

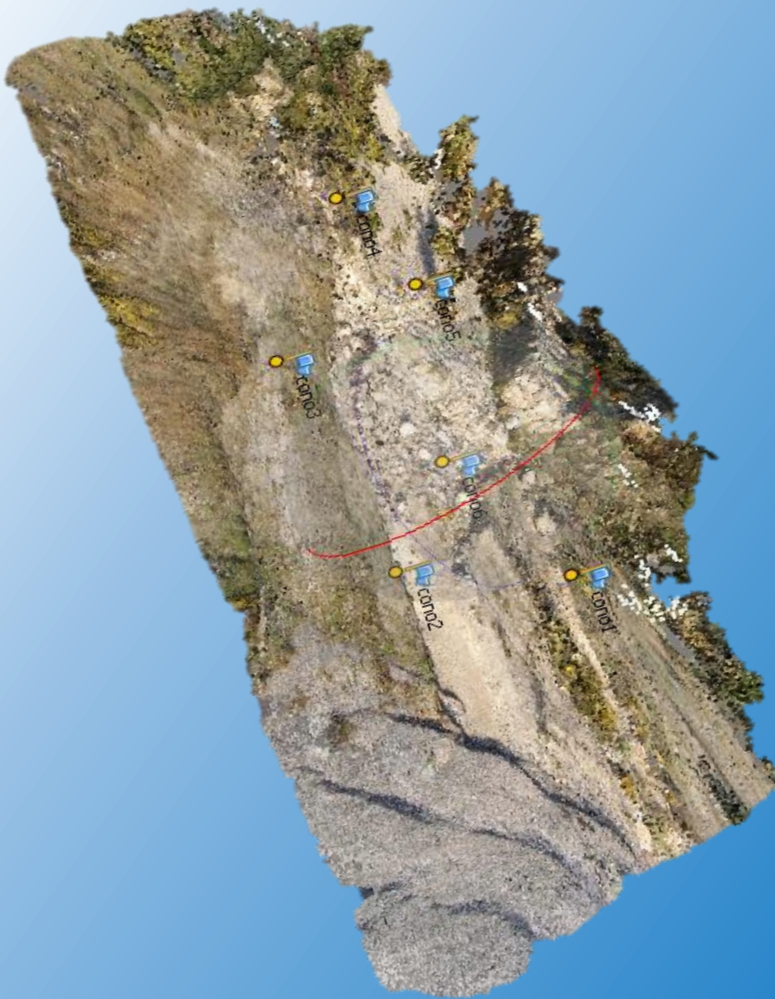


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

# Generación de modelos 3D del fondo de la Rambla Cervera mediante fotografías terrestres convencionales y su comparación con datos LiDAR



Alumna:

Eva Álvarez Coronas [evlvaco@topo.upv.es](mailto:evlvaco@topo.upv.es)

Tutor:

Alfonso Fernández Sarriá

02/12/16



## Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN .....	9
1.1.	Justificación del proyecto .....	9
1.2.	Objetivo .....	10
1.3.	Zona de estudio .....	11
2.	Conceptos previos .....	14
2.1.	Fotogrametría .....	14
2.1.1.	Generalidades .....	14
2.1.2.	Definición de la fotogrametría .....	14
2.1.3.	Fundamento de la fotogrametría .....	15
2.1.4.	Etapas de la fotogrametría .....	15
2.1.5.	Recuento histórico .....	16
2.1.6.	Hitos en el desarrollo de la fotogrametría .....	18
2.1.7.	Divisiones de la fotogrametría .....	20
3.	DESARROLLO .....	22
3.1.	Equipo utilizado .....	22
3.1.1.	Cámara .....	22
3.1.2.	GPS .....	24
3.2.	Software utilizado .....	26
3.2.1.	LASZip .....	26
3.2.2.	PhotoScan .....	26
3.2.3.	FUSION/LDV .....	27
3.2.4.	ArcGIS .....	30
3.3.	Metodología .....	30
3.4.	Proceso .....	32
3.4.1.	Proceso con datos LIDAR .....	32
3.4.2.	Procesamiento con fotografías digitales .....	46
3.5.	Visualización y comparación de modelos .....	63
4.	CONCLUSIONES .....	67
4.1.	Tiempo y costes .....	70
4.2.	Conclusión .....	71
5.	Bibliografía .....	72

## Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Barranc Molina .....	12
Ilustración 2. Puente Cervera. (La zona próxima al municipio Cervera del Maestre).....	13
Ilustración 3. Coronel Aimé Laussedat (Tomado de Blachut, 1988). .....	19
Ilustración 4. Ejemplo fotogrametría objeto cercano. (Obtenido: <a href="http://oa.upm.es/34811/1/TFC_MARTA_GARCIA_LOPEZ.pdf">http://oa.upm.es/34811/1/TFC_MARTA_GARCIA_LOPEZ.pdf</a> ).....	21
Ilustración 5. Cámara Sony DSRL-A330. ....	22
Ilustración 6. Cámara Sony DSRL-A330. ....	22
Ilustración 7. Especificaciones técnicas de la cámara. ....	24
Ilustración 8. Componentes del GPS. ....	25
Ilustración 9. Especificaciones técnicas del GPS utilizado.....	25
Ilustración 10. Interfaz principal de FUSION. ....	28
Ilustración 11. Interfaz principal de LVD .....	29
Ilustración 12. Interfaz CMD. ....	29
Ilustración 13. Esquema de trabajo.....	31
Ilustración 14. Pasos a seguir para la descarga de los datos LIDAR en CNIG. ....	32
Ilustración 15. Resultado de la búsqueda en visor en el CNIG.....	33
Ilustración 16. Pasos a seguir para la descompresión de los archivos LAZ a LAS. ....	33
Ilustración 17. Visualización en PDQ de los datos LIDAR pertenecientes a la zona del Barranc de Molina. ....	34
Ilustración 18. Visualización en PDQ de los datos LIDAR pertenecientes a la zona del Puente de Cervera. ....	34
Ilustración 19. Código PolyClipData. ....	35
Ilustración 20. Delimitación de la zona de estudio Barranc Molina. ....	36
Ilustración 21. Delimitación de la zona de estudio Puente Cervera. ....	36
Ilustración 22. Delimitación de las diferentes áreas dentro de la zona de estudio Puente Cervera. .....	37
Ilustración 23. Resultado gráfico de la operación PolyClipData para la zona Barranc Molina visualizado en PDQ.....	37
Ilustración 24. Resultado gráfico de la operación PolyClipData para la zona A del Puente Cervera visualizado en PDQ.....	37
Ilustración 25. Resultado gráfico de la operación PolyClipData para la zona B del Puente Cervera visualizado en PDQ.....	38
Ilustración 26. Código FilterData.....	38
Ilustración 27. Código FilterData.....	39
Ilustración 28. Resultado gráfico de la operación FilterData para la zona del Barranc Molina visualizado en PDQ.....	39
Ilustración 29. Resultado gráfico de la operación FilterData para la zona A del Puente Cervera visualizado en PDQ.....	39
Ilustración 30. Resultado gráfico de la operación FilterData para la zona B del Puente Cervera visualizado en PDQ.....	39
Ilustración 31. Código GroundFilter. ....	40
Ilustración 32. Iteración 1 del proceso GroundFilter. ....	41

Ilustración 33. Iteración 5 del proceso GroundFilter. ....	41
Ilustración 34. Iteración 4 del proceso GroundFilter. ....	41
Ilustración 35. Iteración 3 del proceso GroundFilter. ....	41
Ilustración 36. Iteración 2 del proceso GroundFilter. ....	41
Ilustración 37. Iteración 1 del proceso GroundFilter sobre la zona del Barranc Molina. ....	42
Ilustración 38. Código GridSurfaceCreate .....	42
Ilustración 39. Resultado gráfico de la operación GridSurfaceCreate para la zona A del Puente Cervera visualizado en PDQ. ....	42
Ilustración 40. Resultado gráfico de la operación GridSurfaceCreate para la zona B del Puente Cervera visualizado en PDQ. ....	43
Ilustración 41. Código DTM2ASCII.....	43
Ilustración 42. Calibración de la cámara dentro del programa PhotoScan.....	46
Ilustración 43. Ventana Reference Settings de PhotoSacn. ....	47
Ilustración 44. Parámetros para la Alineación de las fotografías.....	47
Ilustración 45. Primera fotografía de la pasada 2 de la zona B del Puente Cervera.....	48
Ilustración 46. Última fotografía de la pasada 1 de la zona B del Puente Cervera.....	48
Ilustración 47. Nube de puntos de la zona Barranc de Molina en el software PhotoSacn.....	48
Ilustración 48. Espacio de trabajo de PhotoScan de la Zona Barranc de Molina.....	49
Ilustración 49. Nube de puntos del chunk 1 de la zona A del Puente Cervera. ....	49
Ilustración 50. Nube de puntos del chunk 2 de la zona A del Puente Cervera. 28 imágenes 115393 puntos. ....	49
Ilustración 51. Nube de puntos del chunk 3 de la zona A del Puente Cervera. 29 imágenes 42433 puntos. ....	50
Ilustración 52. Nube de puntos del chunk 4 de la zona A del Puente Cervera. 62 imágenes 50441 puntos. ....	50
Ilustración 53. Nube de puntos del chunk 1 de la zona B del Puente Cervera. 96 imágenes 736435 puntos. ....	50
Ilustración 54. Nube de puntos del chunk 2 de la zona B del Puente Cervera. 57 imágenes 85107 puntos. ....	51
Ilustración 55. Nube de puntos del chunk 3 de la zona B del Puente Cervera. 40 imágenes 68365 puntos .....	51
Ilustración 56 . Nube de puntos del chunk 4 de la zona B del Puente Cervera. 51 imágenes 73719 puntos .....	51
Ilustración 57. Coordenadas de los puntos de control de la Zona del Barranc de Molina. ....	52
Ilustración 58. Coordenadas de los puntos de control de la Zona A del Puente Cervera.....	53
Ilustración 59. Coordenadas de los puntos de control de la Zona B del Puente Cervera.....	53
Ilustración 60. Ejemplo de la colocación de marcadores sobre los conos en una de las imágenes. ....	53
Ilustración 61. Merge Chunks.....	54
Ilustración 62. Parámetros a escoger para la nube de puntos densa.....	55
Ilustración 63. Nube de puntos densa para la Zona del Barranc de Molina. ....	55
Ilustración 64. Nube de puntos densa para la Zona A del Puente Cervera.....	55
Ilustración 65. Nube de puntos densa para la Zona B del Puente Cervera.....	56
Ilustración 66. Ejemplo de la eliminación de ruido en la zona del Barranc de Molina. ....	56
Ilustración 67. Ejemplo de la eliminación de ruido en la zona A del Puente Cervera.....	57

Ilustración 68. Resultado de la eliminación de ruido en la zona A del Puente Cervera.....	57
Ilustración 69. Ejemplo de la eliminación de ruido en la zona B del Puente Cervera.....	57
Ilustración 70. Resultado de la eliminación de ruido en la zona B del Puente Cervera.....	57
Ilustración 71. Errores en las coordenadas de los marcadores de la zona Barranc de Molina. .	58
Ilustración 72. Errores en las coordenadas de los marcadores de la zona A del Puente Cervera. .....	58
Ilustración 73. Errores en las coordenadas de los marcadores de la zona B del Puente Cervera. .....	58
Ilustración 74. Selección de procesos en Batch Process. ....	59
Ilustración 75. Batch Process. ....	59
Ilustración 76. Comando Buuild DEM. ....	60
Ilustración 77. MDE de la zona del Barranc de Molina. ....	60
Ilustración 78. MDE de la zona B del Puente Cervera.....	61
Ilustración 79. MDE de la zona B del Puente Cervera.....	61
Ilustración 80. Localización del comando Export DEM. ....	62
Ilustración 81. Comando Export DEM. ....	62
Ilustración 82. MDE de los datos LIDAR de la zona del Barranc de Molina en formato Raster. .	63
Ilustración 83. MDE de los datos LIDAR de la zona A del Puente Cervera en formato Raster. ..	63
Ilustración 84. MDE de los datos LIDAR de la zona B del Puente Cervera en formato Raster....	64
Ilustración 85. MDE obtenido de las fotografías de la zona del Barranc de Molina en formato Raster. ....	64
Ilustración 86. MDE obtenido de las fotografías de la zona A del Puente Cervera en formato Raster. ....	65
Ilustración 87. MDE obtenido de las fotografías de la zona B del Puente Cervera en formato Raster. ....	65
Ilustración 88. Nube de puntos densa para la Zona del Barranc de Molina.....	67
Ilustración 89. Nube de puntos densa para la Zona A del Puente Cervera.....	67
Ilustración 90. Nube de puntos densa para la Zona B del Puente Cervera.....	68
Ilustración 91. MDE obtenido de las fotografías de la zona del Barranc de Molina en formato Raster. ....	69
Ilustración 92. MDE obtenido de las fotografías de la zona A del Puente Cervera en formato Raster. ....	69
Ilustración 93. MDE obtenido de las fotografías de la zona B del Puente Cervera en formato Raster. ....	70

## AGRADECIMIENTOS

Aprovecho este pequeño espacio para agradecer al tutor del proyecto, Alfonso Fernández Sarriá, su apoyo, sus consejos, su paciencia y su aporte de conocimientos y profesionalidad en el desarrollo de este trabajo tan importante para cualquier estudiante.

Agradecer, de igual manera, al conjunto de profesores del Grado en Ingeniería Geomática y Topografía por todos los conocimientos que me han brindado y transmitido a lo largo de esta carrera, gracias a los cuales he aprendido las bases teóricas del oficio que en breve espero poder poner en práctica.

A mi familia por todo el apoyo emocional y económico que me han prestado a lo largo de estos años y que han hecho posible poder estudiar este grado y llegar a alcanzar mis objetivos.

Y a mis compañeros de clase, que a su vez son buenos amigos, agradecerles todo el apoyo recibido en cada momento, y todos aquellos buenos recuerdos que hacen de estos años una fantástica experiencia.

## RESUMEN

La generación de modelos tridimensionales de espacios de rambla puede contribuir a mejorar su gestión, de tal forma que se estimen parámetros como pendientes, rugosidad de la superficie, posición de los canales de drenaje así como su actividad.

Los datos LiDAR disponibles del PNOA permiten realizar modelos tridimensionales mediante una serie de rutinas de trabajo si bien la densidad de puntos no es demasiado alta.

Por otro lado, ciertas técnicas fotogramétricas de objeto cercano permiten mediante el empleo de cámaras fotográficas convencionales la obtención de datos tridimensionales de los objetos.

En este proyecto se pretende valorar las ventajas e inconvenientes, así como los resultados obtenidos en términos de precisión con ambas metodologías de trabajo, así como valorar la precisión y rapidez de resultados obtenidos con distintos software.



## ABSTRAC

The generation of 3D models for dry watercourses can contribute to enhance their management, always taking into account relevant parameters, such as their slopes, the roughness of their surface, the position of their draining channels and their activity.

LiDAR data available on the PNOA allow the performance of 3D models by the use of adequate work routines, even though the density of points is not excessively high.

On the other hand, some photogrammetric techniques for near objects allow, by the use of conventional photographic cameras, the collection of 3D-data from the objects.

This project follows the objective of doing an appropriate evaluation of the advantages and disadvantages, as well as the results obtained following both methodologies, taking into account, mostly their precision, which could vary depending on the used software.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Justificación del proyecto

En la actualidad es muy necesaria la obtención de información cartográfica y topográfica de manera rápida, precisa y a bajo coste para una multitud de campos como arquitectura e ingeniería, medio ambiente, agricultura o incluso emergencias, y con el paso del tiempo cada vez más campos van incluyendo información cartográfica.

Por ello se lleva a cabo este proyecto, para poder comparar dos métodos de obtener información cartográfica y topográfica, en específico dos maneras de obtener modelos 3D del terreno.

Uno con datos LIDAR y otro mediante fotogrametría terrestre. No es muy común utilizar fotogrametría terrestre para la obtención de modelos 3D del terreno, pero las ciencias tecnológicas han avanzado tanto que han hecho posible la obtención de algoritmos que sean capaces de detectar y unir cientos de imágenes superpuestas, estimar los parámetros de precisión interna y externa de la cámara, producir nubes de puntos y obtener modelos 3D y ortomosaicos del terreno.

Por ello, se pretende comparar estos dos métodos de obtención de modelos 3D, para ver si podemos obtener un modelo 3D con una buena precisión de la fotogrametría terrestre. Ya que, podríamos ser capaces así de ahorrar el dinero y tiempo que se necesitar para crear un modelo 3D con datos LIDAR.

## 1.2. Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es el de crear modelos 3D del fondo de la Rambla Cervera, a partir de fotografías digitales, obtenidas mediante una cámara al alcance de cualquiera y su comparación con modelos 3D, obtenidos a través de datos LIDAR proporcionados por el CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica).

Como objetivos secundarios se propone:

- Afianzar el concepto de generación de modelos 3D mediante fotogrametría terrestre (a partir de cámaras convencionales).
- La valoración y análisis de los resultados obtenidos de los modelos 3D generados.
- Valorar las ventajas e inconvenientes de los métodos utilizados en este documento.

Además, como objetivo particular se encuentra el análisis geomorfológico, a partir de los modelos 3D generados. En dicho análisis se puede mencionar el estudio del relieve, de la pendiente, cuantificando canales de drenaje y el estudio, si fuese de interés, de la vegetación existente en la zona estudiada.

### 1.3. Zona de estudio

Este trabajo se localiza en la Rambla Cervera, comúnmente conocida como Riu Sec. Esta rambla del Baix Maestrat, se forma en las vertientes orientales del Peiró de Vallibona, dentro de los términos de Morella y Catí.

