

Trabajo Fin de Máster

Evaluación de diferentes algoritmos de filtrado
de datos LiDAR para la clasificación
Automática de suelo desnudo y microrrelieve.
(Edificios, invernaderos y vegetación)

FRANCISCO JAVIER
PARRA ARTERO

Curso | 2012-2013
Convocatoria | Septiembre

Director/es: Fernando J. Aguilar Torres
Ismael Fernández Luque

Resumen.

El objetivo de este trabajo fin de máster fue el análisis de la precisión obtenida de los algoritmos incorporados al Software ALDPAT, concretamente analizamos profundamente 3 de ellos y son: Adaptative TIN, Maximum Local Slope (MLS), Elevation Threshold with Expand Window (ETEW), a través de los índices RECALL, PRECISION y F-SCORE según Goutte, C., and E. Gaussier, 2005. De esta forma calcularíamos un recall, precisión y F-score para cada una de las clases clasificadas o filtradas (microrrelieve y suelo).

Las nubes de puntos LiDAR utilizadas, corresponden concretamente a 3 zonas de la provincia de Almería con diferente fisionomía, una de las zonas corresponde a la zona de la Población de Garrucha, otra a una zona Urbana y la última zona es Zona Rural.

Previamente antes de hacer el análisis con los algoritmos de ALDPAT para la extracción automática de puntos sin clasificar como terreno y no terreno, se clasificaron los puntos de las nubes con ArcGIS en puntos referentes a terreno desnudo clasificado con un valor de 1 y en puntos de terreno no desnudo clasificados con un valor de 2, para después verificar el rendimiento de cada uno de los algoritmos. Estos datos son exportados a un archivo Excel con los campos X, Y, Z y GT, donde X e Y son coordenadas, Z la altura del punto y GT es el campo referente a la clasificación realizada.

Palabras clave. LiDAR, ArGIS, ALDPAT, Escaneo láser, modelos digitales de elevaciones (MDE), Nube de puntos.



Abstract.

The aim of this Master Thesis work was the analysis of the accuracy obtained from the algorithms embodied in software ALDPAT, namely 3 of them deeply analyzed are: Adaptive TIN, Local Maximum Slope (MLS), Elevation Threshold with Expand Window (ETEW) through RECALL indices, and F-SCORE PRECISION according Goutte, C., and E. Gaussier, 2005. Thus would calculate a recall, precision and F-score for each of the identified classes or filtered (microrelief and soil).

The LiDAR point clouds used, specifically correspond to 3 areas of the province of Almeria with different physiognomy, one of the areas corresponding to the area of the Town of Garrucha, another urban area is the last area and Rural area.

Previously before doing the analysis ALDPAT algorithms for the automatic extraction of points not classified as ground and non ground points were classified clouds with ArcGIS concerning bare ground points classified with a value of 1 and points bare ground is not classified a value of 2, then verify the performance of each of the algorithms. This data is exported to an Excel file with fields X, Y, Z and GT, where X and Y coordinates, the height of the Z and GT is the field concerning the classification made.

Key words. . LiDAR, ArGIS, ALDPAT, Laser Scanning, Digital Elevation Models (DEM), point cloud.



Índice

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Definición de LIDAR
- 1.2. Funcionamiento y características del sistema LiDAR7
 - 1.2.1.1. Medición láser
 - 1.2.1.2. Sistema de barrido y escaneo
 - 1.2.2. Posicionamiento global
 - 1.2.3. El sistema inercial (INS\IMU)
 - 1.2.4. Integración de datos y postproceso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

- 2.1. Materiales. Trabajo previo clasificación de puntos por categoría terreno desnudo y terreno no desnudo con ArcGIS 10.0.
- 2.2. Métodos. Algoritmos proporcionados por ALDPAT.
 - 2.2.1. Breve descripción de los algoritmos de filtrado
 - 2.2.2. Los modelos de algoritmo.
 - 2.2.2.1. La elevación del umbral con ventana expandida , Filtro 1 (ETEW)
 - 2.2.2.2. Progresiva morfológica, Filtro 2 (PM)
 - 2.2.2.3. Pendiente Local máxima, filtro 3 (MLS)
 - 2.2.2.4. Ajuste iterativo polinómica, Filtro 4 (IPF).
 - 2.2.2.5. Adaptable TIN , Filtro 5 (ATINA).

3. Resultados.

- 3.1. La elevación del umbral con ventana expandida, Filtro 1 (ETEW).
 - 3.1.1. Número de puntos clasificados con ETEW en cada Zona
 - 3.1.2. Calculo de la precisión ZONA GARRUCHA – TERRENO
 - 3.1.3. Calculo de la precisión zona GARRUCHA – NO TERRENO
 - 3.1.4. Calculo de la precisión zona URBANA – TERRENO
 - 3.1.5. Calculo de la precisión zona URBANA – NO TERRENO
 - 3.1.6. Calculo de la precisión zona RURAL – TERRENO
 - 3.1.7. Calculo de la precisión zona RURAL – NO TERRENO.
- 3.2. Adaptable TIN, Filtro 5. (ATIN)
 - 3.2.1. Número de puntos clasificados como terreno desnudo con ATIN en cada Zona.



3.2.2. Calculo de la precisión en ZONA GARRUCHA – TERRENO

3.2.3. Calculo de la precisión en ZONA GARRUCHA - NO TERRENO.

3.2.4. Calculo precisión en ZONA URBANA – TERRENO

3.2.5. Calculo precisión en ZONA URBANA – NO TERRENO.

3.2.6. Calculo de la precisión ZONA RURAL – TERRENO

3.2.7. Calculo de la precisión en ZONA RURAL – NO TERRENO

3.3. Pendiente máxima Local (MLS)

3.3.1. Número de puntos clasificados como terreno desnudo con MLS en cada Zona

3.3.2. Calculo de la precisión en ZONA GARRUCHA - TERRENO.

3.3.3. Calculo de la precisión en ZONA GARRUCHA - NO TERRENO

3.3.4. Calculo de la precisión en ZONA URBANA – TERRENO.

3.3.5. Calculo de la precisión en ZONA URBANA – NO TERRENO.

3.3.6. Calculo de la precisión en ZONA RURAL – TERRENO

3.3.7. Calculo de la precisión en ZONA RURAL – NO TERRENO

4. Discusión.

5. Conclusiones.

6. Bibliografía



Índice de figuras.

- Figura 1. Representación del funcionamiento del sistema LIDAR. Fuente: http://forsys.cfr.washington.edu/JFSP06/lidar_technology.htm
- Figura 2. Ejemplo de longitudes de onda que no permiten la penetrabilidad en el agua. Fuente: [Propia.](#)
- Figura 3. Ejemplo de onda continua. Cada pico correspondería a un retorno. Fuente: <http://www.geolas.com/Pages/laser.html>
- Figura 4. Ejemplo de rebote de pulso múltiple. Fuente: [Informe denominado “Procesado de datos LIDAR” de la empresa Stereocarto. Proyecto SADMO.](#)
- Figura 5. Tipos de patrón de escaneo. Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Tipos_de_LIDAR.jpeg
- Figura 6. Esquema de funcionamiento del sistema GPS en vuelos LIDAR. Fuente: <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=094>
- Figura 7. Sistema Inercial de Applanix. Unidad de medida frente a unidad de procesamiento. Fuente: <http://www.alava-ing.es/ingenieros/productos/oceanografia/sistemas-de-posicionamiento/sistemas-de-posicionamiento-y-orientacion-applanix/>
- Figura 8. Zona rural. Fuente: [Propia](#)
- Figura 9. Zona urbana geométrica. Fuente: [Propia](#)
- Figura 10. Zona Urbana (Población de Garrucha, Almería). Fuente: [Propia](#)
- Figura 11. Disposición de las imágenes .TIF. Fuente: [Propia](#)
- Figura 12. Add X Y dat y elección de campos. Fuente: [Propia](#)
- Figura 13. Nube de puntos LiDAR sobre Zona Garrucha. Fuente: [Propia](#)
- Figura 14. Propiedades de capa. Fuente: [Propia](#)
- Figura 15. Cambio de propiedades de la capa. Fuente: [Propia](#)
- Figura 16. Selección de puntos por atributos. Fuente: [Propia](#)
- Figura 17. Clasificación de puntos, Campo GT. Fuente: [Propia](#)
- Figura 18. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2 en partes. Fuente: [Propia](#)
- Figura 19. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2 en partes. Fuente: [Propia](#)
- Figura 20. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2. Zona rural. Fuente: [Propia.](#)



Figura 21. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2. Zona urbana geométrica.

Fuente: Propia.



1. Introducción.

En los últimos años se han estudiado varios algoritmos de filtrado de puntos LiDAR para la clasificación automática de los puntos pertenecientes al denominado “terreno desnudo”, que se usan para la extracción del modelo digital de elevaciones (MDE). Hay varios estudios realizados, para comprobar y determinar el rendimiento de los algoritmos de algunos software, como ejemplo, a tener en cuenta tenemos el estudio experimental de algoritmos de filtrado realizado por “Sithole y Vosselman (2004)”.

En este trabajo nos vamos a centrar en estudiar precisión obtenida de los algoritmos obtenidos del Software ALDPAT (<http://lidar.ihrc.fiu.edu/lidartool.html>), concretamente estudiamos 3 de ellos y son: Adaptive TIN, Maximum Local Slope (MLS), Elevation Threshold with Expand Window (ETEW), estos algoritmos trabajan con nubes de puntos LiDAR.

En el presente trabajo fin de máster vamos a trabajar con datos obtenidos a partir de sistemas LiDAR (Light Detection And Ranging) también denominado láser altimétrico, laser range finder, Laser radar, Laser mapper, etc...

Para entender en qué consiste, desarrollaremos en que se basa dicha tecnología que surgió como una nueva alternativa a los métodos de medida indirecta a través de fotografías aéreas o a la medida directa mediante sistemas GPS.

1.1. Definición de LiDAR

La tecnología **LiDAR** se basa en la medición puntual activa mediante señal de un láser aerotransportado que es capaz de proporcionar una alta densidad de datos georreferenciados gracias a dos sistemas auxiliares como son el sistema de posicionamiento global GPS y la medida de derivas angulares mediante INS/INU.

Por tanto, hablamos de un sistema que determina la distancia de la plataforma aerotransportada al punto medido y que, mediante la medición del ángulo de escaneo y el posicionamiento global de la plataforma es capaz de ofrecer nubes de puntos en un sistema de coordenadas global. La densidad de puntos tomada dependerá de la frecuencia de medición, la altura de vuelo, ángulo de escaneo y velocidad del avión.



Las aplicaciones prácticas LiDAR, comenzaron tras las investigaciones llevadas a cabo por Universidades como la de Stuttgart (Prof. Ackerman) o Viena que desarrollaron sistemas avanzados de medición láser de alta precisión así como métodos, algoritmos y software adecuados, observando que los métodos de medida podían utilizarse para la creación de Modelos Digitales de elevaciones (MDE) “automáticos”.

El desarrollo básico de algoritmos de clasificación, centrándose en la extracción de los puntos que corresponden al terreno desnudo fueron desarrollados, entre otros, por Axelsson (2000), Sithole & Vosselman (2004), Elmqvist et al. (2001), Vosselman (2000). Estos métodos automáticos permitirán el desarrollo de aplicaciones comerciales de tratamiento de datos LiDAR en el ámbito de la producción. Algunos ejemplos de estos programas libres son:

ALDPAT (Keqi Zhang & Zheng Cui, International Hurricane Research Center, Department of Environmental Studies, Florida International University, Miami, FL 33199 April 2007) que es la aplicación que vamos a utilizar en éste trabajo fin de máster junto a ArcGIS®.

Además de la extracción del MDE, surgen un sinfín de aplicaciones fundamentadas en la extracción de elementos en general, sobre todo edificaciones urbanas (Haala & Bremen (1999), Maas & Vosselman (1999), Rottensteiner & Briese (2002)), pero también se desarrollan multitud de aplicaciones medioambientales, sobre todo orientadas a la extracción de árboles y vegetación Gaveau & Hill (2003), Straub & Weinacker (2008). Por otro lado, existen otro tipo de aplicaciones que son más concretas como el estudio de los flujos de agua para prevención de inundaciones (Cobby et al. (2001)), el control de costas (Mallet et al. (2008)), el estudio de cambios en los usos del suelo (Murakami et al. (1999)), la determinación de líneas eléctricas aéreas (Ussyshkin & Smith (2007)), la medición y diseño de vías de comunicación (Uddin (2002)), control de desastres y daños, medición de áreas inaccesibles o restringidas, y un largo etcétera de aplicaciones donde prima la calidad del MDE que se obtiene mediante LIDAR así como el aprovechamiento de todas las ventajas que ofrece esta tecnología.



1.2. Funcionamiento y características del sistema LiDAR.

De forma general podemos explicar el funcionamiento del sistema LIDAR como la integración de tres subsistemas principales: la medición láser, el sistema de posicionamiento global (GPS) y el sistema inercial (INS\IMU), las cuales se van a exponer y diferenciar a continuación:

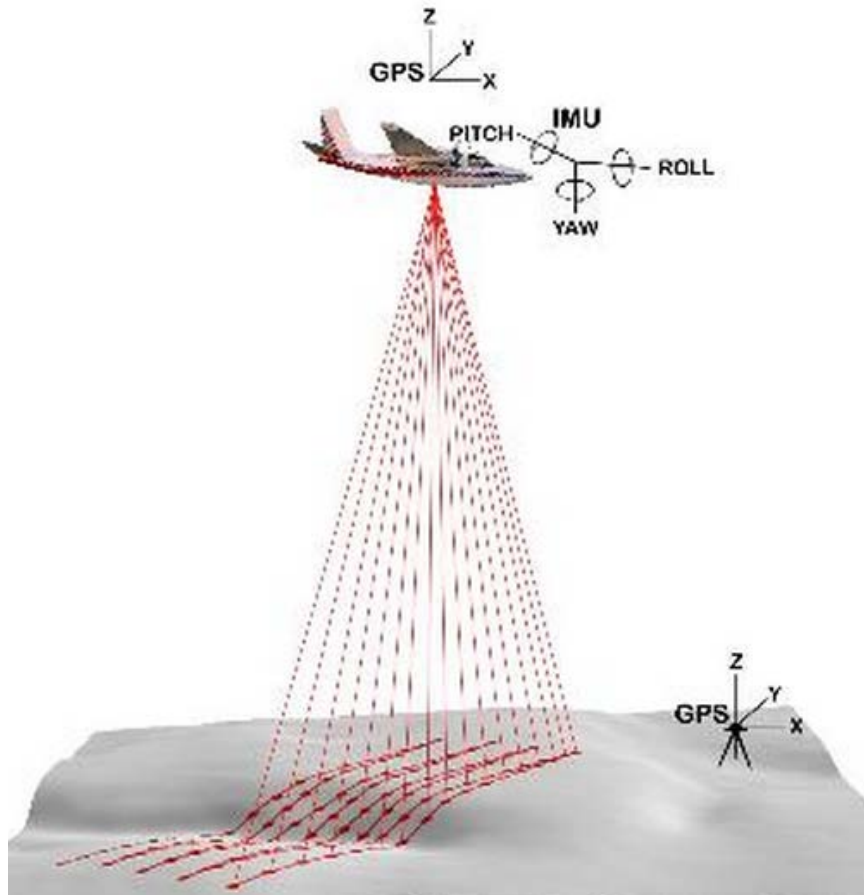


Figura 1. Representación del funcionamiento del sistema LIDAR.

