

TRABAJO FIN DE MÁSTER

IDENTIFICACION DE EDIFICACIONES AISLADAS, MEDIANTE MODELOS DIGITALES ELABORADOS CON EL PNOA-LIDAR

Autora: Aida Cayetano Arroyo

Directora: Dra. María Teresa Lamelas Gracia

Máster Universitario en

**Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del
territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

Noviembre de 2017



**Universidad
Zaragoza**

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



Resumen

Hoy en día existe un problema de masías en estado ilegal dentro de la comunidad de Aragón, por este motivo, surge la necesidad de implantar una nueva metodología que dé lugar a la detección geográfica de estas. La búsqueda se centrará en identificar de forma precisa edificaciones aisladas en el terreno y determinar cuál es su estado, para la posterior comprobación de información en el departamento de catastro. Se comparan varias metodologías de trabajo para la generación de diferentes Modelos Digitales de Superficie, en las que se combina diferentes clasificaciones de nubes de puntos LiDAR (Light Detection and Ranging), provenientes de distintos filtrados y softwares. Los procedimientos de trabajo, junto con sus estadísticas se comparan en unas zonas de control determinadas hasta llegar a unas conclusiones que sinteticen cual es el mejor método a emplear. Para completar el estudio se han analizado la influencia de los costes, herramientas de visualización y clasificación de la nube de puntos, de cada aplicación, con el fin de ayudar a decir cuál ha sido el mejor método empleado para el objetivo del trabajo.

Palabras Clave: *Detección de edificios, LiDAR, nube de puntos, Modelo Digital.*

Abstract

Nowadays in Aragón there exists a problem with illegal farmhouses, due to this, the necessity of implanting a new methodology for the geographical detection of this farmhouses arises. The search will be focused in the precise identification of isolated buildings in the ground and determine which is their status, for later checking the information in the cadaster department. Various working procedures for the generation of different digital surface models, in which different LiDAR (Light Detection and Ranging) point cloud classifications, from different filters and software, are combined and compared. The working procedures, along with their statistics, are compared in determined safe zones until conclusions that synthesize which are the best working procedure are reached. To complete de study, the costs influence, the visualization tools and the point clouds classification has been analyzed whit the objective of deciding which has been the best method uset to acomplish the goals of the work.

Key Words: *Building detection, LiDAR, Point Cloud, Digital model.*

Índice

1.	Estado del arte	pág. 1
1.1.	Alcance del proyecto	pág. 1
1.2.	Introducción a la tecnología LiDAR	pág. 2
1.3.	Especificaciones técnicas	pág. 3
1.3.1.	PNOTS, PNOT, PNOA y PNOA-LiDAR	pág. 3
1.3.2.	Sensores y sistemas LiDAR	pág. 5
1.3.3.	Datos PNOA-LiDAR.....	pág. 7
1.3.4.	Modelos Digitales del Terreno	pág. 7
1.3.5.	Catastro inmobiliario y cartografía catastral.....	pág. 8
2.	Objetivos	pág. 9
3.	Metodología de trabajo	pág. 10
3.1.	Material y datos.....	pág. 12
3.1.1.	Aplicaciones informáticas	pág. 12
3.1.2.	Zona de estudio.....	pág. 15
3.1.3.	Información geográfica	pág. 15
3.1.4.	Datos LiDAR	pág. 16
3.1.5.	Ortofotografía aérea.....	pág. 16
3.2.	Pre procesado de la información en ArcGIS.....	pág. 17
3.3.	Generación de la capa control	pág. 18
3.4.	Procedimiento de trabajo con ArcGIS	pág. 20
3.4.1.	Incorporación de información geográfica	pág. 20
3.4.2.	Incorporación de datos LiDAR	pág. 20
3.4.3.	Generación de MDE, MDS, nMDS	pág. 20
3.5.	Procedimiento de trabajo con MicroStation y TerraScan	pág. 21
3.5.1.	Incorporación de datos LiDAR	pág. 21
3.5.2.	Clasificación da la nube de puntos	pág. 23
3.5.3.	Generación de modelos digitales en ArcGIS	pág. 25
4.	Resultados	pág. 26
4.1.	Identificación de edificaciones	pág. 26
4.1.1.	Primera área de estudio	pág. 27
4.1.2.	Segunda área de estudio	pág. 30
4.1.3.	Tercera área de estudio.....	pág. 32
4.1.4.	Cuarta área de estudio.....	pág. 32
4.2.	Análisis comparativo de las propiedades de la nube de puntos clasificada por el IGN y clasificada por TerraScan	pág. 33
4.3.	Análisis comparativo de las metodologías empleadas para la elaboración de los modelos digitales en ArcGIS	pág. 35
4.4.	Análisis comparativo de las características de las aplicaciones informáticas utilizadas	pág. 36
5.	Conclusiones finales	pág. 36
	Referencias bibliográficas	pág. 37
	Relación de fuentes	pág. 38
	Anexo I. nMDS 1	pág. 39
	Anexo II. nMDS 2.....	pág. 40
	Anexo III. nMDS 3.....	pág. 41
	Anexo IV. nMDS 4	pág. 42
	Anexo V. nMDS 5	pág. 43
	Anexo VI. nMDS 6	pág. 44

1. ESTADO DEL ARTE

Los sistemas de registro aerotransportados que utilizan sensores LiDAR (*Light Detection and Ranging*) se están convirtiendo en la principal tecnología para la recogida de información cartográfica debido, principalmente, a la gran densidad de puntos que capturan, a la precisión alcanzada y a la rapidez en la obtención de MDT (Modelos Digitales del Terreno) (Vosselman y Maas, 2010).

La aparición y desarrollo de sistemas LiDAR aerotransportados (ALS, *Airborne Laser Scanner*) en sus diferentes versiones, tanto para aplicaciones terrestres como batimétricas, ha supuesto la necesidad de procesar gran cantidad de datos geoespaciales obtenidos con dichos sistemas. Es por ello que han ido apareciendo diferentes aplicaciones informáticas para su procesamiento.

Para transformar esta nube de puntos en un documento comprensible y útil para trabajos posteriores (análisis, comprensión, representación, etc.) debe tratarse mediante procesos adecuados, para separar los puntos que interesan de aquellos que puedan ser innecesarios (Montealegre *et al.* 2015). Procesos de clasificación de los puntos medidos según su funcionalidad o finalidad. De hecho, este proceso de clasificación es el trabajo más importante de edición de una nube de puntos LiDAR. La clasificación dará lugar a conjuntos de puntos según tipología, por ejemplo, puntos pertenecientes a suelo desnudo, vegetación, edificación, ruido, etc.

No todas las aplicaciones realizan las mismas funciones, muestran la misma información, ni poseen la misma velocidad de procesado o rapidez en el manejo de la información, entre otras diferencias, por lo que uno de los objetivos del proyecto será realizar un estudio de diferentes filtros o clasificación de la nube de puntos LiDAR, que servirá para poder elegir una u otra opción según las necesidades del trabajo a realizar.

Para ponernos en contexto en la tecnología LiDAR primero se realizara un repaso de los fundamentos básicos teóricos y de las posibilidades de esta técnica de captura de datos. A continuación se explicaran detalladamente los procesos de trabajo realizados para la elaboración de este proyecto.

Los datos utilizados han sido los capturados por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) en el proyecto PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) y proporcionados al IGEAR (Instituto Geográfico de Aragón). Además, se han utilizado otras informaciones de descarga directa desde la IDE Aragón (Infraestructura de datos espaciales, IDE, de Aragón).

1.1. Alcance del proyecto

El presente trabajo está enmarcado en la asignatura “Proyecto Fin de Máster” de la titulación “Máster Universitario en Tecnologías de la Información Geográfica para la Ordenación del Territorio: Sistemas de Información Geográfica y Teledetección” que se imparte en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Zaragoza.

Este proyecto se presenta como la prueba final que debe superar el estudiante para obtener el título del citado máster. Además, se trata de un trabajo específico resultado de la realización de prácticas en el IGEAR (Instituto Geográfico de Aragón).

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

1.2. Introducción a la tecnología LiDAR

La tecnología LiDAR es un método de detección remota directa. Sistema activo de teledetección que funciona tanto de día como de noche y que se utiliza principalmente en aplicaciones de representación cartográfica (Vosselman y Maas, 2010).

Los componentes de hardware principales de un sistema LiDAR incluyen una plataforma de recolección aeroportada o terrestre (avión, UAV -*Unmanned Aerial Vehicle*-, helicóptero, vehículo o trípode), sistema láser escáner o sensor (escanea y registra los datos, ya sea luz reflejada o pulsos láser), sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global), sistema INS (Sistema de Navegación por Inercia). El principal componente de un sistema INS es el IMU (Unidad de Medición Inercial) que mide la orientación de la aeronave, dando información acerca de la velocidad, rotación e inclinación y giros (alabeo, cabeceo y giro) que haya sufrido el sistema LiDAR (Renslow, 2013).

Un sensor LiDAR Topográfico es un distanciómetro láser que mide la distancia del sensor al terreno a partir del tiempo que tarda el rayo de luz en alcanzar el suelo y regresar al sensor. Los fotones de los pulsos reflejados son transformados en impulsos eléctricos y conociendo la velocidad a la que viaja la luz en el aire, los intervalos de tiempo entre la emisión y la recepción, se transforman en distancia, ayudados por la información posicional obtenida de los receptores GPS y de IMU de abordaje (Baltsavias, 1999). Una vez obtenida la información de distancia y combinada con la información posicional (GPS e INS), estas medidas de distancia se transforman en puntos tridimensionales reales del objeto reflector. El resultado es una representación fiable de la superficie de la tierra, empleando una nube de puntos 3D georreferenciada (Baltsavias, 1999). Coordenadas (X, Y, Z) relativas a las posiciones donde se ha producido la reflexión del flujo. Es posible transformar los datos registrados en altitud y estudiar su distribución en un entorno SIG.

El sensor envía señales láser (un haz de luz láser coherente, monocromático y altamente direccional entre el ultravioleta y el infrarrojo cercano) a la tierra y registra mediante un fotodiodo, la radiación devuelta por un objeto (ya sea la superficie terrestre o incluso partículas atmosféricas) cuando se ilumina, y, mediante un telémetro, la distancia que separa al sistema del objeto con un cierto error de medida (Renslow, 2013).

La inmensa mayoría de los sistemas LiDAR son aeroportados, por lo que la aplicación de estos datos suele restringirse a escalas locales. No obstante, existen programas como el del PNOA que capturan información LiDAR aeroportado para todo el territorio nacional.

La cobertura LiDAR es similar a la obtenida en fotogrametría pero tiene la capacidad de poder atravesar la cobertura vegetal para obtener información del suelo, donde los operadores de fotogrametría no pueden llegar, generando datos con mayor densidad que en fotogrametría (Vosselman y Maas, 2010).

Actualmente, existen en el mundo más de 200 sensores LiDAR. Estos sistemas son capaces de emitir hasta medio millón de puntos por segundo, registrando varios retornos de un mismo pulso, siendo muy útiles para restituir la forma del objeto que los reflejó. Además, es habitual que se incluyan cámaras ópticas de medio formato en los programas de captura, para poder añadir información complementaria en el espectro visible a cada punto medido.

Existen diferentes sensores con características propias que permiten ser utilizados en un rango de altitudes desde 80 m a 5.000 m. Incluso existe un sensor LiDAR de alta potencia operado por la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) que permite volar a diez mil metros y que se denomina LVIS (*Laser Vegetation Imaging Sensor*) destinado al estudio de la topografía, hidrología y vegetación (Arranz, 2013).

1.3. Especificaciones técnicas

1.3.1. PNOTS, PNOT, PNOA y PNOA-LiDAR

El PNOTS (Plan Nacional de Observación del Territorio por Satélite) es un programa español, cuyo objetivo es la puesta en órbita y explotación de dos satélites de observación terrestre de uso civil y militar. Uno óptico, “Ingenio”, y otro radárico, “Paz”. Este programa fomenta la cooperación interadministrativa para la producción de información geográfica en España.

El PNOT (Plan Nacional de Observación del Territorio), está dividido en dos fases. La primera se denomina “Adquisición de Información y tratamiento de imágenes, basada en la obtención de una cobertura completa del territorio con imágenes de baja, media y alta resolución” y está constituida por el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) y el Plan Nacional de Teledetección (PNT). La segunda fase, se basa en la extracción de información temática de Administraciones Nacionales y Regionales y está constituida por el SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del suelo en España).

Los productos que se generan en el PNOT son (IGN, 2017):

- Escenas de Satélite Ortorrectificadas. Coberturas periódicas.
- Fotografías Aéreas Digitales.
- Ortofotografías aéreas.
- MDE (Modelos Digitales de Elevaciones).
- Base de Datos SIOSE (SIG vectorial).

En 2004 se propuso aplicar la directiva INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*) para realizar un único proyecto denominado PNOA. Con anterioridad al PNOA los productores de ortofotos eran los Ministerios de Economía (Catastro), Fomento, Agricultura, etc., además de las Comunidades Autónomas y se empleaban diferentes especificaciones técnicas.

A continuación se detallan algunas de las principales características del PNOA (IGN, 2017):

- Vuelo fotogramétrico único para todos los Organismos.
- Cobertura ortofotográfica de todo el territorio español (25/50 cm) cada 3 años.
- Cobertura de muy alta resolución para zonas de especial interés (10cm), según necesidades.
- MDE actualizado de todo el territorio español cada 3 años.
- PNOA-LIDAR con una densidad media de 0,5 puntos/m², a partir de 2009.

Con respecto a los principales productos que se generan en el PNOA destacamos los siguientes (IGN, 2017):

- Fotografías Digitales de 4 bandas: RGBI (Pixel: 9, 22 y 45cm).
- Mosaicos de Ortofotos (25/50 cm) por hojas del MTN 50 (Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000).
- Ortofotos de 10 cm de resolución espacial según cortes de hojas a escala 1:2.000.
- Ficheros LiDAR (formato *.las).
- MDE con un grid (malla) de 5x5 m (generados por correlación o LiDAR).
- MDT.
- MDO (Modelo Digital de Ortoproyección).

El objetivo de PNOA-LiDAR es cubrir todo el territorio de España mediante nubes de puntos con coordenadas X, Y, Z obtenidas mediante sistemas LiDAR aerotransportados, con una densidad de 0,5 puntos/m². La precisión en altitud obtenida es mejor de 20 cm. Estas nubes de puntos tienen múltiples aplicaciones: obtención de MDT y MDS (Modelos Digitales de Superficie) que incluyen los edificios y la vegetación, estudios de zonas inundables, detección automática de edificaciones nuevas,

cálculo del coeficiente de admisibilidad de pastos de la PAC (Política Agraria Comunitaria), estudios de visibilidad y cobertura de antenas, entre otras muchas.

Estas coberturas se han realizado mediante colaboración y cofinanciación entre el Ministerio de Fomento (por medio del IGN y el CNIG -Centro Nacional de Información Geográfica), el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (por medio de la Dirección General del Agua, las Confederaciones Hidrográficas y el FEGA -Fondo Español de Garantía Agraria), el Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas (por medio de la Dirección General del Catastro), además de las Comunidades Autónomas.

Los datos se distribuyen a través del Centro de Descarga del CNIG en ficheros digitales de 2x2 km de extensión. El formato de descarga es *.laz que es el formato de compresión de ficheros *.las, formato de archivo público para el intercambio de nubes de puntos entre los usuarios de datos creado por la ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing) como alternativa a los sistemas de propiedad o a los sistemas de intercambio de archivos ASCII genéricos utilizados por muchas empresas (ASPRS, 2016). En la información auxiliar de la descarga de datos se ofrece una herramienta de descompresión y visualización de ficheros *.laz y *.las. Las nubes de puntos han sido capturadas mediante sensores LiDAR y posteriormente clasificadas de forma automática y coloreada en RGB, a partir de las Ortofotos del PNOA con tamaño de pixel de 25 o 50 cm. El sistema geodésico de referencia es ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84) y proyección UTM en el huso correspondiente a cada fichero. Las coordenadas Z son altitudes Ortométricas (IGN, 2017).

En la Figura 1 se presenta las coberturas de la primera captura del PNOA-LiDAR. La extensión capturada en las diferentes fechas es la siguiente:

- 138.000 km² volados en 2009.
- 220.000 km² volados en 2010.
- 15.000 km² volados en 2011.
- 33.550 km² volados en 2012.

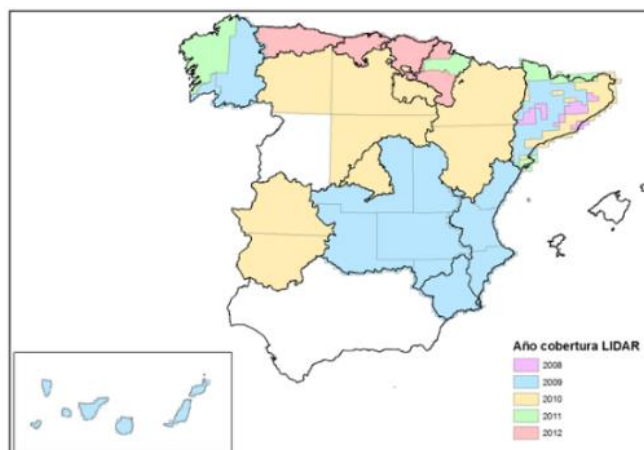


Figura 1. Proyecto PNOA LiDAR 2008-2015. Fuente: IGN (2017).

Los sensores utilizados en la captura de los datos son: ALS 50 y ALS60 de Leica LMS y Q680 de Riegl. En las Tablas 1 y 2 se presentan las características principales, tanto de la Ortofotografía del PNOA como del vuelo PNOA-LiDAR de la primera cobertura.

Es importante detallar que se ha iniciado ya la segunda cobertura del PNOA-LiDAR para Aragón, pero no en la zona de estudio del presente trabajo, por lo que se va a trabajar únicamente con la primera cobertura.

Tabla1. Características Ortofotografía PNOA. GSD= *Ground Sample Distance*, RMSE= *Root Mean Square Error*. Fuente: IGN (2017).

	GSD Vuelo	GSD Ortofoto	Precisión Planimétrica Ortofoto	Precisión altimétrica MDT	Paso de malla
PNOA 50cm	45 cm	50 cm	RMSE≤ 1,00 m	RMSE≤ 2,00 m	5x5 m
PNOA 25cm	22 cm	25 cm	RMSE≤ 0,50 m	RMSE≤ 1,00 m	5x5 m
PNOA 10cm	9 cm	10 cm	RMSE≤ 0,20 m	RMSE≤ 0,20 m (con LiDAR)	1x1 m

Tabla2. Características PNOA LiDAR. Fuente: IGN (2017).

	Densidad normal (Puntos/m ²)	Distancia nominal entre puntos (m)	Precisión altimétrica de la nube de puntos	Precisión altimétrica del MDT	Paso de malla
LiDAR	0,5	1,4	RMSE≤ 0,20 m	RMSE≤ 0,50 m	5x5 m

1.3.2. Sensores y sistemas LiDAR

Las características del sensor determinan los costes de adquisición de la información y por consiguiente la viabilidad de cualquier proyecto que utilice tecnología LiDAR.