Desde un punto de vista geomorfológico, una rambla puede definirse como el lecho fluvial que consta de dos secciones; una alta, similar a los canales de escorrentía perenne, es decir, con pocas pendientes y poco anchura, y otra baja donde se incrementa la anchura aunque puede sufrir frecuentes oscilaciones, que se relacionan con la textura del material del lecho y con la pendiente (Thornes, 1976)

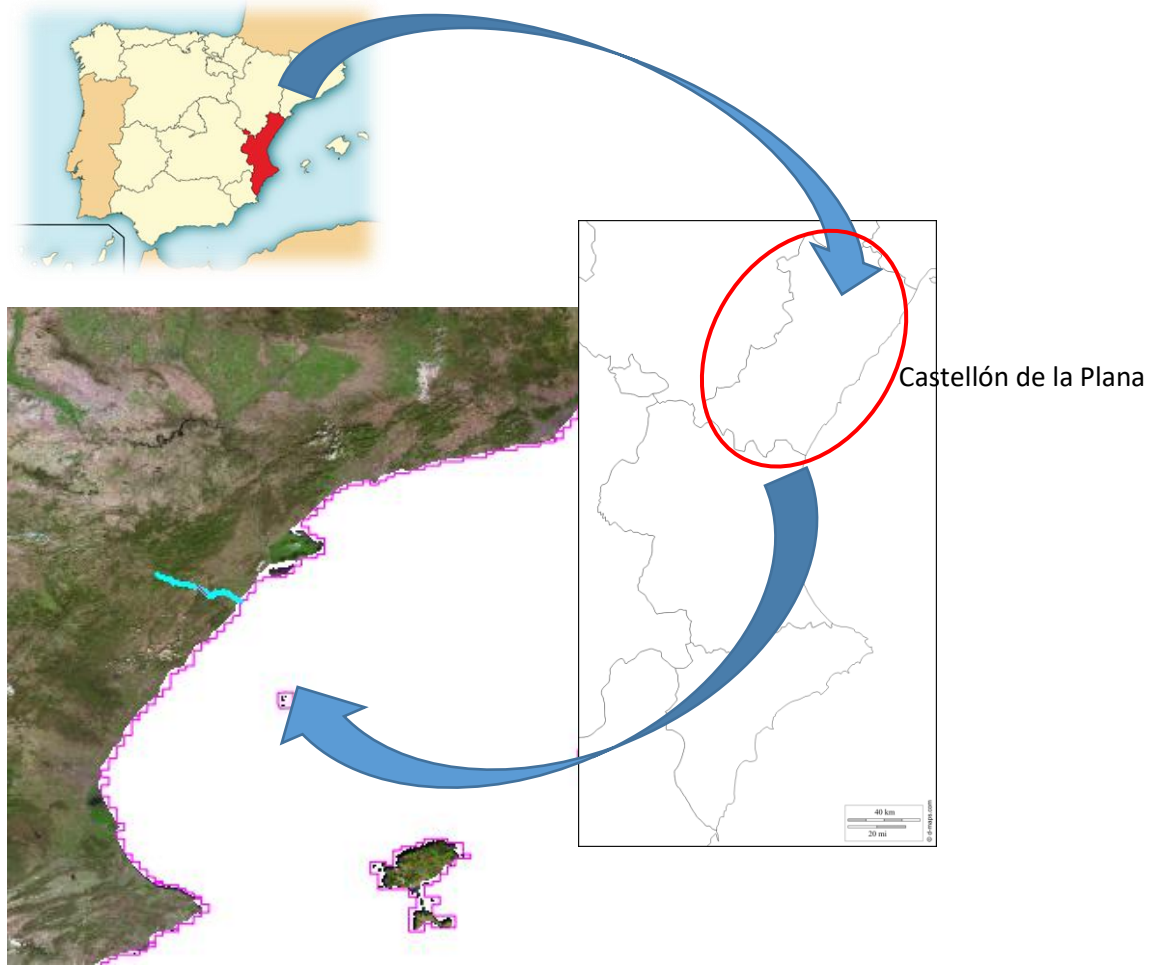
En la cuenca alta existe un bajo índice de relaciones anchura/profundidad y en la cuenca baja, por el contrario, el índice de relación anchura/profundidad es más elevado. Por tanto, debido a la abundancia de materia de lecho aumenta la pérdida por transmisión incrementándose la capacidad de almacenaje de agua subálvea (Thornes, 1980).

Hidrológicamente hablando nuestras ramblas son valles secos calizos afectados por cambios alogénicos y autogénicos (mateu, 1982).

Los autogénicos hacen referencia principalmente a la permeabilidad del roque que facilita el desarrollo de un drenaje subterráneo. Y entre las causas alogénicas cabe distinguir las definiciones de Gregory y Walling (1973); sobreimposición de un curso fluvial que pasa de una litología impermeable a otra permeable; cambios climáticos que favorecen el descenso de las precipitaciones o de la evapotranspiración; descenso del nivel acuífero, por sobreexplotación, recesión de la vertientes y/o incisión del valle y por la elevación del continente y/o descenso del nivel del mar.

Por lo tanto, la Rambla Cervera por su característica geomorfológica la podemos ajustar a la definición de rambla explicada anteriormente. Podemos considerar que se trata de un valle seco cuya circulación efímera parece que está relacionada con la permeabilidad de las calizas y los cambios climáticos.

La localización de esta Rambla se encuentra en la provincia de Castellón, y se extiende por los municipios de Chert y Sant Mateu, hasta llegar a los términos de Cervera del Maestre y de Càlig, donde se estrecha y continua por Vinarós y termina desembocando en el mar, muy próximo a Benicarló.



Este documento se centra en dos regiones de la rambla muy características, pues una de ellas es el Barranc de Molina, y otra cerca del municipio Cervera del Maestre.



Ilustración 1. Barranc Molina.

La principal característica que hace a la zona del Barranc del Molina interesante, es el hecho de que se encuentra la confluencia de dos ramblas, una confluencia muy bien diferenciada en el terreno y que nos puede servir de mucha utilidad en un futuro como modelo de comparación



**Ilustración 2. Puente Cervera. (La zona próxima al municipio Cervera del Maestre).**

Por otro lado, la zona cercana a Cervera del Maestre es un trazado donde la rambla se estrecha, pues aunque esa zona pueda llegar a medir hasta los 25 m, a su alrededor el ancho de esta rambla se incrementa notablemente. Esto provocó que muchos de los materiales que transportaba el río quedasen sedimentados en esta zona tan sujeta a cambios.

## 2. Conceptos previos

### 2.1. Fotogrametría

#### 2.1.1. Generalidades

La fotogrametría es una disciplina que crea modelos en 3D a partir de imágenes 2D, para de esta manera obtener características geométricas de los objetos que representan, mediante el uso de relaciones matemáticas establecidas en la geometría proyectiva, y de la visión estereoscópica que posee en forma natural el ser humano. Ya que las imágenes de los objetos son obtenidas por medios fotográficos, la medición se realiza a distancia, sin que exista contacto físico con el objeto.

Desde sus inicios, la fotogrametría se ha convertido en la herramienta indispensable en la producción de la base cartográfica de todos los países del mundo; de hecho, la mayoría de la cartografía topográfica de nuestro planeta a sido realizada por medio de esta disciplina. Si bien la fotogrametría tuvo su inicio en el levantamiento de fachadas arquitectónicas y plantas de edificios, mediante el uso de fotografías terrestres, pronto se utilizaron las fotografías aéreas para el levantamiento de la cartografía de base, lo que le dio el tremendo auge que ha mantenido hasta nuestros días.

Esta capacidad de cartografiado de base la convierte también en la fuente primigenia de información para la cartografía temática y para los sistemas de información geográficos. Como consecuencia de la utilización de la fotografía aérea, se desprendió de la fotogrametría la disciplina de la fointerpretación, la cual comparte sus fundamentos básicos con la fotogrametría aérea.

A partir de los años ochenta, el desarrollo acelerado de la computación, condujo al establecimiento de la teledetección como consecuencia lógica de la evolución de la fointerpretación, así como al desarrollo de técnicas de tratamiento computarizado de imágenes digitales y al desarrollo de la visión por computadora.

Actualmente, con el apoyo de la computación, la fotogrametría se ha convertido en una disciplina indispensable en el campo de la cartografía, a la vez que aumenta el número de sus usuarios debido a que los equipos fotogramétricos de elevado costo, están siendo desplazados por programas de precio menor, o por programas desarrollados por los mismos usuarios.

#### 2.1.2. Definición de la fotogrametría

Definición: Fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado.

Esta definición es en esencia, la adoptada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS).

Por otra parte, la sociedad americana de fotogrametría y sensores remotos (ASPRS), tiene la siguiente definición, ligeramente más completa que la anterior:

Fotogrametría es el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información confiable de objetos físicos y su entorno, mediante el proceso de exponer, medir e interpretar tanto imágenes fotográficas como otras, obtenidas de diversos patrones de energía electromagnética y otros fenómenos.

Etimológicamente, la palabra fotogrametría se deriva de las palabras griegas  $\phi\omega\tau\omicron\varsigma$  photos, que significa luz;  $\gamma\rho\alpha\mu\mu\alpha$ , gramma, que significa lo que está dibujado o escrito, y  $\mu\epsilon\tau\rho\omicron\nu$ , metrón, que significa medir. Usando en conjunto esas palabras fotogrametría significa medir gráficamente por medio de la luz.

### 2.1.3. Fundamento de la fotogrametría

El principio en el que se basa la fotogrametría consiste en proyectar en forma ortogonal sobre un plano de referencia, la imagen registrada en una fotografía, la cual ha sido proyectada sobre el negativo mediante la proyección central, que es la usada por las lentes.

En fotogrametría se asume que la proyección central es perfecta, lo cual implica que:

- No existe desviación de los rayos de luz que atraviesan los lentes de la cámara.
- La imagen se proyecta sobre una superficie perfectamente plana.
- La relación matemática que relaciona el objeto y su imagen se conoce con el nombre de principio de colinealidad.

### 2.1.4. Etapas de la fotogrametría

El paso de la proyección central a la proyección ortogonal se puede realizar bien sea por la fotogrametría gráfica, prácticamente en desuso en nuestros días, o por la estereofotogrametría, la cual es usada actualmente en la inmensa mayoría de los trabajos fotogramétricos. La fotogrametría gráfica, usando los principios de la geometría proyectiva, marcó el inicio de esta disciplina, ya que para la época era la única forma en que se podían restituir las fotografías. Esta modalidad se basa en la intersección de líneas que parten de dos estaciones diferentes, es decir de los puntos en que se tomaron las fotografías, hacia un punto común. Actualmente, gracias a la capacidad de cálculo que ofrecen las computadoras, el uso de esta forma de restitución se ha convertido, para algunos casos especiales, en una alternativa que puede competir con la estereofotogrametría. La estereofotogrametría se basa en la visión estereoscópica para recrear en la mente del observador un modelo estereoscópico a partir de un par de fotografías, tomadas cada una de ellas desde una posición diferente, para ser observadas en forma separada por el ojo respectivo. De esta manera, cada ojo transmite al cerebro una imagen ligeramente diferente del otro, tal como lo hacen al observar los objetos tridimensionales. El cerebro interpretará entonces esas diferencias como diferencias en la profundidad, y formará un modelo estereoscópico en la mente del observador. Si se introduce un punto artificial sobre cada fotografía, mediante el aparato de observación, de manera que la posición relativa entre los mismos pueda variar, la sensación de profundidad para el punto también variará. La posibilidad de colocar un punto cuya altura sobre el modelo puede ser modificada, así como la posición sobre el mismo, permite establecer un nexo entre el modelo que el observador recrea y las coordenadas registradas por el aparato de observación, que definen la posición del punto. Si se establece un vínculo entre la marca flotante y un aparato trazador, el recorrido que la marca



flotante realiza sobre el modelo será dibujado, teniendo entonces como resultado un plano del modelo. La aplicación del uso de la marca flotante encuentra su expresión en los llamados aparatos restituidores, los cuales son los que realizan los mapas y planos fotogramétricos.

La estereofotogrametría se ha llevado a cabo por las siguientes técnicas:

- La fotogrametría analógica, que surge en la década de los treinta basada en aparatos de restitución y es la responsable de la realización de la mayoría de la cartografía mundial. En ella, un par de fotografías es colocado en un aparato restituidor de tipo óptico o mecánico. El operador realiza en forma manual la orientación interior y exterior para crear el modelo estereoscópico, debidamente escalado y nivelado. El levantamiento de la información planimétrica y altimétrica del modelo se realiza también en forma manual, mediante el seguimiento con la marca flotante posada sobre los detalles de la superficie del modelo. Esta información es ploteada en una cartulina colocada sobre la mesa trazadora, relacionada con el modelo por medios mecánicos o eléctricos.
- La fotogrametría analítica, que aparece en 1957 como un desarrollo natural de la interrelación entre los aparatos restituidores analógicos y el surgimiento de la computación. En ella, la toma de información es analógica y el modelado geométrico es matemático. Mediante el uso de un monocomparador o de un estereocomparador integrado en el restituidor, se miden las coordenadas  $x$ ,  $y$  de los puntos pertinentes de las fotografías, coordenadas que son procesadas por los programas del computador del sistema. Este realiza el procesamiento de la orientación interior y exterior en forma analítica y procesa el levantamiento de la información del modelo que realiza el operador, para llevarla a su correcta posición ortogonal, y finalmente almacenarla en una base de datos tipo CAD.
- La fotogrametría digital, actualmente en auge, surge como consecuencia del gran desarrollo de la computación, que permitió realizar todos los procesos fotogramétricos mediante el uso de computadores. Con la fotogrametría digital crecen las posibilidades de explotación de las imágenes, a la vez que se simplifican las tecnologías, permitiendo con ello la generación automática de modelos de elevación del terreno, ortoimágenes y estereortoimágenes, generación y visualización de modelos tridimensionales etc. Para llevar a cabo la restitución digital, las imágenes digitales son ingresadas en el computador, y mediante visualización en pantalla de las mismas, el operador ingresa los puntos necesarios para realizar el proceso de orientación en forma matemática. La restitución puede ser un proceso iterativo con el operador o ser realizada en forma automática por correlación de imágenes. La salida en la fotogrametría digital puede ser en formato raster o formato vectorial.

### 2.1.5. Recuento histórico

La fotogrametría es una disciplina resultado de la convergencia de la óptica, la fotografía, las matemáticas (especialmente la geometría proyectiva), para realizar levantamientos de carácter cartográfico principalmente.

Por ello podemos iniciar sus raíces en la óptica, la primera de estas ciencias que tuvo un desarrollo práctico y cuyo aporte es fundamental, tanto en la captura de imágenes, como en su

posterior reconstrucción, y cuyo desarrollo teórico y práctico permitió la popularización, por parte de los pintores, de la cámara oscura, la cual constituye la base de la cámara fotográfica.

De hecho, en el siglo XVIII había alcanzado tal popularidad, que eran fabricadas casi en serie, adaptadas a los usos y circunstancias. Así pues, cuando aparecieron las primeras emulsiones fotográficas, ya contaban con un aparato relativamente perfeccionado donde podían ser colocadas para captar la luz. Paralelamente, los métodos matemáticos para realizar el alzado de objetos utilizando perspectivas, también habían sido desarrollados para el momento de la aparición de la fotografía, por lo que la utilización de la misma para el trazado de planos, fue inmediatamente puesto en práctica, con resultados satisfactorios.

La utilidad comprobada de la fotografía, para trabajos topográficos, estimuló el desarrollo de técnicas conducentes a mejorar las aplicaciones de la fotogrametría, la cual rápidamente se desplazó hacia una nueva plataforma de toma: las aeronaves.

El surgimiento de la aeronáutica, con el advenimiento de los aeróstatos, es contemporáneo con el de la fotografía por lo que la ventaja de la perspectiva aérea fue notada y aplicada de inmediato.

La primera guerra mundial puso en manos de los fotogrametristas abundantes recursos económicos que permitieron consolidar la fotogrametría aérea. También en esa guerra apareció una disciplina colateral a la fotogrametría, con un inmenso campo de aplicación: la fotointerpretación.

El desarrollo de las técnicas fotogramétricas continuó en forma progresiva, hasta que el desarrollo de las computadoras y de la fotografía digital, iniciado a partir de los años 70, le dio un nuevo y poderoso impulso a esta disciplina, arribando de esta manera al estado actual de la fotogrametría, una poderosa tecnología con un alto grado de sofisticación.

En forma paralela al progreso de las técnicas fotogramétricas, se desarrollaron las astronáuticas, permitiendo el acceso de la fotogrametría espacial, mediante sensores instalados a bordo de satélites. De esta manera, la Luna y Marte ya han sido mapeados mediante imágenes tomadas por estos satélites, y actualmente parte de los productos fotogramétricos provienen de imágenes tomadas desde el espacio. La fotogrametría en Venezuela se inició tardíamente, cuando se la creó el Servicio Aerofotográfico en 1935, el cual fue transformado en 1939 en Servicio Cartográfico Nacional.

A partir de ese momento, empezó la realización de mapas topográficos con diferentes escalas y con una proyección cónica secante, pasando en 1962 a la proyección UTM, que es la usada hoy en día.

### 2.1.6. Hitos en el desarrollo de la fotogrametría

1038: Alhazen publica su tratado sobre óptica, traducido al latín en el año 1270, bajo el título *Opticae Thesaurus Alhazeni libri vii*,

1553 Giovanni Battista della Porta describe detalladamente la cámara oscura; su construcción, así como los usos que se le pueden dar.

1704: Sir Isaac Newton publica el libro *Opticks*, estableciendo los principios de la óptica moderna.

1725: M. A. Capeller produce un mapa del Monte Pilatus, basándose en dibujos en perspectiva.

1727: Johan Heinrich Schulze determina la sensibilidad de las sales de plata a la luz.

1759: Johan Heinrich Lambert desarrolló en su obra *Perspectiva libre*, el procedimiento sistemático para la transformación de una perspectiva.

1802: Thomas Wedgwood inicia las primeras aplicaciones de las ideas de Schulze.

1819 John Herschel descubre el hiposulfito de sodio, que servirá para fijar la imagen.

1827: Joseph Nicéphore Niépce toma la primera fotografía del mundo.

1832: Sir Charles Wheatstone descubre la forma de recrear la visión estereoscópica mediante dos dibujos con puntos de vista ligeramente diferentes, y un visor para su observación, al que llamó "estereoscopio".

1837: Louis Daguerre, asociado con Niépce, inventa un proceso de yoduro de plata sobre una placa de cuero. El tiempo de exposición, de ocho horas mediante el proceso de Niépce, se reduce a una veintena de minutos.

1839: el 19 de agosto, François Arago, un geodesta de la Academia Francesa de Ciencia, anuncia en sesión pública de la Academia de Ciencias de París el proceso fotográfico directo creado por Luis Daguerre, dándole el nombre de "Daguerrotipo".

1839: John Herschel adopta el término "fotografía".

1840: François Arago, demostró la posibilidad de usar fotografías en los levantamientos topográficos.

1849: el oficial Aimé Laussedat, del cuerpo de ingenieros del ejército francés inicia los primeros experimentos con la perspectiva mediante cámara lúcida, para realizar levantamientos topográficos.

1852: el oficial Aimé Laussedat adopta la fotografía para reemplazar la cámara lúcida en los levantamientos topográficos. A este procedimiento le puso el nombre de "metrofotografía".



Ilustración 3. Coronel Aimé Laussedat (Tomado de Blachut, 1988).

1855: el fotógrafo Gaspard-Félix Tournachon (Nadar) toma la primera fotografía aérea del mundo, sobre el poblado de Petit-Bicêtre, desde un globo. El 23 de octubre de ese mismo año, patenta la idea de utilizar la fotografía aérea para realizar los levantamientos topográficos y la realización de mapas.

1859: el coronel Aimé Laussedat presenta una recopilación de sus experimentos.

1873: creación de las emulsiones fotográficas modernas por John Burgess.

1885: Primer registro fotogrametrico de sitios arqueologicos, en las ruinas de Persepolis.

1888: el capitán Edouard Gaston Daniel Deville inicia la fotogrametría terrestre en Canadá, como alternativa a los levantamientos topográficos extensos, convirtiéndola en un procedimiento rutinario.

1892: F. Stolze inventa la marca flotante (índice móvil).

1893: el arquitecto Albrecht Meydenbauer introduce el término “fotogrametría”

1896: Edouard Gaston Daniel Deville presenta el primer instrumento que usa pares estereoscópicos para realizar planos de línea.

1909: Carl Pulfrich inicia experimentos con fotos estereoscópicas.

1909: El 24 de abril, un fotógrafo toma la primera fotografía aérea desde un avión, pilotado por Wilbur Wright, sobre Centocelli, cerca de Roma, durante uno de los vuelos de entrenamiento realizados para oficiales de la armada italiana.

1910: Fundación de la Sociedad Internacional para la Fotogrametría, ISP en sus siglas en inglés, actualmente ISPRS, en Austria por E. Dolezal.

1913: Primer congreso de la ISP, llevado a cabo en Viena.

1913: El capitán Cesare Tardivo produce el primer fotoplano basado en fotografías aéreas tomadas desde un avión sobre Benghazi, Libia.

1935: El 24 de julio fue creado en Venezuela, el Servicio Aerofotográfico Permanente, adscrito al Ministerio de Obras Públicas.

### 2.1.7. Divisiones de la fotogrametría

A lo largo de la existencia de esta disciplina, se fueron desarrollando métodos que se adaptaban en forma óptima a los campos de aplicación en los que se les requería. Esto trajo a su vez como consecuencia, la creación de equipos específicos capaces de llevar a cabo la realización de estas técnicas especializadas. Agrupando estas técnicas y equipos en torno a sus campos de aplicación, se obtienen tres grandes grupos dentro de la fotogrametría.

