

---

# EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

---

Trabajo final de grado en Ingeniería en Geomática y Topografía



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

2 DE MAYO DE 2017

RAÚL MARTÍ SANFELIU

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

## Tabla de contenido

1	Introducción y objetivos.....	5
1.1	Localización del área de estudio .....	5
1.1.1	Mapa de situación y localización de la zona de estudio .....	6
1.2	Síntesis del proceso.....	7
1.3	Objetivos planteados .....	7
1.4	Introducción al programa CompuTree.....	8
2	Toma de los datos .....	10
2.1	Toma de datos durante el trabajo de campo.....	12
2.1.1	Programación y realización de los escaneos .....	12
2.2	Toma de datos durante el trabajo de gabinete .....	14
2.2.1	Pre-proceso de los datos .....	14
3	CompuTree.....	18
3.1	Aspectos asociados a los árboles .....	20
3.1.1	Traslación .....	22
3.1.2	Segmentación.....	23
3.1.3	Pre-Proceso .....	28
3.1.4	Modelización QSM .....	30
3.1.5	Cálculo de DBH.....	39
3.2	Resultado de la operación del volumen de madera de cada árbol.....	41
3.3	Aspectos asociados a los matorrales.....	49
4	Conclusiones.....	51
5	Bibliografía .....	52
6	Anexos.....	53
6.1	Evaluación de los comandos que posee Computree .....	53
6.1.1	Ventanas y entorno del programa .....	54
6.1.2	Comandos de las operaciones en Steps.....	56

# Resumen

La correcta gestión de los importantes espacios forestales de la Comunitat Valènciana requiere de un amplio y pleno conocimiento de su realidad. Pero la captura de esa información no es una tarea sencilla ni rápida. Los inventarios forestales pretenden mediante medidas manuales un tanto imprecisas la determinación de variables tanto arbóreas como arbustivas. Algunas de esas variables, como alturas dominantes, diámetros medios de tronco, área basimétrica, altura de inicio de copa, contenido de combustible y biomasa, se determinan mediante ecuaciones alométricas en las que intervienen algunas medidas manuales puntuales. La creciente versatilidad de los equipos láser escáner terrestre está permitiendo su uso en aplicaciones hasta ahora poco exploradas, como son las forestales. La inmensa cantidad de datos que aportan estos dispositivos permite tener unas estimaciones de las variables forestales mucho más precisas que con los métodos clásicos. Este TFG pretende explorar las vías de caracterización geométrica forestal a partir de nubes de puntos tomadas con láser escáner en parcelas circulares de 30 metros de diámetro. Se usará software libre como Computree y Cloudcompare para no estar limitados por la disponibilidad de licencias comerciales.

# Abstract

The correct management of the important forest areas of the Comunitat València requires a wide and full knowledge of their reality. But capturing that information is not a simple or quick task. Forest inventories seek by means of somewhat imprecise manual measures the determination of both arboreal and shrub variables. Some of these variables, such as dominant heights, mean trunk diameters, basal area, crown height, fuel content and biomass, are determined by allometric equations in which some manual point measures are involved. The growing versatility of laser scanner equipment is allowing its use in applications so far little explored, such as forestry. The immense amount of data provided by these devices allows us to have much more precise estimates of forest variables than with classical methods. This paper intends to explore the pathways of geometric forest characterization from clouds of points taken with laser scanner in circular plots of 30 meters in diameter. Free software such as Computree and Cloudcompare will be used in order not to be limited by the dipsi - ability of commercial licenses.



# Resum

La correcta gestió dels importants espais forestals de la Comunitat Valenciana requereix d'un ampli i ple coneixement de la seua realitat. Però la captura d'aquesta informació no es una tarea fàcil ni ràpida. Els investaris forestals pretenen obtindre per mig de mesures manuals, un tant imprecises, l'adquisició de variables associades tant als arbres com als arbustos. Algunes d'aquestes variables son les altures dominants, el diàmetre mig dels troncs, l'àrea basimètrica, l'altura de l'inici de les copes dels arbres, el contingut de combustible i la biomassa, les quals son determinades per mig d'equacions alomètriques en les que intervenen algunes mesures manuals puntuals. La creixent versatilitat dels equips làser escàner en el terreny esta permetint el seu ús en aplicacions fins ara inexplorades, com son les forestals. La inmensa quantitat de dades que ofereix aquestos dispositius permeteix tindre unes estimacions de les variables forestal molt mes precisos que la metodologia clàssica. Aquest treball de fi de grau preten explorar les vies de propietats geomètriques forestals a partir de nuvols de punts obteses amb làser escàner dins de parcelles circulars de 30 metres de diàmetre. S'usarà software lliure com CompuTree, CloudCompare i MatLAB per no estar limitat per la disponibilitat de la llicència

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

## 1 Introducción y objetivos

En el siguiente documento vamos a trabajar con un programa de acceso libre CompuTree para el estudio y trabajo con nubes de puntos tomadas por tecnologías de láser escáner terrestre (TLS) aplicado a zonas forestales. Además del programa mencionado, emplearemos otros dos programas que se han tratado a lo largo de los cursos de grado en Ingeniería en Geomática y Topografía. Estos son MatLab y CloudCompare, el primero lo emplearemos como programa de apoyo, dado que como veremos más adelante será necesario. El segundo lo emplearemos para poder visualizar y poder comparar las nubes de puntos tratadas en el estudio. La zona de trabajo se ha realizado en la zona boscosa de la sierra de Espadán.

El objetivo de este proyecto es probar y comprobar que el programa sirve para nuestros propósitos asociados en los estudios forestales de nuestro territorio con el objetivo de obtener el volumen de madera que podemos extraer por cada árbol que individualicemos y el combustible que podemos apreciar por medio de la densidad y abundancia que presenta la vegetación baja o matorrales en la superficie de interés, si se produjera un incendio en esa zona.

### 1.1 Localización del área de estudio

Esta zona de estudio, donde se aplicará el estudio, se localiza en la sierra de Espadán en la Comunidad Valencia al sur de la Provincia de Castellón. La dimensión de esta sierra engloba 19 municipios de las comarcas de la Plana Baja, el Alto Mijares y el Alto Palancia. Como apunte histórico, la sierra de Espadán fue declarado Parque natural el 29 de septiembre de 1998. La totalidad de la zona protegida abarca 31.180 hectáreas.

La sierra forma parte de las estribaciones del sistema ibérico, cercana al nivel del mar Mediterráneo y está orientado prácticamente perpendicular a la costa, tomando las direcciones NO-SE. Podemos encajar la sierra entre las vegas de los ríos Mijares y Palancia, los cuales encuadran el área por el norte y el sur de la sierra, respectivamente. La cota máxima que registra esta sierra es de 1.106 metros sobre el nivel del mar, el nombre de este pico es la Rápita. La morfología que presenta la zona es muy abrupta, añadiendo la sensación de la misma por la próxima a la costa y el arranque de las primeras cuestas desde los llanos circundantes de la Plana y los valles del Palancia y Mijares, llevando a obtener diferencias de alturas notables. También posee numerosos barrancos transversales al eje de la sierra. La geología de la zona está compuesta principalmente por materiales triásicos, siendo uno de sus principales atractivos las areniscas rojizas. También abunda el substrato de naturaleza calcárea representando mayoritariamente por las calizas y las dolomías.

Dado por la presencia de los suelos de naturaleza silíceo y ácida, las cuales son características presentes por la presencia de rodeno, se desarrolla una vegetación más peculiar e interesante de la sierra: los bosques mixtos de alcornoque y pino rodeno. Junto a estos podemos localizar valiosas especies arbustivas como el madroño, el serral, el quejigo, jaras, brezos... En los lugares más húmedos destaca la presencia de diferentes tipos de helechos, musgos y líquenes. Por otra parte, en las zonas de substrato calcáreo, el pino carrasco es la especie dominante, acompañada siempre del típico matorral mediterráneo: carrascas, coscojas, aliagas, romeros, tomillos, lentiscos, aladiernos.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

1.1.1 Mapa de situación y localización de la zona de estudio

A continuación, mostraremos los mapas empleados para localizar la zona de estudio. Para ello, se ha generado un mapa localizando el punto central de la nube de puntos y otro plano donde muestra el área que abarca nuestro estudio.



Mapas de localización de la zona de actuación

Los mapas de localización se han generado a partir de diferentes visores, el primer mapa es por el visor generado como mapa de base en ArMap y el segundo es mediante el servidor del IGN iberpix. Como se ha comentado, estamos ante un área de 30 metros de diámetro que se localiza en la sierra de Espadán, localizada en la provincia de Castellón en la Comunidad valenciana.



Plano de localización de la zona de estudio

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

## 1.2 Síntesis del proceso

- Trabajo de campo
  - Procesamiento de una parcela de 30 metros de diámetro
- Trabajo de gabinete
  - Procesado de datos
- CompuTree
  - Detectar cada árbol que compone la escena
  - Obtener modelo de elevaciones de los matorrales
- MatLAB
  - Obtener DBH
  - Volumen de madera

La metodología de trabajo mencionado, para la obtención de los datos en campo es la siguiente: se ha dividido la sierra de Espadán en 29 parcelas. En este documento, se va a proceder a tratar una de estas parcelas. En cada parcela se ha realizado 9 estacionamientos del Láser Escáner. Estas posiciones han sido implementadas siguiendo una distribución cardinal, respecto a la base del escaneo central de la parcela. La forma geométrica que componen esta misma es circular poseyendo un diámetro de 30 metros.

En cuanto a la metodología de gabinete, se ha realizado un filtrado de la nube de puntos resultante con el objetivo de individualizar cada árbol poder obtener y el volumen de madera que podemos extraer de los árboles que componen la parcela y obtener la vegetación baja que contiene la zona. Para ello se ha empleado CompuTree.

Una vez detectado cada árbol que constituye la escena, se procederá a obtener la nube de cada árbol individualizada, se calculando el valor del diámetro a la altura del pecho, con la finalidad de obtener el volumen de madera que puede ser extraído por cada uno de estos elementos en la parcela de estudio. En cuanto a la vegetación baja, se generará el modelo digital de elevaciones para conocer la dispersión que presenta, dado que, si se produjera un incendio en la zona trabajada, los arbustos y vegetación baja intervendría como combustible.

La idea de la metodología es generar el proceso que pueda extrapolarse a otros proyectos o realizar los cálculos empleando otras parcelas diferentes a la tratada.

Para finalizar el proyecto, obtendremos el parámetro asociado al diámetro a la altura del pecho y el volumen de madera que podemos extraer de cada árbol. Este apartado lo realizaremos por medio del software de apoyo MatLAB. Como se verá, realizaremos el cálculo de los diámetros, empleando dos métodos para calcular el diámetro necesario para obtener el volumen, para poder comparar el resultado entre estos diámetros y la diferencia de volumen que se puede extraer por medio de la altura absoluta, para todo el conjunto de árboles o emplear una altura relativa.

## 1.3 Objetivos planteados

Debemos de tener siempre presente los siguientes puntos que nos hemos marcado como objetivo final del proyecto. A demás de probar las posibilidades que puede ofrecernos este programa libre, impondremos algunos requisitos que vamos a definir como prioridad. Por ello, podemos diferenciar dos grupos a la hora de realizar el trabajo, el primero hará referencia a los árboles y el segundo a los matorrales o vegetación baja.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

- En el apartado de los árboles
  - o Detectar la totalidad de ellos dentro de la parcela
  - o Calcular el parámetro DAP o DBH (Diámetro a la altura del pecho) para el cálculo del volumen del árbol
- En el apartado de los matorrales
  - o Detectar los puntos de vegetación baja o matorral
  - o Generar un modelo digital de superficie

Vamos a procesar la nube de puntos para poder generar nuevas nubes de puntos, donde en cada una de ellas, recoja cada árbol. Para ello, realizaremos una segmentación de la nube de puntos de origen, empleando como referencia los inicios de los troncos. Esto último viene dado, porque no podemos asignar los puntos que pertenecen a cada árbol tomando como referencia la parte superior de los árboles. Dado que la densidad de los puntos imposibilita realizar la clasificación pertinente.

El cálculo del parámetro DBH, el cual consiste en obtener el diámetro del árbol definido a una altura. El parámetro es importante para obtener el valor del volumen de cada árbol. Podemos afirmar que existen diversas alturas para definir el parámetro. Algunas de ellas están estandarizadas como en Europa, donde se emplea 1.3 metros como altura constante. A pesar de que hay quienes afirman que emplear alturas relativas se obtiene un valor más aproximado para el volumen del árbol. Esta altura relativa es el resultado de realizar el 5% de la altura que posee el árbol. En el siguiente estudio se emplearán ambos métodos para poder realizar una comparativa de la importancia de la altura.

Para los arbustos, obtendremos el modelo de elevaciones en formato raster para poder apreciar con mayor claridad la densidad que encontramos en la zona de estudio.

#### 1.4 Introducción al programa CompuTree

El programa mencionado es el que haremos uso para poder realizar el estudio propuesto. Como requisito añadido, vamos a comprobar y evaluar las herramientas y comandos ajenos al proceso que se seguirá para el estudio de los objetivos marcados anteriormente, con la intención de conocer más a fondo el programa para posibles implementaciones de esta herramienta a otros proyectos asociados. Por ello, se evaluarán las herramientas y algoritmos implementados, mostrando los parámetros que emplea cada una de estas herramientas y aplicándolas, con el propósito de observar las diversas utilidades que encontramos tras el uso y comentando una descripción individualizada por cada una de estas.

Computree se ha combinado empleando los plugins de otro programa, cuyo nombre es Simpletree. El origen de este programa fue un trabajo doctoral de Jan Hackenberg. El programa implementa un método para la construcción de modelos cuantitativos de los árboles. La cuantificación introducida se genera por la distribución de la biomasa situada entre el propio árbol y el nivel del suelo representado. El modelo consiste en ordenar jerárquicamente los cilindros obtenidos por la estructura de los árboles, poseyendo mayor facilidad y eficacia a la hora de la extracción de los parámetros relevantes del árbol que en un software libre ajeno. El proyecto fue subvencionado por la federación del ministro de educación e investigación del BMBF (Bundes Ministerium für Bildung und Forschung) entre el 2012 y 2015.

La mecánica del programa implementa una herramienta para poder construir y publicar modelos de los árboles de alta precisión, generados a partir de tecnologías de Láser escáner, las



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

cuales son métodos descriptivos y que no son destructivos para la biomasa, empleando la toma de datos por medio de la tecnología TLS. A partir de esta cuantificación, podemos obtener el volumen derivado del árbol y la densidad de madera que se puede obtener por cada uno de ellos que compone la escena. La herramienta que posee este software está presente dentro de SimpleTree: cuya eficiencia en la fuente para generar modelos de árboles a partir de archivos de nubes en formato TLS. La implementación del uso la librería de nubes de puntos es independientemente a cada una de ellas, asociado a cada nube de puntos importada unos complementos.

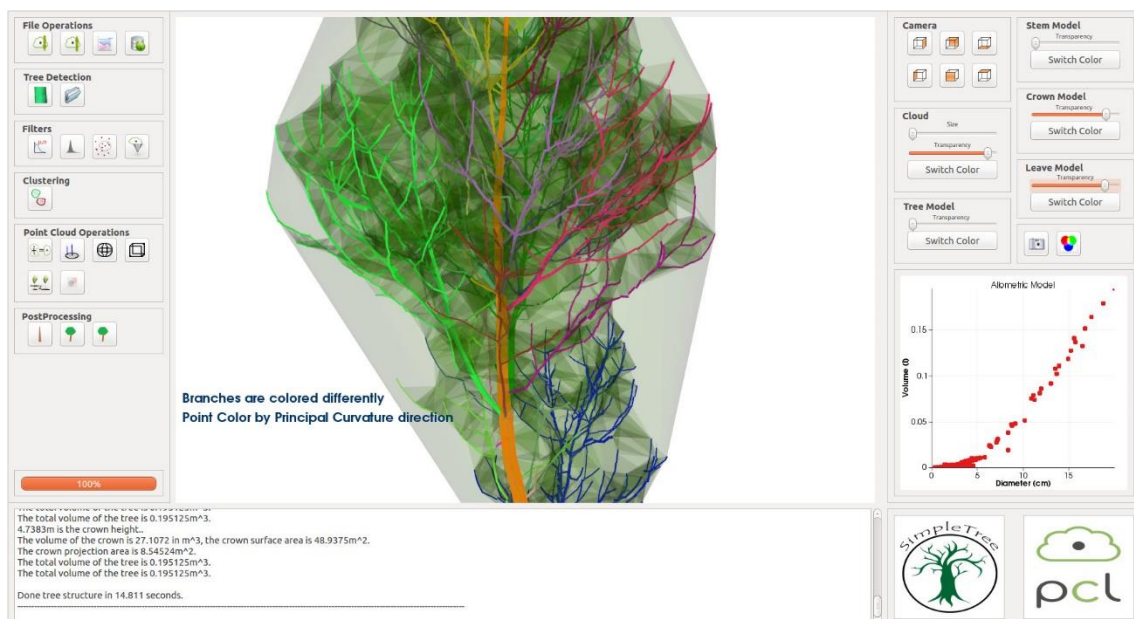


Imagen 1. Entorno de trabajo del software SimpleTree

En la imagen 1, se muestra el entorno de trabajo del SimpleTree, el cual ha sido obtenida por medio de la plataforma online <http://www.simpletree.uni-freiburg.de/software.html>, la url mostrada es la que emplea el software SimpleTree como soporte online.

SimpleTree es un software creado para el sistema operativo libre de Ubuntu. Esta característica le favorece, dado que este sistema permite mejorar los programas internos del mismo. LA contrapartida de esta característica es que no es compatible para los demás sistemas operativos. Con el objetivo de poder trabajar con el sistema operativo de Windows o Mackintosh, se han extraído algunos plugins de este programa de origen y se ha realizado la integración de estos algoritmos dentro de CompuTree facilitan el estudio y metodología. La importación de estos plugins genera un entorno similar al software de origen. No todas las funciones están disponibles, únicamente la opción de detectar los cilindros mayores de la modelización SpheroFollowing, combinando varios plugins.

Como resumen, podemos extraer que el software CompuTree se ha complementado mediante el añadido de una herramienta proporcionada por SimpleTree para la obtención de modelos cilíndricos de cada árbol y la posibilidad de trabajar con cada elemento individualmente.

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

## 2 Toma de los datos

En este apartado, emplearemos los pasos seguidos para la obtención de los datos obtenidos mediante un láser escáner terrestre (TLS). A lo largo del mismo, definiremos la metodología seguida para la toma de los mismos y el proceso posterior para la preparación al estudio que se pretende realizar.

Para este trabajo se ha realizado la toma de los datos de las zonas forestales mediante tecnología Láser escáner terrestre, dado que estas no son tecnologías destructivas para la biomasa, que, en definitiva, es lo que queremos obtener. La zona de actuación se encuentra en la zona forestal de la sierra de Espadán situada en Castellón.

La metodología seguida para la toma de los datos la podemos sintetizar de la siguiente manera.

En lo referido a la toma de los datos planimétricos y altimétricos de la vegetación que se pretende estudiar, se ha realizado mediante un Láser escáner terrestre, siguiendo el acrónimo de esta tecnología (TLS). Esta decisión se ha tomado por la capacidad que posee esta tecnología a la hora de obtener los datos de estudio, dado que es capaz de obtener mucha información en un corto período de tiempo. Por medio de este instrumental obtendremos nubes de puntos generadas por cada estacionamiento, que definirán los elementos que se encuentran en nuestro ámbito de estudio. Por ello, debemos de tener en cuenta que se deberá de realizar una unión entre varias nubes de puntos. Por lo que deberemos de tener en cuenta el sistema de coordenadas de referencia aplicado a cada conjunto de nubes de puntos que se encuentran en un entorno tridimensional, documentando y registrando los elementos que se pretende procesar en el estudio.

Para el registro de los datos, se ha decidido dividir la zona de estudio en 29 parcelas diferentes. Cada parcela posee una forma geométrica circular cuyo radio es de 15 metros. Con el propósito de poder realizar un registro continuo y bastante detallado, se ha optado en realizar 9 posicionamientos del Láser escáner en cada parcela. Como se ha mencionado previamente, emplearemos una de estas parcelas para el evaluar y generar los objetivos planteados anteriormente.

Debemos de realizar una georreferenciación de las nubes de puntos, obtenidas respecto a cada estacionamiento del propio instrumento, se ha tenido en cuenta la idea de emplear un mismo sistema de coordenadas. Para ello se ha empleado instrumental topográfico de apoyo para poder generar la red con la función de dotar de precisión al trabajo realizado. Para ello, se va a emplear el sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (UTM).

La documentación que se ha obtenido a partir del trabajo de campo son las siguientes:

- Listado de coordenadas del centro de cada parcela
- La tabla de precisión de cada conjunto de puntos
- El fichero de la nube de puntos originales en formato FLS
- El fichero de las nubes de puntos en formato ASCII

Seguidamente mostraremos un esquema respecto al flujo de trabajo realizado

- Documentación de la zona de acción
- Estudio y planificación del trabajo
  - Programación del trabajo de campo

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

- Replanteo de posicionamiento del Láser escáner
- Realización de los escaneos
- Programación del trabajo de gabinete
  - Procesamiento de los datos escaneados en FLS
  - Filtrado de la nube de puntos
  - Georreferenciación de las nubes de puntos
  - Filtrado de distancia y de densidad
  - Exportación de la nube de puntos a ASCII (X, Y, Z, Intensidad)
  - Editado del fichero ASCII (X, Y, Z, Intensidad, Parcela, Posición)

Una vez planteado el trabajo a realizar, vamos a introducir el equipamiento que va a ser empleado para el propio trabajo

La toma de datos se ha realizado por medio de TSL, empleando el modelo FARO FOCUS 3D, dado que este instrumento nos proporciona gran rapidez y eficacia a la hora de la adquisición de los datos. Este modelo, realiza un barrido de la superficie obteniendo miles de puntos por segundo por medio de un haz laser en forma de abanico.

Con estas características, puede registrar toda la nube de puntos tridimensionalmente compuesta por miles de puntos de medición individualizada en un sistema de coordenadas común donde situará todas las nubes de puntos obtenidas en cada escaneado



*Imagen 2. Ilustración del láser escáner FARO FOCUS 3D*

La resolución que puede llegar a obtener el instrumento es de 2 milímetros, dentro de un sistema de escaneado tridimensional de alta velocidad para la digitalización y documentación detallada. Por ello, la imagen obtenida una colección de miles de puntos medidos tridimensionalmente, el cual proporciona un modelo digital preciso. El rango de alcance que obtiene es de 80 metros y la velocidad en la que obtiene esa toma es de 976.000 puntos por segundo.

Como instrumental de apoyo para poder replantear el posicionamiento de los scanworlds, se han empleado dos herramientas diferentes. La primera se ha empleado para la realización de la toma de ángulos, siendo una brújula con una precisión de 1 grado. Para las distancias se ha empleado un distanciómetro láser cuya precisión es de 1.5 milímetros.



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

## 2.1 Toma de datos durante el trabajo de campo

A continuación, se definirán las fases empleadas para la toma de los datos asociados al campo

### 2.1.1 Programación y realización de los escaneos

Tras el trabajo de investigación por cada parcela de estudio, se ha estimado cuantos escaneos son necesarios para la toma completa de la misma, la resolución obtenida por cada una y la calidad generada según la distancia entre las mismas bases.

Con el objetivo de que los objetos presentes en las tomas estén bien definidos se requiere de una nube de puntos homogénea, por ello se ha empleado el escáner capaz de realizar un barrido tridimensional de la zona en un período de tiempo reducido. El barrido empleado sigue perfiles paralelos cuya separación angular es constante y la cual se ha definido automáticamente, realizando medición de punto por punto con una velocidad de toma mencionada en la introducción del proyecto. También se puede variar la calidad del escaneo el cual consistiría en modificar numéricamente la captura de las series de mediciones tomadas por cada punto, el cual realiza la media de cada una de ellas mejorando la medida final del punto. Cada punto estará definido al sistema de coordenadas local del escáner, el cual dependerá de la orientación y nivelación del sistema estacionado en el momento de la toma.

La metodología empleada es similar a la utilizada en un aparato topográfico en cuanto a la orientación del mismo aparato en el espacio, con la diferencia de que el barrido que emplea es automático y posee un valor constante en la separación angular. Ese instrumental no hace falta estacionar ni orientarlo para la toma de las capturas. Dado que desde diversas posiciones se generan los barridos produciendo una nube de puntos que engloba toda la superficie deseada. El aparato emplea el método de orientación libre. Para el caso en el citado, no se puede efectuar la toma empleando únicamente una estación, si no que ha de emplearse varios barridos. Para ello es necesario conocer puntos homogéneos en las diferentes tomas con el propósito de que las coordenadas tomadas en cada barrido estén referidas a un mismo sistema de coordenadas mediante semejanzas espaciales.

Los puntos homólogos deben de ser reconocibles dentro de la nube de puntos, como elementos geométricos ajenos al levantamiento como dianas, esferas o cilindros reflectantes. Estas señales deben de ser detectadas automáticamente por programas preparados para el trabajo de las nubes de puntos obtenidas por esta tecnología. En la imagen 3, se puede apreciar la disposición de estas en contraste al posicionamiento del instrumento empleado. Estos productos permiten

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

el cálculo asociado a estos conjuntos. Para el procesamiento seguido, se ha optado por el empleo de esferas como referencias.



*Imagen 3. Disposición de las dianas empleadas para la toma de datos en relación al posicionamiento del láser escáner*

El seguimiento a seguir en el escaneo se puede abreviar como:

- La ubicación de las esferas de referencia
- El encendido del instrumental láser
- Definición de los parámetros de precisión y calidad
- Estacionamiento y nivelación del Láser en las distintas tomas realizadas

El propósito del trabajo de campo es la toma de datos de toda la parcela, por ello se ha definido como zona de estudio una circunferencia de 30 metros de diámetros. El centro del mismo está definido por medio de un hito-feno situado en el centro de la parcela. La disposición de los escaneos, se ha determinado teniendo en cuenta el efecto de solapado entre las zonas y posicionamiento en los lugares con el objetivo de que cubra la mayor parte de la superficie evitando discontinuidades entre los puntos de cada nube de puntos. Por ello se han efectuado 9 posicionamientos. Estos se han replanteado en el terreno por medio de una brújula y un distanciómetro láser. El primer posicionamiento se ha situado en el centro de la parcela. Los demás posicionamientos se han realizado siguiendo la distribución del sistema cardinal.

La disposición de los posicionamientos 1, 3, 5 y 7 se han situado a 15 metros del origen o del primer posicionamiento mencionado, los demás posicionamientos se han situado a 7.5 metros del origen. La distribución mencionada se ha aplicado para todas las parcelas. Es posible que algunas parcelas hayan sufrido alguna modificación debido a las condiciones externas al instrumental, como la disposición geomorfológica o densidad de la vegetación en esos puntos.

A continuación, por medio de la imagen 4, se aprecia la disposición de los posicionamientos cardinalmente.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

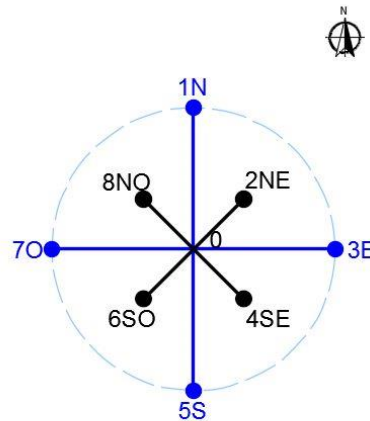


Imagen 4. Disposiciones de los posicionamientos del láser escáner

## 2.2 Toma de datos durante el trabajo de gabinete

En este apartado, se han calculado y procesado los datos obtenidos por el equipo de campo, con el objetivo de depurar la nube de puntos, empleando filtrados y recortes de la misma nube de puntos, dado que, para el trabajo propuesto, no es necesario toda la nube de puntos generada en bruto a partir del láser escáner.

Los datos usados ya han sido pre-procesados para poder trabajar con ellos. Se les ha eliminado el ruido y los puntos anómalos empleando filtros. Seguidamente, introduciremos el proceso seguido en el pre-procesamiento mencionado.

### 2.2.1 Pre-proceso de los datos

Como se ha mencionado anteriormente, para el trabajo de gabinete debemos de descargar, almacenar y organizar todos los datos obtenidos por medio del Láser escáner. Una vez realizado estas operaciones, se va a proceder a filtrar los puntos antes de georreferenciarlos en un sistema de coordenadas relativo.

La toma de datos por medio de escaneos es el resultado de millones de mediciones realizadas y por ello, se alcanzarán diversos grados de precisión. No es posible tomar una medición con total exactitud, por ello es importante conocer la exactitud de la medida y el modo que se ha requerido en obtener la exactitud requerida.

Dependiendo del método de la medición del escáner, encontramos diversas causas que pueden afectar en la medición

- Los valores analógicos, los cuales nunca se pueden determinar con exactitud dado que dependen de un número de puntos determinados, el resultado de la medición variará del valor real, por que encontramos puntos de ruido o outlier, los cuales son puntos erróneos que se han generado durante la toma
- El puntero laser posee un cierto diámetro, el error que podemos encontrar en esta condición es que puede verse fragmentado y la reflexión del mismo verse distorsionada y el sensor registrará ambas señales.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

En algunos escaneos, las mediciones pueden entrar dentro del intervalo de ambigüedad, por lo tanto, si la distancia real al objeto es mayor a ese intervalo, encontraremos un valor pequeño como resultado de la medición.

Dependiendo de las causas existentes, podemos obtener resultados más precisos realizando correcciones a los puntos afectados. A pesar de que en muchas ocasiones no podremos corregir el punto asociado y se deberá de eliminar del escaneo. Por ello, se emplean filtros para corregir esos puntos afectados, realizando la selección o eliminándolos del propio archivo.

Este proceso sigue unos criterios de selección, los cuales variarán dependiendo del método con el que identifican el punto erróneo y la medida utilizada para su corrección se encuentran fuera del umbral establecido para el propio calculo, el programa lo detectará y lo eliminará.

Seguidamente se expondrán las herramientas de filtrado empleados en gabinete:

- Filtro para puntos dispersos: Se emplea para detectar y eliminar los puntos del escaneo que se generan al tocar do objetos con un mismo impacto del mismo haz laser o que no recoge ningún objeto de la zona estudiada.
- Filtro basado en la distancia: Este filtro elimina aquellos puntos que se encuentren fuera del rango de distancia predeterminado, referido a la posición del escáner.
- Filtro de puntos de escaneos oscuros: Se emplea para la eliminación de aquellos puntos asociados al ruido de la toma.
- Filtrado para suavizar los puntos del escaneo: El objetivo de este filtrado es minimizar el ruido superficial de la nube de puntos.

Tras depurar la nube de puntos mediante el filtrado propuesto, se procederá a la identificación de los puntos de control o las esferas de referencia pertenecientes a la nube de puntos con el objetivo de georeferenciar el sistema de coordenadas. En la imagen 5, se aprecia el entorno de trabajo de la nube de puntos y la visualización de las esferas de referencia. En este caso, se han ido seleccionando las dianas para encontrar los puntos homólogos y realizar la colinealidad entre las nubes de puntos de la parcela



Imagen 5. Visualización del entorno de puntos para georeferenciar la nube de puntos



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Tras realizar el identificado de todas las esferas de referencia de cada toma dentro de la misma parcela, se procederá a realizar el registrado de la nube puntos. Este operador situará automáticamente cada escaneado en nuestro sistema de coordenadas y realizará el ajuste con el error mínimo entre cada toma de escáner. La precisión definida en cada parcela ha sido entre los 2 y 3 milímetros. Como resultado tras el análisis en nuestra parcela, se ha obtenido los siguientes valores, tanto de tensión y los valores estadísticos de la misma parcela:

Número de Scan	Tensión media de referencia
1	0.0031
0	0.0030
2	0.0028
3	0.0026
8	0.0026
5	0.0021
4	0.0018
6	0.0018
7	0.0016

Estadísticas ponderadas de la medición completa son las siguientes:

<b>Media</b>	<b>0.0023</b>	<b>Desviación</b>	<b>0.0005</b>
<b>Mínimo</b>	0.0016	<b>Máximo</b>	0.0031

Podemos apreciar el error generado por cada posicionamiento del láser escáner que se ha empleado para la zona de estudio

Para finalizar el estudio analítico, mostraremos el punto central de la de la nube de puntos que posee la parcela:

$$X = 714974.615 \text{ m}$$

$$Y = 4427026.495 \text{ m}$$

$$Z = 821.917 \text{ m}$$

Como último dato a añadir asociado en la obtención de los puntos, se ha mostrado las coordenadas UTM del conjunto obtenido.

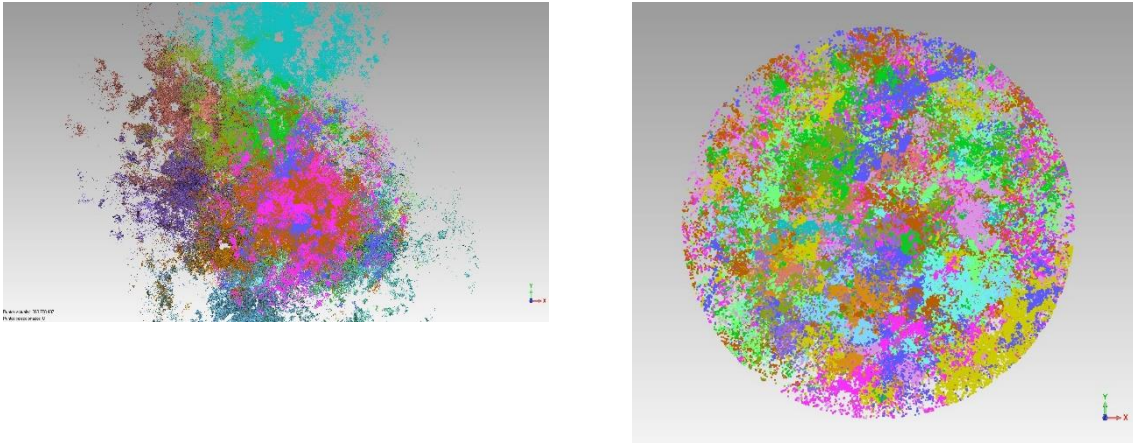
Para la dotación de coordenadas UTM se ha empleado puntos materializados por cada parcela y la brújula incorporada en el Láser escáner. Esta brújula interna al mismo mide la orientación del propio instrumento en la superficie terrestre empleando una precisión de 0.5 grados, cuya propiedad aporta una información útil para el proceso del registro, a pesar de que esta precisión puede verse distorsionada por el campo magnético o afectado por el entorno ambiental, como el parámetro asociado a la fuerza del campo horizontal del propio campo magnético. Este puede variar por medio de la posición geográfica y oscila entre 0.3 y 0.6 unidades gaussianas.

Por otra parte, los puntos de apoyo son los asociados a las bases de las esferas de referencias. Dado que para el cálculo y procesado de la misma nube de puntos requiere el conocimiento de las coordenadas de los centros de la esfera. Por ende, las coordenadas planimétricas no sufrirán

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

ningún cambio, será la coordenada altimétrica, dado que deberemos sumar a la coordenada asociada la distancia presente entre la base y el centro de la esfera empleada.

Una vez definido el sistema de coordenadas se obtiene una nube de puntos uniforme. A continuación, se muestra la nube resultante.



*Imagen 6. Extracción de los puntos y encuadre de la nube de puntos a trabajar.*

En la imagen 6, se aprecia que la primera imagen es la muestra directa de la nube de puntos de los datos. Para una mayor comprensión, se ha realizado dos filtrados más, uno hace referencia la densidad de los puntos, los cuales se han filtrado empleando con una densidad de 2 milímetros. El segundo filtrado aplicado a la nube de rígen se empleará para recortar el perímetro de cada parcela, cuya geometría la conocemos, dado que consiste en una circunferencia cuyo radio es de 15 metros.

El resultado de ambos filtros lo encontramos en la segunda imagen.

Para finalizar el proceso de gabinete, se procederá a comentar los ficheros obtenidos y como se han tratado.

Por cada toma escaneada se ha producido un archivo FLS. La totalidad de estos archivos pueden ser importados en distintas plataformas donde se pueden restituir y vectorizar cada nube de puntos tanto de forma bidimensional como tridimensionalmente, con el propósito de realizar los cálculos sobre esta nube o visualizar los datos estudiados, se ha decidido emplear el fichero de origen en formato ASCII.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

```

724299.894 4427921.338 498.850 69 15 2
724299.911 4427921.338 499.045 113 15 2
724299.913 4427921.344 499.076 54 15 2
724299.899 4427921.348 499.076 81 15 2
724299.916 4427921.353 499.056 53 15 2
724300.194 4427921.358 499.056 81 15 2
724299.843 4427921.364 491.625 58 15 2
724300.403 4427921.369 497.885 89 15 2
724299.774 4427921.373 498.155 71 15 2
724300.231 4427921.377 499.045 90 15 2
724300.601 4427921.379 493.626 78 15 2
724300.471 4427921.385 497.906 123 15 2
724300.249 4427921.386 499.008 128 15 2
724299.911 4427921.388 498.849 52 15 2

```

Estas seis columnas las dividiremos en dos grupos, el primer grupo son las coordenadas cartesianas del punto X, Y y Z, y el segundo grupo son los parámetros asociados a la intensidad, la parcela donde se ha trabajado y el posicionamiento del escáner

Como resultado del procesamiento de los datos, podemos resumir que, entre los nueve ficheros, nos encontramos con una cantidad de puntos aproximada de 85.000.000 puntos.

### 3 CompuTree

Como ya se ha mencionado anteriormente, el programa que se va a emplear en este proyecto para el procesamiento de las nubes de puntos obtenidas a partir del trabajo de campo es CompuTree. Este software es un programa libre empleado por el instituto nacional forestal francés. Para la adquisición del mismo programa, el acceso a todos los datos y todos los productos asociados al mismo organismo, únicamente requiere inscribirse en la página oficial de la misma organización. La inscripción es gratuita y únicamente debes de introducir la cuenta de dirección.

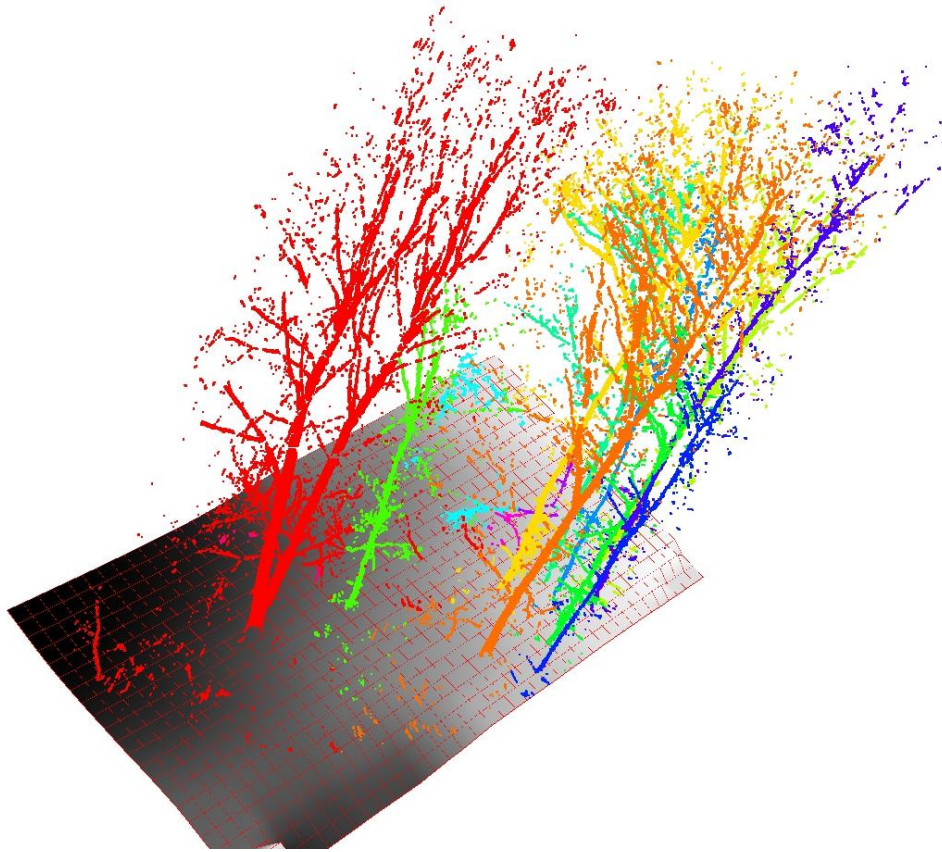
En mayo del 2015, un usuario añadió un nuevo plugin para poder trabajar en este software. El plugin pertenece a otro programa cuyo nombre es SimpleTree, el cual fue desarrollado por Jan Hackenberg como su tesis doctoral. El programa fue creado para el sistema operativo libre Ubuntu, por ese motivo, el programa SimpleTree no es compatible ni para Windows ni para mackintosh, el ingreso de SimpleTree al programa empleado CompuTree también se ha generado para que cualquier usuario, que no posea el sistema operativo libre, pueda trabajar con esta herramienta.

El programa implementa modelos de construcción cuantitativos de los árboles a partir de nubes de puntos. Estos modelos se crean a partir de la cuantificación de la biomasa del propio árbol y el nivel que se encuentra hasta el suelo.

El modelo consiste en ordenar jerárquicamente los cilindros que extrae por la estructura de cada árbol, poseyendo mayor facilidad y eficacia a la hora de extraer los parámetros más relevantes de cada árbol. El proyecto de este plugin fue desarrollado por la federación del ministerio de educación e investigación en Alemania por el BMBF (Bundes Ministerium für Bildung und Forschung) entre el 2012 y 2015.