Según el modo de trabajo o capacidad de registro del sensor se distinguen dos tipos de sensores; sistemas discretos y sistemas de onda continua. Los sistemas discretos envían pulsos a intervalos regulares de tiempo, obteniendo del mismo pulso varios retornos de diferentes intensidades. Sin embargo, en el caso de los sistemas de onda continua, la potencia de la huella se expresa mediante una senoide, retornando de este modo la energía completa de la onda, requiriendo descomponer la onda en función de los parámetros de la misma. Además, algunos sensores registran solo el último pulso, otros solo el primero y el último y otros los tres-cuatro primeros y el último retorno (Renslow, 2013).

Otro parámetro que define el funcionamiento del sensor es el patrón de escaneo o trayectoria que describe sobre el terreno la señal reflejada por la óptica de salida del sensor láser y que depende del mecanismo de escaneo utilizado, produciendo diferentes formas sobre el objeto, por consiguiente diferentes nubes de puntos. La óptica de salida de la señal puede ser; mediante un espejo oscilante, polígono rotatorio, escáner de Palmero o escáner de fibra rotatorio (Vosselman y Maas, 2010).

Según la banda de emisión del láser se distinguen dos tipos de sensores. Para aplicaciones topográficas terrestres sin superficies de agua implicadas se utiliza un rayo en la banda del IRC (infrarrojo cercano) entre los 800 y los 1550 nanómetros. Para asegurar el retorno del pulso es necesario que la reflexión del objeto sea de tipo lambertiana (superficie ideal que refleja la radiación incidente de manera uniforme en todas las direcciones). Reflexiones especulares (como es el caso del agua en lámina libre) son superficies en las que se cumple perfectamente la ley de reflexión, donde el ángulo incidente coincide con el ángulo reflejado. Por este motivo, en la longitud de onda del láser las láminas de agua difícilmente consiguen que el retorno alcance el sensor receptor de la señal. La causa del uso de longitudes de onda en el IRC para aplicaciones terrestres es la mayor reflectividad de la vegetación y mayor transmisividad de la atmósfera en esa longitud de onda. En el caso de aplicaciones batimétricas, se utilizan dos rayos láser, uno en la banda del verde del visible (532nm), que atraviesa el agua y es reflejado por el fondo, y otro en el infrarrojo (1064nm) que es reflejado por la superficie del agua (Vosselman y Maas, 2010).

Según el diámetro de la huella y distancia entre huellas se distinguen dos tipos de sensores; sensores láser de huella pequeña (entre 0,3 y 3 m) y sensores láser de huella grande (entre 10 y 70 m). Los de huella pequeña producen una menor amplitud en la superficie iluminada por el rayo pero ofrecen información de la superficie con mayor detalle. Los sensores láser de huella grande obtienen una mayor amplitud de la superficie iluminada, pero menor detalle (Montealegre, 2017).

En plataformas satelitales se encuentran sensores de onda continua o huella completa, ya que ofrecen una mayor superficie escaneada con menor resolución. Debido a la gran cantidad de información que es necesario almacenar cuando se registra la huella completa, estos sistemas emplean tamaños de huella grande, mientras que los sistemas que registran pulsos discretos emplean tamaños de huella de pocos centímetros (Renslow, 2013).

Otras características a tener en consideración son la frecuencia de emisión de pulsos y frecuencia de escaneo. La frecuencia de emisión de pulsos hace referencia al número de pulsos emitidos, medido en kilohercios (KHz). A mayor frecuencia, mayor número de pulsos, mayor número de retornos, con lo cual mayor precisión. La frecuencia de escaneo hace referencia al número de líneas. También es importante el ángulo de escaneo, el cual influye en el FOV y en el tamaño de huella, y que normalmente se limita a 30°, 15° a cada lado del nadir (ángulo de semiapertura). Por último, la divergencia del rayo, medido en mili radianes (mrad), implica un incremento del rayo con la distancia (Baltsavias, 1999).

El sistema es muy versátil. El ángulo y la frecuencia de barrido lateral se pueden ajustar teniendo en cuenta la altitud sobre el terreno y la velocidad del avión, de manera que la densidad de puntos sobre el terreno sea la deseada. También es posible elegir entre dos divergencias posibles del haz láser con lo que el diámetro de la superficie iluminada por cada pulso puede variar entre aproximadamente 20 y 100 centímetros dependiendo de la altitud de vuelo. Las fórmulas más corrientes que se emplean en estos cálculos están recogidas en (Baltsavias, 1999).

El sensor ALS60, desarrollado por la casa Leica, es el sistema LiDAR utilizado por el PNOA en la captura de los datos de la zona de estudio. Se trata de un sistema compacto basado en láser, diseñado para la adquisición de datos topográficos y de intensidad de la señal de retorno a partir de una variedad de plataformas aerotransportadas. Los datos se calculan utilizando el alcance y mediciones de la intensidad de la señal de retorno registrada en vuelo, junto con datos de posición y actitud derivados de GNSS (*Global Navigation Satellite System*) en el aire y subsistemas inerciales (Leica Geosystems, 2017).

Con este sensor, mediante la medición de la posición (latitud, longitud y altitud) y la actitud (balanceo, cabeceo y giñada) de la aeronave, la distancia al suelo y ángulo de barrido (con respecto a la base del cuerpo del escáner), se puede determinar la posición del punto para cada pulso láser que incide en el terreno (Leica Geosystems, 2017).

Un sistema ALS-LiDAR debe de estar compuesto por los siguientes elementos (Renslow, 2013):

- Medio de transporte del sensor láser o plataforma (en el caso del PNOA un avión).
- Sensor láser.
- Sistema inercial de navegación (IMU).
- Receptor/antena GPS en la plataforma.
- Controlador de datos y ordenador.
- Una red GPS (estaciones de tierra) para trabajar de forma conjunta con el receptor GPS de la plataforma.
- Constelación de satélites GPS para el levantamiento (mínimo cuatro).

Las principales características y ventajas del sensor ALS60 son (Leica Geosystems, 2017):

- Altas tasas de pulso sin sacrificar la precisión en altura, múltiples pulsos en el aire (MPiA).
- Velocidad de pulso máxima de 200 KHz.
- Velocidad de barrido 100 Hz.
- Compensación de rollo adaptable + FOV= 75 grados.
- Escáner de perfil bajo, 10.7 " (27 cm de alto).
- Capacidad de AGL, 5.000 m.

- Opción de codificación de ángulo de mayor precisión.
- Opción de digitalización completa de la forma de la onda.

1.3.3. Datos LiDAR-PNOA

Los datos LiDAR del PNOA están divididos en cuadrículas que contienen unos 3 millones de puntos cada una, con una extensión de 2x2 km y una densidad de puntos de 0,5 puntos/m². Los datos LiDAR utilizados para el proyecto se obtuvieron a través del CNIG, en formato *.laz.

El formato *.las es un tipo de archivo binario obtenido a partir de la compresión de los ficheros *.las mediante una librería de compresión desarrollada por Martin Isenburg para su herramienta LASzip. El uso del formato y de la herramienta LASTask Tools Visualizador, que pone a disposición de los usuarios el IGN y el CNIG, es libre, sin embargo la utilización de LASzip está sometida a ciertas restricciones. Para más información sobre su uso y condiciones consultar <http://rapidlasso.com/>.

El formato de archivo *.las es un formato de archivo público para el intercambio de datos procedentes de nubes de puntos tridimensionales entre los usuarios de datos. Aunque fue desarrollado principalmente para el intercambio de datos de nubes de puntos LiDAR, permite el intercambio de cualquier conjunto de elementos con coordenadas en 3 dimensiones x, y, z. Este formato de archivo binario es una alternativa a los sistemas de propiedad o a los sistemas de intercambio de archivos ASCII genéricos utilizados por muchas empresas. El formato *.las contiene la información específica (metadatos) de la naturaleza de los datos LiDAR.

Cada archivo *.las contiene un bloque de encabezado, seguido de registros individuales de cada pulso láser registrado. La parte del encabezado de cada archivo *.las contiene información de atributos sobre el propio estudio del LiDAR: alcance de los datos, fecha del vuelo, hora del vuelo, número de registros de puntos, número de puntos por retorno, cualquier desplazamiento aplicado a los datos y cualquier factor de escala aplicado. Los siguientes registros individuales contienen: información de ubicación x, y, z, marca de tiempo GPS, intensidad, número de retorno, cantidad de retornos, valores de clasificación de puntos, ángulo de escaneo, valores RGB adicionales, dirección de escaneo, borde de línea de vuelo, datos de usuario, Id. de origen de puntos e información de forma de onda.

Como se ha comentado con anterioridad, este formato fue creado por la ASPRS y actualmente es un estándar de facto, por lo que el software comercial dedicado a manejo de datos LiDAR puede leer dicho formato. Existe software gratuito que lee *.las, como por ejemplo Fugroviewer (<http://www.fugroviewer.com/>), así como algunos SIG gratuitos (gvSIG y QGIS, entre otros) pero con la ayuda de un software complementario, previa instalación, que gestiona, analiza y visualiza los datos de la nube.

1.3.4. Modelos Digitales del Terreno

En el presente trabajo se van a general diferentes MDT para la identificación de edificios, por lo que es muy importante definirlos y tener claros otros conceptos como el de MDE y MDS.

En primer lugar, un MDT (Figura 2) se puede definir como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (Felicísimo, 1999).

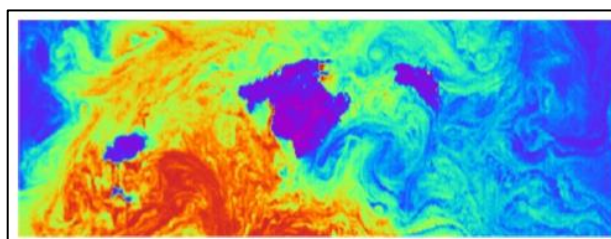


Figura 2. Ejemplo de Modelo Digital de Terreno. Fuente: Ruiz Budría (2017).

En segundo lugar, un MDS (Figura 3) contiene las medidas de la primera superficie reflexiva que es iluminada por un sensor. Si se elimina todo aquello que no forma parte de la superficie terrestre (edificios, árboles, estructuras superpuestas), quedará el dato de elevación de terreno (MDE). (Ruiz Budría, E., 2017)

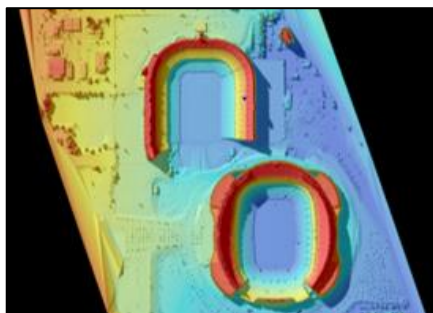


Figura 3. Ejemplo de Modelo Digital de Superficie. Fuente: Ruiz Budría (2017).

Por último, un MDE (Figura 4) es una estructura de datos numérica que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie de terreno (Felicísimo, 1999).

Un MDE debería obviar estructuras como edificios o elementos como árboles. La elevación puede ser considerada como distintos tipos de altitud: dinámica, ortométricas o normal. Normalmente las altitudes representadas en los MDE son altitudes ortométricas, dicha altitud está referida a una superficie equipotencial, en este caso el geoide. (Ruiz Budría, 2017).

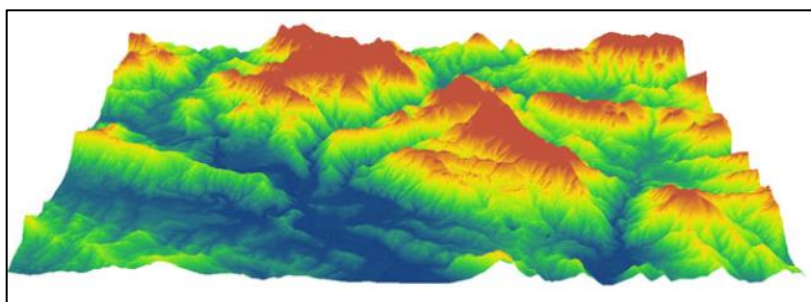


Figura 4. Ejemplo de Modelo Digital de Elevaciones. Fuente: Ruiz Budría (2017).

En resumen, se puede decir que, el tipo de MDT más conocido es el MDE, en el que la variable representada es la cota del terreno. No obstante no hay un uso normalizado en la literatura científica de los términos MDE, MDT y MDS. En la mayoría de los casos, el termino MDS se usa para referirse a la superficie de la tierra que incluye todos los objetos que esta contiene. En cambio el término MDT se usa para definir la superficie de suelo desnudo, sin ningún objeto, como la vegetación o los edificios, por lo que se utiliza en sustitución del término MDE.

En este trabajo se va a utilizar una variación de un MDS ya que para identificar las edificaciones vamos a utilizar un MDT que represente tanto el suelo desnudo como los edificios, eliminando la vegetación.

1.3.5. Catastro inmobiliario y cartografía catastral.

El instituto Aragonés de Estadística dice que “El Catastro Inmobiliario es un registro administrativo dependiente del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas en el que se describen los bienes inmuebles rústicos, urbanos y de características especiales. Está regulado por el Texto Refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario y la inscripción en el mismo es obligatoria y gratuita, características que lo diferencian del Registro de la Propiedad” (Dirección General del Catastro, 2017).

La descripción catastral de los bienes inmuebles incluye sus características físicas, jurídicas y económicas, entre las que se encuentran su localización, referencia catastral, superficie, uso, cultivo, representación gráfica, valor catastral y titular catastral.

Al objeto de garantizar que los datos que se incluyen en la descripción catastral de los bienes inmuebles concuerdan con la realidad, la incorporación de los bienes en el Catastro Inmobiliario así como la de las alteraciones de sus características, es obligatoria.

La finalidad originaria del catastro es de carácter tributario, proporcionando la información necesaria para la gestión, recaudación y control de diversas figuras impositivas por las Administraciones estatal, autonómica y local. A estos efectos, el Catastro facilita el censo de bienes inmuebles, su titularidad, así como el valor catastral que es un valor administrativo que corresponde a cada inmueble y que permite determinar la capacidad económica de su titular (Dirección General del Catastro, 2017).

Para la elaboración de este proyecto, en concreto la delimitación de las áreas edificadas, se han utilizado varias capas del catastro ofrecidas por el IGEAR: “contruccionen_BTA” del año 2010 a escala 1:5.000, “contruccionen_rustica2012” y “contruccionen_urbana_2012”. No existe para el año 2010 el desglose de construcciones rústica y urbana, año con el que estamos trabajando todos los datos en este proyecto.

2. OBJETIVOS

La comunidad de Aragón lleva años acusando un grave problema dentro del catastro, relacionado con la existencia de masías en un estado que no corresponde al registrado. Por este motivo, surge la necesidad de implantar una nueva metodología que dé lugar a la detección geográfica de estas. La búsqueda se centrará en encontrar una metodología capaz de identificar edificaciones aisladas, determinar cuál es su estado y uso, para la posterior comprobación de información en el departamento de catastro.

En este proyecto se va a trabajar en la comarca de Matarraña, perteneciente a la provincia de Teruel y más concretamente en un área de trabajo concreto del municipio de Beceite. El motivo por el cual se ha escogido trabajar con dicha comarca es por ser conocida la existencia de masías ilegales.

Dada la gran cantidad de datos y precisión que caracterizan a la tecnología LiDAR, es difícil trabajar con grandes extensiones a la vez, a lo que hay que sumar el gran espacio de almacenamiento que requiere el tratamiento de este tipo de datos. En este sentido, interesa establecer una metodología de trabajo fiable que después pueda ser extrapolada a la comarca entera de Matarraña e incluso a diferentes zonas de Aragón.

Por tanto, el objetivo general es la identificación de pequeñas edificaciones aisladas (masías), en una zona piloto del municipio de Beceite, mediante los datos LiDAR del PNOA capturados en 2010.

Como objetivos secundarios se plantean los siguientes:

- Generación de nMDS mediante diferentes metodologías, a partir de los datos LiDAR capturados en la primera cobertura del PNOA que permitan la identificación de edificaciones aisladas.
- Comparación de la clasificación de la nube de puntos LiDAR proporcionada por el CNIG con otro filtro específico para la identificación de edificios integrado en el software Terrascan.
- Comparación de diferentes técnicas para la normalización de los modelos.
- Creación de la información de verdad terreno mediante la utilización de ortofotografía aéreas, imágenes de intensidad y estadísticas de los ficheros LiDAR.

Además, previamente, se detallarán una serie características específicas de las aplicaciones informáticas que se van a emplear, con el fin de servir de ayuda a la hora de decidir cuál será la mejor metodología a emplear para conseguir el objetivo de este proyecto. Se recabará información acerca de los costes, herramientas de visualización y clasificación de las mismas.

3. METODOLOGIA DE TRABAJO

En las Figuras 10, 11 y 12 se presentan los tres procesos metodológicos aplicados para identificar edificaciones aisladas. En general, en los tres procesos se siguen los siguientes pasos:

- Generación de un MDS que recoja únicamente la información de suelo y edificaciones, eliminando la vegetación.
- Normalización de la nube de puntos para poder identificar mejor las edificaciones.
- Comparación de los edificios identificados mediante visualización en los modelos con la verdad terreno obtenida a partir de fuentes adicionales.

La información de partida para la metodología que se va a aplicar son los ficheros *.laz proporcionados por el CNIG, que una vez descomprimidos en ficheros *.las están formados por una nube de puntos clasificada. A estos archivos se les ha aplicado un pre procesamiento para eliminar, tanto la categoría de ruido como la de solape que se consideran errores en la nube de puntos.

En la generación de los MDS y su normalización utilizando MDE, es necesario utilizar una nube clasificada. En primer lugar, se van a utilizar la clasificación que viene por defecto en los archivos proporcionados por el CNIG, aunque se desconoce qué tipo de filtrado ha sido utilizado en la misma. En segundo lugar, se va a utilizar el software TerraScan con el objetivo de generar una nueva clasificación de la nube, ya que este permite la utilización de un filtro específico para la identificación de edificios. La información de partida es la misma, puesto que los filtros que proporciona TerraScan tienen la opción de eliminar la clasificación previa durante el proceso.

Por lo tanto los tres procesos metodológicos se realizarán dos veces, en primer lugar utilizando la clasificación proporcionada por el CNIG y en segundo lugar la generada con TerraScan.

El proceso para generar los modelos se ha realizado a partir de la herramienta “LAS Dataset to raster” integrada en ArcGIS. Ésta herramienta utiliza los valores de elevación almacenados en los puntos LiDAR a los que hace referencia el LAS Dataset, siendo posible seleccionar previamente, mediante un filtro aplicado en las propiedades del LAS Dataset, las categorías de interés para la generación de los modelos, en nuestro caso principalmente suelo y edificios para la generación de MDS y suelo para la generación de MDE.

Además de la selección de las clases para la interpolación, es posible indicar si se quiere trabajar con todos los retornos de la nube de puntos o con una selección de los mismos en función de si se trata de primeros retornos, últimos retornos, retornos únicos, etc. En este trabajo se han utilizado dos opciones. Por un lado, trabajar con todos los retornos (métodos 2 y 3) y por otro con retornos únicos (método 1)

La técnica de interpolación que se usará para determinar los valores de celda del ráster de salida será el método de Triangulación. Dado que la orografía del área de estudio no es homogénea, se ha decidido utilizar el método de interpolación lineal para determinar los valores de celda.

