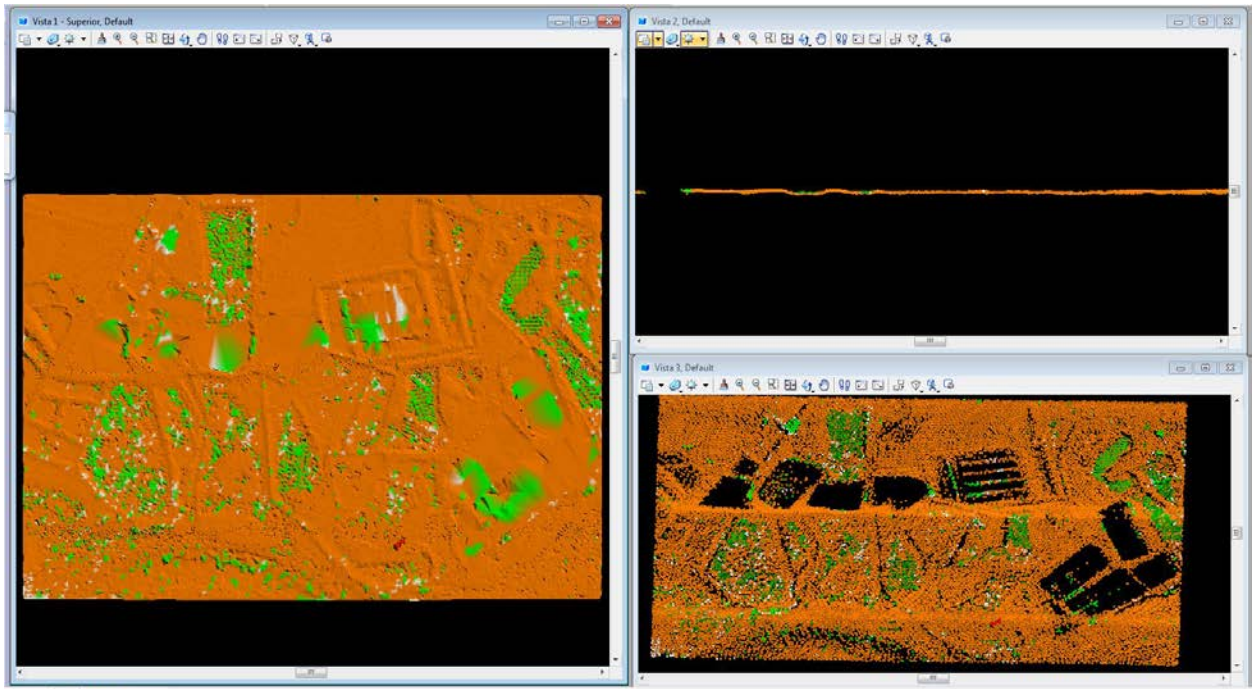
Una vez seleccionado los puntos que están fuera de rango los cambiamos a la clasificación ruido, quedándose así la nube de puntos:



A continuación realizamos una clasificación para obtener los puntos que corresponden a Ground (suelo). Lo hacemos a través de una macro que realiza siete pasos, los cuales explicamos en la edición de urbana.



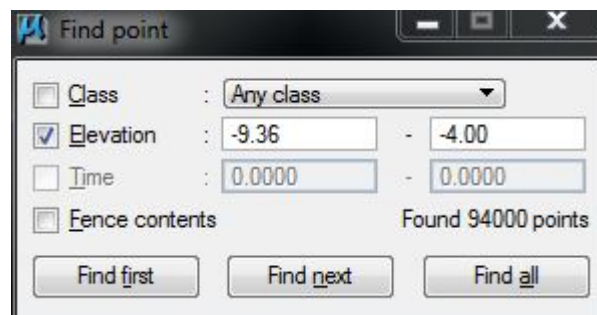
Una vez pasamos la macro nos devuelve los siguientes resultados:



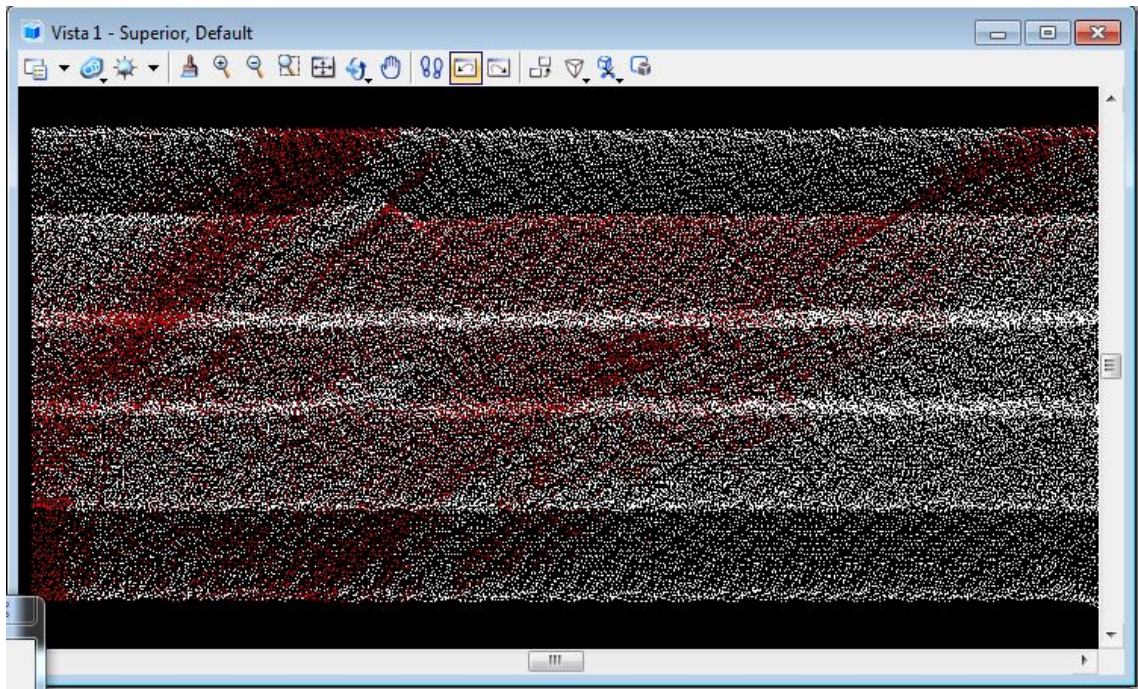
Como se puede observar hay zonas de agua donde el sensor ALB no ha sido capaz de penetrar, esto es debido a la estanqueidad de las aguas y a su alto índice de salinidad.

ESPIGÓN

Como ya explicamos en la edición de MDTopX en los datos obtenidos mediante ALB se han generado una serie de puntos que tenemos que clasificar como ruido, la seleccionamos de la siguiente forma:

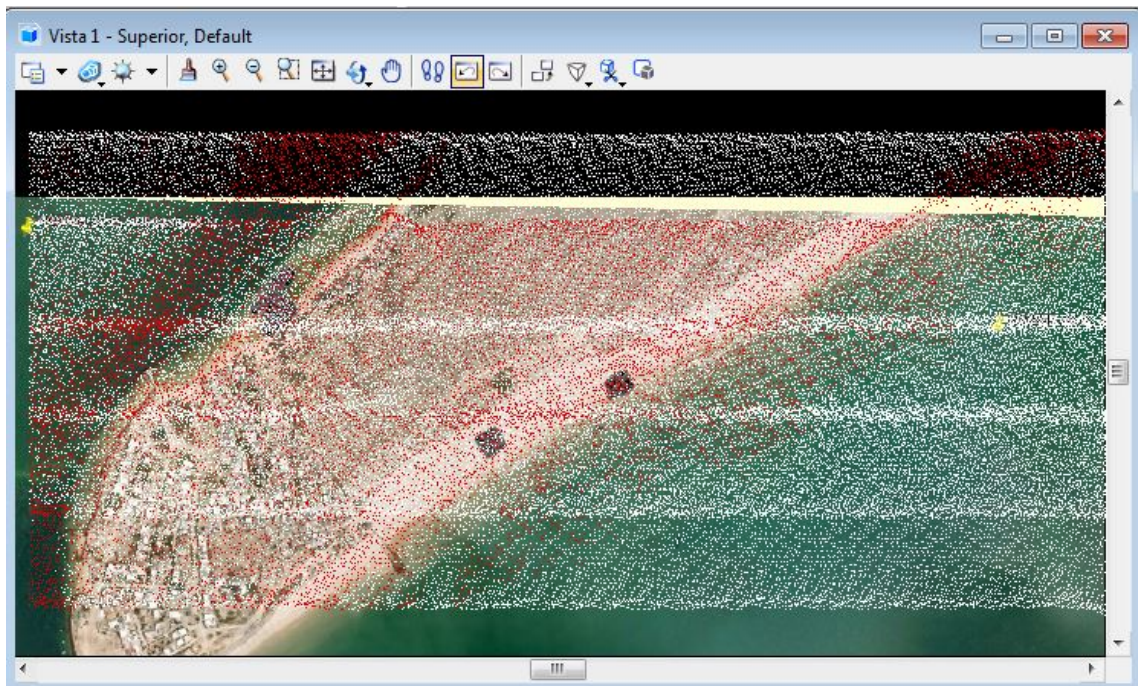


Una vez seleccionado los puntos que están fuera de rango los cambiamos a la clasificación ruido, quedándose así la nube de puntos:

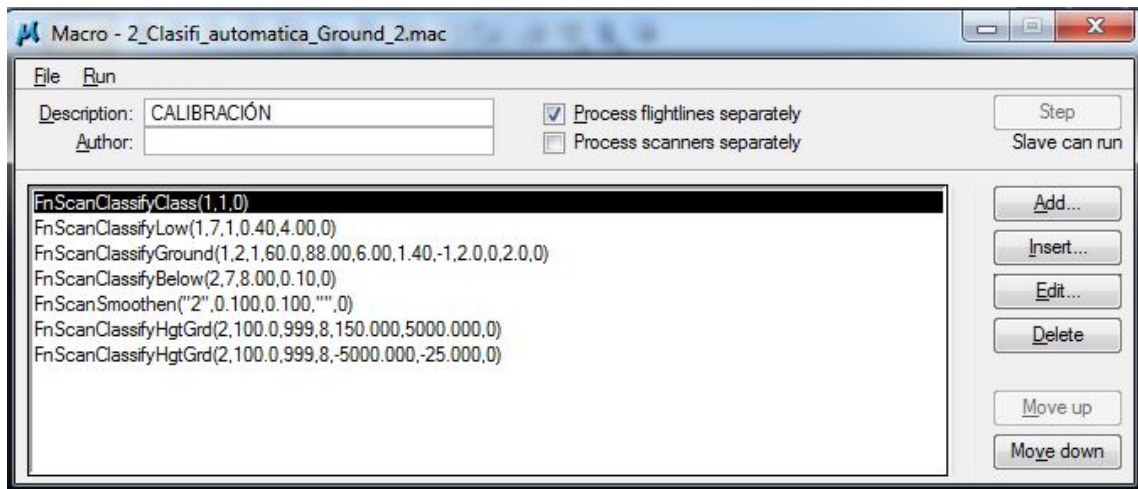


Procedemos a cargar la imagen de referencia para poder realizar una mejor clasificación a través de la aplicación TerraPhoto:

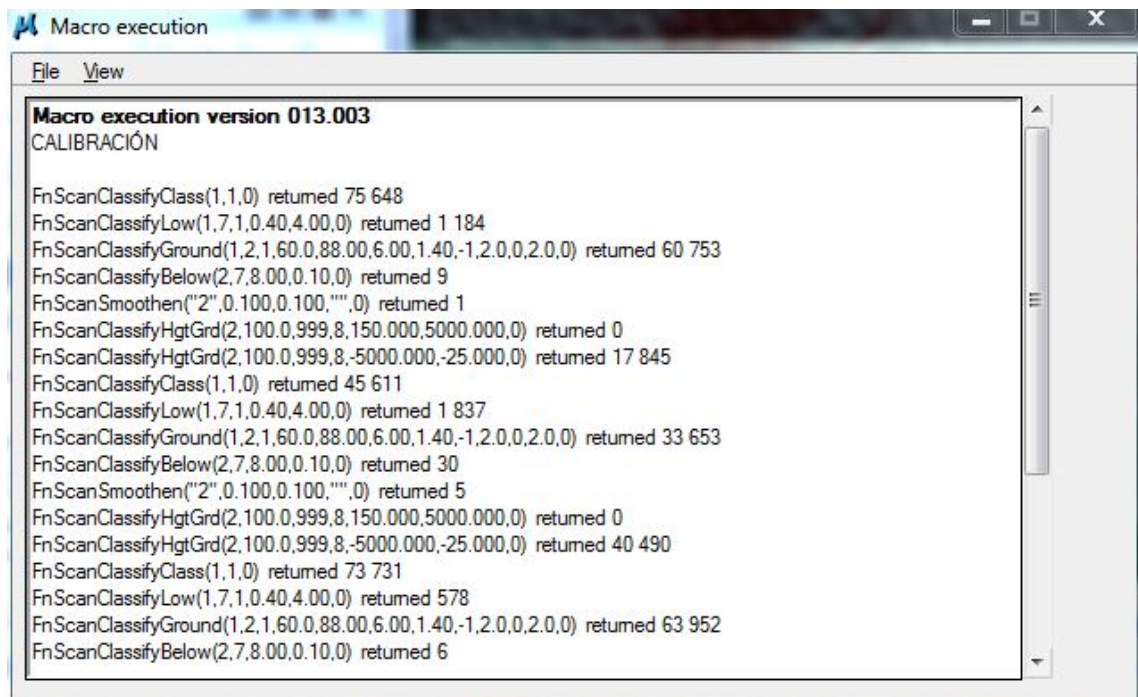
A través de la orden Manager Raster Reference insertamos nuestra imagen

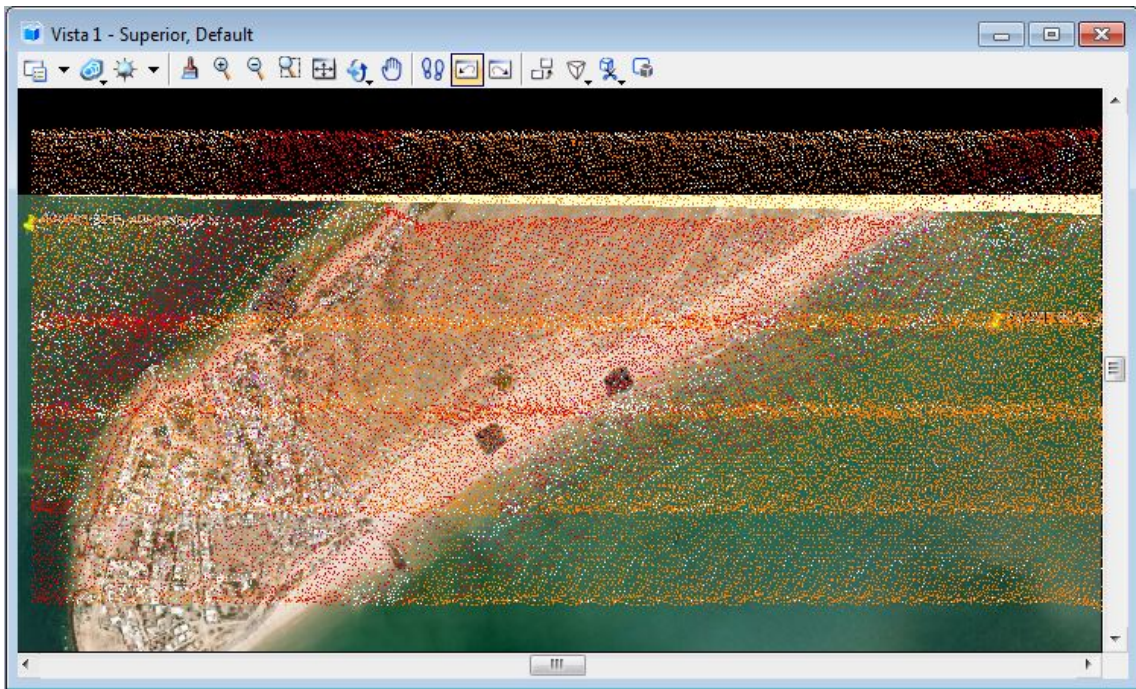


A continuación realizamos una clasificación para obtener los puntos que corresponden a Ground (suelo). Lo hacemos a través de una macro que realiza siete pasos, los cuales explicamos en la edición de urbana.



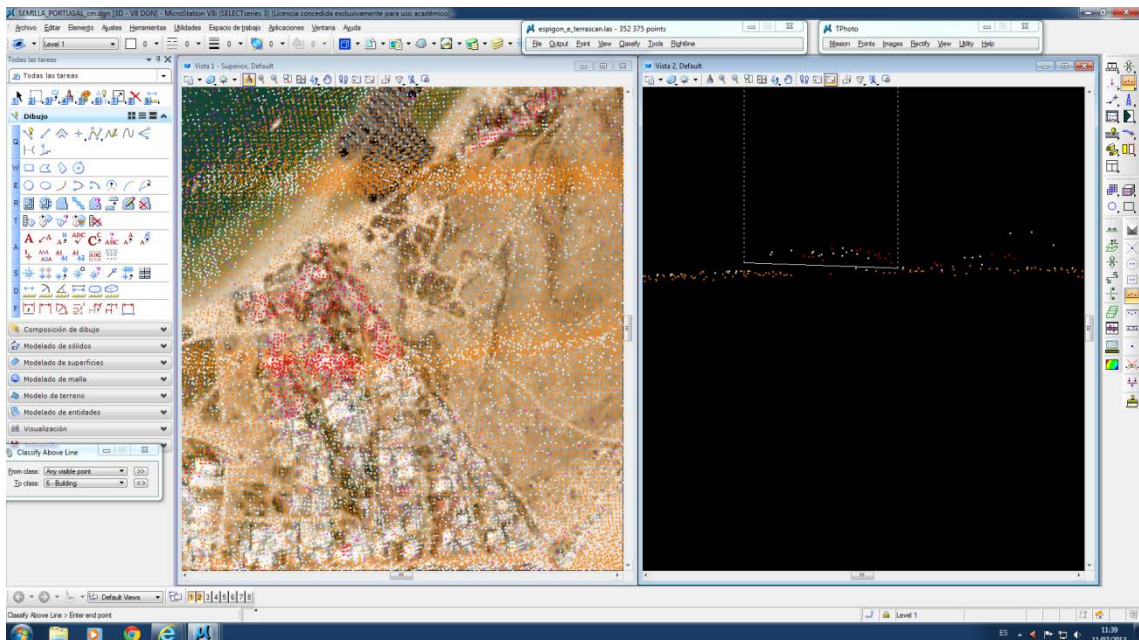
Una vez pasamos la macro nos devuelve los siguientes resultados:



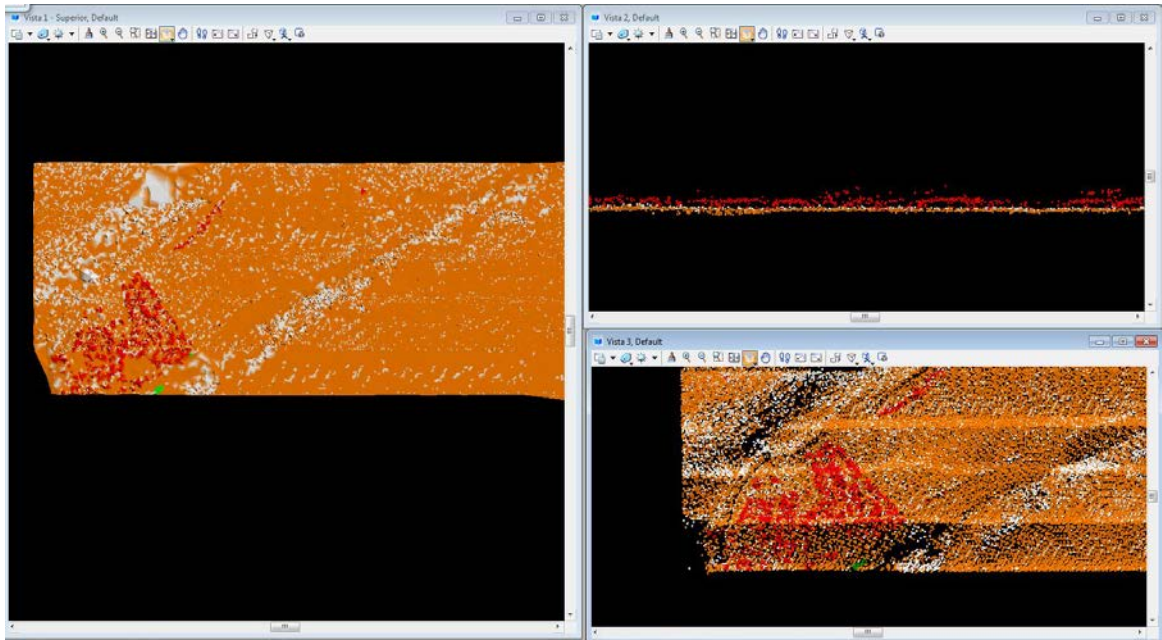


El siguiente proceso es clasificar las edificaciones, con la rutina Bulding.