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

La mecánica del programa implementa la herramienta es poder construir y visualizar modelos de árbol de alta precisión, generados a partir de tecnología TLS. Esta tecnología es únicamente descriptiva y no es destructiva para el entorno ni la biomasa. El programa combina la nube de puntos para obtener el volumen derivado de cada árbol y la densidad de la madera que podemos encontrarnos en cada uno.



*Imagen 7. Visualización de una nube de puntos combinándolo con el MDT del conjunto trabajado*



*Imagen 8. Visualización del modelado QSM generado a partir de una nube de puntos.*



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

La imagen 7, es la visualización de la nube de puntos combinando con el modelo digital del terreno obtenido de esa misma nube de puntos. La imagen 8 es el resultado de obtener el modelado QSM, el cual es un acrónimo de Modelo Estructurado cuantitativo (Quantitative Structure Model). Este modelado es capaz de obtener la medida completa, asociada a la biomasa de la madera sin realizar ninguna prueba destructiva en el propio árbol. Es un método capaz de modelizar automáticamente los troncos y ramas que compone el árbol, tras realizar una segmentación de la nube de puntos, generará el vector normalizado de los mismos. Este parámetro asociado a los vectores normales, los empleará como referencia para el uso de los ejes que lo compondrán. Los parámetros asociados a los cilindros que emplea para realizar la modelización, se ajustan a la relación obtenida. Esta modelización, por lo tanto, se ajusta al esqueleto, representado por el tronco y las ramas de mayor envergadura, que posee el árbol estudiado, como añadidura, añade los cilindros que obtiene asociado al follaje, los cual detecta por medio de un cubo que genera el propio programa. Además nos generará resultados como el volumen del árbol modelizado, la altura que posee o los radios de los cilindros que emplea para generar el esqueleto del propio árbol.

Debemos de tener presente los objetivos que se han planteado al principio de este documento:

- En el apartado de los árboles
  - o Detectar la totalidad de ellos dentro de la parcela
  - o Calcular el parámetro DAP o DBH (Diámetro a la altura del pecho) para el cálculo del volumen del árbol
- En el apartado de los matorrales
  - o Detectar los puntos de vegetación baja o matorral
  - o Generar un modelo digital de superficie

En el anexo incluido en esta memoria se desarrollarán más detalladamente las demás herramientas que posee el programa. A continuación, mostraremos las herramientas que se han empleado para la parcela trabajada, teniendo los objetivos presentes en cada herramienta.

### 3.1 Aspectos asociados a los árboles

En este apartado comentaremos el desarrollo con los objetivos presentes. Para llegar a ellos por el camino más rápido y más simplemente posible. Cabe añadir que el programa sigue en desarrollo interno y ha habido etapas o procesos en los que el programa no ha respondido como se pretendía, por lo que se ha empleado MatLAB como programa de apoyo.

Los datos que se van a tratar son los datos obtenidos dentro de la parcela de estudio. El origen de los datos está en formato LAS. El programa CompuTree reconoce una gran variedad de formatos a la hora de importar los archivos, el formato LAS es uno de ellos. Por otra parte, el programa posee un formato propio, por el cual realizaremos la exportación, para poder trabajar con mayor comodidad y poder explotar con mayor eficacia las herramientas disponibles en el programa trabajado.

Como nos interesa comparar la altura de los árboles sin que nos influya el terreno, debemos de normalizar este parámetro, con el resultado de generar un plano de referencia a la misma cota para mayor comprensión de las alturas de los árboles.

Debemos de introducir que el programa cada vez que emplea una herramienta, crea nubes de punto nuevas, con la capacidad de mostrar el nuevo conjunto y la nube de puntos previa, además, podemos activar cuantas nubes de puntos necesitemos, a la hora de visualizarlas en la

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

pantalla. Estas únicamente sirven de visualización y no las almacena. Para poder almacenar estas nubes de puntos nuevas fuera del entorno trabajado, debemos de exportar esas nubes de puntos.

Podemos explicar esta metodología del programa como el que realiza la clasificación de puntos de suelo. El programa diferencia que clase de puntos pertenecen al suelo o vegetación. El programa crea dos nubes de puntos nuevas donde muestra los puntos asociados a la vegetación y otra con la nube de puntos asociada al suelo.

Otro dato a tener en cuenta es que debemos de saber que nube de puntos deben de introducirse en cada etapa de cálculo que operación debe de realizar el programa.

Cabe añadir que el programa no trabaja con coordenadas georreferenciadas, debemos de transformar estas coordenadas a coordenadas locales. En nuestro caso, se ha optado por reducir las coordenadas a un sistema local de coordenadas (0,0,0), donde lo situaremos en el centro de la nube de puntos. Por ello, abriremos el programa MatLAB y generaremos una función, donde reste el valor de la media de cada coordenada con el valor original.

En este caso, restaremos los valores de coordenadas, a las coordenadas locales, para obtener la nube de puntos centrada en un sistema local:

$$\Delta X = 714974.281 \text{ m}$$

$$\Delta Y = 4427025.772 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 17.768 \text{ m}$$

Una vez conocido los valores de coordenadas centrales, podemos centrarnos en el programa de estudio.

Seguidamente vamos a redactar nuestro proceso con CompuTree. Para ello, vamos a seguir el siguiente esquema que mostraremos:



Fig.1 Esquema empleado para el desarrollo del caso práctico en CompuTree

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Se va a estructurar el proceso en cuatro partes.

1. La primera parte, estará asociada con la traslación de los puntos a un centro (0, 0, 0), empleando los valores obtenidos por medio de MatLAB.
2. La segunda parte, será la generación de una nube de puntos por cada árbol individualizado.
3. La tercera parte a realizar, es la preparación de las nubes de puntos generadas en el apartado anterior.
4. Por último, el proceso a realizar es la generación de un modelo QSM.

### 3.1.1 Traslación

El programa posee un formato de fichero que emplea para poder trabajar y desarrollar. En este caso, el formato a emplear es el XYB. Para poder emplear dicho dato, debemos de exportar la nube con la que estamos trabajando. Por otra parte, también es necesario aplicarle una corrección asociada a la posición de los puntos.

Por ello, el primer paso a tratar a la nube de puntos en nuestro programa, es el siguiente.

- Load Points LAS
- Points translate
- Export Points XYB

Nuestra nube de puntos posee el formato de un fichero las. Por lo tanto, las coordenadas de origen poseen coordenadas que están georeferenciadas. Previamente, hemos mencionado que el programa no reconoce coordenadas georeferenciadas, por lo tanto, trasladaremos las coordenadas a un sistema local, situando el origen, en el centro de la nube de puntos. Realizaremos una transformación asociada a la traslación a todos los puntos de la escena y exportaremos la nube de puntos final con el formato de XYB.

Para ello, debemos de acceder al menú de puntos y buscar la opción de transform.

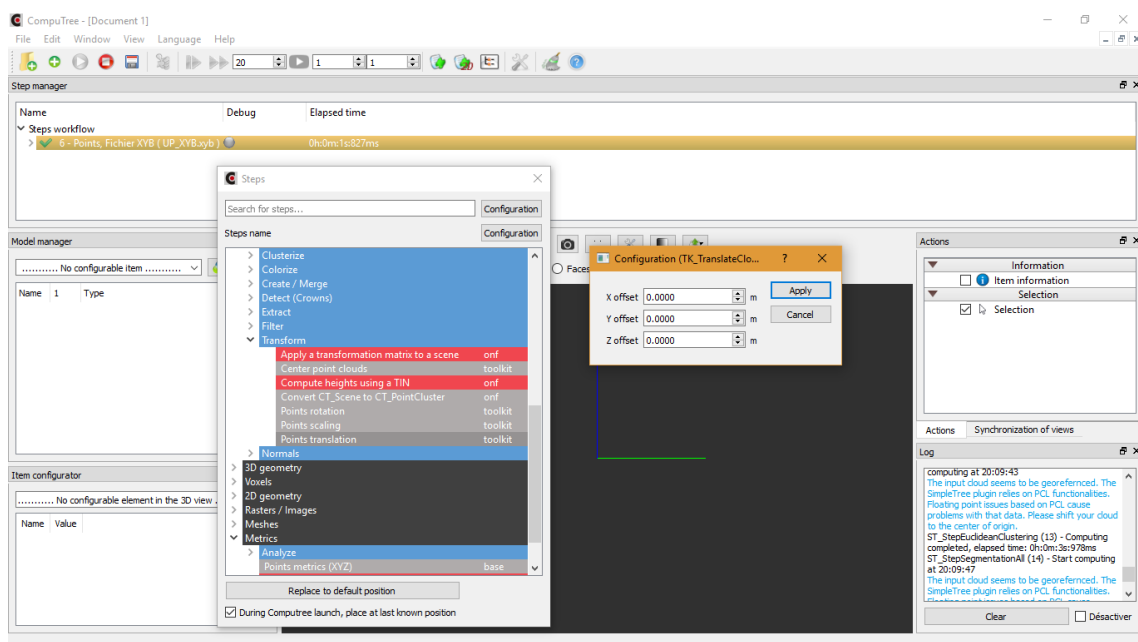


Imagen 9. Parámetros asociados a la transformación de las coordenadas de la nube de puntos, asociada a la traslación

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Como podemos apreciar, la siguiente opción que se nos presenta es la de definir las correcciones asociadas a cada punto de la misma escena. Como se ha obtenido previamente el valor medio de cada tipo de coordenada, únicamente debemos de introducir el valor en negativo de esa misma para poder situar el sistema de origen en el centro de nuestra nube de puntos y no tendremos ningún inconveniente a la hora de trabajar con el programa, el cambio de la misma se muestra en la imagen 9, donde debemos de introducir el valor de cada coordenada en la posición que le corresponde.

La manera que se emplea para la comprobación esta transformación, ha sido mediante la exportación de los datos. Como se ha obtenido un fichero txt con los valores modificados por MatLAB, podemos contrastarlo con el fichero generado por la transformación interna.

Como se pretende almacenar las propiedades que poseen estos ficheros, los cuales son la intensidad o el número de reflexiones, debemos de almacenarlos en un formato que sea reconocible por el propio programa. Por ello, se va a realizar una exportación de datos de la nube de puntos trasladada de puntos LAS a puntos XYB. Esta razón viene dada por que al almacenarlo como se ha mencionado, registra los datos mencionados. Si quisieramos trabajar con datos XYZ en ASCII, esos valores desaparecerían y no nos interesa perder datos obtenida por el trabajo previo por medio del escaneo.

Una vez corregida la nube, podemos seguir con el proceso mencionado en la imagen 10.

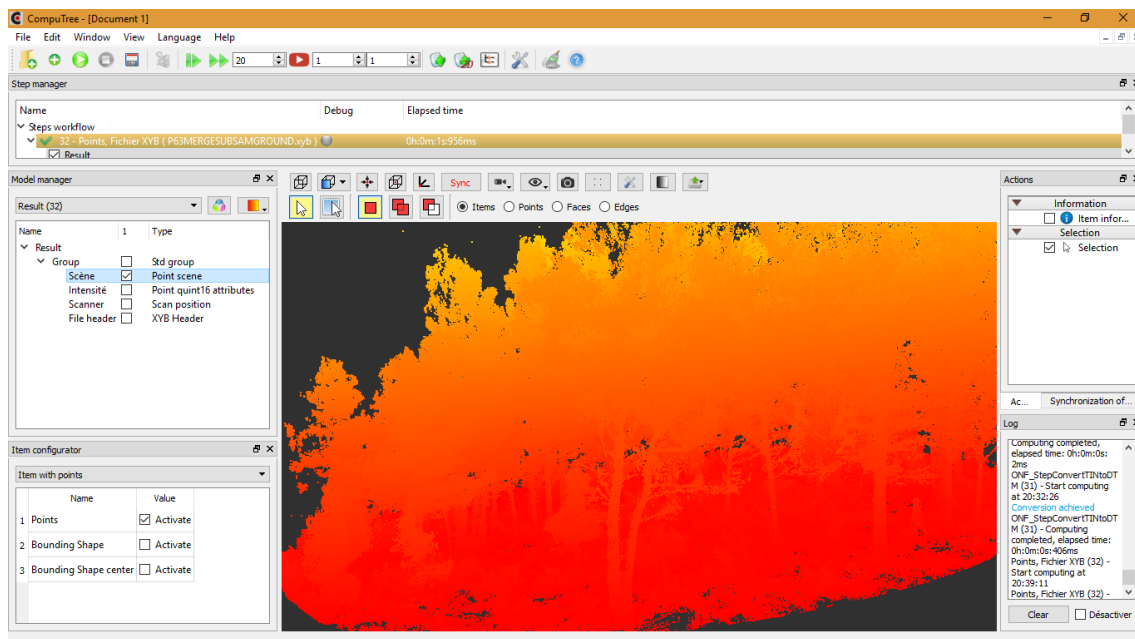


Imagen 10. Visualización de la nube de puntos importada en el programa

### 3.1.2 Segmentación

Seguidamente, mostraremos la estructura jerárquica de las herramientas que vamos a seguir en el apartado de la segmentación.

- *Load Points, Fichier XYB*
- *Classify ground points*
- *Remove noise from detected ground points*

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

- *VoxelGrid Filter*
- *Smooth extraction of a point slice parallel to the DTM*
- *Extract major branch points*
- *An euclidean clusterising operation*
- *Segmentation tree*
- *Filter cluster by their bounding box*
- *Filter cluster by points*
- *Points (1/scene)*

Previo al paso descriptivo, vamos a realizar un pequeño resumen de lo que pretendemos obtener. En el caso de la segmentación, se pretende obtener una nube de puntos por cada árbol que se encuentra en la escena de trabajo. Como se ha apreciado en la imagen 10, la parte superior de los árboles es muy difícil diferenciar la parte que pertenece a un árbol o a otro. Por lo tanto, debemos centrar nuestro trabajo en aquella zona diferenciable entre ellos. Por ello, emplearemos la base de los troncos. El trabajo de la segmentación, consistirá en agrupar los puntos asociados a los troncos y fusionarlos con los puntos superiores, empleando los puntos que poseen en común, los cuales serán el resto de la estructura del árbol. Una vez hallamos fragmentado la nube de puntos en tantos árboles, exportaremos los puntos, empleando un fichero por cada escena, refiriéndose a la escena como la nube de puntos. La idea de la exportación por escena, es generar un fichero XYB por cada segmentación que ha realizado el programa, esta estará referida a cada árbol que compone la escena total.

Importaremos la nube de puntos procesada, emplearemos la herramienta de carga de datos en XYB para poder importarlos en el programa trabajado.

A continuación, emplearemos la herramienta de clasificación. Esta herramienta fragmentará la nube de puntos que introduzcamos como entrada en dos nuevas nubes de puntos. En una de ellas mostrará los puntos asociados a la vegetación, y en la siguiente nube de puntos mostrará los puntos que ha clasificado como suelo. Esto nos facilitará el trabajo, dado que el programa discrimina los puntos asociados al suelo, los cuales no son de interés en este estudio. Además, podemos trabajar independientemente con los datos asociados tanto a la vegetación como al suelo. Se ha mencionado esta cualidad, dado que vamos a calcular el modelo digital del terreno. Dado que los datos están normalizados, obtendremos una superficie plana. A sabiendas de esto, debemos calcularlo, dado que el siguiente paso empleará este modelo como referencia para realizar la extracción de datos.

Una vez se ha clasificado la nube de puntos, vamos a trabajar con la nube de puntos asociada al suelo. Para ello, emplearemos la herramienta de filtrado que *remove noise from detected ground points*. Como el nombre indica, eliminará los puntos anómalos de la escena del suelo. Esta herramienta nos ayudará para poder generar el modelo deseado, para emplearlo, únicamente debemos introducir el ángulo que emplea para incidir en la nube de puntos.

La siguiente herramienta a emplear se menciona *VoxelGrid Filter*. Esta herramienta aplicará un filtrado al conjunto de puntos, empleando una cuadrícula cúbica. La cual podemos definir la dimensión que debe de tomar. En nuestro caso se ha empleado desde 1 centímetro a 5 centímetros de lado.

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Una vez depurada la nube de puntos del suelo, podemos crear el modelo del terreno. Este comando se encuentra dentro de la agrupación de *Mesh/Raster*, empleando la herramienta *Create a DTM*.

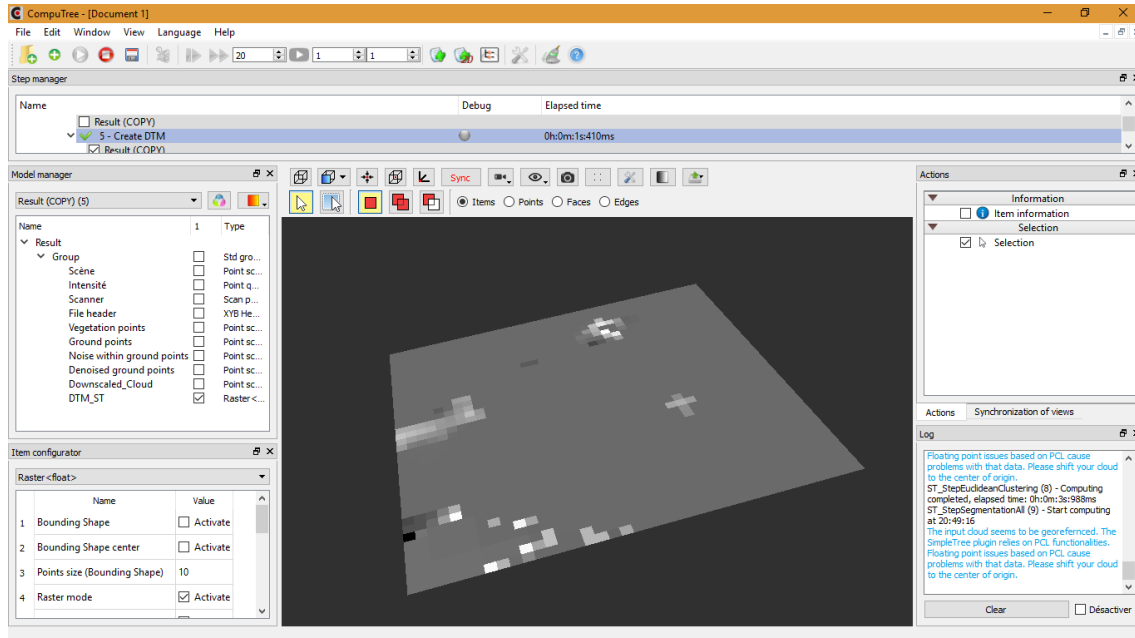


Imagen 11. Visualización raster del modelo digital de elevaciones.

La generación de este MDT se ha realizado empleando como cuadrícula una distancia de 0.8 metros, podemos apreciar el resultado en la imagen 11. Este tamaño de cuadrícula es la disposición que emplea por defecto CompuTree. Como se ha mencionado con anterioridad, la nube de puntos se ha normalizado, dado que nos interesa emplear una altura de referencia para poder comparar el conjunto estudiado. Así que, en relación al modelo generado, el parámetro no influye para el estudio realizado.

Una vez generado el modelo digital, podemos realizar la sección que se pretende realizar. Para ello, emplearemos el comando de *Smooth extraction of a point slice parallel to the DTM*. Esta herramienta seccionará verticalmente la nube de puntos empleando como referencia el modelo obtenido. Nosotros debemos de definir la altura de la sección. Para ello, se ha empleado el rango de las coordenadas de Z entre 0 y 2 metros. El rango ha estado definido por que en el entorno con el cual trabajamos, la altura que poseen los matorrales o vegetación baja es de 2 metros. En este caso, extraeremos la distancia de los troncos hasta esa distancia, eludiendo la densidad asociada a los matorrales.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

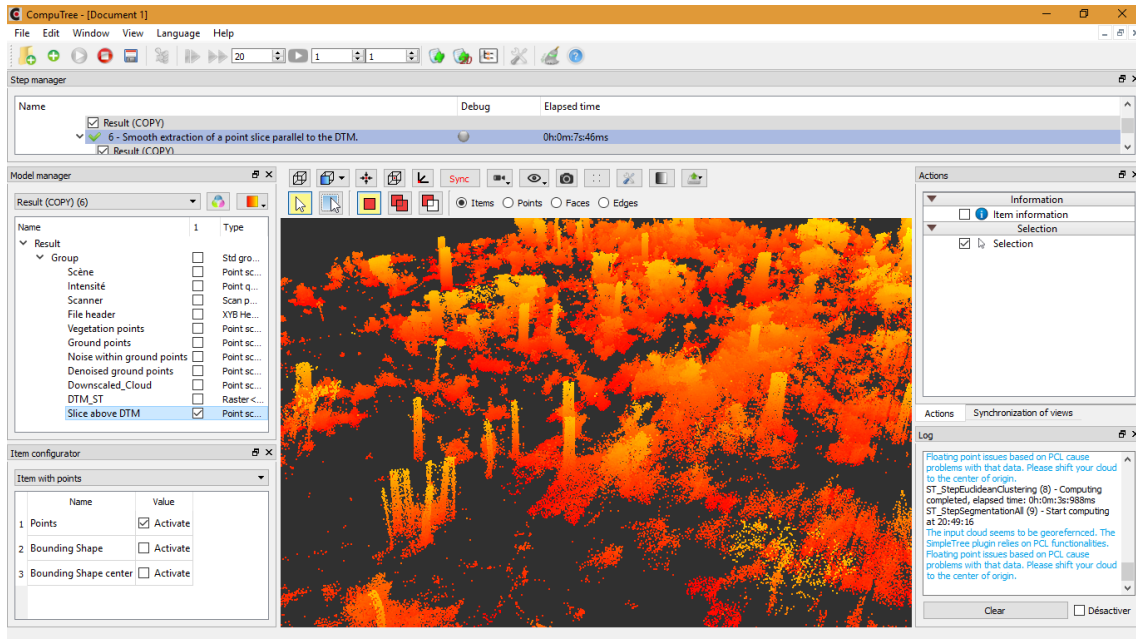


Imagen 12. Visualización del recorte de la nube de puntos, empleando el MDT de referencia

Podemos apreciar en la imagen 12, que la herramienta a seccionado los árboles a la altura que se ha mencionado, dejando bien visible el nacimiento de los troncos. En el programa, emplea la palabra semillas (seeds) para referirse a este término.

Una vez llegado a este paso, vamos a extraer estas semillas o el nacimiento de los troncos, para poder definir el grupo por el cual segmentar la nube estudiada. Para ello, emplearemos la herramienta de *Extract major branch point*. Esta detectará dentro del conjunto de puntos, aquellos que componen una estructura que definan los troncos.

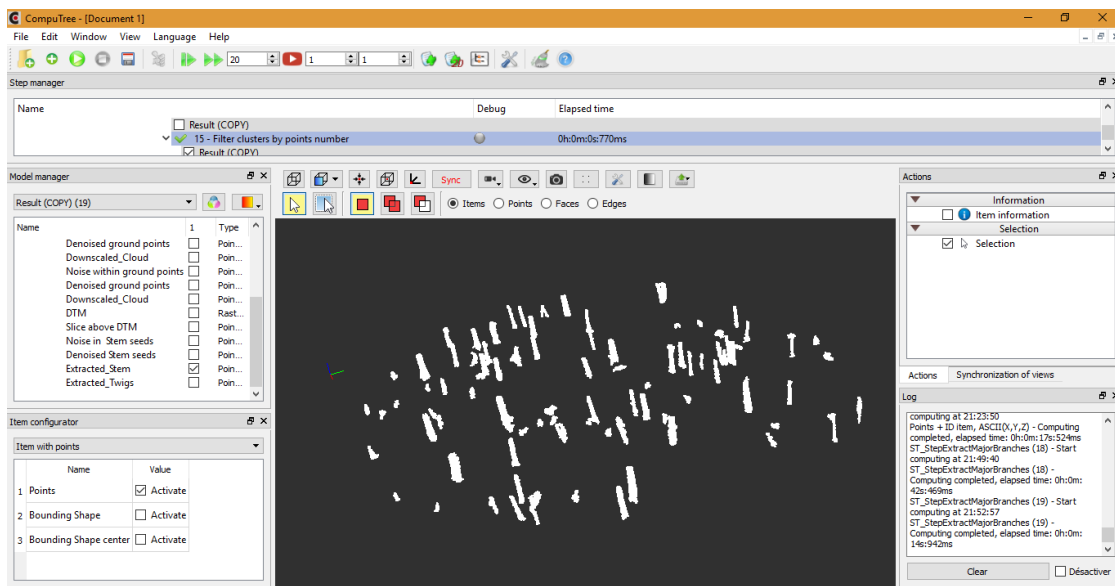


Imagen 13. Exportación de las semillas a partir del recorte de la nube de puntos



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Podemos apreciar en la imagen 13 que el programa ha despreciado todos los puntos que estaban asociados a la vegetación baja y ha generado un conjunto de nubes a partir de los troncos.

Seguidamente, vamos a agrupar cada nube de puntos, para que genere una identidad y poder segmentar los árboles de la escena de origen. Para ello, emplearemos la herramienta *An euclidean clustering operation. Produces sub clouds of the cluster*. Este es el proceso previo a la segmentación. Como se ha definido previamente, el programa segmentará los árboles, cogiendo como referencia aquellos puntos que si pueden ser reconocibles y son individuales dentro de la escena.

El siguiente paso a emplear es la segmentación de los árboles, para ello, emplearemos la herramienta de segmentation tree. Para poder realizar la segmentación oportuna, debemos de emplear la nube de puntos de vegetación y la nube que ha generado la agrupación de los troncos.

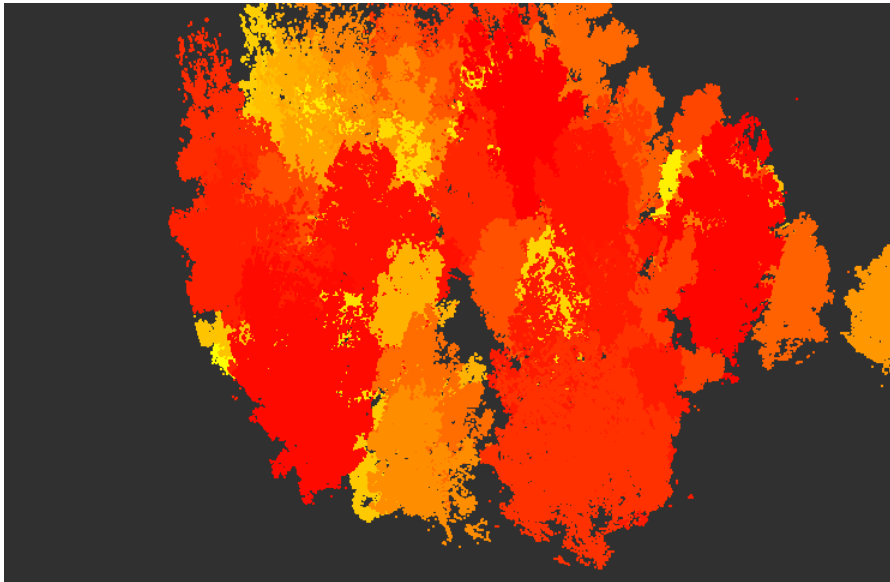


Imagen 14. Visualización de los árboles segmentados, coloreándolos empleando la identidad

En la imagen 14, apreciamos que el programa detecta cada árbol y lo colorea de un color diferente. El aspecto asociado a la coloración hace referencia a la identidad que el programa ha generado automáticamente al realizar la agrupación previa a la segmentación. La variable que se ha empleado para la representación ha sido emplear la identidad como referencia.

El siguiente proceso es el filtrado de los puntos de la segmentación. Para ello, emplearemos dos herramientas. La primera *Filter cluster by their bounding box*. En este caso filtrará la nube de puntos segmentada, empleando un área de superficie como límite. Esta área la debemos de definir nosotros.

La segunda herramienta es *Filter cluster by points number*. Esta herramienta elimina un determinado número de puntos dentro de cada agrupación. El número de los puntos lo define el usuario. En este caso práctico, se ha empleado el valor de 500.



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Para finalizar el proceso asociado a la segmentación, vamos a realizar la exportación de los datos. En este caso emplearemos la opción de *points (1file/scene), X, Y, B*. El programa generará tantos ficheros XYB como segmentación ha realizado.

### 3.1.3 Pre-Proceso

Este proceso tiene la función de preparar los datos para generar la modelización que caracteriza el programa SimpleTree. Para obtener la modelización, vamos a realizar el siguiente procedimiento para el conjunto de las nubes de puntos que se ha segmentado de la nube de puntos de origen.

- *Create a list of readers*
- *Load file using readers*
- *Euclidean clustering denoising*
- *Upscale Cloud*
- *Merge multiple clouds*
- *Points (1file/scene), X, Y, B*

En este apartado importaremos las nubes de puntos segmentados, a partir de un fichero de cabecera, que debemos de generar. Esta propiedad servirá para realizar el modelado que se pretende realizar. Importaremos cada árbol empleando el fichero que el programa genera automáticamente. Procesaremos la nube de puntos, separando la parte inferior y superior de cada una, con el objetivo de mejorar el conjunto de las nubes de puntos. Como veremos a continuación, solo podremos trabajar con la parte inferior. Aumentando la densidad de esos puntos. Para finalizar en este pre-proceso, vamos a exportar cada nube de puntos en varios archivos XYB, empleando el mismo proceso que el proceso desarrollado previamente.

En el paso previo, se ha exportado cada árbol a nube de puntos a diferentes ficheros XYB. Por lo tanto, la exportación de estos se ha generado a partir del número de segmentaciones que ha generado el proyecto. Para la importación de los datos, no lo realizaremos de la misma forma, como se ha realizado al principio, importando todas las nubes a la vez. Para este paso, generaremos un fichero de cabecera por cada uno de ellos.

Por ello, emplearemos la herramienta de *Create a list of readers*, la cual se encuentra dentro de la agrupación de carga en Puntos (*Load-Points*). Esta herramienta generará un fichero de cabecera por cada fichero de texto importado. En nuestro caso, importaremos los 49 ficheros generados.

Al realizar la importación previa, se activará la opción de carga usando los ficheros de cabecera (*load file using readers*). Esta opción valida las cabeceras que se ha realizado previamente y podremos visualizar las nubes de puntos importadas al programa. A continuación, en la imagen 15. Como ejemplo del proceso, no se han empleado todas las nubes de puntos que componen el conjunto. Únicamente muestra varias nubes de puntos, esto nos favorecerá, dado que podemos elegir que nube de puntos va a interactuar en cada momento.

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

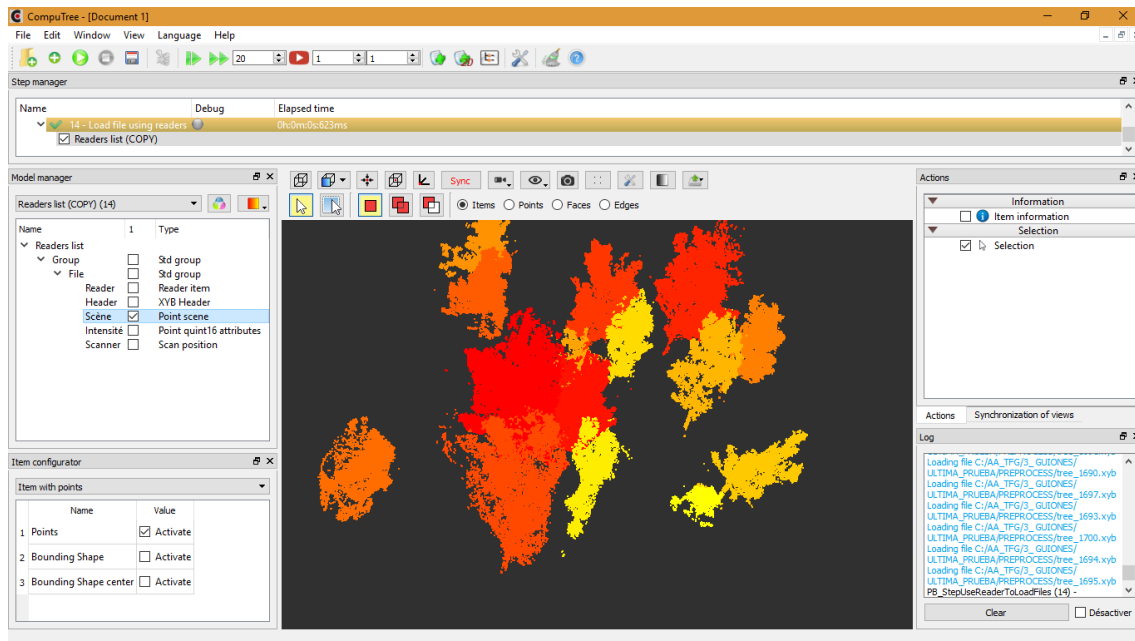


Imagen 15. Visualización de las nubes de punto a partir de las cabeceras de los ficheros

Nuestro siguiente objetivo es mejorar la nube de puntos. En el caso propuesto, se pretende densificar la nube de puntos trabajada. Por ello, vamos a realizar una división de la escena completa, empleando la herramienta de *Euclidean clustering denoising*. Esta herramienta detectará la agrupación mayor de cada nube. Mostraremos las dos nubes que genera como parte superior y parte inferior de cada escena.

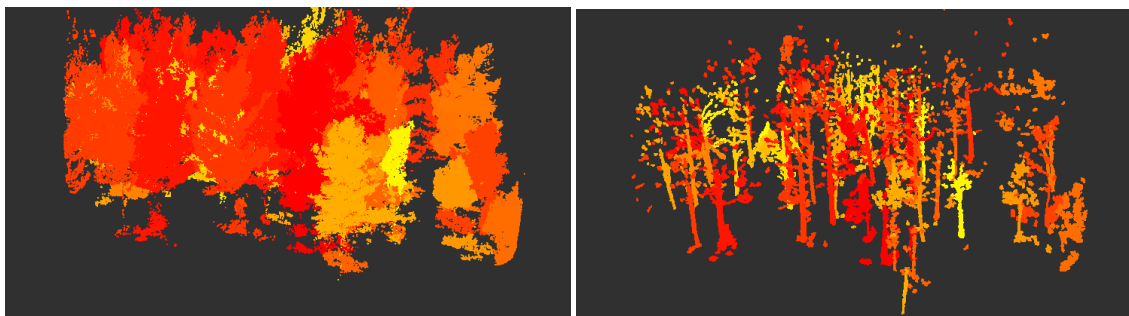


Imagen 16. Resultado de la división generada. La primera es la parte superior de la nube de puntos y la segunda es la parte inferior de la misma

En el conjunto de la imagen 16, encontramos que la parte superior es la parte asociada a la vegetación de cada árbol, en cambio, la parte inferior hace referencia a los troncos. Como podemos apreciar esta nube es la que podemos trabajar para mejorar la densidad de los puntos, dado que comprendemos como es la silueta del propio elemento. El objetivo de aumentar la densidad de puntos es para mejorar la modelización que vamos a realizar en el paso siguiente.

Para eso emplearemos la herramienta *Upscale*. El parámetro más importante es el radio de búsqueda para realizar el cálculo y el parámetro relacionado con la iteración. En nuestro caso ha sido 2. A continuación, mostraremos el resultado de esta densificación de los puntos.

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

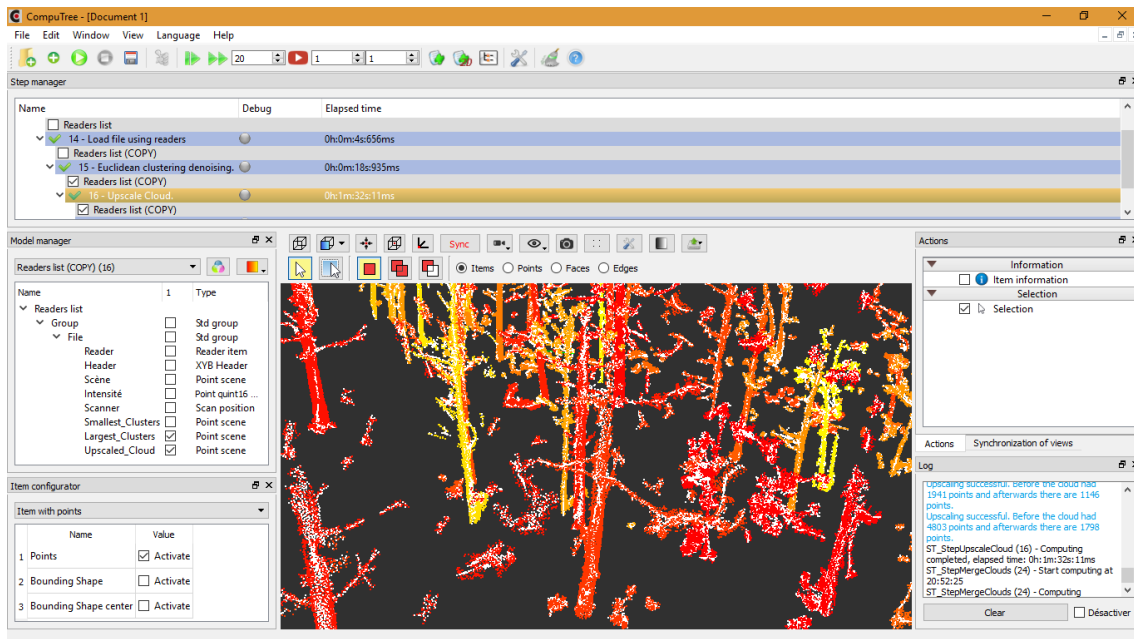


Imagen 17. Combinación de la parte inferior de la clasificación con la nube densificada

En la imagen 17, observamos la agrupación que ha realizado la herramienta asociada a la euclídea, esta está coloreada por la identidad, los puntos blancos son aquellos nuevos puntos que ha generado el programa como densificación de la nube de puntos previa.

Seguidamente, vamos a fusionar la nube de puntos que se ha aumentado por medio de la densificación, con la nube de puntos de escena de origen, la cual emplea todas las nubes de puntos trabajadas.

Para finalizar este proceso, vamos a exportar cada nube o árbol a un fichero XYB.

### 3.1.4 Modelización QSM

Este es el último proceso que vamos a realizar en CompuTree. Vamos a emplear la herramienta que se ha implementado a este programa a partir del software libre SimpleTree.

Cabe añadir que el procesado del modelizado QSM posee un requisito que debemos de cumplir para que pueda generarlo sin ningún inconveniente.

- El centro de la nube de puntos que se va a modelizar, debe de estar aproximadamente a unos 50 metros del punto de origen (0, 0, 0), los datos no deben de estar georreferenciado. Por esta razón, se ha generado la traslación de las coordenadas de los puntos que intervienen en el estudio.
- No se puede modelizar ningún árbol exótico, dado que la herramienta no está preparada para ello

El esquema de trabajo que se ha seguido en este apartado ha sido el siguiente.

- *Create a list of readers*
- *Load file using readers*
- *QSM spherofollowing method- advance for plot*
- *Export SimpleTree QSM output*

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Como ya hemos trabajado anteriormente, vamos a importar los datos a partir de un fichero cabecera. Este lo generaremos a partir de los ficheros generados en el paso previo. El objetivo de esta importación es que el modelizado QSM necesita de la cabecera del fichero de entrada para poder realizar el proceso deseado. Cabe añadir que se ha intentado realizar el modelizado de todo el conjunto, consiguiendo que el programa se cerrara. Por lo que se ha optado por realizar esa modelización empleando un solo elemento. En algunos casos sí que lo ha realizado, en otros lo ha calculado, pero no lo representa y en otros casos se cierra el mismo. Por ello, el seguimiento de esta práctica se realizará sobre una nube de puntos que si se ha obtenido el modelizado deseado.

Seguidamente, importaremos una nube de puntos. De entre todos los árboles disponibles, hemos decidido centrarnos en un solo árbol, dado que, la obtención de los resultados serán idénticos y poseerán las mismas estructuras de la obtenida por este árbol. En la imagen 18, podemos observar la nube de puntos que compone la estructura del árbol:

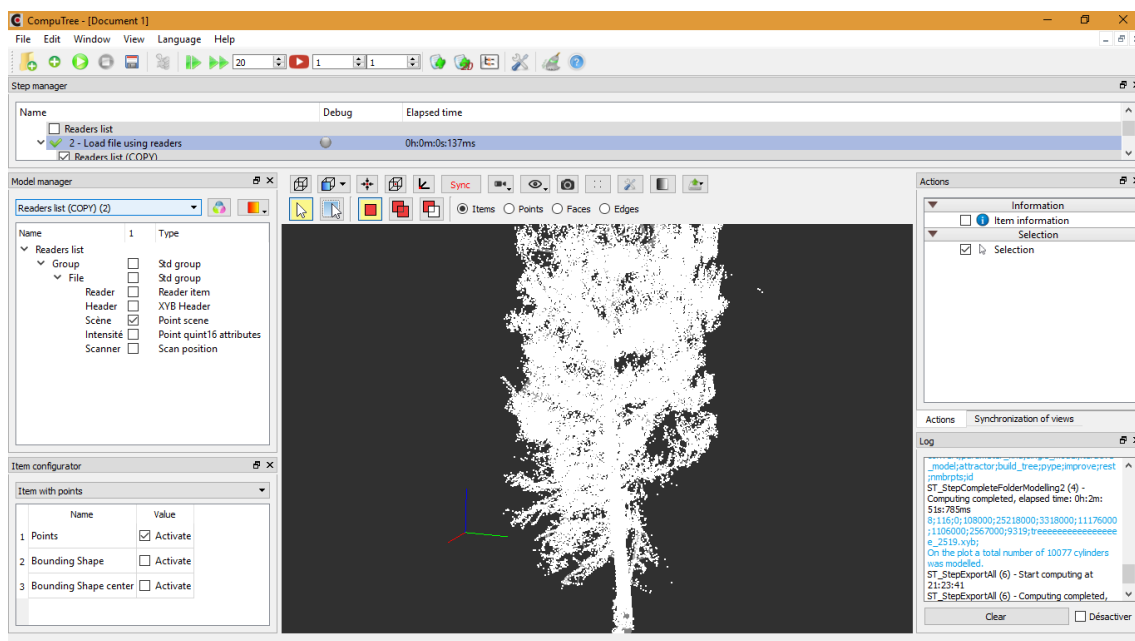


Imagen 18. Visualización de una nube de puntos a partir de la cabecera generada

Como se ha realizado previamente, crearemos el fichero de cabecera de los puntos y cargaremos los datos de ese fichero de cabecera.