#### 2.1.7.1. Fotogrametría Aérea

Es aquella que utiliza fotografías tomadas desde una cámara aerotransportada. Este hecho implica que su eje óptico casi siempre es vertical, y que su posición en el espacio no está determinada. Generalmente, las cámaras usadas son de formato 23 × 23 cm, ya que son las más apropiadas para los trabajos cartográficos a los cuales está destinada. Actualmente cobra importancia la fotografía aérea de pequeño formato, debido a sus ventajas de accesibilidad económica. Otra modalidad que gana importancia la constituye la fotogrametría espacial, que utiliza imágenes estereoscópicas tomadas desde satélites de observación de la tierra.

#### 2.1.7.2. Fotogrametría Terrestre

Es aquella que utiliza fotografías tomadas sobre un soporte terrestre; debido a esto, la posición y los elementos de orientación externa de la cámara son conocidos de antemano. Si bien fue la primera aplicación práctica de la fotogrametría, actualmente se usa principalmente en labores de apoyo a la arquitectura, arqueología, ingeniería estructural y en levantamientos topográficos de terrenos muy escarpados. Algunos autores ubican a los usos de la fotogrametría en arquitectura y arqueología en la división de objetos cercanos; sin embargo, cuando los objetos a levantar se vinculan con su posición sobre el terreno, se realiza una actividad de carácter topográfico; por ello, pueden ser ubicadas en esta división.

#### 2.1.7.3. Fotogrametría de objetos cercanos

Es esta última división de la fotogrametría (de objeto cercano) la que mayor importancia para este proyecto. Pues nos encontramos dentro de esta división al trabajar con fotografías digitales de un terreno realizadas desde el mismo.

La fotogrametría de objeto cercano es aquella en donde la medición se produce en fotogramas de escala muy grande obtenidos desde la superficie terrestre. Se utiliza una cámara convencional fija apoyada sobre el terreno, cuyos ejes son horizontales, paralelos entre si y perpendiculares a la base.

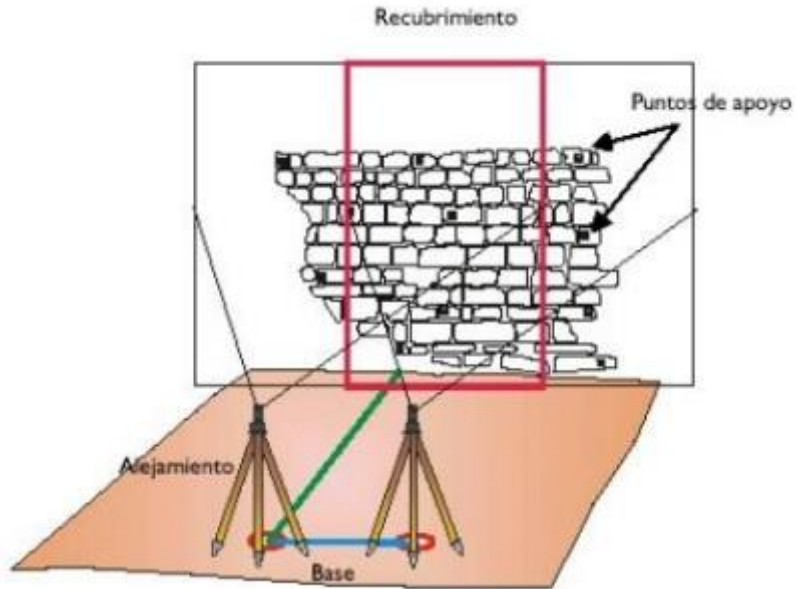


Ilustración 4. Ejemplo fotogrametría objeto cercano. (Obtenido: [http://oa.upm.es/34811/1/TFC\\_MARTA\\_GARCIA\\_LOPEZ.pdf](http://oa.upm.es/34811/1/TFC_MARTA_GARCIA_LOPEZ.pdf))

### 3. DESARROLLO

#### 3.1. Equipo utilizado

##### 3.1.1. Cámara

La cámara utilizada para realizar las fotografías de la zona de estudio es de la marca SONY y el modelo DSLR-A330.



Ilustración 5. Cámara Sony DSRL-A330.



Ilustración 6. Cámara Sony DSRL-A330.

Esta cámara pertenece al departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, la cual nos fue facilitada para la realización del presente trabajo.

Sus especificaciones técnicas se muestran a continuación:

#### MONTAJE DE LENTES

Compatibilidad con lentes con montura de bayoneta tipo A de Minolta y Konica Minolta	Sony $\alpha$ -mount	SÍ
		SÍ

#### COMPATIBILIDAD CON LENTES

Todas las clases de objetivos Sony $\alpha$	SÍ
Lentes Minolta y Konica Minolta $\alpha$ /MAXXUM/DYNAX	SÍ

#### CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE IMAGEN

Tipo de sensor de imagen	Sensor CCD
Filtro de color de sensor de imagen	Color primario RGB
Tamaño (mm)	23,6 x 15,8 mm (tamaño APS-C)



#### CÁMARA

Píxeles totales del sensor (megapíxeles)	Aprox. 10,8
Píxeles efectivos (megapíxeles)	Aprox. 10,2
Balance de blancos automático	SÍ
Balance de blancos: Selección de preajustados	Luz diurna, sombra, nublado, tungsteno, fluorescente, flash
Balance de blancos: ajuste configurable	SÍ
Balance de blancos: tipos de temperatura del color	NO
Bracketing de balance de blancos	NO
Ajuste de sensibilidad ISO	ISO100: equivalente a 3200

#### STEADYSHOT INSIDE

Sistema: Mecanismo de cambio de sensor	SÍ
Escala de SteadyShot INSIDE (en el visor)	SÍ
Advertencia de vibración de cámara (en el visor)	SÍ
Función SteadyShot INSIDE	Reducción de velocidad de obturación de 2,5 EV - 3,5 EV aproximadamente (varía según las condiciones al fotografiar y la lente usada)
Función SteadyShot INSIDE	Todas las lentes DSLR de Sony y las lentes con montura de bayoneta tipo A de Minolta y Konica Minolta

\*SteadyShot INSIDE se denominaba anteriormente Super SteadyShot

#### ANTIPOLVO

Doble sistema antipolvo (revestimiento antiestático y mecanismo CCD-shift)	SÍ
----------------------------------------------------------------------------	----

#### SISTEMA DE ENFOQUE AUTOMÁTICO

Sistema de detección de fases TTL	SÍ
Sensor	9 puntos con sensor reticular central
Rango de sensibilidad (equivalente a ISO 100); EV	0 - 18
Sistema de enfoque automático Eye Start (activado/desactivado, seleccionable)	SÍ
Área de enfoque automático: Área de enfoque amplia	SÍ (automático con 9 áreas)
Área de enfoque automático: Puntual	SÍ (sensor reticular central)
Área de enfoque automático: Selección de área de enfoque local	SÍ (9 áreas locales)
Modos de enfoque	Continuo, Disparo sencillo, Automático, Enfoque manual
Control de enfoque predecible	SÍ (con objetos en movimiento en AF-A y AF-C)
Bloqueo del enfoque	SÍ
Iluminador AF	SÍ (con flash incorporado)
Rango del iluminador AF (en metros)	5

#### SISTEMA DE EXPOSICIÓN AUTOMÁTICA

Tipo de medición de luz	TTL
Célula de medición de luz	40
Medición de luz: Segmento múltiple	SÍ
Medición de luz: Puntual	SÍ
Medición de luz: Centro ponderado	SÍ
Exposición: Automático	SÍ
Exposición: Program Auto (Program auto)	SÍ
Exposición: Prioridad de obturación	SÍ
Exposición: Prioridad de apertura	SÍ
Exposición: Manual	SÍ
Exposición: Selección de escena	SÍ
Bloqueo de exposición (AE Lock)	NO
Compensación de exposición	SÍ (+/-2 EV, 0,3 EV nivel)
AE Bracketing (Agrupación automática de exposiciones)	Con incrementos 0,3 EV / 0,7 EV, 3 cuadros; (en "Drive mode setting")

#### OBTURADOR

Tipo	Control electrónico, transversal vertical, tipo de plano focal
Rango de velocidad de obturación (segundos)	1/4000 - 30 y temporizador
Velocidad de sincronización del flash (con Super Steady Shoot desactivado); segundo	1/160
Velocidad de sincronización con flash (con Super Steady Shoot activado); segundo	1/160



#### FLASH

Número de guía de Flash incorporado (en metros con ISO 100)	10
Sistema de medición de flash	ADI / medición de flash TTL previa al disparo
Compensación del flash	+/-2 EV (0,3 EV niveles)
Tiempo de regeneración de flash incorporado (tiempo aprox. en segundos)	4
Modo Flash	Flash automático, flash de relleno, sincronización lenta, sincronización con flash trasero
Modo de flash inalámbrico	Sincronización de alta velocidad con flash accesorio compatible opcional
Sincronización lenta	Sí (con flash accesorio compatible opcional)
Reducción de ojos rojos	Sí
Flash emergente	Sí
Flash automático	Sí (con modo de selección de escena y AUTO)

#### VISOR

Tipo	Sistema fijo a nivel del ojo con tipo espejo superior
Pantalla de enfoque	Spherical Acute Matte
Campo de visión (%)	95
Ampliación (al infinito con una lente de 50 mm)	0,74x
Mira telescópica Eye Relief	Aprox. 19,7 mm desde la lente de unidad óptica
Ajuste de dioptrías	de -3 a +1 dioptrías

#### DIMENSIONES

Anchura (mm)	128
Altura (mm)	97
Profundidad (mm)	71,4

Ilustración 7. Especificaciones técnicas de la cámara.

### 3.1.2. GPS

El dispositivo GPS utilizado pertenece al laboratorio de instrumentos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica.

El receptor GPS prestado se trata del modelo Leica GPS1200+ Series. Se debe tener en cuenta dos componentes a la hora configurar el receptor. Lo primero es asignar el sistema de referencia geodésico adecuado y a continuación el modelo del geoide. El sistema de referencia geodésico oficial en España es el ETRS89, y el modelo del geoide definido es EGM08-REDNAP. Este modelo adapta el modelo gravimétrico mundial EGM08 al marco de referencia vertical dado por la Red Española de Nivelación de Alta Precisión. (REDNAP).

La toma de datos se realizará mediante tiempo real (RTK) y para ello se debe estar conectado a la red ERVA, lo que se consigue mediante una tarjeta que disponga de datos para conectarse a la red NTRIP a través de internet. Para hacer uso de la RED GNSS ERVA de la Comunidad Valenciana se necesita un usuario con su password asignados por el ICV.

Al trabar con la red ERVA, lo que se obtiene son las correcciones diferenciales en tiempo real de múltiples estaciones, con una precisión centimétrica.



Ilustración 8. Componentes del GPS.

Receptores GPS1200	GX1230 GG/ATX1230 GG	GX1230	GX1220 (GG)	GX1210
<b>Tecnología GNSS</b>	SmartTrack+	SmartTrack	SmartTrack(+)	SmartTrack
<b>Tipo</b>	Doble frecuencia	Doble frecuencia	Doble frecuencia	Monofrecuencia
<b>Canales</b>	72 canales 14 L1 + 14 L2 GPS 2 SBAS 12 L1 + 12 L2 GLONASS	14 L1 + 14 L2 GPS 2 SBAS	14 L1 + 14 L2 GPS 2 SBAS 12 L1 + 12 L2 GLONASS → GX1220 GG (con opción DGPS)	14 L1 GPS 2 SBAS (con opción DGPS)
<b>RTK</b>	SmartCheck+	SmartCheck	No	No
<b>Indicadores de estado</b>	3 indicadores LED: para alimentación, seguimiento, memoria			
Receptores GPS1200	GX1230 GG/GX1230/GX1220 GG/GX1220	GX1210	ATX1230 GG	
<b>Puertos</b>	1 puerto de alimentación, 3 puertos seriales, 1 puerto de controlador, 1 puerto de antena		1 puerto alimentación/controlador, Puerto de tecnología inalámbrica Bluetooth*	
<b>Tensión de alimentación, Nominal 12 VCC</b>	receptor 4,6 W + controlador + antena			
<b>Consumo</b>			1,8 W	
<b>Entradas y PPS</b>	Opcional: 1 puerto de salida PPS 2 puertos de entrada	Opcional: 1 puerto de salida PPS 2 puertos de entrada		
<b>Antena estándar</b>	SmartTrack+ AX1202 GG	SmartTrack AX1201	SmartTrack+ ATX1230 GG	
<b>Plano de tierra integrado</b>	Plano de tierra integrado	Plano de tierra integrado	Plano de tierra integrado	

Ilustración 9. Especificaciones técnicas del GPS utilizado.

Las características a destacar de las especificaciones técnicas son las siguientes:

- 16 canales en L1, 16 canales en L5 (GPS).
- Hasta 14 canales en L1, 14 canales en L2 (GLONASS).
- 14 canales en E1, 14 canales en E5a, 14 canales en E5b, 14 canales Alt-BOC (Galileo).
- 4 canales SBAS, código y fase, capacidad para trabajar en tiempo real.

## 3.2. Software utilizado

### 3.2.1. LASZip

**Laszip** es la herramienta utilizada en este proyecto para la descompresión de los datos LIDAR, proporcionada por **LAStools** “en bruto”,

**LAStools** es un nuevo conjunto de herramientas independiente para el manejo eficiente y procesamiento de datos *LiDAR* aerotransportado.

Estas herramientas han sido creadas por *Martin Isenburg* de la Universidad de Carolina del Norte, galardonado por la creación de *software* para aplicaciones *LIDAR* por *INTERGEO*.

Es posible emplear estas herramientas “en bruto” tras la descarga de la versión más reciente de **LAStools**, la cual puede encontrarse en el siguiente enlace.

<http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/download/>

Es necesario descomprimir los datos LIDAR, ya que el CNIG nos los ofrece en un formato LAZ. Mientras, que a nosotros nos es necesario el formato LAS.

La mayor parte de sistemas y aplicaciones **LiDAR** trabajan con un mismo formato, el formato LAS, cuya especificación ha sido desarrollada por la American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (ASPRS), y que se ha convertido en un estándar de facto para trabajar con datos **LiDAR**. **LAS** es un formato de archivo público que permite el intercambio de ficheros que contienen información de una *nube de puntos tridimensional*. Dicho formato es un archivo binario que mantiene toda la información procedente del sistema **LiDAR** y conserva la misma según la propia naturaleza de los datos y del sistema de captura.

### 3.2.2. PhotoScan

Agisoft PhotoScan es un software de escritorio para procesar imágenes digitales y, mediante la combinación de técnicas de fotogrametría digital y visión por computador, generar una reconstrucción 3D del entorno.

Existen dos versiones diferentes. La versión estándar está pensada para usuarios casuales que desean generar nubes de puntos a partir de múltiples imágenes. La versión profesional incluye funcionalidades específicas para la generación de productos geomáticos. Esta edición le permite obtener ortofotos georeferenciadas de alta resolución y modelos digitales de terrenos de con densidad y detalle excepcionales. Si se desea es posible generar la textura fotográfica. Es una potente herramienta topográfica y cartográfica. Todo ello utilizando sistemas de referencia cartográficos estándar.

Por sus características, PhotoScan Profesional, es adecuado para la documentación fotogramétrica de edificios, yacimientos y objetos arqueológicos, compitiendo y en ocasiones superando en eficacia y calidad de resultados LIDAR terrestres y aéreos.

Las ventajas que presenta son:

- Simplificación del levantamiento topográfico, permitiendo la medición rápida de entornos complejos cuando se dispone de un buen punto de vista. (ej. excavaciones, escarpes rocosos, acopios, escombreras, etc.)
- Minimiza los tiempo de medición y reduce los riesgos laborales
- El levantamiento fotogramétrico contiene mucha información potencial.
- Se puede obtener un modelo topográfico a partir de imágenes aéreas de dominio público.

### 3.2.3. FUSION/LDV

FUSION nos proporciona un entorno de visualización 3D para el examen y valoración de los datos geoespaciales. Combina imágenes, datos LiDAR, capas SIG, datos de campo y modelos de superficie.

El software FUSION para datos LiDAR ha sido desarrollado por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) con el objetivo de ayudar a los investigadores a comprender, explorar y analizar datos LiDAR.

Las primeras versiones para usuarios de FUSION permitían realizar un clip de muestras de datos y verlos de forma interactiva.

Poco a poco el software fue modificado para leer el formato de los datos, y se añadieron nuevas características para satisfacer múltiples necesidades. Con el tiempo, los científicos de la Pacific Northwest Research Station y la Universidad de Washington decidieron diseñar un sistema más completo para apoyar sus esfuerzos de investigación.

Después de esto los desarrolladores querían hacer llegar FUSION a un público más amplio, fue en 2005 cuando la RSAC (Remote Sensing Applications Center) acordó distribuir FUSION y proporcionar soporte básico y tutoriales, lo que dejó a los desarrolladores más liberados para la mejora del software y el desarrollo de nuevos métodos de análisis.

El sistema de análisis y visualización consta de dos programas principales, FUSION y LDV (visor de datos LiDAR), y una colección de herramientas para tareas específicas.

La interfaz principal consiste en una ventana de visualización gráfica y una ventana de control, presentando los datos de proyecto en una pantalla 2D típica de los Sistemas de Información Geográfica.

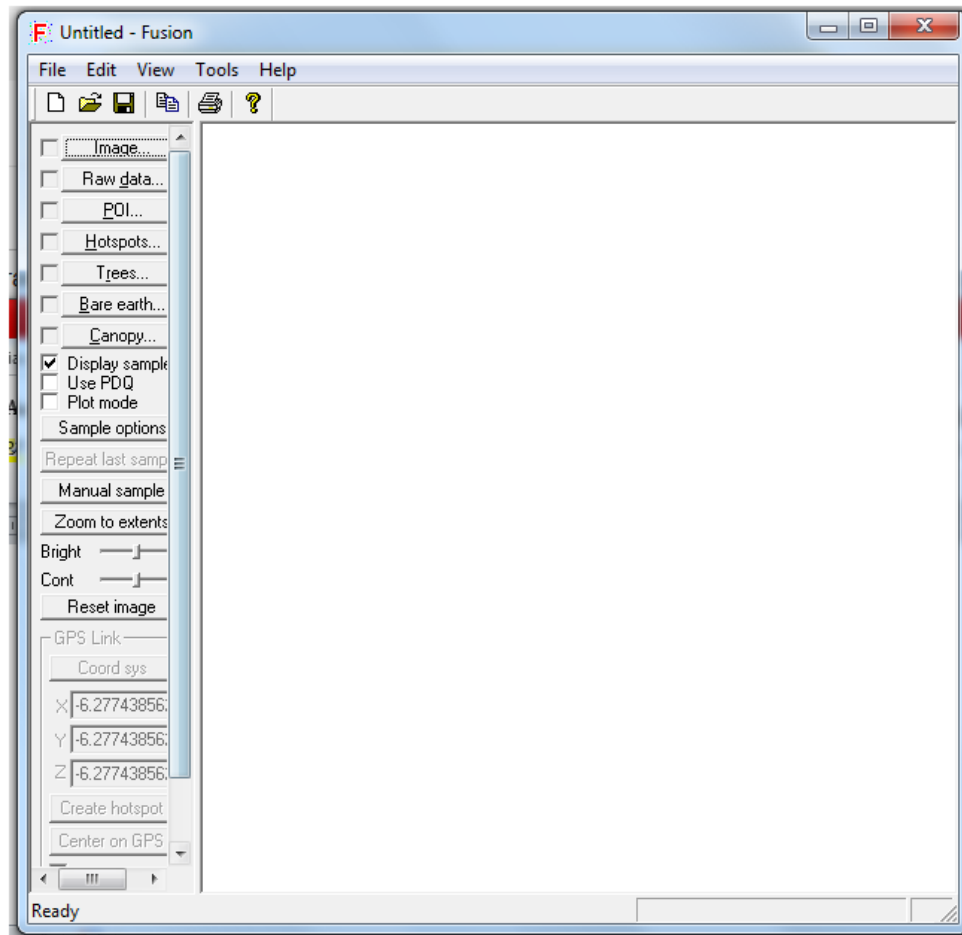


Ilustración 10. Interfaz principal de FUSION.