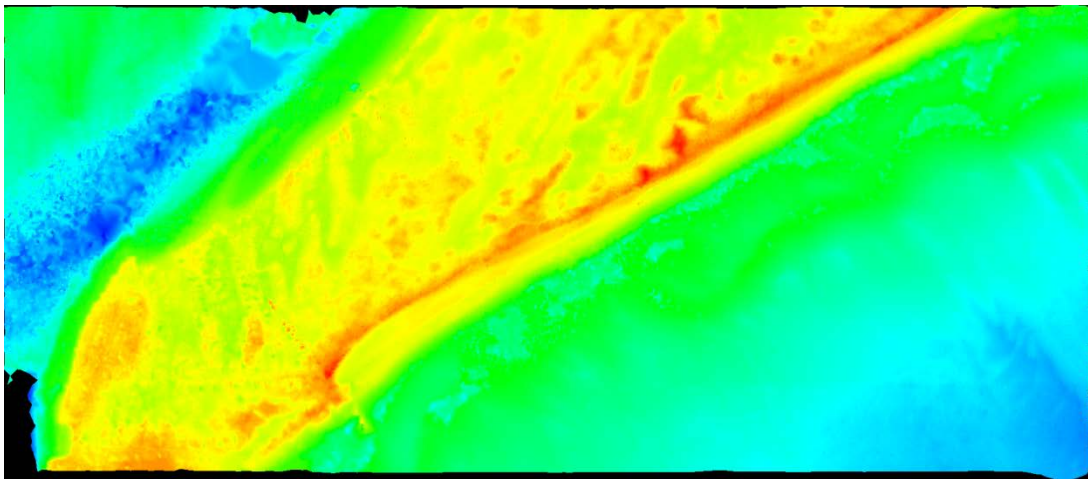
Primero lo hacemos con la rutina y luego manualmente ayudándonos de perfiles:



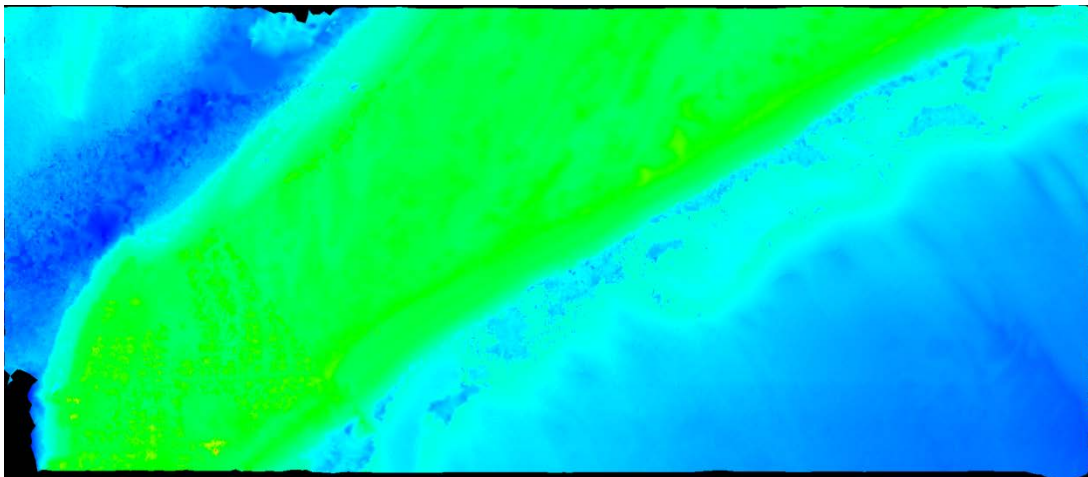
Una vez terminado este proceso obtenemos el siguiente resultado:



Generamos a través de la aplicación TerraModel el MDS:



Y el MDT:



Destacar nuevamente la continuidad del modelo resultante.

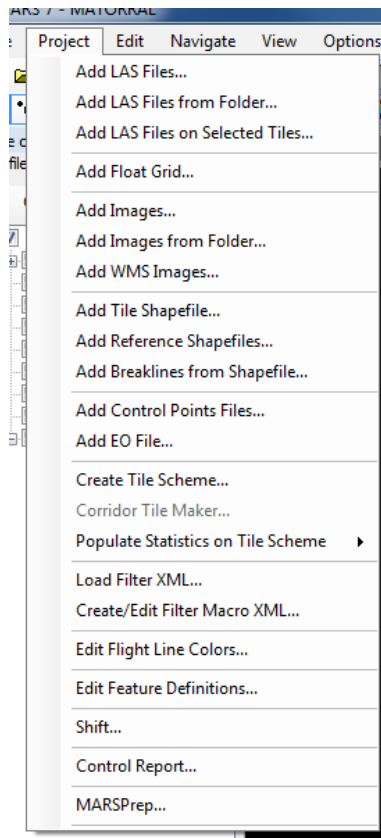
3.5.4 MARS

El software *Merrick Advanced Remote Sensing (MARS ®) Suite* es desarrollado y comercializado por la división de soluciones geoespaciales de *Merrick & Company*, una firma de ingeniería de servicio completo con sede en Aurora, Colorado. MARS ® es una aplicación de Windows, diseñada para gestionar, visualizar, procesar y analizar los datos LiDAR. Con unas capacidades de visualización de gran alcance y un rendimiento sin precedentes, MARS ® está listo para apoyar sus necesidades de procesamiento de datos LiDAR.

- Podemos visualizar, procesar y hacer un control de calidad de un conjunto de datos LiDAR tanto aéreo, terrestre como móvil.
- Soporta los formatos LiDAR (LAS), MrSID LiDAR comprimido (*. Sid), imágenes (RGB e hiperespectrales) y conjuntos de datos vectoriales GIS.
- Soporte para los sistemas operativos Windows de 32 bits y de 64 bits.
- El multiprocesamiento permite la utilización eficiente de hardware de PC.
- Capacidad de visualización de datos robustos.
- Herramientas automatizadas y manuales de clasificación de datos.
- Funciones de generación de datos topográficos y DEM.
- Funciones de importación / exportación de datos por lotes.
- Herramientas de transformación de coordenadas 3D.
- Botones de ayuda sensibles al contexto para la mayoría de las herramientas y cuadros de diálogo.
- WMS (Web Map Service) soporte de imágenes.

3.5.4.1 *Edición ALS*

En *MARS* tenemos que importar todos los archivos que vamos a utilizar para crear un proyecto con todos ellos, como se puede observar en el menú:



En las barras de herramientas superiores tenemos varias herramientas, de visualización:



Aquí podemos modificar la transparencia de la imagen frente a la nube de puntos, la exageración vertical y el tamaño de la nube de puntos.

En la siguiente barra de herramientas, podemos ver los puntos en función de la altitud, intensidad, clasificación, pasada, ecos...:



Podemos encontrar también una barra de herramientas en la que podemos discriminar que queremos ver en pantalla, puntos LAS, puntos de control, cuadrícula, imágenes, [rejilla](#), curvado...

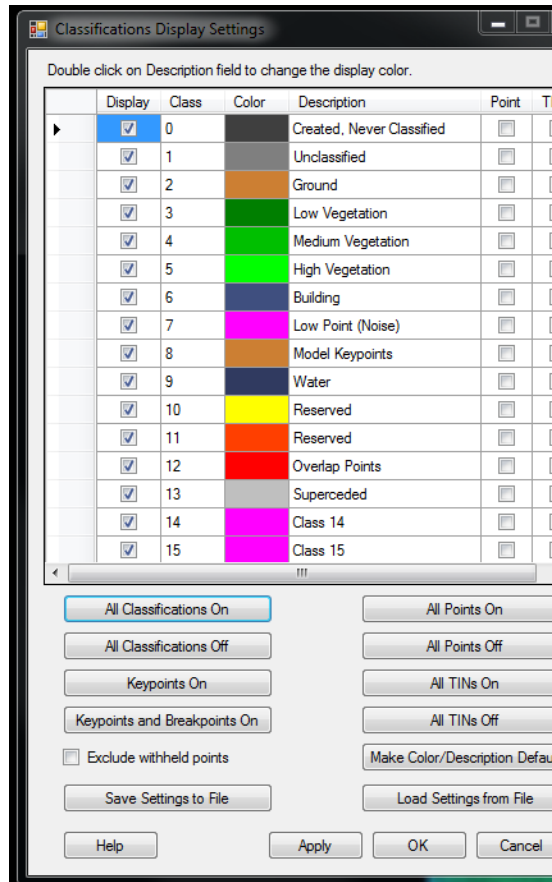


También nos encontramos barras de herramientas para extraer información de los puntos, y obtener perfiles, que serán muy útiles para la clasificación de los puntos:

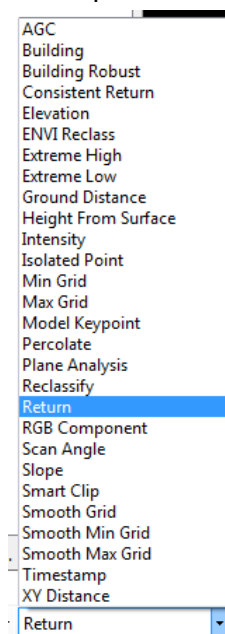


En *MARS* nos encontramos un cuadro de clasificaciones predeterminadas y la posibilidad de realizar macros para nuestras propias clasificaciones si fuese necesario.

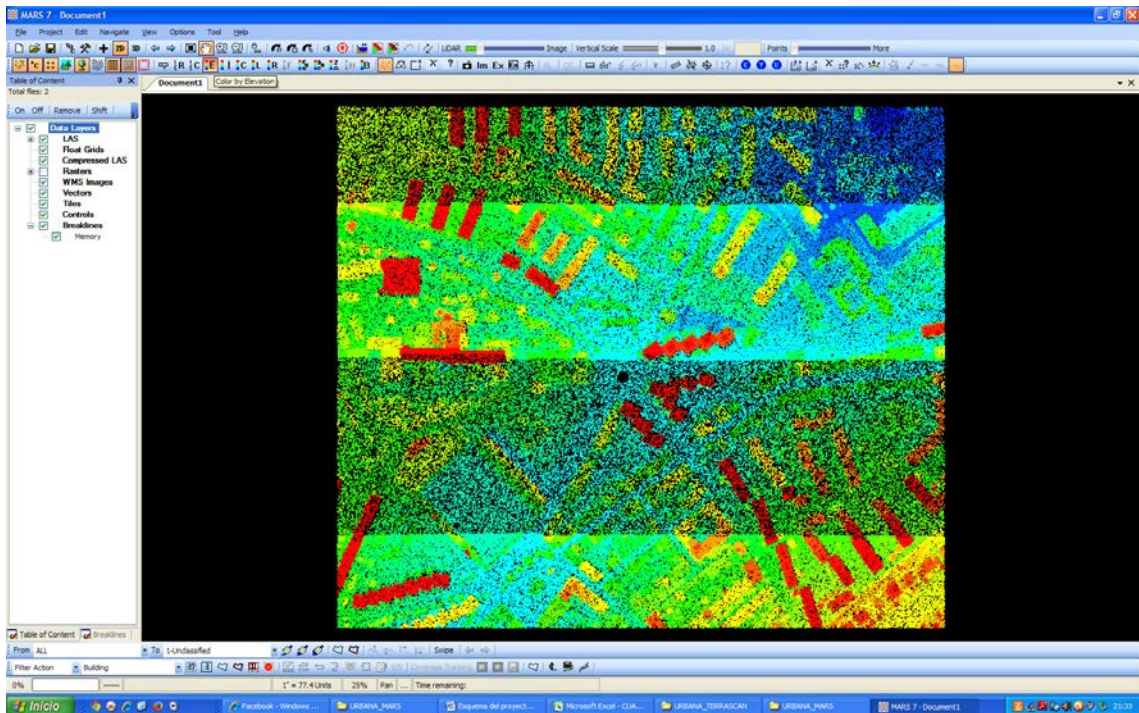
En primer lugar vamos a ver el listado de clasificación predeterminada que tiene *MARS*, este se podrá editar si fuese necesario (proyectos con clasificaciones impuestas por memoria):



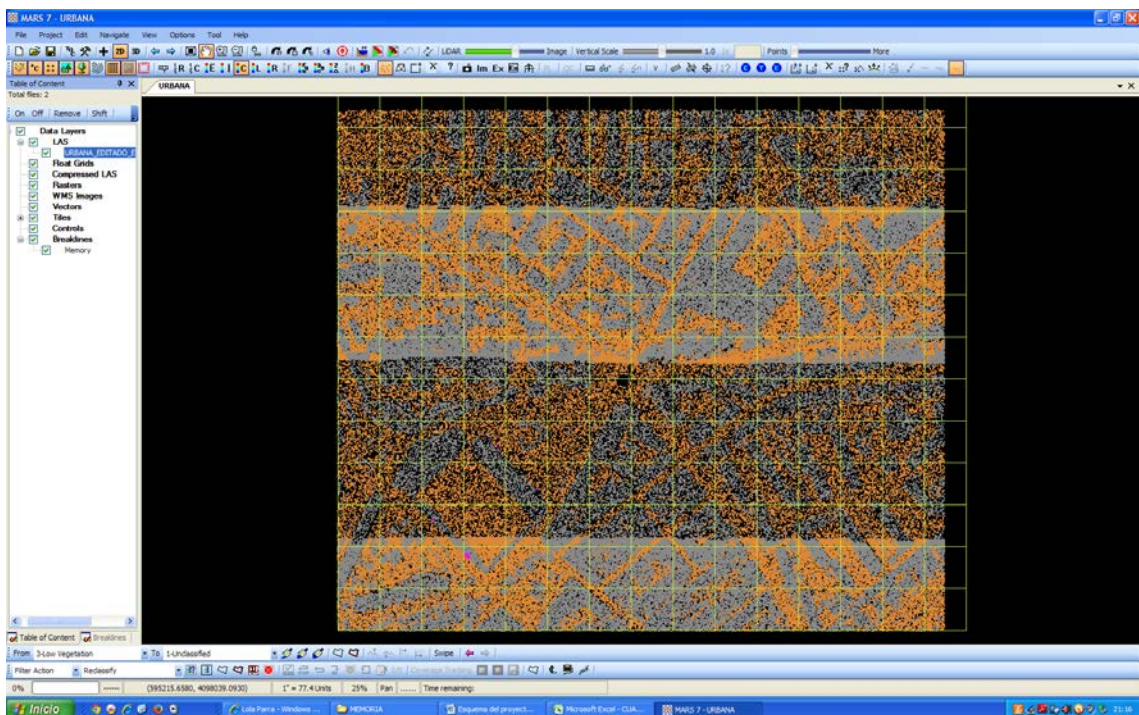
A continuación podemos ver los procesos de clasificación predeterminadas



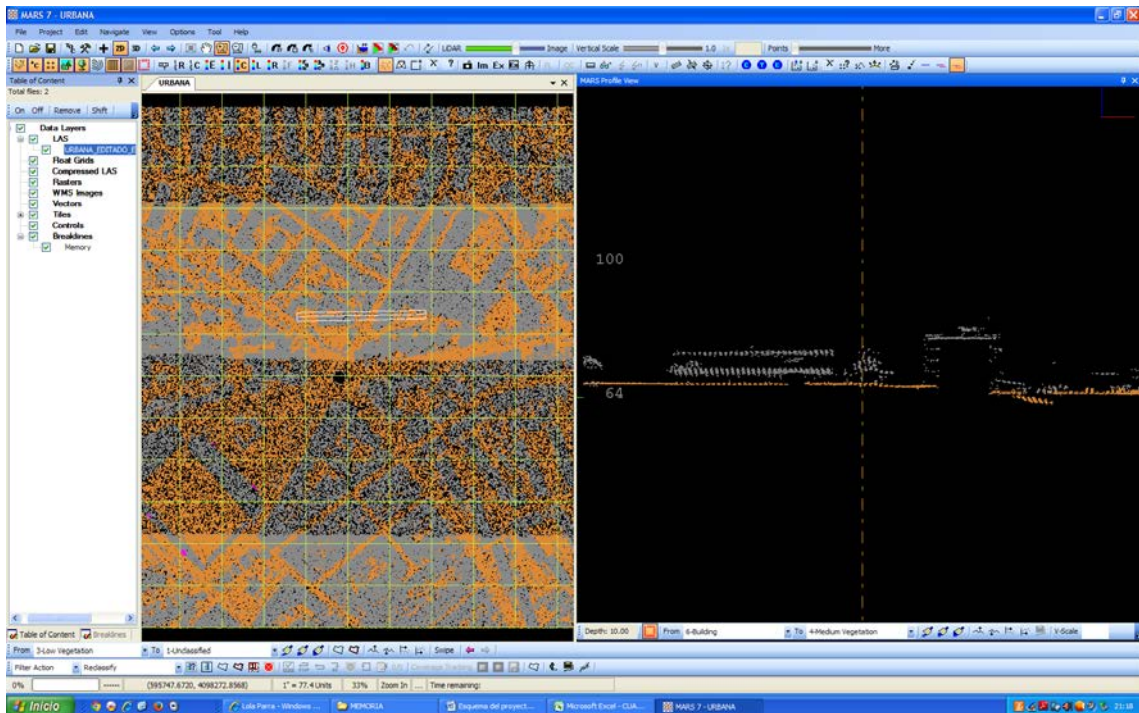
ZONA URBANA



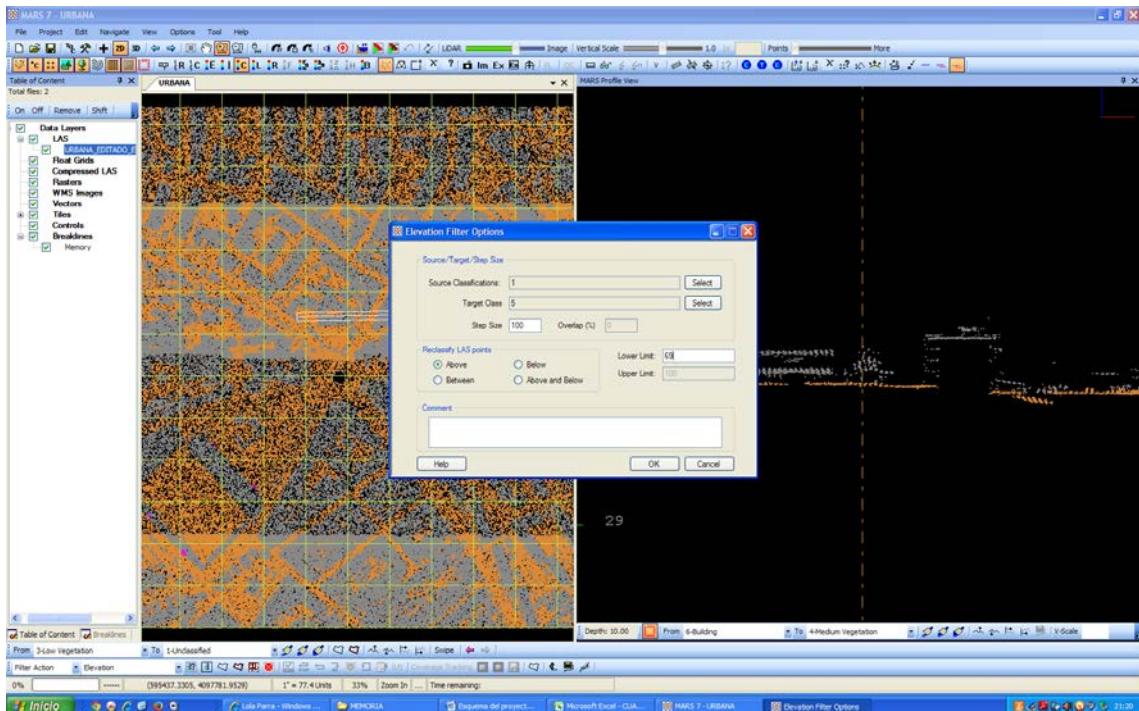
En este caso realizamos una primera clasificación por elevación, para distinguir el suelo de los puntos elevados. Para ello tenemos que hacer un estudio por zonas mediante transversales, obteniendo la cota media del suelo, ya que la herramienta de clasificación por elevación nos clasifica en base a ese dato.