El siguiente paso a realizar es el modelizado QSM.

La imagen 19 muestra la ventana de la herramienta disponible.

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

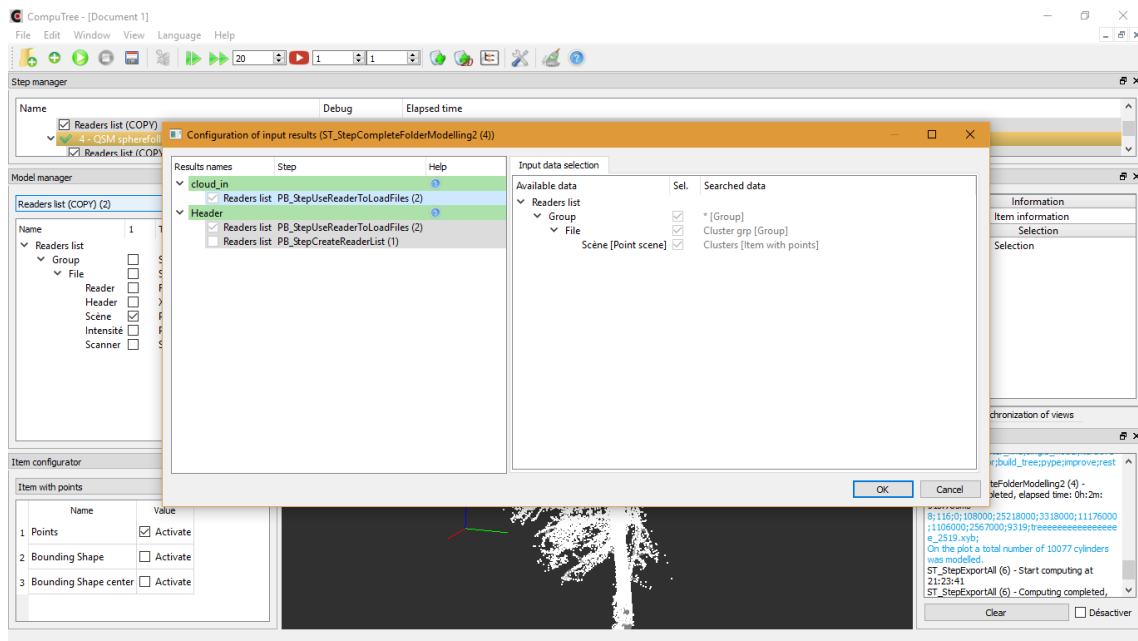


Imagen 19. Nubes que intervienen en la operación

Como primera opción, debemos de seleccionar la nube de puntos que vamos a emplear, en este caso, al encontrarnos con solo una nube como resultado de operaciones en el programa, seleccionaremos la escena que lo compone. Como segunda opción, debemos de seleccionar el fichero de cabecera que hemos generado para la importación de los datos.

Seguidamente, nos mostrará la resolución de los cilindros, en nuestro caso se ha empleado el valor por defecto.

A continuación, mostraremos el modelo, diferenciando los componentes que el programa ha detectado como troncos, referido a la parte inferior de la operación euclídea, y la parte superior de la misma.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

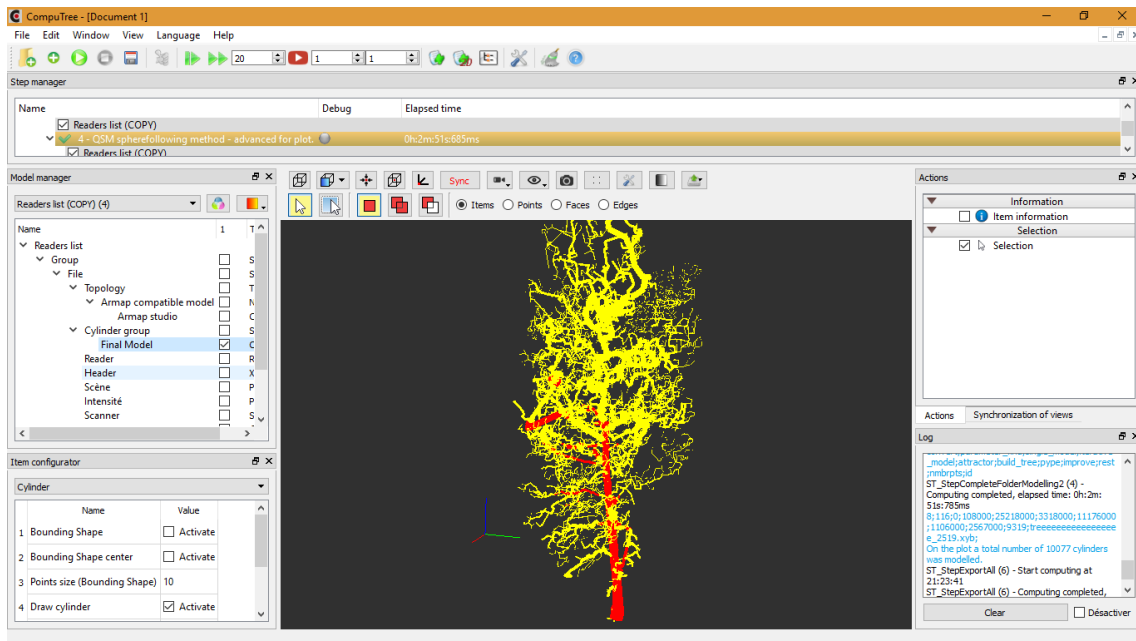


Imagen 20. Visualización del modelo obtenido por el modelado QSM

Para finalizar el proceso de esta herramienta, exportaremos el árbol como Export SimpleTree QSM output. Esta herramienta exportará los resultados de la operación previa, generando ficheros csv con los coeficientes empleados y la lista de resultados. Como aportación geométrica, ha generado diversos ficheros ply, donde registra los parámetros geométricos.

<b>min_fitted_distance</b>	0,030
<b>sphere_radius_multiplier</b>	190,859
<b>epsilon_cluster_stem</b>	0,040
<b>epsilon_cluster_branch</b>	0,224
<b>epsilon_sphere</b>	0,045
<b>minPts_improve_cylinder</b>	20,000
<b>minPts_ransac_branch</b>	3,000
<b>minPts_cluster_stem</b>	3,000
<b>minPts_cluster_branch</b>	3,000
<b>min_radius_sphere</b>	0,081
<b>height_start_sphere</b>	0,100
<b>ransac_circle_type</b>	5,000
<b>ransac_circle_inlier_distance</b>	0,037
<b>cut_height</b>	0,320
<b>number_clusters_for_spherefollowing</b>	10,000
<b>use_dhs</b>	1,000
<b>clustering_distance</b>	0,050
<b>tree_height</b>	14,2382
<b>tree_circumference</b>	0,888
<b>tree_predicted_volume</b>	0,537
<b>tree_max_angle</b>	45,000
<b>percentage_for_attractor</b>	0,400

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

<b>use_allom</b>	1,000
<b>a</b>	35,671
<b>b</b>	2,204
<b>a_length</b>	0,000
<b>b_length</b>	0,000
<b>minRad</b>	0,003
<b>ransac_type</b>	5,000
<b>ransac_inlier_distance</b>	0,050
<b>ransac_iterations</b>	100,000
<b>ransac_median_factor</b>	5,000
<b>min_dist</b>	0,000
<b>factor</b>	3,000
<b>sd</b>	0,014
<b>mean</b>	0,032
<b>sd_mult</b>	3,000
<b>optimze_stem</b>	0,000
<b>radius_multiplier_cylinder_test</b>	3,000
<b>times_cluster_extension</b>	0,000
<b>max_times_cluster_extension</b>	2,000
<b>min_ratio_pype</b>	0,500
<b>max_ratio_pype</b>	1,500
<b>min_radius_for_pype_test</b>	0,035
<b>max_number_failure_segments</b>	0,000
<b>id</b>	tree_760747.xyb
<b>species</b>	unknown
<b>outputpath</b>	D:/
<b>number_merges</b>	1,000

Figura 2. Datos generados por el programa al realizar el QSM

Podemos apreciar todos los parámetros que emplea el programa para realizar el cálculo propuesto en la figura 2. Seguidamente, destacaremos aquellos que deberíamos tener en cuenta para este o cualquier otro proyecto de estas características.

- **min\_fitted\_distance**, este es el valor de la distancia mínima que podemos encontrar entre las uniones de los cilindros. En nuestro caso es de 0,030 metros
- **sphere\_radius\_multiplier**, el valor mencionado es 190,859, indicará el valor sobre el que multiplicará al radio de las esferas de que intervienen.
- **epsilon\_cluster\_stem/branch/sphere**, el valor destacado, indicará el valor del ratio de la elipse de agrupación del tronco, las ramas y las esferas del cálculo.
- **min\_radius\_sphere**, indicará el valor mínimo del radio que se atribuye a las esferas
- **tree\_height**, indica la altura del árbol que ha intervenido en el cálculo. En nuestro caso es de 14,2382 metros de alto.
- **tree\_predicted\_volume**, indica el valor del volumen del árbol obtenido, el cual es de 0,537 metros cúbicos.

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

- id, muestra la identidad que el programa atribuye automáticamente al árbol, con el nombre de la carpeta de almacenamiento. En nuestro caso se ha definido como tree\_760747.xyb
- especies, indica el tipo de especie, en nuestro caso es desconocido porque no está registrado.
- Outputpath, este último parámetro a destacar indicará el directorio de almacenamiento de los datos tras el proceso.

Una vez tratados los parámetros analíticos obtenidos por medio del fichero CSV. A continuación, trataremos aquellas composiciones geométricas generadas por el programa tras el procedimiento del QSM. Gracias a esta exportación, podemos importar la figura a cualquier programa que trabaje en objetos. Como CloudCompare o 3D Bulider.

Seguidamente, mostraremos todos los componentes que ha generado, cabe añadir, que el programa también genera un objeto, por cada componente. Podemos diferenciar estos componentes como bueno o malo. La imagen anterior muestra el objeto completo, seguidamente mostraremos las capas que ha discriminado o clasificado de esa manera:

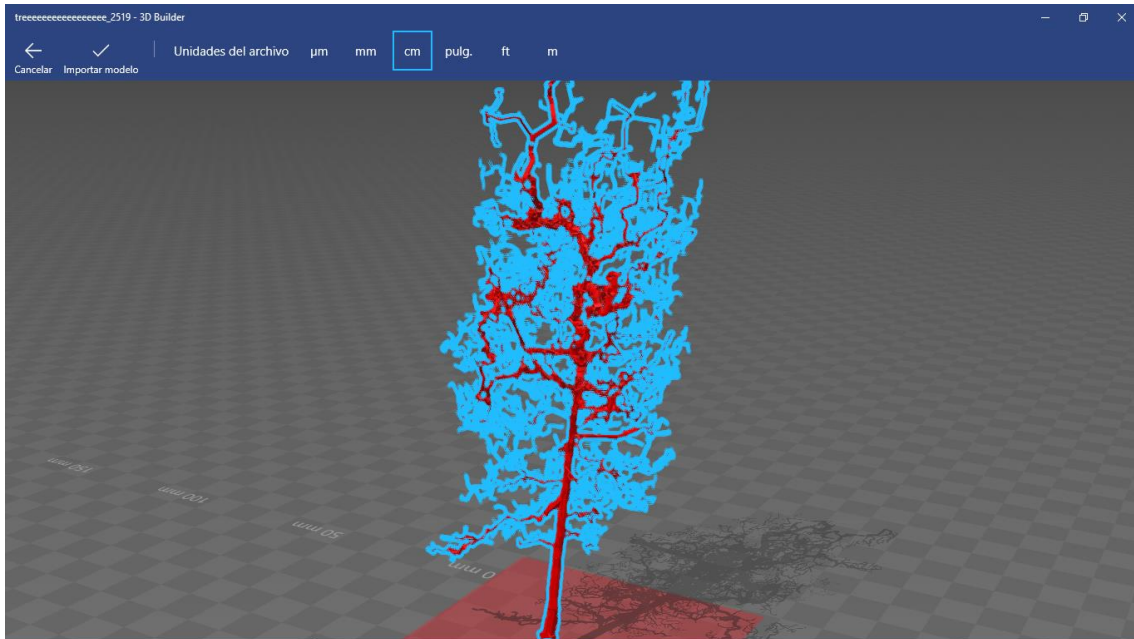


Imagen 21. Visualización de la allometría



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

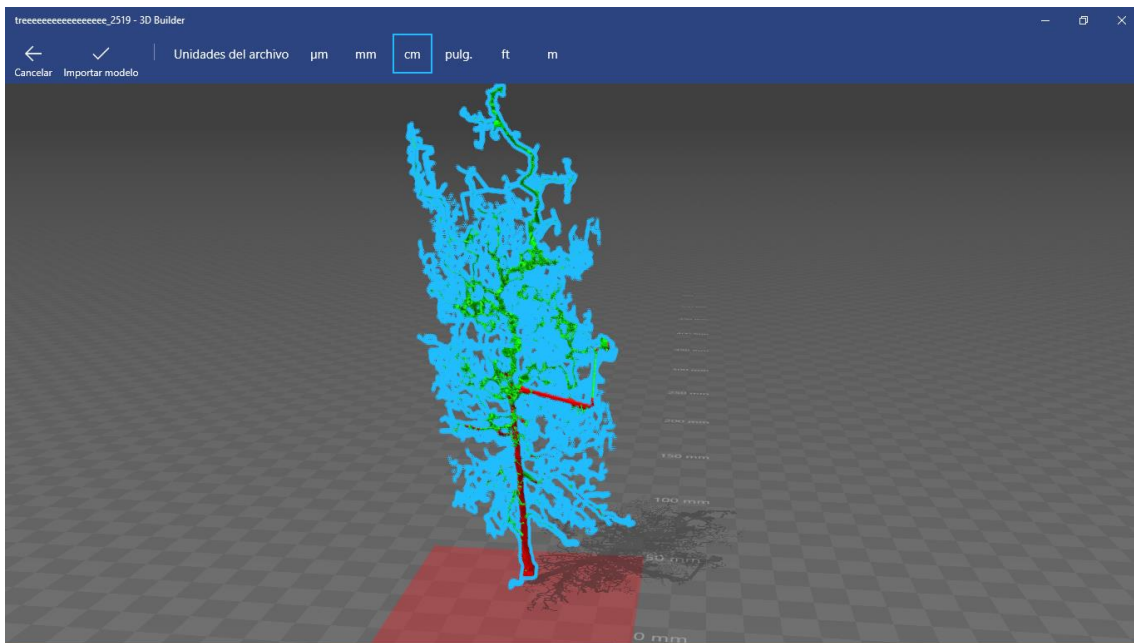


Imagen 22. Visualización de la mejora realizada

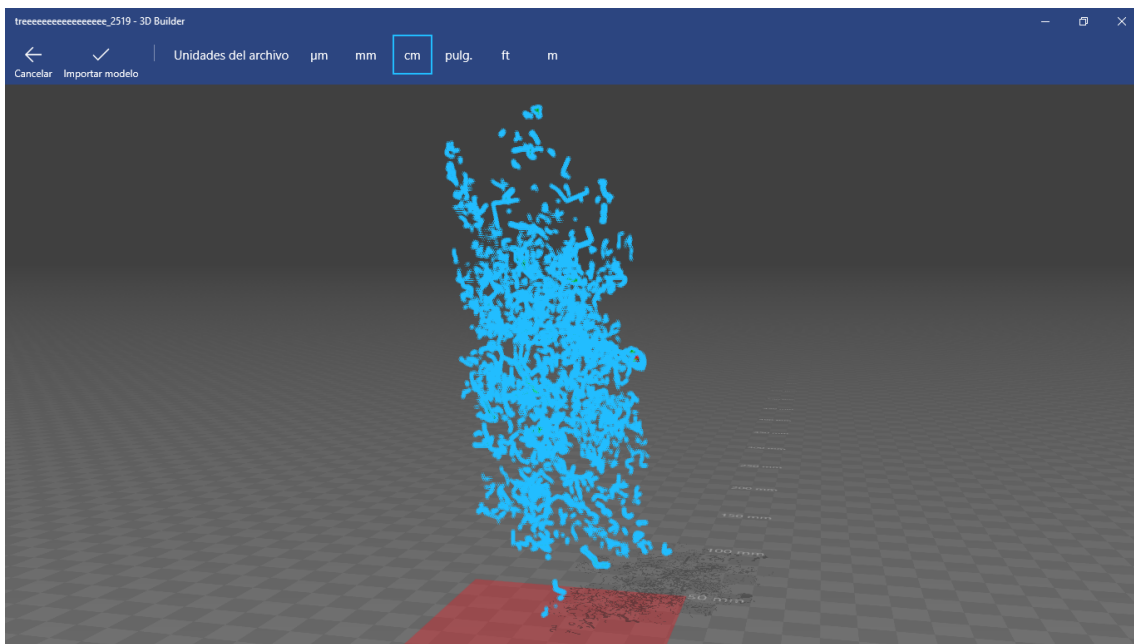


Imagen 23. Visualización de las hojas detectadas por el programa

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

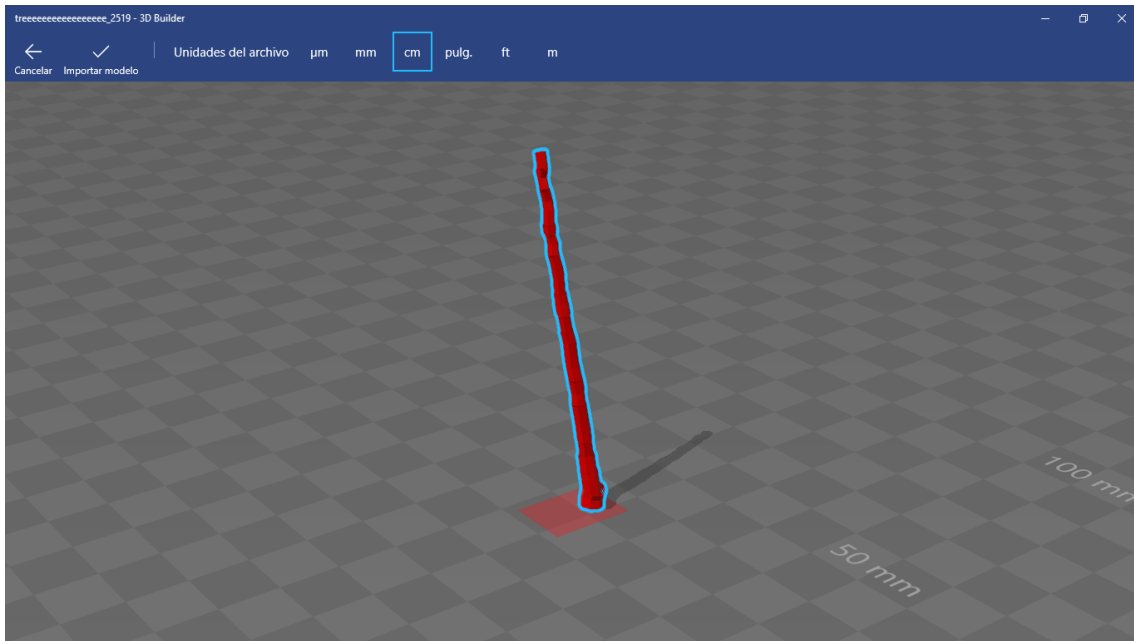


Imagen 24. Visualización del tronco del árbol detectado

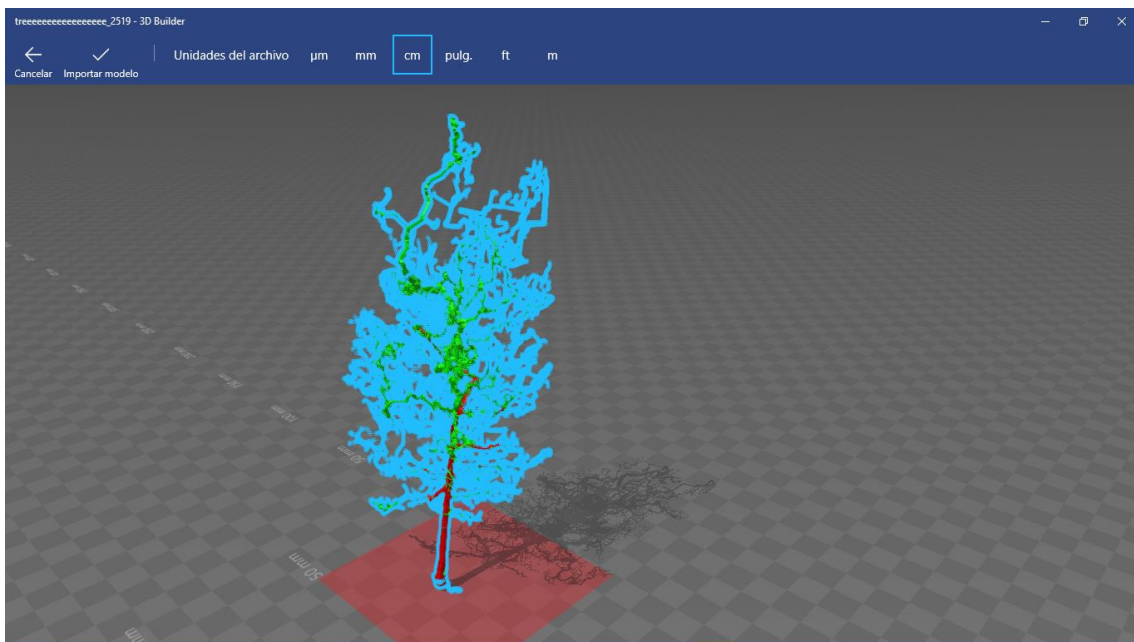


Imagen 25. Visualización del modelo completo generado en un visor tridimensional

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

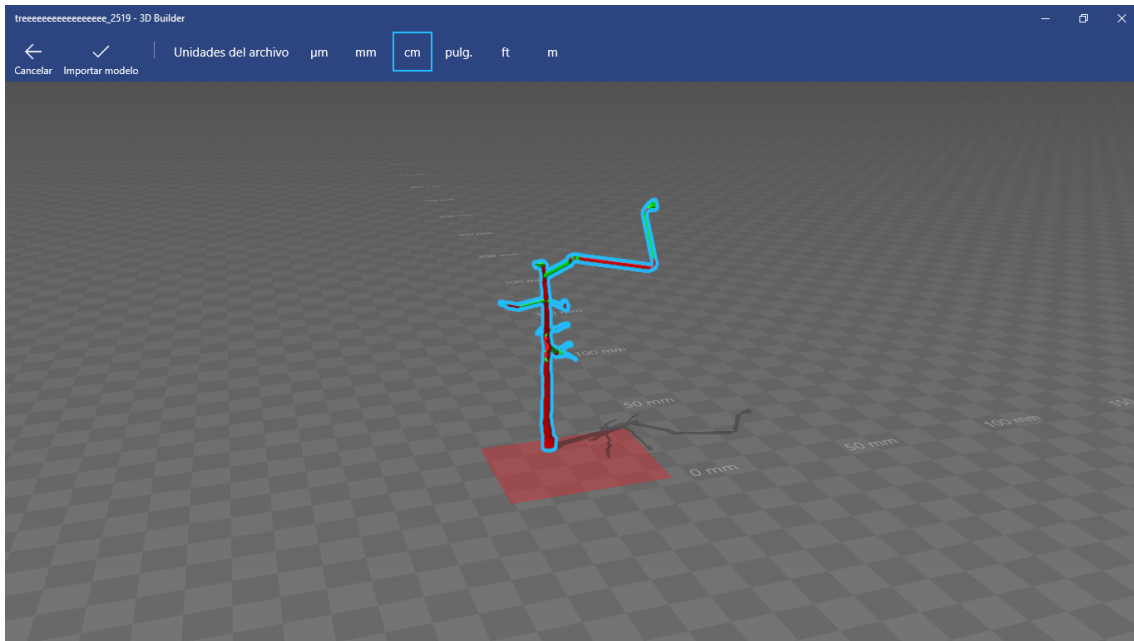


Imagen 26. Visualización de la parte que nombre como buena

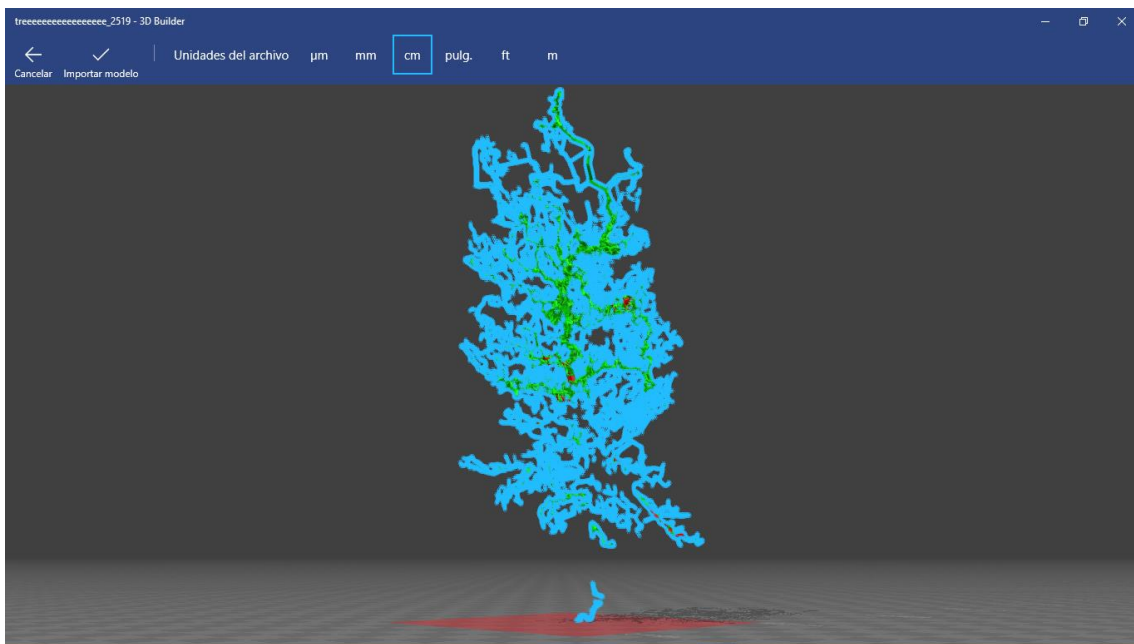


Imagen 27. Visualización la parte que nombra mala

Para concluir con esta modelización, mostraremos el fichero en CloudCompare.

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

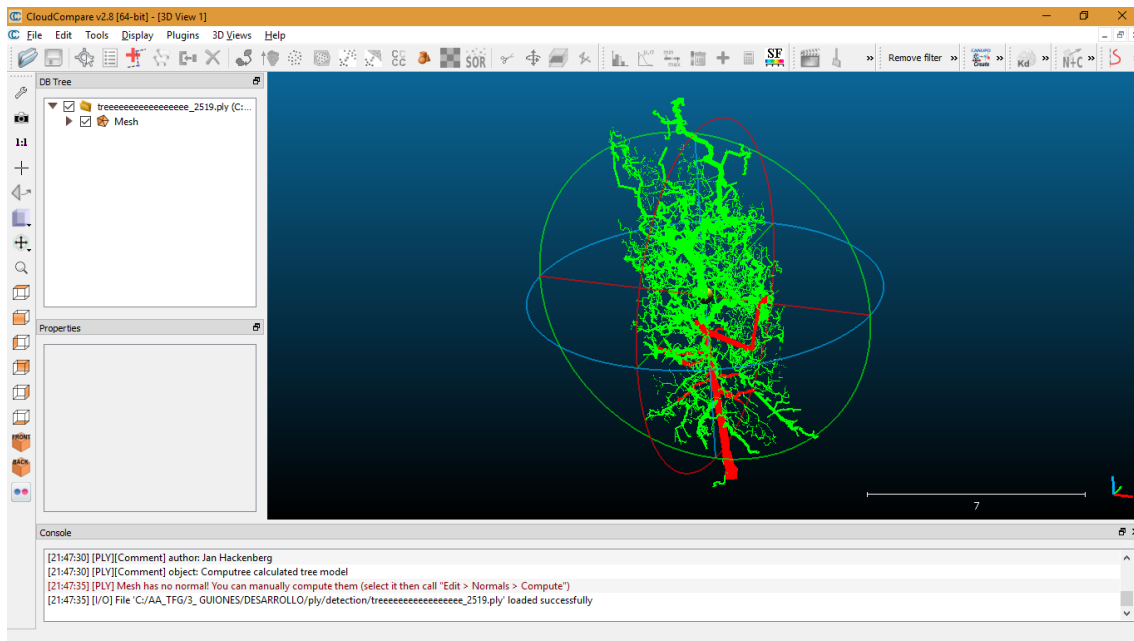


Imagen 28. Visualización del modelo completo en otro software de soporte tridimensional CloudCompare

### 3.1.5 Cálculo de DBH

En el siguiente apartado se tratará uno de los parámetros asociados al cálculo del volumen que poseen los árboles. En este caso, el acrónimo mencionado DBH, refiriéndose al diámetro que posee el tronco a una altura definida constante o por medio de un porcentaje.

Este atributo se ha generado para poder permitir la comparativa de las medidas, dado que deben de poseer la misma altura de la superficie o de referencia. Por ello, es importante definir una altura que permita a cualquier usuario tomar la medición del mismo árbol o tronco. Dependiendo de la zona se empleará un valor diferente de referencia en relación a la altura. En la zona de Europa continental, Australia, Reino Unido o Canadá emplean una altura absoluta de 1.3 metros. Otro ejemplo de altura estaría localizado en Nueva Zelanda, India, Malasia o Sudáfrica, los cuales sitúan la altura a 1.4 metros, o en Japón emplean 1.25 metros.

En referencia a la altura relativa definida por un porcentaje de la altura total, se observa que para el cálculo del volumen de un árbol se obtiene mejor empleando alturas relativas y no absolutas. Por ello, en nuestro estudio combinaremos ambas metodologías. En nuestro caso se ha empleado un porcentaje del 5%.

Como se ha mencionado con anterioridad, este también es uno de los puntos que se exige para la prueba del programa empleado.

El programa calcularía los valores del DBH y de volumen, empleando cada elemento individualmente. Pero hemos apreciado que no podemos obtener todos los modelos QSM de la parcela, dado que el programa se satura. Por ello vamos a emplear otra vez el programa de apoyo para poder obtener el valor de los mismos DBH, con el propósito de obtener los volúmenes de cada árbol, empleando el valor del diámetro asociado a una altura absoluta o relativa.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Para ello, vamos a programar la siguiente ecuación para poder calcular el volumen de los propios árboles:

$$V = DBH * DBH * \frac{\pi}{4} * H * FM$$

Donde el parámetro DBH significa es el diámetro a la altura del pecho del árbol (Diameter at breast height). El valor H es la diferencia de altura desde el suelo hasta la copa del árbol y el valor de FM es el factor mórfico.

El factor mórfico es aquel que ayuda a definir el volumen del árbol, empleando constantes como la forma de la especie, el tamaño o la edad que presenta el árbol estudiado. Es el resultado de obtener el diámetro a la altura del pecho, empleando el mismo diámetro a una altura concreta. En el caso más común, es el resultado de comparar el diámetro de la altura respecto a la que se ha tomado, con el diámetro a una altura de 5.2 metros. Seguidamente, mostraremos la fórmula empleada.

$$FM = \frac{DH (a 5.3m)}{DBH}$$

Se ha mostrado la forma de obtener el parámetro destacado, empleando el valor del diámetro a la altura del pecho y el diámetro del árbol a una altura determinada. Aunque también podemos emplear de tablas de referencia, donde muestran los factores destacados para el cálculo destacado. En el siguiente fragmento de tabla se muestran alguno de estos.

Especie	M
Romerillo macho	0.89
Selva baja	0.65
<b>Coníferas</b>	<b>0.60</b>
Otras especies	0.75

*Fragmento de la tabla de los valores mórficos obtenida por el instituto forestal*

En nuestro ámbito de estudio, nos encontramos que los árboles estudiados son coníferas, por lo tanto, emplearemos el valor del factor mórfico para el cálculo del volumen de los árboles que intervienen en nuestra parcela.

$$Vol 1.3 = DBH(a 1.3 m) * DBH(a 1.3 m) * \frac{\pi}{4} * H * 0.6$$

$$Vol 5\% H = DBH(5\% H) * DBH(5\% H) * \frac{\pi}{4} * H * 0.6$$

Por otra parte, para el estudio, vamos a emplear dos tipos de DBH, para contrastar la idea que se ha planteado anteriormente respecto a emplear una altura relativa es más fiable que emplear una altura constante. Por ello, se obtendremos el volumen de cada árbol, empleando ambas metodologías en obtener el parámetro DBH.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

### 3.2 Resultado de la operación del volumen de madera de cada árbol

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos a partir de la función creada de MatLAB.

ID	H	DBH 1.3	DHB 5%H	Vol 1.3 m	Vol 5%
760731	10,16	0,665	0,583	2,657	1,629
760735	12,671	0,356	0,532	0,757	1,69
760737	9,512	0,166	0,905	0,403	3,671
760739	7,177	0,733	0,559	1,816	1,057
760741	13,197	0,284	0,425	0,502	1,123
760743	12,482	0,624	0,569	2,29	1,903
760745	13,411	0,272	0,401	0,469	1,016
760747	13,96	0,325	0,509	0,693	1,704
760749	11,128	0,185	0,511	0,218	1,372
760751	15,85	0,438	0,454	1,433	1,539
760753	13,115	0,277	0,537	0,515	1,779
760755	8,428	0,224	0,525	0,32	1,095
760757	16	0,242	0,437	0,443	1,44
760759	13,066	0,242	0,39	0,361	0,934
760761	11,627	0,172	0,589	0,161	1,901
760763	12,088	0,182	0,396	0,188	0,893
760765	13,375	0,317	0,437	0,633	1,204
760767	12,619	0,208	0,372	0,258	0,821
760769	9,548	0,188	0,337	0,159	0,51
760771	11,302	0,195	0,24	0,203	0,308
760773	11,563	0,182	0,466	0,181	1,183
760775	13,686	0,12	0,424	0,093	1,159
760777	11,068	0,165	0,329	0,143	0,565
760779	15,052	0,252	0,365	0,452	0,945
760781	11,233	0,24	0,435	0,305	1,002
760783	5,501	0,049	0,491	0,019	0,625
760785	8,942	0,128	1,299	0,069	7,105
760787	7,736	0,093	0,413	0,031	0,62
760793	11,797	0,144	0,451	0,115	1,133
760795	12,014	0,156	0,213	0,138	0,256
760797	13,443	0,894	0,505	5,058	1,616
760799	6,93	0,306	0,325	6,478	0,345
760801	7,556	0,045	0,213	0,029	0,162
760803	9,903	0,129	0,328	0,078	0,502
760805	9,016	0,131	0,388	0,073	0,64
760809	7,187	0,075	0,196	0,051	0,13
760811	11,595	0,091	0,209	0,045	0,239



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

760813	7,556	0,045	0,194	0,032	0,134
760825	11,902	0,685	0,653	2,632	2,392
760827	15,147	0,108	0,149	0,083	0,158
760831	6,748	0,412	0,445	0,54	0,63
760837	8,683	2,282	2,423	21,308	24,022
760839	12,584	0,089	0,295	0,077	0,516
760841	11,905	1,959	1,791	21,541	17,996
760843	6,247	1,106	2,129	14,745	13,343
760849	9,154	2,66	2,691	30,522	31,238
760853	9,84	1,374	0,12	8,754	0,067
760859	5,305	1,912	0,987	9,143	2,435
760867	9,496	0,345	1,622	0,57	11,774
760869	5,432	2,796	2,735	20,012	19,148
760873	11,724	0,09	0,224	0,045	0,277

Figura 3. Tabla de resultados estadísticos de los cálculos del volumen por árbol

Como se ha definido anteriormente, la figura 3 incluye los resultados obtenidos por el cálculo del volumen por cada árbol. Esta tabla, la podemos dividir en las siguientes columnas.

- La primera columna es el valor de la identidad que atribuye CompuTree tras la segmentación
- La segunda columna es el valor de la altura obtenida por realizar la diferencia entre los valores de las coordenadas Z.
- La tercera columna es valor del DBH a una altura de 1.3 metros constante
- La cuarta columna son los valores del DBH empleando un porcentaje del 5% de la altura total del árbol
- La quinta columna es el valor del volumen obtenido a partir del valor del DBH a una altura de 1.3 metros
- La sexta columna hace referencia al valor del volumen a partir de un porcentaje DBH a un 5% de la altura total del árbol

A continuación, trabajaremos sobre estos datos. Obtendremos los valores estadísticos, que muestra la figura 4, que podemos extraer por medio de estos datos. Estos son los valores máximos y mínimos, la media y la desviación típica asociados a la altura, los diámetros de los árboles y al volumen de toda la parcela de estudio. Estos valores hacen referencia a la altura empleada para situar el DBH.

	H	DBH 1,3	DBH 5%	Vol 1,3	Vol 5%
<b>Minimo</b>	5,305	0,045	0,120	0,019	0,067
<b>Maximo</b>	16,000	2,796	2,735	30,522	31,238
<b>Media</b>	10,719	0,497	0,651	3,095	3,332
<b>Desviación</b>	2,7902	0,6727	0,6343	6,6864	6,503
<b>Total</b>				157,841	169,946

Figura 4. Tabla de los valores estadísticos obtenidos a partir de la tabla de resultado

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

En la figura 4, observamos la tabla de valores estadísticos, donde los diámetros están en metros y los volúmenes en metros cúbicos, que se ha extraído de los datos en bruto. Como podemos observar, en el estudio que se está generando, está asociado a un tipo de árbol, en concreto, los árboles estudiados son coníferas.

Por lo tanto, no podemos encontrarnos diámetros de troncos mayor de 2 metros, ni tampoco volúmenes como en algunos casos de 30m<sup>3</sup>. Por lo tanto, vamos a realizar un proceso de depuración, para quedarnos con los valores que nos interesan y eliminar aquellos puntos anómalos del estudio. Para ello, se han eliminado aquellos árboles cuyos diámetros o volúmenes eran superiores a la media sumada por una desviación típica. Como consiguiente, se han eliminado 11 árboles, dado que no cumplían y se encontraban por encima de la condición marcada.

El error generado por los diámetros se debe a que, en la selección del diámetro, el programa ha detectado puntos asociados a las ramas como troncos. Esto se debe a que el inicio de estas ramas se encuentra inferior a la altura definida para obtener el propio DBH.

Seguidamente, vamos a despreciar aquellos valores que han generado un valor de volumen mayor. Dado que unas cantidades abusivas destacados no son valores reales, por lo tanto, aproximaremos los valores estadísticos a la mayor comprensión que podemos generar.

ID	H	DBH 1.3	DHB 5%H	Vol 1.3 m	Vol 5%
760731	10,160	0,665	0,583	2,657	1,629
760735	12,671	0,356	0,532	0,757	1,690
760739	7,177	0,733	0,559	1,816	1,057
760741	13,197	0,284	0,425	0,502	1,123
760743	12,482	0,624	0,569	2,290	1,903
760745	13,411	0,272	0,401	0,469	1,016
760747	13,960	0,325	0,509	0,693	1,704
760749	11,128	0,185	0,511	0,218	1,372
760751	15,850	0,438	0,454	1,433	1,539
760753	13,115	0,277	0,537	0,515	1,779
760755	8,428	0,224	0,525	0,320	1,095
760757	16,000	0,242	0,437	0,443	1,440
760759	13,066	0,242	0,390	0,361	0,934
760761	11,627	0,172	0,589	0,161	1,901
760763	12,088	0,182	0,396	0,188	0,893
760765	13,375	0,317	0,437	0,633	1,204
760767	12,619	0,208	0,372	0,258	0,821
760769	9,548	0,188	0,337	0,159	0,510
760771	11,302	0,195	0,240	0,203	0,308
760773	11,563	0,182	0,466	0,181	1,183
760775	13,686	0,120	0,424	0,093	1,159
760777	11,068	0,165	0,329	0,143	0,565
760779	15,052	0,252	0,365	0,452	0,945
760781	11,233	0,240	0,435	0,305	1,002

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

760783	5,501	0,049	0,491	0,019	0,625
760787	7,736	0,093	0,413	0,031	0,620
760793	11,797	0,144	0,451	0,115	1,133
760795	12,014	0,156	0,213	0,138	0,256
760797	13,443	0,894	0,505	5,058	1,616
760801	7,556	0,045	0,213	0,029	0,162
760803	9,903	0,129	0,328	0,078	0,502
760805	9,016	0,131	0,388	0,073	0,640
760809	7,187	0,075	0,196	0,051	0,130
760811	11,595	0,091	0,209	0,045	0,239
760813	7,556	0,045	0,194	0,032	0,134
760825	11,902	0,685	0,653	2,632	2,392
760827	15,147	0,108	0,149	0,083	0,158
760831	6,748	0,412	0,445	0,540	0,630
760839	12,584	0,089	0,295	0,077	0,516
760873	11,724	0,090	0,224	0,045	0,277

Figura 5. Tabla de los resultados tras la eliminación de los valores anómalos

La figura 5, muestra los datos depurados en el estudio, en este caso, ya no nos encontramos con los valores anómalos que se ha destacado anteriormente. Podemos afirmar que esta vez, los datos sí son idóneos y están preparados para el procesamiento de estos, comprándolos entre sí.