Fuente: http://forsys.cfr.washington.edu/JFSP06/lidar_technology.htm

1.2.1. Medición láser

Es el elemento más característico de los sistemas LiDAR, es un sistema de medición basado en un sensor activo, es decir, el propio sensor o láser emite una señal para que, al recibirla, sea capaz de medir la distancia que la señal ha recorrido.

El sistema de medición está basado en el principio de medida electrónica de distancias y se puede llevar a cabo por medio de dos tipos de señales: de pulso o por ondas continuas. En ambos casos se suele usar el rango del espectro del infrarrojo próximo por su mayor difusión en el mercado.

Este tipo de longitudes de onda no permiten la penetrabilidad en el agua por lo que también es usado el rango de longitudes entre el azul y el verde, que permite la introducción del rayo en la hidrografía, permitiendo estudios batimétricos de hasta unos 50-60 metros de profundidad.

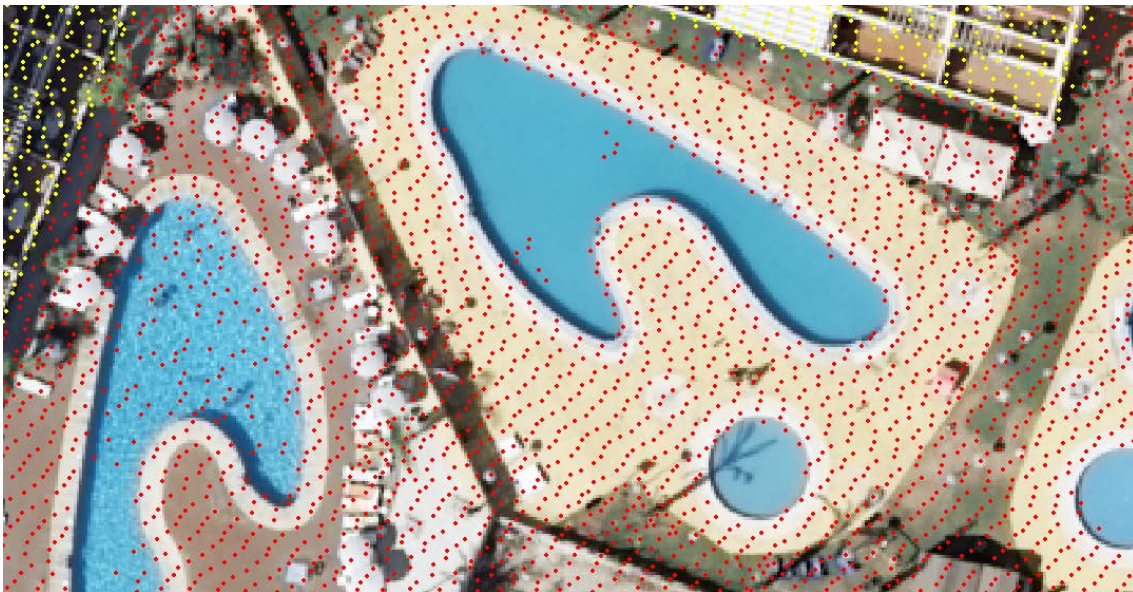


Figura 2. Ejemplo de longitudes de onda que no permiten la penetrabilidad en el agua

Fuente: Propia

En la figura 2 podemos observar como los pulsos infrarrojos del láser no funcionan en el agua de las piscinas.

Volviendo al tipo de onda empleado hay que destacar que el más usado es el modo de pulso y se basa en un emisor del pulso, un receptor telescópico óptico que amplifica la señal y un tubo fotomultiplicador que convierte la energía óptica en impulsos eléctricos. La distancia al objeto es determinada mediante la medición del tiempo desde que se emite hasta que se recibe la señal, utilizando la velocidad de la luz. La resolución de la medida dependerá del sistema de medición del tiempo, es decir, los pulsos que son identificables como distintos son aquellos que están separados temporalmente más que la resolución de la medida de tiempo.

$$R = \frac{TL}{2} C \quad \text{Ecuación 1}$$

Ec.1: Cálculo de la distancia por medición láser. Siendo R la distancia, TL el tiempo medido y C la velocidad de la luz.

La medición de onda continua (figura 3), aunque no la vamos a utilizar en el trabajo fin de máster, también nosotros vamos a explicar cómo funciona.

Se lleva a cabo mediante la modulación de la intensidad de la luz láser, basándose en que el tiempo del viaje es directamente proporcional a la diferencia de fase entre la señal sinusoidal transmitida y la recibida. Aquí la distancia máxima vendrá determinada por la longitud de onda máxima y la resolución de las medidas dependerá de la resolución en la medida de diferencia de fase.

El desarrollo de los algoritmos necesarios para obtener el momento exacto de impacto en la señal (extracción de los retornos) hace que esta técnica sea cada vez más usada ya que ofrece la posibilidad de obtención de más ecos que el método de señal de pulso, pero aún se sigue utilizando mucho más los láser de pulsos.



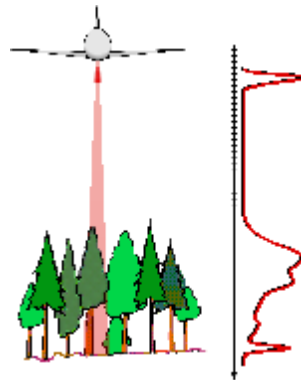


Figura 3. Ejemplo de onda continua. Cada pico correspondería a un retorno.

Fuente: <http://www.geolas.com/Pages/laser.html>.

Gracias al campo de visión instantáneo o tamaño que ocupa físicamente la señal en el terreno, hace que, la señal diste bastante de representar un punto en el terreno, sino más bien una figura elipsoidal, generalmente unos $\pm 0,10$ m. de diámetro, lo cual nos lleva a la captación de diversos retornos de una misma señal, característica que hace que el LIDAR sea capaz de medir a través de la vegetación de forma que dos posibles mediciones de un mismo rayo sean, por ejemplo, la copa de un árbol y, siguiendo su dirección, el terreno bajo éste (figura 4).

En el tipo de onda basada en pulso láser tendremos una resolución de retornos, de forma que una misma señal podrá tener retornos distintos si el tiempo que transcurre entre uno y otro es diferenciable por el sistema. Esto se traduce en una distancia espacial que dependerá de las características del sensor. Si el tipo de onda usado es continua las posibilidades se abren mucho más debido al hecho de que lo que recibimos no son pulsos sino la señal completa. De esta forma, usando los algoritmos necesarios, podemos diferenciar un mayor número de retornos por lo que aumentaríamos la resolución de nuestro modelo.

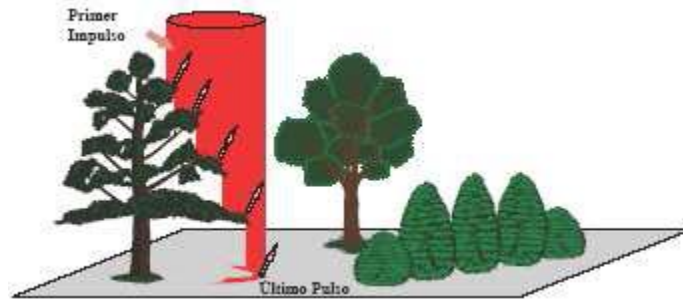


Figura 4. Ejemplo de rebote de pulso múltiple.

Fuente: Informe denominado “Procesado de datos LIDAR” de la empresa Stereocarto. Proyecto SADMO.

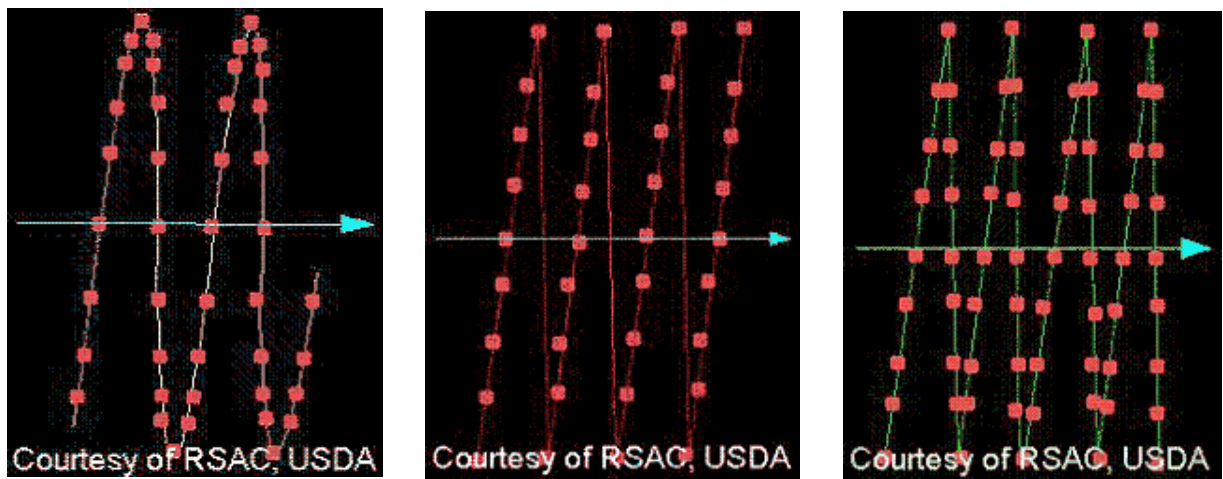
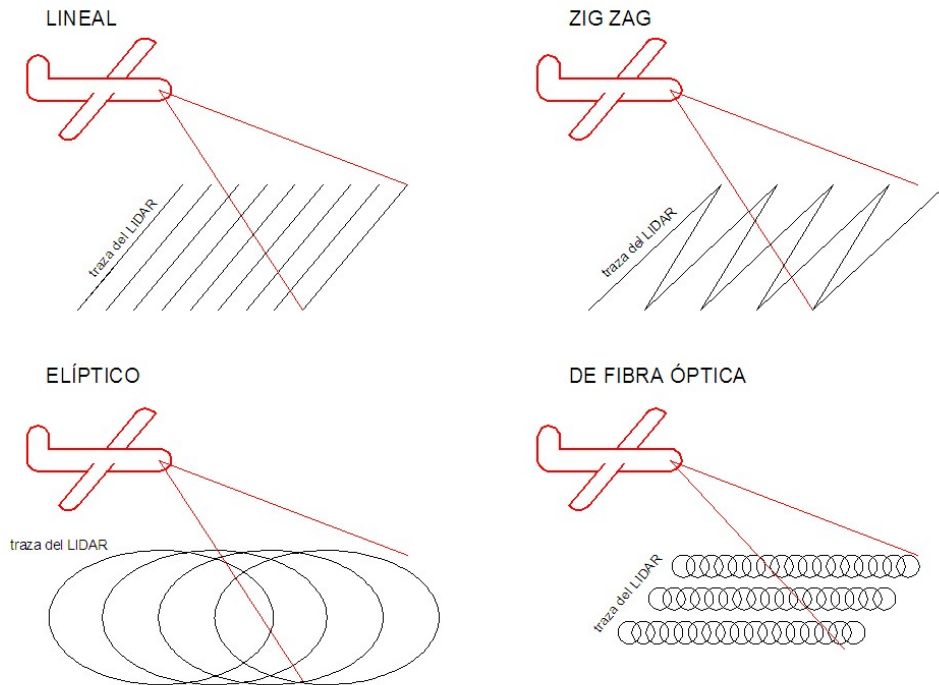
1.2.1.1. Sistema de barrido y escaneo

El sistema de barrido y escaneo nosotros lo encontramos incluido dentro de la medición láser puesto que se encuentra integrado en ella. Para la consecución de las nubes de puntos que buscamos, necesitamos un sistema que haga que se realice esta medición puntual de forma repetida, siguiendo patrones de barrido establecidos previamente.

El telémetro láser debe tener una velocidad de emisión de señal constante entre 1 -200 kHz que se relacione con un sistema de desvío de la señal acorde con esta velocidad para ofrecer patrones de medición de puntos adecuados.

Los sistemas utilizados para el desvío del rayo de medición en el telémetro láser son:

- El espejo oscilante.
- El espejo giratorio
- El escáner basado en fibra.



Patrón en zig-zag

Patrón en paralelo

Patrón elíptico

Figura 5. Tipos de patrón de escaneo.

Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Tipos_de_LIDAR.jpeg



1.2.2. Posicionamiento global

Una vez descritas las características de la medición puntual y relativa de los puntos, de forma que conocemos la distancia entre la plataforma y el punto y el ángulo de inclinación de esta manera procedemos a la obtención de un Modelo Digital de Elevaciones georreferenciados, donde la nube de puntos se encuentra con coordenadas globales. Para ello usamos los sistemas de posicionamiento global GNSS (Global Navigation Satellite System) como pueden ser los de GPS o GLONASS, o una combinación de ambos. Estos sistemas de posicionamiento, proporcionan al sistema LIDAR coordenadas geográficas de la posición de la plataforma en cada momento.

Otra medida muy importante que proporciona el sistema GPS es la del tiempo. Gracias al sistema de posicionamiento podemos obtener el dato del tiempo, el cual es almacenado en cada pulso para cada punto, de esta manera podremos conocer la posición exacta de la aeronave portante del láser en cada instante del lanzamiento del pulso, es decir, que a posteriori podremos conocer la posición exacta de la aeronave en el momento de toma del punto.