El formato de salida de los archivos ráster tendrá extensión *.tif para que genere un Geo TIFF. Otra de las consideraciones que se ha tenido en cuenta ha sido el tipo de datos de salida del raster, indicándole que sea un número entero con el fin de ahorrar espacio en el disco, teniendo en cuenta los requisitos de precisión en los valores z para nuestro caso, se pueden representar como números enteros.

En el caso de este trabajo se ha decidido mantener un tamaño de pixel de 1 metro con el fin de obtener un modelo en el que el análisis pueda ser más preciso.

En la normalización de los datos se han realizado dos procesos distintos. Por un lado, se han creado un MDS y un MDE y se ha utilizado la calculadora ráster para realizar una operación de

sustracción entre ambos (Figuras 5 y 6). Por otro lado, se ha utilizado la normalización de los archivos *.las antes de su incorporación en el LAS Dataset para su interpolación (Figura 7).

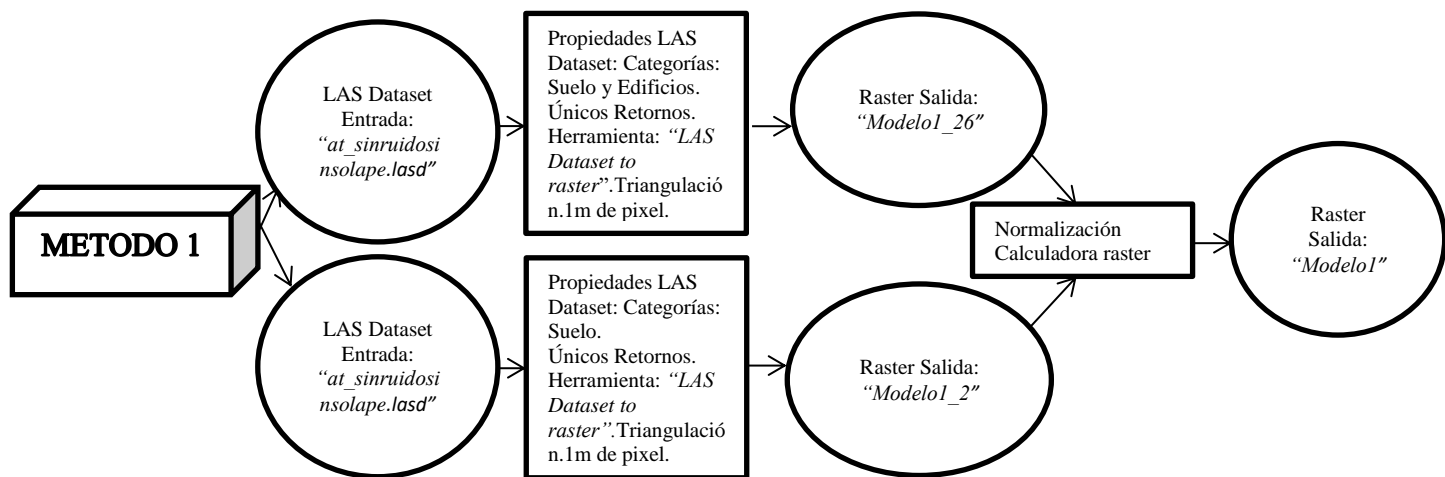


Figura 5. Modelo cartográfico de metodología de trabajo 1.

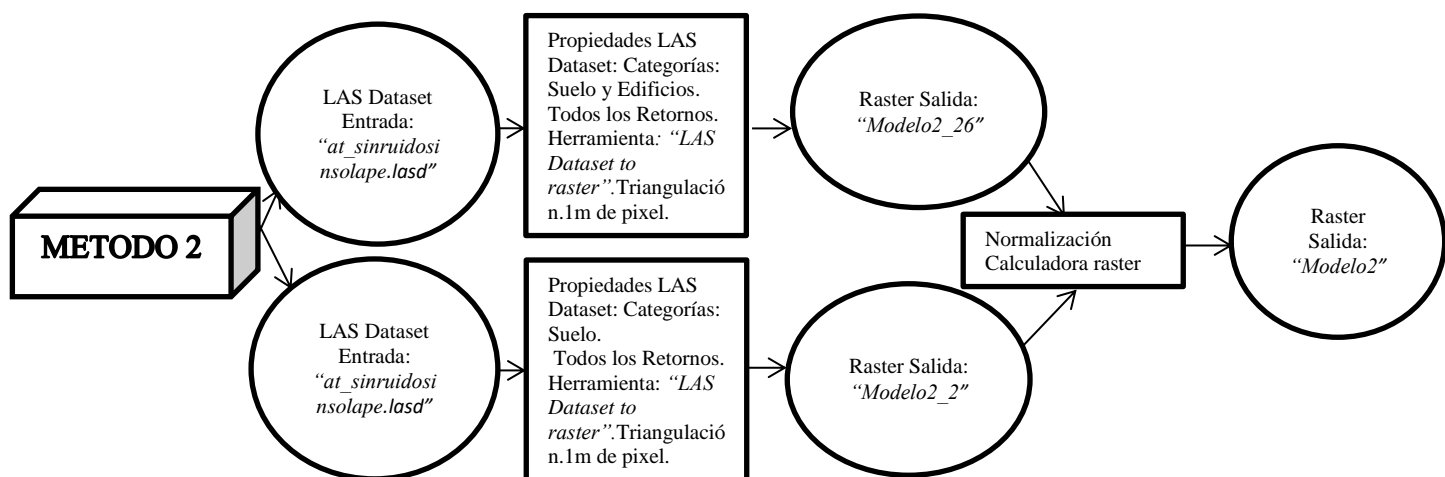


Figura 6. Modelo cartográfico de metodología de trabajo 2.

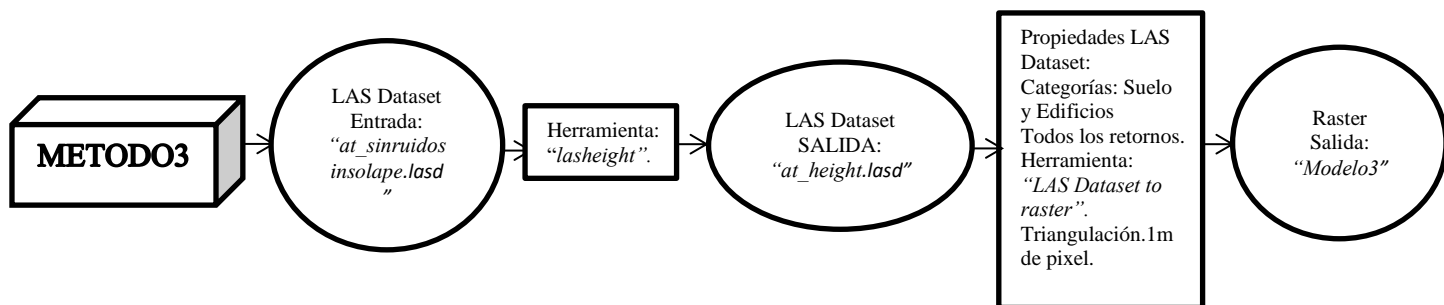


Figura 7. Modelo cartográfico de metodología de trabajo 3.

Al final del proceso se obtendrán 6 modelos, 2 con cada metodología de trabajo al utilizar dos clasificaciones, donde se analizarán visualmente los resultados obtenidos con el fin de identificar el modelo que mejor identifique las edificaciones aisladas recogidas en la verdad terreno.

3.1. Material y datos

3.1.1. Aplicaciones informáticas

Se van a utilizar dos softwares diferentes para el desarrollo del trabajo. Uno de ellos es el programa ArcGIS Desktop y el segundo es MicroStation. Ambos son softwares propietarios.

ArcGIS es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI, bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. ArcGIS Desktop pertenece a la familia de aplicaciones SIG de escritorio, es una de las más ampliamente utilizadas, incluyendo en sus últimas ediciones las herramientas ArcReader, ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene y ArcGlobe, además de diversas extensiones. *ArcGIS for Desktop* se distribuye comercialmente bajo tres niveles de licencias que son, en orden creciente de funcionalidades (y coste): ArcView, ArcEditor y ArcInfo. Aunque normalmente se asocie ArcGIS con ArcGIS desktop, el software de escritorio, la familia ArcGIS es muy extensa: ArcGIS Pro, ArcGIS Online, ArcGIS Server, ArcGIS Mobile. (ArcGIS, 2017).

Aunque no es un programa directamente relacionado para procesamiento de datos LiDAR, incorpora una herramienta lo suficientemente amplia como para generar modelos digitales precisos, denominada “LAS Dataset”. Además el hecho de que esté incorporado en la mayoría de empresas nacionales e internacionales hace que sea imprescindible conocer el tratado de datos LiDAR con este software.

El segundo Software es MicroStation, también muy conocido por su amplitud de herramientas para proyecto que abarcan todo tipo de trabajos. En lo que a la historia del software se refiere, en 1985 sale al mercado la primera versión de MicroStation, llamada *PseudoStation*, desarrollada en 1980 por la empresa *Bentley Systems*, por aquel entonces filial de *Intergraph Co.* En 1987 aparece la primera versión con formato de archivos *.dgn, que fue también la primera versión en adoptar el nombre definitivo de *MicroStation*, con la versión 2.0. Después de una sucesión de versiones, en 2001 llegó la versión más mejorada MicroStation v8, hasta llegar a la última versión en 2006, la *V8 XM Edition*. (Bentley Systems, 2017).

Respecto a los costes, no es fácil conocer el precio de venta del software de Esri. Hay que ponerse en contacto con el departamento de ventas de la empresa, o su distribuidor autorizado fuera de EEUU., facilitar un montón de datos y recibir la visita de un comercial, antes de poder obtener un precio. Desde Esri se dice que el precio final depende de varios factores tales como el número de licencias, tipo de organización, si existe un acuerdo de licencia previo con la empresa, etc. (ArcGIS, 2017).

Existe la posibilidad de obtener una prueba gratuita de ArcGIS de 21 días. Esta versión de prueba contiene: acceso a ArcGIS Online para un máximo de 5 usuarios nominales, software de escritorio de ArcGIS Pro, un conjunto de aplicaciones listas para usar para la oficina, el campo y la comunidad accesible desde navegadores, equipos de sobremesa y dispositivos móviles. Además, proporciona el “Living Atlas of the World” de Esri que incluye mapas y datos sobre miles de temas, 200 créditos de servicio de ArcGIS Online que se pueden usar para el almacenamiento de datos, el acceso a datos premium o la realización de geocodificación y análisis. (ArcGIS, 2017).

Otra herramienta para el tratado de datos LiDAR con la que se puede trabajar en ArcGIS es LASTools. En la página de la Internet <https://rapidlasso.com/lastools/> se puede hacer la descarga gratuita, son una colección de herramientas altamente eficientes para el tratamiento de datos LiDAR, con enormes cantidades de información, con una velocidad vertiginosa y con un bajo requerimiento de memoria (ArcGIS, 2017).

Lo recomendable es obtener la versión más reciente descargando el archivo *.zip de la página <http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/download/> y en la interfaz “ArcToolbox” añadir la herramienta descargada anteriormente.

La instalación de MicroStation se realiza a través de la web de “Bentley Systems”, donde es posible descargar la versión de prueba de MicroStation para estudiantes en español. (Bentley Systems, 2017). En la siguiente figura 8, aparecen una serie de precios en función de la aplicación que quiera ser descargada.

Product	License Price	Bentley SELECT
	without VAT	without VAT
MicroStation	€ 5 566,00	€ 1 052,00
Bentley PowerDraft	€ 2 387,00	€ 442,00
Bentley Map PowerView	€ 1 927,00	€ 386,00
Bentley Map for MicroStation	€ 3 057,00	€ 612,00
Bentley Map	€ 4 822,00	€ 965,00
Bentley Map Enterprise	€ 9 079,00	€ 1 816,00
Bentley Descartes	€ 8 940,00	€ 1 788,00
Bentley Descartes for MicroStation	€ 3 424,00	€ 617,00
Bentley Pointools	€ 5 156,00	€ 1 032,00
Bentley PowerMap	€ 4 585,00	€ 1 009,00

Figura 8. Coste Software MicroStation. Fuente: ArcGIS, 2017.

El módulo TerraScan para el tratamiento de datos LiDAR dentro de MicroStation tiene tres opciones, una gratuita de prueba, otra de compra y la opción de alquilar (Tabla 3).

En la versión gratuita de evaluación las aplicaciones se ejecutan como versiones de evaluación de 10 días después de su primera instalación con funcionalidad completa y se pueden usar para propósitos de prueba durante este tiempo. Es posible descargar las aplicaciones de la página de descargas y ejecutarlas durante el período de prueba sin licencias. Después de que el período de prueba ha terminado se necesita una licencia válida para poder trabajar con el software. (Bentley Systems, 2017).

Es posible adquirir los productos directamente de Terrasolid, poniéndose en contacto por correo electrónico con el fin de solicitar una oferta de venta de las aplicaciones que se necesiten, también se puede consultar la lista de precios vigentes. En general, es más ventajoso combinar varias aplicaciones como paquetes, que comprar las licencias por separado (Bentley Systems, 2017).

Existe la opción de alquilar licencias para un período de tiempo limitado. Las licencias incluyen el derecho a utilizar versiones totalmente funcionales de software Terrasolid, actualizaciones de software durante el período de arrendamiento, y el apoyo de los usuarios normales. El plazo mínimo de arrendamiento de la licencia es de dos meses (Bentley Systems, 2017).

Además, existe la aplicación LASReader for ArcGIS10, desarrollado de forma gratuita por GeoCue, también como visualizador de datos LiDAR. Descarga gratuita en el siguiente enlace: <https://es.freedownloadmanager.org/Windows-PC/LAS-Reader-for-ArcGIS-10-GRATIS>.

Trabajar con LiDAR en ArcGIS es bastante sencillo dado que proporciona acceso inmediato a los datos sin necesidad de convertirlos. ArcGIS admite datos LiDAR en archivos con extensión *.las. La incorporación de los datos LiDAR se hace a través de tres formatos diferentes, LAS Dataset, Dataset de Terreno y Dataset de Mosaico.

Existen unos requisitos de licencia al trabajar con LiDAR en ArcGIS. No todas las licencias permiten todas las funcionalidades, como pueden ser: convertir LAS a ráster, editar códigos de clase LAS, etc. Las diferentes licencias que existen son las siguientes: ArcGIS for Desktop Basic, ArcGIS for Desktop Standard, Extensión ArcGIS 3D analyst y Extensión ArcGIS Spatial Analyst. En el caso de este proyecto, la licencia con la que voy a trabajar es 3D Analyst (ArcGIS, 2017).

Tabla 3. Precios TerraScan. (Bentley Systems, 2017).

LICENCIA INDIVIDUAL	Versión Completa	TerraScan	5.100 €
		TerraModeler	3.400 €
		TerraPhoto	5.100 €
		TerraMatch	5.100 €
		TerraSlave	3.000 €
		TerraSurvey	3.400 €
	Versión Lite	TerraScan Lite	1.700 €
		TerraModeler Lite	1.700 €
		TerraPhoto Lite	1.700 €
	PAQUETES Todos los paquetes se ejecutan por medio de: MicroStation V8 Edition, MicroStation V8i, Bentley Map V8i y Bentley Map V8i PowerView.	Versión Completa	TerraScan + TerraModeler
TerraScan + TerraPhoto			9.180 €
TerraScan + TerraMatch			9.180 €
TerraScan + TerraModeler+ TerraPhoto			10.880 €
TerraScan + TerraModeler+ TerraMatch			10.880 €
TerraScan + TerraMatch+ TerraPhoto			12.240 €
TerraScan + TerraModeler+ TerraPhoto + TerraMatch			13.090 €
Versión Lite		TerraScan Lite + TerraModeler Lite	3.060 €
		TerraScan Lite + TerraPhoto Lite	3.060 €
		TerraPhoto Lite + TerraModeler Lite	3.060 €
		TerraScan Lite + TerraModeler Lite + TerraPhoto Lite	4.060 €
Volumen		Primer paquete / licencia de 0% descuento	
		Segundo paquete / licencia -20% descuento	
		Tercer paquete de licencia / -30% descuento	
		Cuarto paquete / licencia -40% descuento	
	Quinto o más paquetes / licencias -50% descuento		

Como he comentado anteriormente la información suele ser distribuida en ficheros *.las. Para la correcta visualización es necesaria la creación de un LAS Dataset. Este almacena la referencia a uno o más archivos. De esta forma permite examinar los archivos, en su formato original, de una manera rápida y fácil, proporcionando estadísticas detalladas y toda la cobertura de área de los datos. Recalcar que el dataset no importa los datos de punto.

La visualización predeterminada del LAS Dataset en ArcGIS, es una nube de puntos sin aplicación de ningún filtro, eso quiere decir que se visualizan la totalidad de los puntos LiDAR. Sin embargo, el dataset LAS permite la posibilidad de trabajar con puntos que están clasificados en diferentes tipos de entidad. Se pueden editar para hacer actualizaciones a los archivos *.las de origen, editar para corregir problemas, realizar mejoras y aumentar o disminuir la extensión del área de trabajo (ArcGIS, 2017).

Los atributos que pueden presentar los ficheros *.las son: ángulo de escaneo, tiempo GPS, número de retorno, número total de retornos, elevación, clasificación, intensidad y color.

MicroStation permite incorporar un nube de puntos tanto en formato *.laz como en formato *.las. Existen una serie de pasos a realizar antes de poder ser visible la nube de puntos, como por ejemplo crear un proyecto con las características, extensión y nombres de las hojas LiDAR con las que se desea trabajar. Una vez creado el proyecto se vuelca la información de la nube de puntos en este y es entonces cuando es posible visualizarla en forma de 3 dimensiones.

MicroStation ofrece 14 formas diferentes de poder visualizar la nube de puntos, estas se activarán o no dependiendo de la información que el archivo contenga.

A continuación se detallan las herramientas de clasificación que cada software nos ofrece. Entre las funcionalidades que ofrece la herramienta LASTools, únicamente se encuentra una opción si el objetivo es generar una nueva clasificación de la nube de puntos.

Dentro de las rutinas de clasificación que nos ofrece TerraScan, se pueden encontrar múltiples opciones para generar clasificaciones teniendo en cuenta criterios geométricos, como; puntos aéreos, puntos cercanos, puntos aislados, puntos hundidos de suelo, puntos por encima/por debajo de la superficie general, puntos con “x” cota sobre los puntos clasificados previamente como suelo, puntos con cota absoluta, clasificación de carreteras, edificios, puntos solapados.

3.1.2. Zona de estudio

La zona de estudio elegida por parte del IGEAR, ha sido la comarca de Matarraña, situada en la provincia de Teruel (Aragón).

Este territorio está compuesto por 18 municipios y tiene su capital administrativa en Valderrobres/ Vall de Roures, mientras que la capital cultural la ostenta Calaceite/Calaceit. La comarca tiene una extensión de 926.06 km² y 8.682 habitantes (datos del padrón de 2014).

Como se ha comentado con anterioridad, para la realización del presente trabajo, se ha escogido un área más pequeña dentro del municipio de Beceite. En esta zona, se encuentra el embalse de Pena con una superficie de 129 hectáreas y 22 hm³ de volumen. El uso de sus aguas es principalmente agrícola, por este motivo, es presumible la existencia de masías no inscritas en el catastro o de una forma ilegal.