A continuación, mostraremos la tabla estadística extraída de los datos anteriores:

	H	DBH 1,3	DBH 5%	Vol 1,3	Vol 5%
<b>Mínimo</b>	5,501	0,045	0,149	0,019	0,130
<b>Máximo</b>	16,000	0,894	0,653	5,058	2,392
<b>Media</b>	11,380	0,258	0,405	0,607	0,970
<b>Desviación</b>	2,6080	0,2034	0,1277	0,9998	0,5821
<b>Total</b>				24,296	38,802

Figura 6. Tabla de los parámetros de los árboles asociados a la altura, a los tres diámetros de los árboles y los volúmenes obtenidos de la parcela.

En la figura 6, observamos las características de los árboles que se encuentran en la parcela estudiada. Podemos afirmar que se ha extraído un total de 40 árboles, los cuales, las alturas varían entre los 5 metros a los 16 metros, obteniendo valores de los DBH que no superan el metro de diámetro y el valor inferior es de 5 centímetros. Este último dato puede deberse a que, al realizar la densificación de los troncos, los puntos que se encuentran en el rango de búsqueda referido a una altura de 1.3 metros, no se ha realizado como se debería, dado que no es comprensible el cambio del valor del DBH tan brusco, asociado a árboles que poseen una altura de entre 7 y 11 metros.

Por otra parte, podemos apreciar una clara diferencia de volumen, empleando un método u otro. Empleando la altura constante, el valor del volumen total de la parcela es de 24 m<sup>3</sup> y en la

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

obtención del DHB por medio del porcentaje, se ha obtenido como volumen total de la parcela  $38\text{m}^3$ .

Seguidamente extraeremos las gráficas que podemos generar por medio de los datos, con el propósito de entender la tendencia de cada uno, comparando los valores asociando los diámetros de los árboles, dependiendo de la altura tratada y el volumen que se puede extraer, en relación con el valor del diámetro.

A continuación, compararemos la tendencia que poseen los diferentes diámetros en relación con el volumen obtenido, destacando la diferencia de emplear distancias relativas o absolutas. Para ello, se observará la dispersión de los puntos tomados y compararemos las líneas de regresión y el error mínimo cuadrático obtenidos por ambas gráficas.

A continuación, estudiaremos la relación que poseen los datos, asociando el valor del diámetro con el valor del volumen obtenido. Comentaremos la línea de regresión que podemos extraer de cada uno y el error mínimo cuadrático. Las gráficas están representadas en la figura 7.

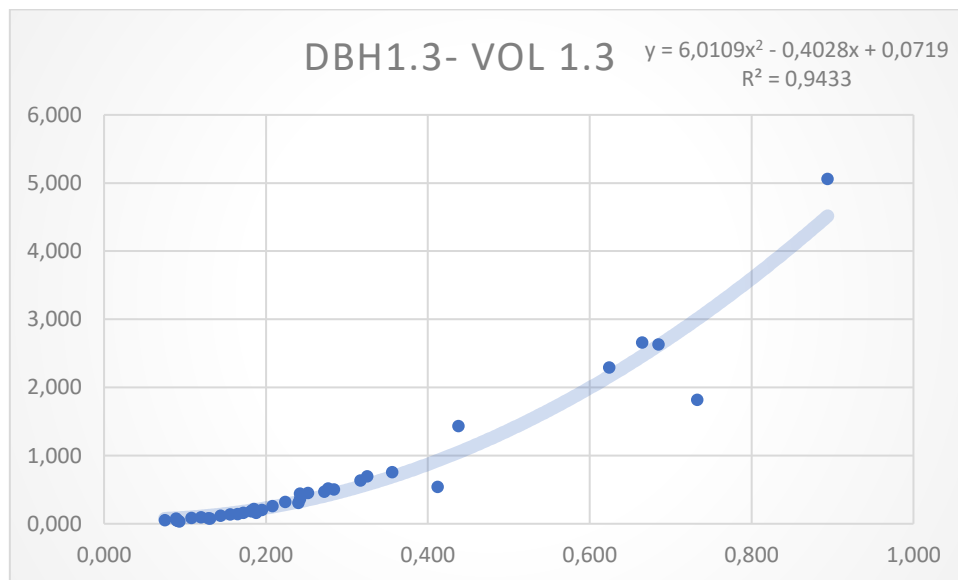


Figura 7. Gráficas que comparan los valores del DBH obtenido empleando una altura absoluta, con el valor del volumen obtenido

Apreciamos una clara tendencia creciente en ambas gráficas. Esto nos afirma que, a mayor valor obtenido en el DBH, se obtendrá mayor volumen que podemos extraer del árbol estudiado. Se ha decidido emplear como línea de regresión una función polinómica. Dado que es la función que más se aproxima a nuestro entorno de dispersión.

La línea de regresión y el error mínimo cuadrático de la gráfica generada a partir de la altura constante del DBH.

$$y = 6.1019 x^2 - 0.4028 x + 0.0719$$

$$R^2 = 0.9433$$

Observamos que la gráfica obtenida por el DBH a una altura constante, sigue la línea de regresión definida por la ecuación, destacando los cuatro puntos que se encuentran más alejados del rango generado por la misma ecuación polinómica.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

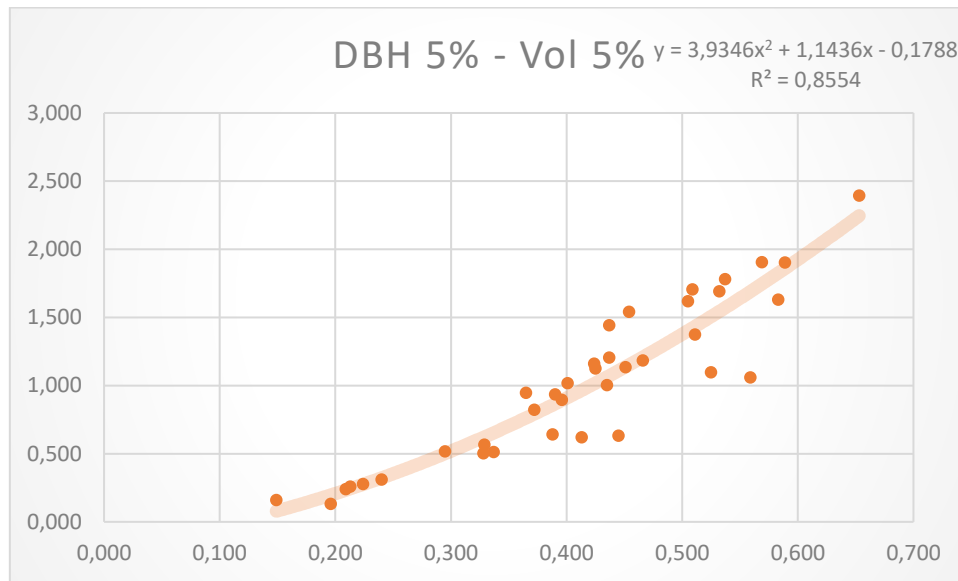


Figura 8. Gráficas que comparan los valores del DBH obtenido empleando una altura relativa, con el valor del volumen obtenido

Seguidamente, extraeremos las mismas propiedades que el conjunto anterior, empleando la altura del DBH obtenida por medio del 5% de la altura total.

$$y = 3.9346x^2 + 1.1436x - 0.8554$$

$$R^2 = 0.8554$$

En este caso, la forma que posee la línea de regresión polinómica, es similar a la de una línea recta, esto nos confirma que la relación entre los valores de los DBH y el volumen. A mayor valor del diámetro, mayor será el valor del volumen obtenido por el árbol de estudio.

Para finalizar el estudio analítico, vamos a emplear los datos de la altura con los diámetros y el valor de los volúmenes obtenidos en el estudio. Emplearemos la misma metodología que se ha empleado previamente, compararemos el entorno que podemos apreciar a vista del gráfico y compararemos las diferentes líneas de regresión y los coeficientes generados por el  $R^2$ .

El primer gráfico a comentar es el que asocia los valores de las alturas de los árboles con los valores de los DBH.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

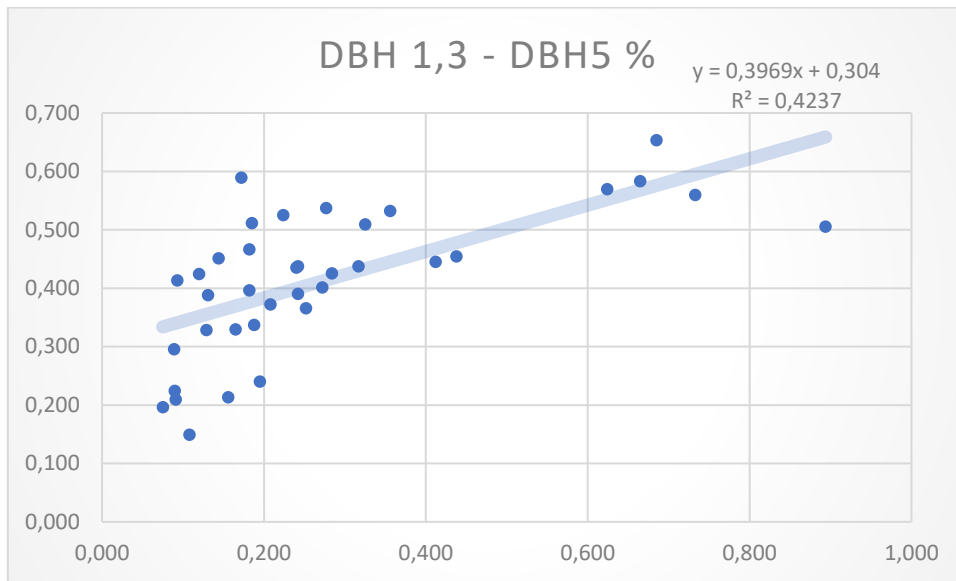


Figura 9. Gráfica comparativa de los valores de los diámetros obtenidos

En la figura 9, se representa la dispersión de los puntos obtenidos tras emplear la combinación de los valores resultantes de las alturas junto con los valores DBH obtenidos por la representación de las dos alturas. En esta se representa la tendencia que comparten los valores de los diámetros de los troncos en la comparativa de emplear las alturas relativas o absolutas.

Apreciamos que el valor de la ecuación generada por la línea de tendencia es la siguiente.

$$y = 0.3969 x + 0.304$$

$$R^2 = 0.4237$$

Podemos comprender por esta recta que la tendencia sube, por lo que asociaremos que a mayor diámetro que posea el tronco a una altura relativa, la presentará en el punto obtenido a partir de la altura absoluta.

Si trabajamos por medio de la recta de regresión obtenida, podemos definir la pendiente obtenida en la correlación de los datos estudiados. En este caso, la pendiente es de 0.3969, afirmando el sentido positivo que habíamos destacado previamente para el desarrollo de la misma recta.

Seguidamente, comentaremos el coeficiente explicativo entre ambos datos. El valor obtenido en este caso es de 0.4237, este valor indica la tendencia que se ha generado entre los observables y la correlación entre ambos.

Por último, vamos a comentar una relación que se ha obtenido por la generación del diámetro por medio del factor mórfico, con la altura obtenida a partir de los diámetros de los troncos empleando una altura la altura absoluta de 1.3 metros.

Recordaremos la ecuación empleada para el estudio.

$$FM = \frac{DH (a 5.3m)}{DBH}$$



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

A continuación, mostraremos la gráfica obteniendo la relación del factor destacado con el valor del DBH y lo trataremos como se ha empleado la misma metodología que en los gráficos comentados previamente.

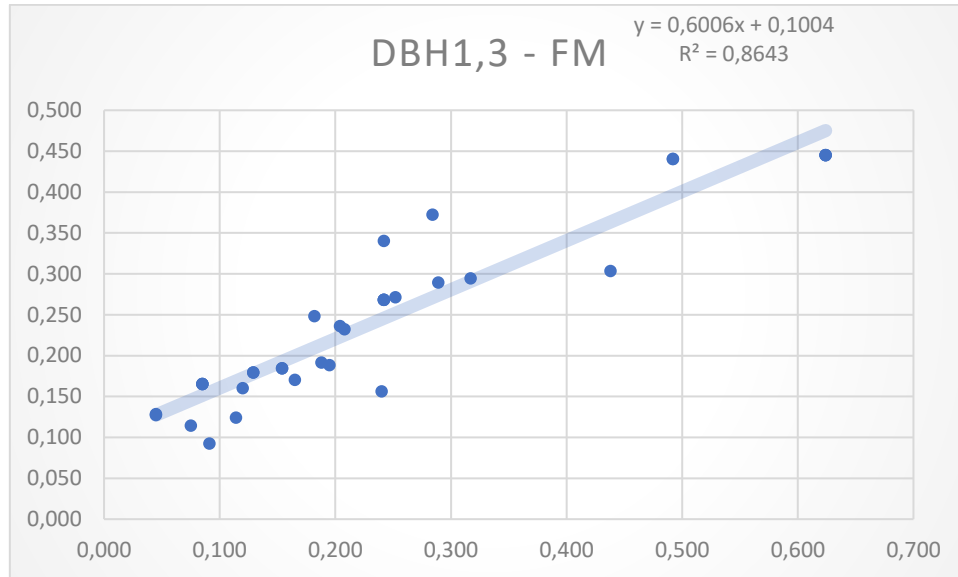


Figura 10. Relación del diámetro obtenido por el factor mórfico y el diámetro de los troncos empleando la altura absoluta

Los valores obtenidos por el factor mórfico es un derivado de los valores que se han generado empleando los valores de los diámetros a una altura de 1.3 metros. Así que la relación que se ha generado entre ellas debe de seguir una tendencia lineal y positiva. A sabiendas de este supuesto, vamos a demostrarlo, observando la ecuación que se ha generado por medio de la línea de regresión:

$$y = 0.06006 x + 0.1004$$

$$R^2 = 0.8643$$

Para comprobar el supuesto generado, debemos de conocer el valor de la pendiente asociada a esta línea de regresión. En este caso, el valor obtenido es de 0.6006, confirmando la tendencia que muestra en el gráfico y la relación que se ha establecido previamente, afirmando que, a mayor valor del diámetro obtenido por la altura absoluta, el valor obtenido por medio del factor mórfico también será mayor.

El último comentario a la gráfica de estudio estará asociado al valor obtenido en el coeficiente explicativo, el cual es de 0.8643, generado por la ecuación tratada. En este caso se aprecia una clara relación, dado que los valores de los factores mórficos están asociados a los valores de los DBH obtenidos a partir de 1.3 metros.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

### 3.2.1 Conclusiones de las gráficas

En el estudio tratado, se han generado las gráficas previas, para poder comprobar las hipótesis que se había planteado. Esta hipótesis era conocer la mejor manera de obtener un valor del volumen de los árboles más aproximado, empleando una altura absoluta, en la cual se le atribuye un valor constante de 1.3 metros para la obtención del diámetro a la altura del pecho. O empleando una altura relativa, la cual se ha generado como solución a un 5% de la altura total del árbol estudiado.

Para ello, vamos a contemplar los coeficientes explicativos generados a partir de la relación de los DBH con el volumen obtenido. Como bien sabemos, el factor explicativo es un factor adimensional, por lo cual, cuanto más próximo a la unidad, significa que la relación entre los datos es directa y están claramente correlacionados entre ambas componentes.

En el caso de la obtención del volumen a raíz de los valores obtenidos a partir de los DBH por medio de una altura relativa, generado a partir del porcentaje de la altura total de cada árbol, empleando un 5%. Observamos que el valor es 0.8554, el factor tratado está próximo a la unidad, pero es inferior al valor de explicativo generado a partir de una altura absoluta de los árboles de la parcela, empleando para todos ellos, una altura constante de 1.3 metros. El valor obtenido por medio de esta es de 0.9433, este valor sí que está más próximo a la unidad y nos confirma la relación fuerte entre las variables empleadas, referidas a que la cantidad mayor de volumen está asociada a la dimensión mayor del diámetro del tronco.

Esta comprensión nos sitúa en el lado opuesto de la hipótesis que se ha planteado a lo largo del proyecto, en este caso, el volumen más próximo se ha obtenido por medio de la altura absoluta. Tampoco podemos definir que esta afirmación sea segura, dado que no se ha obtenido los diámetros reales, si no por medio de los valores obtenidos por medio de los puntos obtenidos tras el escaneado. Para confirmar el supuesto, deberíamos de obtener los DBH de cada altura, medidas en la zona de estudio en campo.

### 3.3 Aspectos asociados a los matorrales

Para realizar la extracción de los matorrales, vamos a emplear la nube de capas obtenida a partir del recorte de la nube de puntos asociada a la vegetación, respecto al modelo digital del terreno. Esta nube de puntos se ha extraído durante el proceso de segmentación, el cual se ha recortado la nube de puntos de vegetación, empleando una altura determinada, para quedarnos únicamente con el inicio de los troncos y la parte de los matorrales o vegetación baja.

- *Extract major branch points*
- *Create a TIN*
- *Convert to DTM*

Extraeremos la parte de la vegetación baja, eliminando los puntos que no son de nuestro interés, en este caso serán aquellos que pertenecen a los troncos o semillas. Una vez obtenido esta nube de puntos, realizaremos el modelado de triangulación inversa para realizar el modelo digital de elevaciones

En este caso únicamente extraeremos los puntos asociados a los troncos, empleando la herramienta asociada a la extracción de los puntos de las ramas mayores. Esta herramienta es

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

la de *Extract major branch points*. Para la realización de esta misma, se ha empleado como número de agrupaciones a emplear de 200.

Obtendremos dos nuevas nubes de puntos, uno estará asociada a los troncos que ha extraído y la otra serán los puntos restantes de la nube de puntos inicial a esta operación, podemos encontrar la diferencia en la comparativa de la imagen 29:

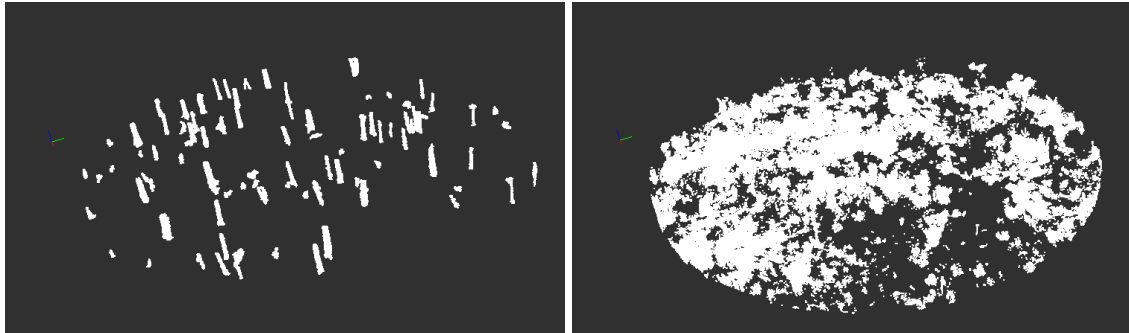


Imagen 29. Resultados de la extracción de los troncos

A continuación, nos queda realizar el modelo digital de elevaciones, el cual se realizará empleando la herramienta TIN respecto a la nube de puntos que encontramos de matorral o vegetación baja y lo convertiremos en un modelo digital del terreno. Para poder exportar la imagen en formato raster. A continuación, mostraremos el modelado TIN y su conversión a raster en las imágenes 30 y 30 b.

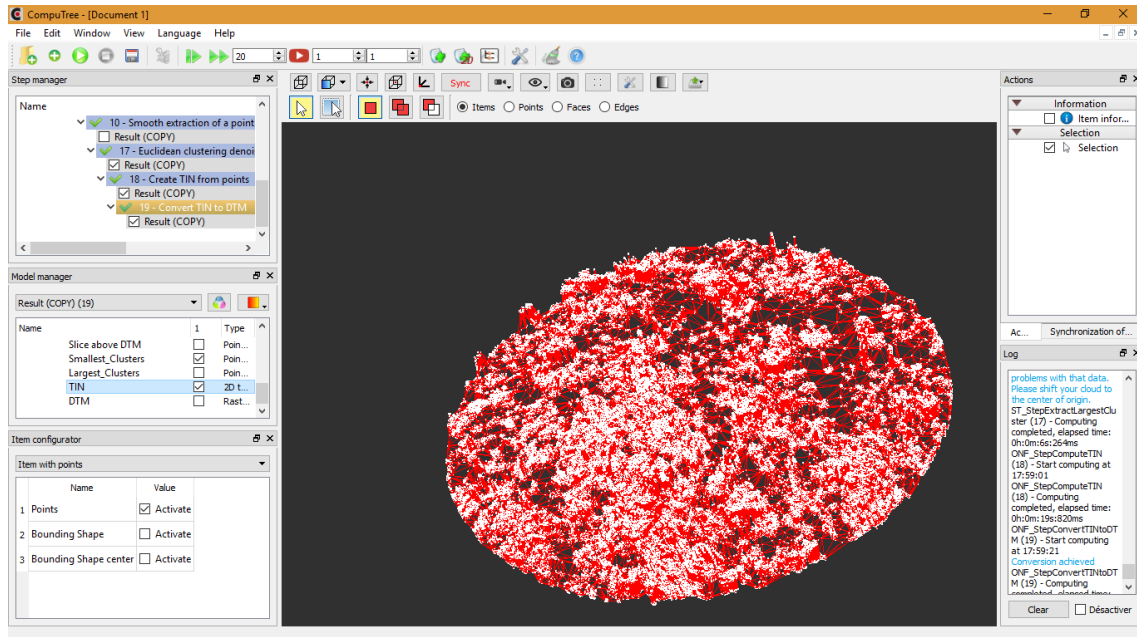


Imagen 30. Modelo Digital de Elevaciones de los matorrales o vegetación baja

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

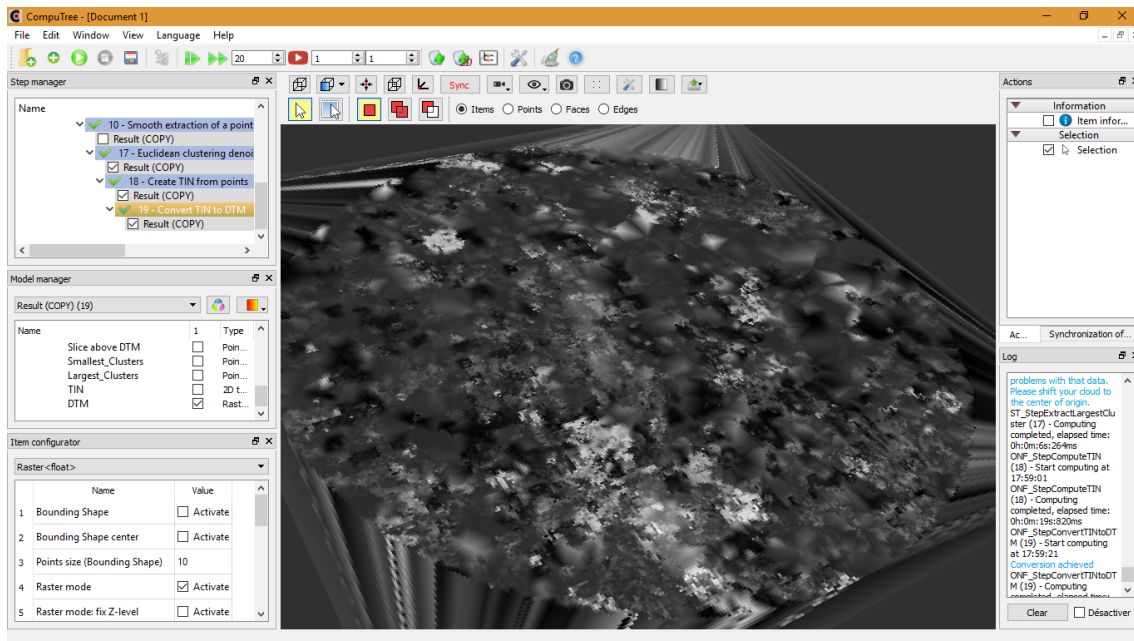


Imagen 30 b). Conversión del modelado TIN a raster

## 4 Conclusiones

Podemos concluir que el programa es bastante completo y que podemos llegar a obtener los parámetros o los objetivos que nos hemos marcado en un principio. Estamos ante un programa libre, el cual está en continuo desarrollo. Esta idea nos facilita o tranquiliza a la hora de emplear el programa, dado que los fallos que nos hemos encontrado a lo largo del desarrollo del estudio o los que se podrían generar en otro tipo de trabajo, se solventarán. La página oficial posee un foro, por el cual, cualquier usuario puede indicar el problema que ha tenido y ayudar a los demás usuarios, dado que al plantear el problema que posea, puede proporcionar ideas para resolver el problema de otro usuario.

Hemos comprobado que, a la mayor parte del caso práctico, lo podemos realizar automáticamente, dado que podemos introducir los comandos o guardar el proceso y activarlo cuando nos haga falta. Además, al almacenar el proceso realizado, podemos emplearlo para cualquier nube de puntos obtenidos en un ámbito de estudio forestal. Esto nos podrá facilitar el estudio para las parcelas restantes que se ha introducido al inicio del documento o emplear todo el proceso para otro tipo de nubes de puntos.

También observamos que al realizar el proceso del QSM podemos obtener los parámetros que nos interesan, como el volumen del árbol o la altura que posee. La parte negativa del mismo, como se ha podido comprobar, es que no siempre se puede aplicar, dado que posee unas directrices que condicionan su cálculo y como hemos podido observar, lo puede calcular, pero hay casos en los que no muestra los resultados.

Otro concepto que se ha podido demostrar, ajeno al programa de estudio, que la hipótesis respecto al cálculo del volumen, el cual afirma que es más preciso obtenerlo por medio de alturas relativas, en nuestro estudio no ha sido de esa manera. Se ha obtenido una mayor relación de los valores del volumen empleando una altura absoluta que una relativa.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

## 5 Bibliografía

CompuTree y SimplTree paginas oficiales

- <http://computree.onf.fr/?lang=en>
- <http://www.simpltree.uni-freiburg.de>
- *user\_guide\_beta\_14.pdf*

Calculo de la altura de un árbol y el volumen del mismo

- <https://silvicultor.blogspot.com.es/2010/10/diametro-normal-o-diametro-la-altura.html>
- <https://es.slideshare.net/ETTYRAMIREZ/calculo-de-volumen-del-abol>

Artículos:

- García, M., Danson, F.M., Riaño, D., Chuvieco, E., Ramirez, F.A., Bandugula, B. (2011). Terrestrial laser scanning to estimate plot-level forest canopy fuel properties. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13, 636-645.
- Moskal, L.M., Zheng, G. (2011). Retrieving Forest Inventory Variables with Terrestrial Laser Scanning (TLS) in Urban Heterogeneous Forest. *Remote Sensing* 4, 1-20
- Sara Uzquiano Pérez (2014), Feliciano Bravo Oviedo y José Martínez Rubio mediciones dendrométricas y dasométricas mediante técnicas lidar y fotogramétricas, Universidad de Valladolid, producción vegetal y recursos forestales

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

## 6 Anexos

### 6.1 Evaluación de los comandos que posee Computree

En el siguiente apartado trataremos el desarrollo seguido para poder trabajar con el programa y llegar a comprenderlo para obtener los objetivos que se habían propuesto previamente. Para ello se va a proceder a comentar aquellas herramientas que han sido tratadas en el estudio previo como las herramientas que no han sido empleadas, dado que, se podrían emplear para otro tipo de propósito. Siempre estaremos hablando de aplicaciones asociadas al ámbito forestal.

Previo al desarrollo de la esta evaluación, vamos a resaltar un par de ideas que se han creído oportunas introducir en esta memoria.

El programa empleado no requiere de un instalador específico por medio una contraseña o licencia para el uso del mismo. Únicamente posee un ejecutador para activar el programa. Este archivo lo podemos descargar de la página oficial de CompuTree para la versión de Windows. Ubuntu y Mackintosh. En nuestro caso se ha realizado la muestra por medio de la última versión para Windows. esta es la versión *computree\_4.0.759*.

Esta particularidad, nos ofrece la oportunidad de activar o abrir el programa tratado en cualquier dispositivo que tenga el sistema operativo, que coincida con la versión descargada, llevando el archivo mencionado en un puerto de almacenamiento externo.

Una vez abierto el programa. nos encontramos con el entorno que muestra la imagen 31:

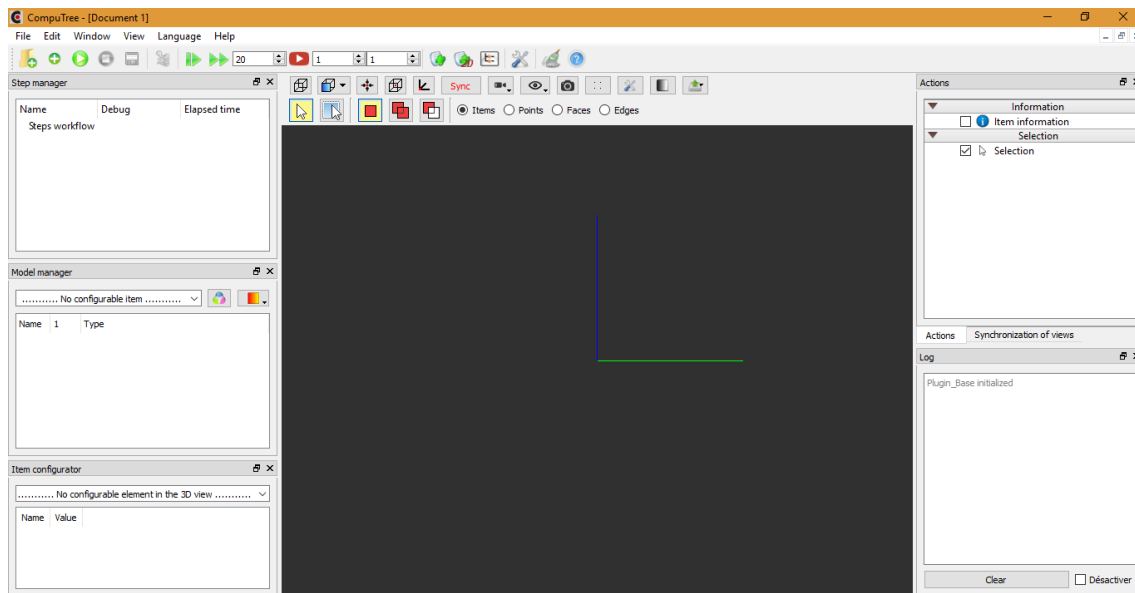


Imagen 31. Entorno de inicio de CompuTree

El menú de inicio que presenta es un menú común, siguiendo las características que presenta cualquier programa gráfico. En cuanto al idioma que emplea, lo podemos variar entre el inglés y el francés. Como se ha mencionado anteriormente, el programa lo emplea el organismo nacional forestal francés. Los comandos de navegación por medio del uso de los botones del ratón son los siguientes:



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

- El botón izquierdo del ratón sirve para rotar la escena por cualquier dirección.
- Presionando el botón central, podemos aproximar o alejar la escena, empleando un punto de pivote como referencia.
- El botón derecho del ratón, se emplea para trasladar la escena a lo largo del entorno.

La mayoría de los comandos asociados a los estudios que nos interesan, se encuentran dentro del apartado Step. Podemos acceder a él mediante el segundo icono situado bajo del menú de inicio o mediante la tecla f2, La guía de los comandos girará alrededor de este apartado.

Por último, añadiremos que la guía se ha realizado siguiendo el orden que muestra el programa, por lo que los procesos de cálculo no están correlados ni son consecutivos. Se añadirá en cada apartado, aquella información necesaria para la aplicación de la herramienta y los parámetros que emplearemos para su uso.

### 6.1.1 Ventanas y entorno del programa

Seguidamente comentaremos las ventanas disponibles. Para ello emplearemos la imagen 32 generada durante el estudio previo a esta guía para facilitar la comprensión de la misma.

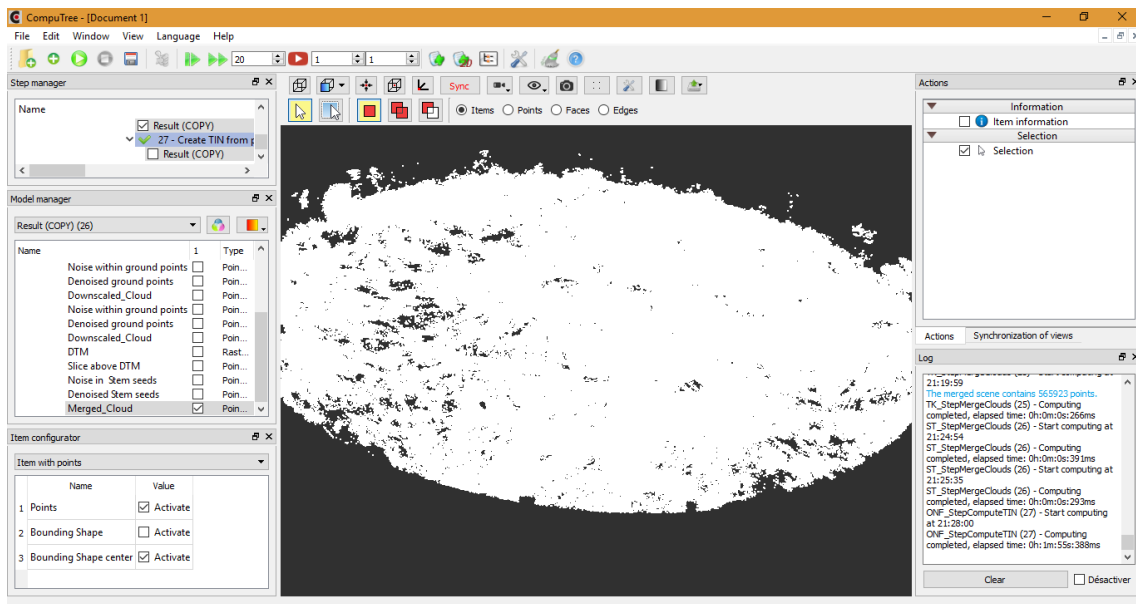


Imagen 32. Ventanas disponibles del programa

La ventana de Step manager es la que registra las operaciones que se han realizado. Estas las dispone de forma escalonada, asociando la nube de puntos empleada como origen y el resultado obtenido al procesarlas. No hace falta seguir siempre el mismo orden, dado que podemos emplear cada nube de puntos cuantas veces queramos. Esto se acciona, seleccionando la nube que se quiera emplear para la operación y emplear la fórmula que decidamos aplicar. Además, podemos visualizar cada conjunto de las nubes activando o desactivando la casilla de resultados que muestra bajo cada operación realizada. Esto nos permite pivotar por los resultados y realizar comparaciones entre ellos. Una vez introducido un comando, este quedará como desactivado. tendremos que ejecutarlo manualmente para que el programa lo calcule. El programa no da problemas a la hora de introducir varios comandos a la vez, los irá calculando escalonadamente. Por ello, podemos introducir el orden que queremos que se realicen las operaciones y activarlas todas en una misma ejecución o ir activando cada operación a medida que se introduzcan.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

La segunda ventana a mostrar es la ventana de *Model manager*. En esta podemos visualizar el modelo obtenido por la operación que se ha realizado previamente. Esta se activará una vez el step manager ha finalizado la operación y además se ha activado la casilla de resultado, la cual contiene la nube de punto que ha generado. Podemos combinar tantas nubes de puntos como queramos en esta visualización.

La tercera ventana es Item Configuration. Esta ventana sirve para poder activar propiedades de la nube de puntos. Por ejemplo, dentro de la opción del Raster, podemos visualizar el modelo raster bidimensionalmente o que el programa active la opción de representación de la misma figura tridimensionalmente.

La cuarta ventana es Actions, la cual combina la propiedad de seleccionar el conjunto de puntos o emplear esa selección para la obtención de información.

La quinta y última ventana, es la ventana Log. En esta ventana se muestra el transcurso de la operación, indicando en cada momento el proceso que se encuentra y el tiempo que ha empleado para completarlo.

También cabe añadir que las ventanas son independientes y podemos modificar la dimensión y posición de la misma ventana. podemos apreciar esto en la imagen 33.

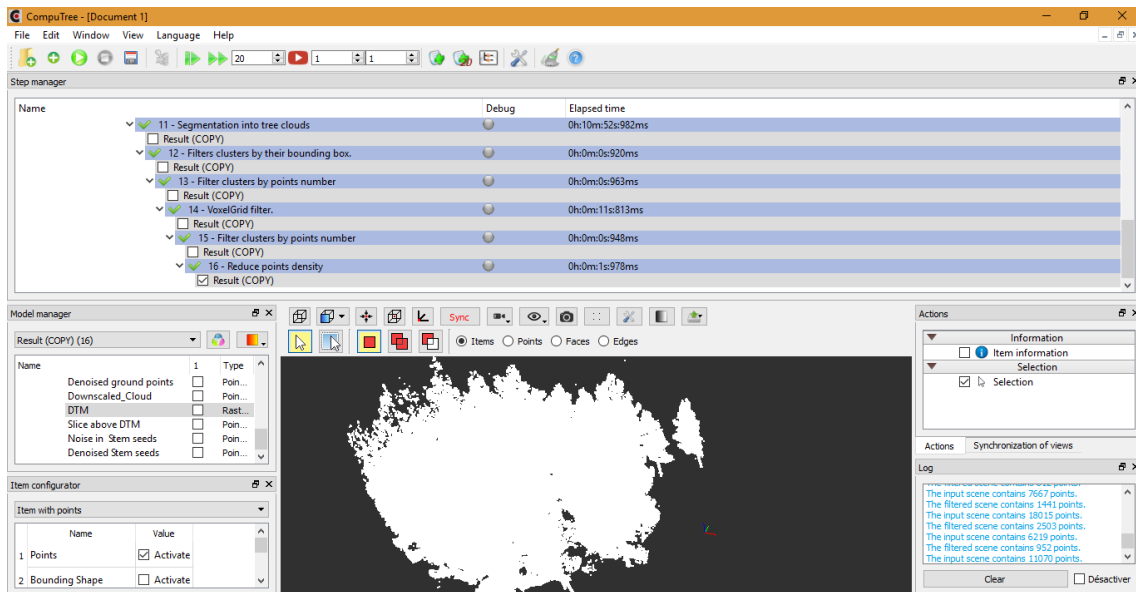


Imagen 33. Modificaciones de ventanas

Para finalizar el breve resumen introductorio, añadiremos que el programa posee un almacenamiento particular, el cual registra y guarda el proceso desarrollado anteriormente. Para ello debemos de guardar la secuencia generada en la ventana del Step Manager, en el formato particular del mismo, el formato del cual es XSCT2. Esta metodología registra tanto el orden de las operaciones, el origen de los datos y los parámetros empleados para cada cálculo. La parte negativa es que no almacena las nubes que obtiene como resultado, para ello, debemos de exportar la nube de puntos por medio de la herramienta de exportación.

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

### 6.1.2 Comandos de las operaciones en Steps

Seguidamente vamos a introducir las funciones más destacadas durante el estudio previo, mencionando las herramientas que han sido empleadas en él y las que no se han expuesto anteriormente cuyos resultados han sido interesantes y que hemos querido destacar en el manual desarrollado.

Podemos acceder a este contenido presionando la tecla f2 o empleando el segundo icono que se sitúa en la parte inferior del menú principal.

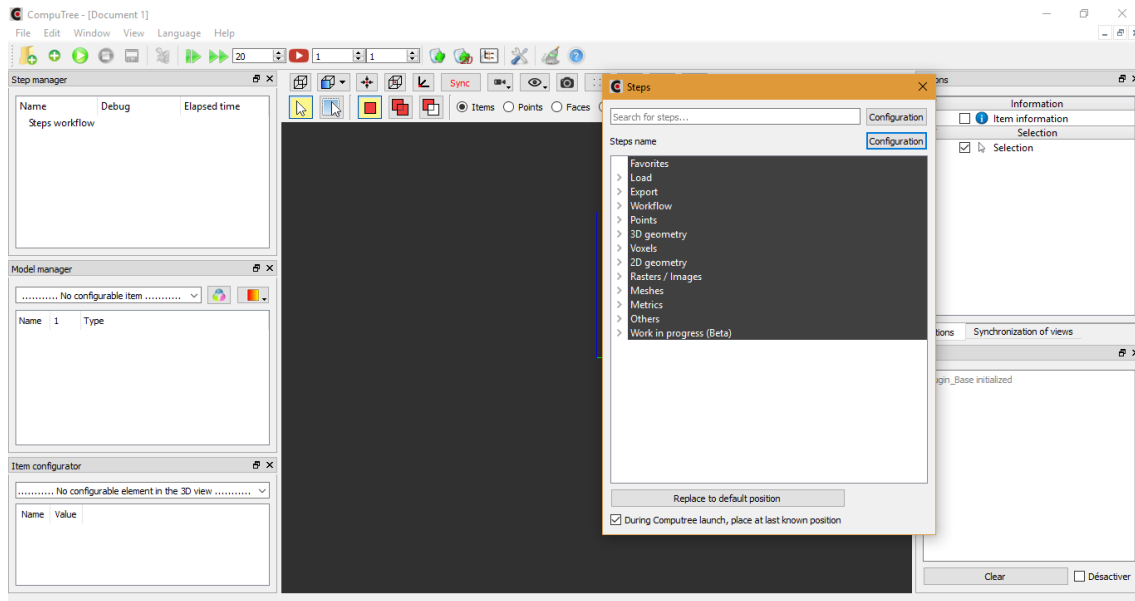


Imagen 34. Activación de la ventana de Step

Podemos encontrar que dentro de esta ventana de la imagen 34, encontramos varios apartados. Cada apartado está asociado a herramientas o procesos específicos, dado que, al inicio del programa, aquellas que no poseen los datos necesarios, pertenecen desactivadas. Estas se irán activando a medida que realicemos avances en el programa.