La aeronave portante del láser dispondrá de un receptor GPS, situado sobre el sistema de medición, con una posición relativa con éste que debe ser conocida y calibrada para asegurar la precisión.

El método de posicionamiento usado es el diferencial cinemático. Este método debe tener una estación de referencia en tierra, además de la antena del avión (figura 6). Esto permite que, mediante la medición de líneas base en postproceso desde la antena de referencia, se pueda determinar con suficiente precisión la posición del avión en cada momento.

Hay que tener en cuenta que la distancia del receptor GPS de referencia terrestre y la aeronave no debe ser mayor a 50km, siendo aconsejable una distancia media entre el GPS de referencia en tierra la aeronave de 25-30km.

El posicionamiento global GPS debe determinar la planificación del vuelo LIDAR debido a que éste debe hacerse en las mejores condiciones geométricas y de distribución de satélites, por lo que el estudio de la geometría de los satélites será de gran interés para decidir cuándo realizar el vuelo.



También es de gran importancia advertir que la posición del avión en el momento de toma de un punto será interpolada debido a que el momento de toma de datos del sistema GPS y el momento de toma del punto no tienen por qué coincidir. Aquí es de vital importancia que la trayectoria seguida por el avión se calcule de forma correcta.

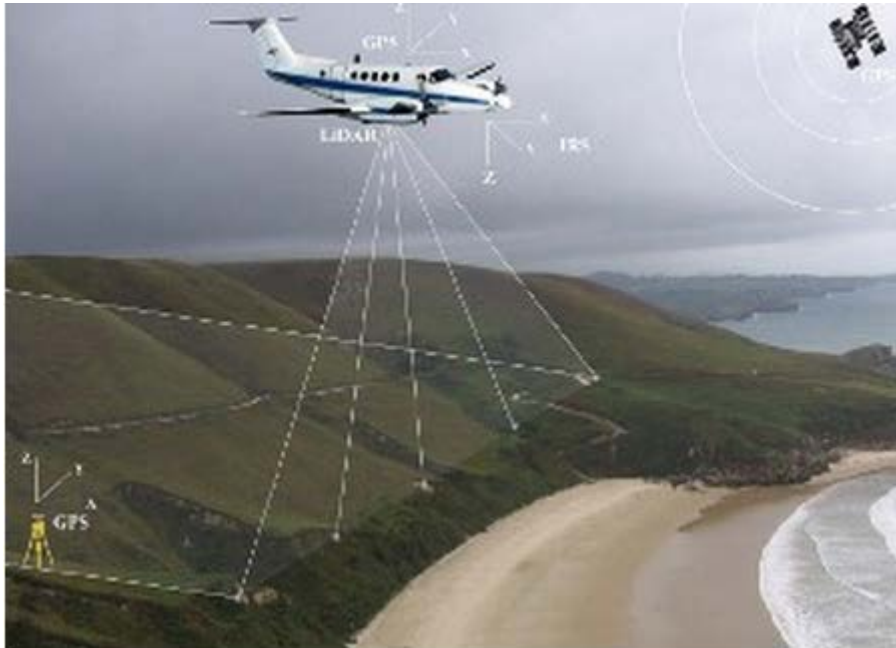


Figura 6. Esquema de funcionamiento del sistema GPS en vuelos LiDAR.

Fuente: <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=094>

1.2.3. El sistema inercial (INS/IMU)

Los sistemas denominados IMU (*Inertial Measurement Unit*) o INS (*Inertial Navigation System*) proporcionan al sistema un posicionamiento relativo a una situación inicial, en cuanto a distancia, velocidad y dirección. Por tanto, estos sistemas nos ofrecen información de posicionamiento absoluto partiendo desde un punto.

El sistema inercial permite relacionar la información registrada por el sensor láser con la posición y orientación en cada momento debido a que el IMU posee sistemas de medición del tiempo de sus medidas. El INS se introduce en las plataformas como plataforma giro estabilizada en la que se acopla el sensor o como sistemas de pequeño tamaño acoplados al sensor. Estos sistemas consiguen aislar al sensor de los movimientos del avión.

Por otro lado, la segunda forma, el sistema acoplado al sensor está compuesto por un conjunto de tres acelerómetros y tres giróscopos. Estos componentes miden los incrementos de velocidad y las relaciones angulares con una frecuencia determinada, y transfieren sus mediciones a una unidad de proceso (figura 7). Esta unidad integra los datos y es capaz de obtener la posición, velocidad y orientación del sistema.

En los sistemas LIDAR, los INS utilizados en su mayoría son del segundo tipo. La medición angular que recogen estos sistemas, combinada con la posición en la trayectoria, nos permite realizar las correcciones oportunas a cada observación del láser escáner, de forma que aumentamos en gran medida la calidad de cada punto medido.





Figura 7. Sistema Inercial de Applanix. Unidad de medida frente a unidad de procesamiento.

Fuente: <http://www.alava-ing.es/ingenieros/productos/oceanografia/sistemas-de-posicionamiento/sistemas-de-posicionamiento-y-orientacion-applanix/>

1.2.4. Integración de datos y postprocesado.

Los sistemas descritos anteriormente de posicionamiento por GPS e INS son los necesarios en el sistema LIDAR para la georreferenciación de los datos.

La integración de los datos proporcionados por INS y por GPS con el sistema general LIDAR, se hace necesaria por dos razones:

- El INS proporciona una muy alta calidad en posicionamiento relativo pero la absoluta se deteriora en gran medida con el tiempo, tanto en las medidas de posición como en las angulares.
- GPS ofrece una alta precisión absoluta y posee una alta estabilidad en el tiempo.

2. Materiales y métodos.

2.1. Materiales. Trabajo previo clasificación de puntos por categoría terreno desnudo y terreno no desnudo con ArcGIS 10.0.

Los trabajos previos realizados en ArcGIS para la clasificación de los puntos facilitados para hacer el estudio, han constado de los siguientes puntos.

En primer lugar para insertar cualquier dato en ArcGIS debemos conectar la carpeta de los datos para obtener la referencia. Seguidamente seleccionamos las imágenes .TIF que en nuestro caso son las imágenes obtenidas por satélite de unas zonas de la provincia de Almería con distinto microrrelieve como podemos observar en las Imágenes 1, 2 y 3.



Figura 8. Zona rural. Fuente: Propia

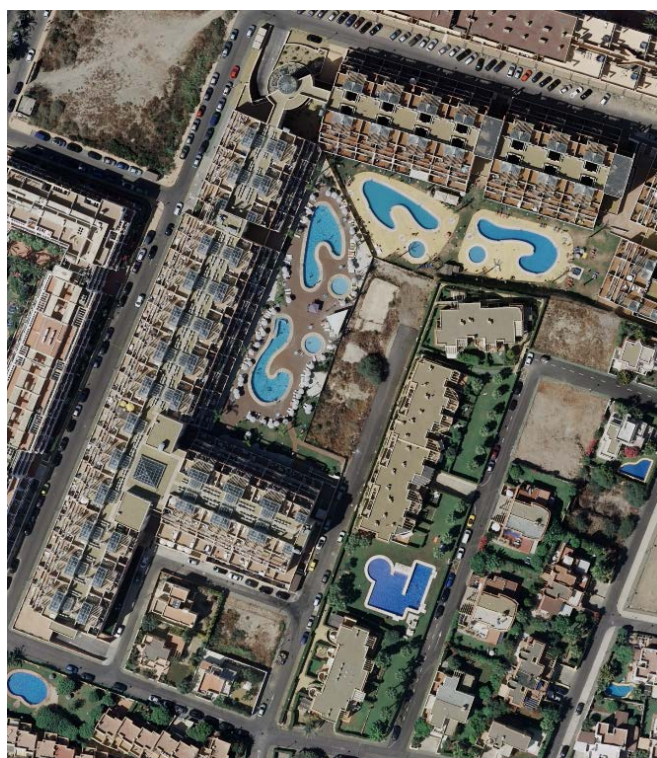


Figura 9. Zona urbana geométrica. Fuente: Propia



Figura 10. Zona Urbana (Población de Garrucha, Almería). Fuente: Propia

Al insertar dichas imágenes en ArcGIS se georeferencian al introducirlas, de tal modo que quedan:

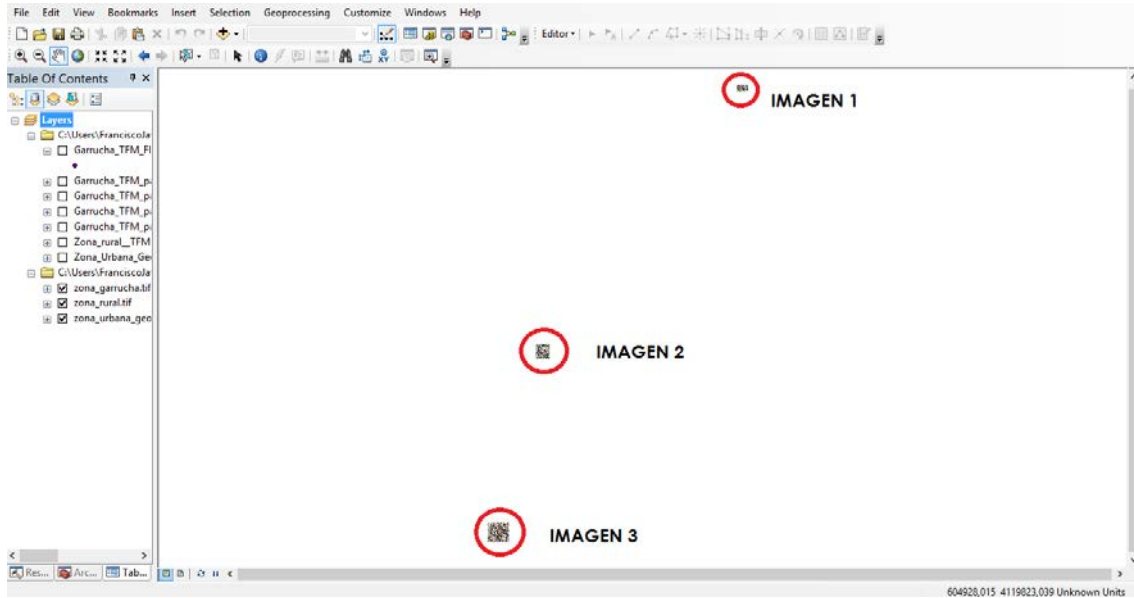


Figura 11. Disposición de las imágenes .TIF. Fuente: Propia

Seguidamente procedemos a introducir más información a través de los archivos “.txt”, los cuales portan la información referente a cada uno de los puntos o impulsos obtenidos por el radar aerotransportado que emite pulsos de luz infrarroja que sirven para determinar la distancia entre el sensor y el terreno.

Para introducir los datos seguimos la ruta: `file/add dat/add XY dat` y seleccionamos los archivos de texto “zona garrucha.txt”, “zona urbana geométrica.txt”, “zona rural.txt” en los cuales deberemos especificar el campo X Y como se muestra en la siguiente imagen:

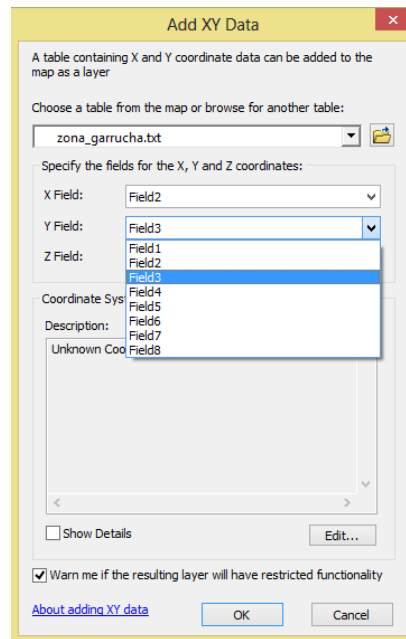


Figura 12. Add X Y dat y elección de campos. Fuente: Propia

Una vez introducidos los campos y hacemos “click” en OK, nos genera una “layer” temporal donde nos muestra la nube de puntos LiDAR, los cuales exportamos a una nueva capa sobre la cual vamos a trabajar.

Nada más que en la capa de la Zona urbana de Garrucha disponemos de 91146 puntos como muestra la siguiente imagen:

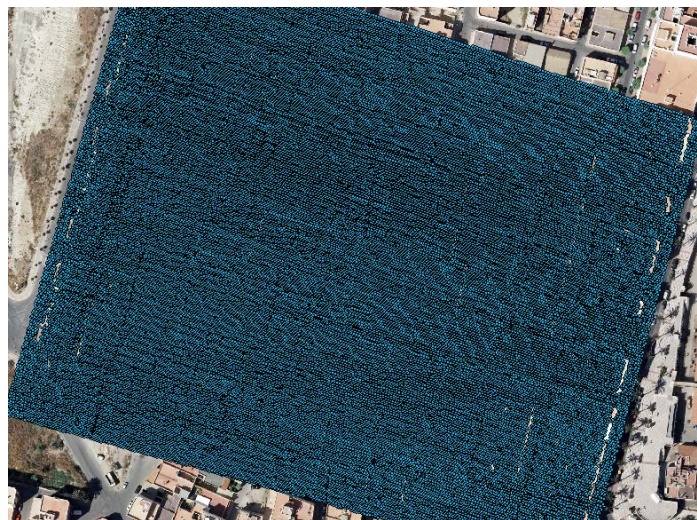


Figura 13. Nube de puntos LiDAR sobre Zona Garrucha. Fuente: Propia

La zona urbana de Garrucha tiene un gran desnivel en el terreno como podemos observar en la Figura 14. Podemos editar la propiedades de la capa siguiente la siguiente ruta podemos editar la simbología y dar parámetros a los puntos, para hacerlo seleccionaremos el campo 4 (field 4) que será nuestra Z, es decir, la altura de dicho punto.