Realizamos una primera clasificación por elevación, para distinguir el suelo de los puntos elevados. Hacemos un estudio por zonas mediante transversales, obteniendo la cota media del suelo. Ejemplo:

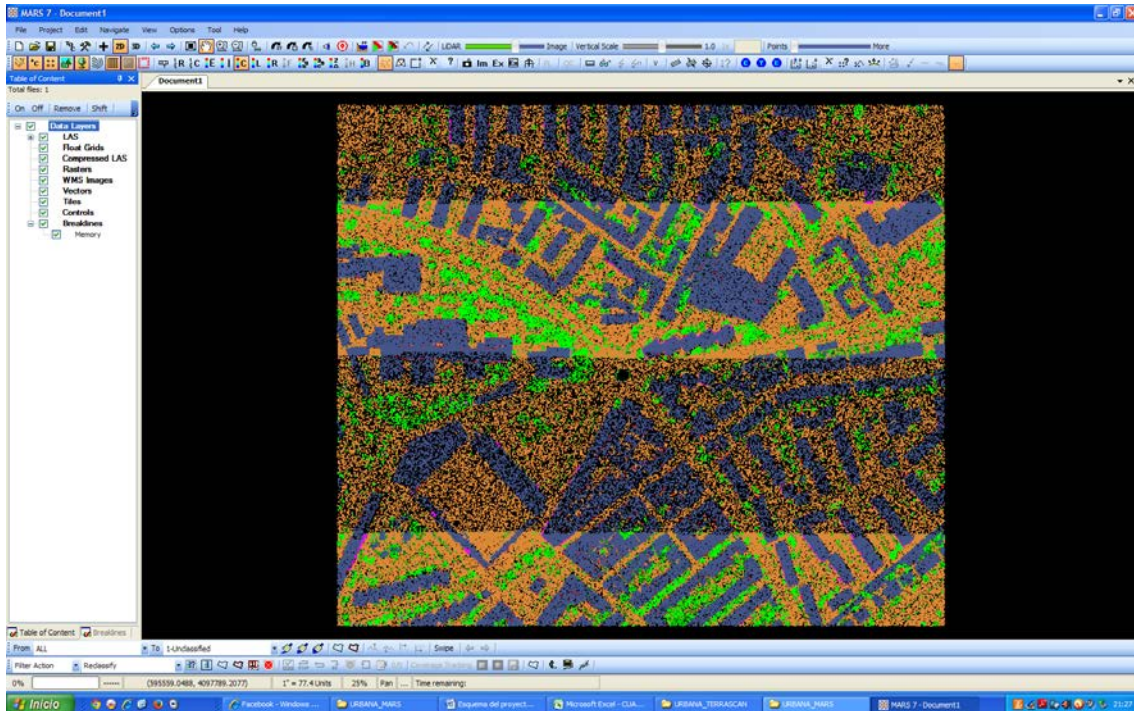


Aquí podemos ver que en la zona del transversal la cota media del suelo es 69 metros, con lo cual nosotros al clasificar en esa zona diremos que todo lo que está por encima de la cota 69 lo considere punto elevado:

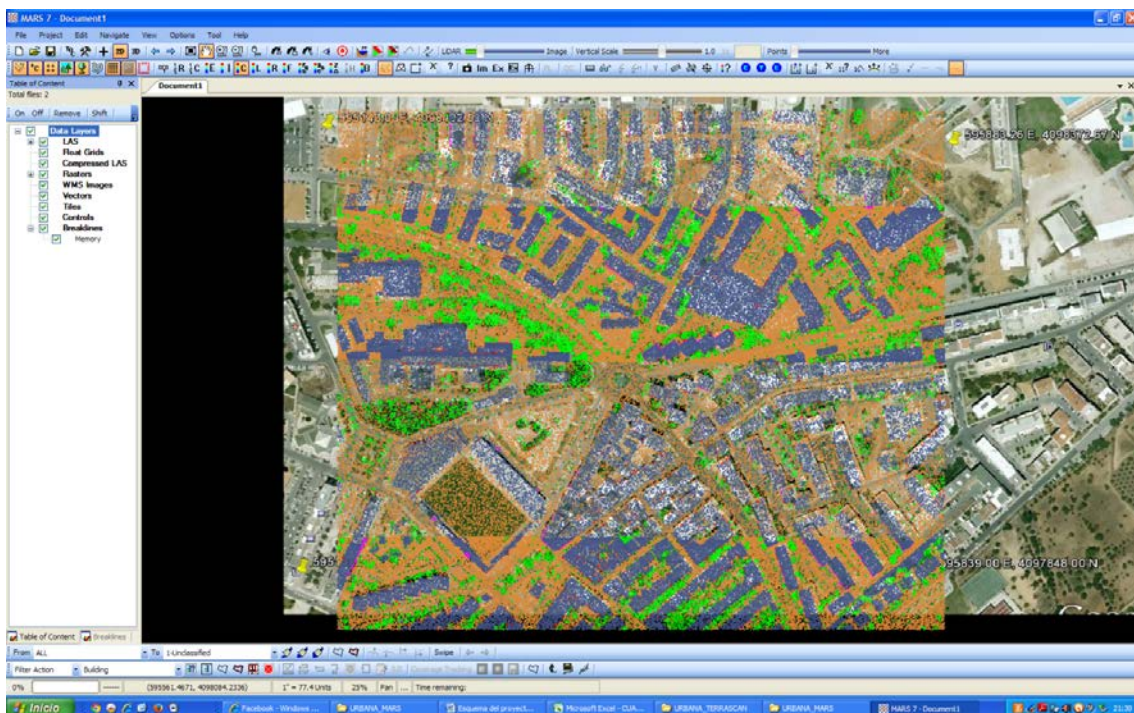


Siendo "1" puntos no clasificados y "5" puntos de vegetación alta.

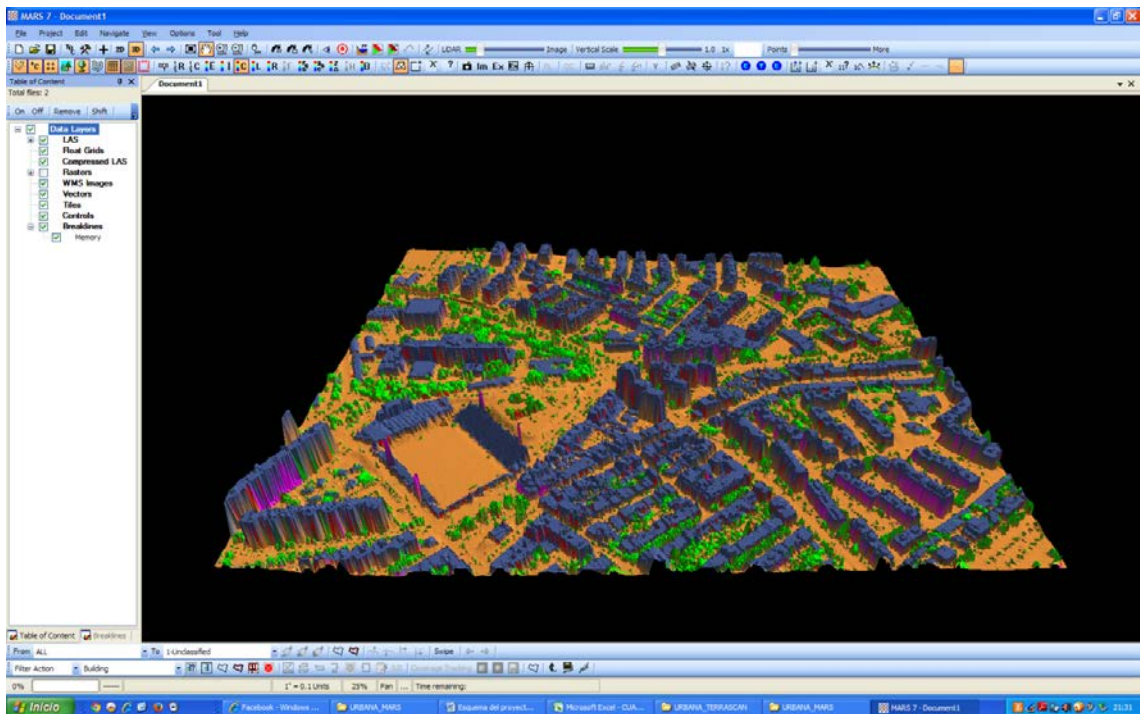
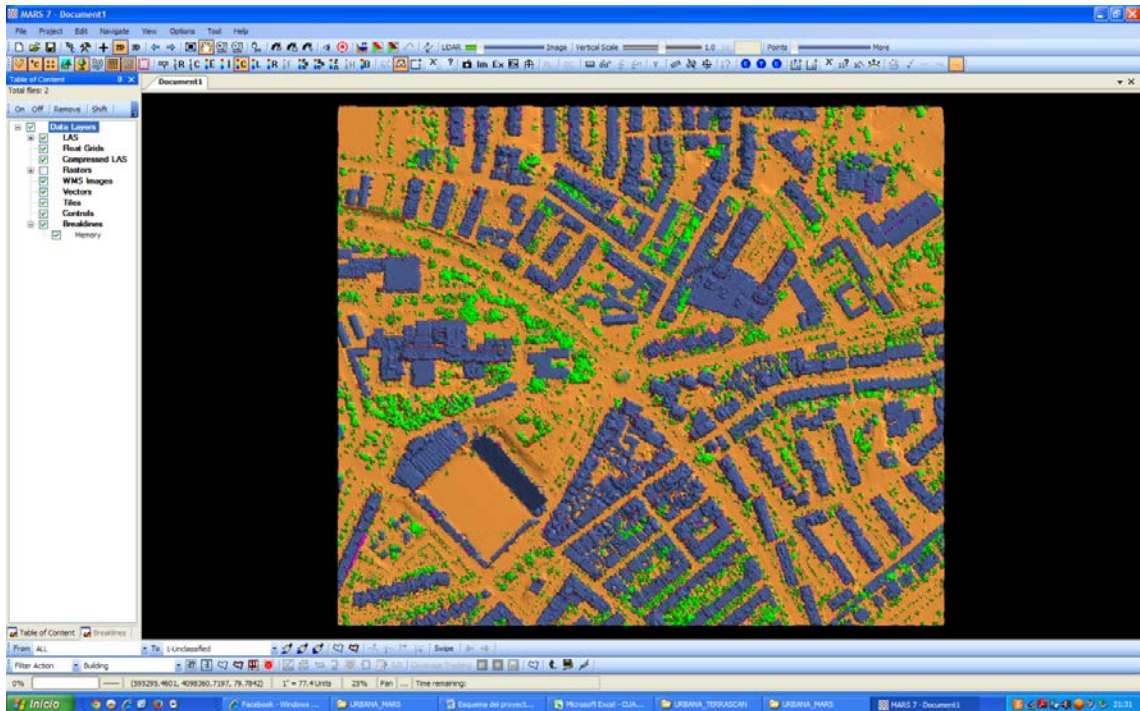
Este proceso hay que realizarlo en todas las zonas, por lo que nos ayudamos con la cuadrícula que hemos creado, estudiando la cota media en cada una de las celdas de la cuadrícula. Después de este proceso, conseguimos la siguiente clasificación, editando también de forma manual mediante perfiles transversales para diferenciar la vegetación de las construcciones y del ruido:



Proyectamos la imagen para comprobar que coinciden las clasificaciones antes de realizar el modelo.

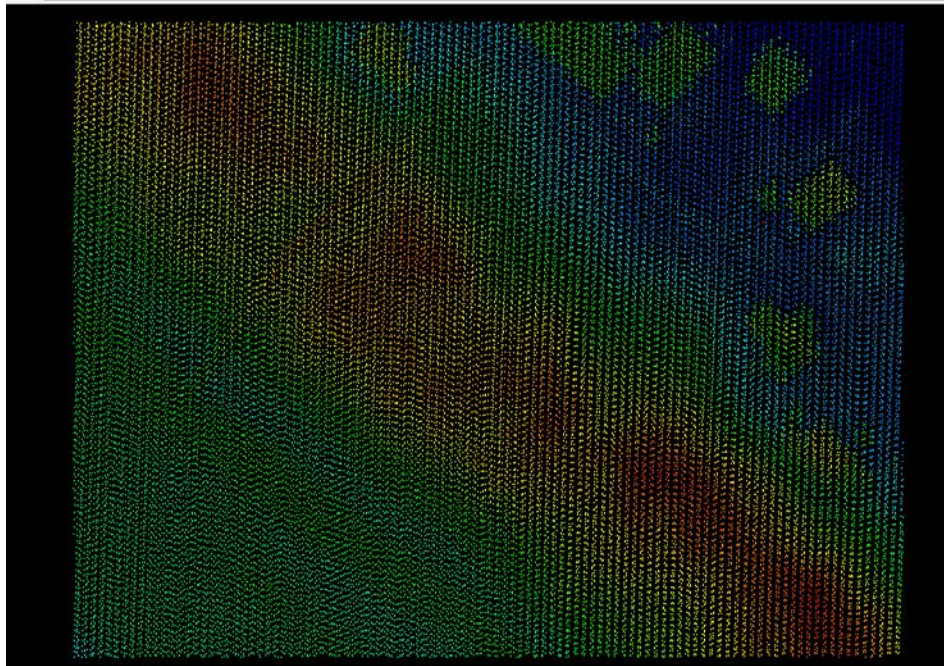


MDS:



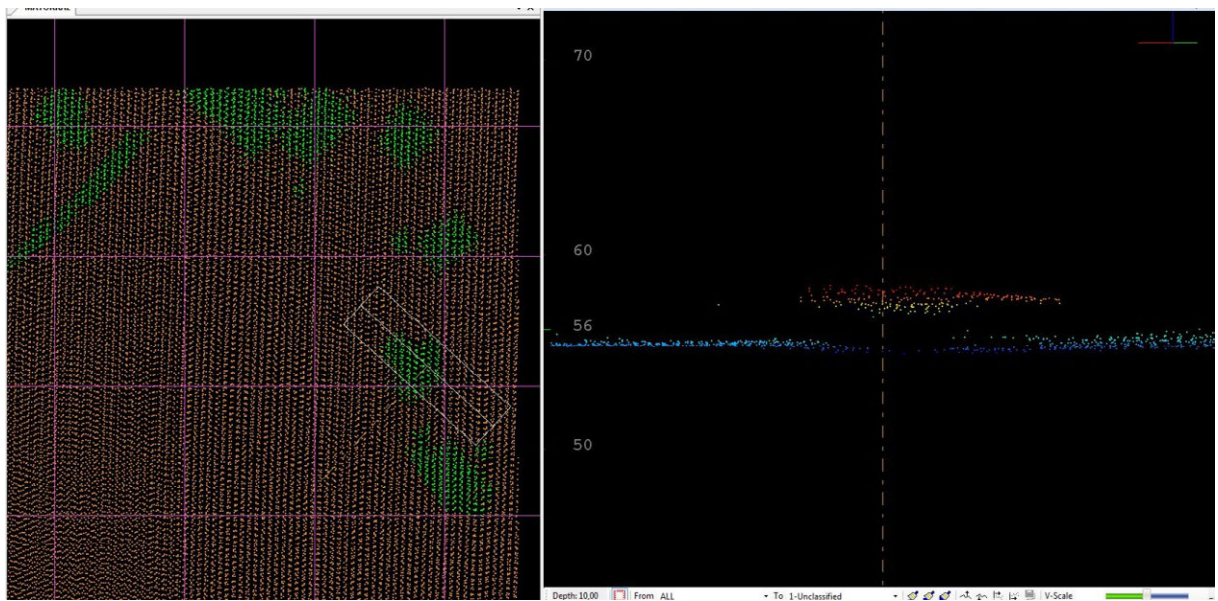
ZONAS RURALES

MATORRAL

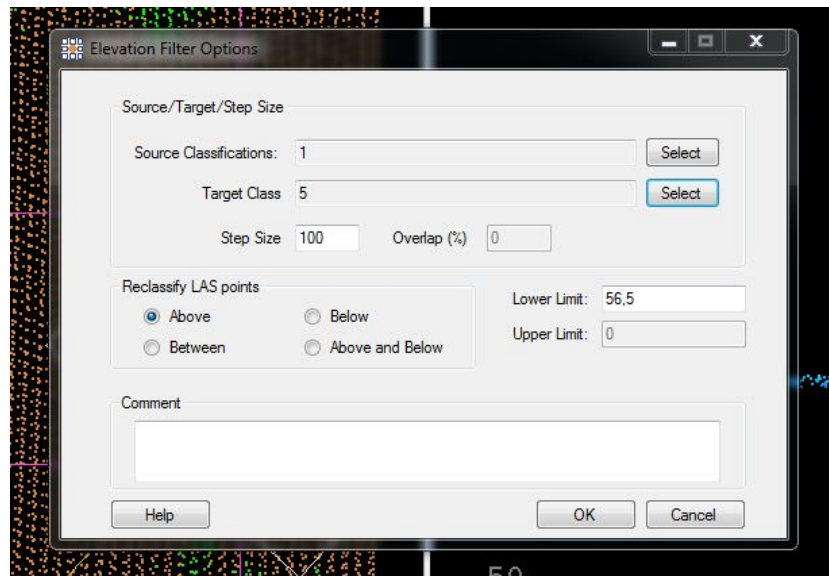


Realizamos una primera clasificación por elevación, para distinguir el suelo de los puntos elevados. Hacemos un estudio por zonas mediante transversales, obteniendo la cota media del suelo.