#### 6.1.2.1 LOAD

Dentro del apartado de carga o Load, encontramos los siguientes niveles.

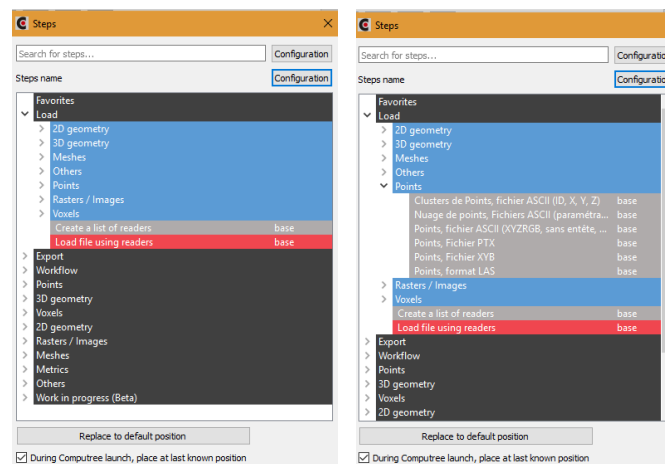


Imagen 35. Menú disponible dentro de la agrupación de carga.

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Como podemos apreciar encontramos una gran variedad de agrupaciones que realiza el programa para la carga de datos.

En nuestro caso particular, nos interesan los datos procedentes de archivos de puntos o de imágenes raster, por ello optaremos por la visualización de los formatos de los mismos. Al desplegar cada uno de ellos, encontramos que el programa acepta un gran abanico de formatos de entrada.

En el apartado de carga de datos por puntos, podemos apreciar que los siguientes formatos LAS, ASCII o en un formato particular que posee el programa XYB. También podemos realizar la carga de datos con el comando de abrir fichero y seleccionar. Este es el icono anterior situado al lado del icono de Steps.

En el tipo de carga que posee el fichero para la importación de datos en formato raster es muy completa. Podemos destacar que reconoce ficheros en JPG, GeoTIFF o imágenes procedentes del programa ENVI.

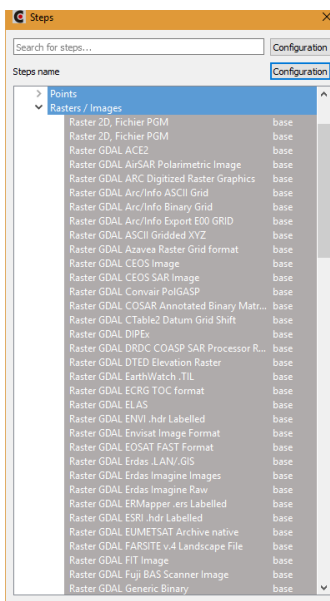


Imagen 36. Tipos de formatos que admite CompuTree como importación

Como se ha visto en el desarrollo de la práctica, podemos generar ficheros de cabecera e introducirlos para que cargue la importación de estos ficheros. Para ello sería necesario emplear los comandos de *Create a list of readers* y *load files using readers*. Esta opción nos aporta la creación de ficheros de cabecera independientemente del formato

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

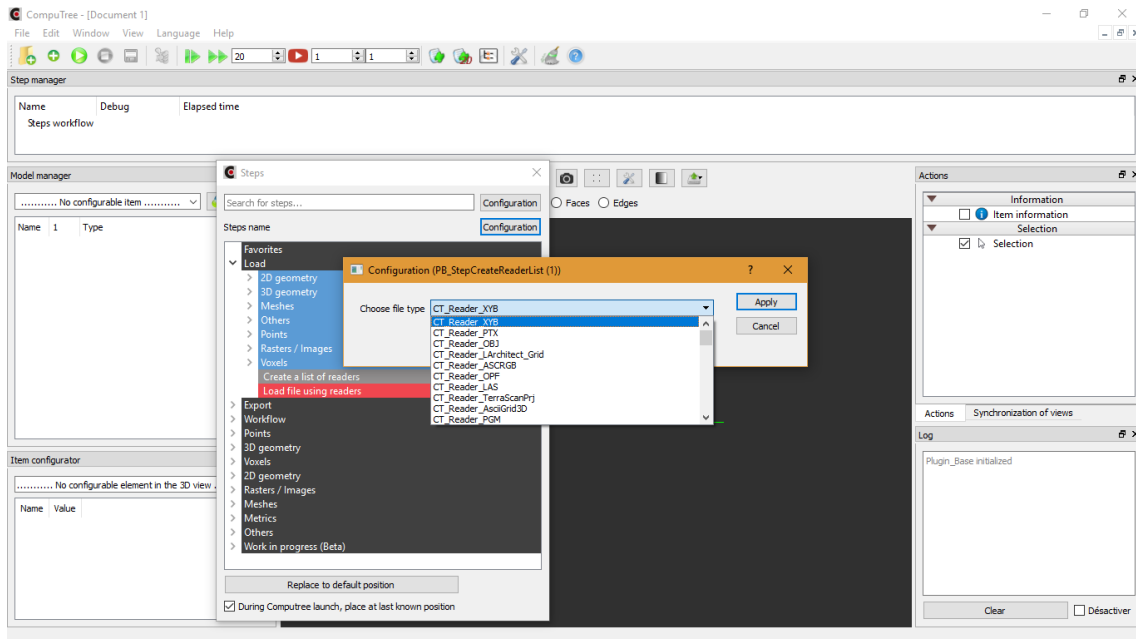


Imagen 37. Formatos que admite la herramienta de creación de ficheros de cabecera

Imagen 37 muestra unos pocos formatos de los que puede llegar a admitir el propio programa. Esto nos puede ayudar en el desarrollo de cualquier proyecto, dado que, si partimos de una nube de puntos ya segmentada, podemos trabajar directamente con ella y crear los ficheros de cabecera, independientemente que estén en formato XYB o en LAS.

6.1.2.2 EXPORT

Al igual que el programa reconoce un gran abanico de ficheros de carga o importación, podemos exportarlos también a cualquier tipo de formato que deseemos.

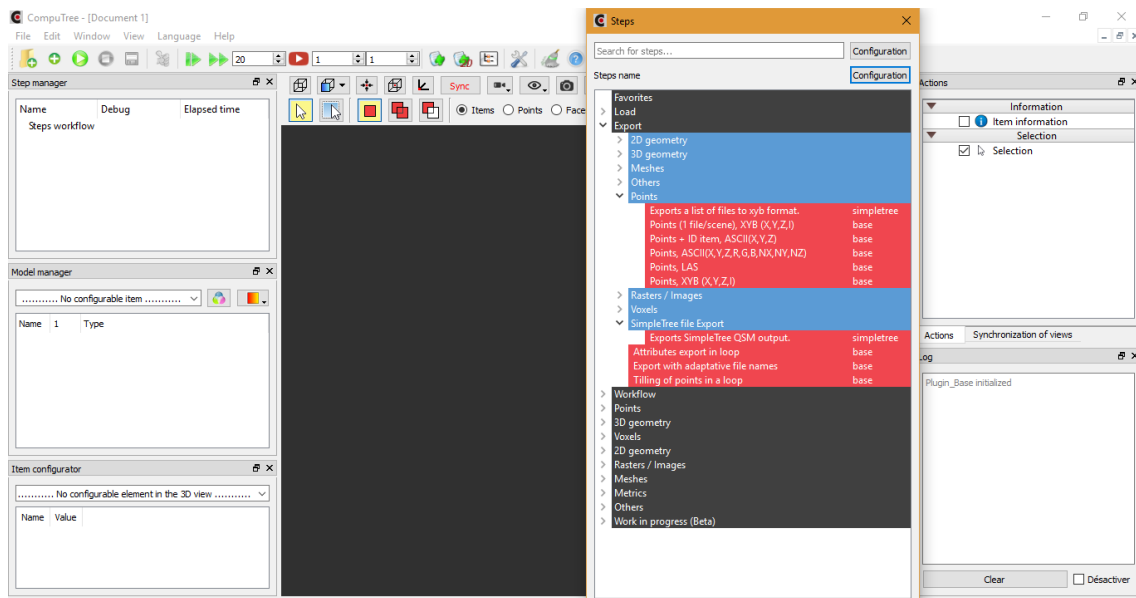


Imagen 38. Entorno de la herramienta de export

Como se ha tratado anteriormente, el apartado que más interés posee este programa en nuestro campo de trabajo son los apartados asociados a los puntos o raster. Para poder activar

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

esta herramienta, debemos de seleccionar la nube de puntos que se desea exportar y posteriormente seleccionar la opción que más se nos ajusta a nuestro trabajo. Por ejemplo, en el apartado de la exportación de cada árbol empleando la identidad como pivote, emplearemos la opción de exportación de Points+ID ítems. Esta herramienta generará un fichero en formato ASCII donde se estructurará en cuatro columnas; la primera mostrará la identidad de cada punto y las tres columnas restantes, mostrará las coordenadas cartesianas de cada punto.

Otra herramienta que se ha empleado, es la de Points (1/scene) X. Y. B (X. Y. Z. I), la cual hemos empleado en más de una ocasión y exportaba a un fichero XYB cada conjunto generado por la segmentación. Coincidiendo estos con cada árbol que compone la escena conjunta.

Además de estos dos formatos, encontramos un apartado que es SimpleTree file Export. Esta herramienta la hemos empleado para poder exportar el modelado generado por el QSM y poder trabajar con cualquier otro programa que soporte datos tridimensionales. Esta herramienta creará dos ficheros CSV, uno de ellos mostrará los coeficientes empleados para la modelización y el otro el resultado en lista de esa modelización. Además, creará formatos en objeto, los cuales pueden abrirse en cualquiera de esos soportes. Dentro de la posibilidad de mostrar el conjunto entero de la modelización o dos divisiones que él trata de mala o buena. Lo mostraremos en la siguiente imagen para poder tener una mayor comprensión de esta propiedad.

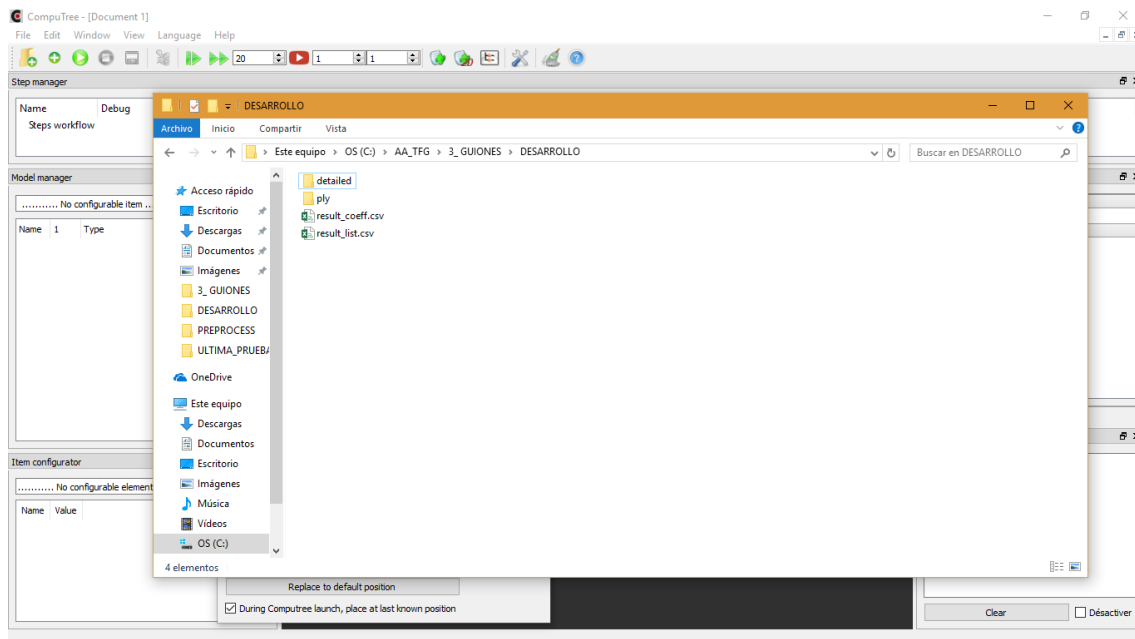


Imagen 39. Ficheros generados por la exportación



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

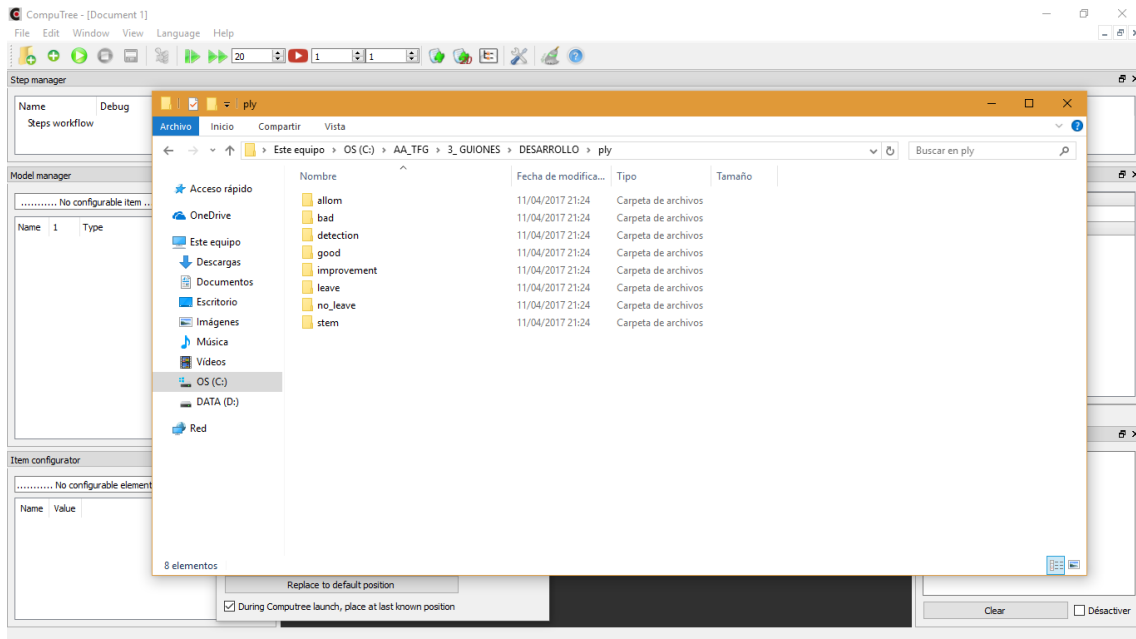


Imagen 40. Contenido de la carpeta que muestra l parte geométrica de la exportación

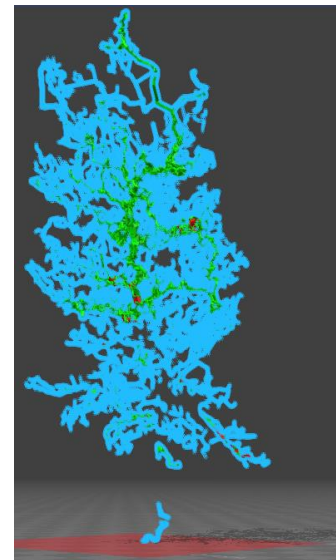
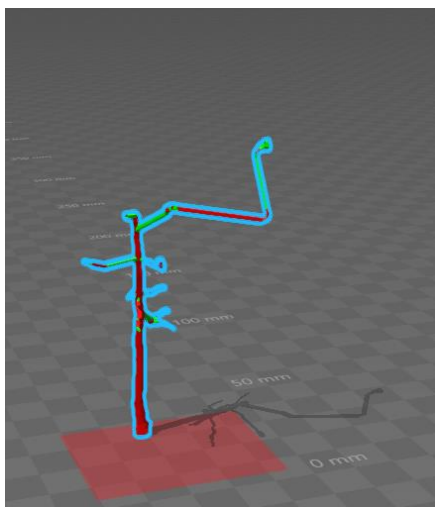


Imagen 41. Representación gráfica de los reultados. La primera imagen es el resultado considerado como bueno y la segunda es el que esta considerado como malo

Podemos apreciar en la imagen 41, que el considera como un dato bueno el conjunto de cilindros que compone el tronco. Los datos que considera como malos, representa la vegetación por ajena al conjunto del tronco.

### 6.1.2.3 Workflow

Este apartado indica la propiedad que le queramos imponer a los bucles que genera el programa para el cálculo o proceso del mismo. También nos ofrece la posibilidad de combinar la identidad de los árboles por grupos de afinidad juntándolos entre ellos.

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

### 6.1.2.4 POINTS

Como se ha comentado anteriormente, nos interesa los archivos procedentes de un fichero de puntos. Dado que es el resultado que se obtiene por medio de mediciones topográficas, tanto por medio de estaciones totales, datos procedentes de instrumental GNSS o por medio de un láser escáner. Por este motivo es bastante notorio que un programa soporte y trabaje con una gran cantidad de datos obtenidos.

A continuación, comentaremos las herramientas que se han empleado durante el proceso anterior y además aquellas que se han probado y se ha visto que muestra resultados interesantes.

#### 6.1.2.4.1 Analyze

Esta herramienta muestra la gráfica que podemos extraer de los datos trabajados. En nuestro caso se han empleado los parámetros por defecto. Estos están asociados a la resolución del perfil que vallamos a realizar. empleando coordenadas o mediante la dimensión de la escena.

Seguidamente mostraremos los parámetros necesarios y el resultado generado. empleando las imágenes 42 y 43.

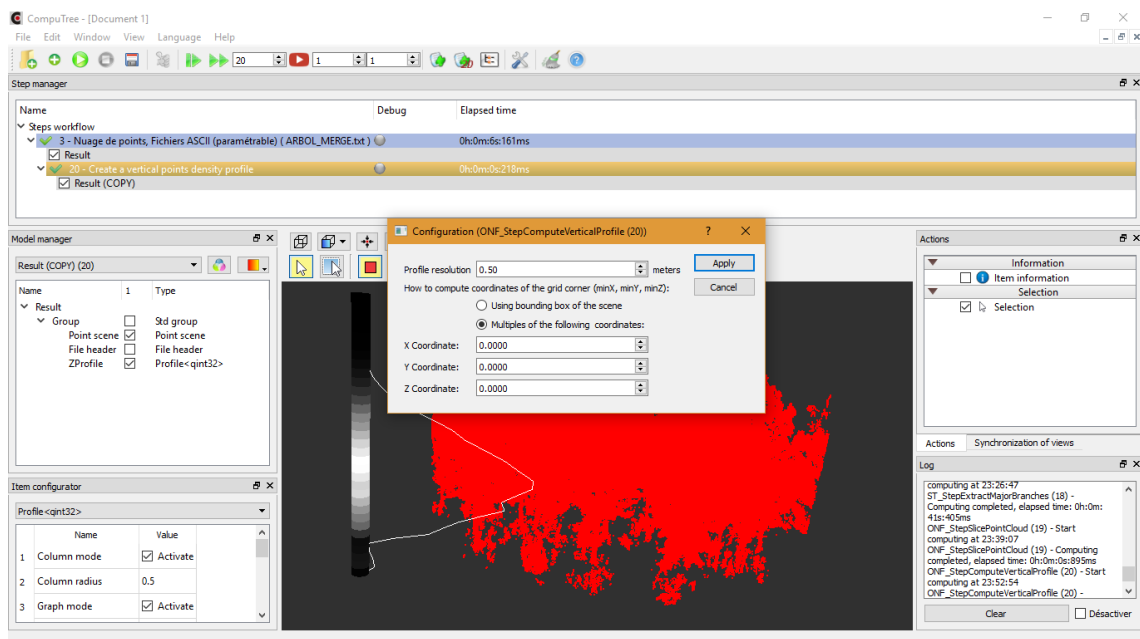


Imagen 42. Parámetros asociados a la herramienta de analyze

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

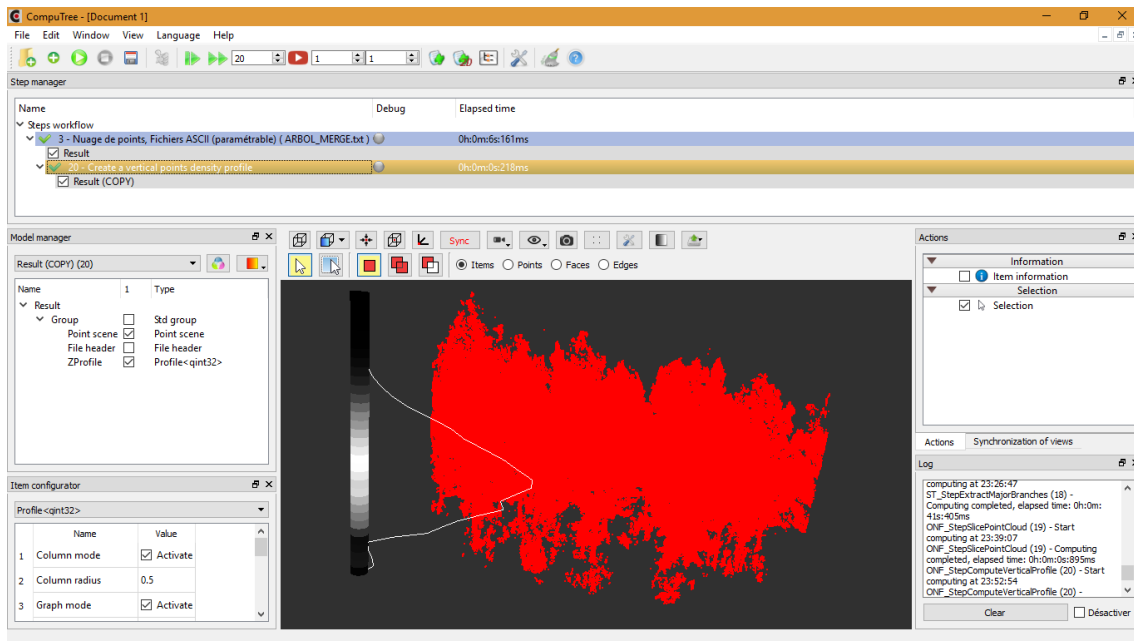


Imagen 43. Resultado de aplicar la herramienta mencionada

### 6.1.2.4.2 Classify

Fundamentalmente, esta herramienta clasifica los puntos de una nube de puntos en vegetación o suelo. La operación generará dos nubes nuevas de puntos. En cada una representará los puntos que el programa a clasificado.

Para poder realizar esta clasificación, debemos de emplear una serie de parámetros, los cuales podemos modificar o emplear los que emplea el programa por defecto.

Los parámetros que emplea son:

- La resolución de la rejilla o cuadrícula. Por defecto emplea 50 centímetros, podemos variar el valor dependiendo de la resolución que se registre en el trabajo
- El grosor o espesor que le pretendamos dar al suelo. Por defecto, el programa indica que el suelo posee un espesor de 32 centímetros.
- La opción de filtrar la densidad de los puntos, dado que podemos activar o desactivar la casilla del propio filtrado
- La densidad mínima de puntos registrados por metro cuadrado
- La posibilidad de realizar el filtrado por los vecinos próximos. Podemos activar o desactivar dicho filtrado
- Número de puntos que detecte como aislados. Por defecto emplea 3 puntos.

Como podemos apreciar, el programa genera dos grupos de resultados. El primero está asociado a los parámetros raster que extrae del proceso generado. Estas imágenes se han realizado empleando la Z mínima del conjunto de punto, la segunda imagen asociada al raster es el resultado de plasmar la densidad de los puntos de suelo. El segundo grupo es el resultado por parte de los atributos de los puntos. En este fragmenta la nube de puntos originales en puntos de vegetación y puntos de suelo.

Previo a la resolución de esta operación, mostraremos la imagen de todo el conjunto de puntos, por medio de la imagen 44.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

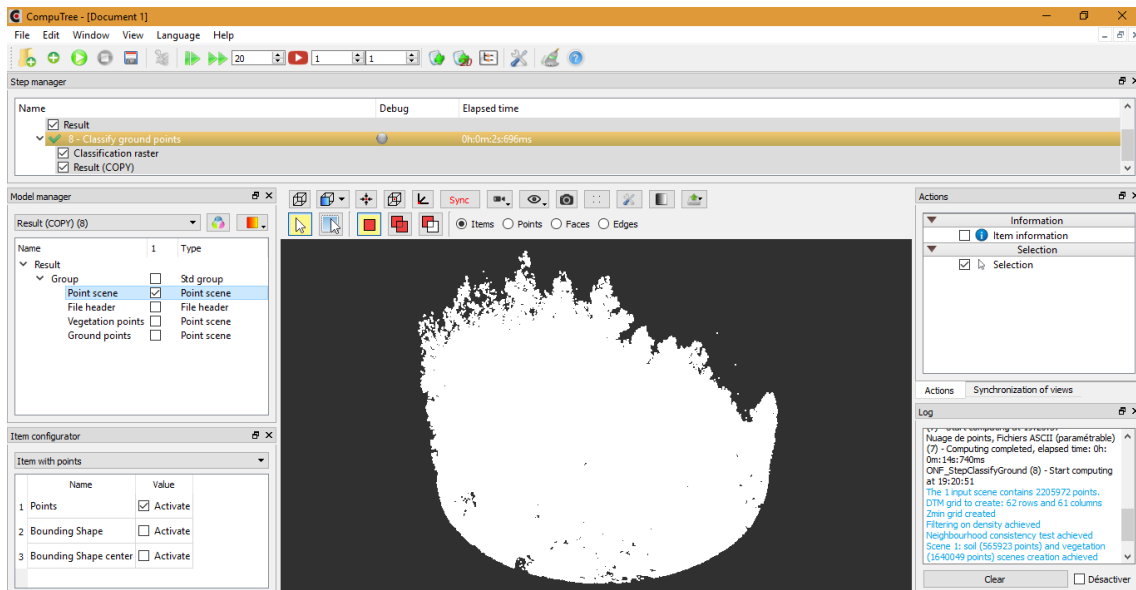


Imagen 44. Visualización de la nube de puntos de origen

Esta herramienta también genera dos ficheros raster a partir de los datos que ha clasificado como puntos desuelo. Podemos apreciar la diferencia entre los modelos que ha generado en la comparativa entre las imágenes siguientes.

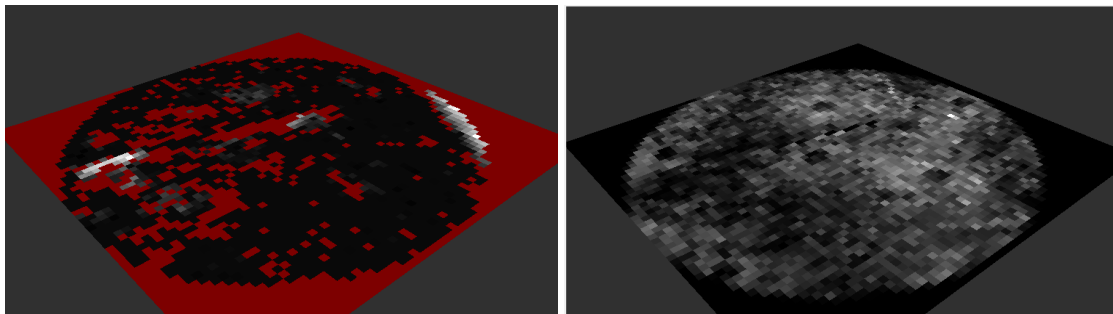


Imagen 45. Resultado raster que genera la clasificación. diferenciando el parámetro de altura y el de la densidad

Ambas imágenes que engloba la imagen 45, son modelos digitales a partir de los datos asociados a los parámetros comentados. La primera imagen se ha generado por la coordenada Z mínima. La segunda imagen es el resultado de emplear la densidad de los puntos de suelo.

El resultado asociado a los puntos es el siguiente los mostraremos en la imagen 46:

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

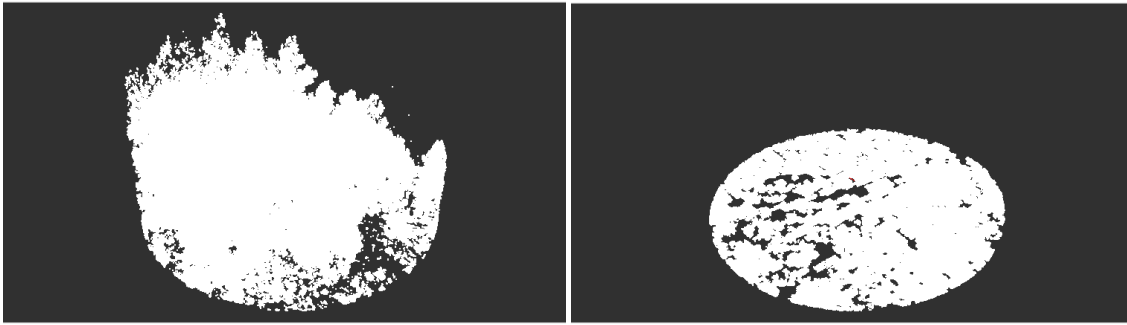


Imagen 46. Resultado de la clasificación asociado a los puntos. La primera son los puntos que reconoce como vegetación y la segunda son los puntos que reconoce como suelo.

Podemos apreciar que el programa a separado ambas clasificaciones y se aprecia que lo ha realizado bastante preciso. La agrupación de los puntos inferiores dentro de la nube de puntos donde solo debe de haber vegetación. son parte de la vegetación baja registrada en el trabajo u objetos inferiores que el láser escáner a almacenado.

### 6.1.2.4.3 Clusterize

El siguiente grupo de herramienta sirven para agrupar los puntos en grupos con el objetivo de poder mejorar la clasificación. Gracias a este aparato, otorgamos los valores de identidad a cada árbol y se consiguió clasificar y cuantificar el número total de cada uno de ellos, empleando el valor mencionado.

En este grupo por tanto encontraremos la opción de segmentar la nube de puntos y centrar o cercar los puntos de interés para el estudio. Seguidamente comentaremos las herramientas aplicadas en el estudio más algún añadido más.

#### 6.1.2.4.3.1 2D Clustering (Quick)

Esta herramienta generará agrupaciones de la nube de puntos empleando las dos dimensiones de referencia. Los parámetros para el uso.

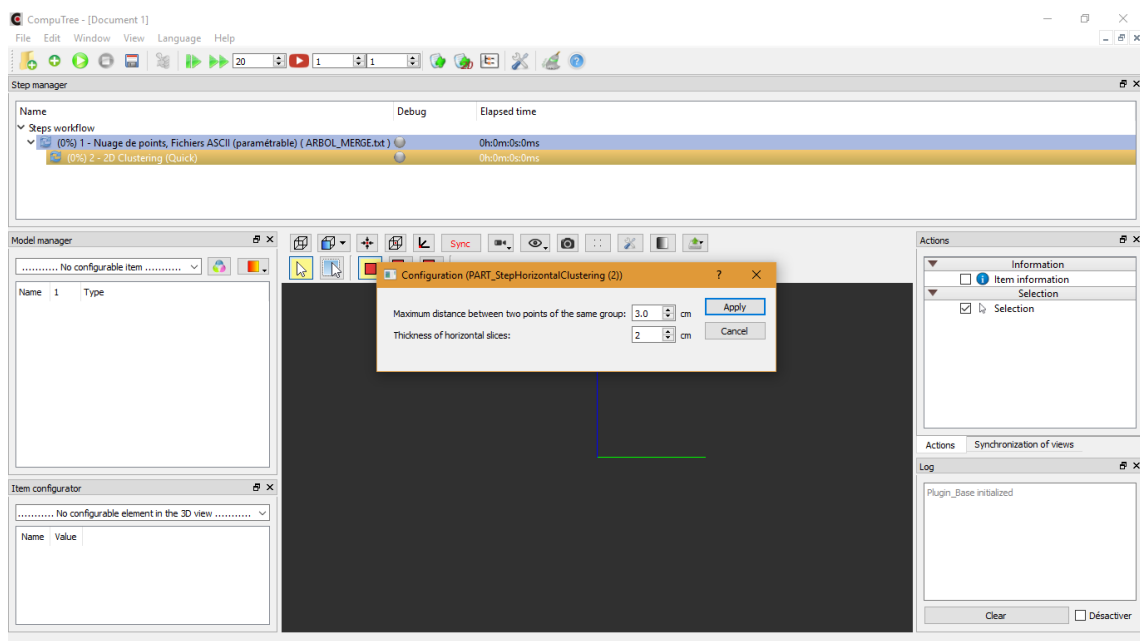


Imagen 47. Parámetros que son necesarios para ejecutar la herramienta de 2D Clustering (Quick)

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Estos parámetros, mostrados en la imagen 47, están relacionados con la distancia entre los puntos de un mismo grupo y el grosor horizontal de la zona.

Tras realizar la prueba, empleando una nube de puntos que no ha sido agrupada y otra que si lo ha estado. el programa se ha colapsado y se ha cerrado automáticamente.

### 6.1.2.4.3.2 An euclidean clustering operation. Produces sub clouds of the cluster

Esta herramienta agrupará las nubes de puntos por medio de la distancia euclídea. El proceso generará nuevas nubes de puntos respecto a esta agrupación.

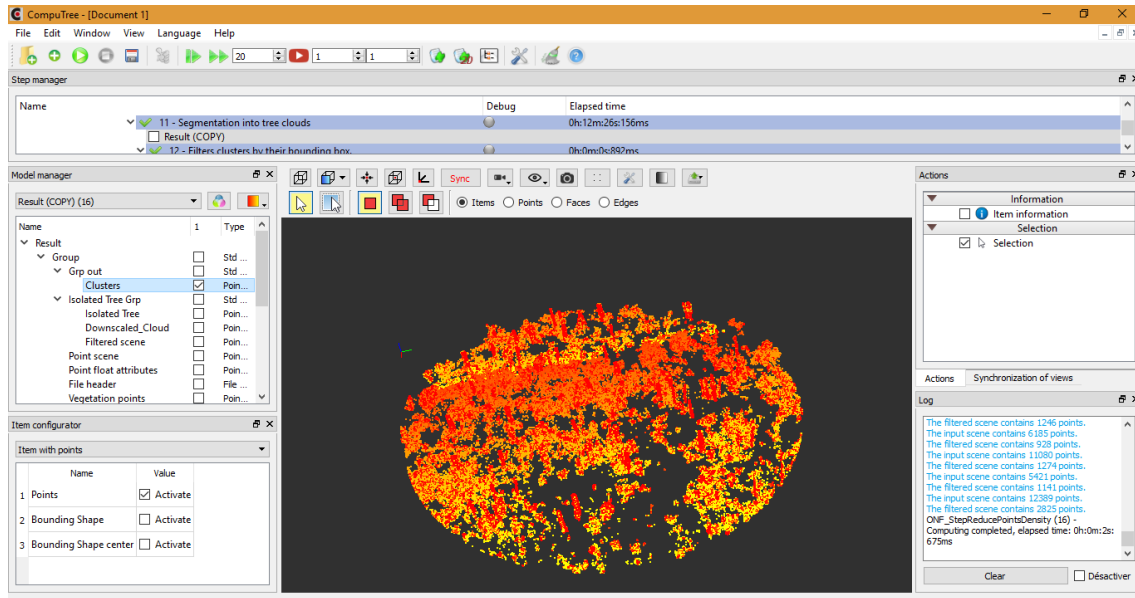


Imagen 48. Visualización de los grupos que difiere la herramienta empleada

La visualización de la imagen 48 ha cambiado de aspecto, porque se ha pretendido mostrar los distintos grupos de agrupaciones, coloreando a partir de las identidades que clasifica el programa.

Cabe añadir que el proceso de agrupación se ha realizado tras depurar la nube de puntos asociada al suelo y realizar un recorte respecto a la vegetación, a partir del modelo digital del terreno generado por los puntos del suelo y el modelo digital del terreno. Posteriormente introduciremos los comandos u operaciones que se emplean para llegar a este punto.

### 6.1.2.4.3.3 Clustering by horizontal slice(v4)

Según la descripción de la herramienta, podemos extraer a la siguiente definición:

La principal función que genera esta función es la creación de agrupaciones pequeñas de los puntos. La idea básica es la obtención de los troncos en forma de arcos pequeños con un pequeño grosor. Para generarlo. debemos de realizar dos fases:

- La escena se cortará la capa en horizontal con un grosor específico
- En cada capa, colocará todos los puntos juntos empleando la distancia relativa de que presentan las coordenadas XY

La distancia máxima de dos puntos se encontrará en el mismo grupo, el cual ha sido especificado anteriormente.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

El proceso implementado en nuestro ordenador no obtiene el resultado deseado. dado que el programa ha colapsado y se ha cerrado

6.1.2.4.3.4 Clustering by horizontal slice (v5)

Esta herramienta es similar a la anterior, pero la diferencia se encuentra en que durante el proceso de las nubes las trata por separado y creará una copia de la nube para cada nube de entrada.

El programa también se ha saturado al emplear la herramienta mencionada en esta parte

6.1.2.4.3.5 Clusterizaion from voxel grid

La siguiente herramienta a describir, requiere de los siguientes parámetros:

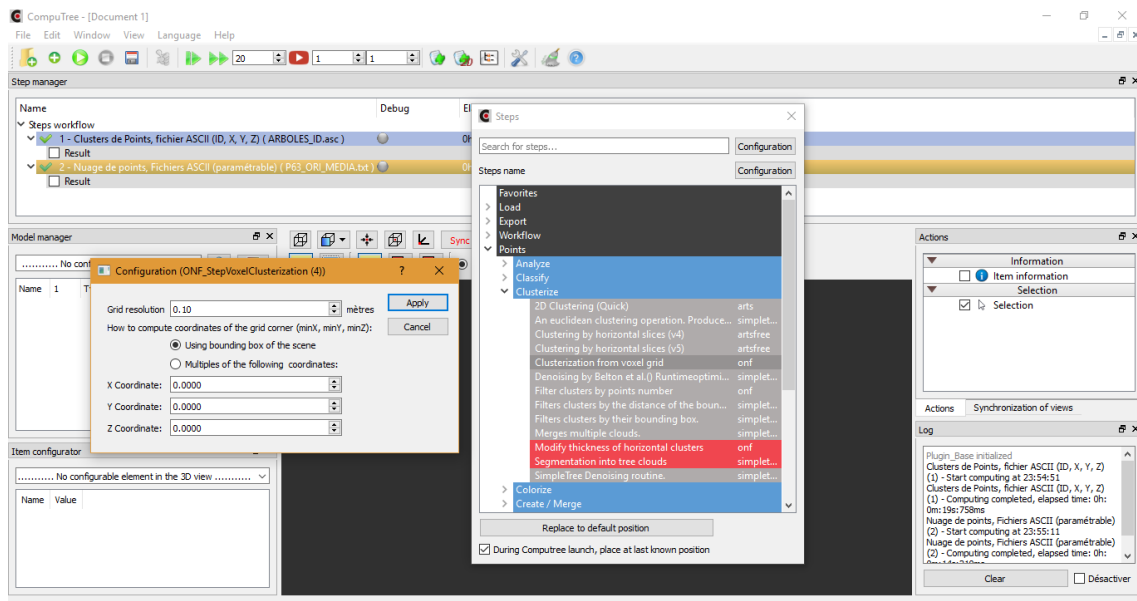


Imagen 49. Parámetros que emplea la herramienta de Clusterization from voxel grid

Para ello, requeriremos de la definición de la cuadrícula sobre la que se realizará la agrupación, empleando una resolución concreta de la misma, siguiendo los las condiciones que se muestra en la imagen 49.

Al implementar esta herramienta, el programa se ha colapsado y no hemos podido comprobar la resolución del mismo.

6.1.2.4.3.6 Denoising by Belton et al. () Runtimeoptimized

Los parámetros empleados para el desarrollo de esta herramienta se muestran en la imagen 50 son los siguientes:



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

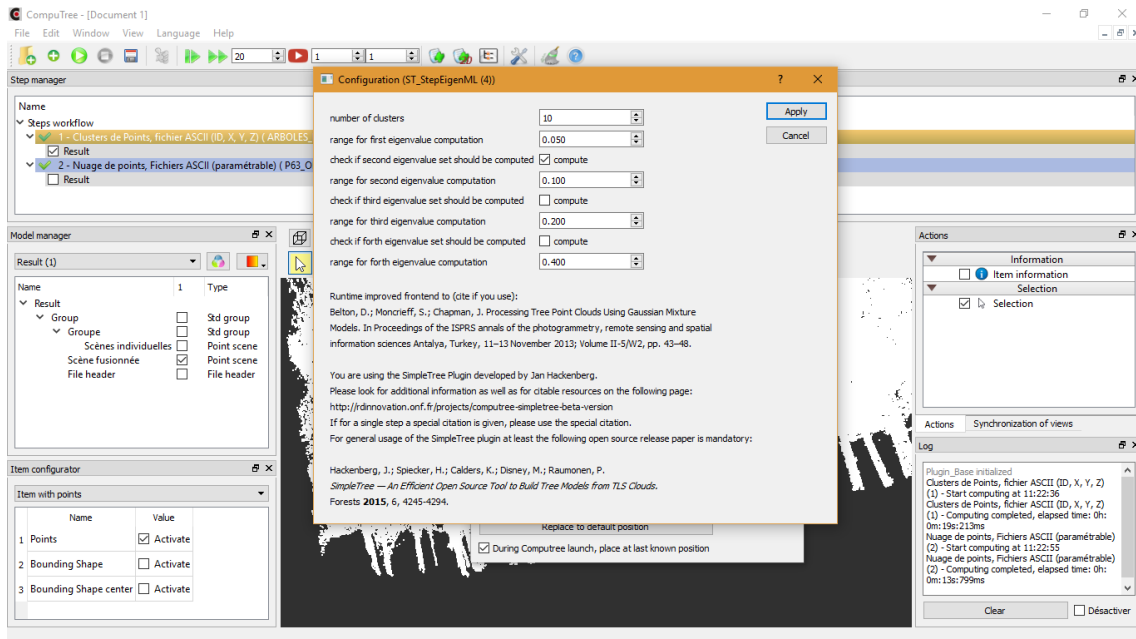


Imagen 50. Parámetros asociados a la herramienta de Denoising by Belton

Por la definición que podemos extraer del nombre de la herramienta mencionada, eliminará el ruido procedente de la nube de puntos. empleando la metodología de Belton, con el objetivo de optimizar la nube de puntos durante el proceso de ejecutado.