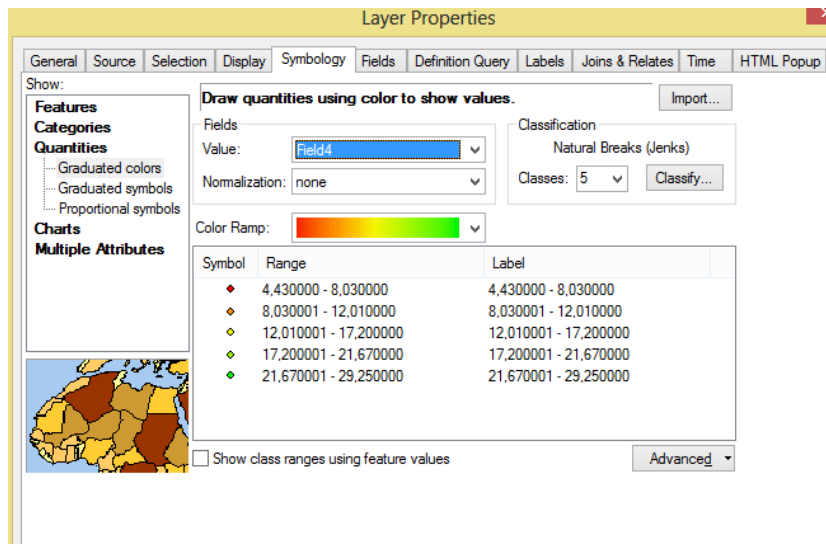


Figura 14. Propiedades de capa. Fuente: Propia

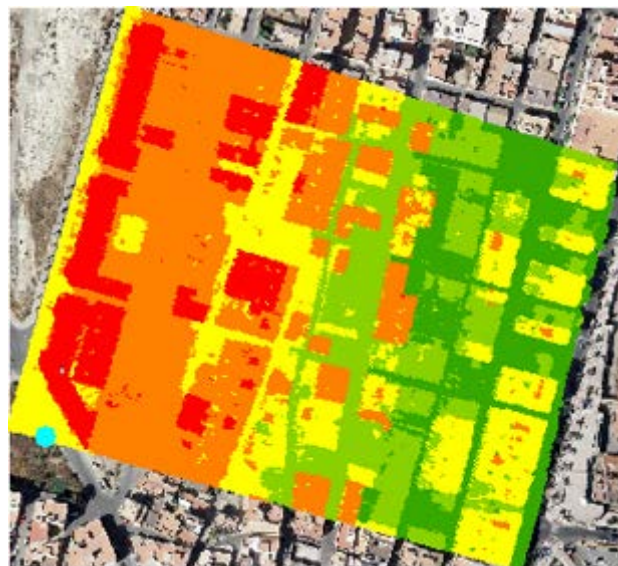


Figura 15. Cambio de propiedades de la capa. Fuente: Propia

A la hora de clasificar los puntos en esta zona, debido al gran desnivel y para hacerlo de la manera más simple, en la zona urbana de Garrucha hemos dividido la nube de puntos en 4 para clasificar los puntos mediante atributos, imponiendo que "field 4" de aquí en adelante Z a una serie de restricciones.

Por ejemplo, en una de las particiones de la nube, clasificamos los puntos de la nube imponiendo que nos seleccione los puntos inferiores a 10m y obtenemos que la gran parte de los puntos seleccionados pertenecen a las calles de la zona, con esto queremos decir que los puntos seleccionados pertenecen a terreno desnudo.

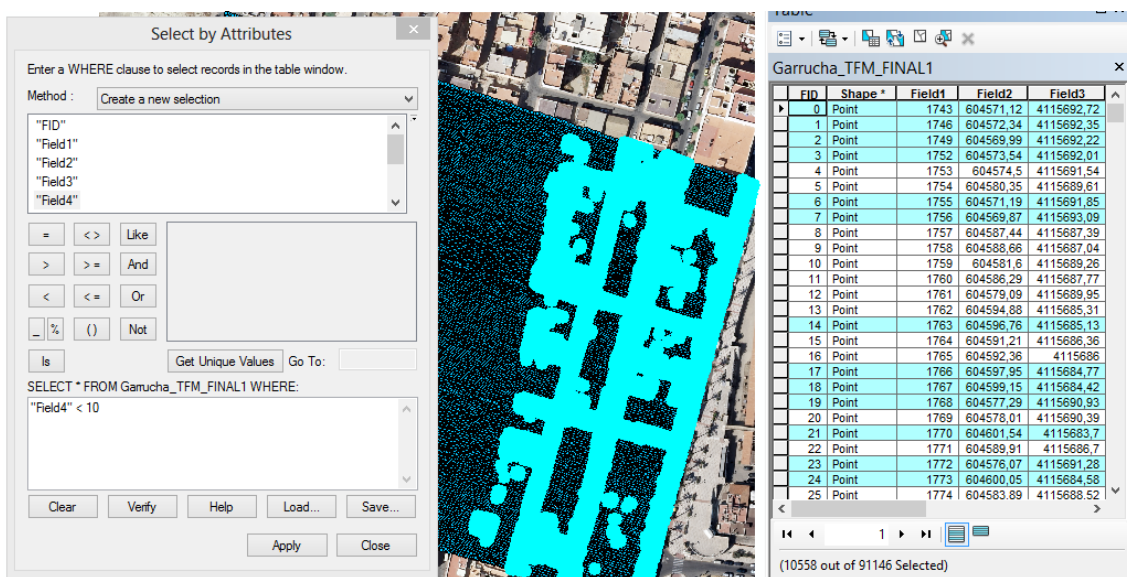


Figura 16. Selección de puntos por atributos. Fuente: Propia

Nuestro objetivo es clasificar todos los puntos de la nube en 2 clases: TERRENO DESNUDO Y TERRENO NO DESNUDO. Para hacer la clasificación hemos asignado un nuevo campo llamado (GT) donde vamos a indicar en cada punto a que corresponde si a terreno o a no terreno.

De esta manera asignamos a TERRERO DESNUDO = 1 y a TERRENO NO DESNUDO=2, una vez terminada la clasificación de los puntos nos queda como resultado la siguiente tabla, donde observamos el campo GT donde los puntos están clasificados con 1 o 2 según sean terreno desnudo o no.

Garrucha_TFM_FINAL1										
FID	Shape *	Field1	Field2	Field3	Field4	Field5	Field6	Field7	Field8	GT
0	Point	1743	604571,12	4115692,72	8,69	0	2	1	1	1
1	Point	1746	604572,34	4115692,35	8,74	0	1	1	1	1
2	Point	1749	604569,99	4115692,22	8,77	0	1	1	1	1
3	Point	1752	604573,54	4115692,01	8,71	0	2	1	1	1
4	Point	1753	604574,5	4115691,54	11,54	0	1	1	1	2
5	Point	1754	604580,35	4115689,61	13,87	0	1	1	1	2
6	Point	1755	604571,19	4115691,85	8,75	0	1	1	1	1
7	Point	1756	604569,87	4115693,09	8,72	0	2	1	1	1
8	Point	1757	604587,44	4115687,39	15,33	0	1	1	1	2
9	Point	1758	604588,66	4115687,04	15,17	0	1	1	1	2
10	Point	1759	604581,6	4115689,26	13,74	0	1	1	1	2
11	Point	1760	604586,29	4115687,77	14,83	0	1	1	1	2
12	Point	1761	604579,09	4115689,95	14,57	0	1	1	1	2
13	Point	1762	604594,88	4115685,31	13,21	0	1	1	1	2
14	Point	1763	604596,76	4115688,13	7,16	0	1	1	1	1
15	Point	1764	604591,21	4115686,36	13,88	0	1	1	1	2
16	Point	1765	604592,36	4115686	14,17	0	1	1	1	2
17	Point	1766	604597,95	4115684,77	7,17	0	1	1	1	1
18	Point	1767	604599,15	4115684,42	7,18	0	2	1	1	1
19	Point	1768	604577,29	4115690,93	8,05	0	1	1	1	1
20	Point	1769	604578,01	4115690,39	13	0	1	1	1	2
21	Point	1770	604601,54	4115683,7	7,22	0	2	1	1	1
22	Point	1771	604589,91	4115686,7	14,7	0	1	1	1	2
23	Point	1772	604576,07	4115691,28	7,96	0	1	1	1	1
24	Point	1773	604600,05	4115684,58	7,18	0	2	1	1	1
25	Point	1774	604583,89	4115688,52	14,78	0	1	1	1	2
26	Point	1775	604582,78	4115688,91	13,77	0	1	1	1	2
27	Point	1776	604601,25	4115684,22	7,21	0	2	1	1	1
28	Point	1777	604585,08	4115688,13	14,87	0	1	1	1	2
29	Point	1778	604601,99	4115683,74	10,99	0	1	1	1	2
30	Point	1779	604593,35	4115686,17	13,85	0	1	1	1	2
31	Point	1780	604600,33	4115684,05	7,25	0	1	1	1	1
32	Point	1781	604594,6	4115685,83	13,28	0	1	1	1	2
33	Point	1782	604587,23	4115687,89	15,4	0	1	1	1	2
34	Point	1783	604584,88	4115688,62	14,96	0	1	1	1	2
35	Point	1784	604583,7	4115688,99	14,8	0	1	1	1	2
36	Point	1785	604592,13	4115686,51	14,31	0	1	1	1	2
37	Point	1786	604581,41	4115689,76	13,95	0	1	1	1	2
38	Point	1787	604588,42	4115687,55	15,39	0	1	1	1	2
39	Point	1788	604586,05	4115688,27	15,23	0	1	1	1	2
40	Point	1790	604580,18	4115690,11	14,21	0	1	1	1	2
41	Point	1791	604576,73	4115691,26	12,53	0	1	1	1	2
42	Point	1792	604595,84	4115685,46	12,92	0	1	1	2	2
43	Point	1793	604575,56	4115691,65	12,02	0	1	1	2	2

Figura 17. Clasificación de puntos, Campo GT. Fuente: Propia

Una vez clasificados los puntos de la nube procedemos a representar los puntos por categorías, para observar gráficamente cual es el resultado. Para ello modificamos las propiedades de la capa y cambiamos la simbología a clasificación por categoría en vez de por cantidades. La categoría serán TERRENO DESNUDO = 1, TERRENO NO DESNUDO = 2, en el cual seleccionamos el campo GT para que nos lo represente. El resultado de tal clasificación es tal que así:





Figura 18. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2 en partes. Fuente: Propia



Figura 19. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2 en partes. Fuente: Propia

Como podemos observar tras la clasificación, el color rojo corresponde a la categoría 1, correspondiente a Terreno desnudo y el amarillo corresponde a la categoría 2, que corresponde a Terreno no desnudo.

Una vez clasificada la nube de puntos por categorías 1 y 2 de la zona urbana de Garrucha, se procede del mismo modo a clasificar la zona rural y zona urbana geométrica.

En la zona rural (figura 8), nos encontramos a la hora de hacer la clasificación por atributos de altura, los árboles, que confunden como si fueran edificaciones debido a su altura, estos puntos los clasifique manualmente mediante la selección por polígonos. El resultado es el siguiente haciendo las mismas operaciones de la anterior zona.

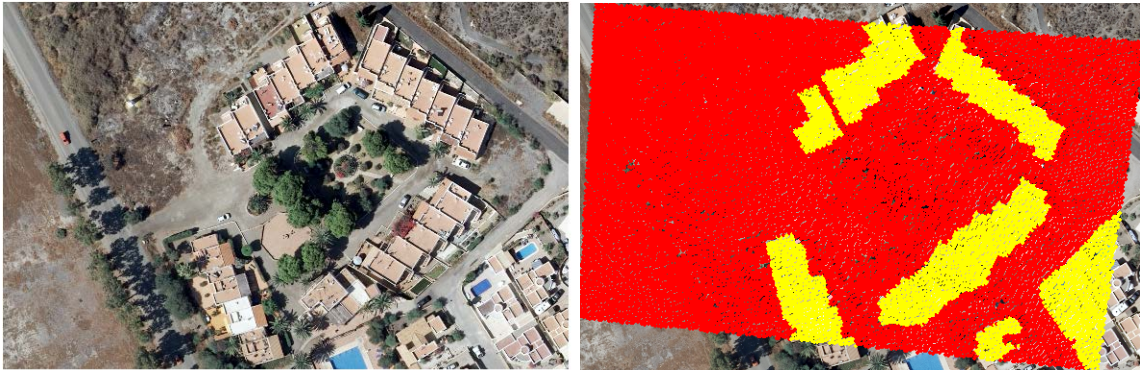


Figura 20. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2. Zona rural. Fuente: Propia.

En la zona urbana geométrica (figura 9), nos encontramos con el mismo problema, a la hora de poner el atributo cuando condicionamos por altura, aquí especialmente confundía las terrazas, patios y balcones como si fuera terreno desnudo, lo cual hizo que manualmente clasificara dichos puntos. El resultado es el siguiente:



Figura 21. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2. Zona urbana geométrica.

Fuente: Propia.



2.2. Métodos. Algoritmos proporcionados por ALDPAT.

Para la evaluación de los algoritmos proporcionados por ALDPAT, software al que vamos a poner a prueba su rendimiento y eficacia tiene los siguientes métodos de trabajo los cuales vamos a describir:

2.2.1. Breve descripción de los algoritmos de filtrado

Los filtros desarrollados en el software se basan en los supuestos:

- Terreno exhibe un alto grado de autocorrelación espacial
 - Cerca de otros lugares que tienen características similares (por ejemplo, elevación)
 - Puntos distantes tienen atributos diferentes
- Cambios de elevación de mediciones en terrenos cercanos son distintas de las que existen entre el suelo, copas de los árboles y edificios en un área de tamaño limitado.

Varias medidas, incluyendo la altura, pendiente y distancia a las superficies localmente ajustadas se han utilizado en seis filtros que separan los puntos de terreno desnudo y terreno no desnudo. (Keqi Zhang & Zheng 2007).

Unos ejemplos pueden ser los siguientes aunque en este trabajo vamos a estudiar a fondo solamente 3 algoritmos de filtrado. De cada algoritmo vamos a hacer selección de dos parámetros más importantes y vamos a ver qué combinación es la más adecuada para cada área. Los resultados nos permitirán evaluar qué algoritmo es el mejor en cada zona y qué parámetros del algoritmo son los más adecuados.