La masía es un tipo de construcción rural, muy frecuente en todo el territorio que comprende la corona de Aragón, que tiene sus orígenes en las antiguas villas romanas. Se trata de construcciones aisladas, ligadas siempre a una explotación agraria y ganadera de tipo familiar. La planta no solía superar los 5 metros, con su entramado de vigas de madera y recubrimiento del techo con tejas o pizarra. Solían ser de dos pisos, siendo el primero de estos para las tareas propias del campo mientras que el segundo piso era el destinado a vivienda.

3.1.3. Información geográfica en formato vectorial

En la Tabla 4 se detallan las diferentes capas en formato vectorial utilizadas en el presente trabajo. Esta información ha sido obtenida de la IDE Aragón, desarrollada por el IGEAR. Esta IDE cumple con los objetivos marcados desde la directiva Europea 2007/2/CE INSPIRE, la Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España (LISIGE) y el decreto 82/2015 de Regulación de la Información Geográfica en Aragón.

Todas las capas utilizadas están en formato *shapefile* y en el sistema de coordenadas ETRS89 UTM 30 N.

Tabla 4. Información geográfica en formato vectorial.

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	TIPO DE GEOMETRIA
Límites de Aragón	Línea
Límite de provincias	Línea
Límites de Comarcas	Línea
Municipios	Punto
Núcleos de Población	Polígono
Malla LiDAR	Polígono
Masías	Punto
Contrucciones_Urbana_2012	Polígono
Contrucciones_Rustica_2012	Polígono
Contrucciones_BTA	Polígono

3.1.4. Datos LiDAR

La comarca de Matarraña está compuesta por un total de 287 hojas LiDAR, que supone una superficie de 926.06 km². La información ha sido proporcionada por el departamento de Ordenación del Territorio de IGEAR, reduciéndose así el tiempo que implica la descarga de información.

El área de trabajo en el que finalmente se van a analizar las diferentes metodologías de trabajo, está compuesta por 10 hojas LiDAR (ver Tabla 5), en el sistema de coordenadas ETRS89 UTM 31N.

Tabla 5. Archivos LAZ del área de trabajo.

NOMBRE DE ARCHIVO
PNOA_2010_Lote2_258_4522
PNOA_2010_Lote2_260_4522
PNOA_2010_Lote2_260_4524
PNOA_2010_Lote2_262_4522
PNOA_2010_Lote2_262_4524
PNOA_2010_Lote2_262_4526
PNOA_2010_Lote2_264_4522
PNOA_2010_Lote2_264_4524
PNOA_2010_Lote2_264_4526
PNOA_2010_Lote2_266_4522

La plataforma ArcGIS aplica el esquema de clasificación especificado para la versión 1.4 de los archivos LAS por el ASPRS y que se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Esquema de clasificación de la nube en ArcGIS.

VALOR DE CLASIFICACIÓN	TIPO DE CLASIFICACIÓN
0	Nunca clasificado
1	No asignado
2	Terreno
3	Vegetación baja
4	Vegetación media
5	Vegetación alta
6	Edificio
7	Ruido bajo
8	Clave de modelo/Reservada
9	Agua
10	Ferrocarril
11	Superficie de la carretera
12	Superposición/Reservado
13	Protector de cable
14	Conductor de cable
15	Torre de transmisión
16	Cable - Conector
17	Plataforma del puente
18	Ruido alto
19 – 63	Reservado para la definición de la ASPRS (las versiones de LAS de la 1.1 a la 1.3 admiten hasta el código de clase 31)
32 – 255	Lo puede definir el usuario (solo se admite en la versión de LAS 1.0 y en algunas versiones de 1.4)

3.1.5. Ortofotografía aérea

La Ortofotografía aérea que ha sido utilizada como ayuda para la elaboración del análisis de este trabajo ha sido descargada de la IDE Aragón. Se trata de una ortofotografía a color del año 2012 y

con 0,5 metros de pixel. Se ha utilizado esta ortofotografía ya que no existe ninguna del año 2010 para el municipio de Beceite.

3.2. Pre procesado de la información LiDAR

El primer paso ha consistido en la descompresión de los ficheros *.laz utilizando la herramienta “*laszip*” (ver Figura 9) del software LASTools que se puede integrar en ArcGIS como una Toolbox. Esta herramienta se ha ejecutado en forma “*bach*” para poder generar más de un archivo a la vez.

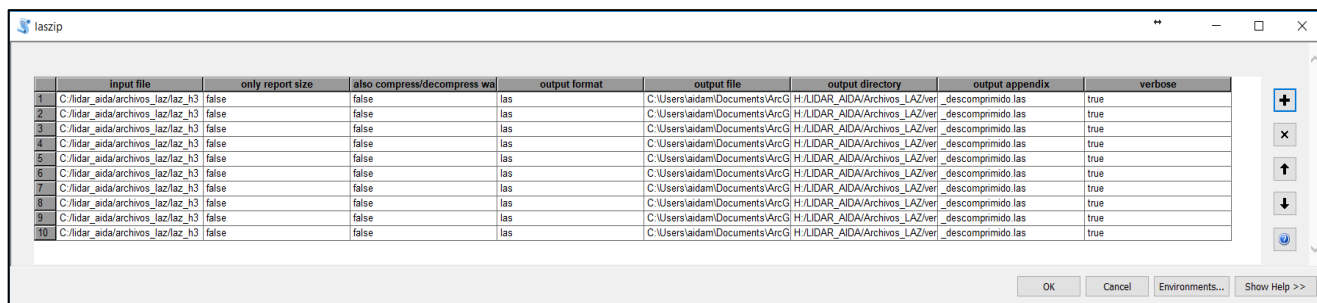


Figura 9. Herramienta “*laszip*”.

El segundo paso incluye la creación de un LAS Dataset, utilizando ArcCatalog. Añadimos los ficheros con extensión *.las (Figura 10) y se comprueba que el sistema de coordenadas sea ETRS_1989_UTM_Zone_31N y el sistema de coordenadas en Z incorporamos el de Alicante. En este momento se pueden calcular las estadísticas del conjunto de ficheros (Figura 11), que nos permite analizar que no existe ningún error en la importación.

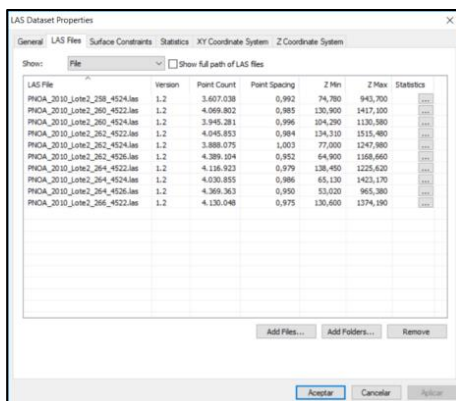


Figura 10. Propiedades LAS Dataset.

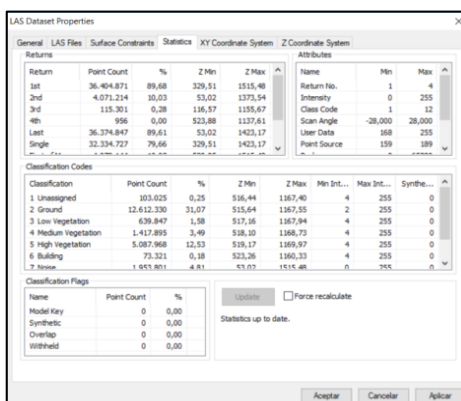


Figura 11. Estadísticas LAS Dataset

A continuación se ha procedido a la eliminación de la categoría de ruido utilizando la herramienta: “*las2las (filter)*”, integrada en LASTools, generando un LAS Dataset de salida

denominado: “*at_cla_sin_ruido.lasd*”. En la Figura 12, se presenta la pestaña con las propiedades del LAS Dataset, en la que se observa cómo ha desaparecido la categoría 7 correspondiente al ruido.

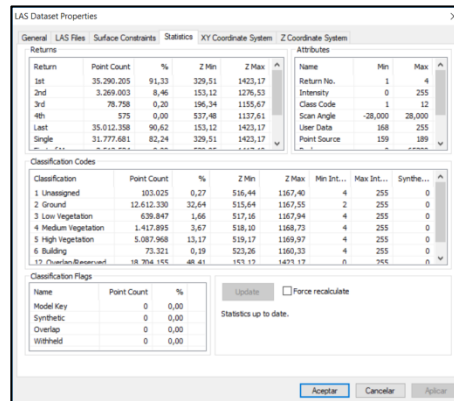


Figura 12. Propiedades LAS Dataset “*at_cla_sin_ruido.lasd*”.

Finalmente, se ha eliminado la categoría de solape, ya que el IGN considera que son puntos erróneos. Esto es debido a que en la captura de los datos, el avión realiza diferentes pasadas, en diferentes días. En algunas ocasiones, en la localización de estas pasadas se encuentran discrepancias en las alturas de los puntos, por lo que el IGN decide con que datos de recogida se queda para clasificar y la otros los introduce en una categoría denominada solape

Por lo tanto, aunque trabajar con una nube filtrada sin ruido y sin solape disminuye la cantidad de datos y podría parecer a priori que se disminuye la precisión con la que se van a generar los distintos modelos, el eliminar puntos que se consideran erróneos mejorará la calidad de los resultados. En la Figura 13, se presenta la pestaña con las propiedades del LAS Dataset, en la que se observa cómo ha desaparecido la categoría 12 correspondiente al solape

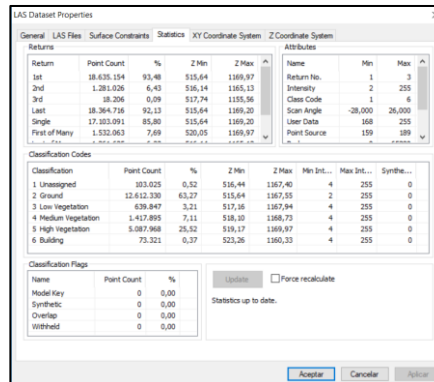


Figura 13. Propiedades LAS Dataset “*at_cla_sin_solape.lasd*”.

3.3. Generación de la capa control.

Con el fin de analizar los modelos generados por las distintas clasificaciones, y poder identificar edificaciones aisladas en el área de estudio, se van a buscar distintas zonas de control donde la realidad del terreno sea conocida. Para ello se va a generar con la ayuda de diferentes alternativas, una serie de capas denominadas “*verdad_terreno*”, compuestas por edificaciones conocidas. Estas edificaciones se encontraran en lugares donde el paisaje sea relativamente diferente, y donde las edificaciones se encuentren en modos diferentes. Todas ellas tendrán un área mínima de 15 m³.

La información complementaria que se va a utilizar para la elaboración de esta capa denominada “*verdad_terreno*” (Figura 15), va a ser la siguiente:

- Capa “*Construcciones_BTA_2010*”.
- Capa “*construcciones_urbana_2012*”.
- Capa “*construcciones_rustica_2012*”.

- Ortofoto. Año 2012.
- Capa “Estadísticas”.

La capa “Estadísticas” se va a generar con la herramienta “*LAS Point Statistics as Raster*” (Figura 14). Dicha herramienta crea un ráster cuyos valores de celda reflejan información estadística sobre las mediciones de los archivos *.las a los que hace referencia un LAS Dataset (ArcGIS, 2017). Se va a utilizar el método “Z_RANGE” con el fin de determinar píxeles con valores de rango de alturas altos, estos píxeles pueden coincidir con la delimitación de los límites de las edificaciones.

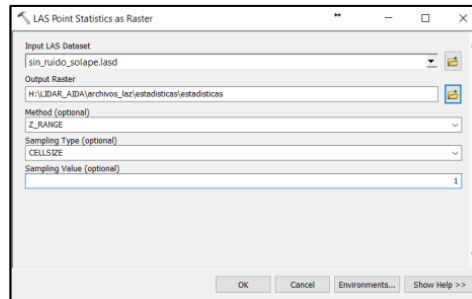


Figura 14. Herramienta Las Point Statistics As Raster.



Figura 15. Capa “verdad_terreno2”

Hasta encontrar la capa de estadística que mejor se adapta a nuestro objetivo se han probado diferentes precisiones, píxeles de 1 y 2 m. Pudiendo observar que en el ráster de tamaño de píxel de 2 metros las identificaciones de edificaciones es mejor. Teniendo en cuenta que se ha disminuido la densidad de puntos.

La simbología establecida ha consistido en pintar de gris aquellos píxeles en los que se ha obtenido un rango en alturas menor de 5 metros. De color rojo los píxeles comprendidos entre valores de 5 y 10 m, y de azul píxeles con rango mayor a 10 m. De esta manera, en una zona urbana (Figura 16), es posible identificar líneas que hacen referencia a ubicaciones de edificios. Se dificulta esta identificación en zonas donde las edificaciones se encuentran aisladas.

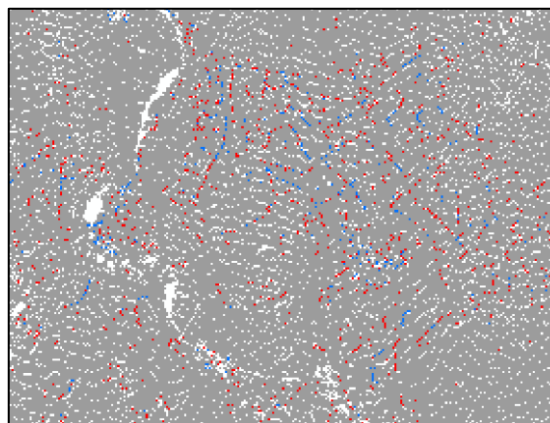


Figura 16. Visualización de la capa “Estadística” 2 metros de píxel.

3.4. Procedimiento de trabajo con ArcGIS.

3.4.1. Incorporación de información geográfica.

Las coordenadas que se van a utilizar son las coordenadas UTM, el territorio de Aragón está comprendido en los dos husos diferentes en los que se encuentra España, el huso 30 y el 31. Gran parte del territorio de la comarca de Matarraña está en el huso 31 y una pequeña en el huso 30.

La información que se encuentra en la IDE, está en el huso 30, por lo que ha habido que aplicar una transformación de la proyección en ArcGIS de todas las capas, utilizando la herramienta: "*Projections and Transformations*", para obtener las capas en el huso 31.

A continuación se han recortado todas las capas a la extensión de la comarca de Matarraña y a la extensión del área de trabajo (Figura 17) en el municipio de Beceite, utilizando la herramienta "*Clip*".

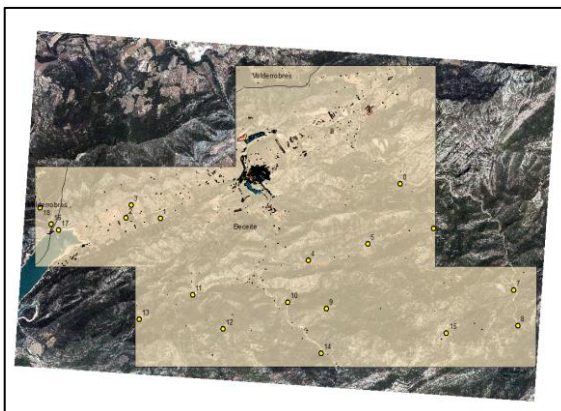


Figura 17. Detalle de algunas informaciones espaciales del área de trabajo.

3.4.2. Incorporación de datos LiDAR.

Comenzamos a trabajar y manejar la nube de puntos LiDAR en ArcGIS, con los archivos en formato *.las. El área de trabajo para analizar las diferentes metodologías tendrá una extensión de 10 hojas LiDAR, dentro del municipio de Beceite. (Figura 18)

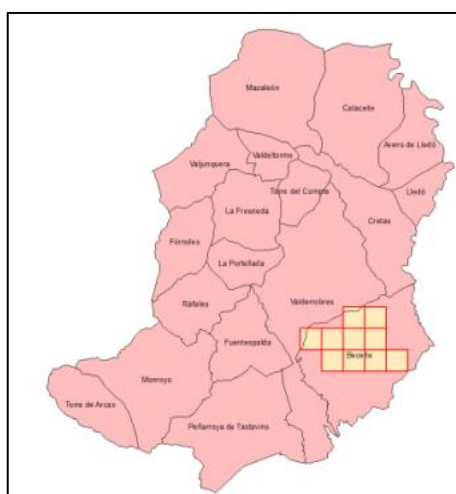


Figura 18. LAS Dataset del Área de Trabajo.

3.4.3. Generación de MDE, MDS y nMDS.

En este apartado se detalla el trabajo realizado para la elaboración de los tres primeros modelos normalizados.

Para lograr el primer nMDS, es necesario crear un MDE con la categoría suelo y un filtrado de la nube a retornos únicos y utilizar la herramienta “LAS Data set to Raster” para interpolar los puntos. Un segundo MDS creado a partir de las categorías suelo y edificios y retornos únicos. La resta de ambos utilizando la “calculadora ráster” dará lugar al nMDS número 1 (Anexo 1).

Para lograr el nMDS 2 (Anexo 2), la metodología a emplear es la correspondiente al método 2, explicado en la figura 11. Se elabora de la misma manera que el nMDS1, con la diferencia de filtrar en las propiedades del LAS Dataset todos los retornos.

El método 3 comienza con la aplicación de la herramienta “lasheight” (Figura 19) de las LASTools, para la normalización de la nube de puntos, y la creación de un nuevo LAS Dataset con la nube de puntos normalizada (Figura 20). Antes de crear el ráster que contenga el nMDS número 3, se filtran las propiedades de LAS Dataset con categorías de suelo y edificios y todos los retornos.

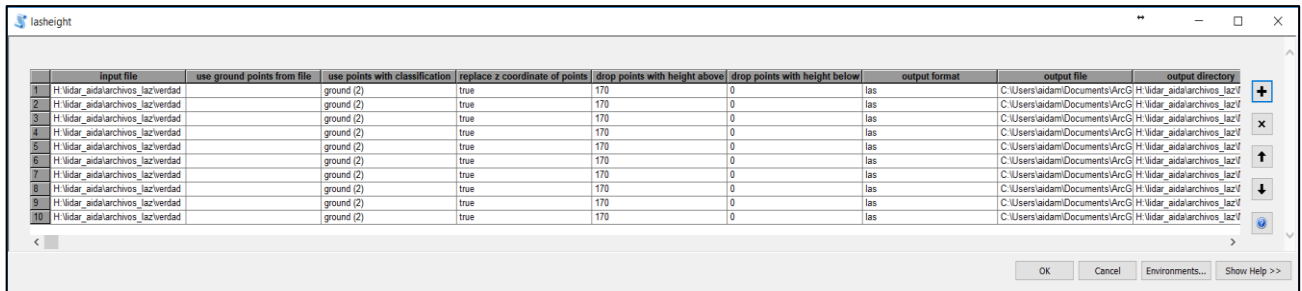


Figura 19. Herramienta “lasheight”.

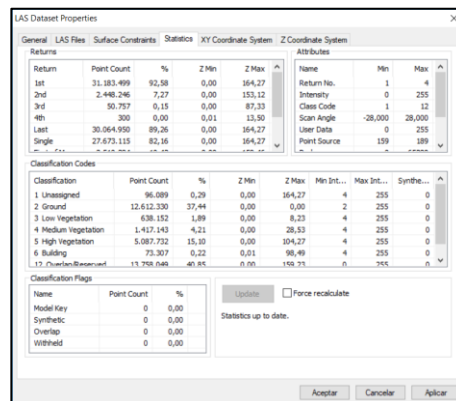


Figura 20. Propiedades LAS Dataset normalizado.