El programa no lo ha ejecutado, se mantiene en el proceso de ejecutado sin avanzar.

6.1.2.4.3.7 Filter by points number

Este tipo de filtrado se aplica para la eliminación de puntos respecto a las agrupaciones que se han generado. Es el usuario el que decide el número de puntos que desea eliminar. Lo aplicaremos una vez se ha obtenido las segmentaciones de las nubes de puntos que mostraremos en la imagen 51.

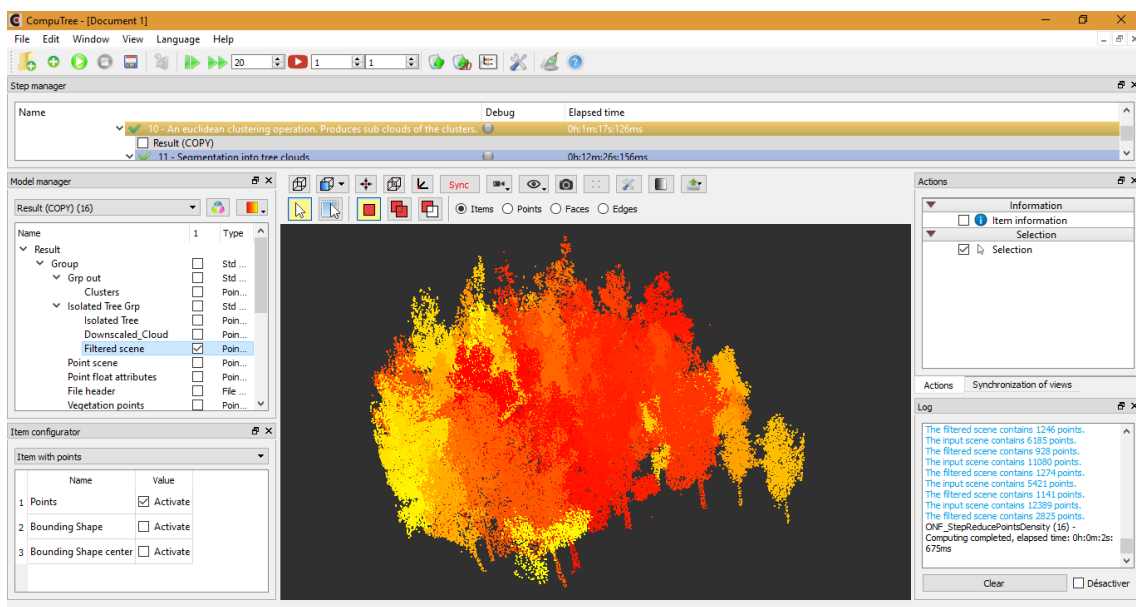


Imagen 51. Visualización de la nube de puntos tras realizar el filtrado. clasificado por identidades

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Como podemos apreciar, la densidad de los puntos en el conjunto de las nubes ha disminuido con creces, además podemos apreciar que el programa puede generar una nube de puntos por cada árbol, la prueba está en que podemos visualizar por medio de la identidad, cada árbol que forma el conjunto.

El filtrado es un paso importante, debido a que la densidad de puntos puede dificultar el proceso de cálculo.

6.1.2.4.3.8 *Filter cluster by the distance of the bounding box to given point*

Esta herramienta filtra la nube de puntos que ha sido agrupada previamente, empleando una cuadrícula que ha sido definida, limitándose por una distancia determinada por el usuario del programa.

Al probar este comando en nuestro ordenador, este se ha saturado y se ha cerrado automáticamente.

6.1.2.4.3.9 *Filters cluster by their bounding box*

Este es otro tipo de filtrado que aplicaremos una vez obtenido la segmentación de la nube de puntos. En este caso empleará una cuadrícula, la cual aplicará una tolerancia, eliminando aquellos que no entren en concordancia con ella.

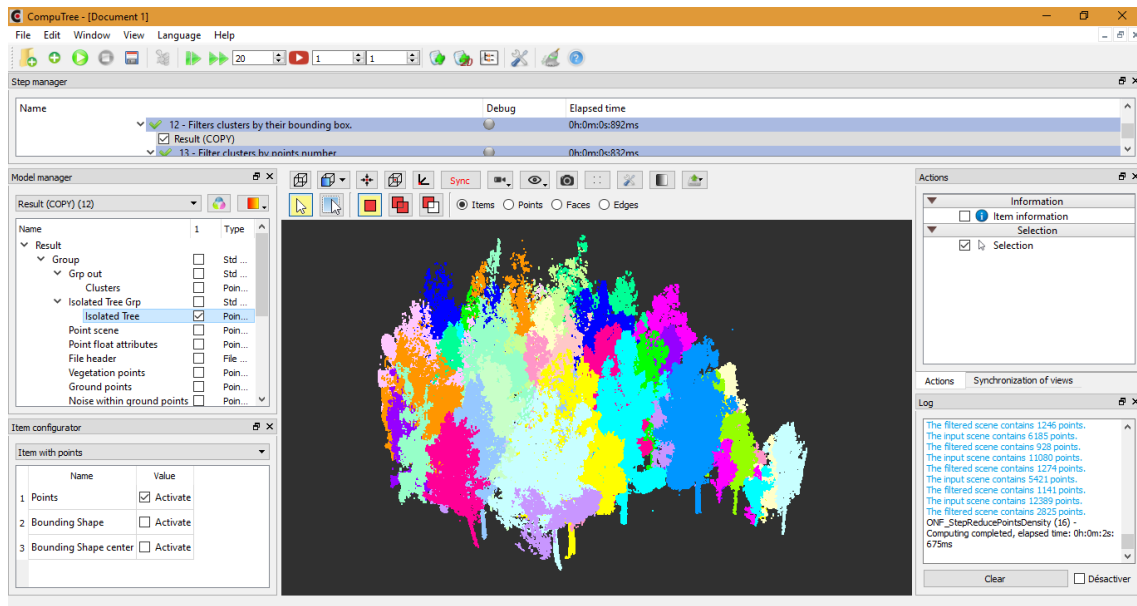


Imagen 52. Visualización de los grupos segmentados tras el filtrado. clasificado por medio de identidad

Este filtro va a la par con el filtro precedente de cluster by point number. Podemos apreciar en la imagen una mayor densidad de puntos que la que se ha obtenido por la herramienta precedente. Como podemos apreciar, el programa colorea cada árbol, diferenciando cada identidad y mostrando cada tipo de nube que contiene el archivo.

6.1.2.4.3.10 *Merges multiple clouds*

Esta herramienta juntará en una misma nube de puntos, varias nubes de puntos externas. Como se ha comentado anteriormente, el programa genera a cada operación, nubes de puntos nuevas,

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

nosotros solo podemos visualizarlas. Si deseáramos almacenarlas, debemos de exportarla a una ruta definida.

Gracias a la característica de generar nubes de puntos podemos unir o combinar varias nubes de puntos. Seguidamente, se aplicará un ejemplo del mismo proceso.

Combinaremos la capa que hemos despreciado, a la hora de seleccionar únicamente las bases de los árboles, obteniendo los matorrales o vegetación baja, para poder combinarlos con los puntos que se han clasificado anteriormente.

Para poder generar esta unión, no se requiere de ningún parámetro específico. Únicamente debemos de tener seleccionada una de las nubes de puntos que vamos a unir y seleccionar cuantas nubes queremos unir en una misma nube de puntos, como se muestra en la imagen 53.

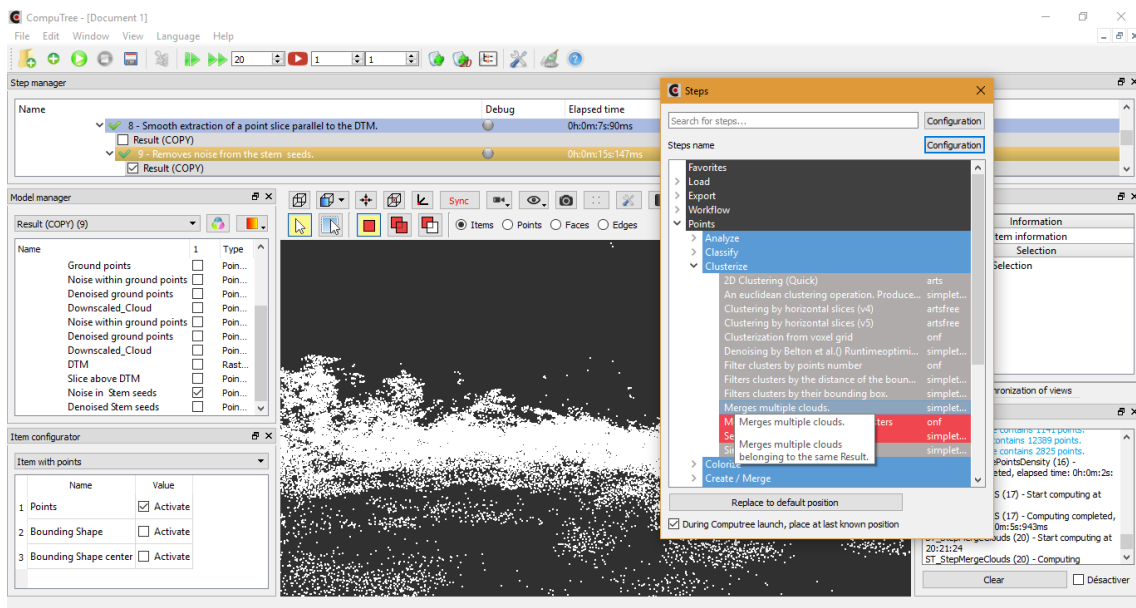


Imagen 53. Selección de los parámetros que van a intervenir en la fusión de las nubes

Como podemos apreciar en la imagen, se ha seleccionado la nube de puntos que se ha querido fusionar. En este caso ha sido los puntos de matorral que se han descartado en un proceso previo. La segunda nube de puntos a fusionar es la que presenta la nube de puntos del suelo. Podemos apreciar la diferencia de ambas en la imagen 54.

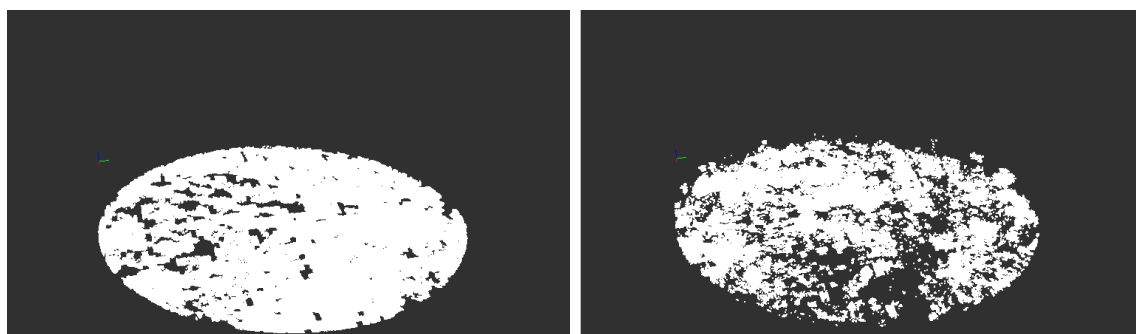


Imagen 54. Visualizaciones de las capas que se van a fusionar. La primera son los puntos de suelo y la segunda es el resultado de la extracción empleando el MDT como referencia

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Para obtener la siguiente imagen 55.

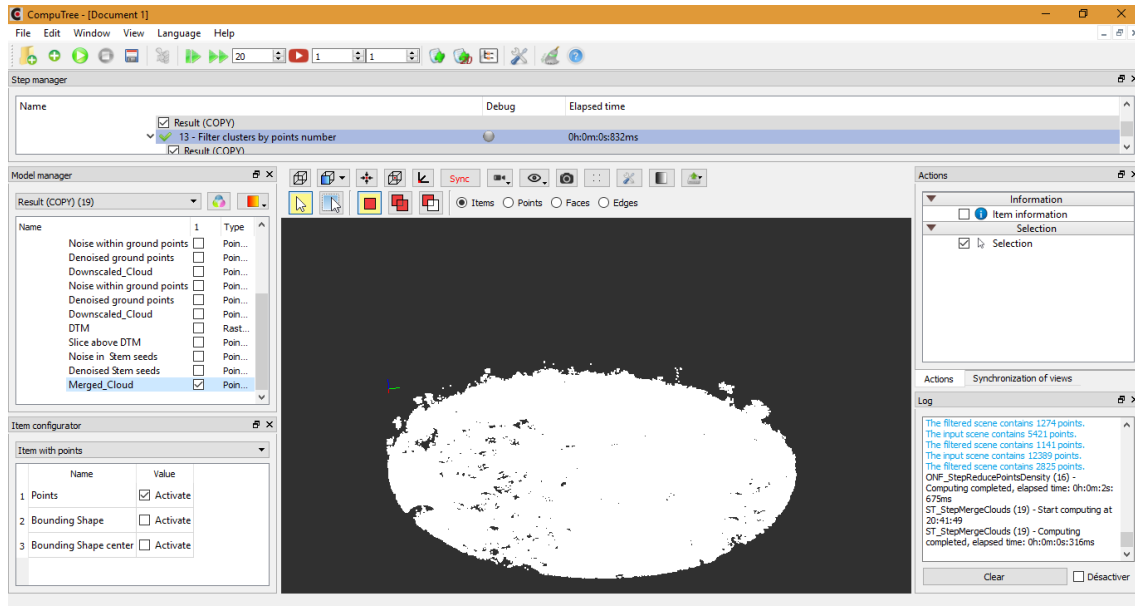


Imagen 55. Visualización de la nube de puntos tras la fusión

Esta nube de puntos se empleará posteriormente para realizar una triangulación inversa TIN de los matorrales, para conocer el valor asociado al combustible que podría condicionar si se produjera un incendio en la zona.

### 6.1.2.4.3.11 Modify thickness of the horizontal clusters

En la descripción que realiza el programa, no detalla ninguna definición específica, únicamente podemos apreciar la funcionalidad de la misma por medio del nombre que posee. En este caso modifica el grosor de las agrupaciones horizontales que se ha generado previamente.

Como se ha definido anteriormente, todas las herramientas no están a disposición de ser usadas, sino que, a medida de ir desarrollando un proceso determinado, se activarán las herramientas que ya puedan emplearse.

En nuestro caso, no se ha llegado a la activación de la misma, por lo que no podemos comprobar la funcionalidad ni la compatibilidad de la misma en el ordenador por el cual se ha realizado la prueba.

### 6.1.2.4.3.12 Segmentation into tree clouds

Este es una de las herramientas del programa más importantes. Generará una combinación de los datos asociados a la agrupación que se debe de realizar previamente con los datos de la vegetación. El programa generará otra agrupación, empleando los puntos que sean comunes con ambas nubes de puntos. El proceso de cálculo es bastante costoso, pero se obtiene una resolución esperada como muestra la imagen 56.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

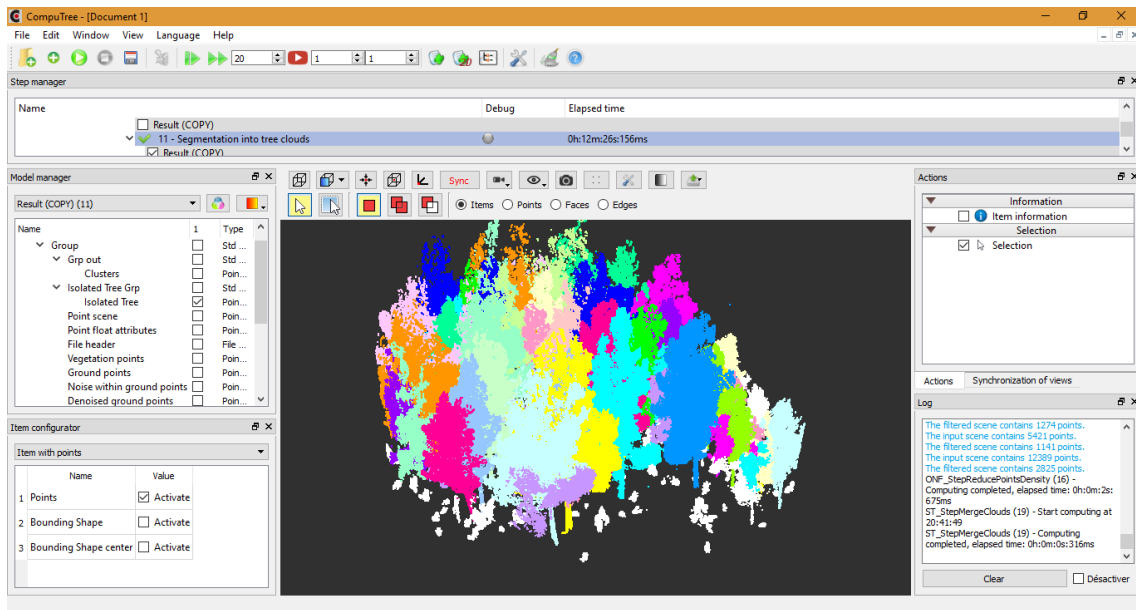


Imagen 56. Visualización de las nubes de puntos segmentadas. clasificadas por la identidad.

Como hemos estado realizando previamente, se están visualizando las nubes de puntos de cada árbol a partir de colores que emplea el programa automáticamente, al detectar las diferentes nubes de puntos.

Los parámetros que intervienen están asociados a la velocidad del cálculo y el rango empleado. Por defecto es 5 centímetros, En nuestro caso le hemos aumentado a 5, dado que el programa se saturaba y se cerraba. A la velocidad, también le hemos indicado que emplee el máximo valor que puede acceder.

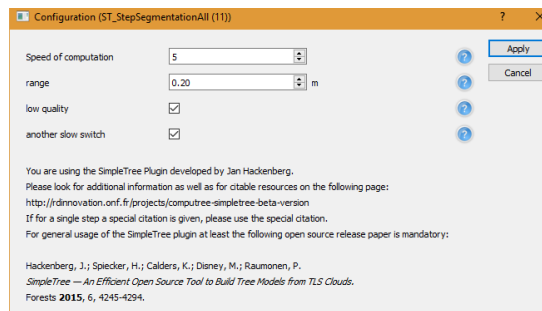


Imagen 57. Parámetros empleados para la realización de la segmentación

Seguidamente, aparecen iconos que tenemos la opción de emplear o no. En nuestro ejemplo, se han activado los dos. Esto es debido a que, en pruebas precedentes, el programa no soportaba el cálculo y se cerraba por saturarse.

6.1.2.4.3.13 SimpleTree Denoising routine.

Esta herramienta está presente en los plugins asociados a CompuTree. En este caso, eliminará el ruido durante el proceso de ejecución, asociado a cada árbol. Por lo que deberemos de aplicar esta herramienta una vez hallamos realizado la clasificación y segmentación de cada árbol del conjunto estudiado.

Esta herramienta únicamente, debemos de introducir cuantas agrupaciones queremos realizar en la operación.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

El ordenador no soporta la operación que se pretende realizar

6.1.2.4.4 Create/Merge

La herramienta más importante de este grupo es la que genera la triangulación inversa respecto a la nube de puntos. Como se ha mencionado anteriormente, emplearemos una de las nubes que se han combinado para realizar el modelizado TIN, podemos ver el resultado en la imagen 58.

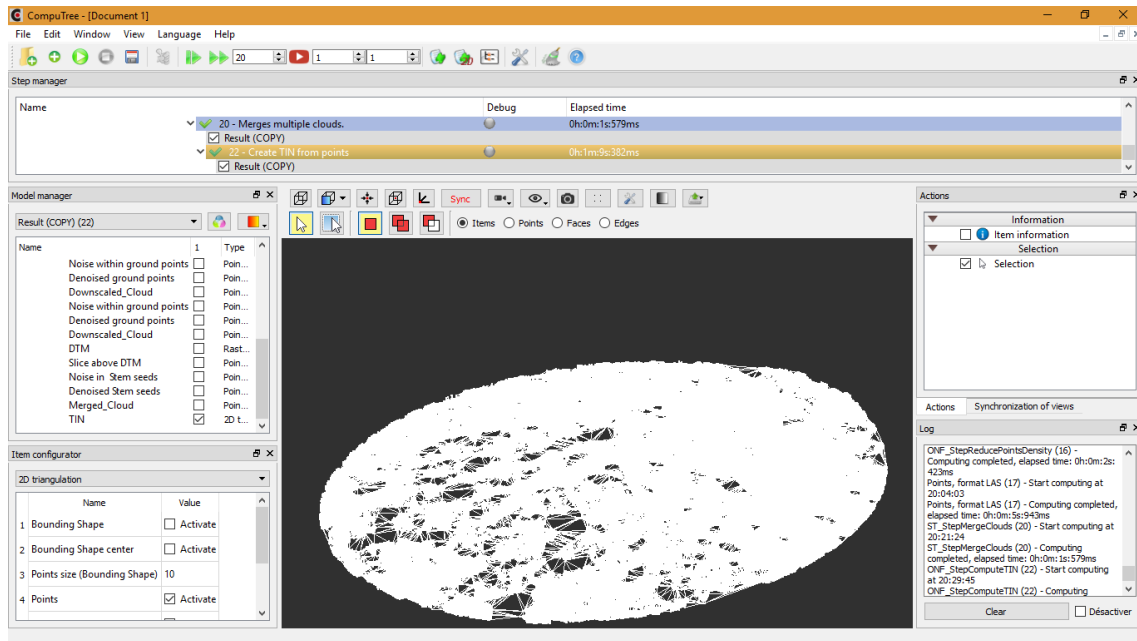


Imagen 58. Resultado de generar la triangulación inversa TIN

Este grupo, también posee una herramienta de fusión de nubes de puntos. Mediante pruebas que se han realizado, hemos concluido que es más factible realizar la fusión de estas nubes mediante la opción que ofrece la herramienta de cluster.

Por último, dentro de esta opción, encontramos la herramienta de Merge scenes interactively. Esta opción realiza un cambio en la programación, dado que pasa a generar los cálculos de manera manual, como indica la imagen 59.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

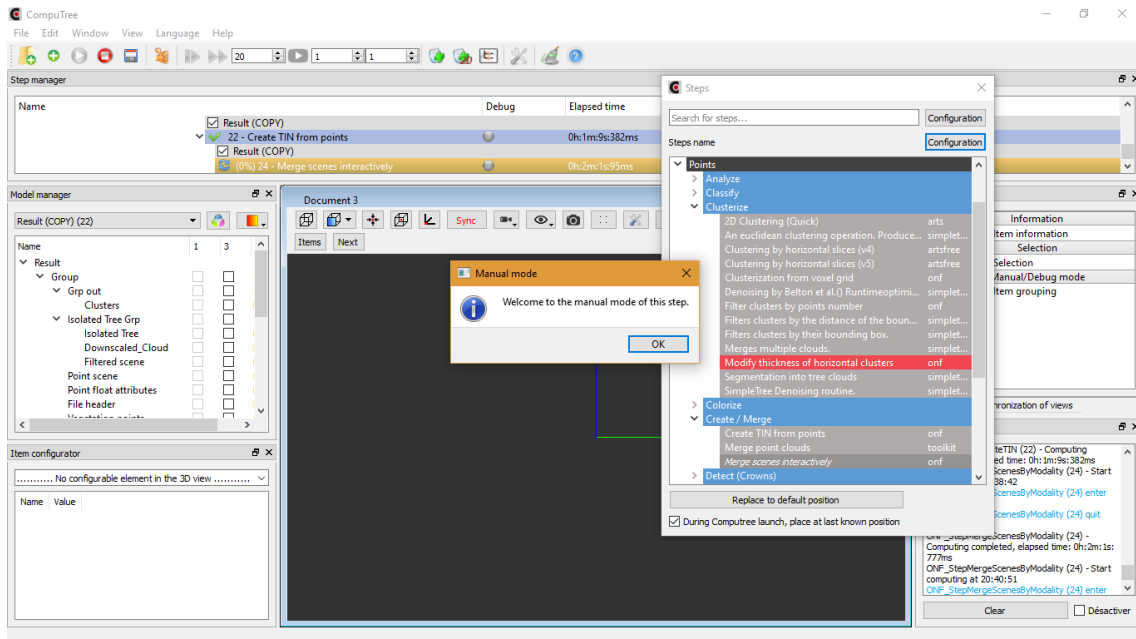


Imagen 59. Visualización de la repuesta que posee el programa al emplear la herramienta destacada

Podemos concluir que tampoco nos interesa esta opción dentro de las funciones de Create/Merge.

6.1.2.4.5 Detect (Crowns)

Dentro de esta opción encontramos la herramienta PTree Segmentation. Según la información asociada a esta herramienta, obtendría las copas de los árboles, una vez se haya finalizado el proceso de segmentación.

Al probarlo en nuestro ordenador, el programa se ha saturado y se ha cerrado automáticamente.

6.1.2.4.6 Extract

Durante el caso práctico mencionado, se ha empleado varias veces los comandos que ofrece. Esta herramienta emplea figuras geométricas, tanto bidimensionales como tridimensionales para poder extraer los datos que más interesan al usuario. Este condicionante vendrá dado por la disposición de la zona específica que deben de emplear, dado que normalmente los datos que se toman en campo suelen abarcar más rango o superficie de estudio. A continuación, describiremos todas las opciones que nos ofrece la agrupación de exportar.

6.1.2.4.6.1 Extract a circular plot

Según el nombre de la herramienta, extraerá un círculo de la representación que se muestre. La herramienta pide que seleccionemos una de las nubes de puntos para realizar la representación circular que se desea extraer.

A continuación, observamos la tabla de los parámetros que ofrece la propia herramienta por medio de la imagen 60:



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

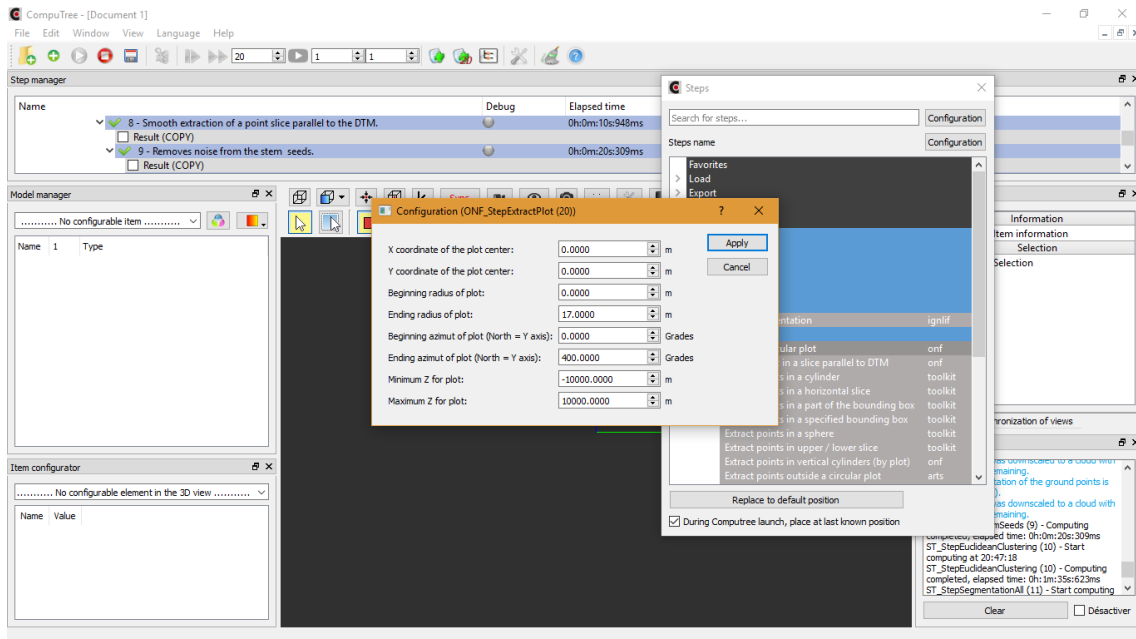


Imagen 60. Parámetros asociados a la herramienta de extracción por medio de un círculo

Según nos indica, debemos de indica el valor de las coordenadas del centro del círculo, el radio que empleará la representación. También podemos variar la inclinación y el área que puede llegar a abarcar este círculo.

Esta extracción elimina los puntos que se encuentren dentro de esa área definida. A continuación, mostraremos la diferenciación entre las nubes de puntos.

Para que la herramienta posea mayor visibilidad, se han modificado los parámetros de la siguiente forma, dentro de la imagen 61:

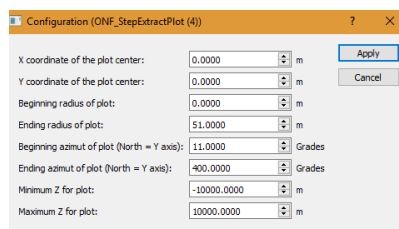


Imagen 61. Parámetros que intervienen en la generación de la exportación por la figura geométrica mencionada

Podemos apreciar la acción de eta herramienta con la comparativa siguiente en la imagen 62.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

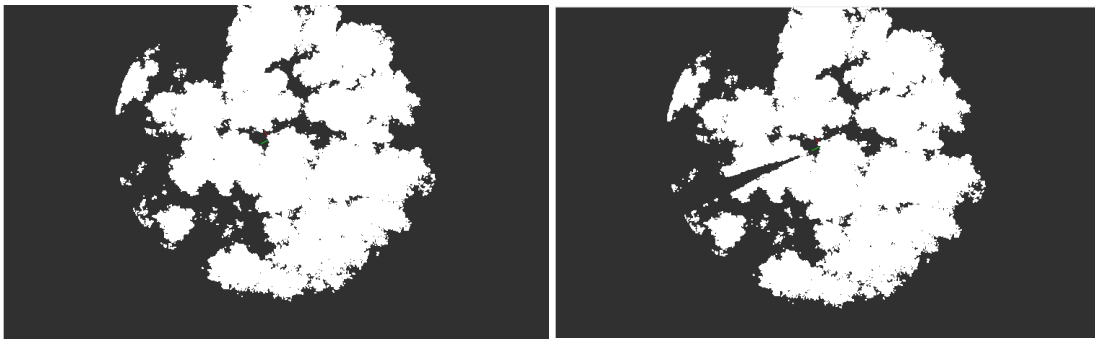


Imagen 62. Visualización del resultado tras la extracción empleando un círculo

6.1.2.4.6.2 Extract in a slice parallel to DTM

Este proceso, generará una sección a una nube de puntos, empleando como referencia la imagen RASTER del modelo digital del terreno.

Los parámetros que debemos de incorporar a este cálculo, están asociados a la altura del corte que se ha decidido aplicar, indicado en la imagen 63. En el caso práctico, como se deseaba obtener la base de los árboles, se ha empleado un corte con la Z mínima de 0 y la Z máxima de 2 metros. Dado que la idea es clasificar los datos que se encuentran como matorrales o vegetación baja de los propios árboles.

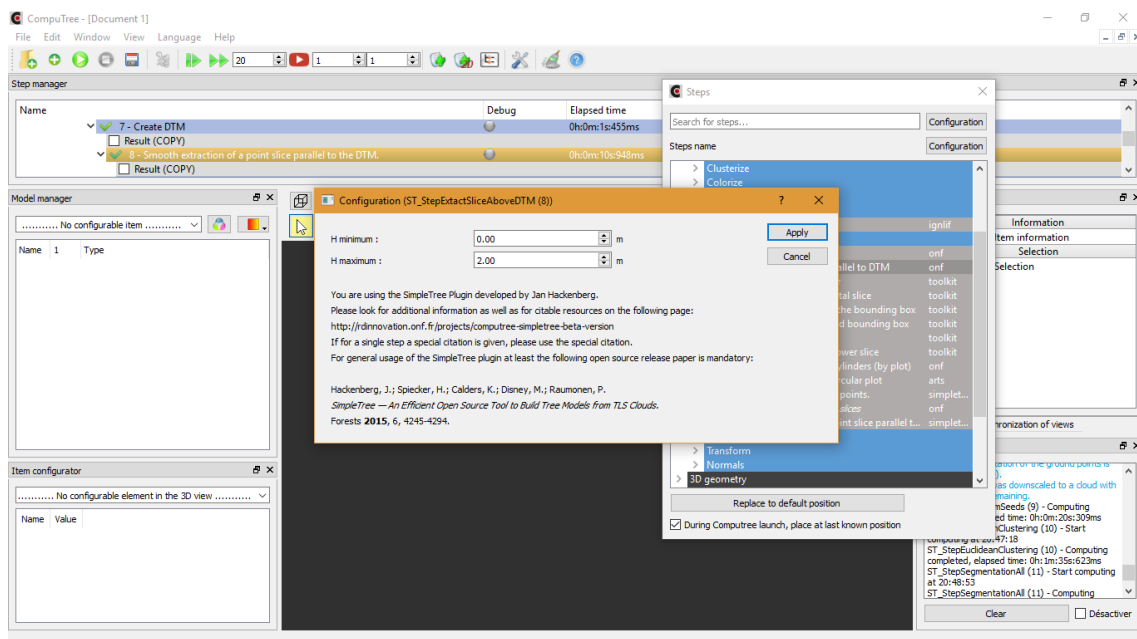


Imagen 63. Parámetros de la extracción de puntos empleando como referencia el MDT

Esta herramienta la emplearemos para realizar las agrupaciones de los árboles y con ello generar nuevas nubes de puntos para cada árbol que se encuentra en la zona de estudio.

6.1.2.4.6.3 Extract points in a cylinder

La siguiente herramienta a proponer es la que extrae los puntos de la nube por medio de un cilindro. Es un comando parecido al que hemos explicado anteriormente, el cual exportará un cilindro de la visualización de la nube de puntos seleccionada.

Los parámetros que emplea esta herramienta se representan en la imagen 64:

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

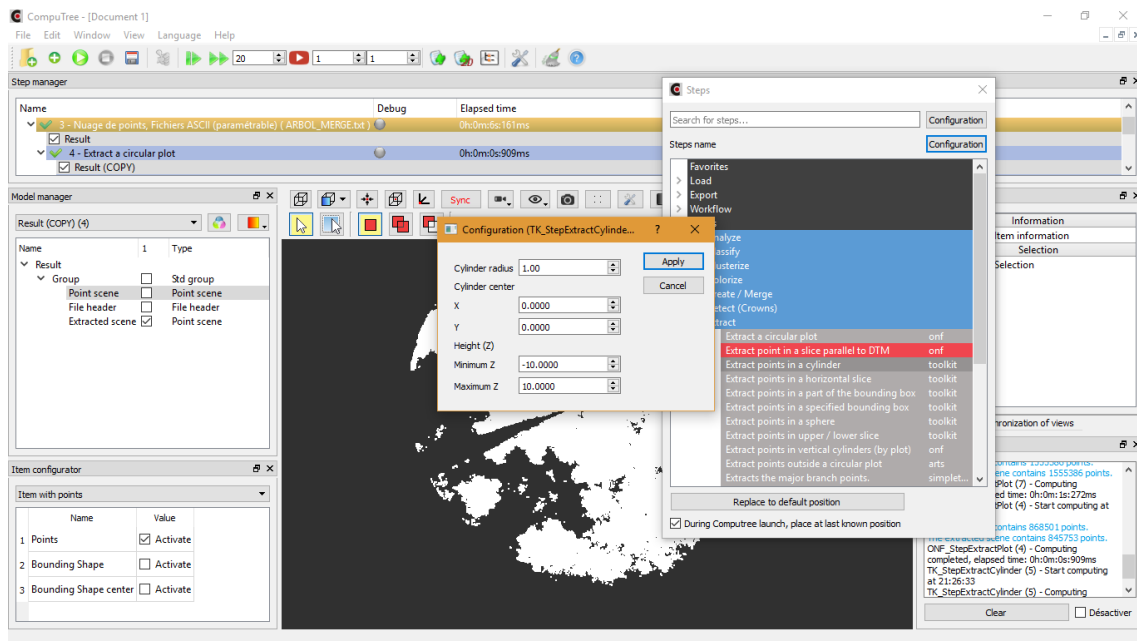


Imagen 64. Parámetros asociados a la herramienta de extracción de puntos por un cilindro

En este caso, la herramienta eliminará los puntos que se encuentren fuera del cilindro que ha generado. A continuación, mostraremos la comparativa de las nubes de puntos, empleando un cilindro de radio de 10 metros. Visualizaremos el resultado por medio de la imagen 65.

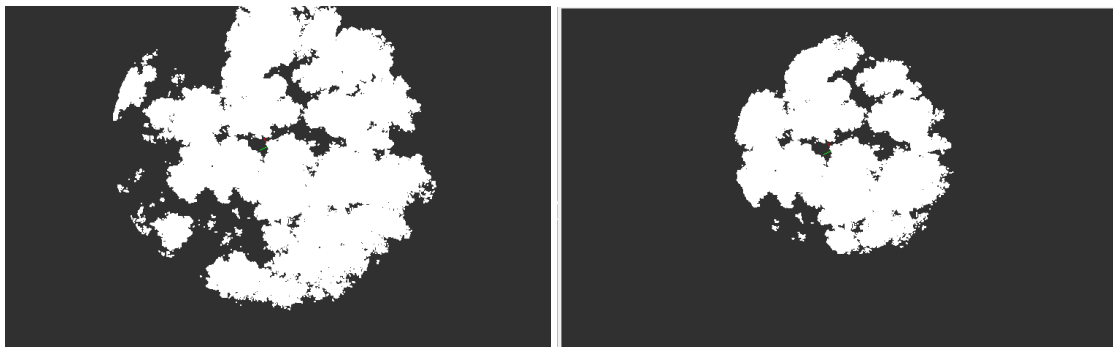


Imagen 65. Visualización de la comparativa revia a la extracción y la extracción generada por el cilindro

Esta herramienta es bastante interesante, a la hora de poder desprejar los puntos que no deseemos, al tratarse de un entorno tridimensional, podemos modificar el cilindro como deseemos, con el objetivo de construir la nube de puntos como nos interese. Esto nos ofrecerá mayor solvencia en cuanto a la reducción de los cálculos, al encontrarse con una menor densificación de los puntos.

6.1.2.4.6.4 Extract points in a horizontal slice

La siguiente herramienta que nos encontramos es la de extraer puntos a partir de una sección horizontal. Al seleccionar esta herramienta, la nube de puntos que deseemos emplear, nos aparece en la imagen 66, siendo la siguiente tabla de parámetros:

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

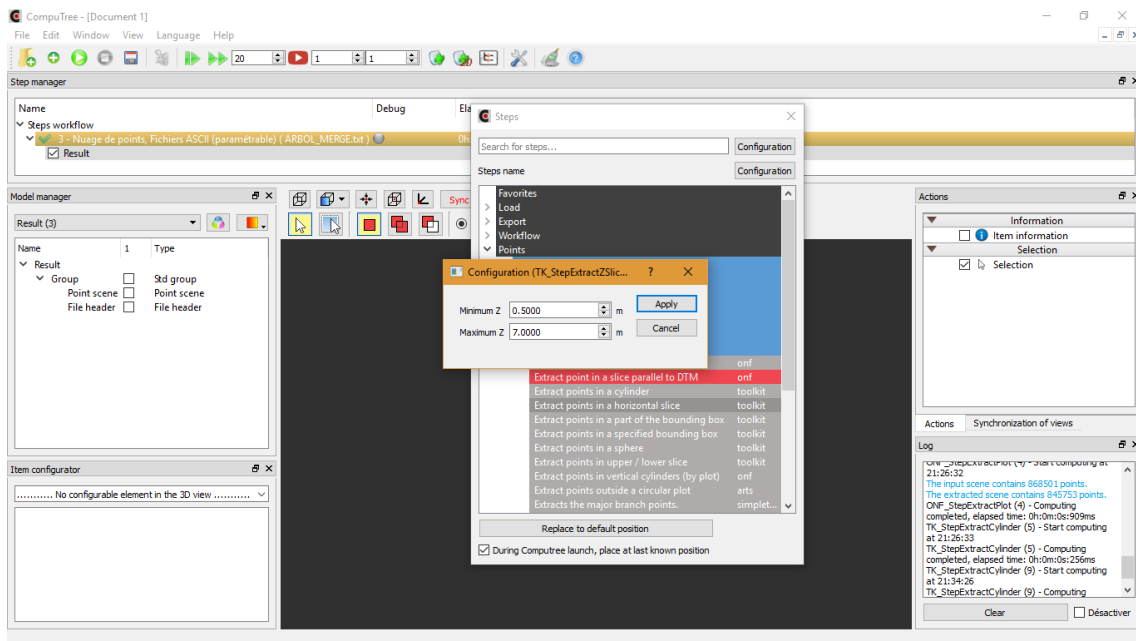


Imagen 66. Parámetros asociados a una extracción por cortes horizontales

Como se ha explicado anteriormente, seccionará la nube de puntos por medio del rango empleado. Podemos apreciar el efecto de la misma con la siguiente comparativa en la imagen 67.



Imagen 67. Comparativa de la nube de puntos tras el resultado de la extracción generada por la herramienta

Podemos afirmar que la herramienta secciona los puntos que se encuentran entre las cotas de 0 a 7 metros. Además de que elimina los puntos sobresalientes de la nube de puntos.