2.2.2. Los modelos de algoritmo.

- La elevación del umbral con ventana expandida, Filtro (ETEW)
- Morfología progresivo - 1D y 2D (PM)
- Pendiente máxima Local (MLS)
- ajuste iterativo polinómica (IPF) y el polinomio filtro 2 -Superficie
- Adaptable TIN (ATINA)



2.2.2.1. La elevación del umbral con ventana expandida , Filtro 1 (ETEW)

Las diferencias de cota entre las medidas realizadas son generalmente distintas entre el suelo y las copas de los árboles y edificios en un área de tamaño limitado. Por lo tanto, las diferencias de elevación en un área determinada se pueden utilizar para clasificar suelo desnudo y suelo no desnudo. El método de la elevación del umbral utiliza una ventana de búsqueda de expansión para identificar y eliminar los puntos de terreno no desnudo. (Zhang y Whitman , 2005).

Funciona de la siguiente manera

- El conjunto de datos se divide en una serie de celdas cuadradas, y todos los puntos, excepto los puntos de cota mínima, se descartan.
- Para la siguiente iteración las celdas se incrementan en tamaño y se determina la cota mínima en cada celda. Entonces, todos los puntos con cota mayor a la cota mínima obtenida se descartan.
- El proceso se repite con las celdas y los límites aumentan de tamaño hasta que se descartan sin los puntos de la iteración anterior.

Para iteración (*lth*) , un punto de (*Pij*) se elimina si

$$Z_{i,j} - Z_{i,\min} > h_{i,T} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde ($Z_{i,j}$) representa la elevación del (*Jth*) punto (p_i, j) en una celda para la iteración (*lth*) , ($Z_{i, \min}$) es la elevación mínima en esta celda , y ($H_{i,t}$) es el umbral de altura . El ($h_{i,t}$) está relacionada con el tamaño de celda y definido por

$$h_{i,T} = s c_i \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde (*S*) es una pendiente del terreno máximo predefinido y (*C_i*) es el tamaño de la celda para la iteración (*i*). En la implementación actual del algoritmo, el tamaño de la celda (*C_i*) se duplica cada iteración de tal manera que:

$$c_i = 2c_{i-1} \quad i = 2,3,\dots,M \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde (*M*) es el número total de iteraciones.



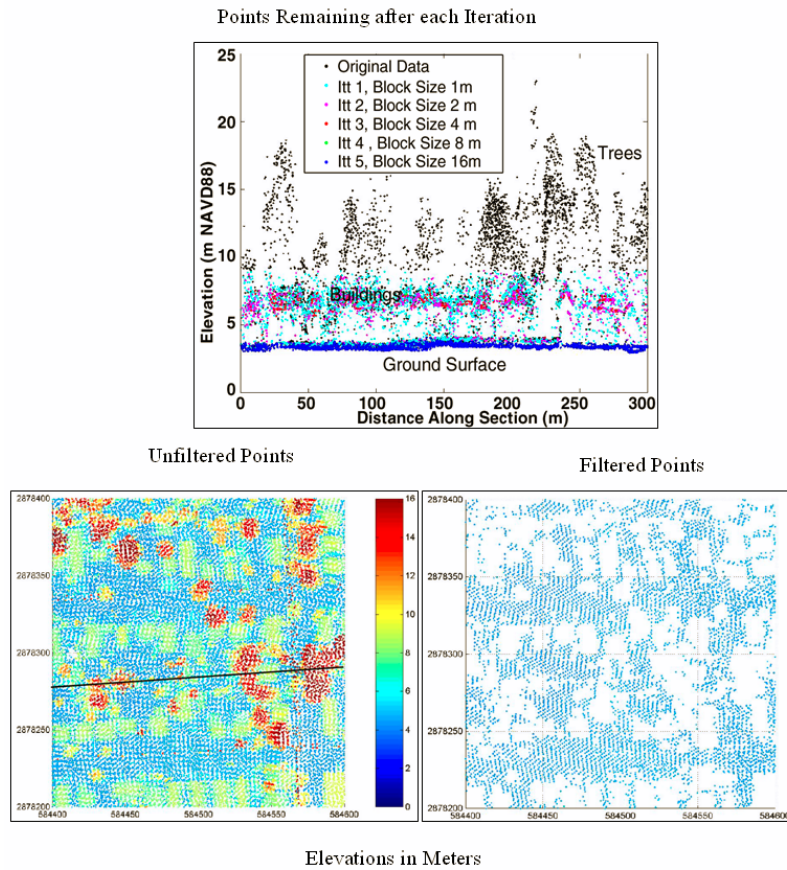


Figura 22. Ejemplos de puntos LIDAR en bruto y filtrado mediante filtro ETEW.

Ejemplo claro de puntos LIDAR en bruto (abajo a la izquierda) y cuando se filtró (inferior derecha) los puntos LIDAR con elevaciones de puntos de color codificados (en metros, NAVD88) se muestran en la Figura 22. La línea de color negro en la imagen de abajo a la izquierda indica la posición del eje sección que se muestra en la figura superior.

Las coordenadas horizontales están en la zona UTM 17 metros. El perfil de Ross (Imagen superior) muestra puntos que quedan después de cada iteración del filtro ETEW. Las elevaciones se proyectaron de una amplia franja de 75 metros de ancho en la sección mostrada en la figura de abajo a la izquierda.

Después de 5 iteraciones, sólo devuelve la superficie del suelo desnudo (se mantienen los puntos azules).

2.2.2.2. Progresiva morfológica, Filtro 2 (PM)

Esta morfología matemática utiliza las operaciones basadas en la teoría de conjuntos para extraer características de las imágenes. Zhang et al . (2003) desarrollaron un filtro morfológico progresivo (MP) para eliminar los puntos de terreno no desnudo de un conjunto de datos LIDAR . Al aumentar gradualmente el tamaño de la ventana y el uso de los límites de diferencia de elevación, el filtro de PM elimina los puntos para diferentes objetos de terreno no desnudo preservando al mismo tiempo los datos de terreno desnudo. El procedimiento del filtro morfológico progresivo está en la lista de la siguiente manera.

- Superposición de una malla rectangular en el conjunto de datos LIDAR. Cada celda contiene un punto de medición $p_j (x_j, y_j, z_j)$ de la elevación mínima entre los puntos cuyas coordenadas caen dentro de la celda. El tamaño de las celdas por lo general se selecciona para que sea más pequeña que la separación media entre las mediciones LIDAR para que los puntos LIDAR no se eliminen. Si no existen mediciones de un punto en una celda, se le asigna el valor del punto más cercano. Las alturas de los puntos en las celdas comprenden una superficie aproximada inicial.
- Realizar una abertura (erosión + dilatación) en la superficie inicial para obtener una superficie secundaria. La diferencia de altura ($DH_{i,j}$) de una celda (j) entre las superficies anteriores ($i - 1$) y la corriente (i) se compara con el límite de ($DH_{i,t}$) para determinar si el punto de (P_j) en esta celda es una medición de terreno desnudo . El límite de ($DH_{i,t}$) se determina por

$$dh_{i,T} = \left\{ \begin{array}{ll} dh_0 & \text{if } w_i \leq 3 \\ s(w_i - w_{i-1})c + dh_0 & \text{if } w_i > 3 \\ dh_{\max} & \text{if } dh_{i,T} > dh_{\max} \end{array} \right\} \text{ Ecuación 5}$$



donde (dh_0) es el límite de diferencia de elevación inicial que se aproxima al error de las mediciones LIDAR (0,2-0,3 m) , (dh_{max}) es el límite máximo de diferencia de elevación , (s) es la pendiente del terreno máximo predefinido , (C) es el tamaño de celda de la malla , y (w_i) es el tamaño de la ventana de filtrado (en número de celdas) en la iteración (i th).

- Aumentar el tamaño de la ventana de filtrado y el modelo de superficie derivado de la segunda etapa y el uso como entrada para la siguiente operación de apertura. Las segunda y tercera etapa se repiten hasta que el tamaño de la ventana de filtrado es mayor que el tamaño máximo predefinido del terreno no desnudo.

El umbral máximo de diferencia de altura se puede establecer en un valor fijo para asegurar la eliminación de los grandes edificios y baja en una zona urbana o de la diferencia de altura más grande en un área de estudio. La ventana de filtrado puede ser una línea unidimensional o rectángulo bidimensional o cualquier otra forma. Cuando se utiliza una ventana de línea, la operación de apertura se aplica a ambas direcciones (x) e (y) en cada paso, excepto para los datos de barrera costeras en islas, establecidos para asegurar que los objetos terreno no desnudo se eliminaron.

2.2.2.3. Pendiente Local máxima, filtro 3 (MLS)

La pendiente del terreno es generalmente diferente de la pendiente vista entre el suelo y las copas de los árboles y edificios, esta diferencia pendiente se puede utilizar para separar puntos de terreno desnudo y puntos de terreno no desnudo de un conjunto de datos LIDAR.

Vosselman (2000) ha desarrollado un filtro que identifica las pendientes mediante la comparación de las alturas entre un punto LIDAR y sus vecinos. El método implementado aquí es similar al filtro de Vosselman:

- Superposición de una malla rectangular en el conjunto de datos LIDAR. Crear una matriz 2D, cuyos elementos representen puntos que caen en las celdas de una malla superpuesta en el conjunto de datos. Cada punto de medición $P_j (x_j, y_j, z_j)$ del conjunto de datos LIDAR es asignado a una celda en términos de coordenadas (x) e (y). Si más de un punto cae en la misma celda, la que esté con la elevación más baja se selecciona como el elemento de matriz.
- Un punto de levantamiento LIDAR , $P_0 (x_0, y_0, z_0)$, se clasifica como terreno desnudo si el valor máximo (s_0, max) de las pendientes entre este punto y cualquier otro punto (p_j) dentro de un radio determinado es inferior predefinido umbral (s) :



$$\left\{ \begin{array}{l} s_{0,j} = \frac{z_0 - z_j}{\sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2}} \\ p_0 \in \text{medida del terreno} \quad | \quad \text{Si } S_{0,\max} < s \end{array} \right\} \text{ Ecuación 6}$$

Donde (S 0, j) está pendiente entre p0 y pj, xj y yj representan las coordenadas horizontales de pj y zj es su elevación.

2.2.2.4. Ajuste iterativo polinómica, Filtro 4 (IPF).

Algoritmos anteriores separan puntos de terreno desnudo y puntos de terreno no desnudo mediante la eliminación de los puntos no terreno de un conjunto de datos LIDAR. Como alternativa, los puntos LIDAR se pueden clasificar por seleccionando punto de terreno desnudo iterativamente a partir del conjunto de datos original. El algoritmo ajuste iterativo polinomial local que adopte esta estrategia.

- Seleccione los puntos más bajos dentro de una ventana móvil grande (por ejemplo, 40 metros) a través de una red con un pequeño espacio (por ejemplo, 2 metros). La gran ventana móvil se centra sobre cada nodo de la red y su tamaño inicial suele ser más grande que los puntos de terreno no desnudo en el área de estudio. Los puntos más bajos constan de una primera serie de mediciones sobre el terreno.
- Reducir el tamaño de la ventana en movimiento y seleccionar el punto más bajo dentro de la ventana como un candidato para la medición de suelo. Este punto candidato se añade a la serie de punto de terreno desnudo si la diferencia de elevación entre el candidato y la superficie interpolada en el nodo de la red es menor que una tolerancia predefinida. El centro del nodo de la red coincide con el centro de la ventana móvil. La superficie interpolada se produce en términos de mediciones en tierra identificados en el paso anterior. Este proceso se repite hasta que el tamaño de la ventana en movimiento (por ejemplo, 1 metro) es menor que el espaciado de la cuadrícula.



Al igual que otros filtros, filtro de IPF comete errores también, en algunos casos. Por ejemplo, tres puntos de terreno desnudo en la cima de una pequeña montaña (a unos 200 m al eje x) se perdieron debido a la superficie interpolada es muy bajo debido a la falta de puntos de terreno desnudo previamente identificados en la cima de la montaña. Podemos recuperar estos puntos de terreno desnudo perdido mediante la comparación de la diferencia de elevación de un candidato a la superficie actual para recuperar los puntos del terreno perdido. La superficie actual representada por una línea roja se obtiene mediante la interpolación de las dos mediciones sobre el terreno previamente identificado y los candidatos.

Los tres puntos en la cima de una montaña se identificaron como medidas del suelo desnudo debido a sus diferencias de elevación de la superficie actual es inferior a un umbral predefinido. Sin embargo, los puntos de terreno no desnudo (por ejemplo, alrededor de los 100 m en el eje x) se incluyeron por error cuando se utiliza la diferencia de elevación de la superficie actual para recuperar los puntos de tierra perdidos. Para eliminar los errores de comisión, la idoneidad de las superficies anterior y actual a medidas del suelo en una ventana de la interpolación de superficie se presenta como otro criterio. Si la aptitud de la superficie actual es mejor que la anterior, se recupera un punto de tierra perdido (por ejemplo, puntos alrededor de 200 m en el eje x), de lo contrario, no será incluido (por ejemplo, puntos de alrededor de 100 m en el eje x).

2.2.2.5. Adaptable TIN , Filtro 5 (ATINA)

El filtro adaptativo TIN emplea la distancia del punto en la superficie de un TIN para seleccionar los puntos de terreno desnudo de un conjunto de datos LIDAR. Este filtro fue desarrollado por Axelsson (2000) y se implementa en el software comercial de procesamiento de datos LIDAR, TerraScan (www.terrasolid.fi). El algoritmo se ha modificado ligeramente e implementado de la siguiente manera:

- Prever un conjunto de datos en una matriz de celdas cuadradas y puntos dentro de una celda con la altura mínima se seleccionan para ser semillas de datos de un punto de terreno desnudo establecido. El tamaño de una celda cuadrada se ajusta para que sea mayor que el tamaño máximo de los puntos de terreno no desnudo en el área de estudio. La TIN se construye utilizando los puntos de terreno desnudo de siembra basado en el algoritmo de triangulación de Delaunay.



- Examinar puntos por encima de cada triángulo de TIN en términos de sus distancias a la superficie triángulo y el máximo de tres ángulos entre la superficie triángulo y líneas de conexión del candidato y los vértices del triángulo. Si la distancia y el ángulo de un punto son menores que el umbral predefinido, se añade el punto al conjunto de datos de puntos de terreno desnudo. El umbral de ángulo se emplea para controlar la inclusión de un punto cercano a un punto de tierra con una pendiente empinada. Con el fin de incluir las mediciones de terrenos escarpados, tales como acantilados, la distancia de un punto de espejo a la superficie correspondiente también se emplea en el proceso de selección de los puntos de terreno desnudo.
- Construir un nuevo TIN usando el conjunto de datos de puntos de terreno desnudo. Las segunda y tercera etapas se repiten hasta que no hay puntos se pueden añadir al conjunto de datos de puntos de terreno desnudo.