3.5. Procedimiento de trabajo con MicroStation y TerraScan

3.5.1. Incorporación de datos LiDAR

Todo el trabajo sobre MicroStation se da sobre dos ventanas de trabajo, una de ella es la ventana “Proyect” y la otra es TerraScan. Esta última se utiliza para ejecutar las herramientas sobre los datos LiDAR, además de visualizar y editar, también es la barra a partir de la cual se crea o define la macro.

Para comenzar, se necesita un programa llamado “fme” para crear los archivos que MicroStation necesita para incorporar datos Lidar. Es necesario que la rejilla de las hojas LiDAR que se van a introducir este en formato *.dgn, formato propio de MicroStation. Para ello, lo primero se ha creado un shapefile denominado “Cuadrícula” con los 10 rectángulos de la zona de estudio de la capa shapefile “M_Malla_Lidar” en QGIS. Posteriormente, he procedido a convertir dicho shapefile al formato *.dgnV8. (Figura 21).

Este fichero es imprescindible para que al cargar los datos LiDAR recoja la información de la etiqueta de cada hoja LiDAR. Además, es necesario crear el archivo *.dgn con la etiqueta del campo fichero del shapefile “Malla_LiDAR”, para que al cargar los ficheros LiDAR queden ordenados por cuadrantes.

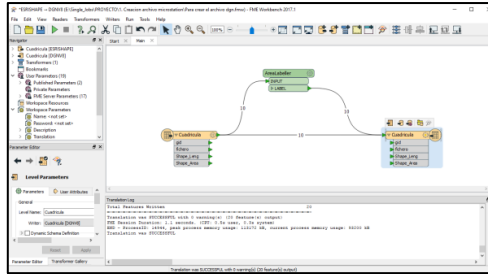


Figura 21. Modelo de creación de fichero “Cuadrícula.dgn”

El siguiente paso es crear el proyecto LiDAR en MicroStation (Figura 22 y 23). El archivo “Cuadrícula.dgn” proporciona la información necesaria para configurar las características del proyecto. Contiene información de la extensión y nombre de cada una de las hojas LiDAR de las que se compone el proyecto.

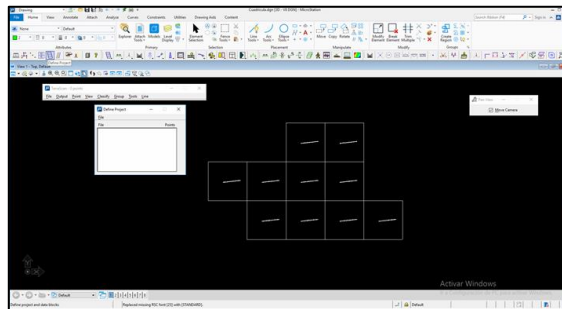


Figura 22. Incorporación de archivo “Cuadrícula.dgn” en MicroStation.

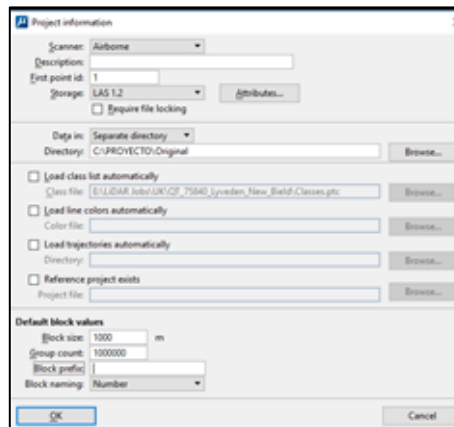


Figura 23. Configuración del Proyecto.

En la pestaña “Data in” y “Directory” es donde se van a almacenar los ficheros LiDAR del proyecto cuando se carguen a continuación. Una vez estos parámetros configurados, el proyecto quedan preparados para la incorporación de la nube de puntos.

Para cargar la nube de puntos es necesario tener seleccionados los cuadrantes y seguido en la ventana “Project” escoger la opción “Add blocks by boundaries”. Se dejan los parámetros por defecto. De esta forma quedan añadidos los nombres de las hojas LiDAR al proyecto (Figura 24).

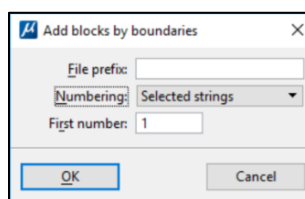


Figura 24. Incorporación los nombres de las hojas LiDAR

A continuación en la pestaña “File” de la ventana “Project”, se selecciona la opción “Import points into Project” (Figura 25), para cargar la nube de puntos correspondiente a cada hoja.

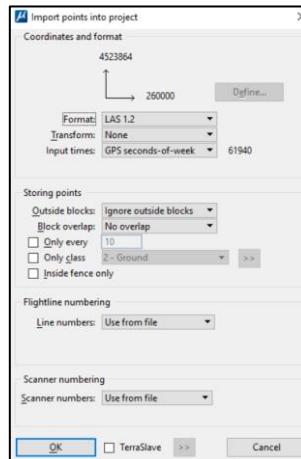


Figura 25. Incorporación de la nube de puntos.

3.5.2. Clasificación de la nube de puntos

TerraScan da la opción de ejecutar una consecución de filtros de clasificación de puntos, diseñada por el usuario en función del objetivo del trabajo. A continuación detallo los pasos que he seguido para clasificar la nube de puntos *laz.

El primer filtro (Figura 26) coge todos los puntos del archivo y los categoriza en clase 1 default. La segunda rutina (Figura 27) es la del filtrado de puntos aislados (atmosfera, pájaros...). La tercera (Figura 28) es la del filtrado de puntos bajos. Tanto la segunda rutina como la tercera cogen los puntos de la clase Default y los almacenan en la clase 7 de Ruido.

La cuarta rutina (Figura 29) consiste en la clasificación del suelo. Este filtro lo que hace es coger los puntos de la clase 1 Default y los almacena en la clase 2 suelo. La quinta rutina (Figura 30) es la del filtrado de puntos por debajo del suelo. En esta rutina los puntos no se cogen de la clase 1 Default si no de la clase 2 Ground. Por tanto es necesario pasar antes el filtrado de suelo. Es como un filtro para corregir los puntos que han sido erróneamente clasificados como suelo. Esta rutina traspasa los puntos seleccionados de la clase 2 suelo a la clase 7 ruido.

La sexta rutina (Figura 31) es la del filtrado de puntos de vegetación por altura. Este filtro coge los puntos de la Clase 1 “Default” y los almacena en la clase 3 Vegetación Baja. Esta rutina clasifica los puntos por altura tomando como referencia la clase 2 Suelo que habrá sido previamente creada. Como puedes observar en los parámetros, los puntos comprendidos entre los 0,2 m y 2 m son clasificados como vegetación baja.

La séptima y octava rutinas son iguales que la de la vegetación baja pero en este caso son las de vegetación media entre 2 y 5 metros, vegetación alta más de 5 m.

Finalmente la novena y décima rutinas (Figura 32) son las de edificios. La novena rutina toma los puntos de la clase 4 Vegetación media y la décima toma los puntos de la clase 5 Vegetación alta. Ambas rutinas almacenan los puntos en la clase 6 Edificios. Por tanto, para utilizar estas rutinas primero debe haber sido clasificada la vegetación. He utilizado dos rutinas de edificios ya que creo que puede haber edificaciones con una altura tanto en la clase 4 Vegetación media (2 - 5 m) como en la clase alta (+5 m).

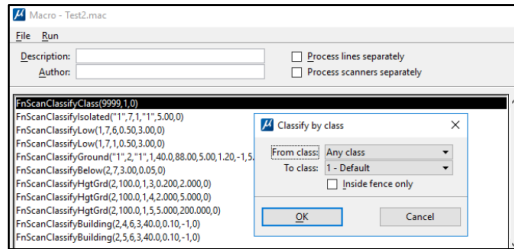


Figura 26. Parámetros de configuración.

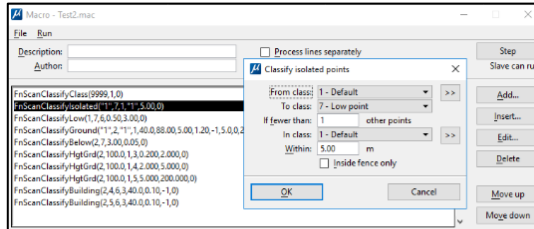


Figura 27. Parámetros de configuración de clasificación de puntos aislados.

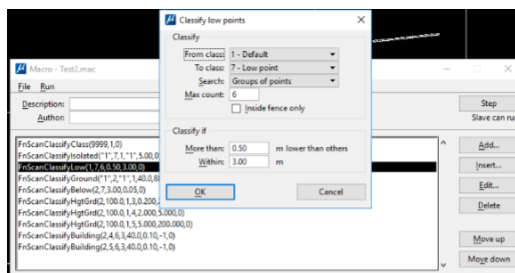


Figura 28. Parámetros de configuración de clasificación de puntos bajos.

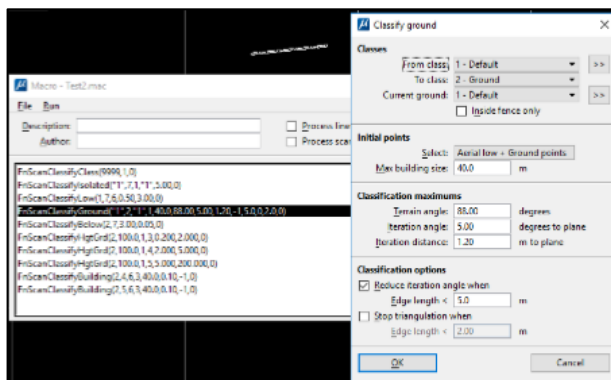


Figura 29. Parámetros de configuración clasificación de suelo.

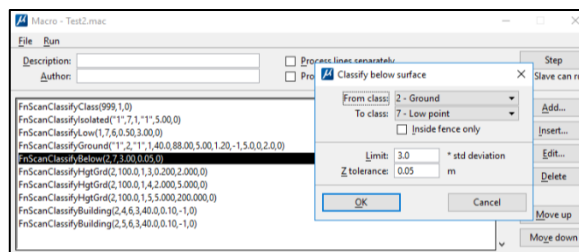


Figura 30. Parámetros de configuración clasificación de puntos por debajo de suelo.

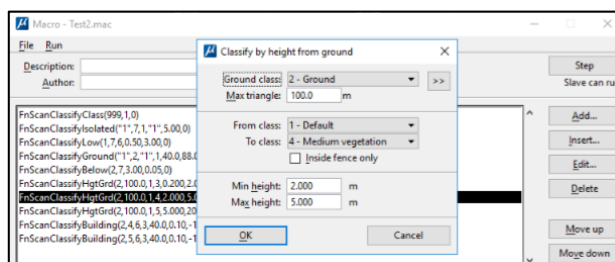


Figura 31. Parámetros de configuración clasificación de puntos de vegetación por altura.

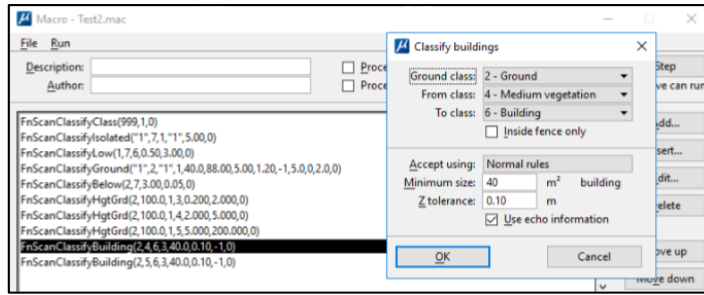


Figura 32. Parámetros de configuración clasificación de puntos de edificios.

Una vez configurada la macro entera, se guarda y se ejecuta sobre el proyecto guardado en el menú “Project” (Figuras 33 y 34). Se configuran los parámetros de manera que guarde los archivos como una copia, para mantener los archivos de origen intactos.

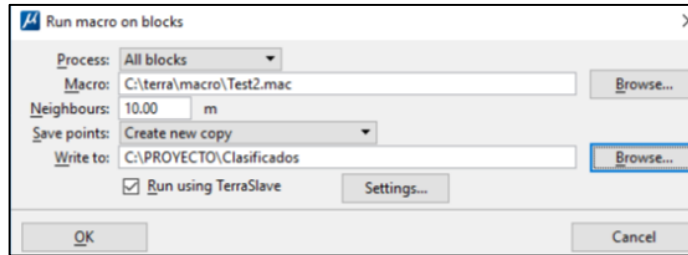


Figura 33. Ejecución de la macro.

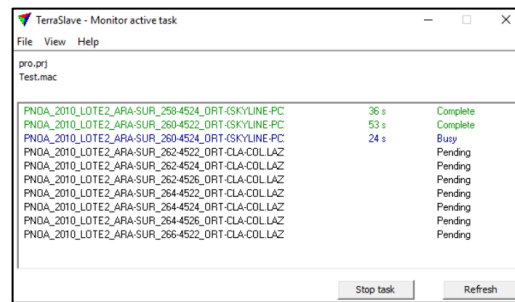


Figura 34. Monitor de tareas, “TerraSlave”.

3.5.3. Generación de MDE, MDS y nMDS en ArcGIS

Una vez obtenidos los ficheros *.laz clasificados con TerraScan, se descomprimen y se incorporan a ArcGIS mediante un LAS Dataset, se le asignan coordenadas ETRS89_UTM_31N y se calculan las estadísticas. (Figura 35)

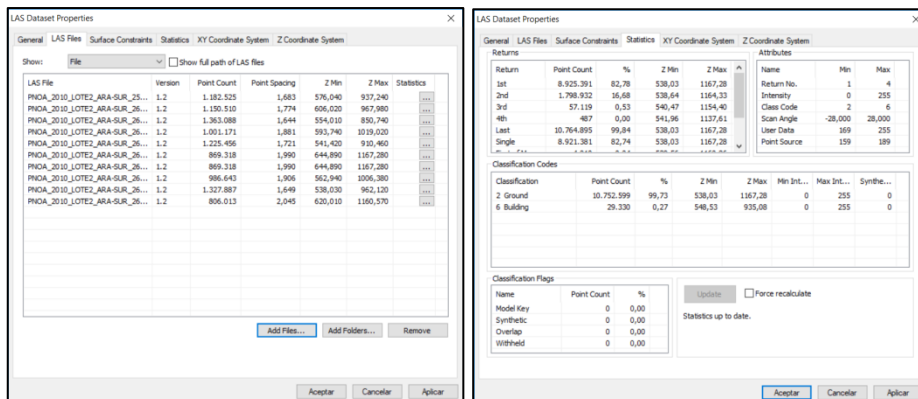


Figura 35. Propiedades LAS Dataset “terra_cla”.

Para la generación de los modelos nMDS 4, nMDS 5 y nMDS 6, se emplean los métodos 1, 2 y 3, respectivamente. El mismo proceso seguido para la elaboración de los modelos nMDS 1, nMDS 2 y nMDS 3. Estos modelos se encuentran en los anexos 4, 5 y 6.

4. RESULTADOS

4.1. Identificación de edificaciones aisladas.

Se han escogido 3 zonas de interés donde se va a analizar el funcionamiento de los 6 modelos digitales creados anteriormente. Recordar, que los tres primeros modelos están generados a partir de la clasificación del CNIG (grupo 1) y los modelos 4, 5 y 6, a partir de la nube de puntos clasificada con TerraScan (grupo2). El objetivo final es determinar cuál de los modelos es el que reúne mejores condiciones para lograr la identificación de edificaciones aisladas. Muy importante recordar que los modelos que se van a analizar son modelos digitales normalizados, generados con las únicas dos categorías de suelo y edificios.

La información base es la Ortofoto del año 2012, por lo que siempre se tendrá en cuenta que los modelos generados al ser con nube de puntos recogidas en el 2010, la edificación podría haber sido construida *a posteriori*. Para el contrastado se va a utilizar la capa “Estadística” generada a partir de la nube de puntos correspondiente al año 2010.

Cada zona tiene su propia verdad terreno constituida por unas determinadas edificaciones, coloreadas en color rojo si pertenecen a construcciones rusticas y de color azul edificaciones urbanas. Se encuentran, de forma puntual y en color amarillo, las edificaciones consideradas como masías por parte del catastro.

Se han identificado 4 áreas de estudio donde poder obtener diferentes conclusiones acerca del comportamiento de los 6 modelos. La primera de ellas pertenece a una zona cercana al embalse donde se han analizado edificaciones al norte, este y sur de este. La segunda área de estudio es una zona periurbana constituida por edificaciones urbanas y rusticas. Se ha buscado una tercera zona en donde se encuentran una serie de edificaciones aisladas rodeadas de fincas de cultivo. Por último, se ha analizado el caso de una masía en concreto, la masía número 1, Masía de L’Ombreta. Se han escogido estas áreas de estudio porque son casos que se repiten en toda el área de trabajo, por lo que las conclusiones que se obtengan serán representativas de toda el área de trabajo. (Figura 36)

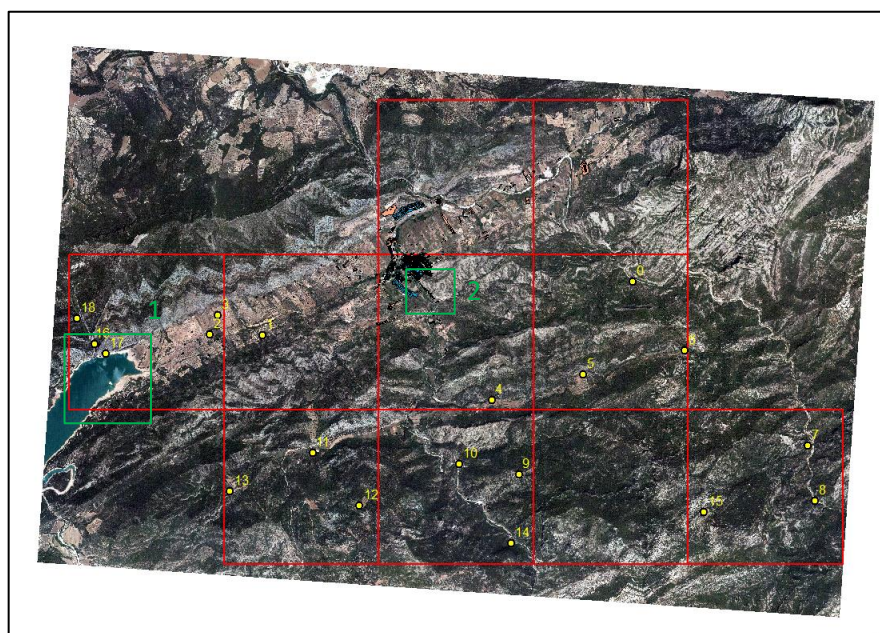


Figura 36. Zonas de control para el análisis.

4.1.1. Primera área de estudio

Es una zona cercana al embalse donde se encuentran diferentes edificaciones aisladas. (Figura 55).



Figura 37. Zona control 1.

En la zona norte hay 6 edificaciones pertenecientes a la capa verdad terreno, 4 edificaciones son de tamaño parecido, en torno a los 100 m^2 , y 2 edificaciones más pequeñas, de entre 10 y 30 m^2 .