En **FUSION** los datos se clasifican en seis categorías:

- **Imágenes.** Puede ser cualquier imagen georreferenciada, generalmente ortofotos.
- **Raw data.** Datos de retorno *LiDAR* y archivos de puntos *x,y,z* simples.
- **Puntos de interés.** Cualquier capa de tipo punto, línea o polígono que proporcional información visual útil o ubicaciones de los puntos de muestreo.
- **Hotspots.** Marcadores ligados a referencias externas como imágenes, sitios web..... Archivo de extensión *.hst*
- **Trees.** Contienen datos, normalmente medidos en campo, en representación de los árboles individuales.
- **Modelos de superficie.** Representa la superficie del suelo o cubierta desnuda, deben estar en formato de cuadrícula. Archivo de extensión *.dtm*

Por otro lado, **LDV** proporciona el entorno de visualización 3D para el examen y valoración de los subconjuntos de datos espaciales

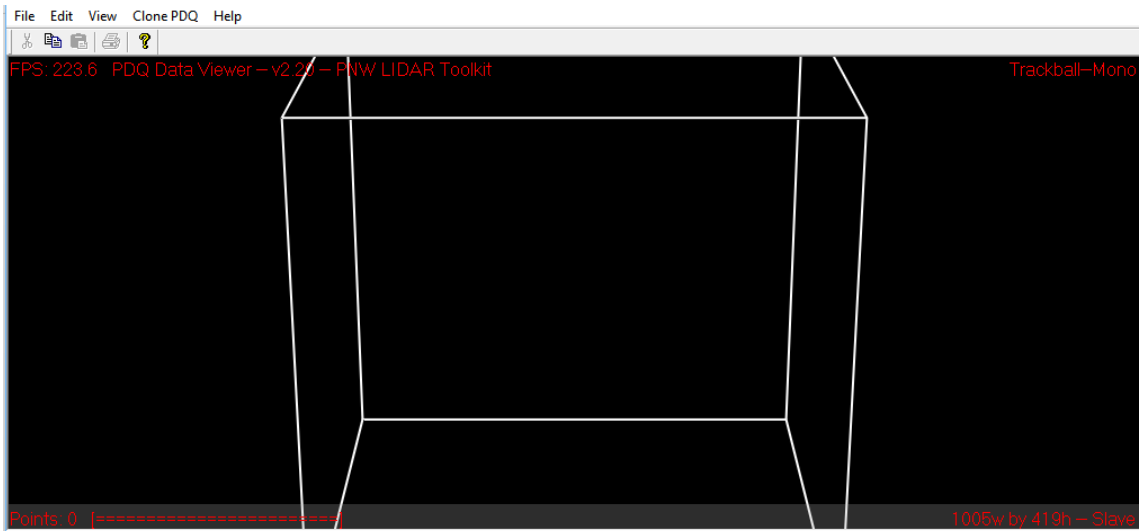


Ilustración 11. Interfaz principal de LVD

En cambio, las herramientas de FUSION se ejecutan mediante líneas de comandos o bien desde archivos (.bat) en los que se encuentra las líneas de comando.

Los comandos los encontramos explicados en el manual de FUSION, [http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/FUSION\\_manual.pdf](http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/FUSION_manual.pdf).

Se accede a la ventana de comandos mediante el símbolo de sistema (cmd).

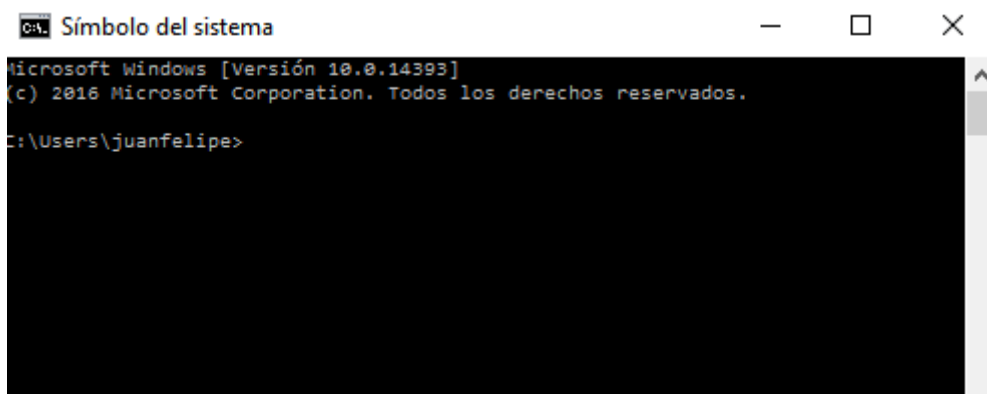


Ilustración 12. Interfaz CMD.

Se debe crear un fichero txt, con el bloc de notas, para redactar los comandos deseados y después traspasarlos al CMD, o bien redactar esos comandos en un txt , pero guardándolo como con una extensión .bat, el cual se ejecutará automáticamente al presionar dos veces sobre el mismo.

### 3.2.4. ArcGIS

ArcGIS se trata de un software muy utilizado y conocido al largo de los estudios obtenidos en el Grado de Geomatica y Topografía.

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier lugar a través de navegadores Web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorio.

### 3.3. Metodología

En primer lugar, se recopiló suficiente información sobre el proceso a realizar en campo, y de los programas en los cuales se utilizarían los datos obtenidos en la salida a campo. A continuación, se organizó una visita a campo, donde se puso a prueba la funcionalidad del material a utilizar (GPS y Cámara digital).

Tras la comprobación de los mismos se procedió a la toma de datos de la zona de estudio. En la misma visita, primero se acudió al Barranc de Molina y más tarde a la zona cercana a Cervera del Maestre (puente Cervera a partir de ahora).

La toma de datos en ambas zonas se realizó el 24 de noviembre del 2015. Dicha toma de datos consistía: en localizar 10 conos en la primera zona (en la segunda zona 20) que servirán como puntos de control (de los cuales se dispondrá de las coordenadas GPS allí tomadas), y de varias pasadas de fotografías (en la primera zona 3 y en la segunda 9).

Una vez conseguidos todos los datos necesarios, se da paso al trabajo en gabinete. Donde se debe comenzar con la “descargar” de las coordenadas almacenadas en el GPS con el software *Leica Geo Office*. Por otro lado, en el programa *PhotoScan* se deben ir procesando las imágenes, para poder obtener el modelo 3D. El tratamiento en *PhotoScan* se puede comenzar sin tener aún las coordenadas descargadas, pero se deben realizar varios procesos antes de necesitarlas, pero, en el este proyecta estas dos secuencias llevan este orden porque es necesario para la generación del modelo las coordenadas de los puntos (conos) que aparecen en las fotografías. Y por último, se utiliza el programa *FUSION* para generar el modelo que servirá de comparativa, a partir de datos LIDAR.

Con todos los resultados a nuestro alcance se deben analizar y exponer unas conclusiones a partir de los objetivos anteriormente mencionados.

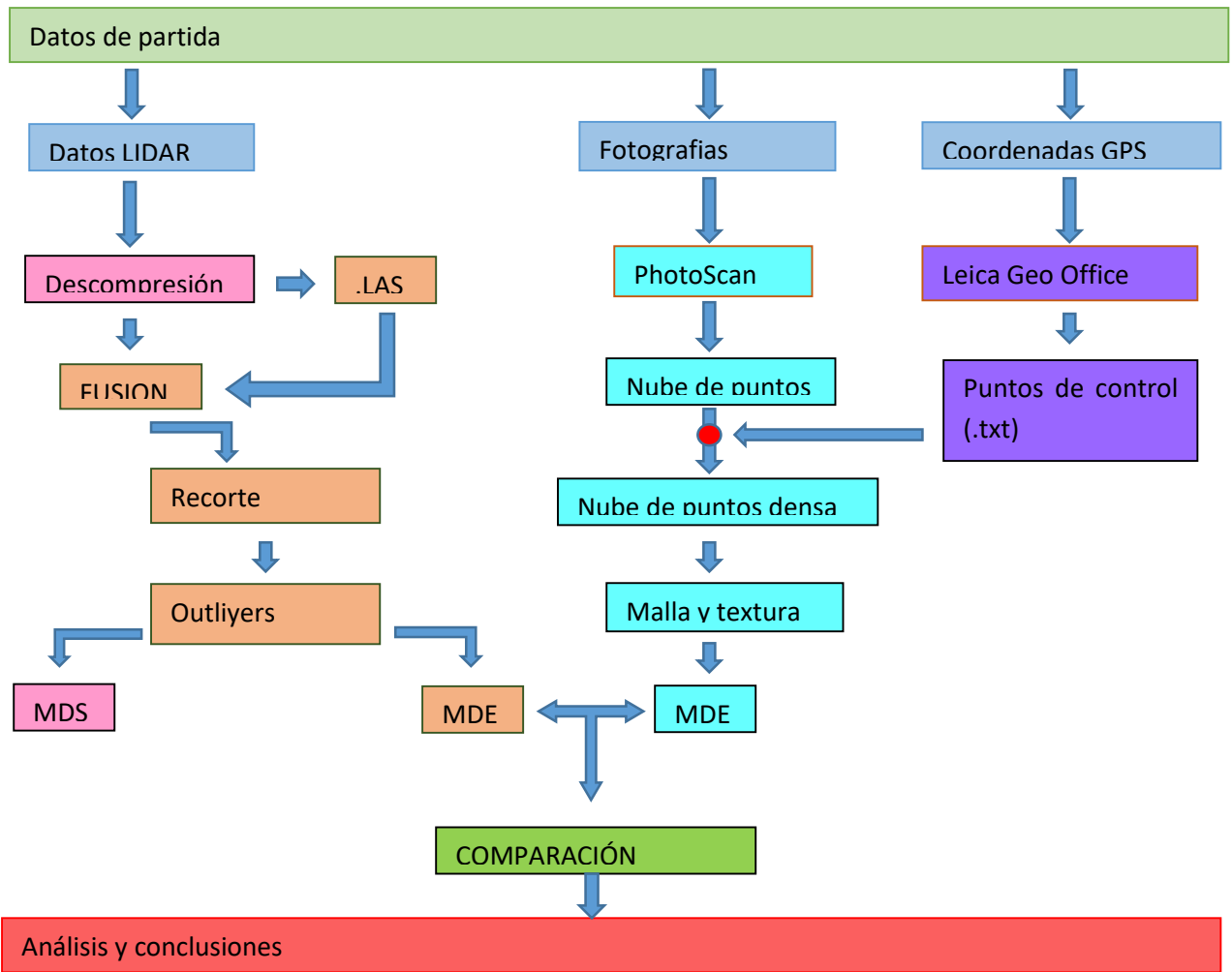


Ilustración 13. Esquema de trabajo.



### 3.4. Proceso

#### 3.4.1. Proceso con datos LIDAR

Para comenzar con el proceso realizado con los datos LIDAR, necesitamos en primer lugar descargar estos datos, de la zona interesada. Dichos datos nos los facilita el centro de descargas del CNIG (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>).

Dentro de esta página se opta por la búsqueda en visor, ya que mediante este proceso se puede localizar en un pequeño mapa la zona de la cual queremos descargar la información y además se permite elegir el producto a descargar.

Para la realización de este proyecto se necesitan los datos LIDAR de las zonas de estudio. Lo primero es localizar las zonas de interés en el mapa que nos ofrecen, con la ayuda de una búsqueda (localización por nombre o búsqueda avanzada), donde podemos acercarnos a dicha zona si conocemos algún lugar que la rodee.

Seguidamente se debe escoger el producto a descargar, buscamos obtener datos LIDAR, normalmente representados en ficheros .las, los cuales se deben encontrar en el *Listado de Productos*. Localizamos ficheros con formato LAZ (que es el formato de compresión de los ficheros LAS) digitales de 2x2 km de extensión.

Una vez conseguido localizar la zona de interés y escogido el producto a descargar se debe continuar dibujando en el visor una zona de delimitación de donde se quiere obtener el producto LIDAR. En la siguiente ilustración se puede visualizar los pasos seguidos.

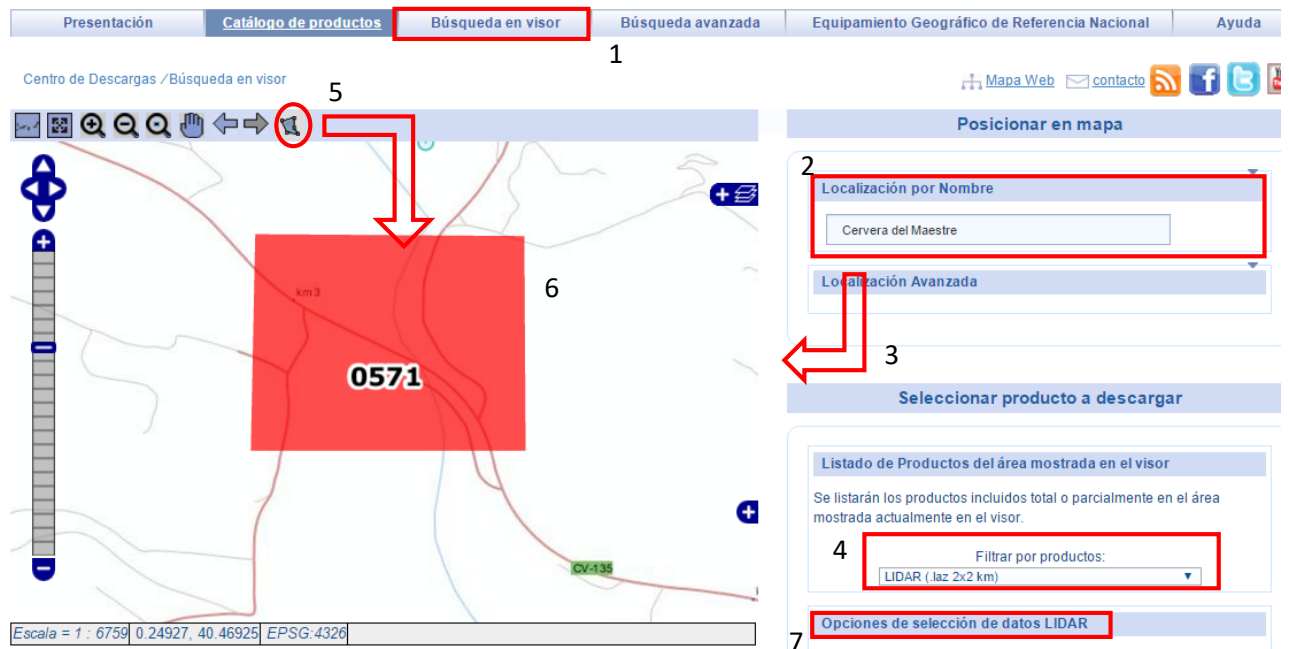


Ilustración 14. Pasos a seguir para la descarga de los datos LIDAR en CNIG.

Tan solo queda definir las opciones de selección de datos LIDAR (paso 7 a la ilustración [giu](#)), asegurarse de que el modo de búsqueda sea *Polígono dibujado en pantalla* y pulsar en el botón "Buscar".

Nos aparece como resultado de la búsqueda el fichero LAZ de la zona deseada para descargar.

Producto	Archivo	Formato	Tamaño(MB)	Seleccionar
LIDAR (laz 2x2 km)	PNOA_2009_LOTE4_CAS_774-4486_ORT-CLA-COL.LAZ	LAZ	18,04	<a href="#">Añadir</a>

Ilustración 15. Resultado de la búsqueda en visor en el CNIG.

Se debe presionar en “Añadir” y tras completar un cuestionario se puede realizar la descarga de dicho archivo.

El proceso que se ha mostrado ha sido el realizado para obtener los datos LIDAR del Puente Cervera, exactamente el mismo proceso que para la zona del Barranc de Molina, con la puntualidad de que esta zona se ve representada en 4 diferentes archivos LAZ.

El principal inconveniente de los archivos LIDAR descargados es el formato en el que se encuentran (LAZ) pues para poder trabajar con ellos es necesaria su descompresión. Para ello, se utiliza una colección de herramientas llamada *LAStools*, más concretamente *LasZip* (perteneciente a la colección *LAStools*).

Con la herramienta *LasZip.exe* podemos descomprimir los ficheros LAZ y visualizar los LAS. Para ello, debemos colocar el directorio en *browse* y escoger el archivo a descomprimir, después solo es escoger el formato de salida y presionar en *DECOMPRESS*. Además se puede elegir donde quiere guardar el fichero de salida, en la opción de output, sin embargo, no es nada necesario, pues si no se especifica el fichero obtenido se guarda en la carpeta de origen.

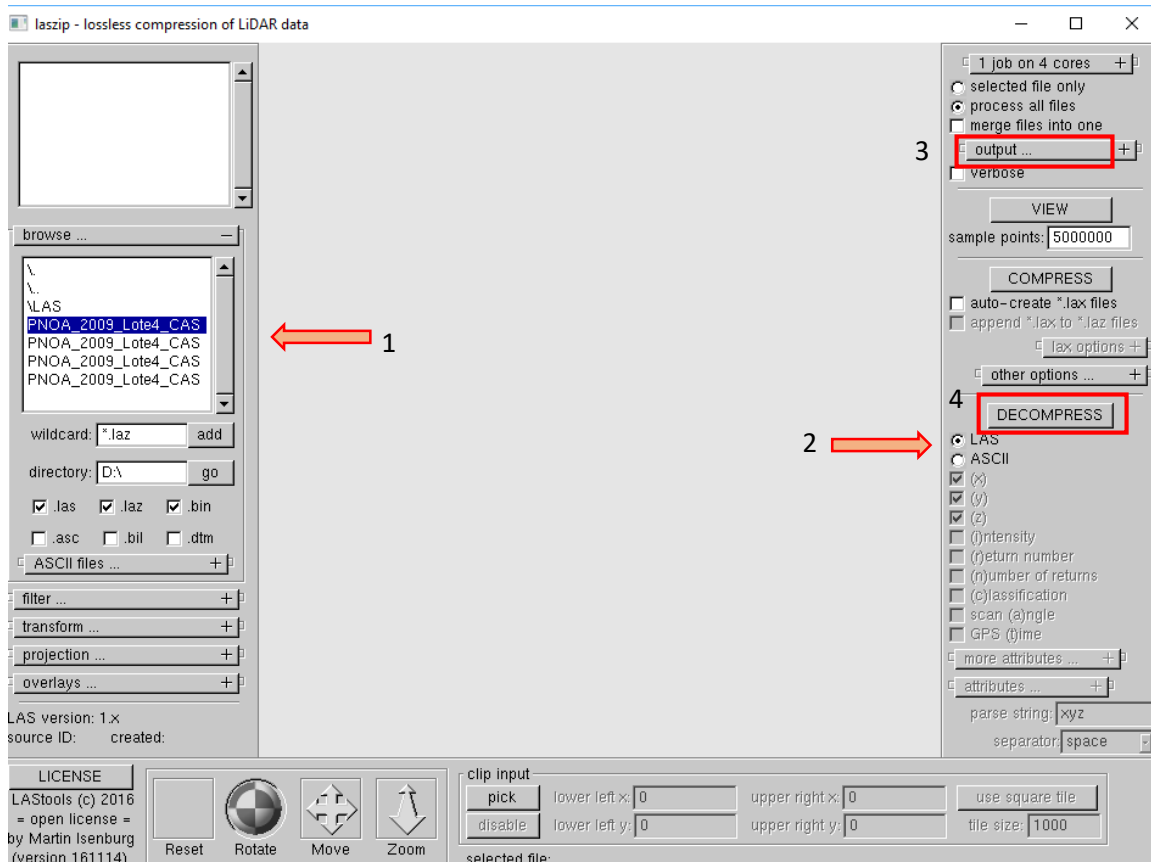


Ilustración 16. Pasos a seguir para la descompresión de los archivos LAZ a LAS.