6.1.2.4.6.5 *Extract points in a part of the bounding box*

La siguiente empleará un cubo para la eliminación de los puntos dentro de la nube de puntos. Al seleccionar esta opción, nos aparecen los siguientes parámetros mostrados en la imagen 68:

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

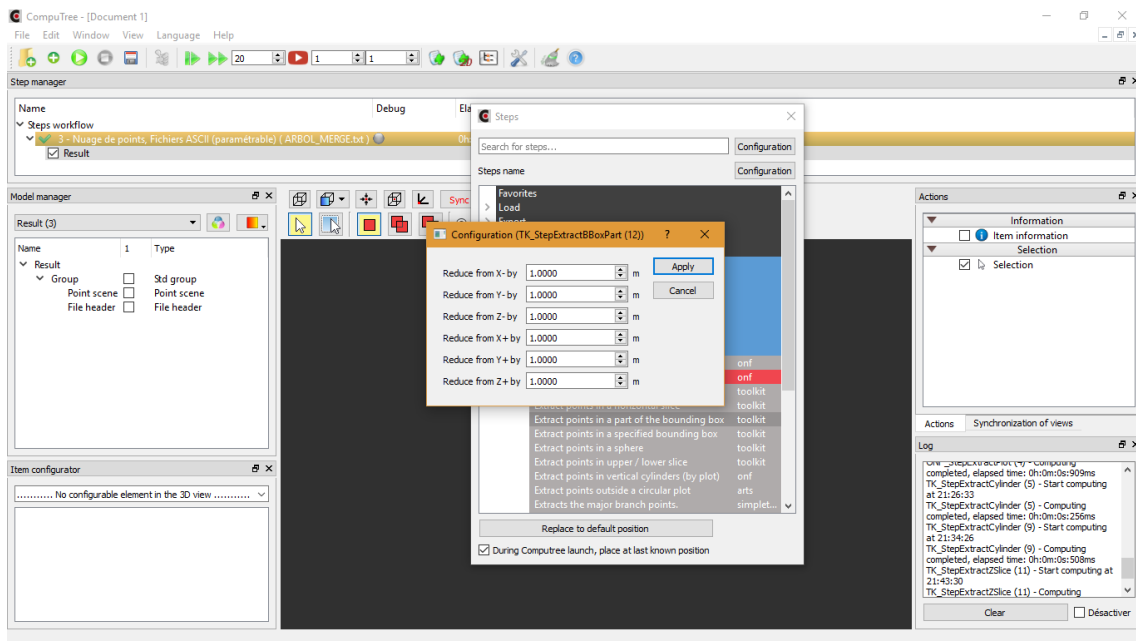


Imagen 68. Parámetros asociados al cubo que emplea la herramienta para la extracción de los puntos

Para su mayor apreciación, se modificarán estos parámetros, los cuales se ha decidido reducir y aumentar cada coordenada 3 metros. A continuación, mostraremos el resultado, por medio de la imagen 69, empleando la comparativa que estamos empleando en cada caso.

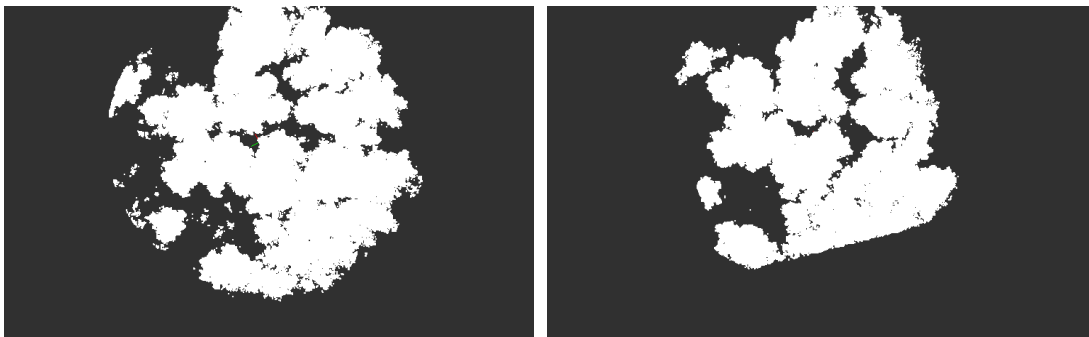


Imagen 69. Comparativa de los resultados tras la extracción de los puntos empleando un cubo

6.1.2.4.6.6 Extract points in a specified bounding box

Esta herramienta genera una un cubo diferente al de la herramienta anterior. Los parámetros que emplea este comando se muestran en la imagen 70:

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

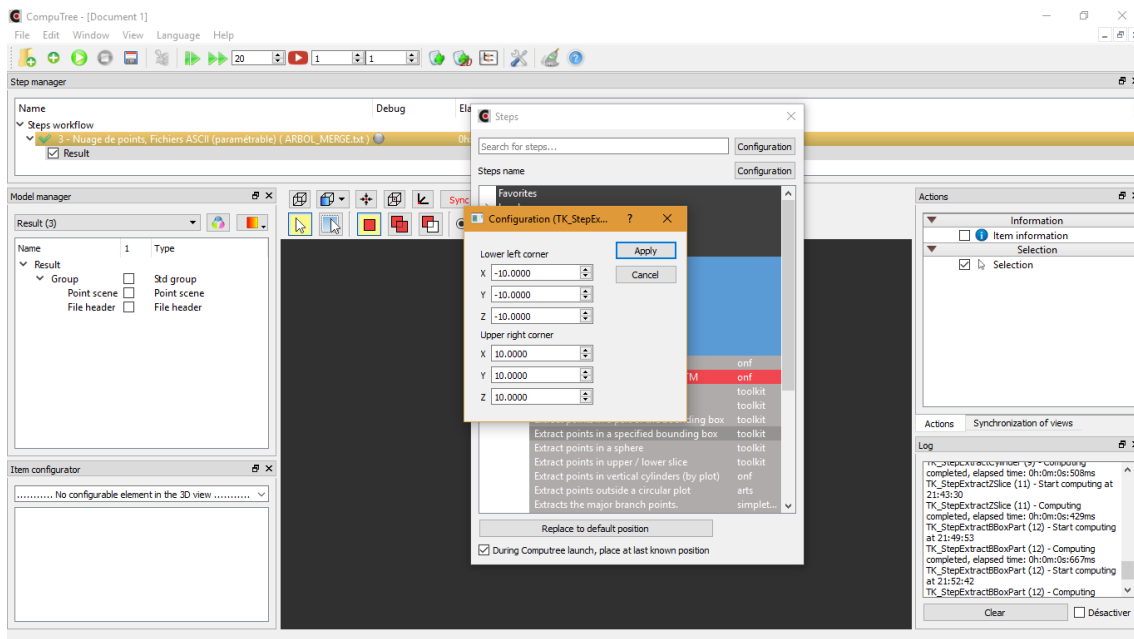


Imagen 70. Parámetros que emplea la herramienta que genera un cubo específico para la extracción de los puntos

La diferencia que apreciamos con el resultado anterior, es que podemos controlar la dimensión del cubo, diferenciando la esquina inferior izquierda y la esquina superior derecha.

Podemos emplear cualquiera de las dos herramientas. El resultado que realiza esta herramienta es la especificación de la zona. Esta segmentación de la zona, servirá para poder clasificar y centrar la zona que se desea de estudiar, eliminando aquellos puntos que no intervienen en el proceso.

### 6.1.2.4.6.7 Extract points in a sphere

Esta herramienta seccionará la nube por medio de una esfera. Por defecto, el parámetro para generar la esfera, el radio es 1 metro y el centro de la misma esfera es en el origen de las coordenadas.

La escena resultante se mostrará en la imagen 71.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

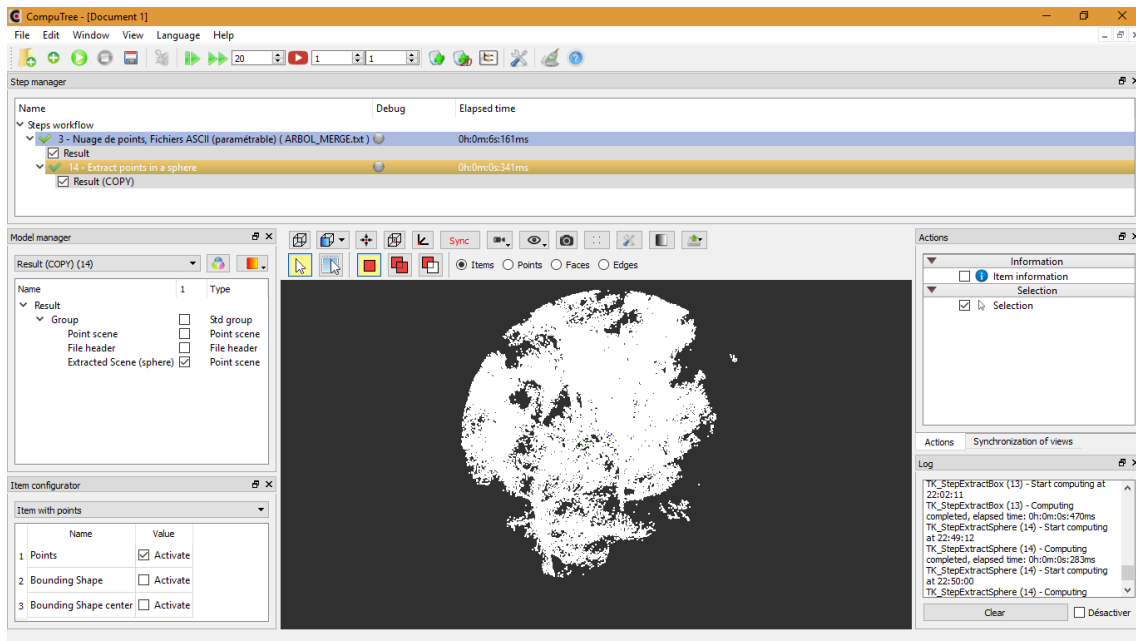


Imagen 71. Resultado de la nube de puntos tras extraerlos empleando una esfera

6.1.2.4.6.8 Extract points in upper/lower slice

Esta herramienta seccionará la nube de puntos, separando la zona inferior de la superior. Para ello, emplearemos los parámetros que emplea la herramienta, como se muestra en la imagen 72.

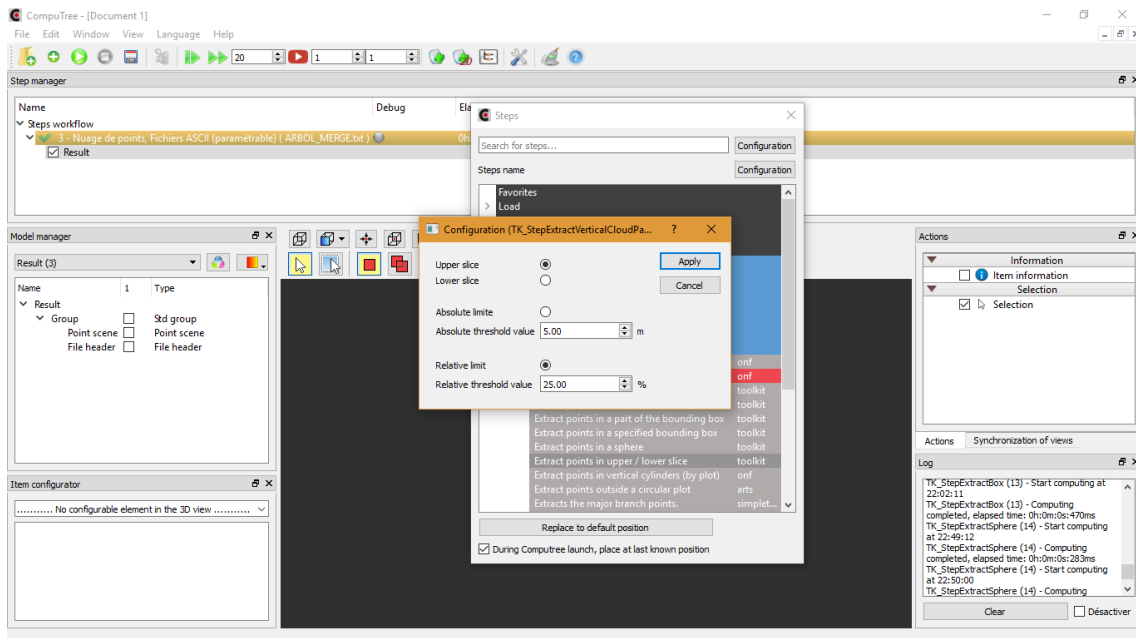


Imagen 72. Parámetros empleados para la extracción de los puntos realizando cortes superiores o inferiores

Para comprobar la funcionalidad de la herramienta, probaremos los mismos parámetros que define el programa automático. El resultado obtenido se mostrará en la imagen 73.



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

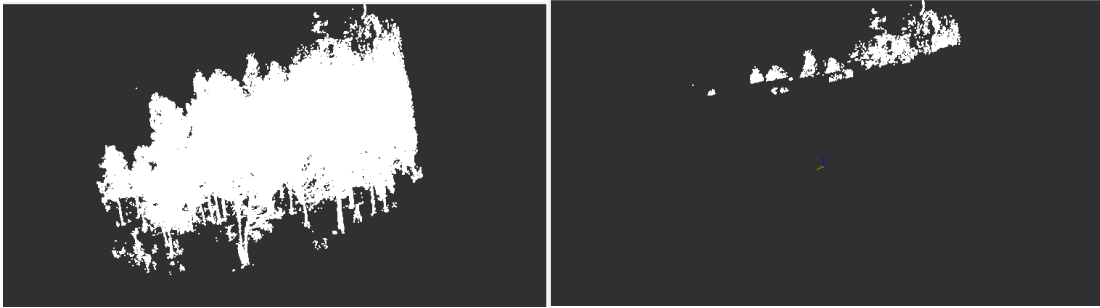


Imagen 73. Comparativa de la nube tras realizar una extracción superior

Como podemos apreciar, la herramienta a seccionado los puntos que se encontraban en la parte superior de la nube de puntos a una distancia de 5 metros.

Podemos seleccionar la opción asociada a la parte que deseamos, la cual afecta la parte inferior o la parte superior de la nube de puntos que empleemos en cada momento.

6.1.2.4.6.9 Extract points in vertical cylinders (by plot)

Este modelo de extracción, emplea un cilindro procedente de un fichero externo. Debemos de indicar el directorio del mismo y especificar la dimensión del mismo para el recorte de la nube de puntos. Mostraremos los parámetros necesarios en la imagen 74.

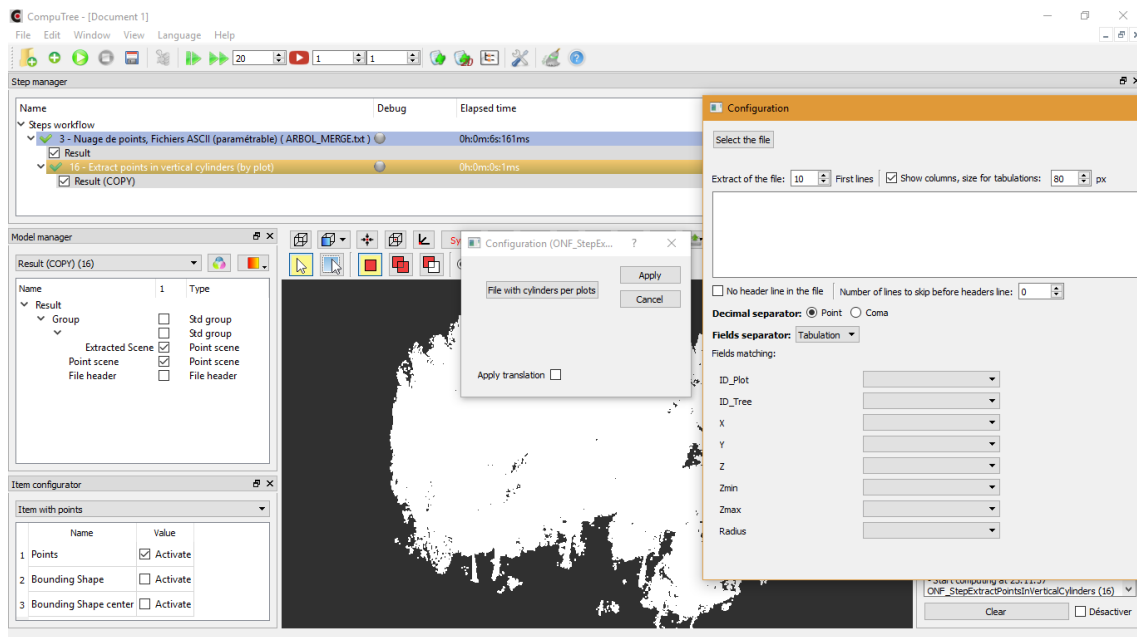


Imagen 74. Parámetros que intervienen en la extracción empleando un cilindro de un fichero externo

Dado que no tenemos a disposición un cilindro coherente a la nube de puntos, no podemos comprobar la funcionalidad, pero podemos afirmar que el resultado será similar al obtenido empleando un cilindro del programa.

6.1.2.4.6.10 Extract points outside a circular plot

Esta herramienta extraerá todos los puntos fuera del círculo que se haya representado. Es la operación inversa de la extracción de los puntos por medio del círculo.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

6.1.2.4.6.11 Extracts the major branch points

Esta herramienta detecta automáticamente los puntos de ramas mayores. Los parámetros por defecto del programa son los siguientes que muestra la imagen 75.

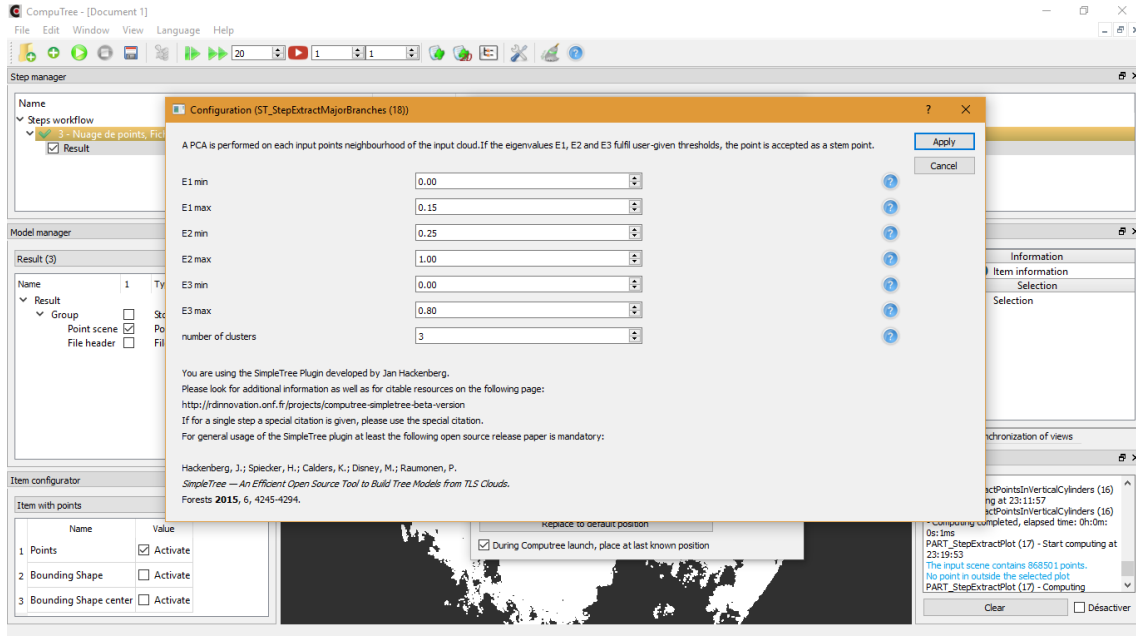


Imagen 75. Parámetros asociados a la herramienta de extracción de los troncos mayores

Según los parámetros por defecto, en lo que respecta al parámetro de numero de agrupación, el cual es 3, generará una extracción de los troncos respecto a ese número de agrupación. Para poder apreciar más la selección de esos troncos, se ha empleado la cifra de 50.

A continuación, mostraremos el resultado, empleando la imagen 76:

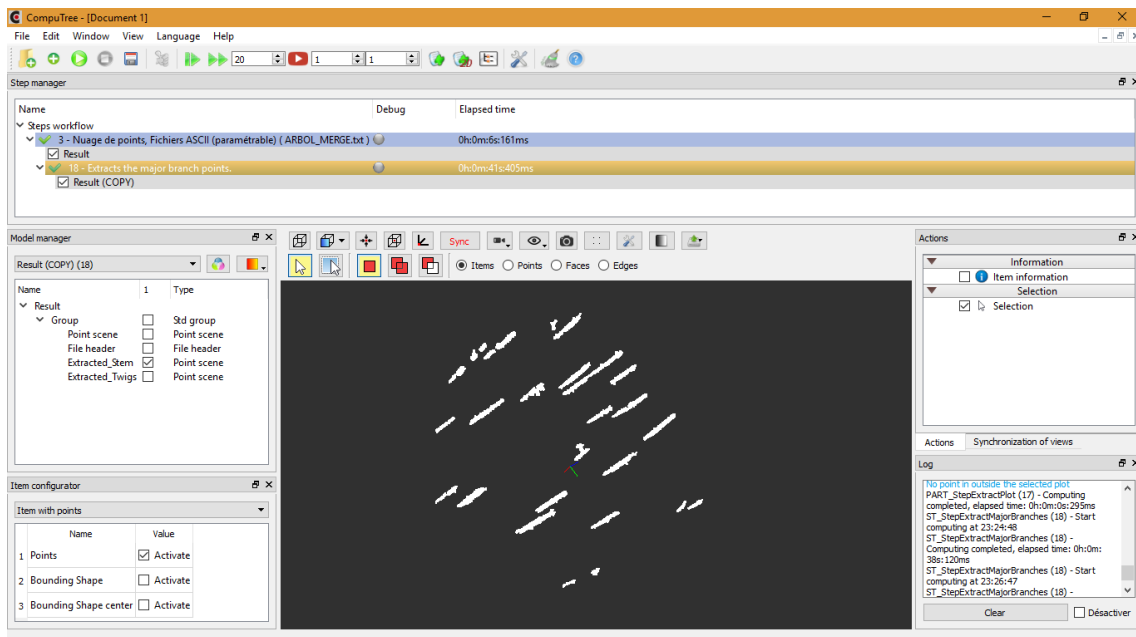


Imagen 76. Visualización del resultado de la extracción de los troncos mayores de la nube de puntos

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

Esta herramienta clasifica los troncos y las ramas, generando nuevas nubes de puntos.

6.1.2.4.6.12 *Segment scene in horizontal slice*

La siguiente herramienta generará secciones horizontales a la nube de puntos.

La herramienta emplea los siguientes parámetros, los cuales emplea el grosor de la sección y la distancia que separa cada sección generada. Estos parámetros se muestran en la imagen 77.

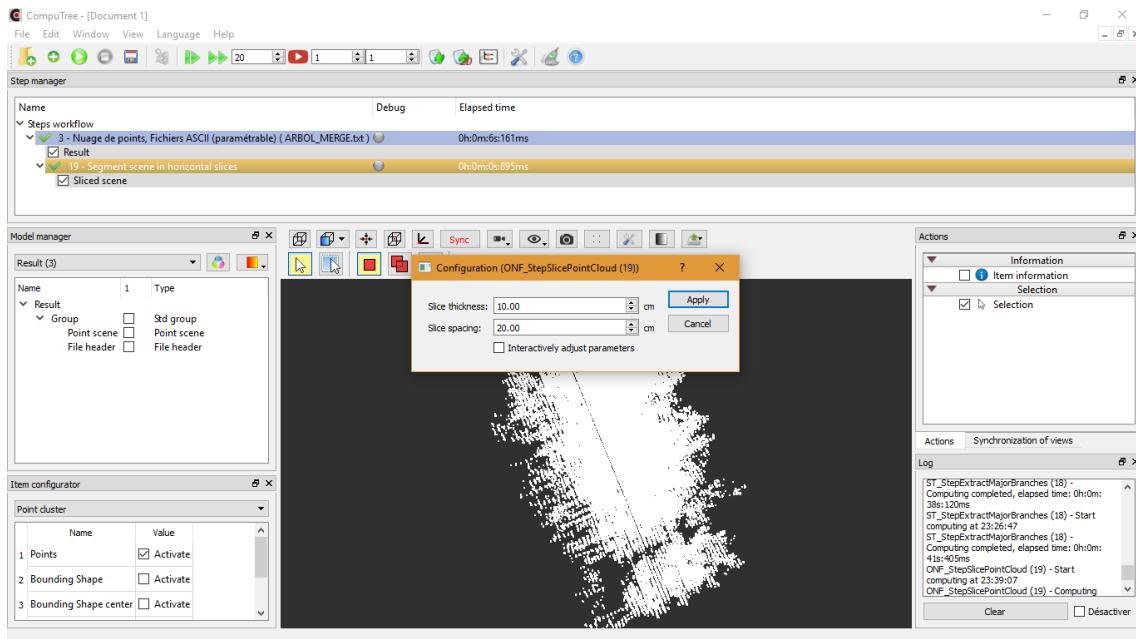


Imagen 77. Parámetros asociados a la herramienta de extracción empleando cortes horizontales

Seguidamente mostraremos la comparativa de la nube empleando la imagen 78, donde muestra la imagen original y otra que mostrará el resultado de la segmentación.



Imagen 78. Comparativa de la nube de puntos tras la extracción

6.1.2.4.6.13 *Smooth extraction of a point slice parallel to the DTM*

Esta herramienta es similar a la que se ha expuesto previamente de la exportación de los datos a partir de un corte tomando como referencia un modelo digital del terreno. La diferencia es que el programa suaviza el resultado para poder apreciar el entorno más sencillamente.

Los parámetros que empleamos son los mismos que en la anterior, debemos de especificar el rango que emplearemos para el corte. Este rango lo aplicaremos por medio de las coordenadas de altura (Z).

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

En el caso práctico previo, se ha empleado el rango de 0 a 2 metros. El resultado lo mostraremos a continuación, empleando la imagen 79

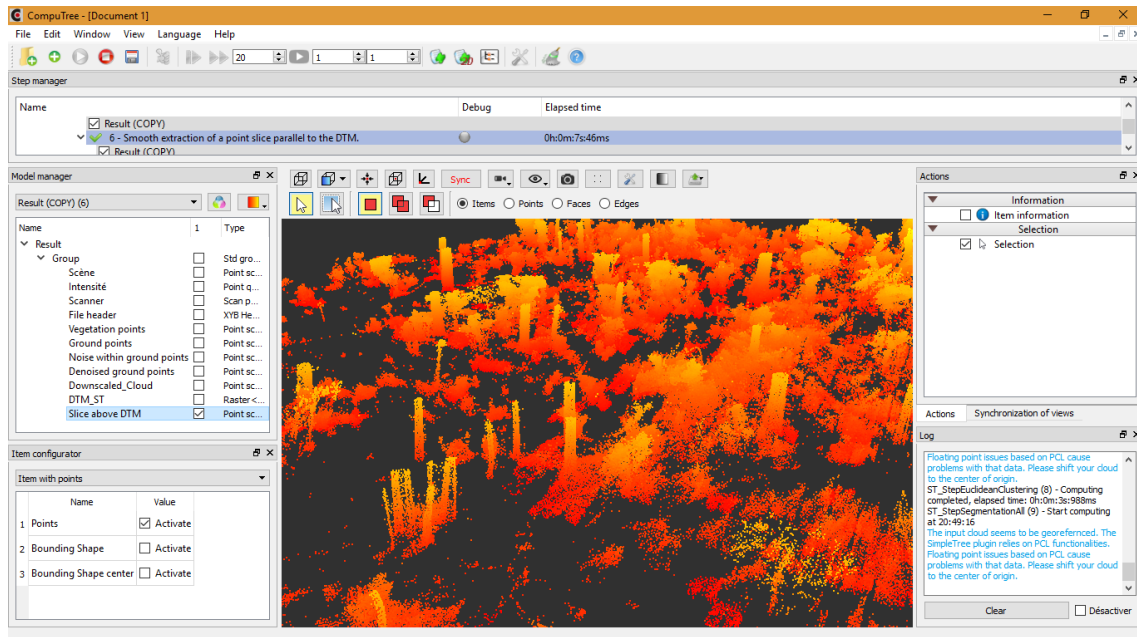


Imagen 79. Visualización del resultado tras la extracción de la nube de puntos empleando como referencia el MDT

#### 6.1.2.4.7 Filter

A continuación, mostraremos los filtrados que podemos emplear en este programa, con el objetivo de depurar o eliminar los puntos que no nos interese. El objetivo principal de estas funciones es la mejora de la nube sobre la que se emplea dichas funciones.

##### 6.1.2.4.7.1 Buffers two clouds

Este filtrado, se emplea para la unión de dos nubes de puntos, empleando un rango específico para ello.

Para poder emplear esta herramienta, debemos de poseer diversas nubes de puntos asociadas para que pueda realizar el filtrado deseado

##### 6.1.2.4.7.2 Clear Sky filter

Este filtrado eliminará aquellos puntos que se encuentran alejados de las agrupaciones de puntos. Para ello, debemos de introducir los parámetros asociados a la cantidad de puntos que vamos a emplear y el valor del rango a emplear durante el filtrado.

Por defecto, estos valores son 1000 puntos asociados en el filtrado y 1.5 el valor del rango empleado.

A continuación, mostraremos los resultados de la operación, por medio de la imagen 80.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN



Imagen 80. Comparativa entre la nube de puntos tras el filtrado realizado, mostrando los puntos despreciados

Podemos apreciar que el programa realiza el proceso deseado. Debemos tener en cuenta que el programa no define el cielo únicamente la parte superior de la escena, si no que también lo emplea para la parte inferior. Por lo tanto, la definición de cielo en este sentido se emplea para definir el área ajena a la agrupación mayor generada en el conjunto. Por lo que puntos que están definidos como los troncos, se han eliminado de la nube de origen.

A continuación, mostraremos el resultado de este filtro, en la imagen 81.

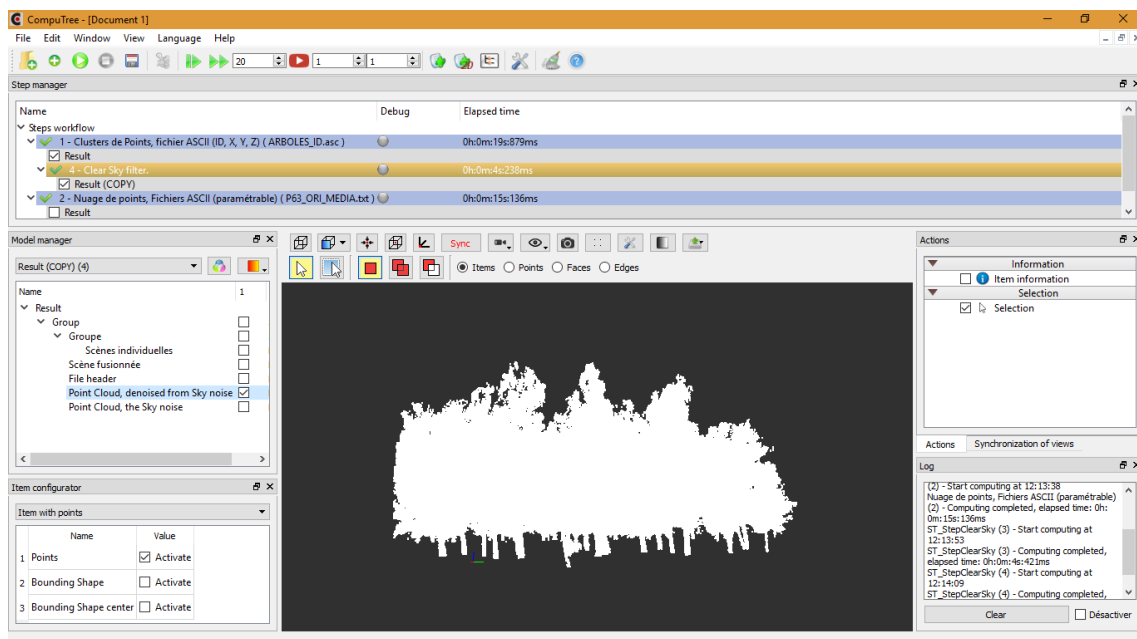


Imagen 81. Resultado final tras aplicar el filtrado

#### 6.1.2.4.7.3 Euclidean clustering denoising

Este filtrado emplea la distancia euclídea, la cual agrupará el conjunto, para la eliminación del ruido. Esta función genera dos nuevas nubes de puntos, las cuales, diferenciarán el conjunto de puntos extraídos por parte de la agrupación menor o mayor.

Los parámetros que emplearemos en esta secuencia son los que muestra la imagen 82:

## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

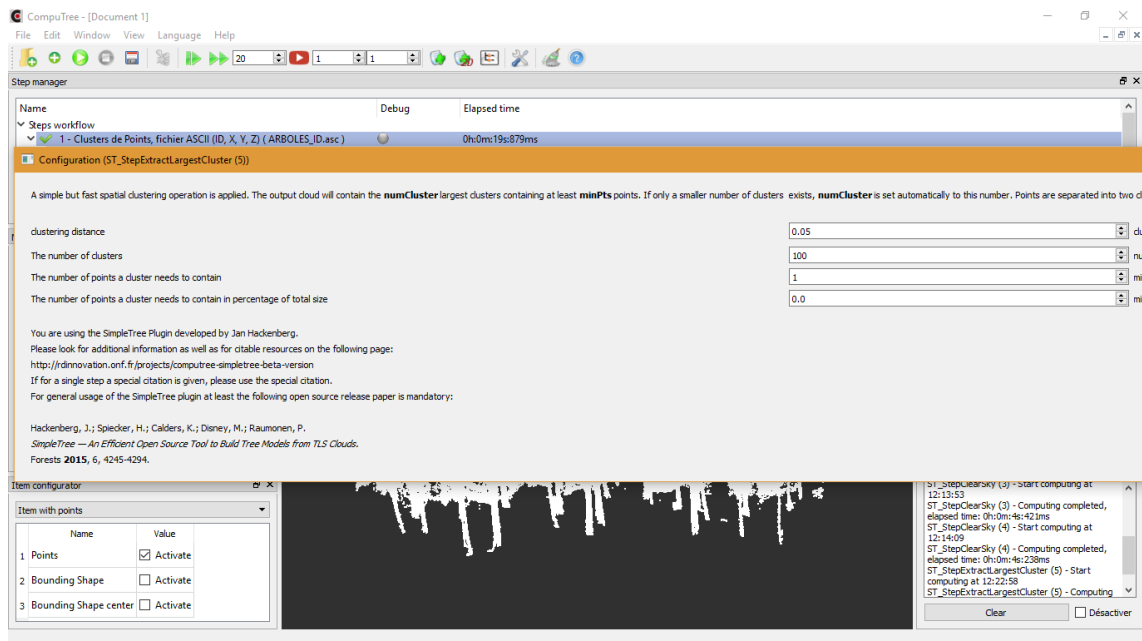


Imagen 82. Parámetros asociados a la herramienta de Euclidean clustering denoising

A continuación, mostraremos la diferenciación entre las dos nubes que se han generado, por medio de la imagen 83

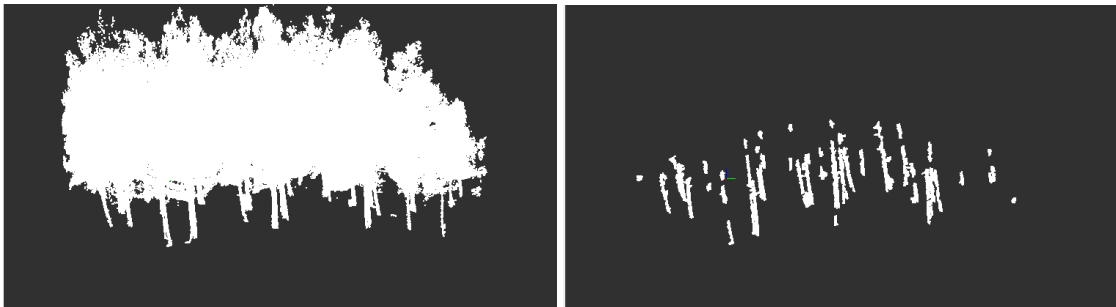


Imagen 83. Comparativa de la nube de puntos de origen con el resultado de la clasificación que realiza el filtrado

En este caso, los puntos que más se han visto filtrados por esta herramienta son los puntos que están asociados a los troncos de los árboles.

### 6.1.2.4.7.4 Filter points by intensity

Este filtrado está asociado a la eliminación de los puntos asociados a la intensidad de los puntos. Para ello, debemos de conocer el rango por el cual se va a realizar este filtrado.

El programa lo ha realizado, pero no se aprecian ningún resultado visible, dado que el parámetro de intensidad es ajeno a los puntos que componen la escena. Si el programa tuviera la posibilidad de otorgar color a aquellos atributos ajenos a las coordenadas, como en el caso deseado de intensidad, podríamos comparar la diferencia de tonalidad entre la nube de puntos de origen y la que se ha obtenido tras el filtrado aplicado.

### 6.1.2.4.7.5 Points filters

Esta operación filtrará los puntos y los clasificará. Para ello, podemos apreciar dos vías de empleo de esta herramienta de uso:

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

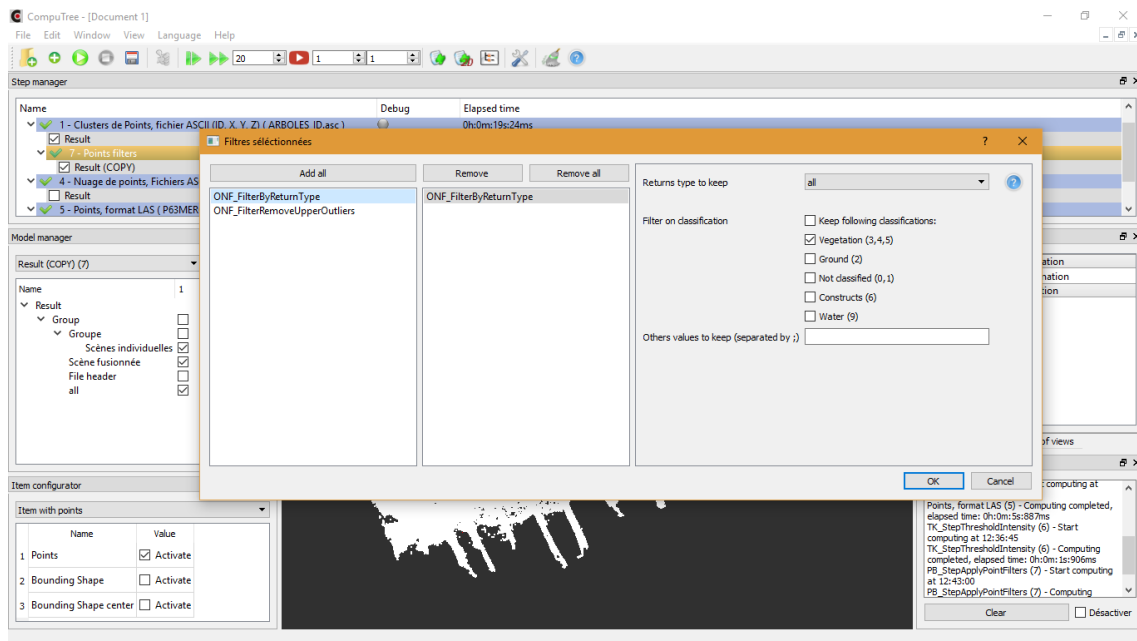


Imagen 84. Parámetros asociados al uso de parámetros definidos por una tolerancia para realizar el filtrado

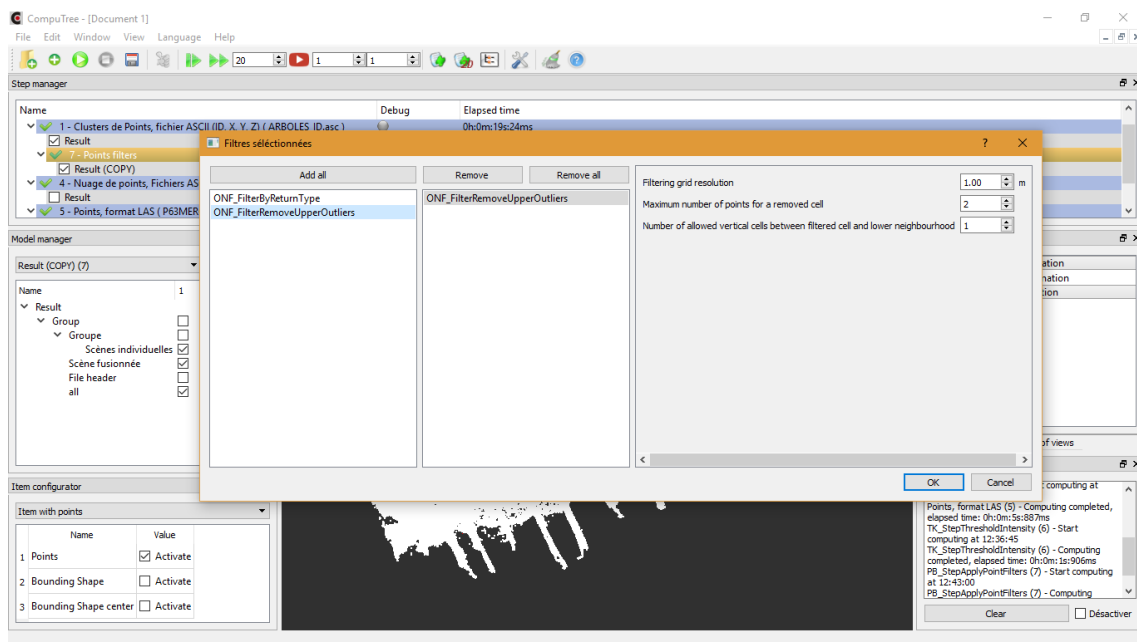


Imagen 85. Parámetros que eliminarán los puntos siguiendo las características delimitadas.