Ejemplo:

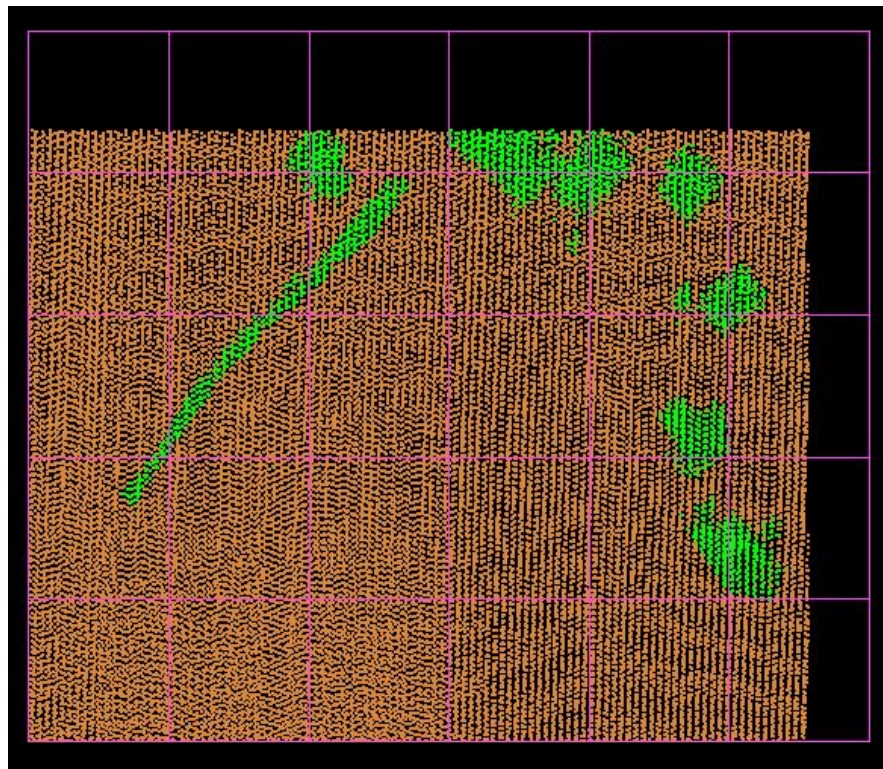


Aquí podemos ver que en la zona del transversal la cota media del suelo es 56 metros, con lo cual nosotros al clasificar en esa zona diremos que todo lo que está por encima de la cota 56.5 lo considere punto elevado:



Siendo “1” puntos no clasificados y “5” puntos de vegetación alta.

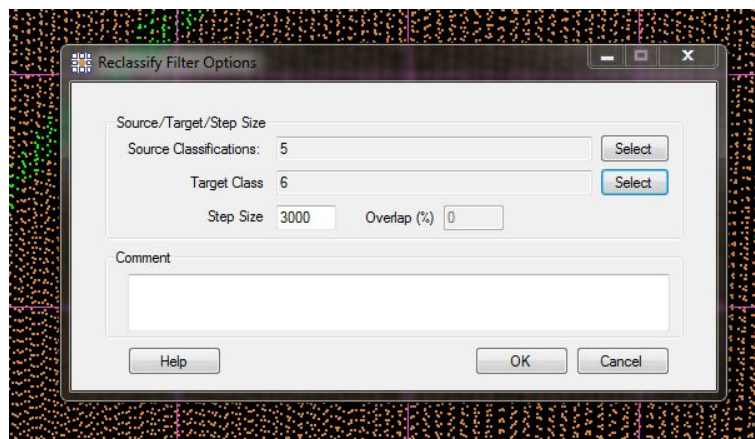
Este proceso hay que realizarlo en todas las zonas, por lo que nos ayudamos con la cuadrícula que hemos creado, estudiando la cota media en cada una de las celdas de la cuadrícula. Después de este proceso, conseguimos la siguiente clasificación:



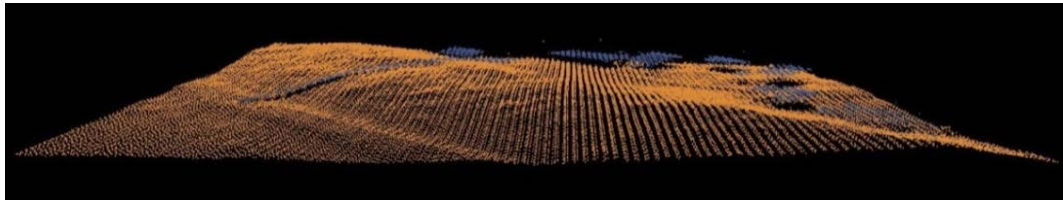
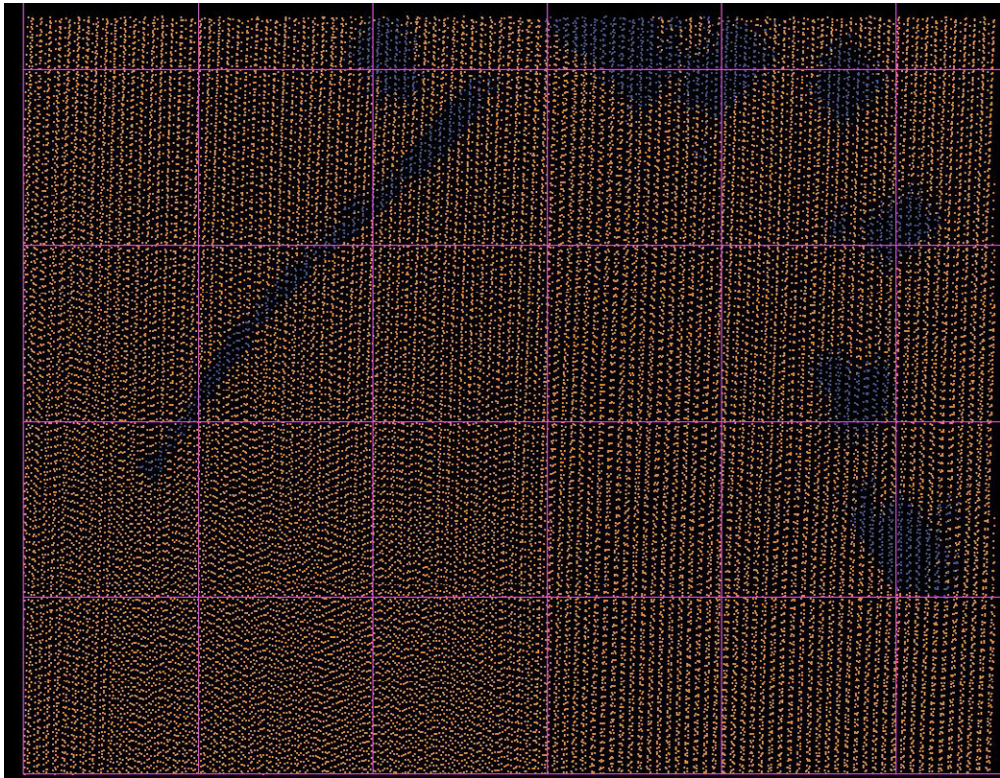
A continuación, distinguimos entre puntos que corresponden a vegetación y los que corresponden a edificación utilizando la herramienta de clasificación de edificios.



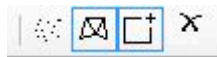
En este caso y según la fotografía de la zona, sabemos que todos los puntos elevados corresponden a edificaciones, con lo cual hacemos una simple reclasificación del código de vegetación alta a edificación, de la siguiente forma:



Quedando la nube de puntos de la siguiente forma:



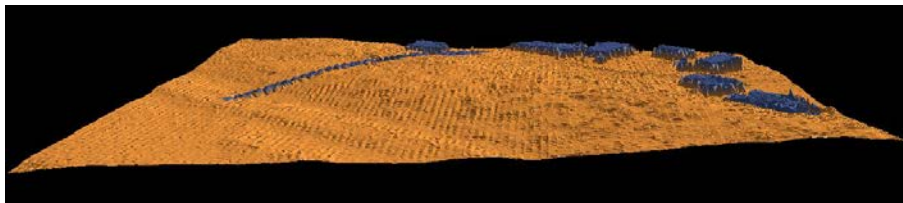
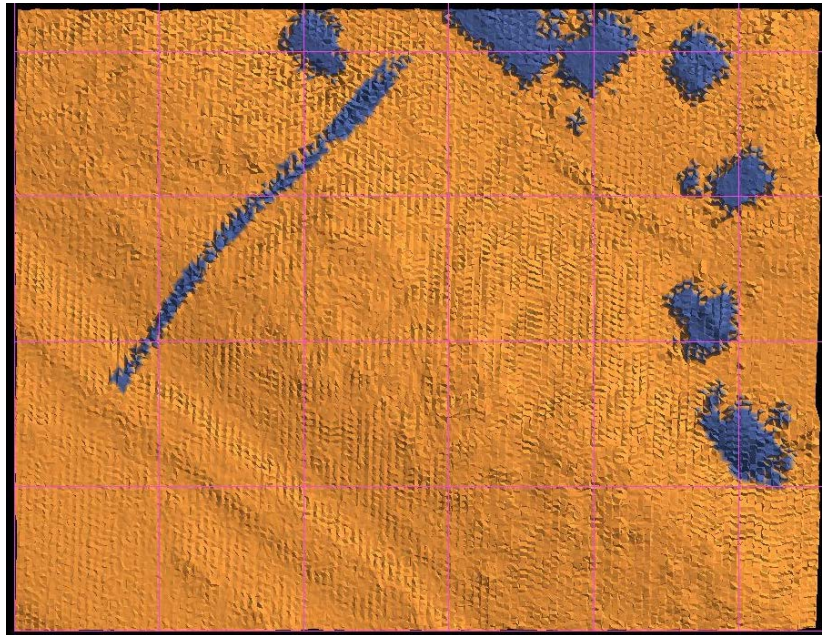
Para obtener el modelo solo tenemos que indicárselo en la barra de herramientas:



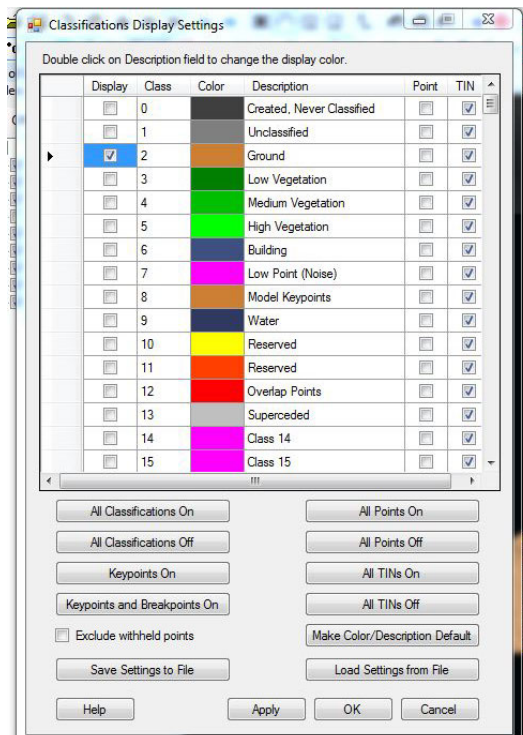
Nos hará el modelo de los puntos que estén visibles, los cuales los podemos elegir activarlos o desactivarlos según su clasificación.

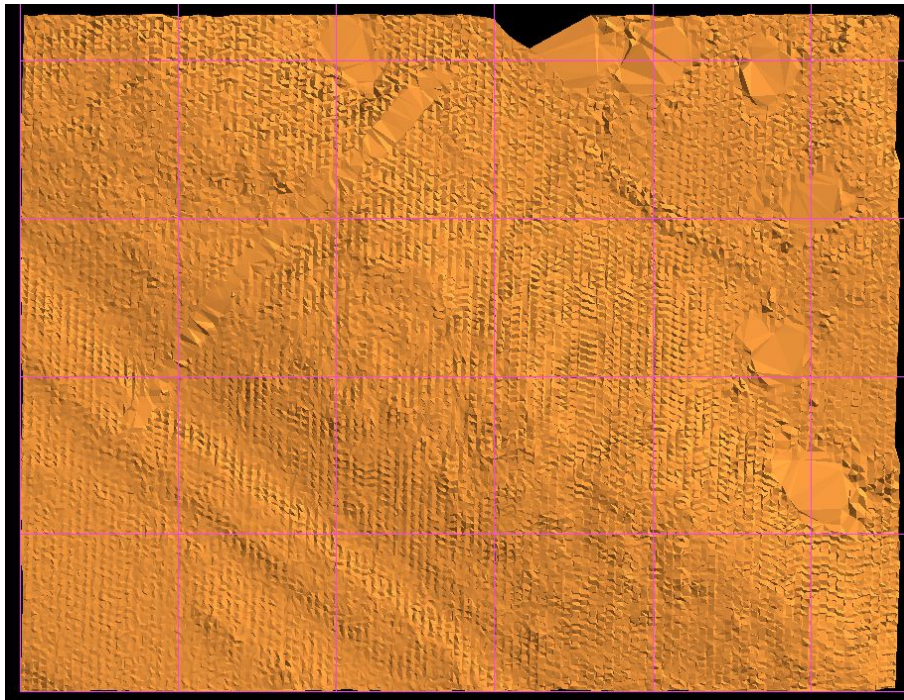
Por ejemplo:

- Si dejamos activo solo suelo y edificación el MDT será el siguiente:



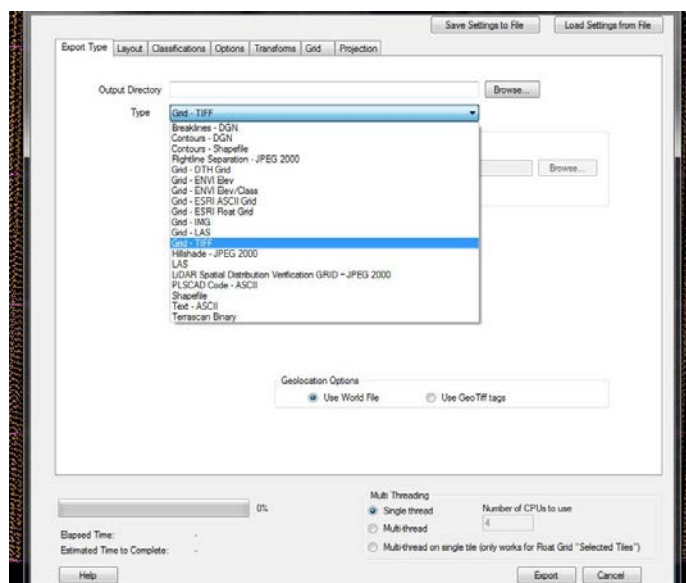
- Si sólo dejamos activo el suelo:





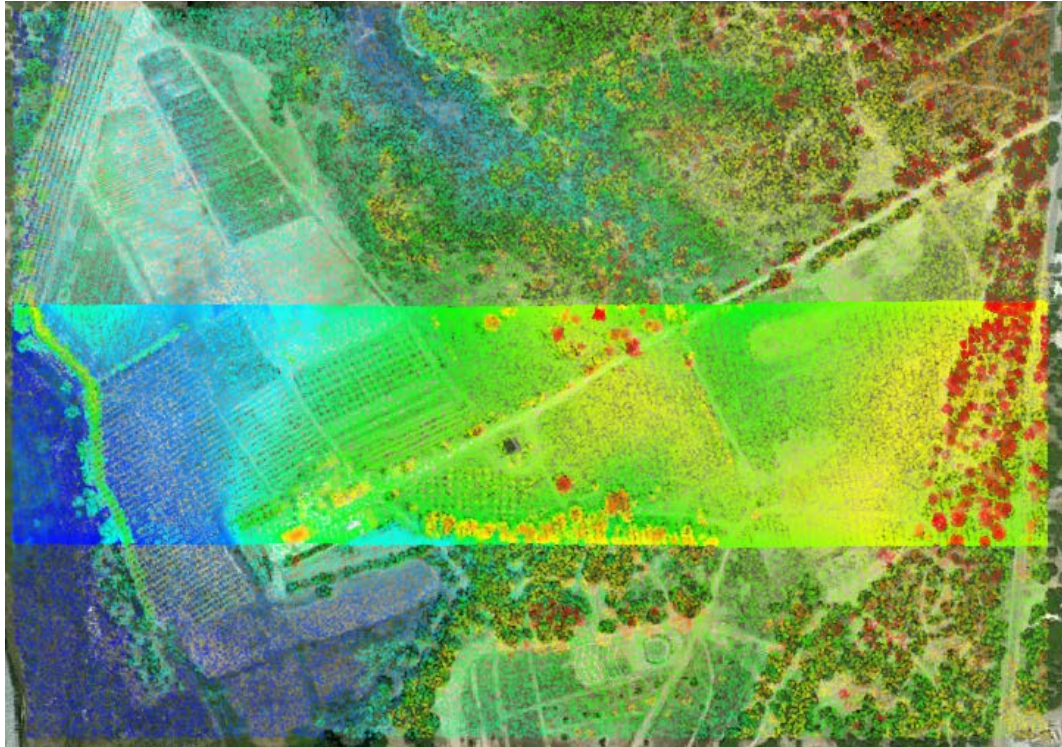
Cabe destacar que una vez generada la vista en 3D, no se puede ampliar ni reducir el zoom, para ello tenemos que salir de la vista 3D, aumentar o reducir la imagen, y luego volver a la vista 3D. A la hora de realizar el modelo no podemos interactuar, solo podemos activar y desactivar los puntos que queremos que intervengan en el modelo, pero no elegir datos como distancia máxima del lado del triángulo.

Este es el cuadro para exportar los archivos:



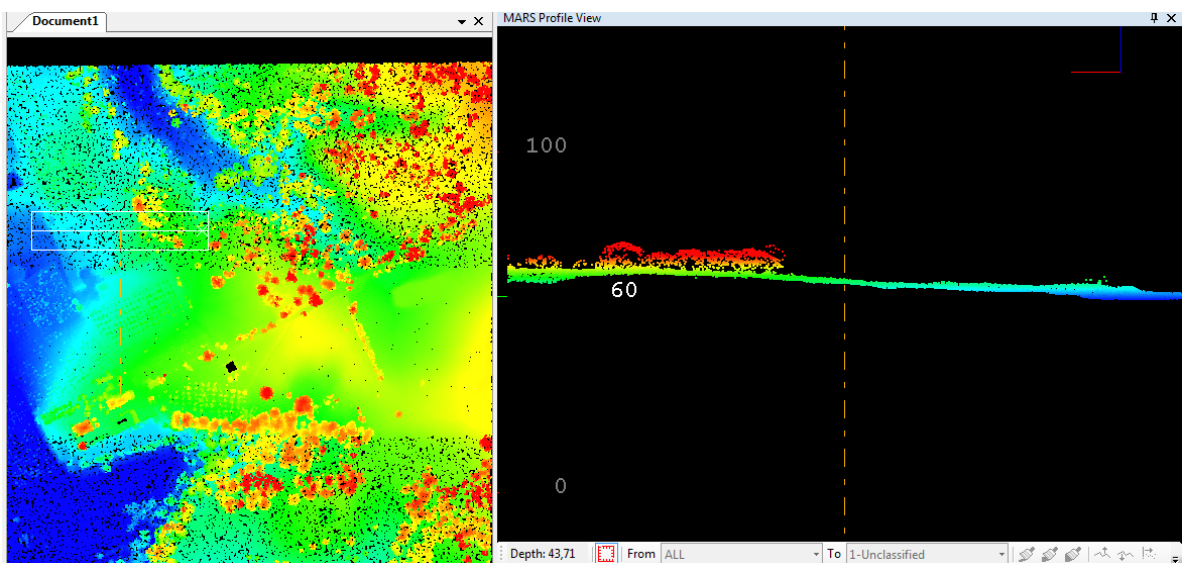
Podemos observar que se puede exportar la malla en diferentes formatos como los puntos, pero no admite mapa de tintas, hipsométricos...