Con los datos LIDAR en formato LAS se comienza con su procesamiento mediante el programa **FUSION**.

Para empezar se utiliza la herramienta pdq.exe para visualizar los archivos LAS obtenidos y sacar las primeras conclusiones sobre el proceso de su tratamiento.

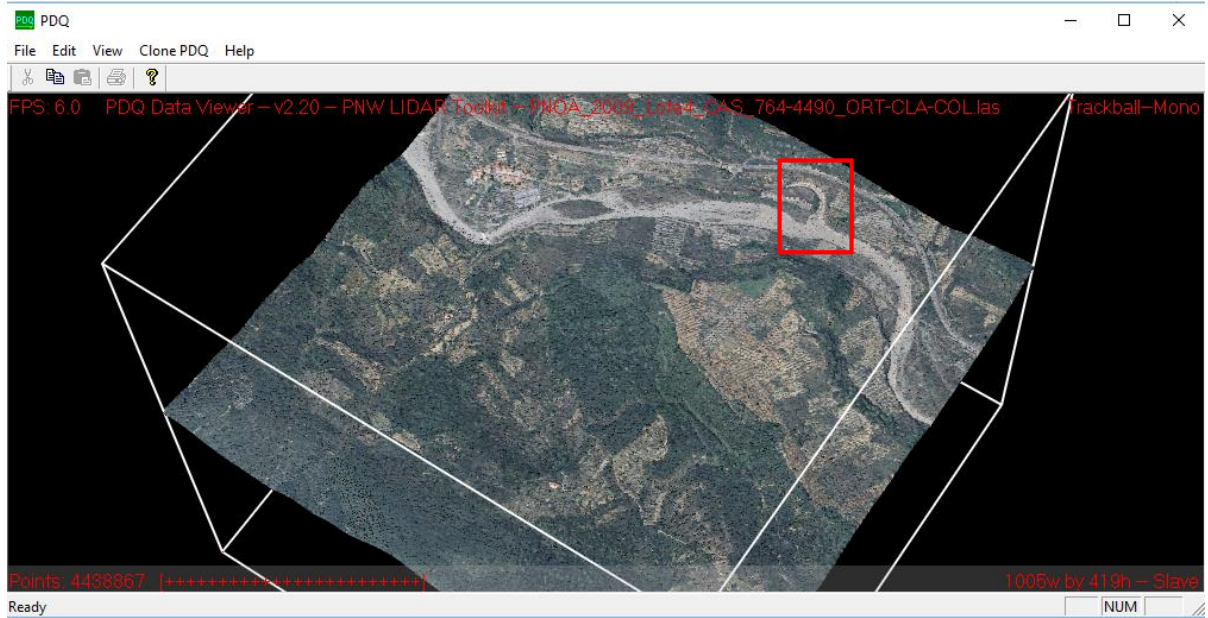


Ilustración 17. Visualización en PDQ de los datos LIDAR pertenecientes a la zona del Barranc de Molina.

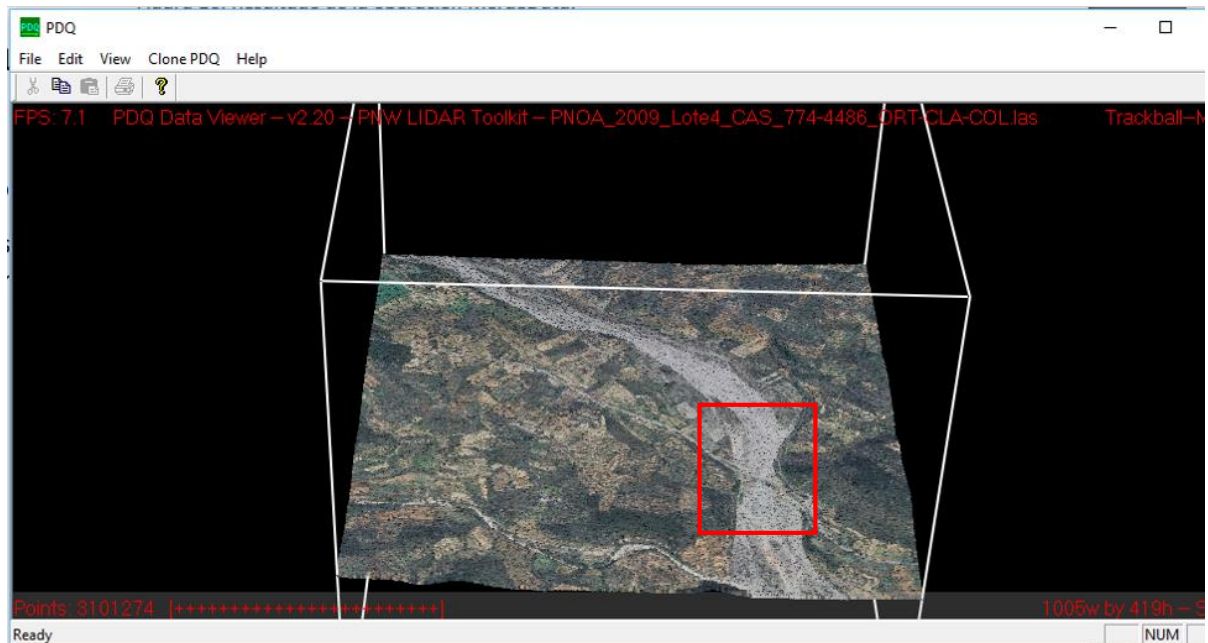


Ilustración 18. Visualización en PDQ de los datos LIDAR pertenecientes a la zona del Puente de Cervera.

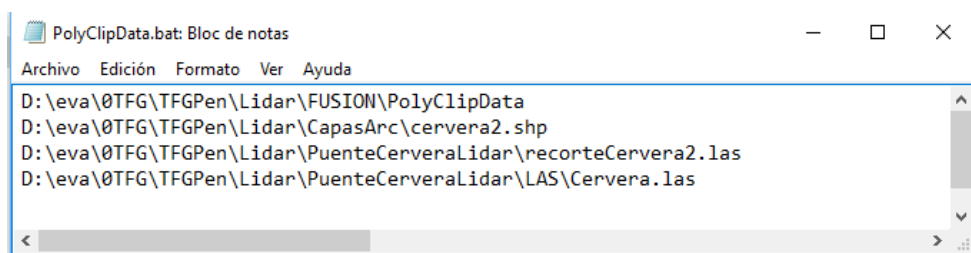
Tras la visualización de ambas zonas que se muestran en las ilustraciones X y Y, se puede saber, por ejemplo, que para la zona del Barranc de Molina, no hace falta ninguna unión de archivos (aunque en la descarga de estos se hubiese obtenido 4 archivos diferentes).

Se debe continuar con el tratamiento de los datos a través del programa FUSION. Con el propósito de mostrar su funcionamiento y los resultados que se van obteniendo, se describe a continuación las operaciones realizadas y el orden de las mismas.

### 3.4.1.1. PolyClipData

Como se puede observar en las ilustraciones X y Y, la zona visualizada es demasiado extensa (de 2x2 km, como informa el CNIG en la descarga de datos LIDAR con el formatos LAZ) y nuestro estudio se reduce a una zona mucho más pequeña de ese espacio visualizado (el referente a los recuadros que aparecen en las ilustraciones X y Y).

Por lo tanto, la primera de las operación es realizar un recorte de datos de puntos usando polígonos almacenados en ficheros mediante el comando PolyClipData. La operación a realizar será la siguiente:



```
PolyClipData.bat: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
D: \eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\PolyClipData
D: \eva\0TFG\TFGPen\Lidar\CapasArc\cervera2.shp
D: \eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\recorteCervera2.las
D: \eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\LAS\Cervera.las
```

Ilustración 19. Código PolyClipData.

Esta operación es igual para ambas zonas estudiadas, el único cambio es la elección de los ficheros (correspondientes a cada zona)

Como se observa en la ilustración anterior, la primera línea del código es el llamamiento a la herramienta PolyClipData dentro de FUSION.

La segunda línea de este mismo código, trata del directorio de un shape, que representa la zona de interés, el cual ha sido obtenido, previamente, mediante el software ArcGIS. Con el comando Create New Shapefile, dentro de la herramienta **Catalog**, se crea una nueva capa escogiendo el directorio de salida de dicho fichero. A esta capa se le asigna el sistema de coordenadas siguiente: ETRS 1989 UTM HUSO 30N. Con la ayuda de la ortofoto correspondiente, dibujamos el perímetro de la zona con el comando Editor.

La tercera línea de código muestra el nombre del resultado del recorte, mientras que la cuarta línea muestra el nombre del fichero al que se le va a realizar la operación del recorte.

Con respecto al proceso con el software ArcGis se realiza tanto la zona del Barranc Molina como para la del Puente Cervera. El resultado es el que aparece a continuación con la ortofoto incluida:



Ilustración 20. Delimitación de la zona de estudio Barranc Molina.



Ilustración 21. Delimitación de la zona de estudio Puente Cervera.

Para la zona Puente Cervera, se toman dos zonas por separado, una a cada lado del puente. Pues en el proceso en PhotoScan se han diferenciado estas dos áreas creando para cada una de ellas un modelo 3D diferente, lo que se verá más adelante. Se muestra a continuación esas áreas como ficheros diferentes sobre la misma ortofoto:



Ilustración 22. Delimitación de las diferentes áreas dentro de la zona de estudio Puente Cervera.

A la zona azul visualizada en la ilustración anterior le llamaremos zona A y a la roja zona B, para poder hacer más sencillo la referencia a alguna de ellas.

El resultado gráfico de la operación PolyClipData es el siguiente:

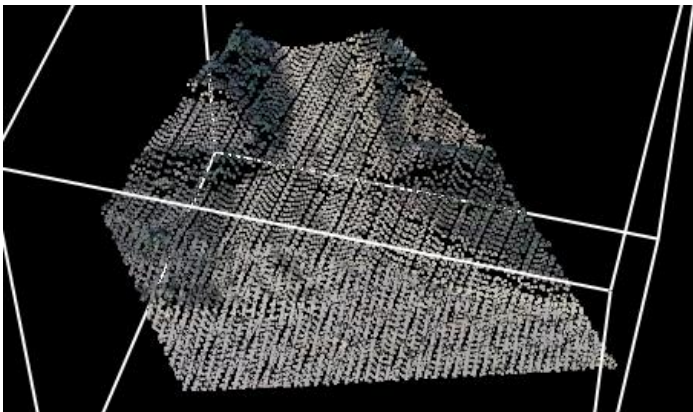


Ilustración 23. Resultado gráfico de la operación PolyClipData para la zona Barranc Molina visualizado en PDQ.

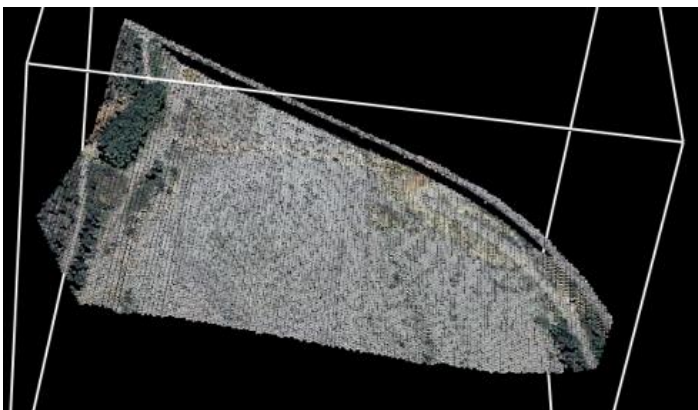
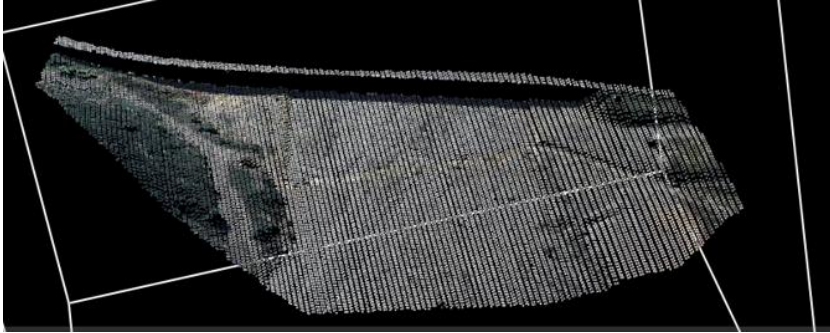


Ilustración 24. Resultado gráfico de la operación PolyClipData para la zona A del Puente Cervera visualizado en PDQ.



**Ilustración 25.** Resultado gráfico de la operación PolyClipData para la zona B del Puente Cervera visualizado en PDQ.

### 3.4.1.2. FilterData

La operación FilterData se utiliza como filtro para eliminar los outliers que pueden encontrarse en los recortes obtenidos en la operación anterior.

Los outliers hacen referencia a errores, valores atípicos muy alejados de la media, que pueden provocar errores en los modelos 3D.

El código utilizado se muestra a continuación:

```

Archivo Edición Formato Ver Ayuda
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\FilterData outlier 1.5 5
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\filterBarrancMolina.las
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\recorteBarranc.las
|

```

**Ilustración 26.** Código FilterData.

Los parámetros 1.5 y 5 que aparecen en la primera línea del código hacen referencia al multiplicador aplicado a la desviación estándar y al tamaño de la ventana utilizada para calcular la desviación estándar de las elevaciones.

### 3.4.1.3. CanopyModel

Con los datos referentes a cada zona libres de outliers, se procede a realizar los modelos digitales 3D.

Primero, se calcula el Modelo Digital de Superficies (MDS). El MDS incluye una superficie donde aparecen el terreno y todos los elementos que se encuentran en él. Es importante tener esto presente, pues quiere decir que en este modelo se verá representado todos los elementos que se encuentren en la superficie, desde elementos muy pequeños, hasta el puente que se encuentra en la zona del Puente de Cervera, lo que supondría un grandísimo error al comparar modelos si esto no lo tenemos en cuenta.

Utilizaremos la herramienta CanopyModel con el siguiente código:

```
Archivo Edición Formato Ver Ayuda  
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\Canopymodel  
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\mzsCervera2.dtm 1 m m 1 30 0 0  
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\filterDatCervera2.las
```

Ilustración 27. Código FilterData.

Se puede observar en la segunda línea de código, los parámetros que indican el tamaño de la celda (1metro), las unidades de las coordenadas (metros), el sistema de coordenadas (UTM= 1) y el huso (30). El nombre del fichero resultado será MDSNombreZona.dtm.

El resultado se puede ver a continuación:

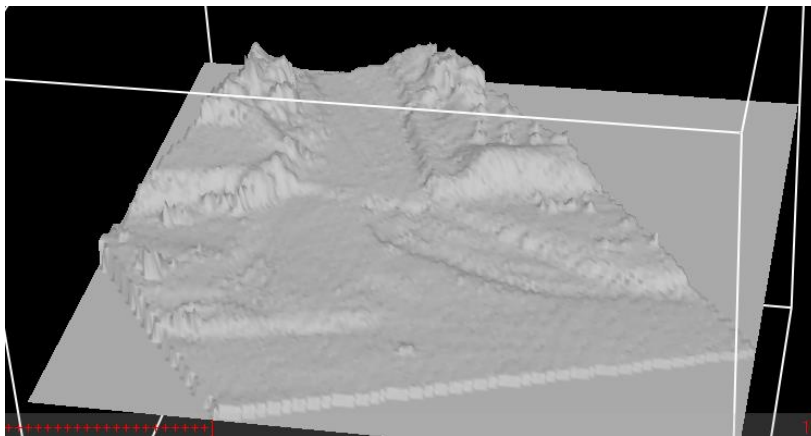


Ilustración 28. Resultado gráfico de la operación FilterData para la zona del Barranc Molina visualizado en PDQ.

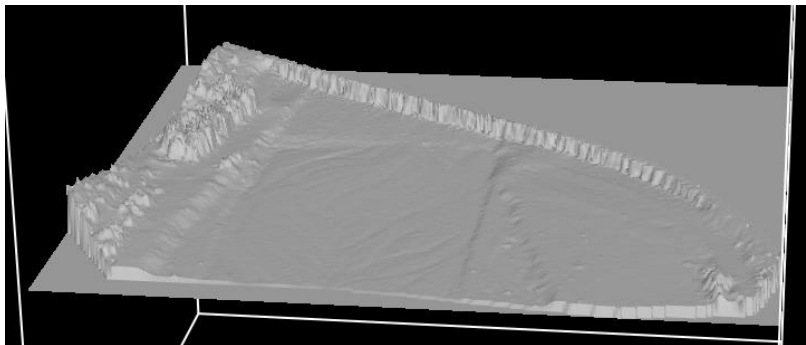


Ilustración 29.. Resultado gráfico de la operación FilterData para la zona A del Puente Cervera visualizado en PDQ.

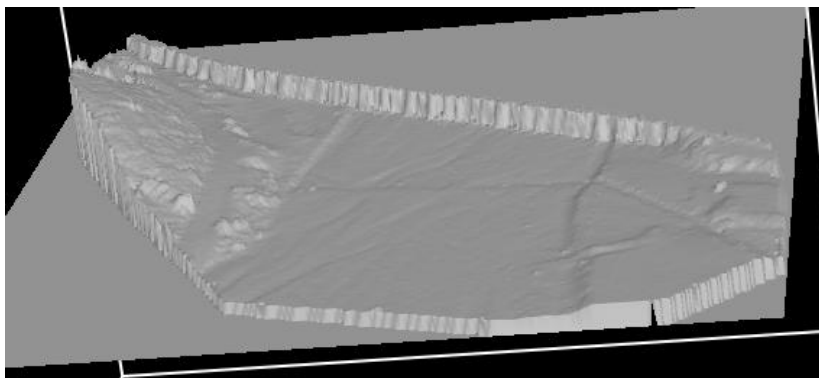


Ilustración 30. Resultado gráfico de la operación FilterData para la zona B del Puente Cervera visualizado en PDQ.