3. Resultados.

Los resultados reflejados en las siguientes tablas son de los tres algoritmos estudiados, y son Pendiente Local máxima, filtro 3 (MLS), Adaptable TIN, Filtro 5 (ATINA), La elevación del umbral con ventana expandida, Filtro 1 (ETEWE).

3.1. La elevación del umbral con ventana expandida, Filtro 1 (ETEWE).

3.1.1. Número de puntos clasificados con ETEWE en cada Zona

En primer lugar, vamos a analizar el número de puntos seleccionados por el algoritmo como terreno desnudo en relación a los parámetros para las 3 zonas con los parámetros: SLOPE: 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1.0 y LOOP TIMES: 4; 6; 8; 10.

Tabla1. Número de puntos clasificados zona garrucha ETEWE

ETEWE (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona Garrucha 91.146 puntos		SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
LOOP TIMES	4	19.547	23.302	27.975	31.005	34.994
	6	19.303	23.302	27.975	31.005	34.994
	8	19.303	23.302	27.975	31.005	34.994
	10	19.303	23.302	27.975	31.005	34.994

Tabla2. Número de puntos clasificados zona Urbana ETEWE

ETEWE (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona urbana 43.480 puntos		SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
LOOP TIMES	4	11.758	13.780	14.989	16.259	17.631
	6	11.126	13.780	14.989	16.259	17.631
	8	11.126	13.780	14.989	16.259	17.631
	10	11.126	13.780	14.989	16.259	17.631



Tabla3. Número de puntos clasificados zona Rural ETEW

ETEW (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona Rural 23.168 puntos		SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
LOOP TIMES	4	9.936	11.351	12.446	12.908	13.827
	6	9.936	11.351	12.446	12.908	13.827
	8	9.936	11.351	12.446	12.908	13.827
	10	9.936	11.351	12.446	12.908	13.827

Como podemos observar el número de puntos seleccionados como terreno desnudo no varía tomando los parámetros “LOOP TIMES” y “SLOPE”. Por lo que se procede a cambiar los parámetros.

Los parámetros seleccionados para este filtrado han sido “WIDHT-HEIGHT” y “SLOPE”, de tal modo que tomamos la escala para (WIDHT-HEIGHT= 0.5-0.5; 1-1; 1,5-1,5; 2-2) y (SLOPE= 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1.0)

Tabla4. Número de puntos clasificados zona Garrucha ETEW

ETEW (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona Garrucha 91.146 puntos		SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	28.683	32.470	38.298	42.440	47.622
	1-1	19.547	23.302	27.975	31.005	34.995
	1.5-1.5	11.123	13.599	15.680	17.529	18.837
	2-2	6.964	8.380	9.892	10.908	12.158

Tabla5. Número de puntos clasificados zona Urbana ETEW

ETEW (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona Urbana 43.480 puntos		SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	16.964	19.820	21.142	22.781	24.445
	1-1	11.758	13.780	14.989	16.259	17.631
	1.5-1.5	6.454	7.763	8.413	8.964	9.336
	2-2	3.903	4.759	5.151	5.664	5.983



Tabla6. Número de puntos clasificados zona Rural ETEW

ETEW (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona Rural 23.168 puntos		SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT-HEIGHT	0.5-0.5	13.288	15.227	16.831	17.479	18.744
	1-1	9.936	11.351	12.446	6.737	13.827
	1.5-1.5	5.361	6.005	6.582	6.737	6.861
	2-2	3.268	3.584	3.843	3.993	4.201

Ahora como se puede observar, si obtenemos distintos números de puntos clasificados con estos parámetros. Una vez obtenidos estos datos, se procede al cálculo de la precisión según Goutte, C., and E. Gaussier, 2005.

En este caso es emplear los índices RECALL (mide la completitud en la detección de un elemento y por tanto es el complementario del error por omisión), PRECISION (probabilidad de cuando decimos que hemos detectado un punto del suelo sea en realidad suelo) y F-SCORE que es una especie de overall accuracy o Kappa que integra el error por omisión y comisión. De esta forma calcularíamos un recall, precisión y F-score para cada una de las clases clasificadas o filtradas (microrrelieve y suelo).

$$\text{RECALL} \rightarrow R = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\text{PRECISION} \rightarrow P = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\text{F-SCORE} \rightarrow \frac{2(RxP)}{(R+P)} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

TP= Puntos clasificados como terreno desnudo siendo terreno desnudo realmente en la muestra de validación.

FN= Puntos que no fueron clasificados como terreno desnudo cuando son realmente terreno desnudo en la muestra de validación.

FP= Puntos que son clasificados como terreno desnudo cuando realmente no son terreno desnudo en la muestra de validación.



3.1.2. Cálculo de la precisión ZONA GARRUCHA – TERRENO

Tabla7. Precisión RECALL zona Garrucha terreno ETEW

ETEW ZONA GARRUCHA		RECALL				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT-HEIGHT	0.5-0.5	0,74	0,81	0,85	0,87	0,89
	1-1	0,52	0,60	0,63	0,65	0,66
	1.5-1.5	0,29	0,33	0,35	0,36	0,36
	2-2	0,18	0,21	0,21	0,22	0,22

Tabla8. Precisión PRECISION zona Garrucha terreno ETEW

ETEW ZONA GARRUCHA		PRECISION				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT-HEIGHT	0.5-0.5	0,89	0,86	0,76	0,71	0,64
	1-1	0,92	0,88	0,77	0,72	0,65
	1.5-1.5	0,91	0,85	0,76	0,70	0,66
	2-2	0,89	0,84	0,75	0,69	0,62

Tabla9. Precisión F-SCORE zona Garrucha terreno ETEW

ETEW ZONA GARRUCHA		F-SCORE				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT-HEIGHT	0.5-0.5	0,81	0,83	0,81	0,78	0,75
	1-1	0,67	0,71	0,69	0,68	0,65
	1.5-1.5	0,44	0,48	0,48	0,47	0,46
	2-2	0,30	0,33	0,33	0,33	0,32



3.1.3. Cálculo de la precisión zona GARRUCHA – NO TERRENO

Tabla10. Precisión RECALL zona Garrucha no terreno ETEW

ETEW ZONA GARRUCHA		RECALL				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,94	0,92	0,84	0,78	0,70
	1-1	0,97	0,95	0,89	0,85	0,78
	1.5-1.5	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89
	2-2	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92

Tabla11. Precisión PRECISION zona Garrucha no terreno ETEW

ETEW ZONA GARRUCHA		PRECISION				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,86	0,89	0,90	0,91	0,91
	1-1	0,77	0,80	0,80	0,80	0,79
	1.5-1.5	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	2-2	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66

Tabla12. Precisión F-SCORE zona Garrucha no terreno ETEW

ETEW ZONA GARRUCHA		F-SCORE				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,90	0,90	0,87	0,84	0,79
	1-1	0,86	0,87	0,84	0,82	0,79
	1.5-1.5	0,81	0,81	0,80	0,79	0,78
	2-2	0,79	0,79	0,79	0,78	0,77



3.1.4. Cálculo de la precisión zona URBANA – TERRENO

Tabla13. Precisión RECALL zona Urbana terreno ETEW

ETEW ZONA URBANA		RECALL				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,67	0,76	0,80	0,83	0,86
	1-1	0,47	0,53	0,56	0,58	0,61
	1.5-1.5	0,25	0,29	0,31	0,58	0,32
	2-2	0,15	0,17	0,19	0,19	0,19

Tabla14. Precisión PRECISION zona Urbana terreno ETEW

ETEW ZONA URBANA		PRECISION				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80
	1-1	0,90	0,87	0,85	0,81	0,79
	1.5-1.5	0,88	0,85	0,82	0,81	0,79
	2-2	0,86	0,83	0,81	0,76	0,73

Tabla15. Precisión F-SCORE zona Urbana terreno ETEW

ETEW ZONA URBANA		F-SCORE				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,77	0,81	0,82	0,82	0,83
	1-1	0,62	0,66	0,68	0,68	0,69
	1.5-1.5	0,39	0,44	0,45	0,68	0,46
	2-2	0,25	0,29	0,30	0,30	0,31



3.1.5. Cálculo de la precisión zona URBANA – NO TERRENO

Tabla16. Precisión RECALL zona Urbana no terreno ETEW

ETEW ZONA URBANA		RECALL				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,91	0,88	0,85	0,80	0,76
	1-1	0,94	0,91	0,89	0,85	0,82
	1.5-1.5	0,96	0,94	0,93	0,85	0,90
	2-2	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92

Tabla17. Precisión PRECISION zona Urbana no terreno ETEW

ETEW ZONA URBANA		PRECISION				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,72	0,77	0,79	0,81	0,83
	1-1	0,62	0,64	0,65	0,65	0,66
	1.5-1.5	0,54	0,55	0,55	0,65	0,55
	2-2	0,51	0,52	0,52	0,52	0,51

Tabla18. Precisión F.SCORE zona Urbana no terreno ETEW

ETEW ZONA URBANA		F-SCORE				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,81	0,82	0,82	0,81	0,79
	1-1	0,75	0,75	0,75	0,74	0,73
	1.5-1.5	0,69	0,70	0,69	0,74	0,69
	2-2	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66



3.1.6. Cálculo de la precisión zona RURAL – TERRENO

Tabla19. Precisión RECALL zona Rural terreno ETEW

ETEW ZONA RURAL		RECALL				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,67	0,76	0,80	0,81	0,83
	1-1	0,51	0,57	0,59	0,60	0,61
	1.5-1.5	0,27	0,29	0,30	0,30	0,31
	2-2	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18

Tabla20. Precisión RECALL zona Rural terreno ETEW

ETEW ZONA RURAL		PRECISION				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,96	0,95	0,90	0,88	0,84
	1-1	0,96	0,95	0,89	0,88	0,83
	1.5-1.5	0,95	0,93	0,87	0,86	0,85
	2-2	0,95	0,93	0,88	0,86	0,82

Tabla21. Precisión F-SCORE zona Rural terreno ETEW

ETEW ZONA RURAL		F-SCORE				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,79	0,85	0,84	0,85	0,83
	1-1	0,66	0,71	0,71	0,71	0,70
	1.5-1.5	0,42	0,45	0,45	0,45	0,45
	2-2	0,28	0,30	0,30	0,30	0,30



3.1.7. Cálculo de la precisión zona RURAL – NO TERRENO.

Tabla22. Precisión RECALL zona Rural terreno ETEW

ETEW ZONA RURAL		RECALL				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,94	0,92	0,84	0,78	0,70
	1-1	0,97	0,95	0,89	0,85	0,78
	1.5-1.5	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89
	2-2	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92

Tabla23. Precisión RECALL zona Rural terreno ETEW

ETEW ZONA RURAL		PRECISION				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,86	0,89	0,90	0,91	0,91
	1-1	0,77	0,80	0,80	0,80	0,79
	1.5-1.5	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	2-2	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66

Tabla24. Precisión F-SCORE zona Rural terreno ETEW

ETEW ZONA RURAL		F-SCORE				
		slope				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
WIDHT- HEIGHT	0.5-0.5	0,90	0,90	0,87	0,84	0,79
	1-1	0,86	0,87	0,84	0,82	0,79
	1.5-1.5	0,81	0,81	0,80	0,79	0,78
	2-2	0,79	0,79	0,79	0,78	0,77



3.2. Adaptable TIN, Filtro 5. (ATIN)

3.2.1. Número de puntos clasificados como terreno desnudo con ATIN en cada Zona

Tabla25. Número de puntos clasificados zona Garrucha ATIN

ATIN (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona GARRUCHA 91.146 puntos		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	24.833	25.949	29.760	31.368	36.659
	15	25.077	27.307	30.382	37.261	40.333
	30	25.194	27.842	30.922	39.422	41.473
	45	25.197	28.262	32.676	39.959	42.252

Tabla26. Número de puntos clasificados zona Urbana ATIN

ATIN (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona URBANA 43.480 puntos		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	7.848	15.353	15.353	16.091	16.690
	15	11.114	16.184	16.184	16.551	16.096
	30	13.419	16.389	16.389	16.997	16.490
	45	14.446	16.544	16.544	17.358	16.790

Tabla27. Número de puntos clasificados zona Rural ATIN

ATIN (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona RURAL 23.168 puntos		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	10.581	11.334	12.712	14.404	14.652
	15	10.914	11.604	13.994	14.661	14.887
	30	11.159	11.673	14.478	14.718	15.413
	45	11.172	13.604	14.623	14.875	15.526



3.2.2. Cálculo de la precisión en ZONA GARRUCHA – TERRENO

Tabla28. Precisión RECALL zona Garrucha terreno ATIN

ATIN ZONA GARRUCHA		RECALL				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0.60	0.62	0.65	0.66	0.68
	15	0.61	0.65	0.66	0.68	0.69
	30	0.62	0.65	0.66	0.69	0.69
	45	0.62	0.65	0.67	0.69	0.69

Tabla29. Precisión PRECISION zona Garrucha terreno ATIN.