Los modelos generados a partir de la clasificación de la nube proveniente del CNIG, identifican solo 2 de las edificaciones más grandes, no habiendo diferencias en la identificación en los 3 modelos. Las 4 restantes no las identifican. Un dato importante es que los modelos generados a partir de la nube de TerraScan no identifican ninguna de las 6 edificaciones. En la figura 38, se observa la identificación de las dos edificaciones más grandes a través del modelo 1, a la izquierda de estas se ven en color gris y relleno lineal las dos edificaciones más pequeñas que no han sido identificadas por ninguno de los 6 modelos.

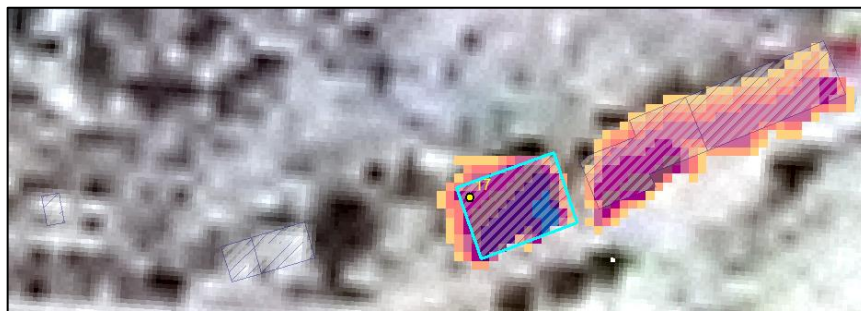


Figura 38. Identificación de edificaciones Modelo 1.

En la figura 38, se observa como una de las edificaciones que ha sido identificada pertenece a la masía número 17, “Masía del pito”, la cual tiene una área de $100,29 \text{ m}^2$, es una edificación de tipo rustica catalogada como construcción tipo II en uso para el catastro, con fecha de alta el 1 de octubre de 2007. Sin embargo, una de las edificaciones que no ha sido detectada por ninguno de los 6 modelos, es la masía número 16 “Venta de pantano”, exactamente de iguales características que la anterior, extensión y fecha de alta, por lo que cabría esperar que fuera una edificación construida posteriormente a la captura de la nube de puntos en el 2010 y que en la Ortofoto de año 2012 se observara, pero las tablas de atributos de las correspondientes capas con las que se ha contrastado la información indican que es un error en la detección de edificaciones por parte de los modelos generados.

Para obtener información acerca de las edificaciones se ha hecho uso de las siguientes capas: “constru_BTA” (2010), que indica que está en uso; la capa “masias” le da nombre y la capa “constru_r” (2012), que indica la fecha del alta y el estado.

El porqué de la no detección de estas edificaciones en los modelos del grupo 2, radica en la nube de puntos de partida para los modelos, lo que es lo mismo, en el filtrado utilizado para la clasificación de la categoría edificios utilizado por TerraScan. Lo cual quiere decir que el filtrado ha sido demasiado selectivo y ha desechado puntos de edificios en algunas zonas, como se puede comprobar en las figuras 39 y 40. La nube de puntos en ambos casos esta coloreada de rojo la categoría edificios y en color marrón la categoría de suelo. En el caso de la nube de puntos del CNIG, la nube de puntos del CNIG colorea de rojo 2 de los edificios, sin embargo en la nube de puntos generada con TerraScan no aparecen puntos de color rojo en la ubicación de los edificios.

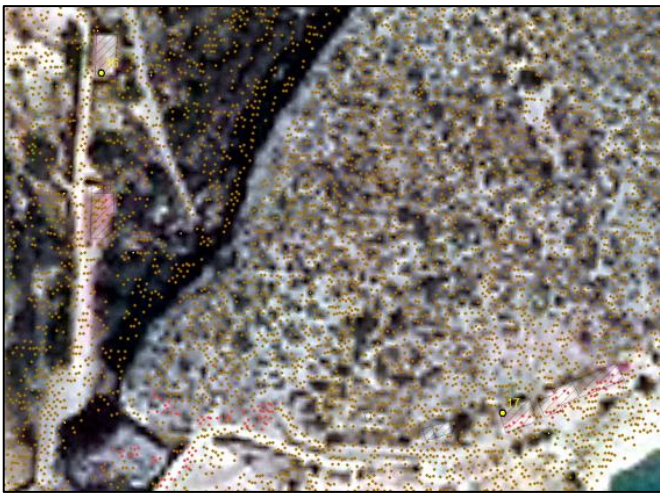


Figura 39. Nube de puntos CNIG.

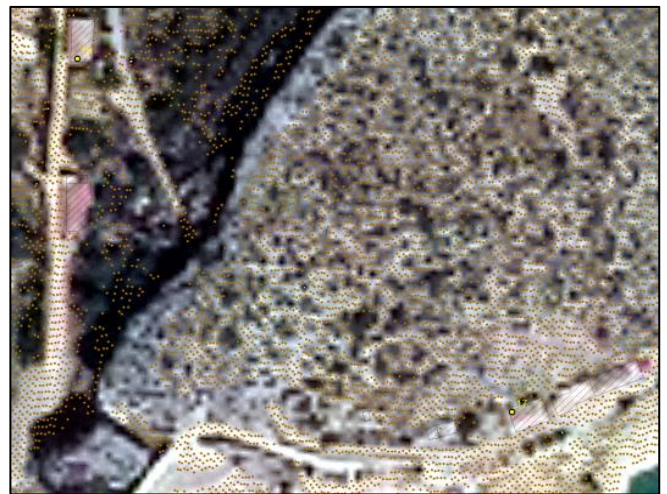


Figura 40. Nube de puntos de TerraScan.

En la zona este, se encuentran 3 edificaciones aisladas rodeadas por fincas de cultivo, dos de ellas de unos 150 m² y una más pequeña de aproximadamente 15 m². Los modelos del grupo 1 identifican las dos edificaciones más grandes pero no la pequeña, además de confundir alta vegetación como edificios. El color azul del modelo expresa alturas de más de 10 metros (Figura 41), aunque es sabido que en esta orografía no se dan edificios de esas alturas, y la forma que tienen es un indicativo claro de vegetación. Una conclusión que se puede sacar es que la clasificación del CNIG, tiene vegetación alta clasificada como edificios. Y otra conclusión importante, que edificaciones con áreas inferiores a los 1515m² no son identificadas con las metodologías empleadas.



Figura 41. Modelos grupo 1, zona este.

Los modelos del grupo 2, gracias al trabajo realizado con TerraScan para obtener una nueva clasificación de la nube cuyo objetivo es precisamente la detección de edificaciones, consiguen algo importante que es no clasificar vegetación en la categoría de edificios. En la figura 42 se muestra la detección únicamente de los edificios y nada de vegetación.



Figura 42. Modelos grupo 2, zona este.

En la zona sur de la primera área de estudio, se encuentran una serie de edificaciones rústicas (se han escogido 7 para el análisis), rodeadas de vegetación media y caminos de tierra. En este caso los 6 modelos han identificado las 7 edificaciones, gracias a ello vamos a poder encontrar diferencias en cómo se ha llevado a cabo la determinación de las áreas de estas edificaciones en cada modelo.

En este caso se ha marcado como “no color” las alturas comprendidas entre 0 y 2 m, para obtener un mejor análisis. (Ver figura 43)



Figura 43. Secuencia de análisis en 2 edificaciones.

En la anterior secuencia (Figura 43) se han analizado 2 edificaciones, el segundo modelo a la derecha es un ejemplo de lo que los modelos del grupo 1 generan. De 2 edificaciones, se detectan las 2, pero las limitaciones de estos edificios quedan contaminadas por puntos de vegetación que están alrededor y que han sido clasificados en la categoría de edificios. Por el contrario, la tercera imagen demuestra como el filtrado utilizado para la clasificación en TerraScan ha sido bueno de cara a observar mejor las delimitaciones de los edificios, sin embargo ha sido tal el filtrado que se han eliminado puntos que pertenecen a edificios (puntos en color rojo) como se puede ver en la figura 44 de la nube de puntos generada por TerraScan.

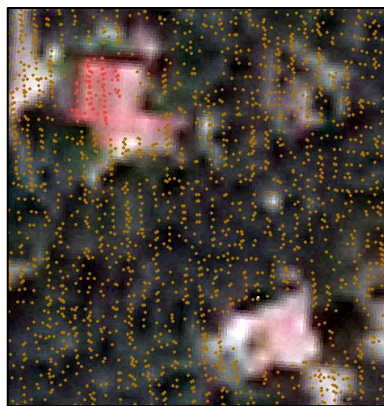


Figura 44. Clasificación de la nube de puntos generada con TerraScan.

Otro de los edificios que se encuentran en esta zona (Figura 45), según la capa “constru_BTA” pertenece edificación rustica tipo I, con nombre “Masía de solla”, pero no se encuentra en la capa puntual de masías. Esto quiere decir que la capa masías está incompleta.

Respecto al análisis de los modelos, se comportan de la misma manera que en los análisis anteriores. Resaltar que en ninguno de los casos ha sido identificada una pequeña edificación que se sitúa al lado del edificio. Este edificio pequeño es de tipo casa, no aparece su estado y tiene un área de 18 m². Por lo tanto, se vuelve a dar el caso de que la identificación de edificaciones con áreas inferiores a 20 m² es imposible.



Figura 45. Secuencia de análisis.

4.1.2. Segunda área de estudio

Es una zona periurbana donde se pueden encontrar tanto edificios de alturas elevadas como edificaciones de menor altura y aisladas. Las edificaciones en color azul pertenecen a la capa “constru_urbana” y las de color gris a “constru_rustica” (Ver figura 46).



Figura 46. Área de estudio 2.

Se ha realizado un primer análisis en uno de los edificios que pertenecen a edificaciones urbanas. Aunque no es objeto de nuestro estudio, sí que ha servido para obtener diferencias dentro de los modelos del grupo 1.

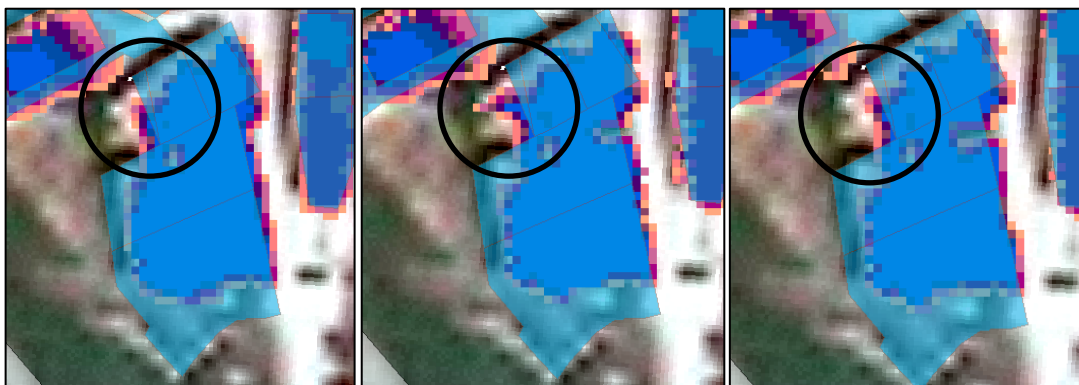


Figura 47. Secuencia de análisis, nMDS1, nMDS2 y nMDS3.

En la figura 47 se pueden ver las diferencias que existen entre los modelos 1, 2 y 3 que han sido generados a partir de la nube de puntos del CNIG. Las metodologías empleadas para la generación de los modelos nMDS1 y nMDS3, demuestran una mejora en la identificación de edificaciones. El nMDS 2 por el contrario sigue confundiendo con facilidad la vegetación existente cerca de los edificios.

El siguiente análisis se ha realizado en las edificaciones de tamaño más pequeño que aparecen de forma consecutiva al borde de un camino, debajo del edificio urbano analizado anteriormente (Figura 48).



Figura 48. Secuencia de análisis.

En este caso se ha podido corroborar de nuevo la diferencia entre los modelos del grupo 1 y grupo 2. En la imagen de la izquierda aparece el modelo 1 generado con la nube del CNIG, en el cual se han podido identificar 2 de los 4 edificios que se hallan en la zona de estudio. Sin embargo, como en otras ocasiones se ha dado, los modelos del grupo 2, imagen derecha, en ocasiones no identifican todos los edificios que existen en “verdad terreno”.

Como se puede ver en la figura 49, se ha comprobado que la nube de puntos del CNIG ha establecido la categoría de vegetación alta (color azul claro) en la localización de estos dos edificios centrales, por consiguiente es imposible que los modelos los detecten.

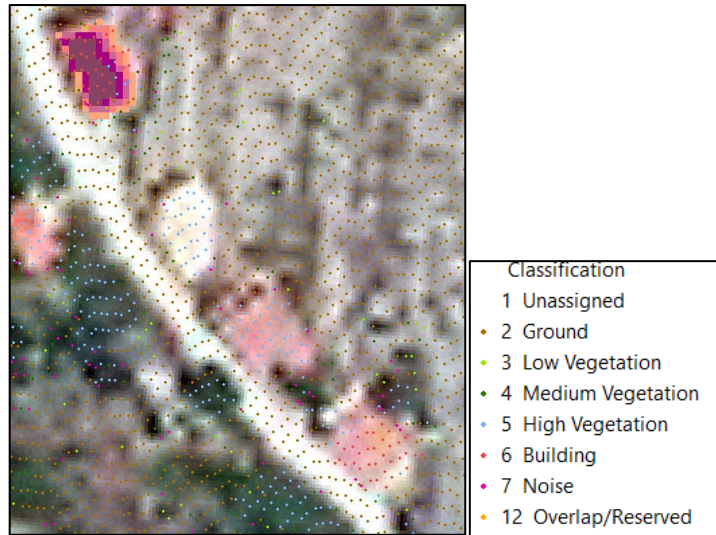


Figura 49. Análisis nube de puntos CNIG.

4.1.3. Tercera área de estudio

En esta área se van a analizar una serie de edificaciones completamente aisladas (posibles masías) (Figura 50), bordeadas de fincas de cultivos, de áreas entre los 9 m² y 50 m². Con el fin de demostrar si es posible o no la identificación de estas y seguir concretando cual es la mejor metodología para su detección. Como único resultado, ninguno de los modelos ha detectado ninguna de estas edificaciones. Por lo tanto edificaciones de áreas inferiores a 50 m², son difíciles de detectar.



Figura 50. Edificaciones aisladas de la capa “verdad terreno”.

4.1.4. Cuarta área de estudio

En este caso se va a analizar la masía número 1, Masía de L’Ombreta, la cual se encuentra en uso y tiene una extensión de 228 m². En la figura 51 se muestra, a la izquierda una imagen del edificio correspondiente a la capa “verdad terreno” y a su derecha los modelos nMDS1, nMDS2 y nMDS3.



Figura 51. Secuencia de análisis.

Los únicos modelos que detectan la masía son los del grupo 1. Además se puede observar entre ellos una pequeña diferencia que hace referencia a la altura de la edificación. Es una masía que aunque la información indica que está en uso, los modelos resaltan un estado de deterioro bastante severo. Se puede observar como la mayoría del área se encuentra por debajo de los 4 metros. La diferencia entre los tres modelos es que el modelo 2 está indicando de forma más precisa el estado de las alturas, consiguiendo un mayor rango de intervalos en la zona indicada con un círculo negro.

4.2. Análisis comparativo de las propiedades de la nube de puntos clasificada por el IGN y clasificada por TerraScan.

Las figura 52 muestra las propiedades de la nube de puntos con las que han sido generados los modelos nMDS1, nMDS2 y nMDS3. Las dos características más relevantes son, número de puntos que corresponde a cada categoría de retornos y número de puntos que pertenecen a cada categoría, junto con sus alturas máximas y mínimas para cada caso. En la Figura 53 aparecen las mismas propiedades de LAS Dataset, con los archivos normalizados a través de la herramienta “*lasheight*”.

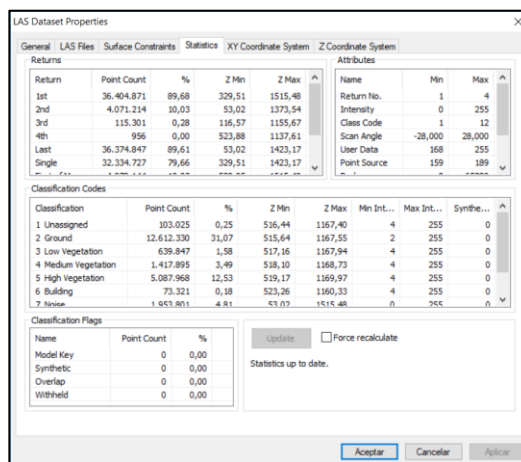


Figura 52. Propiedades LAS Dataset, nube de puntos clasificada por el CNIG.

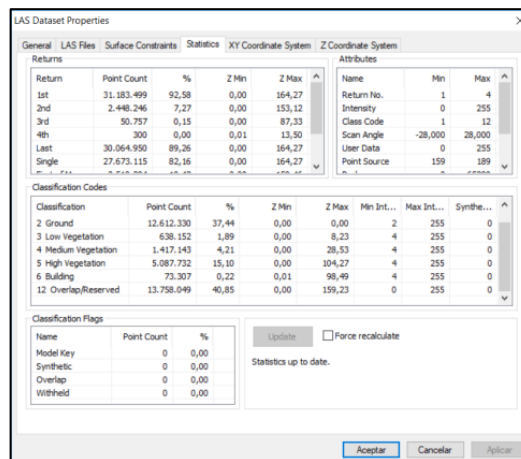


Figura 53. Propiedades LAS Dataset, nube de puntos normalizada herramienta “*lasheight*”.

La nube de puntos que se introduce en MicroStation para ser clasificada mediante el módulo TerraScan, es la misma que ha sido utilizada en ArcGIS para la elaboración de los 3 primeros modelos. Por consiguiente las características de esta como información de partida son las mismas (Figura 54)

Class	Description	Count	Min Z	Max Z
1	Default	103 022	+516.44	+1167.40
2	Ground	12 612 154	+515.64	+1167.55
3	Low vegetation	639 822	+517.16	+1167.94
4	Medium vegetation	1 417 851	+518.10	+1168.73
5	High vegetation	5 087 686	+519.17	+1169.97
6	Building	73 321	+523.26	+1160.33
7	Low point	1 953 719	+53.02	+1515.48
12	-	18 703 518	+153.12	+1423.17

Figura 54. Estadísticas de la nube de puntos en MicroStation.

Me gustaría recalcar que Terrascan es un programa indicado para clasificar y editar manualmente nubes de puntos, no está enfocado a la gestión de estadísticas. A diferencia con ArcGIS, TerraScan permite la incorporación y el trabajo con archivos con extensión *.laz.

Una vez se clasifica la nube de puntos con el macro de trabajo creado, y se introduce esta nueva nube de puntos en ArcGIS es cuando es posible identificar las diferencias entre las estadísticas de las distintas clasificaciones (Figura 55).

Return	Point Count	%	Z Min	Z Max
1st	9.576.490	84,59	515,63	1166,93
2nd	1.691.671	14,94	516,14	1164,71
3rd	52.637	0,46	517,74	1154,40
4th	457	0,00	523,88	1137,61
Last	11.304.062	99,85	515,63	1166,93
Single	9.572.072	84,55	515,63	1166,93

Figura 55. Propiedades de LAS Dataset clasificado por TerraScan.