Dependiendo del objetivo que tengamos en mente. En la primera opción, clasificará los puntos que se encuentren dentro de la tolerancia definida para el filtrado que se vaya a emplear. Definidos por la imagen 84.

El segundo comando, emplearemos los parámetros definidos en la imagen 85, eliminará los puntos que empleando las características de los parámetros. Eliminando tantos puntos como se definan, empleando una resolución de la cuadrícula a emplear y el número de agrupaciones que se generarán durante el proceso de ejecución.



## EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

### 6.1.2.4.7.6 Radius Outlier Removal

Esta herramienta calcula todos los puntos por medio de iteraciones en la nube que trabajamos.

Seguidamente, mostraremos los parámetros que emplea y comprobaremos la utilidad de este tipo de filtro respecto a nuestra nube de puntos. Estos se muestran en la imagen 86.

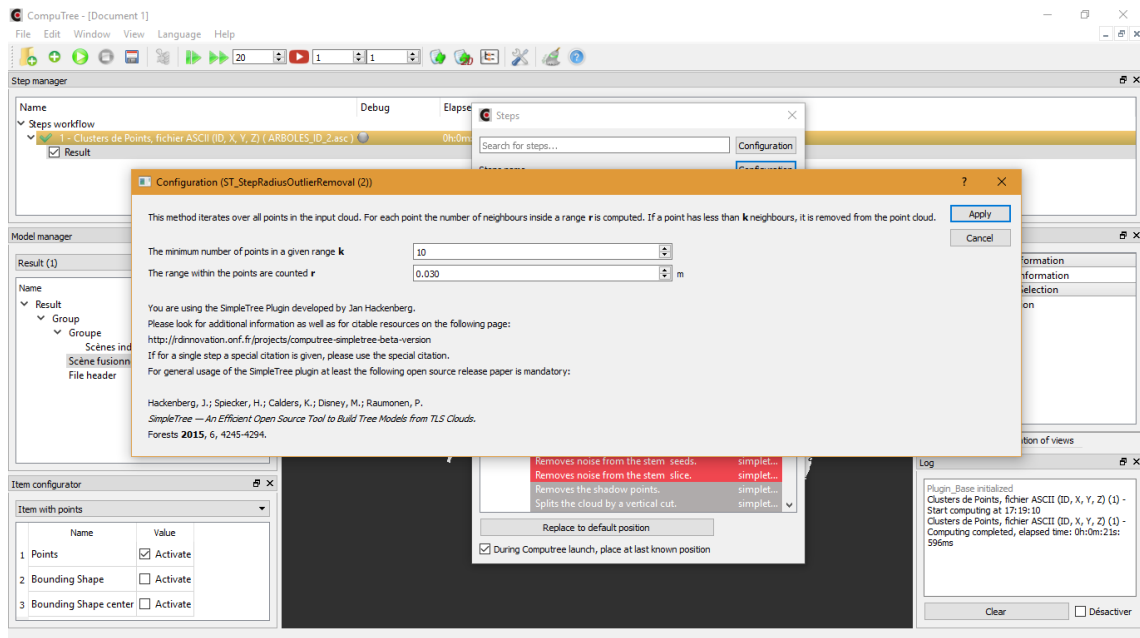


Imagen 86. Parámetros asociados al filtrado por medio de la eliminación de los puntos empleando un radio

El parámetro  $r$  es el valor de vecinos próximos que se encontrarán dentro del rango propuesto para el cálculo. Si el punto se encuentra con que posee un valor inferior de vecindario al introducido al parámetro  $k$ , esos puntos serán eliminados de la nube de puntos.

Por la comprensión, esta herramienta eliminará los outliers que se encuentren en nuestra nube, que posean pocos entornos de puntos contiguos, el programa los eliminará.

El programa no ha soportado el proceso y ha colapsado.

### 6.1.2.4.7.7 Reduce points density

Este filtro reducirá la densidad de puntos de la nube de puntos. El único parámetro, indicados en la imagen 87, que debemos introducir es el indicar de la dimensión de la cuadrícula a emplear:

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

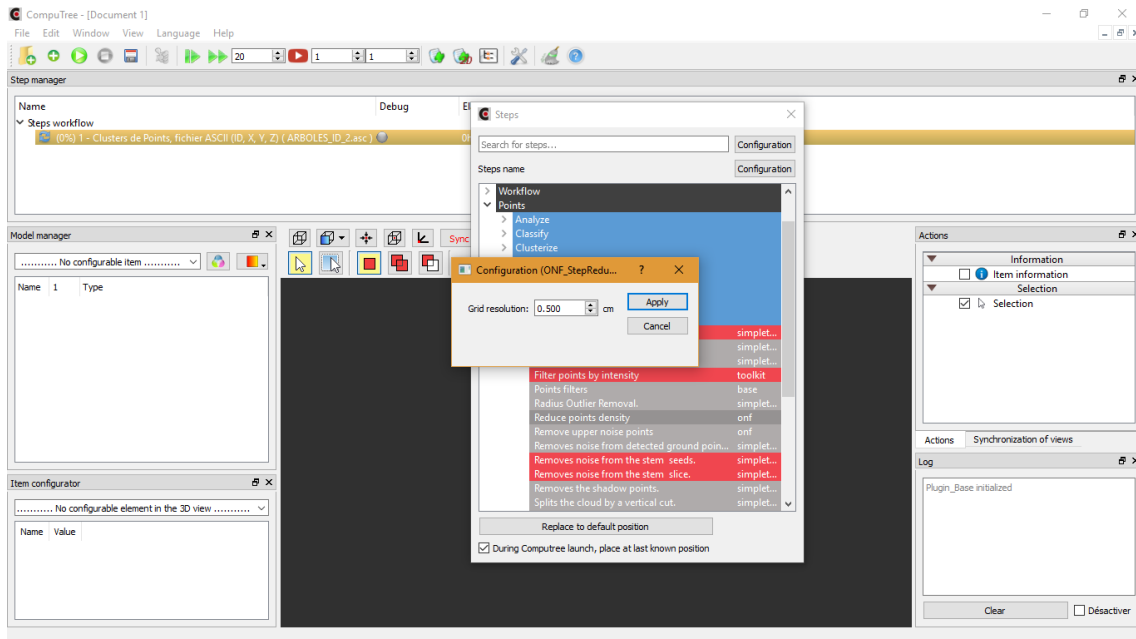


Imagen 87. Parámetros asociados a la reducción de puntos por densidad

Para que el resultado mostrado en la imagen 88 sea más visible, se ha realizado una cuadrícula de 10 centímetros.

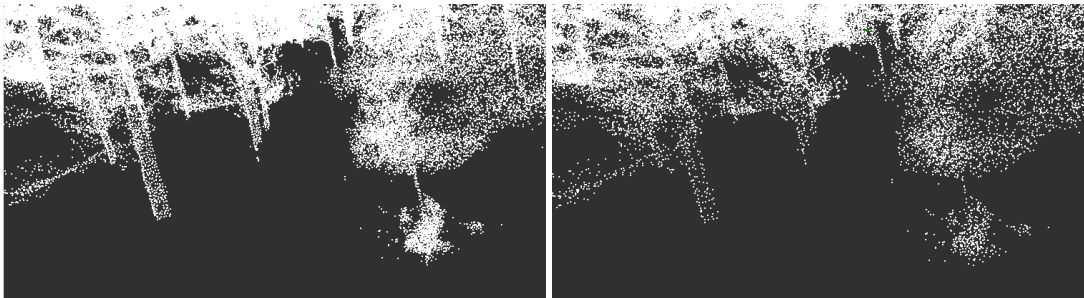


Imagen 88. Comparativa de la nube de puntos tras el filtrado de densidad realizado

Podemos apreciar una notoria disminución de los puntos. Se ha conseguido el objetivo deseado. Este filtrado puede emplearse para poder aligerar la cantidad de puntos para el almacenamiento o envío de los datos por cualquier plataforma.

6.1.2.4.7.8 Remove upper noise points

Este filtrado elimina los puntos que se encuentren por encima de nuestra nube de puntos.

Los parámetros que emplea son mostrados en la imagen 89:

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

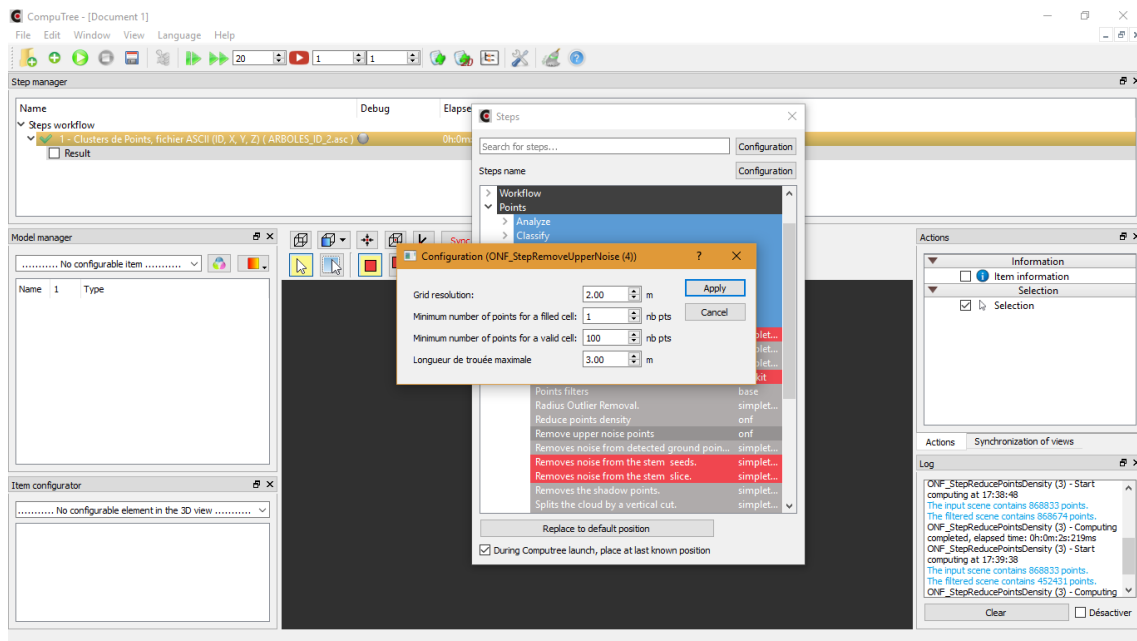


Imagen 89. Parámetros asociados a la eliminación del ruido por la parte superior de la nube

Para que la representación se aprecie cambios, se han modificado los parámetros para obtener una mayor comprensión del efecto de la función.

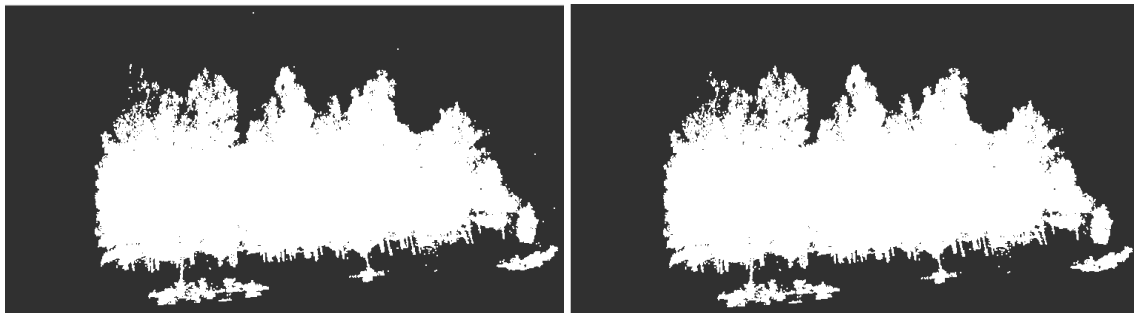


Imagen 90. Comparativa de la nube de puntos. tras realizar el filtrado de eliminación de ruido superior

Como podemos apreciar en la imagen 90, podemos eliminar los puntos outliers que nos molestan para una mejora de la nube de puntos. Para ello, debemos de combinar los parámetros asociados para obtener el resultado más óptimo o deseado.

6.1.2.4.7.9 Removes noise from detected ground points

Este filtrado se emplea para eliminar el ruido o los puntos que no se han tomado como debería de haber sido.

Este se emplea una vez se ha realizado la clasificación de la nube de puntos, donde se obtiene la nube de puntos de vegetación y de suelo.

El parámetro que empleamos en esta ocasión, únicamente afecta al ángulo de la desviación respecto a los puntos del suelo.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

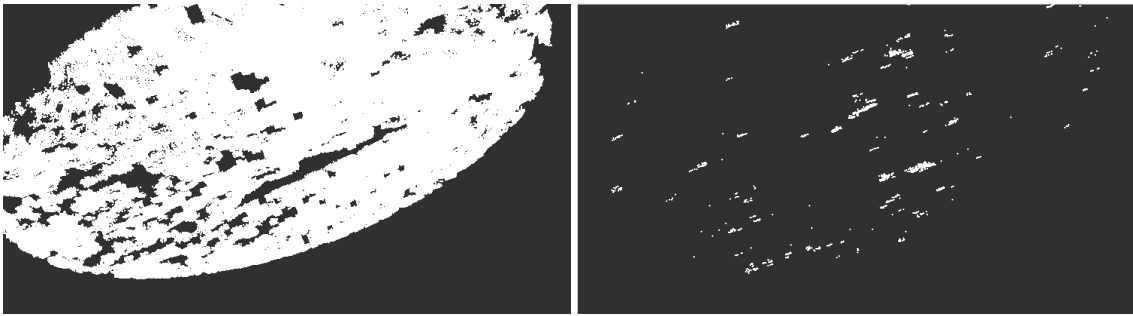


Imagen 91. Comparativa de los puntos que elimina tras el filtrado de los puntos de ruido en el suelo

En la imagen 91, se ha mostrado aquellos puntos que ha extraído. Este filtrado genera dos nubes de puntos, donde en una de ellas muestra los puntos que han sido filtrados y la otra con el resto de la nube. Al ser similar a la de origen, se ha decidido mostrar la imagen de los puntos excluidos. El filtrado elimina los puntos que no pertenecen al suelo y las ha registrado en esta nube de puntos.

6.1.2.4.7.10 Removes noise from the stem seeds

Este filtrado eliminará los puntos que no sean troncos. La función detecta la forma del inicio de los árboles y eliminará los puntos ajenos. Para ello, mostraremos los parámetros que intervienen en este filtrado por medio de la imagen 92, durante la selección de la nube de punto realizaremos la siguiente combinación:

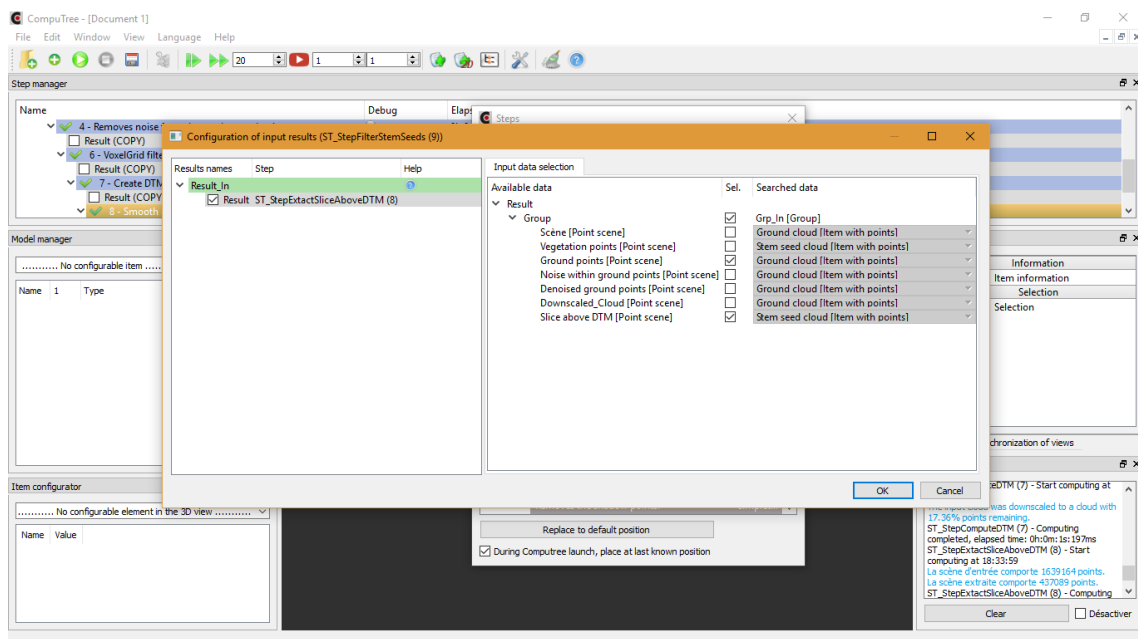


Imagen 92. Parámetros asociados a la eliminación del ruido de las semillas.

El parámetro asociado a la extracción de los puntos respecto al modelado, se ha empleado la función de smooth from the MDT parallel, le cambiaremos la opción de Ground cloud a Stem seed cloud, con el objetivo de combinar la nube generada con la nube asociada al suelo.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

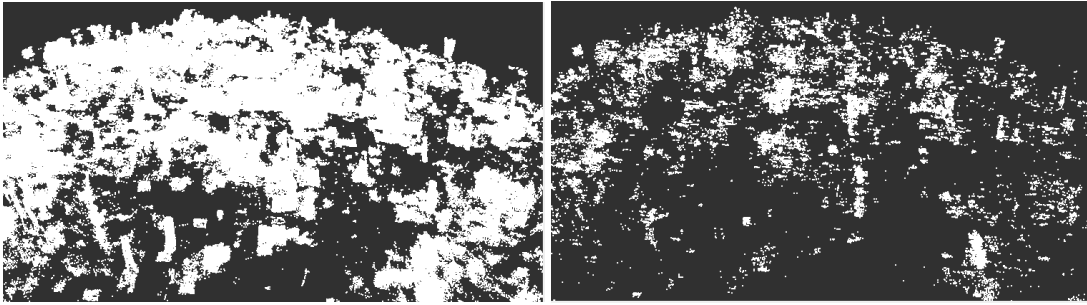


Imagen 93. Comparativa de la nube de puntos tras la eliminación del ruido asociado a las semillas de los árboles

Tras observar el resultado mostrado en la imagen 93, podemos afirmar que se puede depurar la nube de puntos combinando este filtrado, aunque hemos observado que si realizamos la herramienta de extracción de los troncos mayores (extract the major branch points), el resultado obtenido no requiere de combinar tantas operaciones.

#### 6.1.2.4.7.11 Removes noise from the stem slice

Esta herramienta eliminará los puntos erróneos asociados a la extracción de los troncos. En este caso, debemos de emplear la nube de vegetación como nube de referencia sobre la que vamos a aplicarle el filtrado.

El resultado es similar a la anterior herramienta descrita.

#### 6.1.2.4.7.12 Removes the shadow points

Este filtrado eliminará los puntos que hayan sido generados por la distorsión generada por la iluminación de la zona. La herramienta descrita no emplea ningún parámetro adicional.

Si ha realizado el filtrado, pero no se aprecia una diferencia clara con la nube de puntos de origen. Esto viene dado a que trabajamos con una gran densidad de puntos. Si quisiéramos comparar el volumen de puntos, podemos exportar ambas nubes y ver la diferencia de tamaño que presentan entre estas mismas.

#### 6.1.2.4.7.13 Splits the cloud by a vertical cut

Este filtro recortará la nube de puntos, empleando un corte vertical de la toda ella, empleando una cota que definirá el usuario. Por defecto, la altura del corte es de 1 metro.

La operación generará dos nuevas nubes de puntos, la primera con los puntos inferiores recortados y la segunda con los puntos superiores. Para mayor comprensión, se ha realizado el corte a 2 metros de altura, Como muestra la imagen 94.

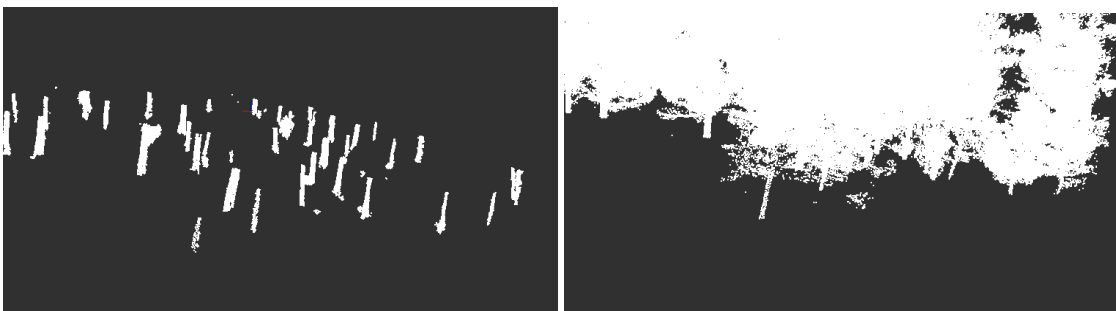


Imagen 94. Resultado de emplear el filtrado de seccionar de forma vertical la nube de puntos

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

6.1.2.4.7.14 Statistical Outlier Filter

Los parámetros que se aplican en esta función son los siguientes que incluye la imagen 95.

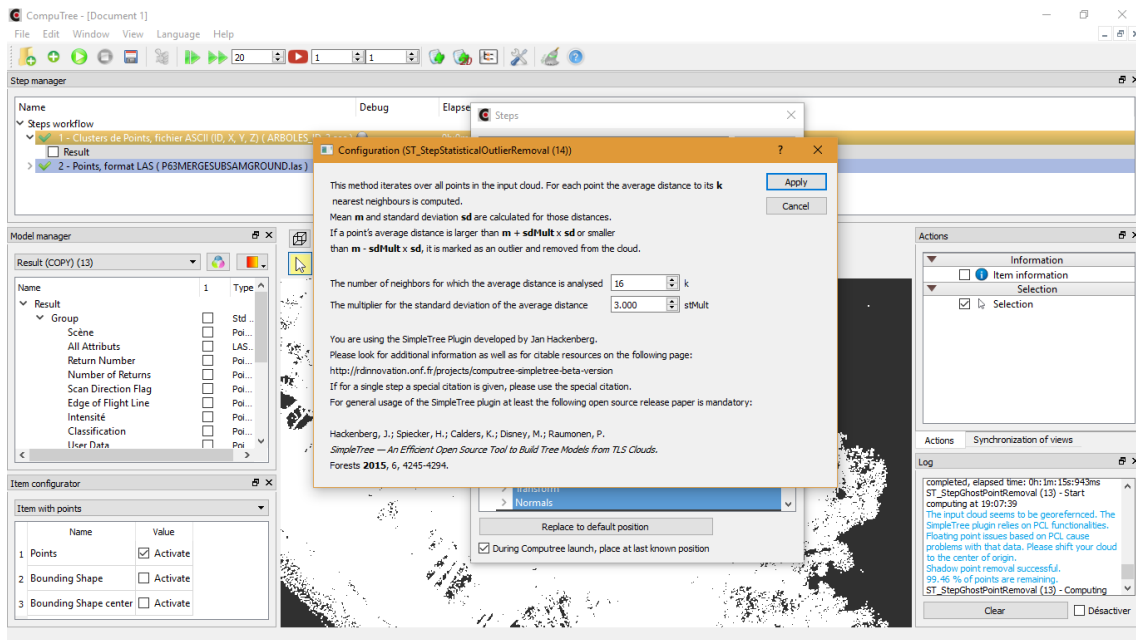


Imagen 95. Parámetros asociados a la herramienta asociada a los datos estadísticos.

Por la definición que describe esta función, podemos apreciar que realiza un método por iteraciones sobre todos los puntos incluidos en la nube de puntos. Por Cada uno de estos puntos se obtiene la distancia media para obtener la vecindad entre los puntos. Esta variable se nombra  $k$  y podemos definir el valor que veamos apropiado.

Esta herramienta también calcula la media y desviación típica a partir de la distancia mostrada. Si un punto está más alejado de la distancia media o menor o mayor a la desviación, la función lo reconoce como un punto erróneo y lo eliminará de la nube de puntos.

A continuación, mostraremos el resultado. Por medio de la imagen 96.

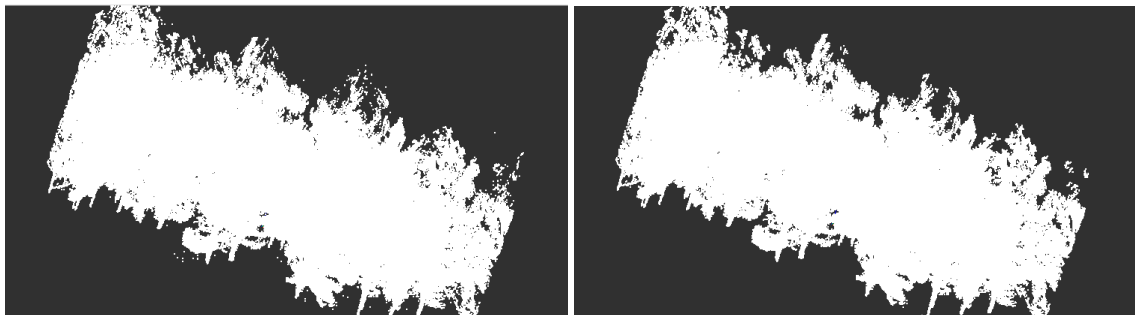


Imagen 96. Resultado tras el empleo de la herramienta. Esta eliminará los puntos que no entren en tolerancia. dentro de los datos estadísticos

Vemos que esta herramienta a eliminando los puntos que se encontraban alejados del conjunto de la nube de puntos. Esta herramienta es similar a la que se ha descrito anteriormente, la cual es Remove upper noise points. Pero la diferencia entre estas es que la herramienta que se está

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

describiendo, elimina los errores que se encuentran en todo el conjunto de la nube y no solo los errores que ha detectado por la parte superior de la escena.

6.1.2.4.7.15 Upscale Cloud

Este filtrado generará una mayor densidad de puntos, combinando los puntos que posee la escena con los parámetros que podemos modificar. En este caso estos parámetros son los definidos por la imagen 97.

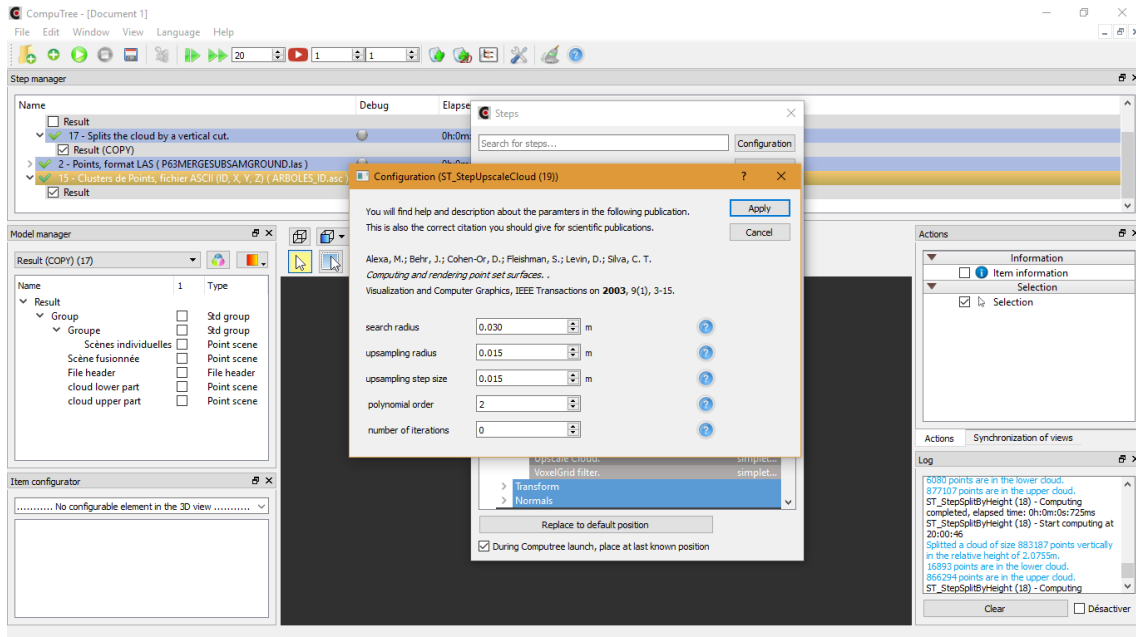


Imagen 97. Parámetros asociados al filtrado de aumento de densidad.

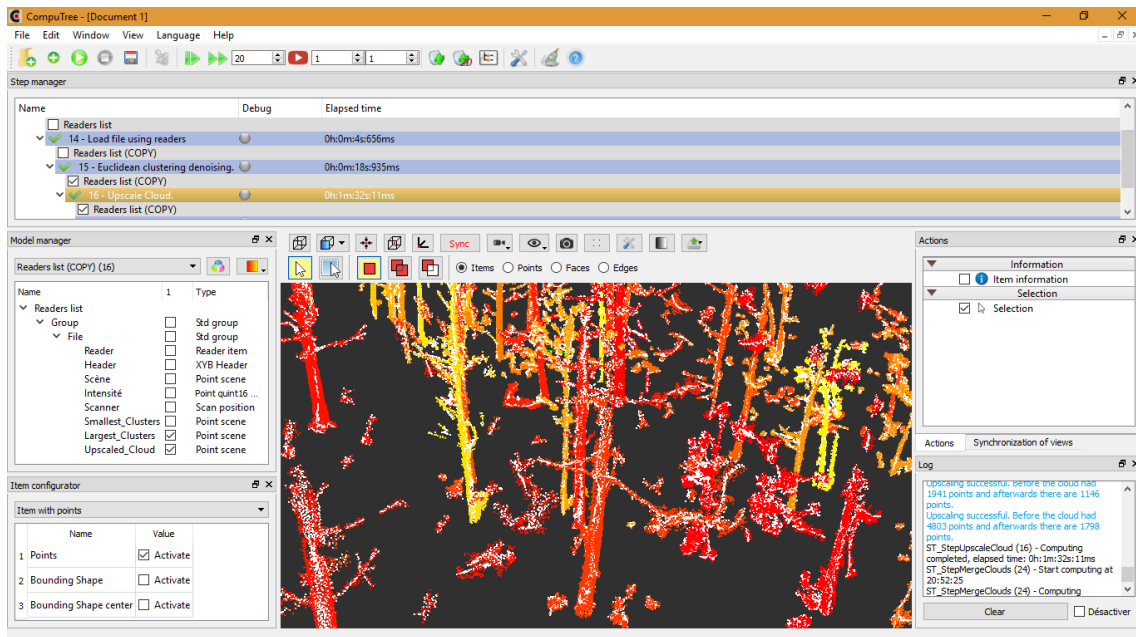


Imagen 98. Comparativa del aumento de densidad de los puntos tras emplear el filtrado

Esta herramienta como pudimos comprobar en el caso práctico, densifica la nube de puntos para poder aplicar con mayor fiabilidad el modelado QSM. Podemos apreciar el resultado del



EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

mismo con la imagen 98, el cual contrasta la nube de puntos previa, la cual se visualiza por tonalidades rojas, definidas por la identidad de cada elemento y la nube resultante del aumento de densidad, la cual está definida por los puntos blancos.

#### 6.1.2.4.7.16 *VoxelGrid filter*

Este tipo de filtro, genera una cuadrícula tridimensional sobre la que se englobarán todos los puntos de la escena. El usuario del programa puede modificar la dimensión del cubo que se empleará para el filtrado. El funcionamiento general del propio es que los puntos se encuentren lo más próximo al centro del cubo el cual encierra el conjunto de los puntos. Los puntos que no se entren en tolerancia, los desechará.

#### 6.1.2.4.8 *Transform*

Dentro de todas las aplicaciones que podemos generar con esta herramienta son las siguientes:

- Aplicar una matriz de transformación a la escena, se empleará para poder corregir el sentido de la escena completa.
- Podemos definir el centro de la nube de puntos
- Podemos extraer la altura usando una triangulación inversa TIN.
- Podemos variar la escena en cuanto a la rotación, escala o traslación de la misma, para poder importar en cualquier formato o contexto esta misma y buscar la coincidencia

#### 6.1.2.4.9 *Normals*

El programa estimará las normales en la nube de puntos en la que se le aplique esta fórmula. Esta función no posee una descripción sobre la que podamos averiguar más información.

Tras realizar la prueba, no apreciamos ningún cambio, pero el programa ha creado una nueva nube de puntos, con la que se le ha calculado la normal que se deseaba.

#### 6.1.2.5 *3D geometry*

Este grupo de herramienta se encarga de la composición tridimensional del programa.

La herramienta con mayor influencia se encuentra en la opción de Detect. Esta función recibe el nombre de QSM spherofollowing method.

La solución generada, sirve para pasar de un entorno puntual a un entorno generado por cilindros.

Para poder generar esta metodología, debemos de emplear correctamente los parámetros que se muestra en la imagen 99. Debemos de tener en cuenta que la herramienta necesita la nube de puntos con la que va a realizar el modelado y además el fichero de cabecera para poder realizarlo.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

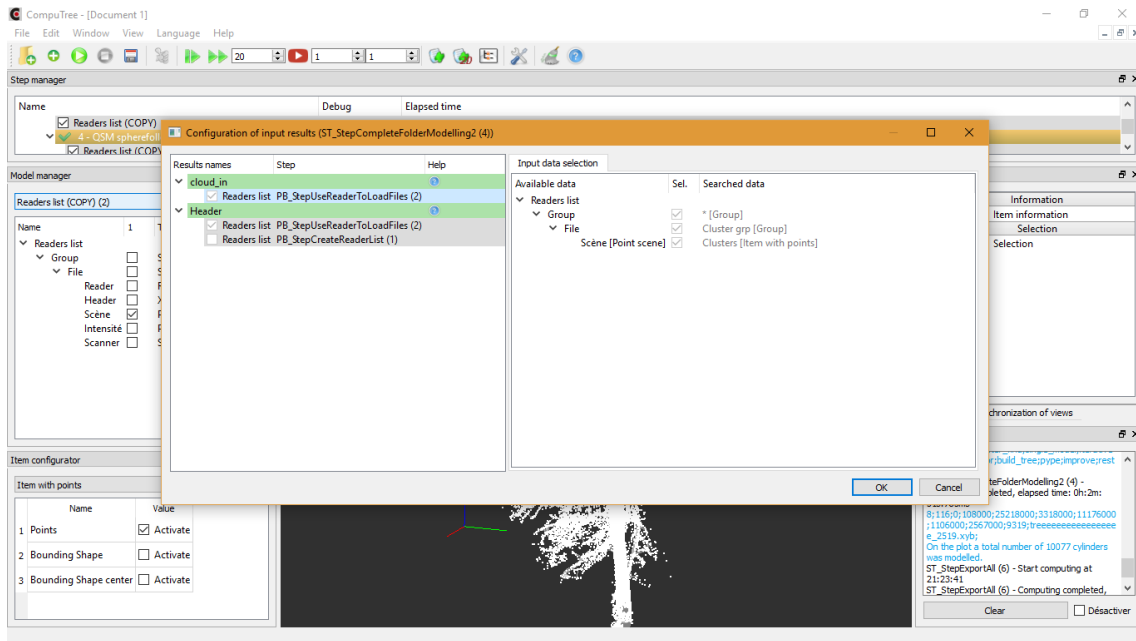


Imagen 99. Parámetros de entrada de la función QSM

El resultado de la modelización es el siguiente que muestra la imagen 100.

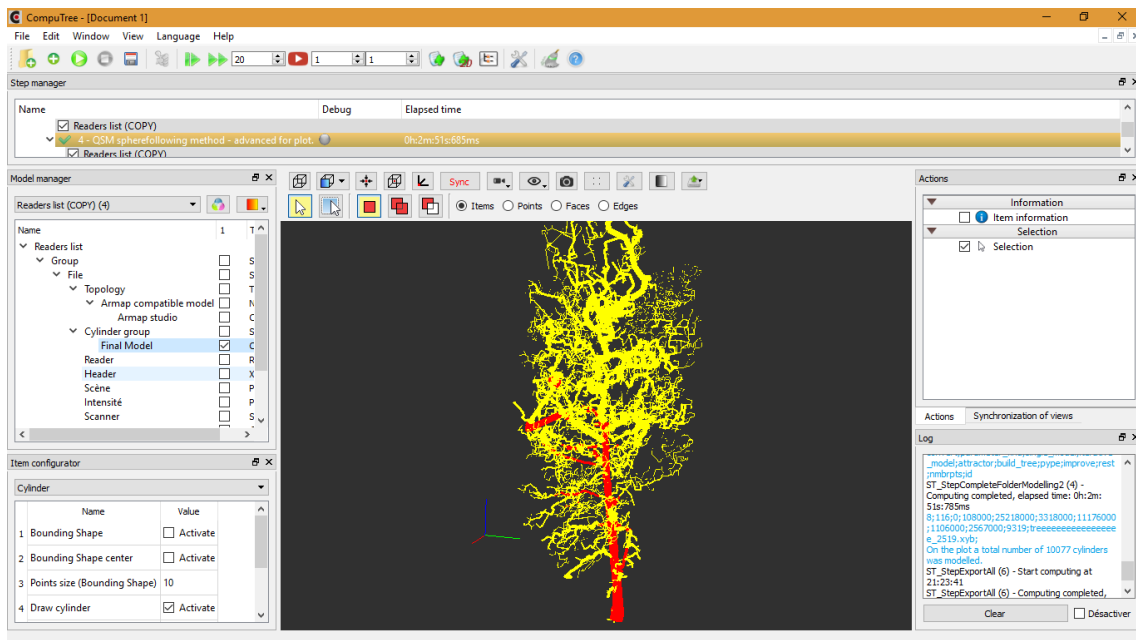


Imagen 100. Modelizado QSM de uno de los árboles

Cabe destacar que, tras realizar numerosas pruebas, el modelizado no lo aplica a todo el conjunto de la escena, por lo que se procedió a la prueba individual de cada elemento. En algunos sí que realizó el modelizado correctamente, como ha sido el caso. En otros árboles dio error y el programa se cerró al saturarse. Por último, se produjo el caso de que se calculaba el modelizado, pero no mostraba nada al activar el resultado.

Es un comando bastante complejo de entender, pero se ha conseguido realizar la prueba que se deseaba

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN

6.1.2.6 Voxels

Esta herramienta hace referencia a la creación de áreas en la que englobe los puntos de la nube sobre la que genera la escena. Un ejemplo de la misma es la creación de este mallado, empleando la densidad de los puntos que lo componen. Esta se muestra en la imagen 101.

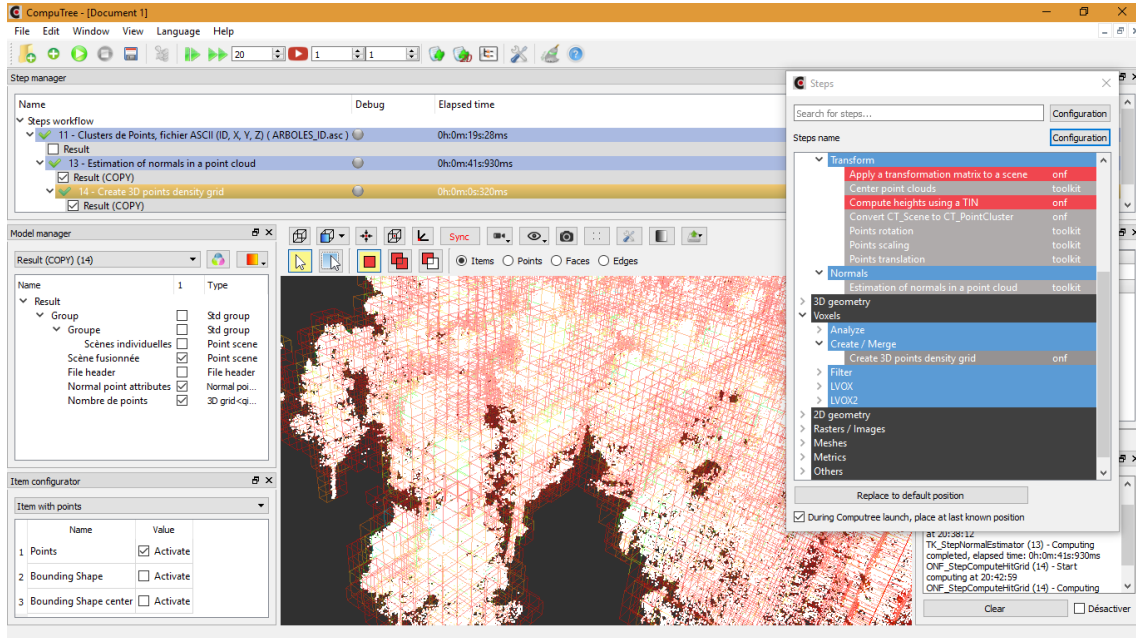


Imagen 101. Visualización de la cuadrícula empleada por cada elemento

6.1.2.7 2D geometry

Este apartado, se centra en la geometría bidimensional. Podemos obtener la huella de los datos, el cual empleará áreas de influencia para calcular la misma huella

6.1.2.8 Raster/Image

La herramienta más influyente de este conjunto es aquella que obtiene el modelo digital del terreno, en formato raster.

Otra de las funciones que puede generar es la transformación de un modelo de triangulación inversa a un modelo digital del terreno.

6.1.2.9 Meshes

Esta herramienta e encarga de atribuir el color a la nube de puntos que se pretende visualizar.

EXTRACCIÓN DE VARIABLES FORESTALES A PARTIR DE DATOS TOMADOS CON LÁSER ESCÁNER  
TERRESTRE EN LA SIERRA ESPADÁN, CASTELLÓN