ATIN ZONA GARRUCHA		PRECISION				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0.83	0.82	0.75	0.72	0.64
	15	0.84	0.81	0.75	0.63	0.59
	30	0.84	0.80	0.74	0.60	0.57
	45	0.84	0.79	0.71	0.59	0.56

Tabla30. Precisión F-SCORE zona Garrucha terreno ATIN

ATIN ZONA GARRUCHA		F-SCORE				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0.70	0.71	0.70	0.69	0.66
	15	0.71	0.72	0.70	0.65	0.63
	30	0.71	0.72	0.70	0.64	0.63
	45	0.71	0.71	0.69	0.64	0.62



3.2.3. Cálculo de la precisión en ZONA GARRUCHA - NO TERRENO.

Tabla31. Precisión RECALL zona Garrucha no terreno ATIN

ATIN ZONA GARRUCHA		RECALL				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0.93	0.92	0.87	0.85	0,77
	15	0.93	0.91	0.86	0.76	0,71
	30	0.93	0.90	0.86	0.72	0,69
	45	0.93	0.90	0.83	0.71	0,67

Tabla32. Precisión PRECISION zona Garrucha no terreno ATIN

ATIN ZONA GARRUCHA		PRECISION				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,79	0,80	0,80	0,80	0,80
	15	0,80	0,81	0,81	0,80	0,79
	30	0,80	0,81	0,81	0,79	0,79
	45	0,80	0,81	0,81	0,79	0,78

Tabla33. Precisión F-SCORE zona Garrucha no terreno ATIN

ATIN ZONA GARRUCHA		F-SCORE				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,85	0,86	0,84	0,83	0,78
	15	0,86	0,86	0,83	0,78	0,74
	30	0,86	0,85	0,83	0,75	0,73
	45	0,86	0,85	0,82	0,75	0,72



3.2.4. Cálculo precisión en ZONA URBANA – TERRENO

Tabla34. Precisión RECALL zona Urbana terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		RECALL				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,32	0,56	0,58	0,59	0,60
	15	0,45	0,57	0,59	0,60	0,57
	30	0,52	0,58	0,59	0,62	0,58
	45	0,56	0,58	0,60	0,61	0,59

Tabla35. Precisión PRECISION zona Urbana terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		PRECISION				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,92	0,88	0,85	0,83	0,82
	15	0,92	0,87	0,82	0,82	0,80
	30	0,88	0,85	0,82	0,81	0,80
	45	0,88	0,85	0,82	0,81	0,80

Tabla36. Precisión F-SCORE zona Urbana terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		F-SCORE				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,47	0,69	0,69	0,69	0,69
	15	0,61	0,69	0,69	0,69	0,67
	30	0,66	0,69	0,69	0,70	0,67
	45	0,69	0,69	0,69	0,70	0,68



3.2.5. Cálculo precisión en ZONA URBANA – NO TERRENO.

Tabla37. Precisión RECALL zona Urbana no terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		RECALL				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,97	0,92	0,89	0,87	0,85
	15	0,96	0,90	0,86	0,86	0,85
	30	0,92	0,89	0,86	0,84	0,84
	45	0,92	0,89	0,86	0,85	0,84

Tabla38. Precisión PRECISION zona Urbana no terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		PRECISION				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,57	0,66	0,66	0,66	0,66
	15	0,62	0,66	0,66	0,66	0,65
	30	0,64	0,66	0,66	0,67	0,65
	45	0,66	0,66	0,66	0,67	0,65

Tabla39. Precisión F-SCORE zona Urbana no terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		F-SCORE				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,71	0,77	0,76	0,75	0,75
	15	0,75	0,76	0,75	0,75	0,73
	30	0,76	0,76	0,75	0,75	0,73
	45	0,77	0,76	0,75	0,75	0,73



3.2.6. Cálculo de la precisión ZONA RURAL – TERRENO.

Tabla40. Precisión RECALL zona Rural terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		RECALL				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,54	0,58	0,60	0,63	0,64
	15	0,56	0,59	0,62	0,64	0,64
	30	0,57	0,60	0,63	0,64	0,66
	45	0,57	0,61	0,64	0,64	0,66

Tabla41. Precisión PRECISION zona Rural terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		PRECISION				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,97	0,97	0,90	0,82	0,82
	15	0,97	0,97	0,84	0,82	0,82
	30	0,97	0,97	0,82	0,82	0,81
	45	0,97	0,85	0,82	0,82	0,81

Tabla42. Precisión F-SCORE zona Rural terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		F-SCORE				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,70	0,73	0,72	0,71	0,72
	15	0,71	0,74	0,72	0,72	0,72
	30	0,72	0,74	0,71	0,72	0,73
	45	0,72	0,71	0,72	0,72	0,73



3.2.7. Cálculo de la precisión en ZONA RURAL – NO TERRENO.

Tabla43. Precisión RECALL zona Rural no terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		RECALL				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,93	0,92	0,70	0,39	0,38
	15	0,93	0,92	0,48	0,39	0,36
	30	0,93	0,91	0,39	0,38	0,31
	45	0,93	0,52	0,39	0,36	0,30

Tabla44. Precisión PRECISION zona Rural no terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		PRECISION				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,31	0,33	0,28	0,19	0,19
	15	0,32	0,33	0,22	0,19	0,18
	30	0,33	0,33	0,19	0,19	0,17
	45	0,33	0,23	0,19	0,18	0,17

Tabla45. Precisión F-SCORE zona Rural no terreno ATIN.

ATIN ZONA URBANA		F-SCORE				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	0	0,47	0,48	0,40	0,26	0,25
	15	0,47	0,49	0,30	0,26	0,24
	30	0,48	0,49	0,26	0,26	0,22
	45	0,48	0,32	0,26	0,24	0,21



3.3. Pendiente máxima Local (MLS)

3.3.1. Número de puntos clasificados como terreno desnudo con MLS en cada Zona

Tabla46. Número de puntos clasificados zona Garrucha por MLS.

MLS (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona GARRUCHA 91.146 puntos		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	5	21.336	24.275	25.509	27.478	29.798
	10	17.268	20.903	22.949	25.281	27.737
	15	16.206	20.821	22.945	25.280	27.729
	20	15.656	20.772	22.945	25.280	27.729

Tabla47. Número de puntos clasificados zona Urbana por MLS.

MLS (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona URBANA 43.480 puntos		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	5	11.675	13.292	14.137	14.895	15.554
	10	10.129	12.507	13.568	14.255	14.924
	15	9.603	12.299	13.395	14.235	14.924
	20	9.289	12.081	13.393	14.235	14.924

Tabla48. Número de puntos clasificados zona Rural por MLS.

MLS (Número de puntos clasificados como terreno desnudo) Zona RURAL 23.168 puntos		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ANGLE	5	9.339	10.771	11.426	12.019	12.534
	10	8.803	10.536	11.426	12.019	12.531
	15	8.795	10.536	11.318	12.017	12.531
	20	8.795	10.536	11.318	12.017	12.531



3.3.2. Calculo de la precisión en ZONA GARRUCHA - TERRENO.

Tabla49. Precisión RECALL zona Garrucha terreno MLS.

MLS ZONA GARRUCHA		RECALL				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,52	0,58	0,60	0,61	0,63
	10	0,46	0,56	0,59	0,61	0,63
	15	0,44	0,56	0,59	0,61	0,63
	20	0,42	0,55	0,59	0,61	0,63

Tabla50. Precisión PRECISION zona Garrucha terreno MLS.

MLS ZONA GARRUCHA		PRECISION				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,83	0,82	0,81	0,77	0,73
	10	0,93	0,92	0,89	0,83	0,78
	15	0,93	0,92	0,89	0,84	0,78
	20	0,93	0,92	0,89	0,84	0,78

Tabla51. Precisión F-SCORE zona Garrucha terreno MLS.

MLS ZONA GARUCHA		F-SCORE				
		Z diff				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,64	0,68	0,69	0,68	0,67
	10	0,62	0,69	0,71	0,71	0,70
	15	0,59	0,69	0,71	0,71	0,70
	20	0,58	0,69	0,71	0,71	0,70



3.3.3. Cálculo de la precisión en ZONA GARRUCHA - NO TERRENO.

Tabla52. Precisión RECALL zona Garrucha no terreno MLS.

MLS ZONA GARRUCHA		RECALL				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,94	0,92	0,91	0,89	0,86
	10	0,98	0,97	0,95	0,93	0,89
	15	0,98	0,97	0,95	0,93	0,89
	20	0,98	0,97	0,95	0,93	0,89

Tabla53. Precisión PRECISION zona Garrucha no terreno MLS

MLS ZONA GARRUCHA		PRECISION				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,76	0,78	0,79	0,79	0,79
	10	0,75	0,78	0,79	0,80	0,80
	15	0,74	0,78	0,87	0,80	0,80
	20	0,74	0,78	0,79	0,80	0,80

Tabla54. Precisión F-SCORE zona Garrucha terreno MLS.

MLS ZONA GARRUCHA		F-SCORE				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,84	0,85	0,85	0,84	0,82
	10	0,85	0,87	0,87	0,86	0,84
	15	0,84	0,87	0,79	0,86	0,84
	20	0,84	0,87	0,87	0,86	0,84



3.3.4. Cálculo de la precisión en ZONA URBANA – TERRENO.

Tabla55. Precisión RECALL zona Urbana terreno MLS.

MLS ZONA URBANA		RECALL				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,45	0,51	0,54	0,55	0,57
	10	0,41	0,49	0,53	0,55	0,56
	15	0,39	0,49	0,52	0,54	0,56
	20	0,37	0,48	0,54	0,54	0,56

Tabla56. Precisión PRECISION zona Urbana terreno MLS.

MLS ZONA URBANA		PRECISION				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83
	10	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85
	15	0,91	0,89	0,88	0,87	0,85
	20	0,91	0,89	0,87	0,87	0,85

Tabla57. Precisión F-SCORE zona Urbana terreno MLS.

MLS ZONA URBANA		F-SCORE				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,60	0,64	0,66	0,67	0,67
	10	0,56	0,64	0,66	0,67	0,68
	15	0,54	0,63	0,65	0,67	0,68
	20	0,53	0,62	0,67	0,67	0,68



3.3.5. Cálculo de la precisión en ZONA URBANA – NO TERRENO.

Tabla58. Precisión RECALL zona Urbana no terreno MLS.

MLS ZONA URBANA		RECALL				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,93	0,92	0,90	0,89	0,87
	10	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89
	15	0,96	0,94	0,92	0,91	0,89
	20	0,96	0,94	0,91	0,91	0,89

Tabla59. Precisión PRECISION zona Urbana no terreno MLS.

MLS ZONA URBANA		PRECISION				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,61	0,63	0,64	0,65	0,65
	10	0,60	0,63	0,64	0,65	0,65
	15	0,59	0,63	0,64	0,65	0,65
	20	0,59	0,62	0,65	0,65	0,65

Tabla60. Precisión F-SCORE zona Urbana no terreno MLS.

MLS ZONA URBANA		F-SCORE				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,74	0,75	0,75	0,75	0,74
	10	0,73	0,75	0,76	0,76	0,75
	15	0,73	0,75	0,75	0,76	0,75
	20	0,73	0,75	0,76	0,76	0,75



3.3.6. Cálculo de la precisión en ZONA RURAL – TERRENO.

Tabla61. Precisión RECALL zona Rural terreno MLS.

MLS ZONA RURAL		RECALL				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,46	0,53	0,56	0,58	0,59
	10	0,45	0,53	0,56	0,58	0,59
	15	0,45	0,53	0,56	0,58	0,59
	20	0,45	0,53	0,56	0,58	0,59

Tabla62. Precisión PRECISION zona Rural terreno MLS.

MLS ZONA RURAL		PRECISION				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,94	0,94	0,94	0,91	0,89
	10	0,97	0,96	0,95	0,91	0,89
	15	0,97	0,96	0,95	0,91	0,89
	20	0,97	0,96	0,95	0,91	0,89

Tabla63. Precisión F-SCORE zona Rural terreno MLS.

MLS ZONA RURAL		F-SCORE				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,62	0,68	0,70	0,71	0,71
	10	0,61	0,69	0,71	0,71	0,71
	15	0,61	0,69	0,71	0,71	0,71
	20	0,61	0,69	0,71	0,71	0,71



3.3.7. Cálculo de la precisión en ZONA RURAL – NO TERRENO.

Tabla64. Precisión RECALL zona Rural no terreno MLS.

MLS ZONA RURAL		RECALL				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,87	0,84	0,83	0,75	0,67
	10	0,93	0,90	0,85	0,75	0,67
	15	0,93	0,90	0,85	0,75	0,67
	20	0,93	0,90	0,85	0,75	0,67

Tabla65. Precisión PRECISION zona Rural no terreno MLS.

MLS ZONA RURAL		PRECISION				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,26	0,29	0,30	0,28	0,26
	10	0,27	0,30	0,30	0,28	0,26
	15	0,27	0,30	0,30	0,28	0,26
	20	0,27	0,30	0,30	0,28	0,26

Tabla66. Precisión F-SCORE zona Rural no terreno MLS.

MLS ZONA RURAL		F-SCORE				
		MAX. SLOPE				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
SEARCH RADIUS	5	0,40	0,43	0,44	0,41	0,38
	10	0,42	0,45	0,45	0,41	0,38
	15	0,42	0,45	0,45	0,41	0,38
	20	0,42	0,45	0,45	0,41	0,38



4. Discusión.

En primer lugar vamos a hacer un análisis de que algoritmo clasifica más puntos por zonas:

- En la zona de garrucha el filtro ETEW con unos parámetros definidos en la tabla 4, es el que más puntos clasifica, concretamente con un "height-width-slope= 0.5-0.5-1" con un total de 47.622 puntos de un total real de 34.410, lo cual nos indica que la precisión no es muy exacta, más adelante se analizara la precisión de cada filtro en cada zona, y cuál es el mejor para cada zona. Teniendo en cuenta esto, en este filtro los parámetros que más se acercan a dato real de puntos clasificados con ArcGIS de forma manual son: (Height_Width_Slope = 0.5_0.5_0.4) con 32.470 y (Height_Width_Slope = 1_1_1.0) con 34.994.
- En la zona Urbana el filtro ETEW con los parámetros antes mencionados que más se acercan al dato real (22641) de puntos clasificados manualmente son (Height_Width_Slope = 0.5_0.5_0.6) con 21.142 y (Height_Width_Slope = 0.5_0.5_0.8) con 22.781.
- En la zona rural el filtro ETEW con los parámetros antes mencionados que más se acercan al dato real (22641) de puntos clasificados manualmente son (Height_Width_Slope = 0.5_0.5_0.8) con 17.479 y (Height_Width_Slope = 0.5_0.5_1.0) con 18.744.

Apuntar que los parámetros (Height_Width 0.5_0.5) en ambas zonas son los más eficientes.

- En la zona GARRUCHA el filtro ATIN con los parámetros de finidos en tabla 25, Z diff. Y Angle que más se acercan al dato real (34.410) de puntos clasificados manualmente son (Z diff_Angle= 0.6_45°) con 32.676, (Z diff_Angle= 0.8_0°) con 31.368.
- En la zona URBANA el filtro ATIN con los parámetros antes mencionados que más se acercan al dato real (22641) de puntos clasificados manualmente son (Z diff_Angle= 0.8_45°) con 17.358. este filtro no trabaja muy bien a la hora de clasificar los puntos ya que en todos los casos ha quedado por debajo del umbral 22641.
- En la zona RURAL el filtro ATIN con los parámetros antes mencionados que más se acercan al dato real (18.956) de puntos clasificados manualmente son (Z diff_Angle= 1.0_45°) con 21.142.