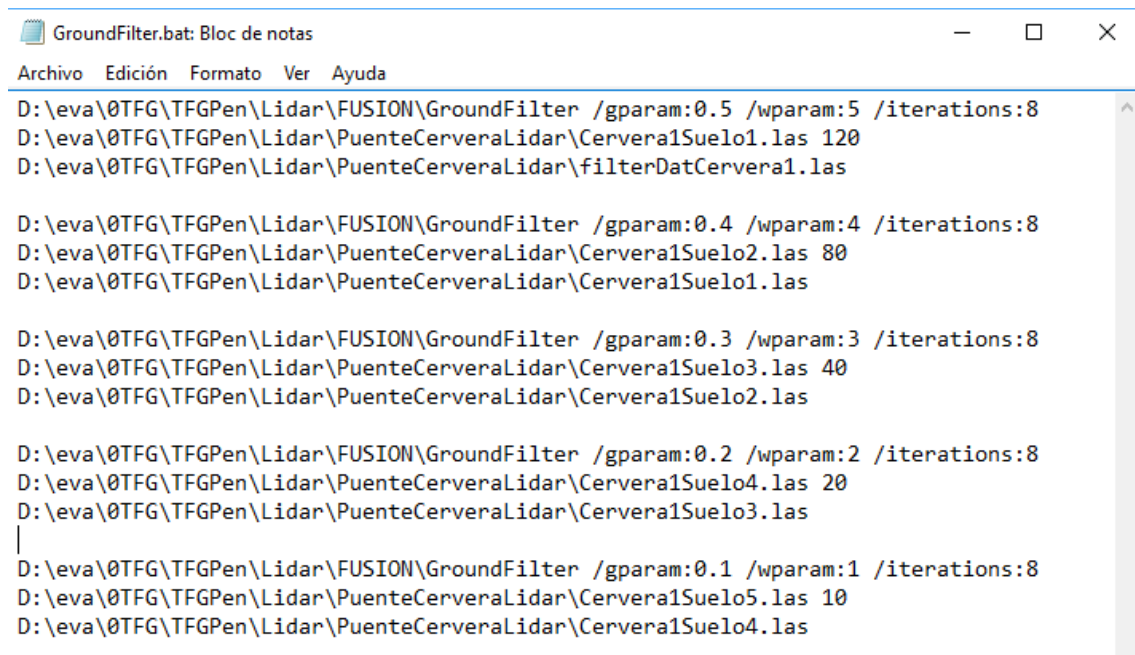
### 3.4.1.4. GroundFilter

En segundo lugar, se pretende calcular el Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

El Modelo Digital de Elevaciones (**MDE**), un caso particular de Modelo Digital del Terreno (MDT), en el que la variable representada es la cota del terreno en relación a un sistema de referencia concreto

El comando GroundFilter está diseñado para filtrar nubes de puntos e identificar los puntos que tienen una mayor probabilidad de pertenecer a la superficie del terreno desnudo.

Utilizaremos la herramienta GroundFilter de forma iterativa hasta 5 veces como se muestra a continuación.



```

GroundFilter.bat: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GroundFilter /gparam:0.5 /wparam:5 /iterations:8
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\Cervera1Suelo1.las 120
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\filterDatCervera1.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GroundFilter /gparam:0.4 /wparam:4 /iterations:8
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\Cervera1Suelo2.las 80
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\Cervera1Suelo1.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GroundFilter /gparam:0.3 /wparam:3 /iterations:8
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\Cervera1Suelo3.las 40
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\Cervera1Suelo2.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GroundFilter /gparam:0.2 /wparam:2 /iterations:8
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\Cervera1Suelo4.las 20
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\Cervera1Suelo3.las
|
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GroundFilter /gparam:0.1 /wparam:1 /iterations:8
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\Cervera1Suelo5.las 10
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\Cervera1Suelo4.las

```

Ilustración 31. Código GroundFilter.

El valor del parámetro g determina a qué puntos es asignado el valor de peso máximo, es decir, a los puntos por debajo de la superficie superiores al valor g, se les asigna el valor del peso máximo.

El parámetro w, se utiliza para establecer un valor máximo de altura para los puntos que tengan una influencia sobre la superficie intermedia. Los puntos sobre el nivel definido por (g + w) se les asigna un peso 0.

Como se puede observar, durante el proceso iterativo se reducen el tamaño de ventana de 120 a 10, el parámetro g de 0.5 a 0.1 y el parámetro w de 5 a 1.

Con la obtención de los resultados, se comprueba que a partir de la segunda iteración se empieza a perder información con relación al suelo desnudo, es decir, este filtro a partir de la segunda iteración elimina demasiados datos llegando al punto de eliminar información del suelo desnudo que es exactamente con lo que pretendemos quedarnos.

Se muestra seguidamente los resultados de todas las iteraciones para poder probar lo descrito anteriormente y justificar la elección del resultado.

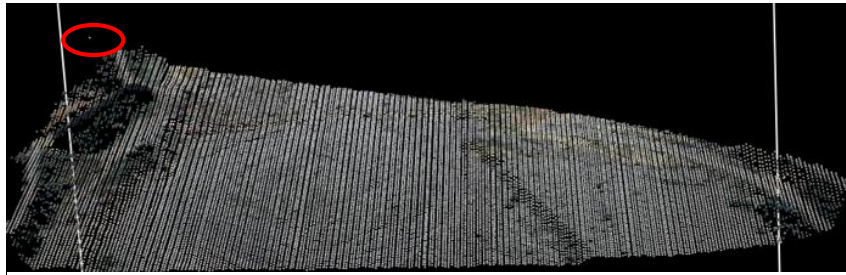


Ilustración 32. Iteración 1 del proceso GroundFilter.

La primera de las iteraciones no es adecuada pues quedan algunos puntos, que se supondrían como outliers y nos llevarían a error.

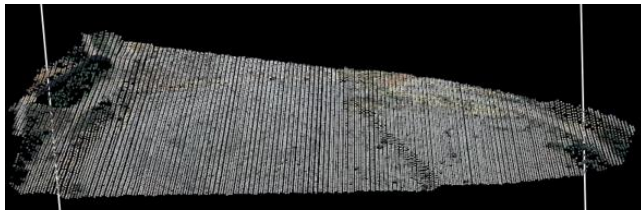


Ilustración 36. Iteración 2 del proceso GroundFilter.

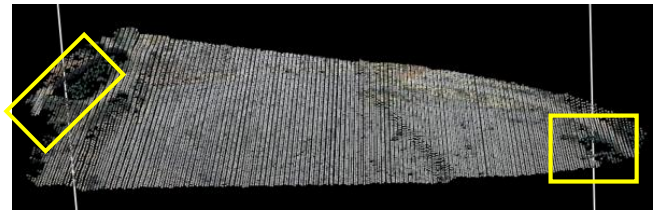


Ilustración 35. Iteración 3 del proceso GroundFilter.

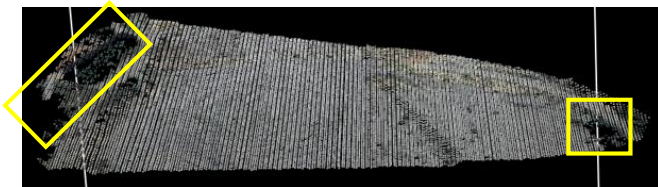


Ilustración 34. Iteración 4 del proceso GroundFilter.

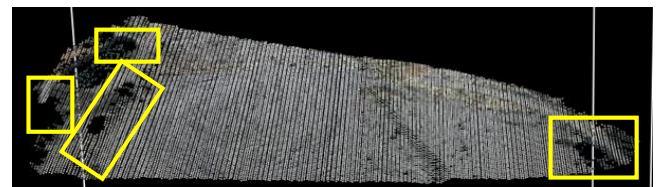


Ilustración 33. Iteración 5 del proceso GroundFilter.

Las ilustraciones anteriores muestran como a partir de la segunda iteración se empieza a perder información de utilidad para nuestro objetivo (el de generar un MDE). Los recuadros amarillos muestran en las diferentes ilustraciones los lugares de pérdida de información.

Por lo tanto, el resultado más adecuado para nuestro propósito es el que nos proporciona la segunda iteración.

Se ha puesto como ejemplo en la ejecución de este comando la zona A del Puente Cervera, pero hay que señalar que para la zona B, ocurre exactamente lo mismo, la iteración más adecuada resulta ser la segunda. En cambio, en la zona del Barranc de Molina el resultado que más se adecua para nuestro propósito es el conseguido con el MDS, ya que en dicha zona no se encuentra ningún objeto sobre el suelo (Canopy) y en ese caso el MDS representa un MDE (el que servirá para el propósito de este proyecto).

Como se puede ver a continuación solo una primera iteración despoja a la imagen de mucha información necesaria sobre el terreno.

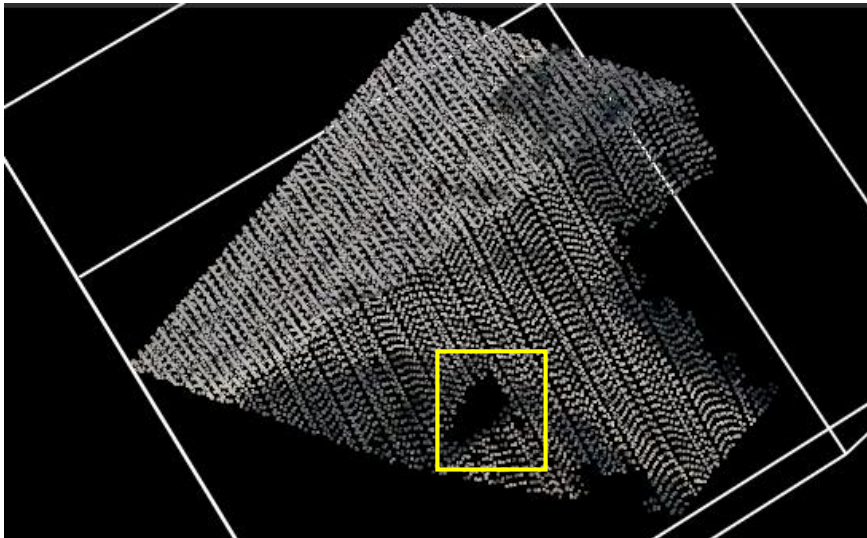
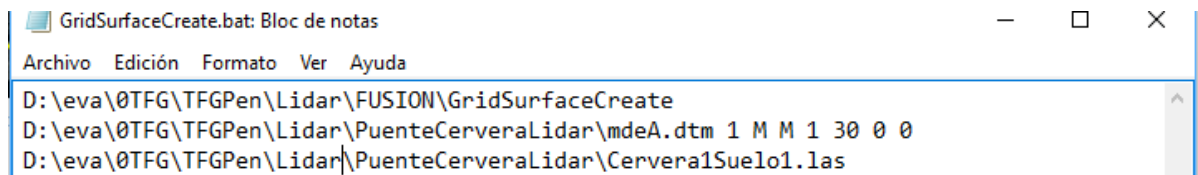


Ilustración 37. Iteración 1 del proceso GroundFilter sobre la zona del Barranc Molina.

### 3.4.1.5. GridSurfaceCreate

GridSurfaceCreate crea un modelo cuadrulado de superficie usando colecciones de puntos aleatorios cuyos parámetros, en este caso, son iguales a la herramienta CanopyModel.

Esta herramienta es la que nos permite crear el MDE, con el siguiente código:



```

GridSurfaceCreate
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GridSurfaceCreate
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\mdeA.dtm 1 M M 1 30 0 0
D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\Cervera1Suelo1.las
    
```

Ilustración 38. Código GridSurfaceCreate

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

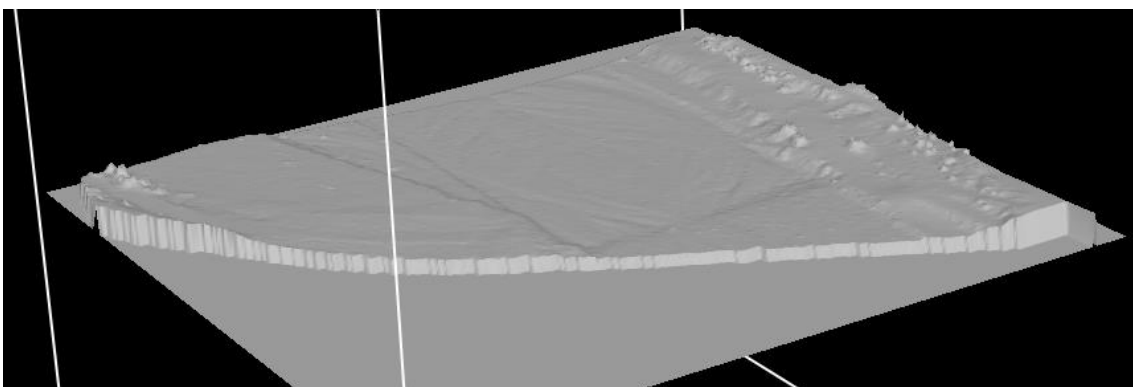


Ilustración 39. Resultado gráfico de la operación GridSurfaceCreate para la zona A del Puente Cervera visualizado en PDQ.

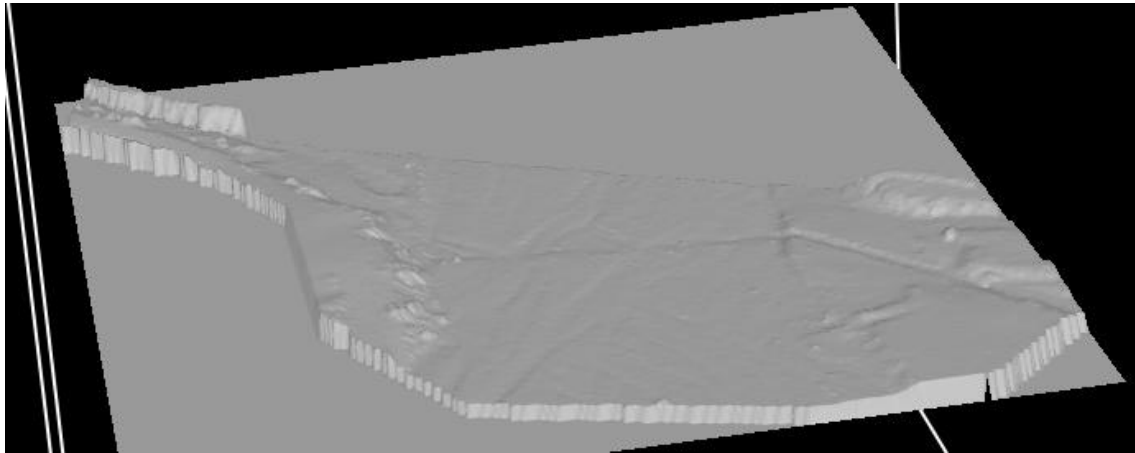
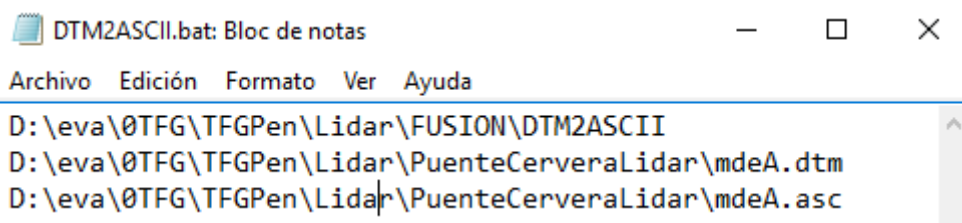


Ilustración 40. Resultado gráfico de la operación GridSurfaceCreate para la zona B del Puente Cervera visualizado en PDQ.

#### 3.4.1.6. DTM2ASCII

Por último, se presenta la herramienta DTM2ASCII que, como su propio nombre indica, convertirá los resultados .dtm (propios del programa FUSION) al formato .asc que nos permitirá trabajar con el Software ArcMap más adelante.

Con el código que se muestra a continuación:



```
DTM2ASCII.bat: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
D:\eva\OTFG\TFGPen\Lidar\FUSION\DTM2ASCII
D:\eva\OTFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\mdeA.dtm
D:\eva\OTFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\mdeA.asc
```

Ilustración 41. Código DTM2ASCII.

Se utiliza este código para todas las zonas de estudio. Para la zona del Puente Cervera se transformaran a formato ASCII ambos mde (de la zona A y B) y para el Barranx de Molina se transformará el mds.

Con este proceso se da por concluida la utilización del programa FUSION para el tratamiento de los datos LUDAR. Una vez obtenidos los modelos en formato ASCII pasaremos, más adelante, a los procesos mediante el programa ArcGis, más concretamente con una de sus herramientas llamada ArcMap.

Antes de cerrar por completo este capítulo con la utilización del programa FUSION, se muestra un resumen de los códigos usados en su orden:

#### 3.4.1.7. Resumen de códigos usados

D:\eva\OTFG\TFGPen\Lidar\FUSION\PolyClipData

D:\eva\OTFG\TFGPen\Lidar\CapasArc\cervera2.shp

D:\eva\OTFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\recorteCervera2.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\LAS\Cervera.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\FilterData outlier 1.5 5

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\filterDatCervera1.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\recorteCervera1.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\Canopymodel

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\mdsCervera2.dtm 1 m m 1 30 0 0

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\filterDatCervera2.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GroundFilter /gparam:0.5 /wparam:5 /iterations:8

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\BMolinaSuelo1.las 120

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\filterBarrancMolina.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GroundFilter /gparam:0.4 /wparam:4 /iterations:8

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\BMolinaSuelo2.las 80

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\BMolinaSuelo1.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GroundFilter /gparam:0.3 /wparam:3 /iterations:8

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\BMolinaSuelo3.las 40

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\BMolinaSuelo2.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GroundFilter /gparam:0.2 /wparam:2 /iterations:8

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\BMolinaSuelo4.las 20

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\BMolinaSuelo3.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GroundFilter /gparam:0.1 /wparam:1 /iterations:8

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\BMolinaSuelo5.las 10

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\BMolinaSuelo4.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\GridSurfaceCreate

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\mdeA.dtm 1 M M 1 30 0 0

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\PuenteCerveraLidar\Cervera1Suelo1.las

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\FUSION\DTM2ASCII

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\mdsBarrancMolina.dtm

D:\eva\0TFG\TFGPen\Lidar\BarrancMolina\mds.asc

### 3.4.2. Procesamiento con fotografías digitales

El tratamiento de las fotografías digitales obtenidas de las zonas de estudio se realiza con el software PhotoScan.

Photoscan es un software de reconstrucción 3D que construye automáticamente modelos tridimensionales texturizados usando fotografías digitales del modelo y que permite crear mallas con texturas de alta precisión.

#### 3.4.2.1. Importación de fotografías

Se comenzará con la importación de las fotografías deseadas a dicho programa, con el comando Add potos. Se crea entonces en el espacio de trabajo (Workspace) un Chunk (una carpeta), donde se almacenan las imágenes importadas y nos permite trabajar con ellas. La creación de Chunks es una clara ventaja pues nos permite trabajar con diferentes conjuntos de imágenes y tras su procesamiento poder unirlos.

El primer conjunto de fotografías que se integra en este programa pertenecen a la zona de Barranc de Molina, en el primer intento se introducen todas las fotografías de las zona a la vez (diferenciando para cada zona), aunque se debe tener presente que las imágenes de dicha zona constan de tres pasadas diferenciadas. En cambio, la zona del Puente Cervera consta de dos áreas, y estas de 4 pasadas cada una.

Por lo que, en el primer chunk del presente trabajo se muestran 202 imágenes, llamadas cámaras en el programa. En la zona A del Puente Cervera se tomaron 191 y en la zona B 244.

#### 3.4.2.2. Alineación de las imágenes

Tras la importación de las imágenes al programa se debe comprobar la calibración que muestra la cámara a partir de esas fotografías, y ver si es la correcta, pues el mismo programa detecta que cámara se ha utilizado para las fotografías.

Como se muestra en la ilustración 42, PhotoScan determina que la cámara utilizada fue, la DSLR-A330, y así es. Pues coincide con la cámara explicada en el apartado de “material utilizado”.

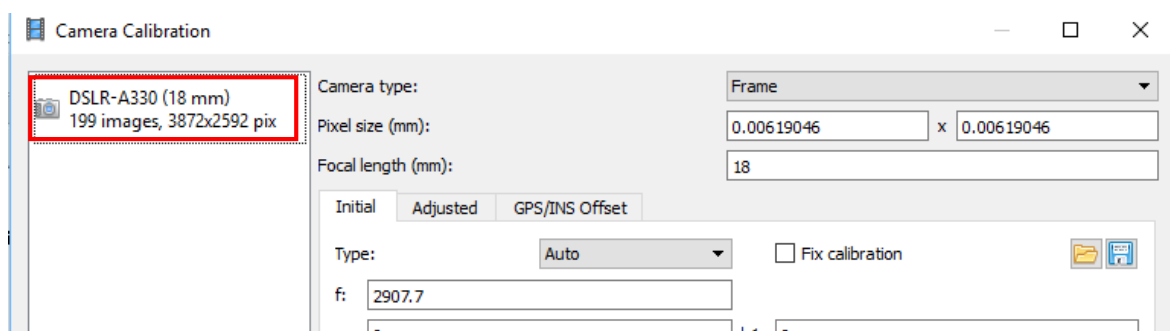



Ilustración 42. Calibración de la cámara dentro del programa PhotoScan.