MONTE + CULTIVO

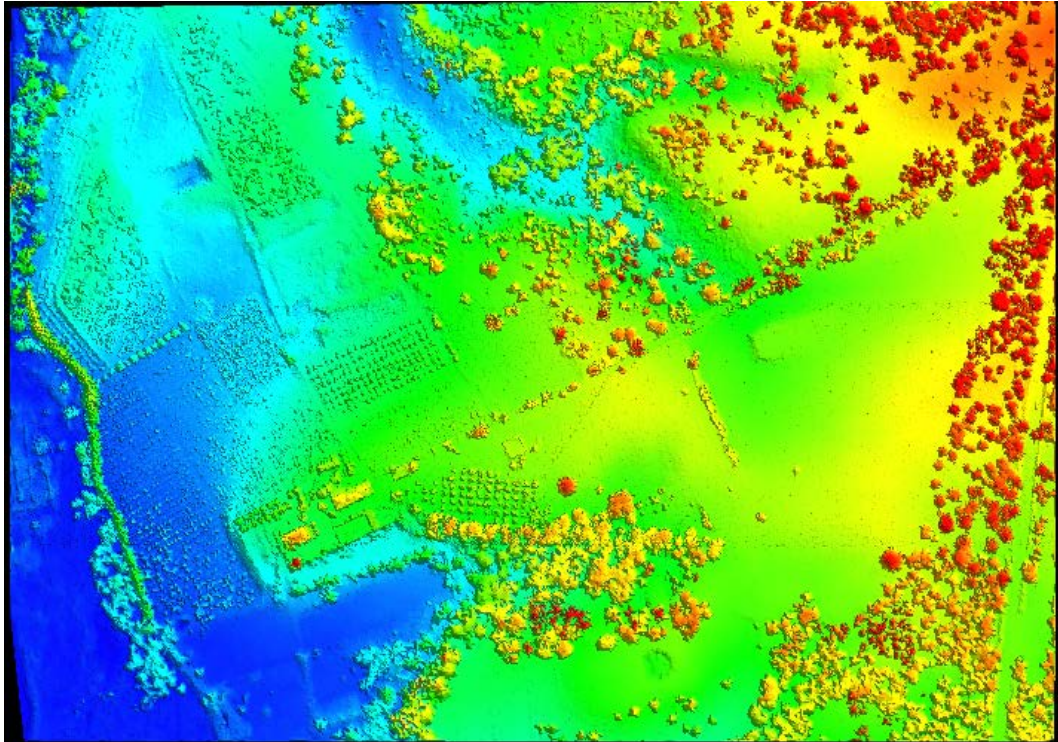


Realizamos una primera clasificación por elevación, para distinguir el suelo de los puntos elevados. Hacemos un estudio por zonas mediante transversales, obteniendo la cota media del suelo.

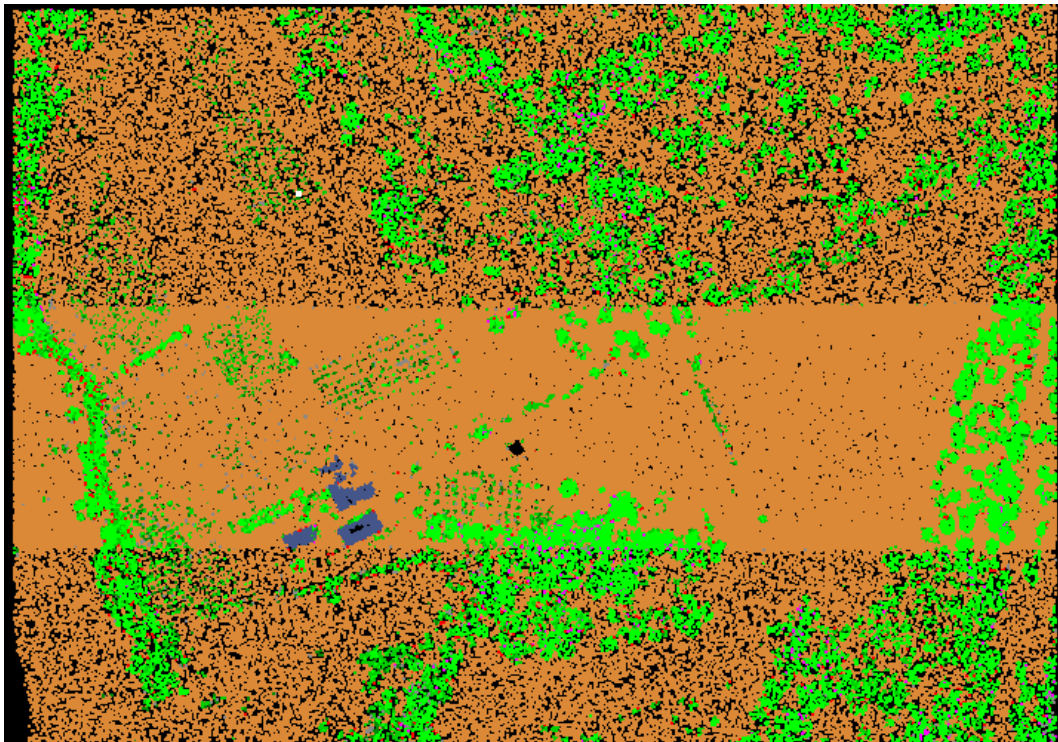
Ejemplo:



Como el terreno tiene irregularidades vamos a clasificar manualmente lo que es terreno, lo que es vegetación alta y lo que son edificios pues en este archivo hay muy pocos edificios, casi todo es vegetación alta.

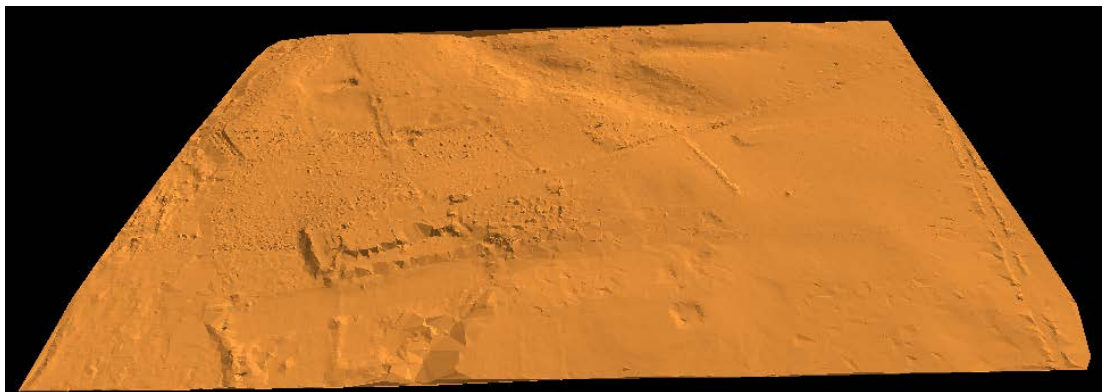
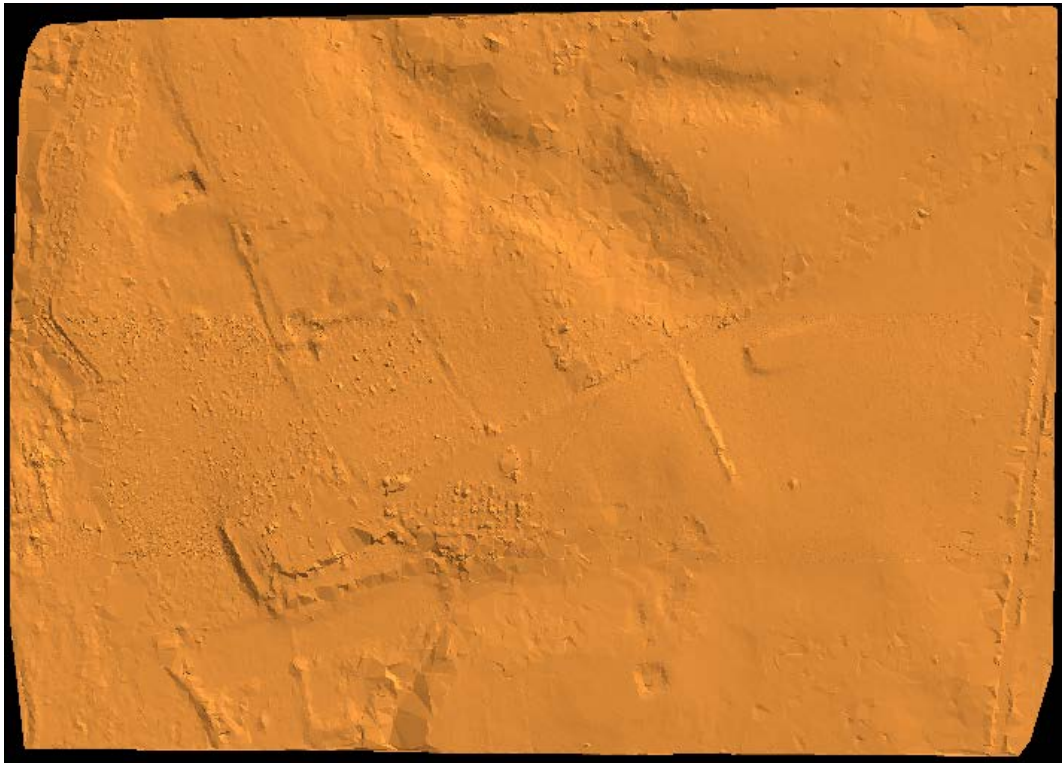


Una vez clasificado obtenemos:

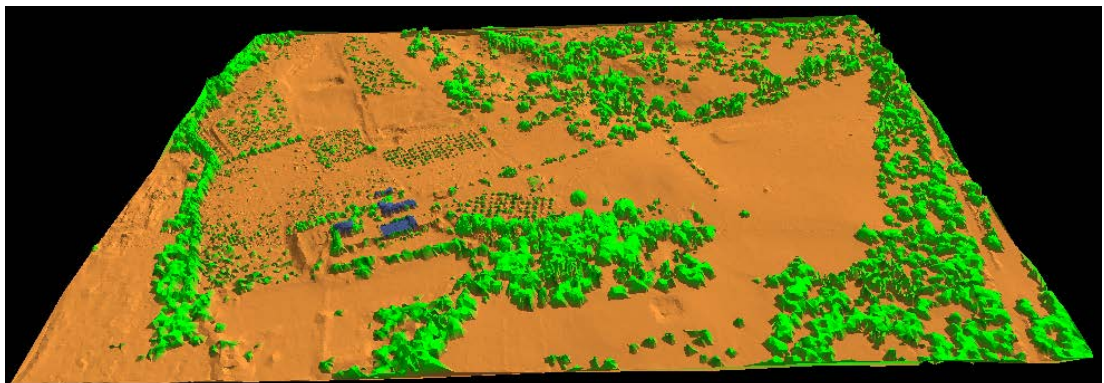


A continuación generamos los modelos:

- Activando solo el terreno:



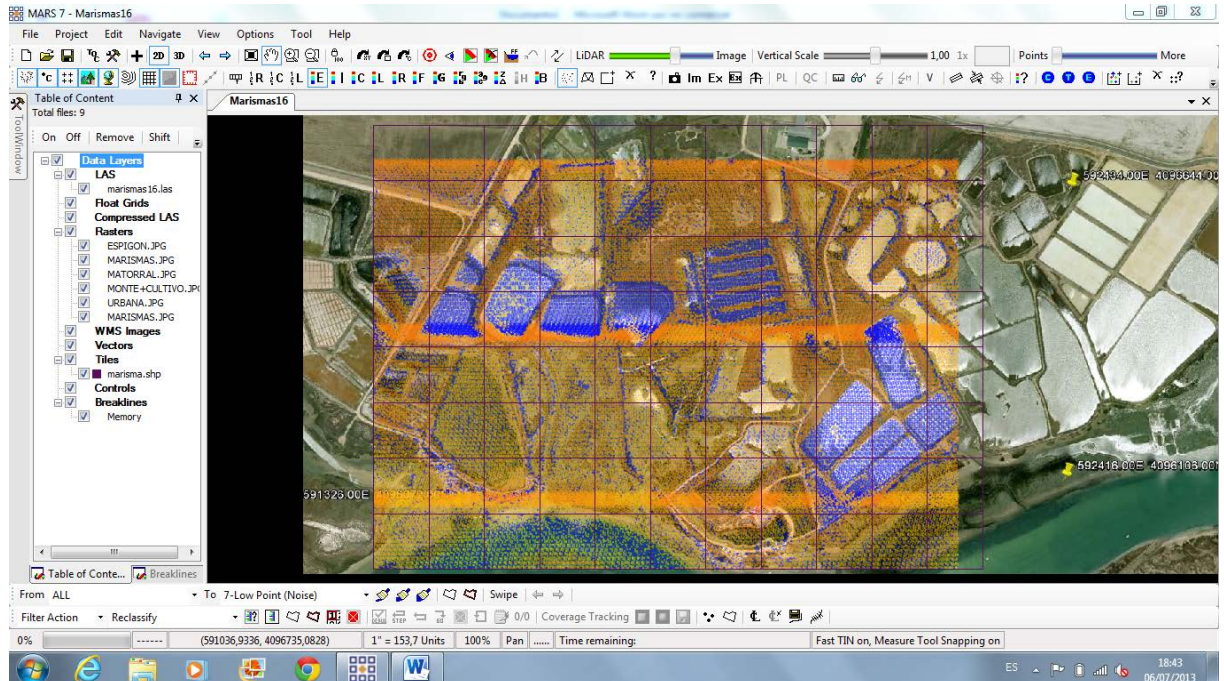
- Activando el terreno, la vegetación y los edificios:



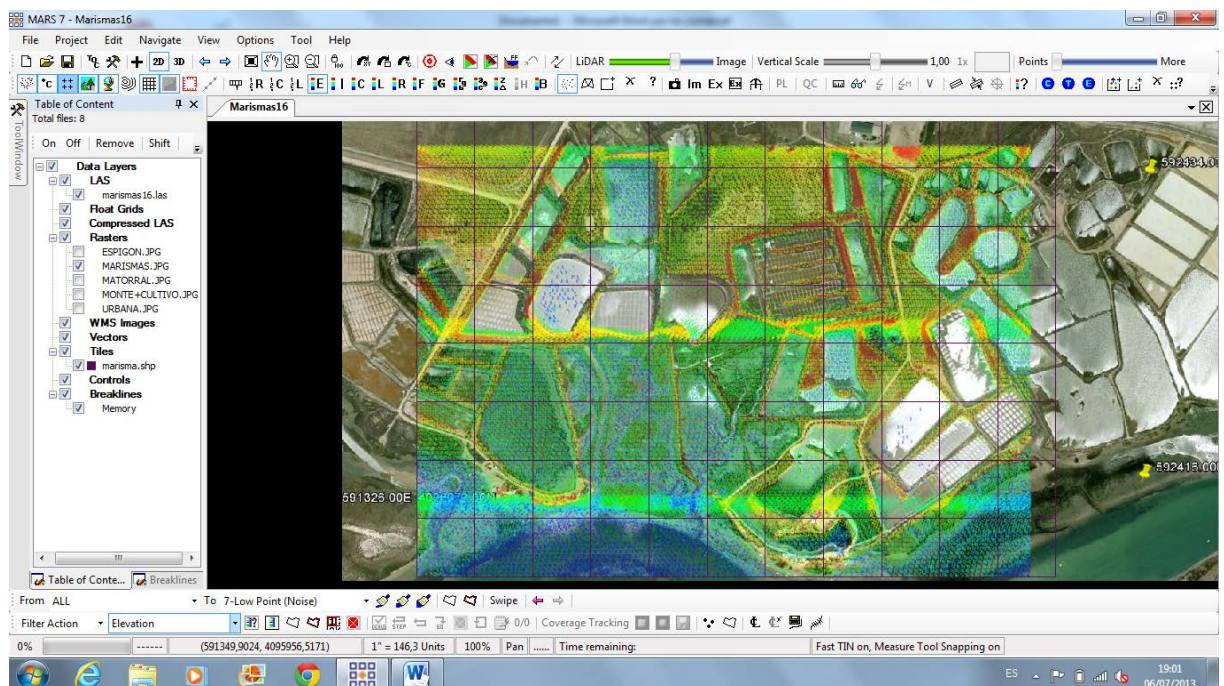
3.5.4.2 Edición ALB

MARISMAS

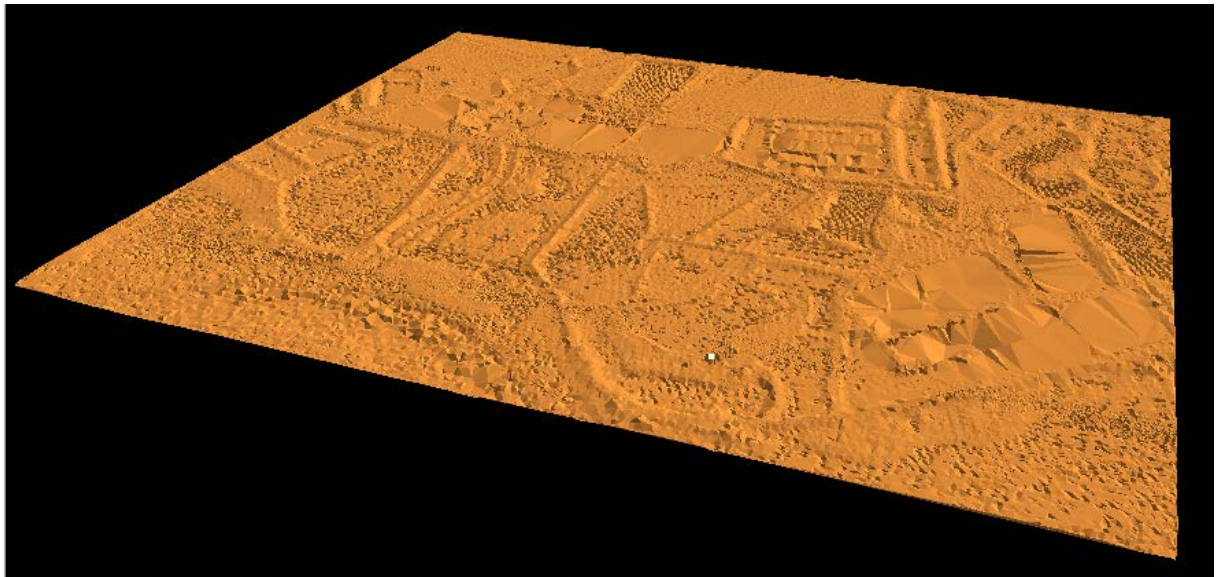
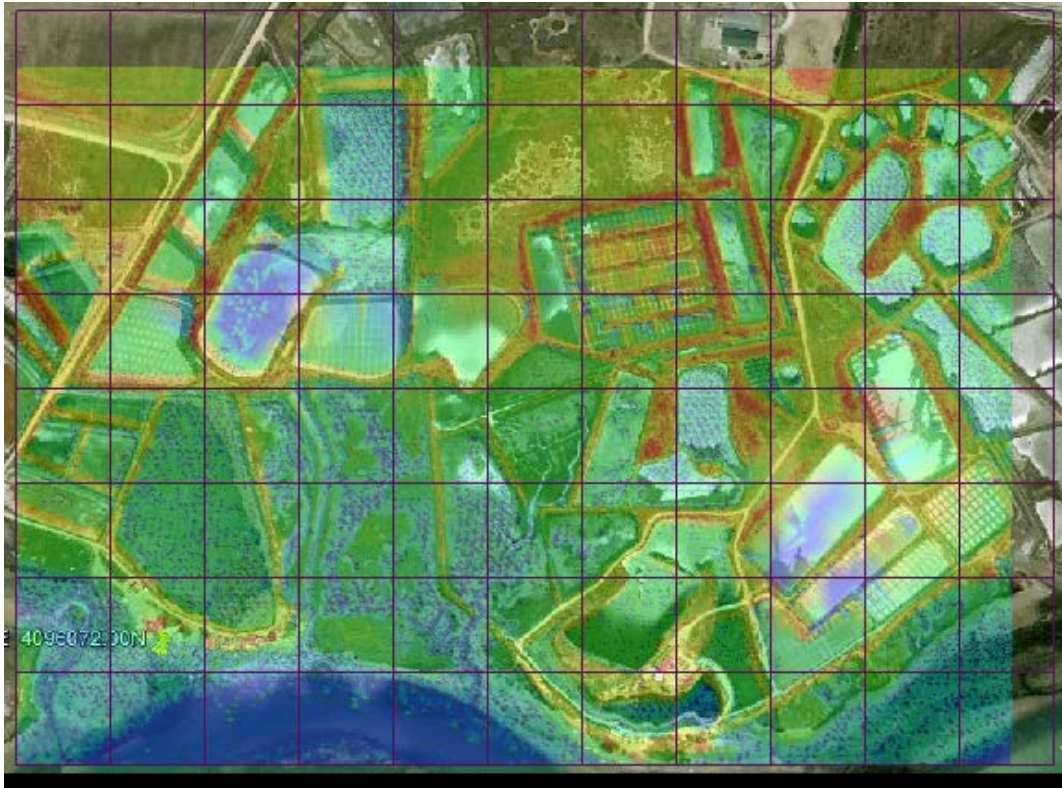
Cuando cargamos el fichero LAS comprobamos que hay unos punto en la cota “-7” que tenemos que eliminar. Para ello los vamos a clasificar como ruido, así no afectarán a nuestro trabajo y podemos acceder a ellos en futuros estudios.