Tabla 7. Comparación clasificación CNIG y TerraScan

NUBE DE PUNTOS		CLASIFICACIÓN CNIG			CLASIFICACION TerraScan		
		Nº de puntos	Z min.	Z máx.	Nº de puntos	Z min.	Z máx.
Sin normalizar	Suelo	12.612.330	515.4	1167.55	11.284.332	515.63	1166.93
	Edificios	73.321	523.26	1160.33	36.883	533.37	989.72
Normalizada Herramienta "lasheight"	Suelo	12.612.330	0	0	11.284.332	0	0
	Edificios	73.307	0.01	98.49	36.883	2.01	47.36

La tabla 7 resume las diferencias entre las estadísticas de las dos clasificaciones. A continuación se detallan algunas conclusiones:

- La diferencia entre cantidad de puntos clasificados como suelo por las dos clasificaciones no es significativa. La gran diferencia está en el número de puntos clasificados como edificios. Hay una importante diferencia, la cual hace indicar que la clasificación por TerraScan es más acorde en número de puntos con la realidad, un total de 36.883 puntos clasificados como edificios.
- Respecto a las alturas de la nube de puntos nos tenemos que fijar una vez que las nubes están normalizadas. No hay diferencias en las alturas del suelo, el suelo está en cota 0. En las alturas de

los edificios existen pequeñas diferencias, tanto en las mínimas como en las máximas. Una vez más la altura máxima para los edificios obtenida por una clasificación con TerraScan es más identificativa de la altura de un edificio real, aproximadamente 47 m, que equivaldría a un edificio de 12 pisos. Sin embargo la altura que demuestra la clasificación del IGN es demasiado elevada, teniendo en cuenta el municipio donde nos encontramos.

4.3. Análisis comparativo de las metodologías empleadas para la elaboración de los Modelos Digitales en ArcGIS.

Las diferencias en las metodologías aplicadas para la elaboración de los modelos digitales entre los grupos 1 (clasificación CNIG) y 2 (clasificación TerraScan) se han basado en la clasificación de la nube de partida. Una vez realizado el análisis de estos modelos en diferentes zonas, se puede decir que:

- La clasificación del CNIG tiene clasificados puntos de edificios en categorías de vegetación, por lo que algunas edificaciones son imposibles de detectar.
- Por lo general los modelos del grupo 1 identifican más cantidad de edificaciones que los modelos del grupo 2, no habiendo grandes diferencias en las delimitaciones de las áreas de las edificaciones detectadas por los modelos del grupo 1.
- La macro realizada para la realización de la nueva nube de puntos filtrada, ha tenido gran importancia a la hora de no identificar vegetación como si fueran edificios. Por eso los modelos del grupo dos, identifican de mejor manera las delimitaciones de las áreas de los edificios.
- Por el contrario habría que revisar la macro realizada con el fin de no ser tan exigente en la clasificación por alturas de la vegetación y los edificios, con el fin de ser detectadas más edificaciones.

Un trabajo más difícil ha sido encontrar diferencias entre las metodologías empleadas para la elaboración de los modelos digitales de un mismo grupo.

- Dentro del grupo 1 de modelos, el modelo número 1 generado con retornos únicos, ha sido capaz de no escoger dentro de la categoría de edificios los puntos que pertenecen a vegetación.
- Las diferencias visuales entre los modelos número 2, generado mediante una normalización con la calculadora raster y el modelo número 3, normalizado a través de la herramienta “*lasheight*”, son únicamente las alturas máximas generadas, que varían escasamente 3 m. El hecho de que a la hora de realizar el proceso matemático en la calculadora raster para el modelo 2, cree valores negativos y haya que eliminarlos, hace que sea más fácil y rápido generar un modelo 3 en vez de un modelo 2.
- Para resaltar diferencias entre los modelos del grupo 2 habría que esperar a realizar un nuevo proceso de filtrado de la nube de puntos y generar de nuevo los modelos 4, 5 y 6, de todos modos las metodologías son las mismas por lo que cabe esperar que su comportamiento sea el mismo que para el caso de los modelos del grupo 1.

Respecto a la paleta de color que ha sido utilizada para dar simbología a los modelos digitales, se puede deducir que, después de revisar diferentes clasificaciones de las alturas y su correspondiente comportamiento de los colores, he decidido hacer una clasificación de 10 alturas con intervalos de 1 metro cada una de ellas, exceptuando la altura que va siempre desde los 9 metros hasta la altura máxima del modelo. De esta forma es posible diferenciar diferentes alturas que tenga una edificación dado su deterioro en el tiempo, para casos de edificaciones aisladas y construidas hace relativamente muchos años. Observando de esta manera que los edificios más antiguos están comprendidos entre

alturas de 3 a 6 metros aproximadamente, y que los edificios en color azul se muestran con formas más rectilíneas, por lo que su estado de deterioro es menor, por consiguiente edificios más nuevos.

4.4. Análisis comparativo las características de las aplicaciones informáticas utilizadas

Si se tienen en cuenta las características de los dos softwares empleados para la elaboración del proyecto es difícil decidir cuál de ellos es mejor opción. Cada uno de ellos reúne unas características que le hacen mejor en distintos aspectos.

Respecto al coste, el software ArcGIS es más barato y está implementado en la mayoría de las empresas.

De cara a la implementación de los datos LiDAR, MicroStation tiene la ventaja de trabajar directamente con archivos *.laz pero requiere mayor trabajo de implementación y da cabida a hacerlo de una manera errónea. Además la visualización de los datos es poco intuitiva y más difícil de manejar.

Con respecto a la clasificación de la nube de puntos y en general las herramientas para el tratado de la información LiDAR, ArcGIS es un poco peor que TerraScan, que es un módulo específico para el tratado de datos LiDAR dentro de MicroStation.

Si hablamos de las propiedades y estadísticas de la nube puntos, ArcGIS le supera a TerraScan, que apenas tienen opciones para ello. Con respecto a la generación de los Modelos digitales, no se pueden sacar conclusiones, ya que en este caso se han realizado únicamente con ArcGIS para poder trabajar exactamente la misma metodología.

En mi opinión la mejor manera de trabajar sería realizar la nueva clasificación de la nube de puntos mediante TerraScan y después trabajar en ArcGIS, para la elaboración de los modelos.

5. CONCLUSIONES FINALES

Los modelos generados a partir de la clasificación del IGN, siendo consciente de los errores que esta conlleva, parece que *a priori* dan mejores resultados que los generados a partir de la clasificación generada por TerraScan. Por lo que se recomienda su utilización, a esperas de una posible mejorar de la macro para clasificar edificaciones realizada por TerraScan, ya que un filtrado realizado de forma específica con el objetivo de identificar edificaciones, a priori siempre va a dar mejores resultados.

Lo siguiente a tener en cuenta sería la metodología a emplear para la generación del modelo que identifique las edificaciones expresamente. En mi opinión el empleo de retornos únicos en el proceso del filtrado de las categorías con las que se genera el modelo, es la más acertada. Evitaría el gran error que contiene la información de partida que es, la contaminación de puntos de vegetación dentro de la categoría edificios.

Una vez resuelto el problema de que metodología emplear para la generación de un modelo digital que identifique edificaciones aisladas con áreas mínimas de 50m², otro de los trabajos a realizar sería la producción de una capa que contenga las edificaciones de este tipo, que no estén registradas o al menos digitalizadas en las capas de construcciones rústicas e introducirlas a su vez en la base topográfica armonizada.

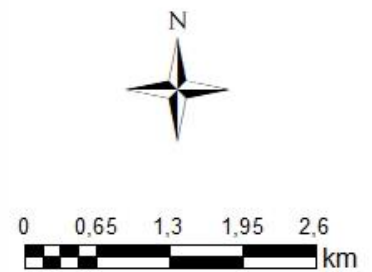
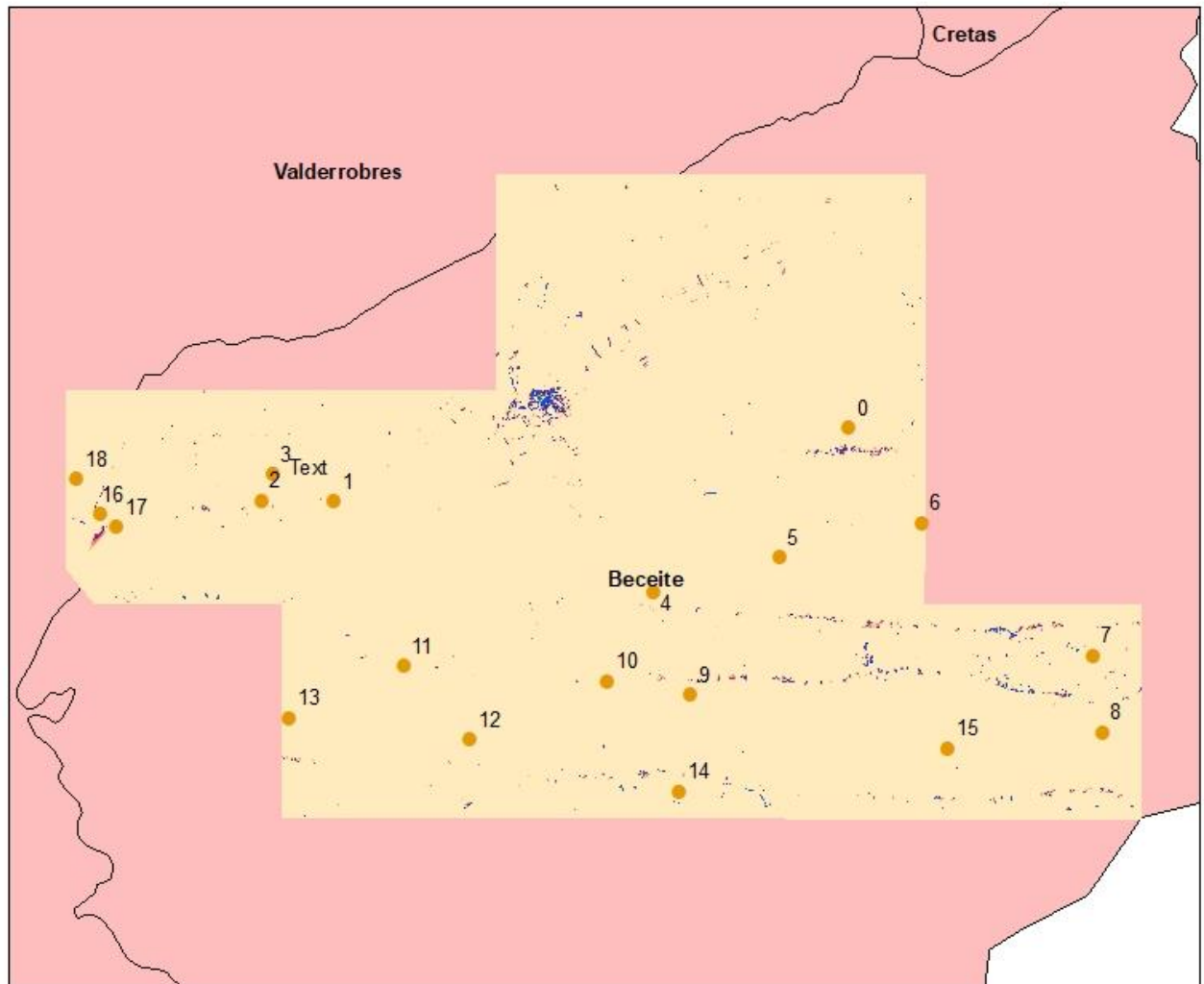
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Arranz, J. J., (2013). *“Diseño, optimización y análisis de sistemas basados en técnicas láser, para el modelado geométrico, registro y documentación, aplicados a entidades de interés patrimonial”*. Tesis Doctoral. Madrid (España), ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía (UPM).
- Baltsavias, E. P., (1999). *“Airborne laser scanning: basic relations and formulas”*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Consejo Superior Geográfico, (2008). *“Especificaciones de la Base Topográfica Armonizada 1:5000 (BTA) v1.0”*. Comisión de Normas Cartográficas
- Corral Lafuente, J. L. (2005). *Historia contada de Aragón* (3ª edición). Zaragoza: Librería General. ISBN 84-7078-214-2.
- FADOT, Fundación Aragonesa para el Desarrollo de la Observación de la Tierra. *“Detección de incidencias catastrales usando datos LiDAR en Tarazona (Zaragoza)”*. Dirección General del CATASTRO.
- Felicísimo, A.M. (1999). *“La utilización de los MDT en los estudios del medio físico”*. Universidad de Oviedo. (Disponible en http://www6.uniovi.es/~feli/pdf/ITGE_150a.pdf, último acceso noviembre de 2017).
- Hermosilla, T., Ruiz, L.A., Fdez. Sarriá, A., Recio, J.A, (2008). *“Detección automática de edificios en imágenes aéreas mediante técnicas de teledetección y análisis contextual”*. In: Congreso Internacional sobre Ingeniería Geomática y Topográfica, TOP-CART 2008. Febrero 2008, Valencia.
- Hermosilla, T., Ruiz, L.A., (2009). *“Detección automática de edificios combinando imágenes de satélite y datos lidar”*. Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universidad Politécnica de Valencia.
- Montealegre, A.L. (2017). *“Aplicaciones forestales de los datos LiDAR-PNOA en ambiente mediterráneo: Su filtrado e interpolación y el modelado de parámetros estructurales con apoyo en trabajo de campo”*. (Tesis doctoral). Universidad de Zaragoza.
- Montealegre, A.L.; Lamelas, M.T.; de la Riva, J. (2015). *“Comparison of open source LiDAR filtering algorithms in a Mediterranean forest environment”*. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8, pp. 4072-4085.
- Renslow, M. (2013). *“Manual of airborne topographic LiDAR”*. The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, 504 pp.
- Ruiz Budría, E. (2016). Asignatura *“Análisis de la información geográfica: SIG. Análisis espacial avanzado: Modelos Digitales del Terreno”*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza.
- Vosselman, G.; Maas, H.-G. (2010). *“Airborne and Terrestrial Laser Scanning”*. Whittles Publishing, Dunbeath, Escocia, p. 318
- Wei, Y., Zhao, Z., Song, J., (2004). *“Urban building extraction from high-resolution satellite panchromatic image using clustering and edge Detection”*. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium 3, 2008-2010.

RELACIÓN DE FUENTES Y RECURSOS.

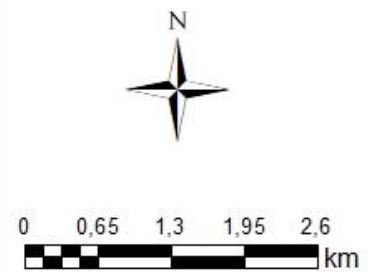
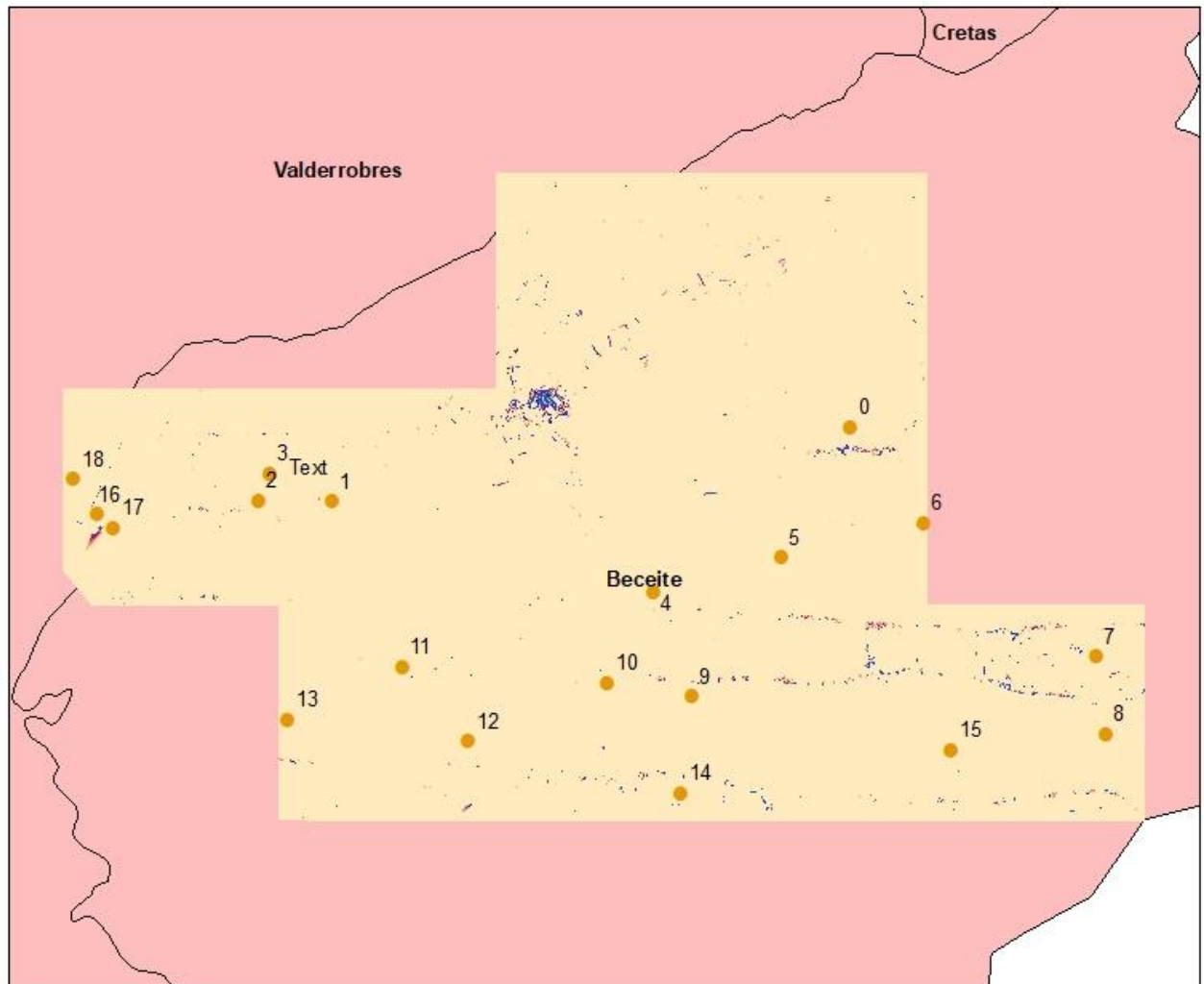
- ArcGIS (2014). Página web de ArcGIS. <https://www.arcgis.com> (último acceso noviembre de 2017).
- ASPRS(2016). LASer File Format Exchange Activities [en línea]. . Disponible en web: <https://www.asprs.org/committee-general/laser-las-file-formatexchange-activities.html> [Consulta: 12 de diciembre de 2016]
- Ayuntamiento de Beceite (2017).Turismo. <http://www.beceite.es/turismo/rutas-por-beceite/parrizal-pesquera-pantano-de-pena/3-pantano-de-pena>[Consulta: 11 de septiembre de 2017].
- Ayuntamiento de Matarraña(2017): <http://www.comarcamatarranya.es> [Consulta: 11 de septiembre de 2017]
- Bentley Systems (2017). Desarrollo de MicroStation. <https://www.bentley.com>. (último acceso noviembre de 2017).
- Datos básicos de estadística de la comunidad de Aragón (2014).Disponible en la web: http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/11/docs/Areas/DatosBasic/2010/DATOS_BASICOS_ARAGON_2010_COMPLETO. (último acceso noviembre de 2017).
- Dirección general del catastro (2017). Portal de la Dirección General del Catastro. <http://www.catastro.meh.es>. [Consulta: 11 de septiembre de 2017].
- Guía de usuario de TerraScan (2016). Página web de Terrasolid. <http://www.terrasolid.com> (último acceso noviembre de 2017).
- Gobierno de Aragón, Departamento de Organismos Públicos (2017), usos del suelo. Disponible en web: http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragonesEstadistica/AreasTematicas/01_Territorio/ci.02_Usos_del_suelo. [Consulta: 11 de septiembre de 2017]
- IGN (2017). Página web del Instituto Geográfico Nacional. <http://www.ign.es/web/ign/portal>(último acceso noviembre de 2017).
- Instituto Aragonés de estadística (2017): <http://www.aragon.es/iaest> [Consulta: 11 de septiembre de 2017]
- Instituto Geográfico Nacional, IGN .Congreso (2012): Disponible en la web: <http://www.congresos.cchs.csic.es/TIG2012/sites/default/files/Plan%20Nacional%20Teledeteccion> [Consulta: 12 de diciembre de 2016]
- Leica Geosystems (2017). Página web de Leica Geosystems. <http://hds.leica-geosystems.com/en/index.htm>. [Consulta: 12 de diciembre de 2016]
- Portal de ayuda de ArcGIS elaborado por Esri. Disponible en la web: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/manage-data/las-dataset/licensing-requirements-for-lidar-in-arcgis>. (Último acceso noviembre de 2017).