Una vez comprobada la calibración de la cámara se debe continuar con la introducción del sistema de coordenadas. En la ventana **Reference**, se encuentra la opción **settings** , la cual consigue abrir una ventana donde poder indicar en que sistema de coordenadas se pretende

trabajar, el cual para todas las zonas será ETRS89/UTM zone 30N (EPSG::25830) (la misma utilizada en los procesos de FUSION).

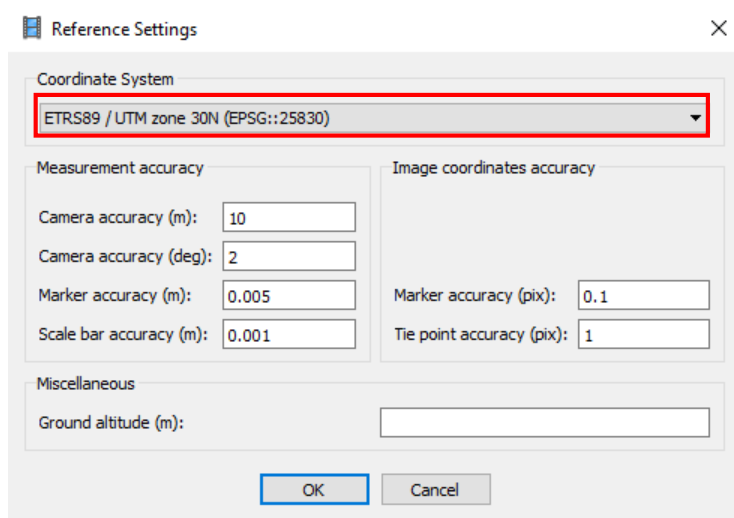


Ilustración 43. Ventana Reference Settings de PhotoSAC.

Con el adecuado sistema de coordenadas, se puede proceder a la alineación de las imágenes. Esto se consigue con el comando **Align Photos** localizado en **Workflow**. Es de gran importancia definir correctamente los parámetros a utilizar en dicha alineación, ya que, este proceso puede demorarse algunas horas. Estos parámetros a definir se muestran a continuación en la ilustración 44.

El primero de estos parámetros es la **exactitud** que utilizará el programa para alinear las imágenes, es importante que se utilice una alta exactitud, ya que esto influirá en la precisión final del modelo 3D que se pretende conseguir. El segundo es el **Pre-procesar emparejamiento de imágenes** (útil si se dispone de las coordenadas de las fotografías, el cual no es el caso de este trabajo) que se mantendrá en la opción de desactivado (**Disabled**). En las opciones avanzadas aparecen otros dos parámetros (Puntos clave por foto y Puntos de enlace por foto), en los cuales se han utilizado los valores que se muestran en la ilustración 44 para que el programa no encuentre problemas a la hora de obtener la nube de puntos, ya que los valores utilizados son demasiado elevados, pues no se cree posible encontrar cien mil puntos por foto.

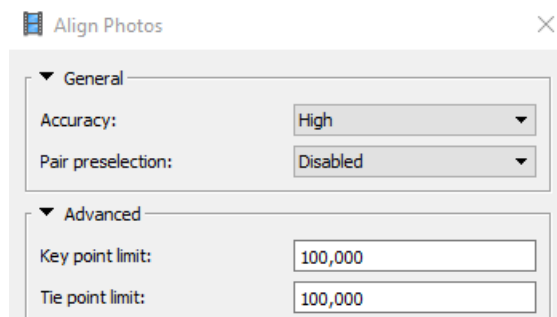


Ilustración 44. Parámetros para la Alineación de las fotografías.



La alineación de las cámaras no tiene por qué completarse en el primer intento, pues se debe recordar que cada zona consta de varias pasadas, y es lógico llegar a pensar que el terreno homólogo representado en dos fotografías de distinta pasada puede ser muy pequeño. Por ejemplo, las siguientes ilustraciones que se muestran a continuación pertenecen a la zona B del Puente Cervera, y comparándolas puede llegarse a comprender el problema que encuentra el programa para alinear algunas fotografías.



Ilustración 46. Última fotografía de la pasada 1 de la zona B del Puente Cervera.



Ilustración 45. Primera fotografía de la pasada 2 de la zona B del Puente Cervera.

En la zona del Barranc de Molina no se presentó ningún problema relacionado con la alineación de las cámaras, por lo que en un mismo chunk disponemos de todas las fotografías.

Al contrario que para las zonas A y B del Puente Cervera, en estas zonas muchas de las fotografías no conseguían ser alineadas junto a las demás, por lo que se tuvo que separar las imágenes en diferentes chunks y procesar su alineación por separado.

A continuación se muestra la nube de puntos obtenida de la alineación de fotografías de las distintas zonas:

- Zona del Barranc de Molina:

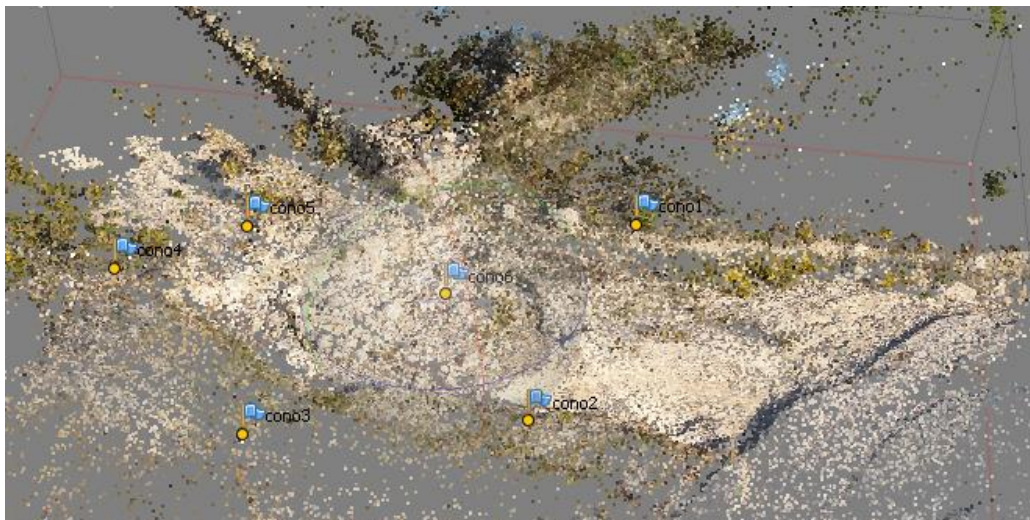


Ilustración 47. Nube de puntos de la zona Barranc de Molina en el software PhotoSach.

En la ilustración 48 se observa que para la creación de la nube de puntos de han utilizado 199 imágenes de las 202 que se tenían en un principio de esa zona, pues 3 imágenes de esta zona no se consideraron de buena calidad (por borrosidad, excedencia de luz o por el contrario, tratarse de una imagen demasiado oscura) y se decidió por no utilizarlas en dicho proceso.

- Zona A del Puente Cervera:

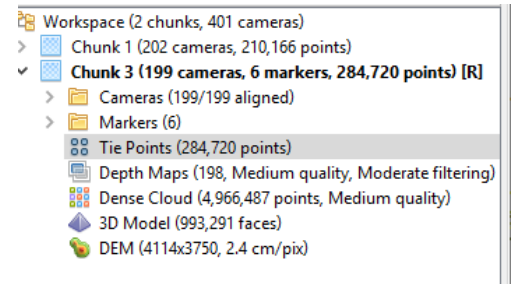


Ilustración 48. Espacio de trabajo de PhotoScan de la Zona Barranc de Molina

En esta zona no se pudo alinear las imágenes en solo un chunk, por lo que a continuación se muestran las noves de puntos obtenidas en los diferentes chunks, los cuales se unirán más adelante.

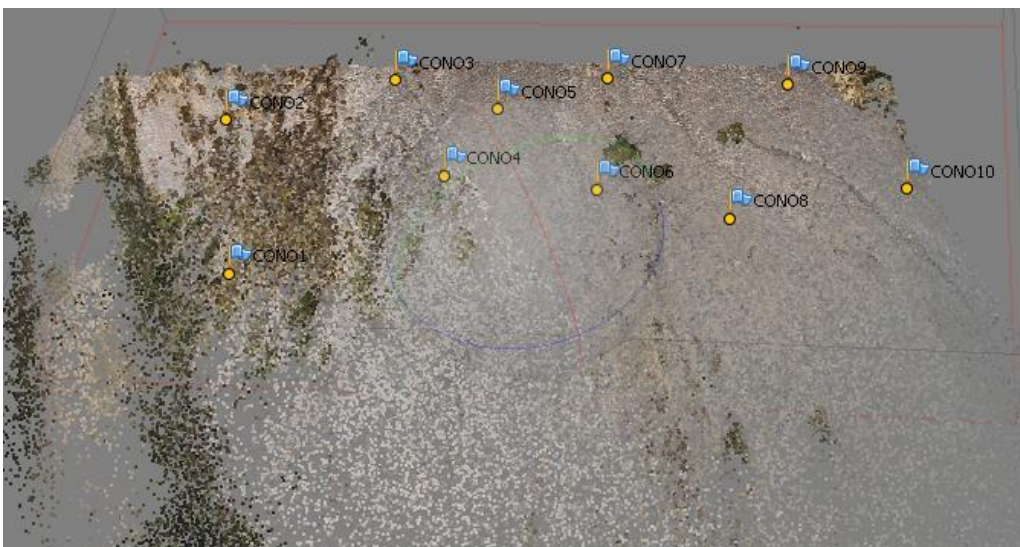


Ilustración 49. Nube de puntos del chunk 1 de la zona A del Puente Cervera.

En el chunk 1 se utilizaron 72 fotografías, que se reducen a 565886 puntos.

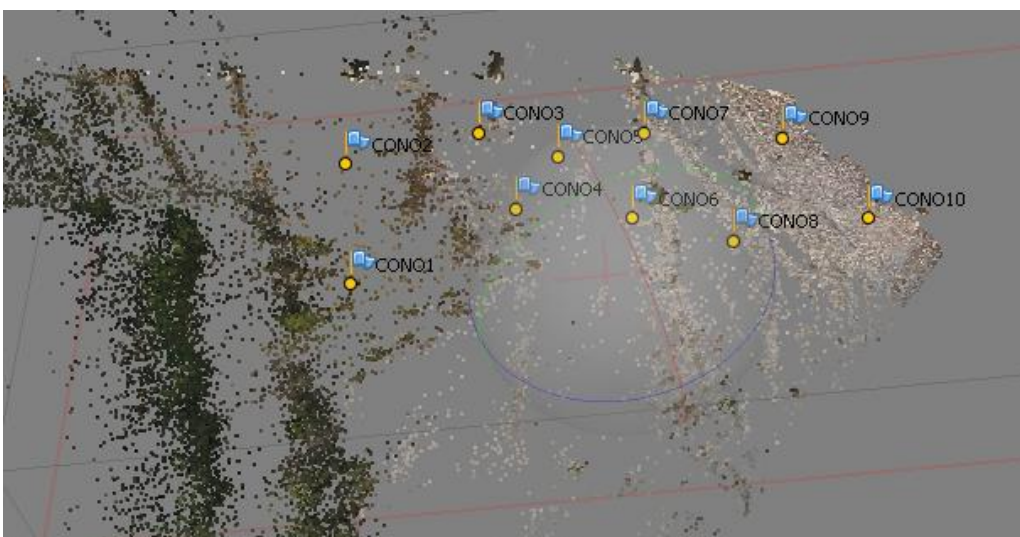


Ilustración 50. Nube de puntos del chunk 2 de la zona A del Puente Cervera. 28 imágenes 115393 puntos.

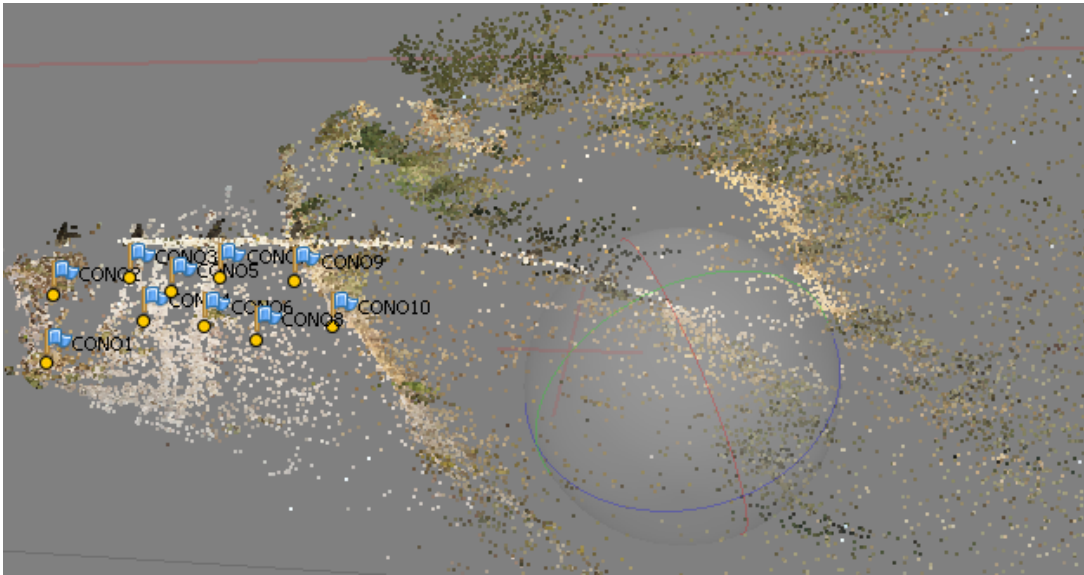


Ilustración 51. Nube de puntos del chunk 3 de la zona A del Puente Cervera. 29 imágenes 42433 puntos.

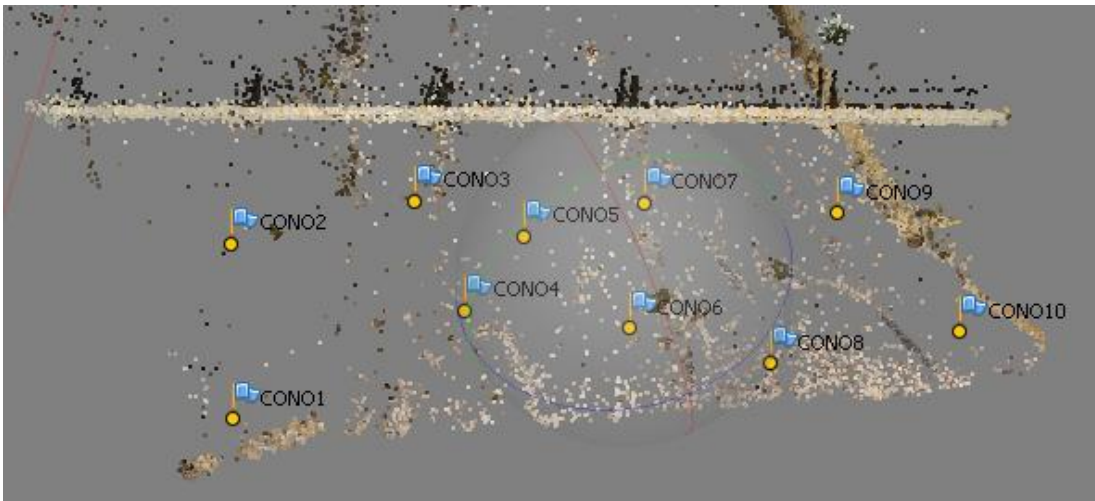


Ilustración 52. Nube de puntos del chunk 4 de la zona A del Puente Cervera. 62 imágenes 50441 puntos.

- Zona B del Puente Cervera:

Esta zona también se trató en diferentes chunks, pues su alineación en uno solo no fue viable.



Ilustración 53. Nube de puntos del chunk 1 de la zona B del Puente Cervera. 96 imágenes 736435 puntos.

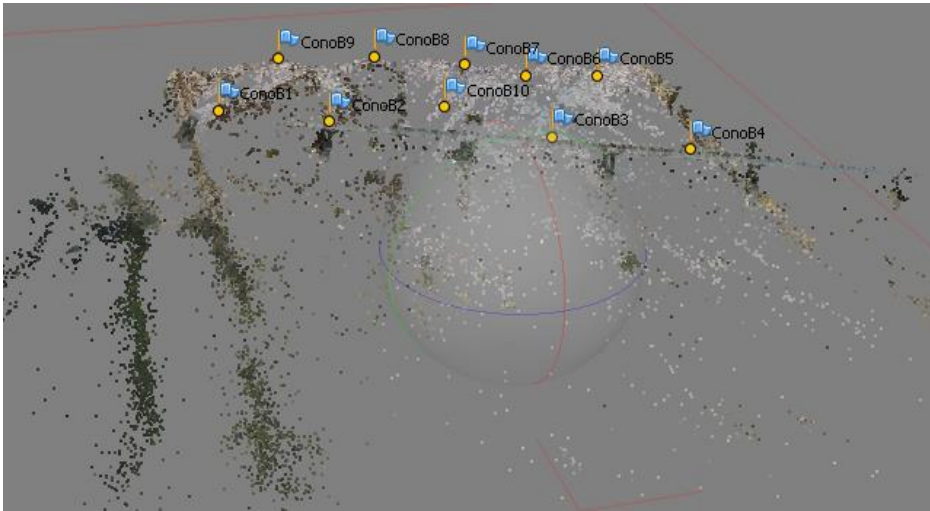


Ilustración 54. Nube de puntos del chunk 2 de la zona B del Puente Cervera. 57 imágenes 85107 puntos.

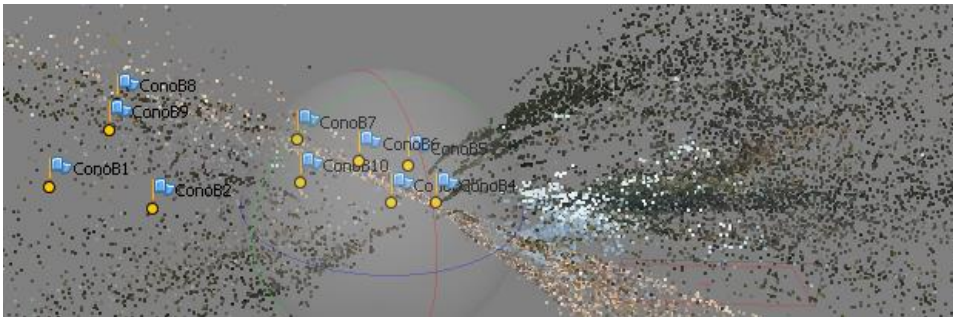


Ilustración 55. Nube de puntos del chunk 3 de la zona B del Puente Cervera. 40 imágenes 68365 puntos

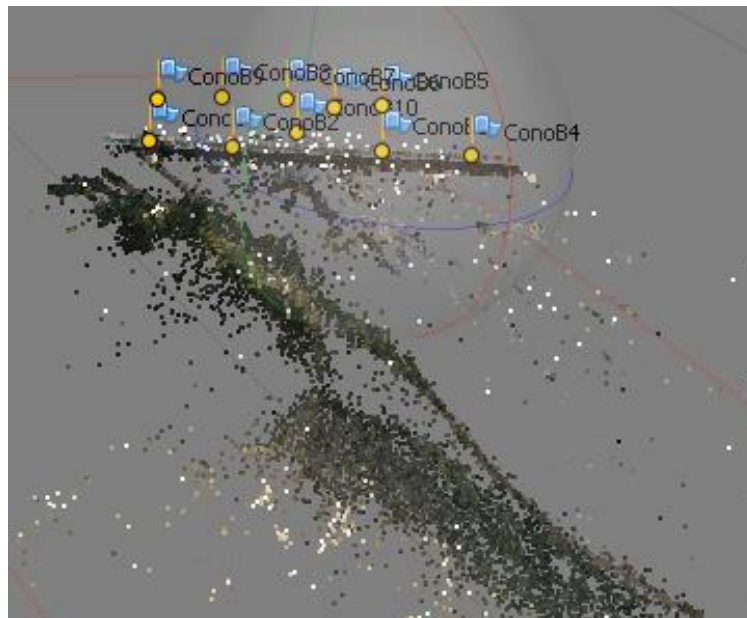


Ilustración 56 . Nube de puntos del chunk 4 de la zona B del Puente Cervera. 51 imágenes 73719 puntos

### 3.4.2.3. Importación de coordenadas

Llegados a este punto se debe importar las coordenadas obtenidas con GPS de los puntos de control (conos).