Ahora tenemos la siguiente nube de puntos.

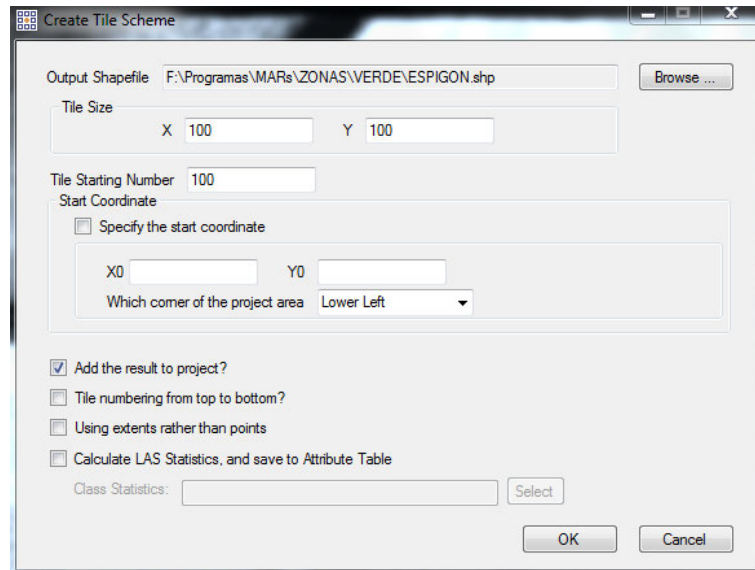


Como en esta zona no hay edificaciones ni vegetación alta, le pedimos al programa que haga la clasificación por “Model Keypoint”. Para esta clasificación, nuestro ordenador si tiene capacidad suficiente para realizarlo aunque para la zona urbana no podía.

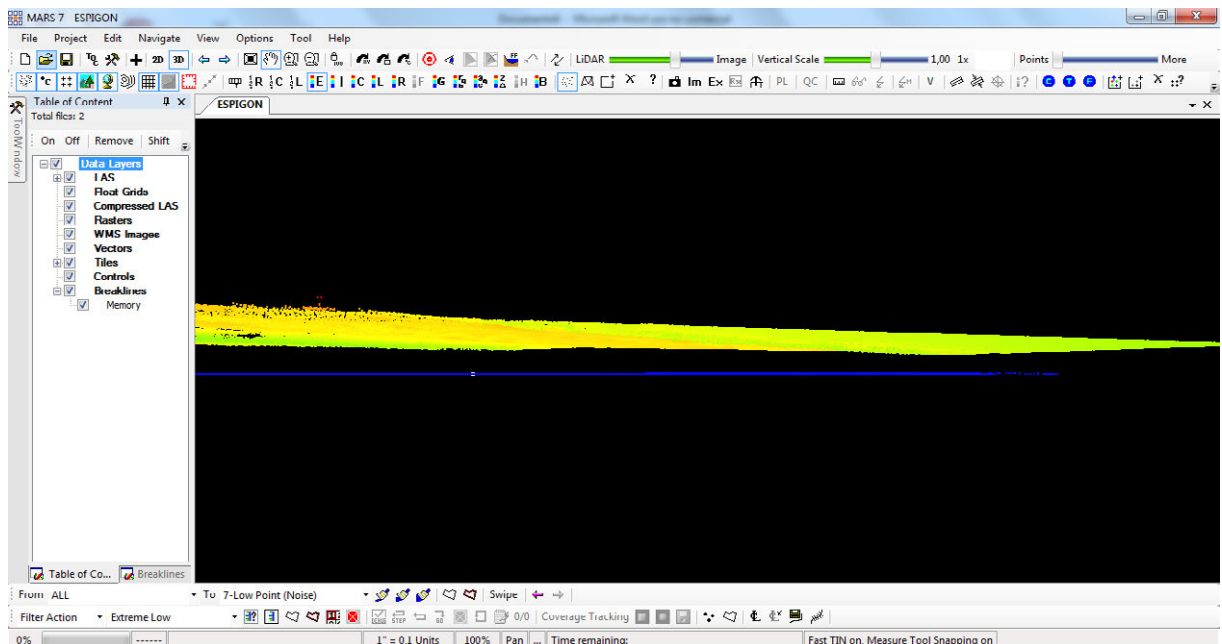


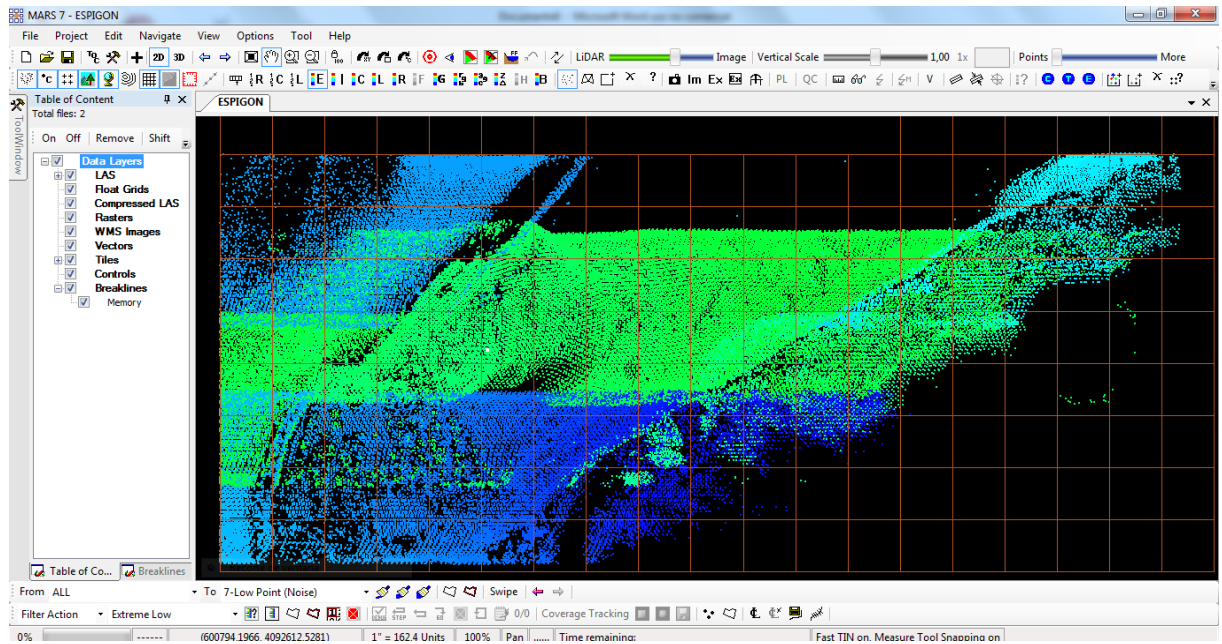
ESPIGÓN

Una vez que cargamos el fichero LAS de la zona del Espigón creamos la cuadrícula para facilitar el estudio.

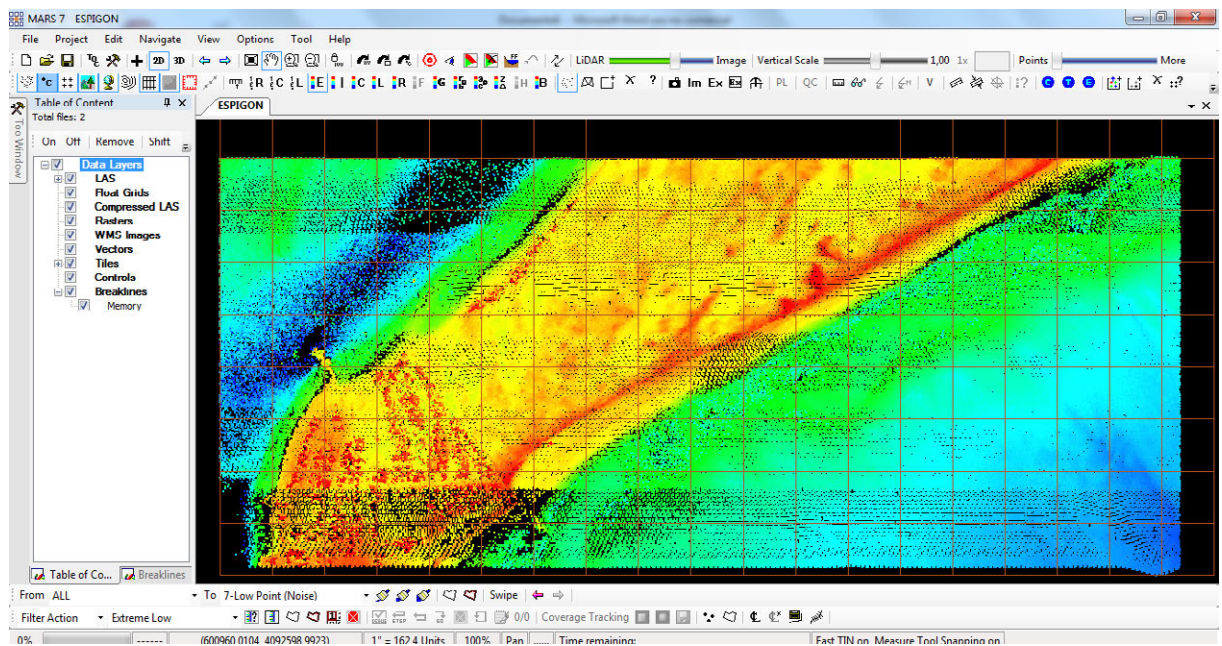


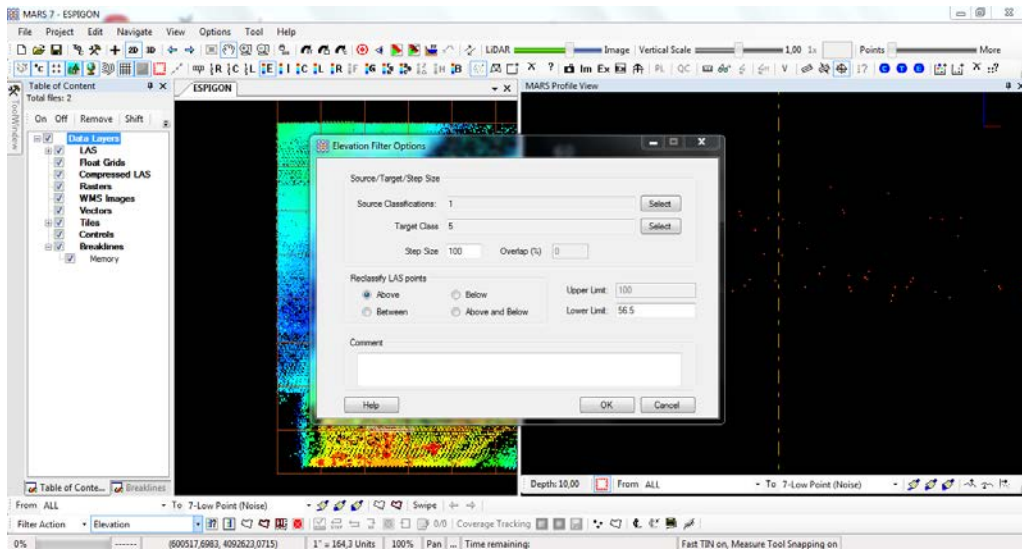
En el espigón al igual que en marisma hay unos puntos que tenemos que eliminar, por lo que se clasificará como ruido.



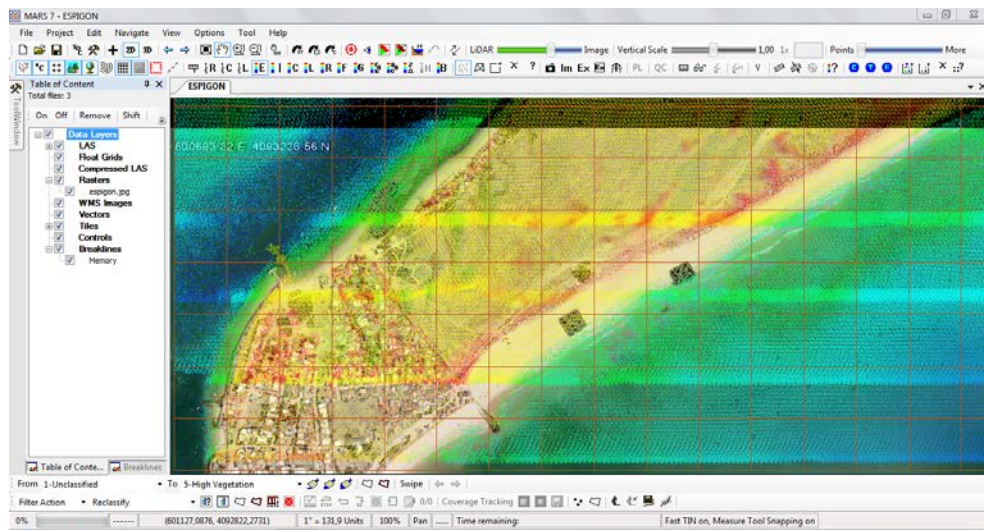


Seleccionando solo los puntos no clasificados

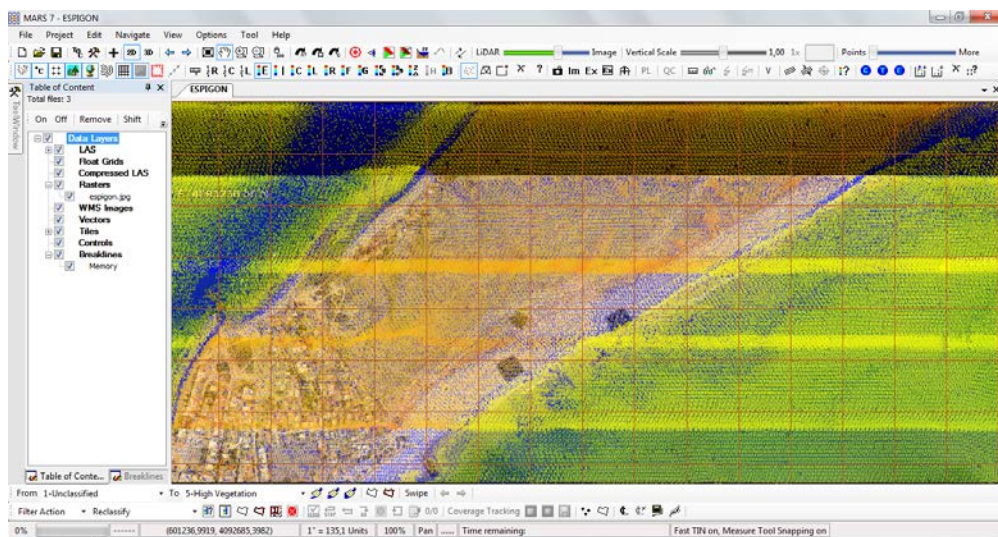




Cargamos la imagen geo-referenciada para poder comparar las distintas superficies



En la imagen solo tenemos activados los puntos sin clasificar. Si activamos todos vemos lo siguiente:



Vamos clasificar lo que es terreno y lo que en un principio llamamos vegetación alta.

Una vez que hemos clasificado los puntos por suelo, ruido y vegetación alta vamos a clasificar los edificios.

Building Filter Options

Source/Target/Step Size

Source Classifications: 1,2,3,4,5,7

Target Class: 6

Step Size: 100 Overlap (%): 30

Specific Options

Minimum area in detected building surface: 30

Minimum number of triangles in detected building surface: 10

Maximum slope variance amongst triangles in building surface (in degrees): 45

LiDAR GSD: 3

Delta Z allowed for post reclass process: 1

Minimum roof height above ground: 6

Options to Remove Isolated Points

Spherical Radius: 4,5

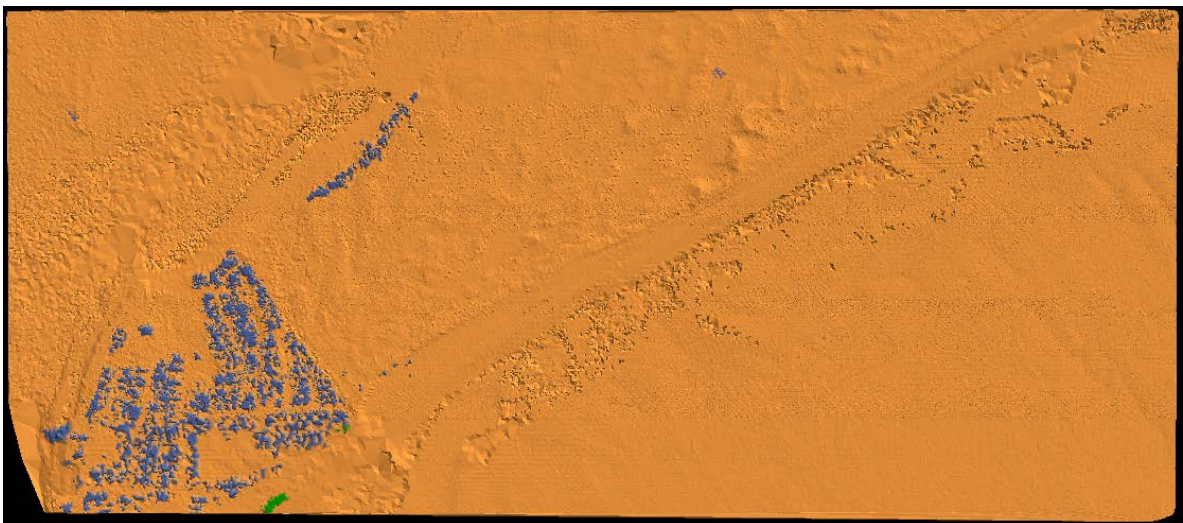
Fewer Than: 1 Other Points

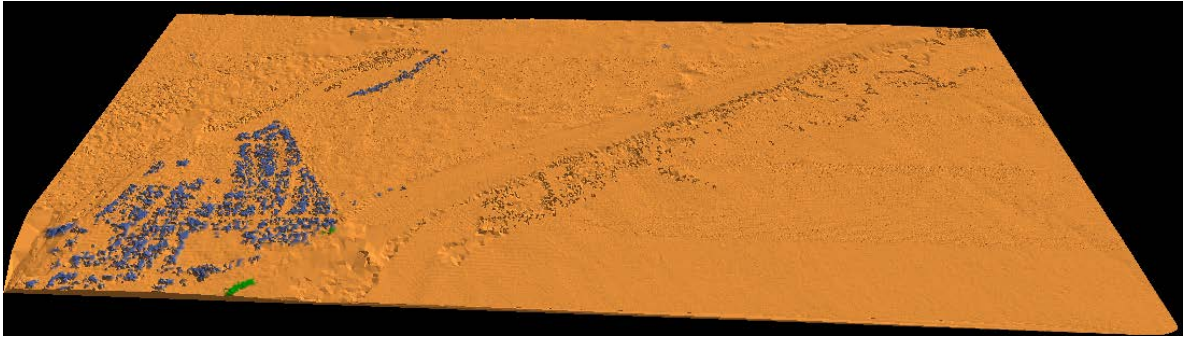
Ground Classifications: 2,8

Comment

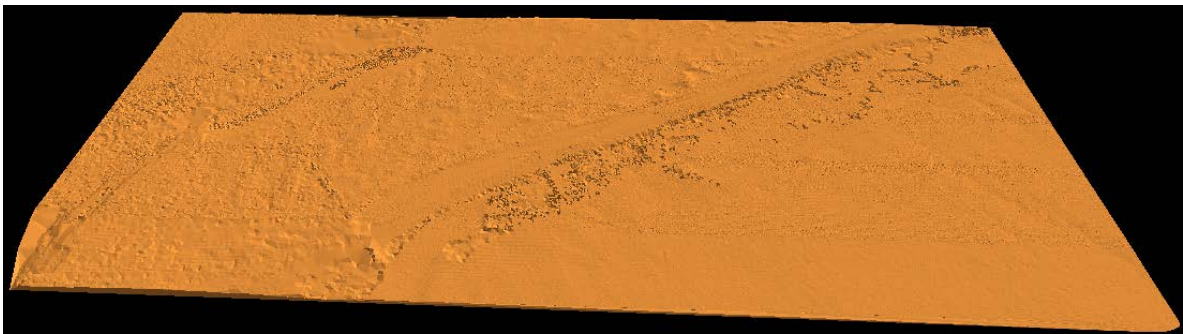
A continuación generamos los modelos:

- Activando el terreno, la edificación y la vegetación alta:





- Activando solo el terreno:



3.5.5 SCOP++

SCOP está diseñado para la interpolación, la gestión, la aplicación y la visualización de los datos digitales del terreno, con especial énfasis en la precisión. SCOP++ tiene como objetivo la alta calidad de la interpolación y de todos los productos derivados del modelo, y para el procesamiento de enormes cantidades de datos de DTM.