Modelo Digital de Superficie Normalizado 1



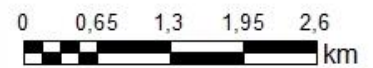
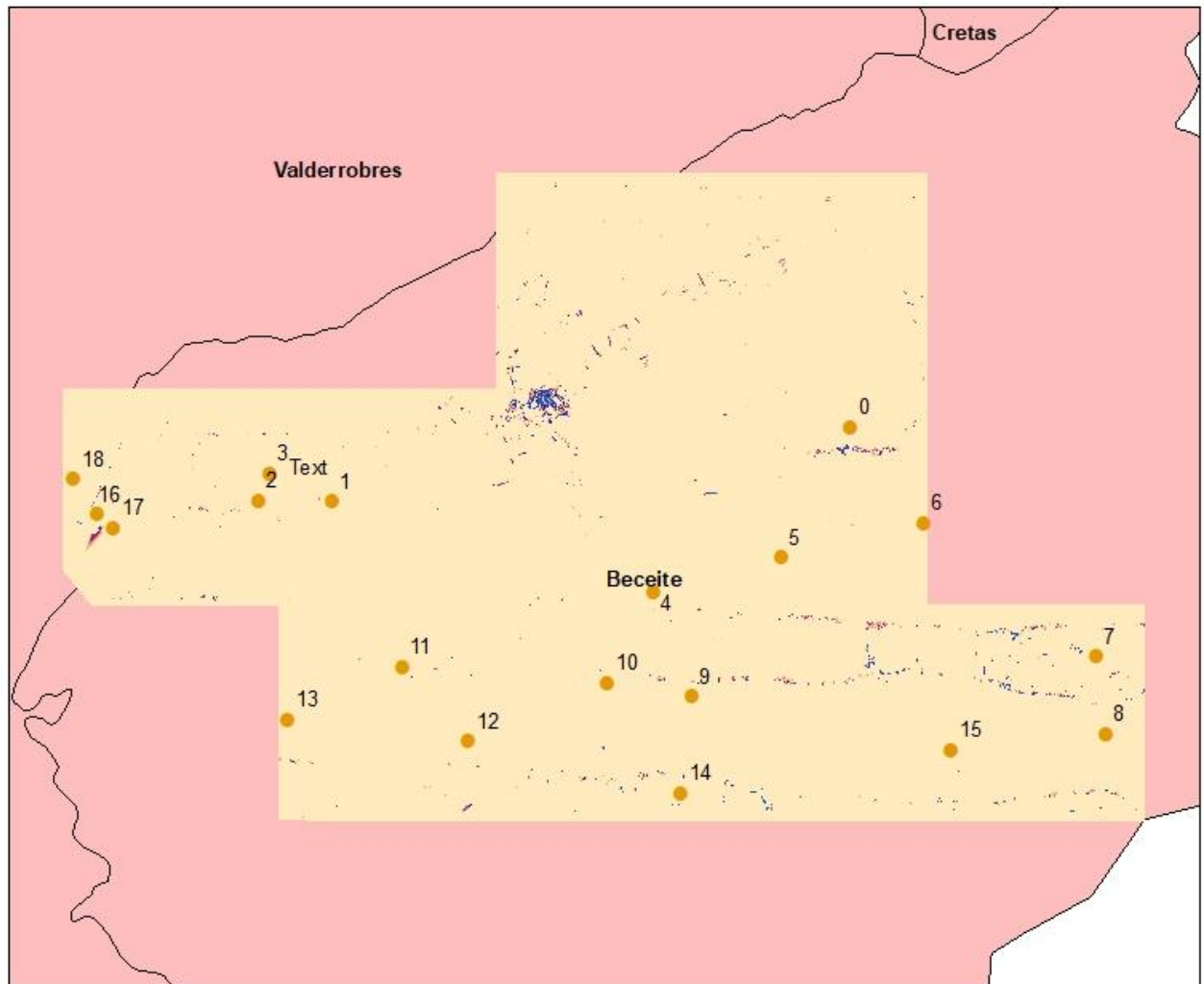
Fuente de Información. IDE Aragón
 Autora: Aida Cayetano Arroyo

Modelo Digital de Superficie Normalizado 2



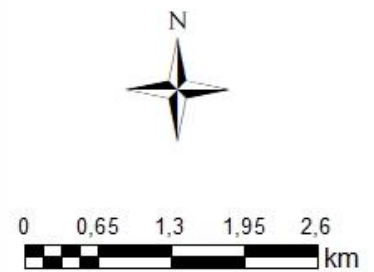
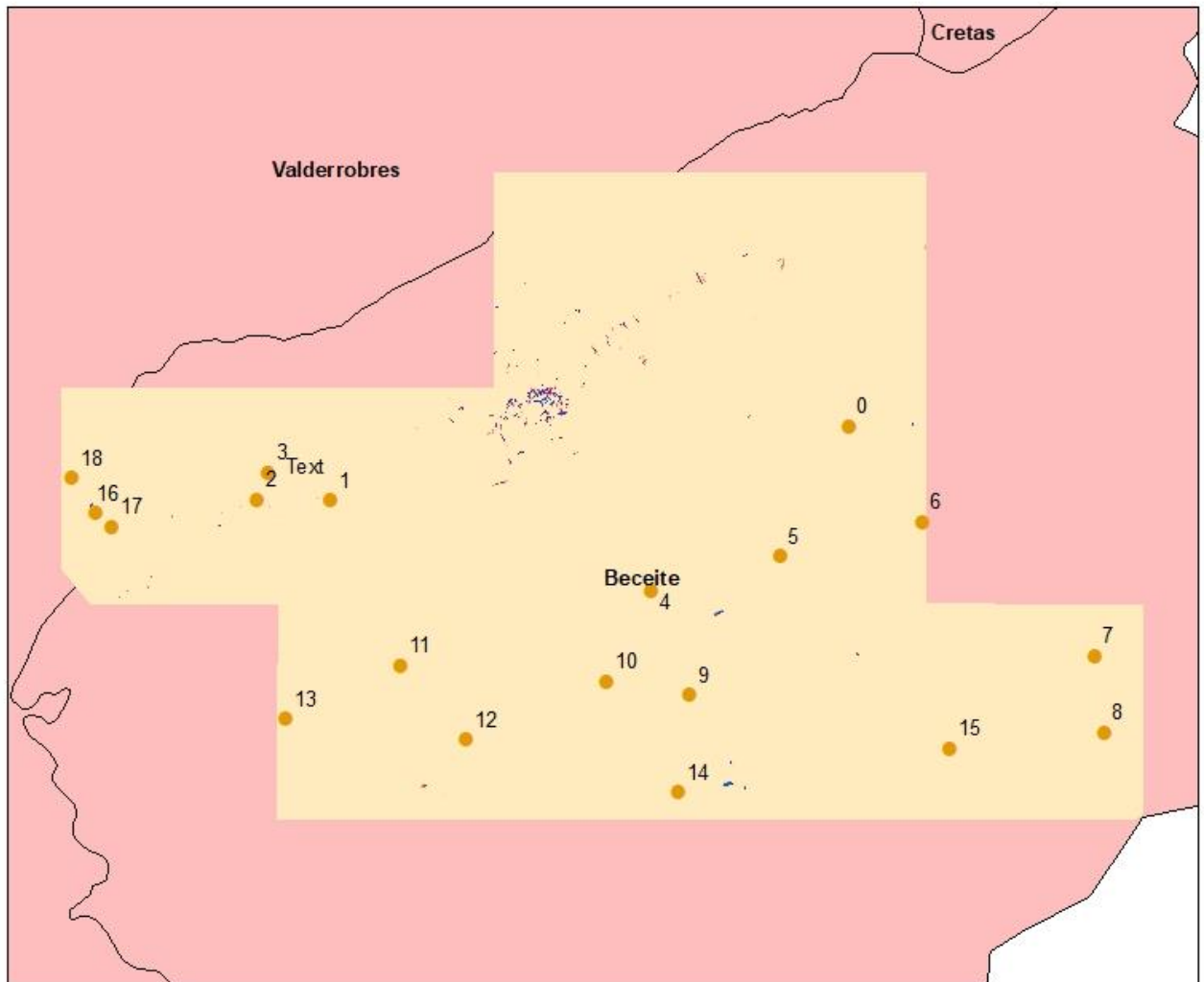
Fuente de Información. IDE Aragón
 Autora: Aida Cayetano Arroyo

Modelo Digital de Superficie Normalizado 3



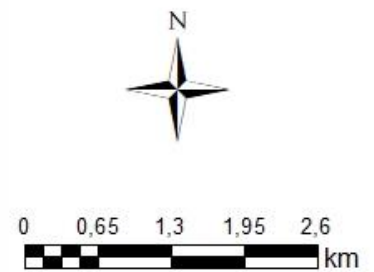
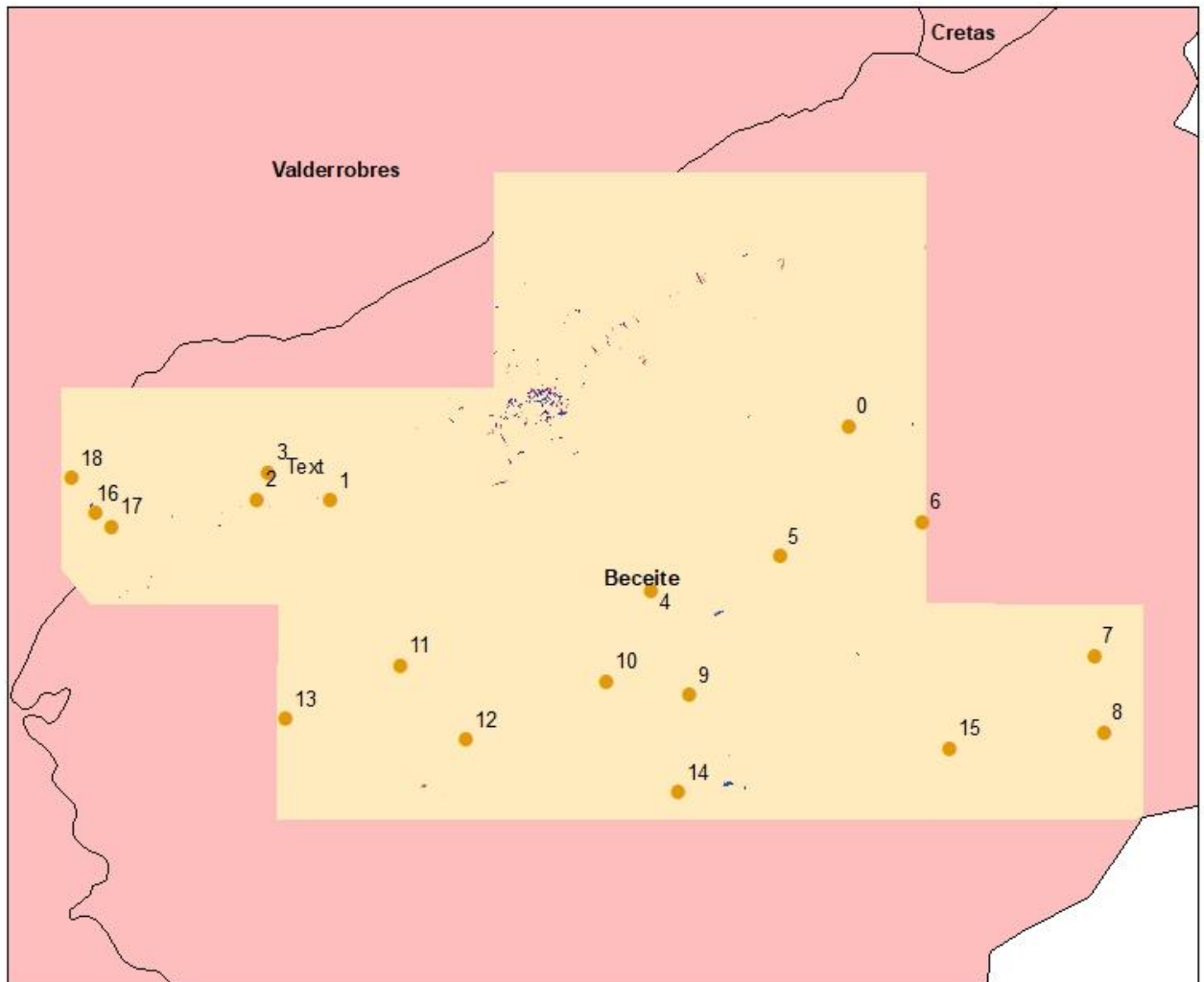
Fuente de Información. IDE Aragón
 Autora: Aida Cayetano Arroyo

Modelo Digital de Superficie Normalizado 4



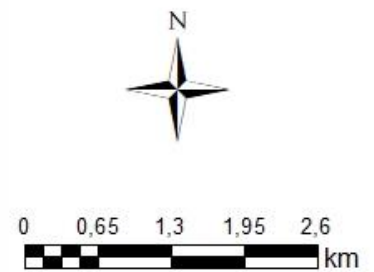
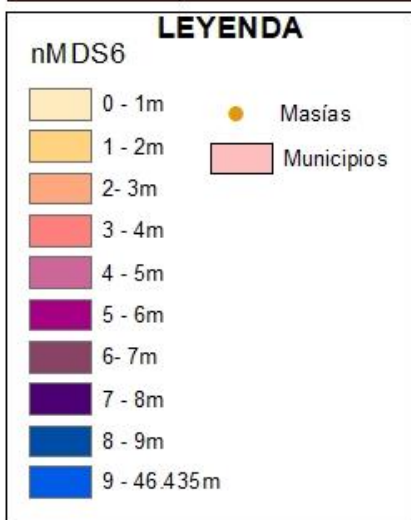
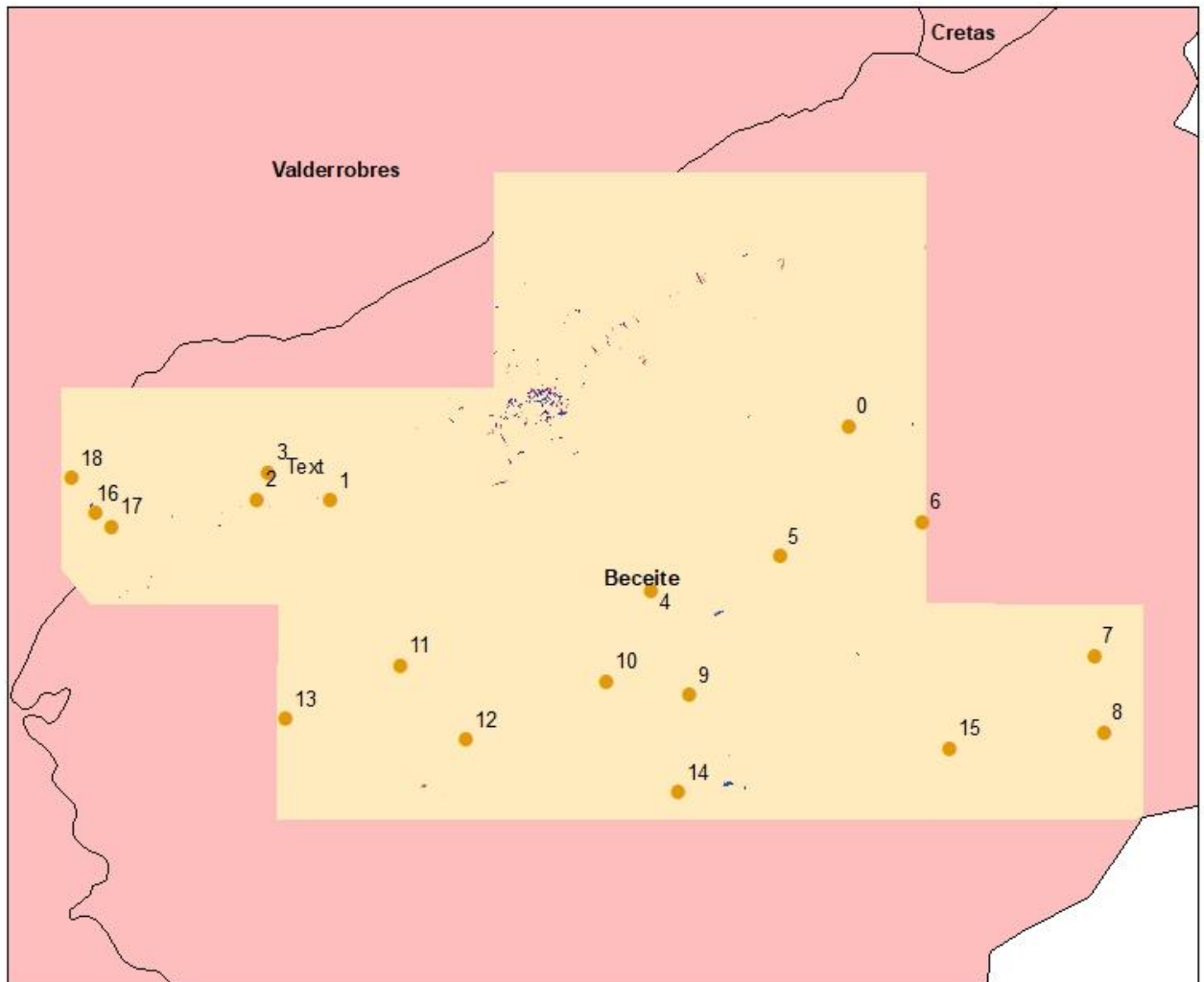
Fuente de Información. IDE Aragón
 Autora: Aida Cayetano Arroyo

Modelo Digital de Superficie Normalizado 5



Fuente de Información. IDE Aragón
 Autora: Aida Cayetano Arroyo

Modelo Digital de Superficie Normalizado 6



Fuente de Información. IDE Aragón
 Autora: Aida Cayetano Arroyo