Apuntar que en todos los casos de clasificación TIN el más preciso es el de 45° y siempre con Z.diff superiores a 0.6.



- En la zona GARRUCHA el filtro MLS con los parámetros de finidos en tabla 46, SEARCH RADIUS Y MAX. SLOPE que más se acercan al dato real (34.410) de puntos clasificados manualmente son (SEARCH RADIUS_MAX. SLOPE= 5_1) con 29.789 y para (SEARCH RADIUS_MAX. SLOPE= 10_1; 15_1 y 20_1) con 27.729.
- En la zona URBANA el filtro MLS con los parámetros antes mencionados que más se acercan al dato real (22641) de puntos clasificados manualmente son (SEARCH RADIUS_MAX. SLOPE= 5_1) con 15.554.
- En la zona RURAL el filtro MLS con los parámetros antes mencionados que más se acercan al dato real (18.956) de puntos clasificados manualmente son ((SEARCH RADIUS_MAX. SLOPE= 5_1) con 12.531.

Apuntar que en todos los casos de clasificación MLS el parámetro más preciso es el de max. Slope = 1 independientemente del radio de búsqueda, aunque el más preciso es (SEARCH RADIUS_MAX. SLOPE= 5_1)



5. Conclusiones.

Se analiza la precisión calculada por el método de Goutte, C., and E. Gaussier, 2005 mediante Ec.7, Ec. 8 y Ec.9. Observando la siguiente tabla obtenemos:

PRECISION EN ETEW					
ZONA GARRUCHA					
TERRENO			NO TERRENO		
0.5_0.5_1	0.89	RECALL	2_2_0.2	0.99	RECALL
1_1_0.2	0.92	PRECISION	0.5_0.5_1	0.91	PRECISION
0.5_0.5_0.4	0.83	F-SCORE	0.5_0.5_0.2	0.90	F-SCORE
ZONA URBANA					
0.5_0.5_1	0.86	RECALL	2_2_0.2	0.97	RECALL
0.5_0.5_0.2	0.90	PRECISION	0.5_0.5_1	0.83	PRECISION
0.5_0.5_1.0	0.83	F-SCORE	0.5_0.5_0.2	0.84	F-SCORE
ZONA RURAL					
0.5_0.5_1	0.83	RECALL	2_2_0.2	0.99	RECALL
0.5_0.5_0.2	0.96	PRECISION	0.5_0.5_1	0.91	PRECISION
0.5_0.5_0.4	0.85	F-SCORE	0.5_0.5_0.2	0.90	F-SCORE



PRECISION EN ATIN					
ZONA GARRUCHA					
TERRENO			NO TERRENO		
30°_0.8	0.69	RECALL	30°_0.8	0.72	RECALL
15°_0.2	0.84	PRECISION	15°_0.4	0.81	PRECISION
30°_0.4	0.72	F-SCORE	45°_0.2	0.72	F-SCORE
ZONA URBANA					
30°_0.8	0.62	RECALL	0°_0.2	0.97	RECALL
15°_0.2	0.92	PRECISION	45°_0.8	0.67	PRECISION
30°_0.8	0.70	F-SCORE	45°_0.2	0.77	F-SCORE
ZONA RURAL					
45°_1.0	0.66	RECALL	30°_0.2	0.93	RECALL
30°_0.2	0.97	PRECISION	30°_0.2	0.33	PRECISION
30°_0.4	0.74	F-SCORE	30°_0.4	0.49	F-SCORE



PRECISION EN MLS					
ZONA GARRUCHA					
TERRENO			NO TERRENO		
20_1.0	0.63	RECALL	20_0.2	0.98	RECALL
15_0.2	0.93	PRECISION	15_0.6	0.87	PRECISION
20_1.0	0.70	F-SCORE	15_0.4	0.87	F-SCORE
ZONA URBANA					
5_1.0	0.57	RECALL	20_0.2	0.96	RECALL
15_0.2	0.91	PRECISION	20_1.0	0.65	PRECISION
20_1.0	0.68	F-SCORE	20_0.8	0.76	F-SCORE
ZONA RURAL					
20_1.0	0.59	RECALL	15_0.2	0.93	RECALL
15_0.2	0.97	PRECISION	10_0.4	0.30	PRECISION
15_1.0	0.71	F-SCORE	15_0.4	0.45	F-SCORE



6. Referencias.

- Axelsson, P., 2000. DEM generation from laser scanner data using adaptive tin models. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXIII, Part B3, 85-92.
- Sithole, G. and Vosselman, G., 2004. Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 59, 85-101.
- George Sithole, George Vosselman Departamento de Observación de la Tierra y Sistemas Espaciales de la Facultad de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad Tecnológica de Delft.P.O. Caja 5058, 2600 GB Dc1ft, Países Bajos.Aceptado 07 de mayo 2004.
- Zhang, K., Chen, S., Whitman, D., Shyu, M., Yan, J. and Zhang, C., 2003. A progressive morphological filter for removing non-ground measurements from airborne LIDAR data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41, 872-882.
- Zhang, K. and Whitman, D., 2005. Comparison of three algorithms for filtering airborne LIDAR data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 71, 313-324.

Referencias de los indicadores de precisión:

- Goutte, C., and E. Gaussier, 2005. A probabilistic interpretation of precision, recall and F-score, with implication for evaluation, Advances in Information Retrieval, 3408:345–359.
- Sokolova, M., N. Japkowicz, and S. Szpakowicz, 2006. Beyond accuracy, F-score and ROC: A family of discriminant measures for performance evaluation, AI 2006: Advances in Artificial Intelligence (A. Sattar and B.-H. Kang, editors), Springer Berlin, Heidelberg, pp. 1015–1021.



Índice de figuras.

- Figura 1. Representación del funcionamiento del sistema LIDAR. Fuente: http://forsys.cfr.washington.edu/JFSP06/lidar_technology.htm
- Figura 2. Ejemplo de longitudes de onda que no permiten la penetrabilidad en el agua. Fuente: [Propia](#).
- Figura 3. Ejemplo de onda continua. Cada pico correspondería a un retorno. Fuente: <http://www.geolas.com/Pages/laser.html>
- Figura 4. Ejemplo de rebote de pulso múltiple. Fuente: [Informe denominado “Procesado de datos LIDAR” de la empresa Stereocarto. Proyecto SADMO.](#)
- Figura 5. Tipos de patrón de escaneo. Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Tipos_de_LIDAR.jpeg
- Figura 6. Esquema de funcionamiento del sistema GPS en vuelos LIDAR. Fuente: <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=094>
- Figura 7. Sistema Inercial de Applanix. Unidad de medida frente a unidad de procesamiento. Fuente: <http://www.alava-ing.es/ingenieros/productos/oceanografia/sistemas-de-posicionamiento/sistemas-de-posicionamiento-y-orientacion-applanix/>
- Figura 8. Zona rural. Fuente: [Propia](#)
- Figura 9. Zona urbana geométrica. Fuente: [Propia](#)
- Figura 10. Zona Urbana (Población de Garrucha, Almería). Fuente: [Propia](#)
- Figura 11. Disposición de las imágenes .TIF. Fuente: [Propia](#)
- Figura 12. Add X Y dat y elección de campos. Fuente: [Propia](#)
- Figura 13. Nube de puntos LiDAR sobre Zona Garrucha. Fuente: [Propia](#)
- Figura 14. Propiedades de capa. Fuente: [Propia](#)
- Figura 15. Cambio de propiedades de la capa. Fuente: [Propia](#)
- Figura 16. Selección de puntos por atributos. Fuente: [Propia](#)
- Figura 17. Clasificación de puntos, Campo GT. Fuente: [Propia](#)
- Figura 18. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2 en partes. Fuente: [Propia](#)
- Figura 19. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2 en partes. Fuente: [Propia](#)
- Figura 20. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2. Zona rural. Fuente: [Propia](#).



Figura 21. Clasificación de puntos, Campo GT por categorías 1 y 2. Zona urbana geométrica.

Fuente: Propia.



Índice de tablas.

- Tabla1. Número de puntos clasificados zona garrucha ETEW
- Tabla2. Número de puntos clasificados zona Urbana ETEW
- Tabla3. Número de puntos clasificados zona Rural ETEW
- Tabla4. Número de puntos clasificados zona Garrucha ETEW
- Tabla5. Número de puntos clasificados zona Urbana ETEW
- Tabla6. Número de puntos clasificados zona Rural ETEW
- Tabla7. Precisión RECALL zona Garrucha terreno ETEW
- Tabla8. Precisión PRECISION zona Garrucha terreno ETEW
- Tabla9. Precisión F-SCORE zona Garrucha terreno ETEW
- Tabla10. Precisión RECALL zona Garrucha no terreno ETEW
- Tabla11. Precisión PRECISION zona Garrucha no terreno ETEW
- Tabla12. Precisión F-SCORE zona Garrucha no terreno ETEW
- Tabla13. Precisión RECALL zona Urbana terreno ETEW
- Tabla14. Precisión PRECISION zona Urbana terreno ETEW
- Tabla15. Precisión F-SCORE zona Urbana terreno ETEW
- Tabla16. Precisión RECALL zona Urbana no terreno ETEW
- Tabla17. Precisión PRECISION zona Urbana no terreno ETEW
- Tabla18. Precisión F-SCORE zona Urbana no terreno ETEW
- Tabla19. Precisión RECALL zona Rural terreno ETEW
- Tabla20. Precisión RECALL zona Rural terreno ETEW
- Tabla21. Precisión F-SCORE zona Rural terreno ETEW
- Tabla22. Precisión RECALL zona Rural terreno ETEW
- Tabla23. Precisión RECALL zona Rural terreno ETEW
- Tabla24. Precisión F-SCORE zona Rural terreno ETEW
- Tabla25. Número de puntos clasificados zona Garrucha ATIN



- Tabla26. Número de puntos clasificados zona Urbana ATIN
- Tabla27. Número de puntos clasificados zona Rural ATIN
- Tabla28. Precisión RECALL zona Garrucha terreno ATIN
- Tabla29. Precisión PRECISION zona Garrucha terreno ATIN.
- Tabla30. Precisión F-SCORE zona Garrucha terreno ATIN
- Tabla31. Precisión RECALL zona Garrucha no terreno ATIN
- Tabla32. Precisión PRECISION zona Garrucha no terreno ATIN
- Tabla33. Precisión F-SCORE zona Garrucha no terreno ATIN
- Tabla34. Precisión RECALL zona Urbana terreno ATIN
- Tabla35. Precisión PRECISION zona Urbana terreno ATIN
- Tabla36. Precisión F-SCORE zona Urbana terreno ATIN
- Tabla37. Precisión RECALL zona Urbana no terreno ATIN
- Tabla38. Precisión PRECISION zona Urbana no terreno ATIN
- Tabla39. Precisión F-SCORE zona Urbana no terreno ATIN
- Tabla40. Precisión RECALL zona Rural terreno ATIN
- Tabla41. Precisión PRECISION zona Rural terreno ATIN
- Tabla42. Precisión F-SCORE zona Rural terreno ATIN.
- Tabla43. Precisión RECALL zona Rural no terreno ATIN
- Tabla44. Precisión PRECISION zona Rural no terreno ATIN
- Tabla45. Precisión F-SCORE zona Rural no terreno ATIN.
- Tabla46. Número de puntos clasificados zona Garrucha por MLS.
- Tabla47. Número de puntos clasificados zona Urbana por MLS.
- Tabla48. Número de puntos clasificados zona Rural por MLS.
- Tabla49. Precisión RECALL zona Garrucha terreno MLS.
- Tabla50. Precisión PRECISION zona Garrucha terreno MLS.
- Tabla51. Precisión F-SCORE zona Garrucha terreno MLS.
- Tabla52. Precisión RECALL zona Garrucha no terreno MLS.
- Tabla53. Precisión PRECISION zona Garrucha no terreno MLS



Tabla54. Precisión F-SCORE zona Garrucha terreno MLS.

Tabla55. Precisión RECALL zona Urbana terreno MLS

Tabla56. Precisión PRECISION zona Urbana terreno MLS

Tabla57. Precisión F-SCORE zona Urbana terreno MLS.

Tabla58. Precisión RECALL zona Urbana no terreno MLS.

Tabla59. Precisión PRECISION zona Urbana no terreno MLS.

Tabla60. Precisión F-SCORE zona Urbana no terreno MLS

Tabla61. Precisión RECALL zona Rural terreno MLS.

Tabla62. Precisión PRECISION zona Rural terreno MLS

Tabla63. Precisión F-SCORE zona Rural terreno MLS.

Tabla64. Precisión RECALL zona Rural no terreno MLS.

Tabla65. Precisión PRECISION zona Rural no terreno MLS.

Tabla66. Precisión F-SCORE zona Rural no terreno MLS.



Resumen:

El objetivo de este trabajo fin de máster fue el análisis de la precisión obtenida de los algoritmos incorporados al Software ALDPAT, concretamente analizamos profundamente 3 de ellos y son: Adaptative TIN, Maximum Local Slope (MLS), Elevation Threshold with Expand Window (ETEW), a través de los índices RECALL, PRECISION y F-SCORE según Goutte, C., and E. Gaussier, 2005. De esta forma calcularíamos un recall, precisión y F-score para cada una de las clases clasificadas o filtradas (microrrelieve y suelo).

Las nubes de puntos LiDAR utilizadas, corresponden concretamente a 3 zonas de la provincia de Almería con diferente fisionomía, una de las zonas corresponde a la zona de la Población de Garrucha, otra a una zona Urbana y la última zona es Zona Rural.

Previamente antes de hacer el análisis con los algoritmos de ALDPAT para la extracción automática de puntos sin clasificar como terreno y no terreno, se clasificaron los puntos de las nubes con ArcGIS en puntos referentes a terreno desnudo clasificado con un valor de 1 y en puntos de terreno no desnudo clasificados con un valor de 2, para después verificar el rendimiento de cada uno de los algoritmos. Estos datos son exportados a un archivo Excel con los campos X, Y, Z y GT, donde X e Y son coordenadas, Z la altura del punto y GT es el campo referente a la clasificación realizada.

Palabras clave. LiDAR, ArGIS, ALDPAT, Escaneo láser, modelos digitales de elevaciones (MDE), Nube de puntos.