Se ha desarrollado y mejorado continuamente durante los últimos 30 años en la cooperación de INPHO GmbH, Stuttgart, y del Instituto de Fotogrametría y Teledetección (IPF), Viena.

El programa tiene integrado una interfaz gráfica central de usuario que incluye el panel principal de gráficos. Para los usuarios, un avance importante es la lógica integrada para gestionar las interacciones del usuario y para supervisar el proceso. Mediante un sistema de base de datos interna específica (TOPDB) integrado se realiza la gestión de datos e información.

Los cálculos se realizan en segundo plano por los servidores algorítmicos. Se trata en la mayoría de los casos de los módulos de SCOP V3.5. En la lista de las funciones antes mencionadas, las SCOP V3.5 módulos aún no integradas bajo SCOP se caracterizan por una nota al pie. Se trata, en primera línea de las perspectivas Scop.

Al integrar además funcionalmente SCOP V3.5 en SCOP, se dará preferencia a las funciones exigidas expresamente por los usuarios.

cm³ / CMF (que significa commandLine / commandfile) representan un paso más en la DRE - line DRE-X de los procesos de control. CML permite el control de la GUI (*Graphical User Interface*) de las entradas de línea de comandos - commandLine ser una ventana especial de una línea para que aparezca en la pantalla a petición del usuario. Comandos bajo LMC consisten en palabras idénticas con diferentes etiquetas en la pantalla (de los botones y otros elementos de interfaz gráfica de usuario) y de símbolos diferentes para controlar la acción. Comando archivos CMF contiene procedimientos escritos por el usuario que consisten en declaraciones CML, y los comandos CMF-específicos.

La funcionalidad de SCOP se subdivide en un núcleo, y en varios paquetes de funcionalidad ampliada: GVE, Analyzer, visualizador, LiDAR, TopDM.

1.1. SCOP núcleo:

- Entrada / Salida:
 - Datos: SCOP wIndicadores (ASCII o binario), *AutoCAD DXF*, XYZ (ASCII o binario), LAS, y ArcInfo Generate (conversión permitido).
 - Raster: SCOP PIX, GeoTIFF (incluyendo TIFF azulejos y TIFF / JPEG), JPEG.
 - Vector: SCOP ZWIFI, HPGL, DXF.
 - DTM (importar): SCOP RDH, ArcInfo ASCII Grid binario, TIFF, USGS DEM, USGS SDTS, SRTM.
 - DTM (exportación): SCOP RDH, ArcInfo ASCII Grid binario, VRML, *AutoCAD DXF*, SCOP wIndicadores (ASCII o binario), XYZ (ASCII o binario), STL, DTED, DGM-Band, XYZ-pendiente.
 - Combinado vector / raster: salida como PDF.
- DTM interpolación con o sin filtrado (utilizando predicción lineal).
- Superposición DTM (por ejemplo, elevaciones, calidad del suelo, la pendiente, diferentes épocas, y similares).
- Integrado de trama y gráficos vectoriales.
- La superposición transparente de tramas de gráficos (por ejemplo, la sombra de una colina sobre un mapa digital).
- Edición de datos soportados por los gráficos integrados, con actualizaciones automáticas del DTM.
- Derivación de líneas de contorno (isolíneas) con calidad cartográfica.
- Perfilado Basic.
- Z-codificación (visita de alturas con código de color).
- Hill-shading (Sombreado)
- Z-interpolación (por ejemplo, para datos 2D suministrados).
- Procesamiento básico de imágenes.

1.2. SCOP GVE:

- GVE (Graphics Visor Editor).

1.3. Analizador SCOP:

- Perfilado, incluido el cruzado, de seccionamiento.
- DTM Álgebra (incluyendo la derivación de modelos de la diferencia).
- Clasificación DTM (por ejemplo, de un modelo de diferencias, lo que produce el volumen de cálculo).
- Derivación de la pendiente del terreno y la exposición.

1.4. Visualizador SCOP:

- Las vistas en perspectiva, vistas panorámicas; Siluetas.
- Anotación de nombres geográficos.
- Modelos de visibilidad y maps1.
- Procesamiento de imagen ampliada.
- Mapa de los vectores de la pendiente.
- Skyplots: horizonte para un punto específico en o sobre la terrain1.
- Mono-trazado (adquisición de datos a partir de imágenes individuales por medio de un DTM) 1.

1.5. LiDAR SCOP:

- Filtrado robusta para interpolación DTM.
- Detección de errores en los datos de entrada a través de DTM interpolado por los métodos en movimiento plano inclinado, media o en movimiento.
- Filtrados afines.
- Los métodos específicos para el procesamiento de los datos de escaneo láser.

1.6. SCOP TopDM:

SCOP ++ coopera estrechamente con el Sistema de Gestión de Datos Topográficos, TopDM, que es un sistema de base de datos de gestión diseñado para almacenar, gestionar y archivar la información en todo el país de elevación digital: modelos de terreno, datos primarios, así como información adicional. Este paquete permite la plena funcionalidad de base de datos.

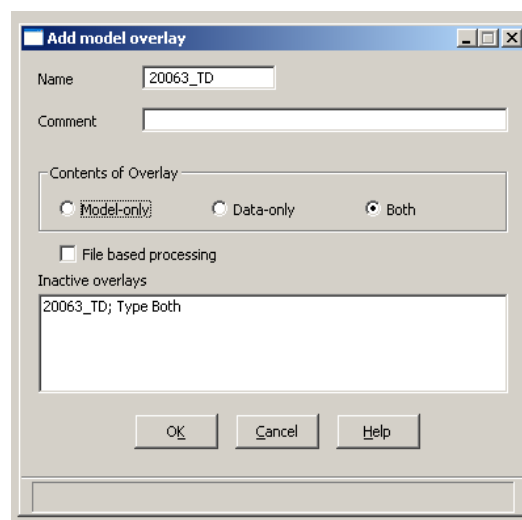
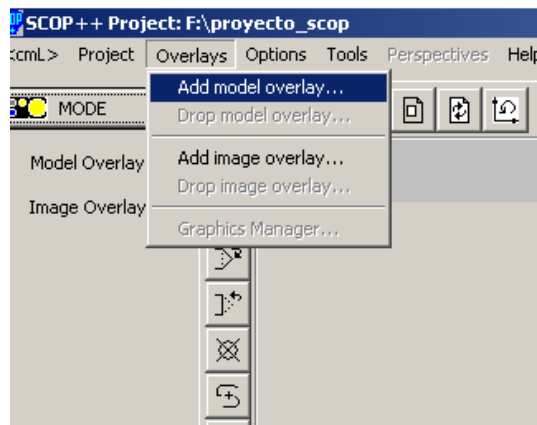
3.5.5.1 Edición ALS

En los casos anteriores de las demás aplicaciones hemos contado con versiones DEMO y en casos excepcionales como *TerraScan* y *MDTopX* hemos trabajado con licencias actualizadas. En el caso de *Scop*, no existe ninguna versión DEMO y gracias a la colaboración

del Instituto Geográfico Nacional (IGN), el cual nos permitió utilizar la aplicación en sus instalaciones, pudimos realizar partes de la edición con nuestros datos LiDAR. La versión que pudimos manejar no es la más actualizada, realizamos edición de pasadas completas del vuelo en vez de las zonas elegidas ya que en esa fase del proyecto, aún temprana, no se había decidido las zonas a editar. A continuación vamos a reflejar la información que pudimos extraer de esta aplicación.

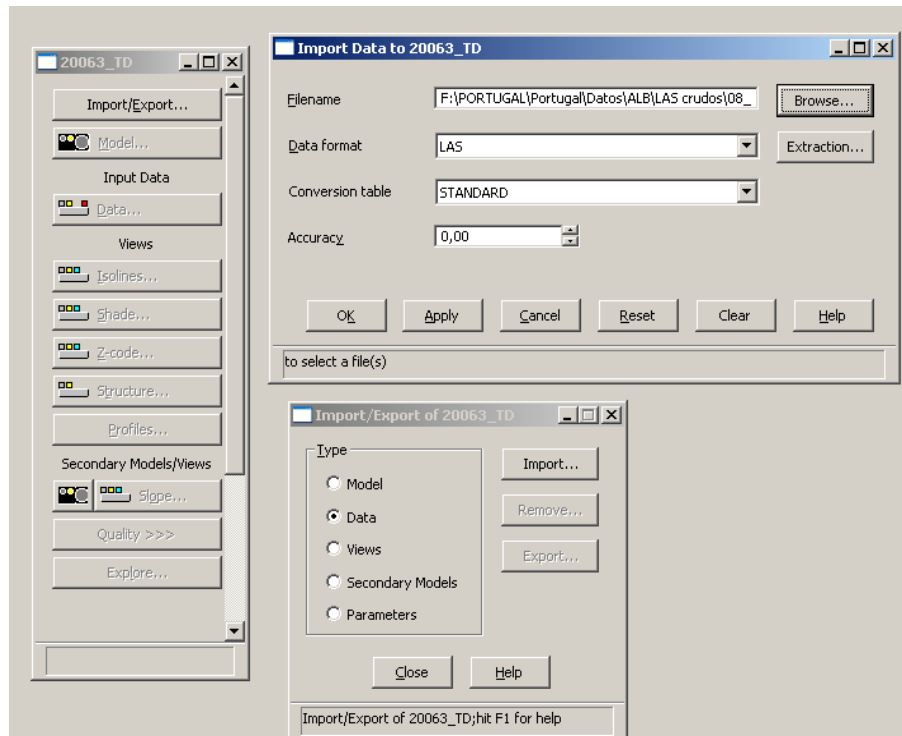
Los datos del sensor ALB no fueron editados, debido a que la aplicación no traducía de forma correcta los ficheros (creemos que en la actual versión esto se habrá solucionado) de tal forma que solo trabajamos con los datos obtenidos con el sensor ALS.

Scop++ trabaja mediante creaciones de proyectos y sobre este proyecto volcamos los archivos .LAS con los que vamos a trabajar, los trata como capas o “*layers*”, de tal forma que la forma de abrir un fichero es adherir una capa o “*layer*” de la siguiente forma:



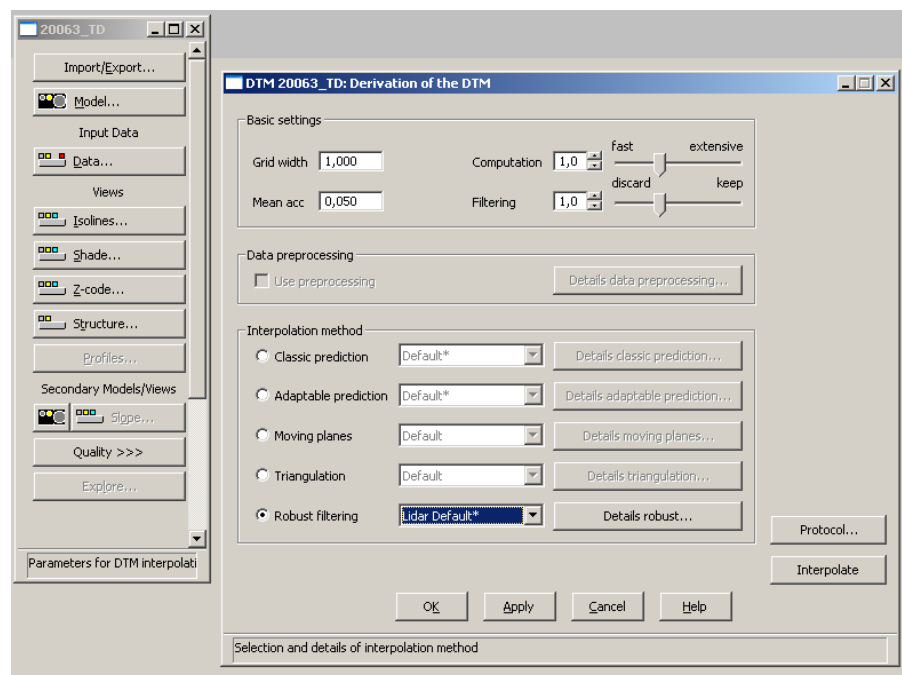
El archivo con el que vamos a trabajar es el 20063_TD que corresponde a una pasada del sensor ALS.

Una vez creada la capa en la que vamos a trabajar pasamos a importar los datos a la misma, con el siguiente cuadro de dialogo:



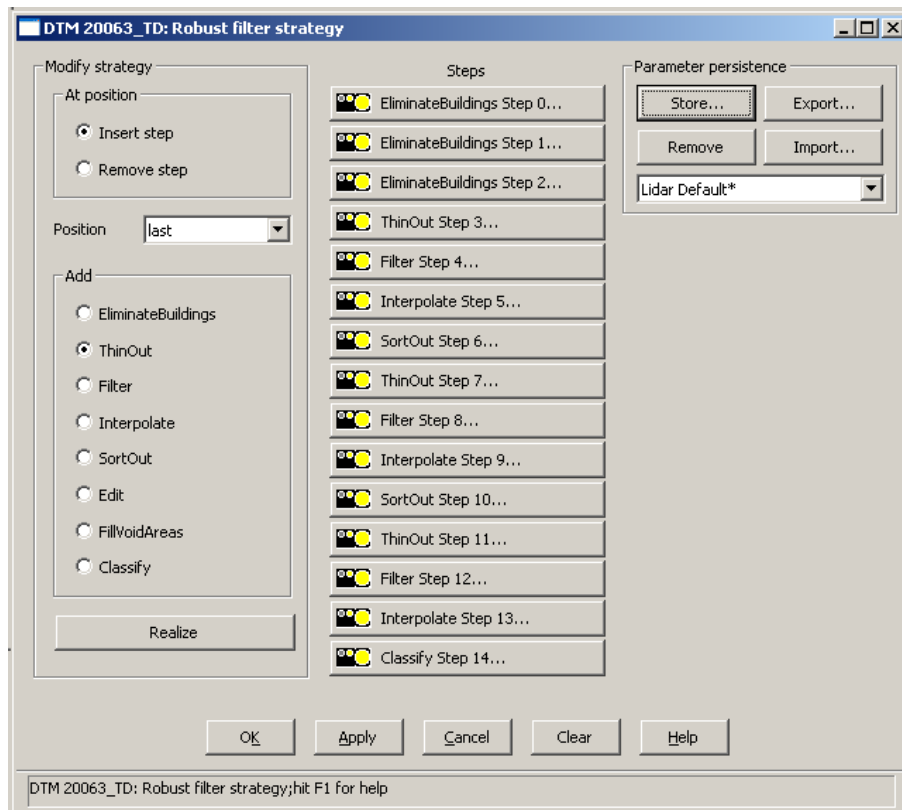
Como se puede observar en la imagen, tenemos que especificar la ruta donde están los datos a importar, que formato tienen los datos, tipo de tabla (si la hubiera) y la precisión con la que vamos a trabajar (cm, mm, etc.).

Una vez abierto el archivo pasamos a crear el MDT, para el cual tenemos que realizar previamente un filtrado y clasificación de puntos:



Como se puede ver la primera parte del cuadro son los parámetros a introducir para realizar el MDT y en la parte inferior tenemos los diferentes procesos a realizar, dependiendo estos del tipo de fichero a tratar, en esta ocasión como trabajamos con un fichero .LAS lo que

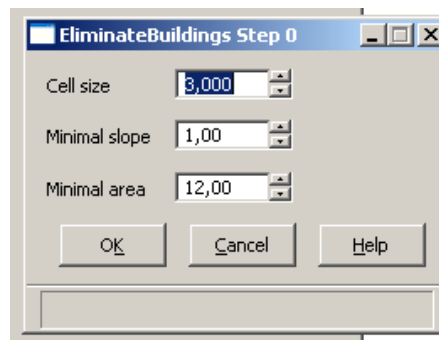
tenemos que hacer es realizar un filtrado del mismo, para ello pulsamos en el botón *Details robust* y se abre la siguiente ventana:



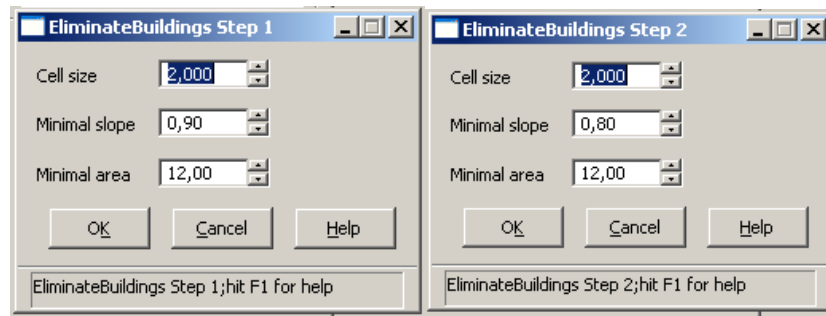
Una vez aquí pasamos a explicar cada uno de los pasos a dar para el filtrado/clasificación con SCOP++.

Las tres primeras casillas se utilizan para eliminar posibles edificaciones, para ello utilizan la siguiente clasificación:

Teniendo en cuenta relaciones entre el tamaño de celda, la pendiente que formen una nube de puntos que formen una superficie de 12 metros

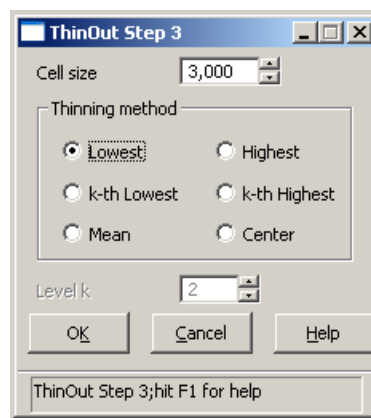


En los tres pasos lo que hacemos es disminuir la pendiente y el tamaño de celda, el área no se modifica:



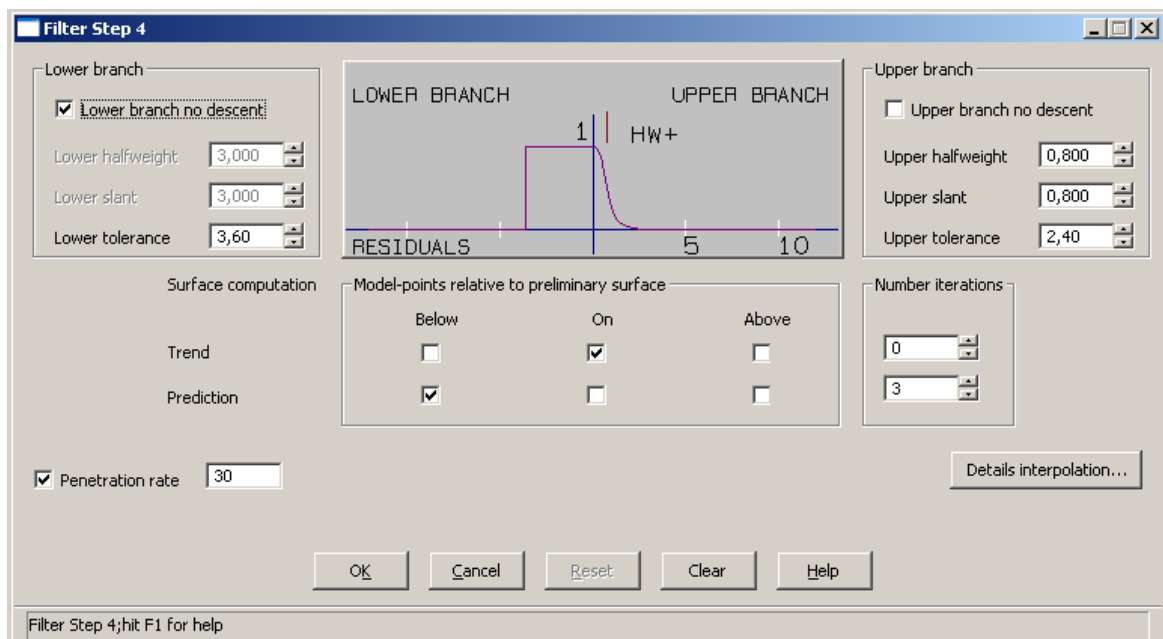
Posteriormente, se aplican de forma iterativa y hasta 3 veces los procesos: *Thin Out*, *Filter*, *Interpolate* y *Sort Out*. Estos cuatro procesos se pueden ver en las siguientes imágenes:

- Primero: ThinOut.



En este cuadro de dialogo clasificamos el tamaño de celda y para realizar el primer modelo le indicamos que valor queremos que coja como muestra, el más bajo, el más alto, el medio...El tamaño de celda va a ir vinculado con la densidad de puntos que tengamos.

- Segundo: *Filter Step*.



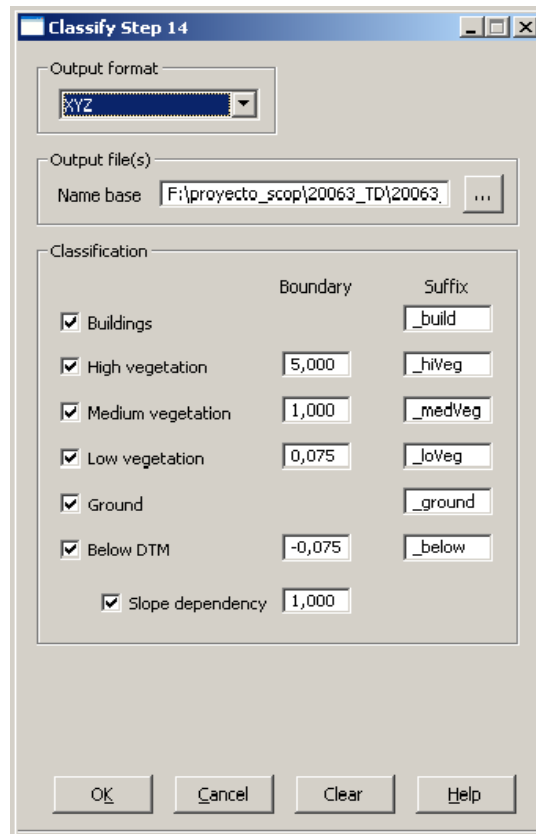
- Tercero: *Interpolate*.

Mean filter values	Bulkdata	Spotheights	Formlines	Breaklines
<input type="checkbox"/> Use straight line if higher than	0,40	0,01	0,03	0,02
	2,00	0,05	0,15	0,10

- Cuarto: *SortOut*.

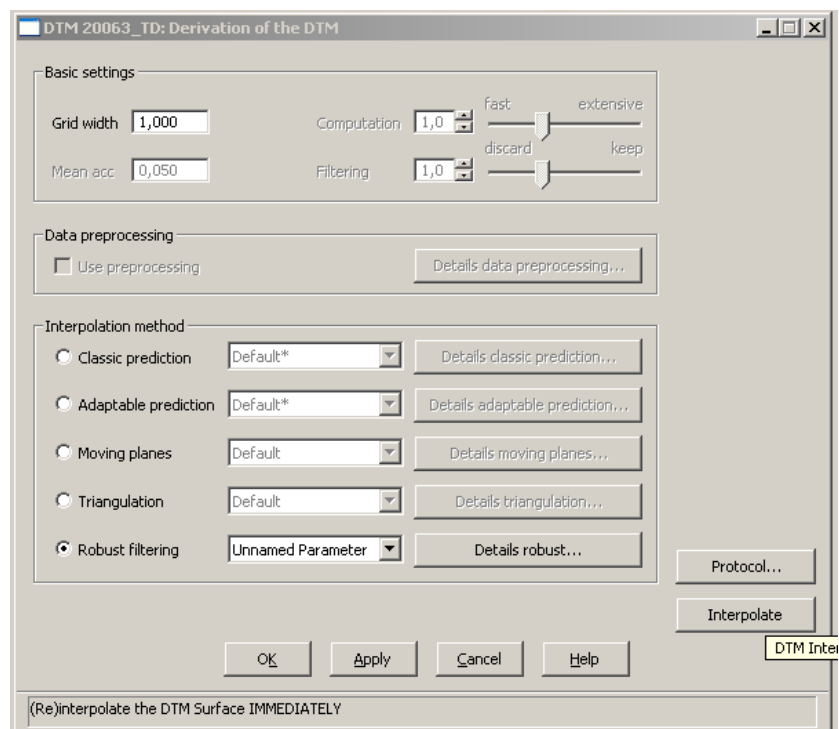
Boundary definition	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Upper distance	2,400
<input checked="" type="checkbox"/> Lower distance	3,600
<input checked="" type="checkbox"/> Slope dependency	2,00

Estos cuatro pasos los vamos a reiterar modificando criterios según terreno o datos a disposición. Finalmente se añade un proceso “*Classify*” para realizar la exportación del fichero LAS clasificado:



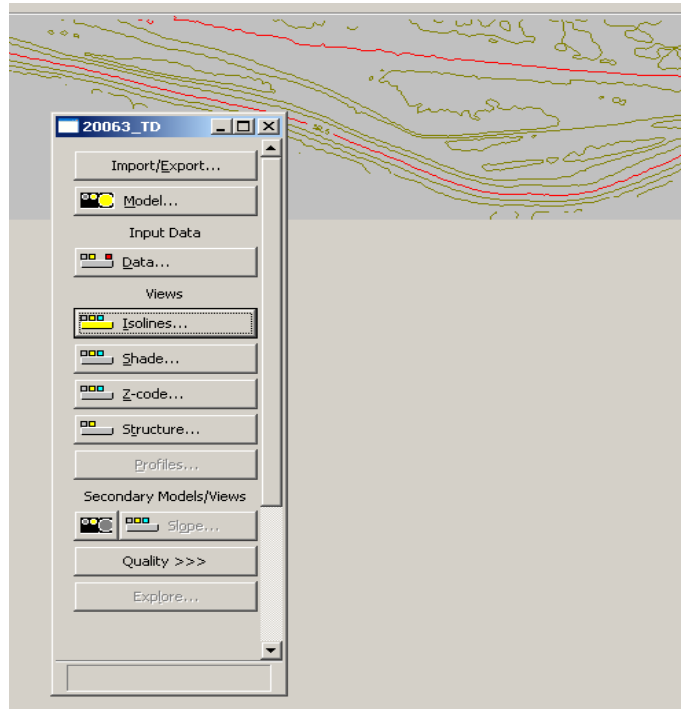
Aquí podemos elegir el formato de salida de los puntos obtenidos a través del suavizado del modelo y clasificar los puntos en función a la diferencia de altura respecto al DTM, sólo se tienen en cuenta criterios geométricos.

Una vez hemos definido todos los pasos precedemos a la interpolación y creación del MDT:

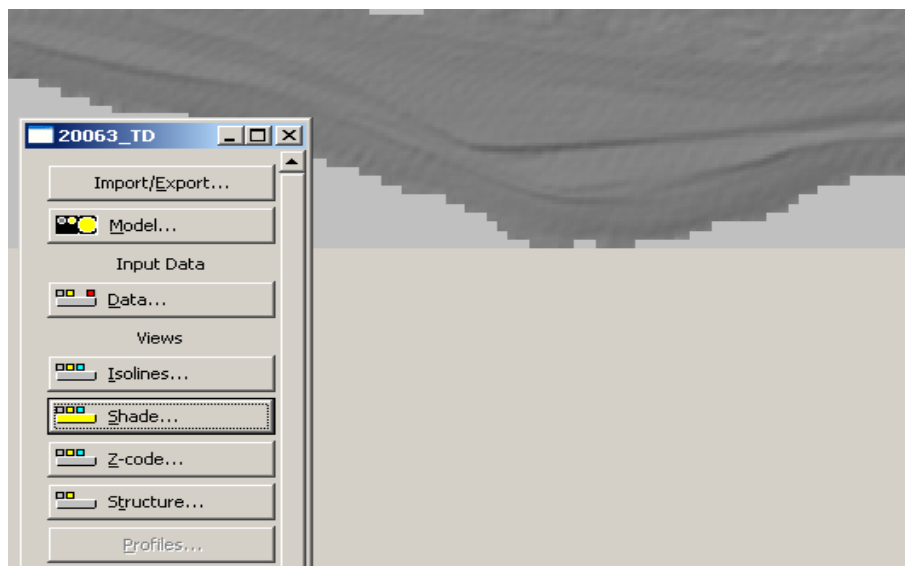


Una vez realizado el modelo y clasificados los puntos, podemos visualizarlos según varios criterios:

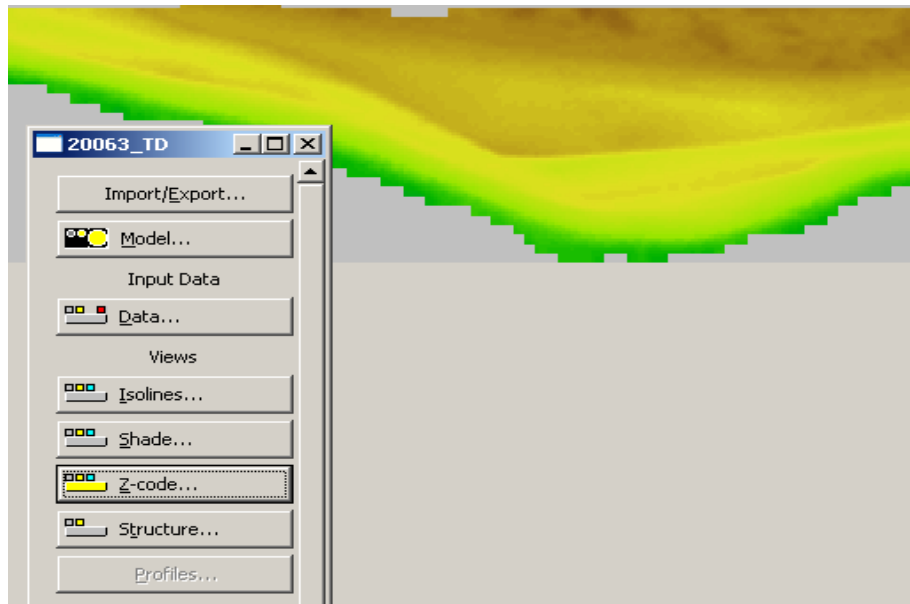
- Según las curvas de nivel:



- Sombreado:



- Diferencia de altitudes:



4 CONCLUSIONES

Tras el análisis realizado y expuesto en las páginas anteriores, se han extraído las siguientes conclusiones:

FUSION: Esta aplicación fue desarrollada para el estudio de datos obtenidos por sistemas LiDAR, que sin embargo no puede ser usada para clasificación de los mismos. Pero tras su análisis se concluye que es la aplicación con la cual podemos extraer mayor cantidad de información y posteriormente utilizar la misma de manera flexible al objeto de conseguir el propósito del estudio para el que esté destinada esa información, destacando sobre todo la facilidad para aplicarla a cualquier sistema GIS. Como conclusión es aconsejable el uso de la aplicación *FUSION* para preparar los datos y su posterior utilización en sistemas GIS.

MDTOP: Programa ideado para la realización de modelos de elevación con datos obtenidos a través de métodos topográficos. Evoluciones posteriores donde se han aplicado los avances tecnológicos habidos ha permitido que en la actualidad sea capaz de operar con datos obtenidos mediante tecnología LiDAR. Destaca su naturaleza intuitiva lo que permite facilidad de manejo. Las herramientas que posee permiten poder seleccionar gran cantidad de información. Es reseñable la opción de realizar los procesos de clasificación independientemente entre ellos, pudiendo salvar los resultados obtenidos individualmente. Se podría pensar que es la aplicación idónea para la docencia, sin dejar de lado su utilidad como obtención de modelos digitales de elevación. Debe reseñarse que en el tiempo que se ha realizado el proyecto, *MDTopX* ha introducido novedades en la automatización de los procesos de clasificación, actualizaciones que no están reflejadas en este trabajo por motivos obvios.

TERRASCAN: El módulo de *TerraScan* fue desarrollado exclusivamente para el manejo de datos LiDAR. Es un módulo que trabaja bajo *Microstation V8i* dispone de la capacidad de poder realizar todo tipo de clasificación para el tratamiento de los datos obtenidos con LiDAR. De sus características se deduce que es una aplicación idónea para trabajos de producción masiva. Sin embargo como puntos débiles destaca el inconveniente de que por sí mismo no puede realizar modelos de elevación ni trabajar con imágenes, ya que necesita los módulos *TerraModel* y *TerraPhoto*. Tiene un coste elevado, es por ello que aconsejamos este tipo de aplicación para grandes proyectos que necesiten manejar una gran cantidad de datos y que puedan costearse las licencias manteniendo beneficios en el producto. Otro dato en contra es que el personal que maneje dicha aplicación tiene que estar especializado en el uso de datos LiDAR a lo que se suma el manejo de la aplicación *Microstation* que por sí mismo es compleja.

MARS: Del estudio realizado en este proyecto se deduce que *MARS* es una aplicación exclusiva para el tratamiento de datos LiDAR, que a diferencia de *TerraScan* sí podemos realizar modelos de elevación y trabajar con imágenes para la clasificación dentro de la misma licencia. Es una aplicación enfocada a la producción de gran cantidad de datos, pero los automatismos a la hora de clasificar no están tan adaptados como los de *TerraScan* y conlleva más tiempo en la edición. Es por ello que aunque la licencia sea más económica como el tiempo de producción se alarga los costes son similares. El personal que utilice esta aplicación tiene que estar familiarizado con la metodología de clasificación, ya que *MARS* es una aplicación poco intuitiva.



SCOP++: La aplicación *Scop++* es una aplicación que está dirigida únicamente para la obtención de modelos de elevación. La clasificación que realiza de los datos LiDAR es muy rígida ya que está dirigida para un modelo de elevación correcto, no podemos sacar más información. Recomendamos esta aplicación para proyectos en los que el fin último sólo sea modelos de elevación sin tener que extraer más información de los datos LiDAR.



ANEJO



BIBLIOGRAFÍA

- Arranz, J. J., 2013. *Diseño, optimización y análisis de sistemas basados en técnicas láser, para el modelado geométrico, registro y documentación, aplicados a entidades de interés patrimonial*. Tesis Doctoral. Madrid (España), ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía (UPM).
- Baltsavias, E. P., 1999. *Airborne laser scanning: basic relations and formulas*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Díez, A., 2013. *Evaluación de la calidad de los datos registrados por un láser batimétrico aerotransportado en la Costa de Portugal*. Madrid (España).
- Fugro, 2013. *Fugro World Wide*. www.fugro.com.
- FUSION, 2013. *Providing fast, efficient, and flexible access to LIDAR, IFSAR and terrain datasets*. <http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/fusionlatest.html>.
- Garrido Sáenz, J., 2011 *Diseño de un plan de control de calidad para los sistemas LiDAR batimétrico aerotransportados. Aplicación en el municipio de Aveiro, Portugal*. Madrid (España), Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid.
- Gtb ibérica, 2013. *SCOP++ LiDAR. Metodología de filtrado*. www.gtbi.net.
- Guenther, G.C., 1985. *Airborne Laser Hydrography*. Charting and Geodetic Services y National Ocean Service.
- Guenther, G.C., 2006. *Airborne lidar bathymetry*.
- Guenther, G.C.; Brooks, M.; LaRocque, P.; 1998. *New Capabilities of the SHOALS Airborne Lidar Bathymeter*. Remote Sensing of Environment.
- Guenther, G.C.; Cunningham, A.G.; LaRocque, P.; Reid, D.J.; 2000. *Meeting the accuracy challenge in airborne lidar bathymetry*. NOAA y Optech Incorporated.
- Leica, 2013. *Leica Geosystems*. www.leica-geosystems.es.
- MARS, 2012. *MARS 7.0 Help Manual. Version 7.5.7*, EE.UU.: Merrick & Company.
- McGaughey, R. J., 2013. *FUSION/LDV: Software for LiDAR Data Analysis and Visualization*. FUSION Version 3.30, United States Department of Agriculture, EE.UU.
- MDTopX, 2013. *digi*. <http://www.digi21.net/mdtop/>.
- Merrick, 2013. *Merrick & company*. www.merrick.com.
- Optech, 2013. *Manufacturer of World-class LiDAR solutions*. www.optech.ca.
- Riegl, 2013. *Riegl Laser measurement systems*. www.riegl.com.



SCOP++, 2010. *SCOP++ Manual. Version 5.4.5 and higher*. IPF, TU Vienna and INPHO GmbH.

TerraScan, 2005. *TerraScan User's Guide*. Arttu Soininen. Terrasolid.

Terrasolid, 2013. *Software for LiDAR Processing*. www.terrasolid.com.

Walker Morin, K., 2002. *Calibration of Airborne Laser Scanners*, Calgary (Canadá): University of Calgary.

Wehr, A. & Lohr, U., 1999. Airborne laser scanning - an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.