Estas coordenadas han sido modificadas antes de importarlas, pues hay que sumarles 54 cm a cada cota de cada punto de control, ya que 54 cm es la altura exacta de cada cono. Como explicación a esta suma se puede decir que en este trabajo se procura marcar las coordenadas justo en la máxima altura del cono, sin embargo, las coordenadas GPS nos proporcionan las coordenadas de la base del jalón que lo sostiene.

En este apartado se explica porque los errores obtenidos en la zona del Barranc de Molina son mayores al resto de las zonas. Pues en esta zona se nos presentaron 2 problemas. El primero de ellos fue que en el cono 1, aunque el GPS marcara como altura del jalón 2 metros, este no estaba totalmente extraído por lo que en realidad su altura era inferior. Y el segundo problema fue que tras intentar solucionar el primero el GPS marcó para el resto de conos una altura de 0 metros. Por lo que a la hora de modificar la cota de los puntos de control para sumarle esos 54 cm referentes a la altura de los conos habrá que tener en cuenta más parámetros a modificar.

Por suerte, estos problemas fueron localizados en campo y se pudo, más o menos, compensarlo, al ver que en el primer cono la altura de jalón no era la adecuada, se midió dando una altura de 1 metro y 80 centímetros. Y para el resto de puntos de control se conoce que la altura del jalón marcada por el GPS se encontraba a 0 metros, pero en realidad tenía una altura de 2 metros.

Se decidió resolver de la siguiente manera, al cono uno aparte de los 54 cm correspondientes a la altura del jalón se le sumaría 20cm más (la diferencia entre los 2m que marcaba el GPS y el 1,8m que se tenía en realidad). Y al resto de conos se le restan los 2 metros correspondientes a la altura del jalón no reflejada en el GPS.

Resultado el problema se procede a la importación de las coordenadas. Esto se realiza desde la ventana **Reference**, con la opción **import**, se escoge el txt deseado para cada zona.

A continuación se muestran las coordenadas importadas al programa.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
<input checked="" type="checkbox"/> cono1	765326.649200	4489806.762100	493.620100
<input checked="" type="checkbox"/> cono2	765312.944300	4489790.002600	492.453900
<input checked="" type="checkbox"/> cono3	765293.001600	4489794.017400	493.635000
<input checked="" type="checkbox"/> cono4	765287.228000	4489813.853400	495.089600
<input checked="" type="checkbox"/> cono5	765298.038600	4489816.431200	494.248400
<input checked="" type="checkbox"/> cono6	765310.890700	4489805.268800	492.069300

Ilustración 57. Coordenadas de los puntos de control de la Zona del Barranc de Molina.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
<input checked="" type="checkbox"/> CONO1	775428.455300	4484575.572800	257.036000
<input checked="" type="checkbox"/> CONO2	775436.794500	4484604.635700	257.629100
<input checked="" type="checkbox"/> CONO3	775462.777100	4484599.350400	257.379600
<input checked="" type="checkbox"/> CONO4	775462.503600	4484577.637800	256.897600
<input checked="" type="checkbox"/> CONO5	775474.328900	4484585.587700	257.319000
<input checked="" type="checkbox"/> CONO6	775481.019800	4484564.107200	257.175000
<input checked="" type="checkbox"/> CONO7	775491.238800	4484582.897600	257.442900
<input checked="" type="checkbox"/> CONO8	775495.069400	4484550.128500	256.894900
<input checked="" type="checkbox"/> CONO9	775513.982900	4484568.741100	256.777900
<input checked="" type="checkbox"/> CONO10	775519.029000	4484543.309100	256.474600

Ilustración 58. Coordenadas de los puntos de control de la Zona A del Puente Cervera.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB1	775433.340100	4484657.648900	258.078700
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB2	775453.537700	4484643.836900	258.447600
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB3	775495.070400	4484622.859500	257.926300
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB4	775520.009000	4484608.873500	257.477100
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB5	775518.255900	4484649.707400	258.297100
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB6	775502.781300	4484654.719100	258.462500
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB7	775492.054300	4484665.219000	258.379900
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB8	775473.711300	4484674.734300	258.997900
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB9	775453.220300	4484680.988900	258.736100
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB10	775479.538700	4484644.568700	258.006300

Ilustración 59. Coordenadas de los puntos de control de la Zona B del Puente Cervera.

### 3.4.2.4. Creación de marcadores


Teniendo las coordenadas ya en el programa se continúa con la creación de marcadores. Un marcador para cada cono, el programa hace esto de forma automática si al importar las coordenadas respondemos con **Yes to All** a la pregunta que nos aparece (¿quieres crear un nuevo marcador para el Cono1?)

Una vez creados los marcadores se debe ir fotografía a fotografía colocando los marcadores necesarios. Es decir, cada marcador correspondiente a su cono, marcando todos los conos que se puedan localizar en una misma fotografía.



Ilustración 60. Ejemplo de la colocación de marcadores sobre los conos en una de las imágenes.

Este proceso es totalmente manual, y su realización dura un par de horas para cada zona.

Con todos los marcadores colocados debidamente es importante remarcar el siguiente paso. Pues tan solo es presionar un botón, algo sumamente sencillo de olvidar, pero a la vez algo de gran importancia. Se debe **Optimizar las cámaras**, esto se consigue desde la ventana Reference, presionando en **Optimize Cameras** .

### 3.4.2.5. Unión de Chunks

El tratamiento en el programa PhotoScan para las dos áreas encontradas en la zona del Puente Cervera se realizó en diferentes chunks (como se muestra anteriormente). Por lo que en este apartado se procederá a la unión de dichos chunks para poder trabajar con ellos como uno solo.

Este proceso se elabora mediante la herramienta **Merge Chunks**, localizada en **Workflow**. Seguidamente se debe escoger que chunks se quieren unir y mediante qué. Como solo disponemos de una nube de puntos (llamado **model** en el programa) y de los marcadores (markers), se eligió que la unión de los chunks se realizara mediante estos parámetros, de los que ya disponemos.

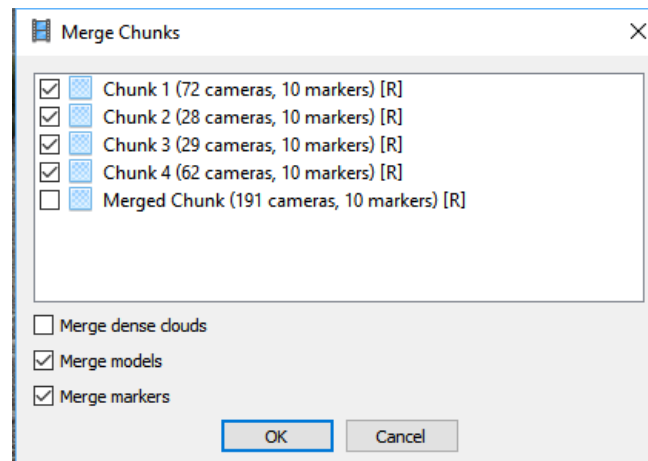


Ilustración 61. Merge Chunks.

Para la zona del Barran de Molina este proceso no es necesario, pues en su caso, se consigue alinear todas las fotografías dentro de un mismo chunk.

### 3.4.2.6. Creación de la nube de puntos densa

Este proceso se resulta sencillo cuando ya se tiene todo lo anterior.

En la ventana de **Workflow**, se escoge la opción **Build Dense Colud**, donde los parámetros a escoger son los que se muestran a continuación.

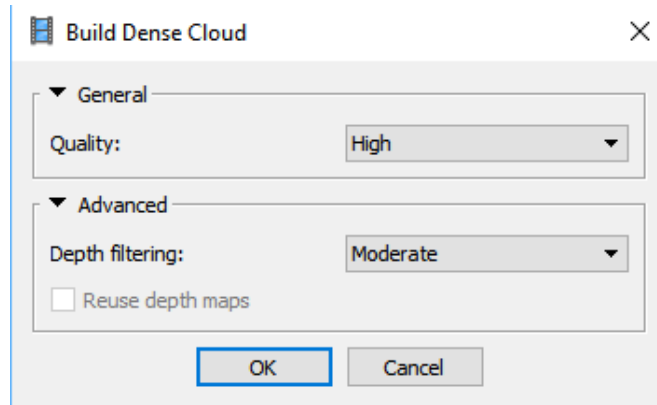


Ilustración 62. Parámetros a escoger para la nube de puntos densa.

Este proceso puede durar incluso más de 12 horas. Y el resultado que se obtiene se muestra a continuación:

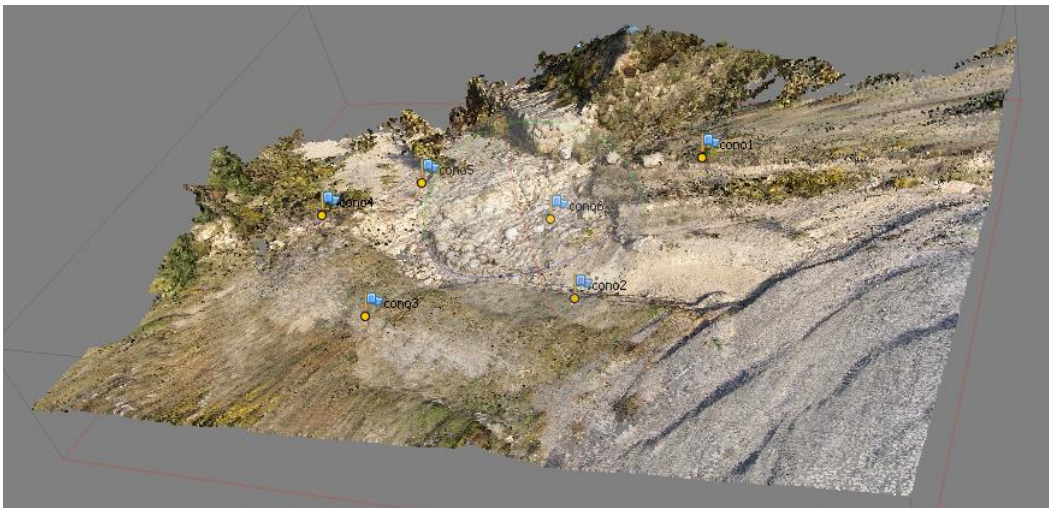


Ilustración 63. Nube de puntos densa para la Zona del Barranc de Molina.

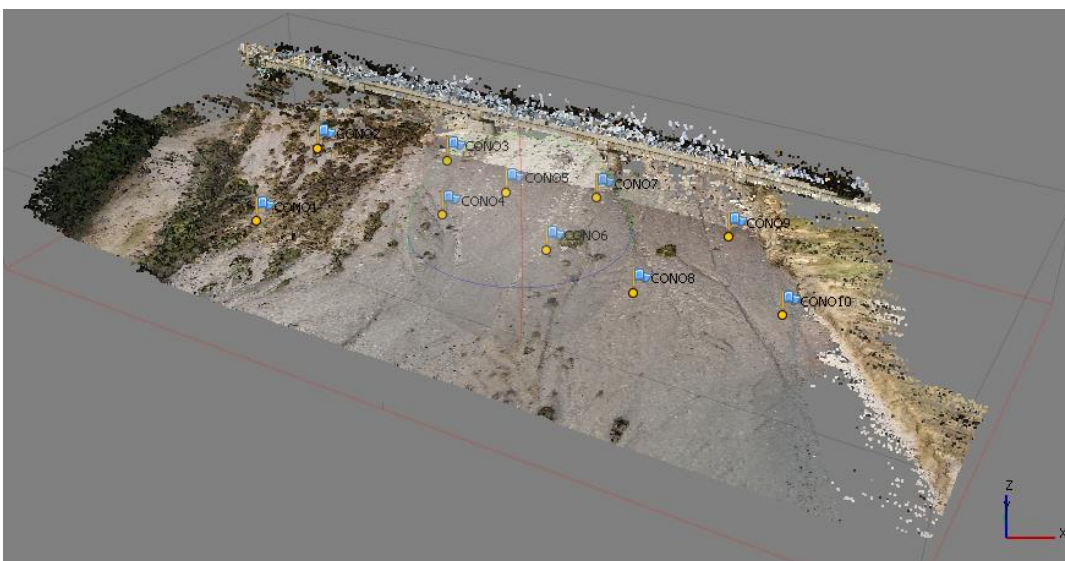


Ilustración 64. Nube de puntos densa para la Zona A del Puente Cervera.



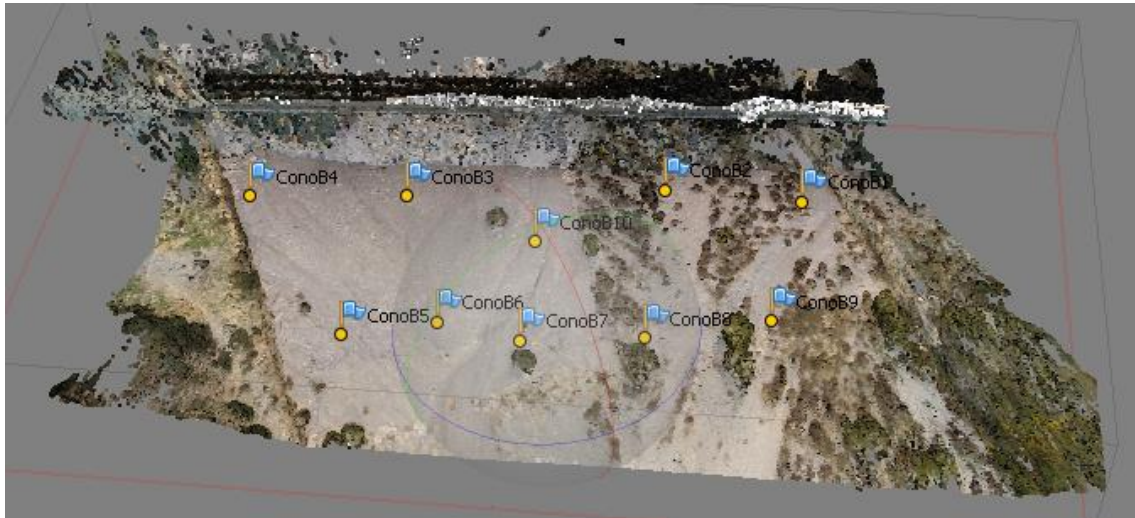


Ilustración 65. Nube de puntos densa para la Zona B del Puente Cervera.

### 3.4.2.7. Eliminación de ruido

Para la eliminación de ruido se utiliza el comando **Free Form Selection**, que nos permite encerrar en una geometría dibujada los puntos que se consideren erróneos para su posterior eliminación.

Una vez seleccionados esos puntos con la herramienta definida anteriormente se presiona suprimir y dichos puntos quedan eliminados.

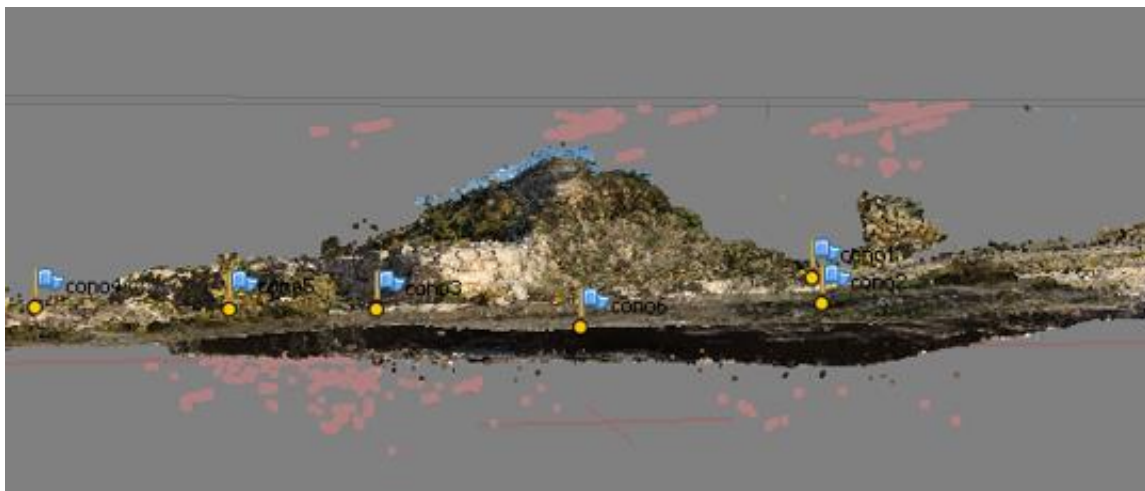


Ilustración 66. Ejemplo de la eliminación de ruido en la zona del Barranc de Molina.

El modelo resultante de la eliminación de ruido para la zona del Barranc de Molina es el que se muestra en el apartado anterior, en la ilustración 63.

Para la zona del Puente Cervera, ese ruido innecesario que deberá eliminarse consiste en el puente que cruza por medio de la zona de estudio y que separa ambas áreas.

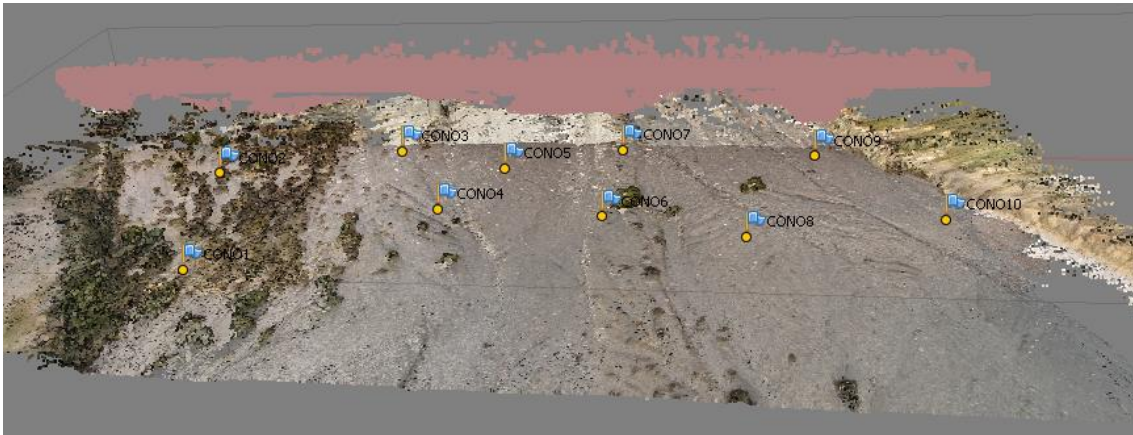


Ilustración 67. Ejemplo de la eliminación de ruido en la zona A del Puente Cervera.

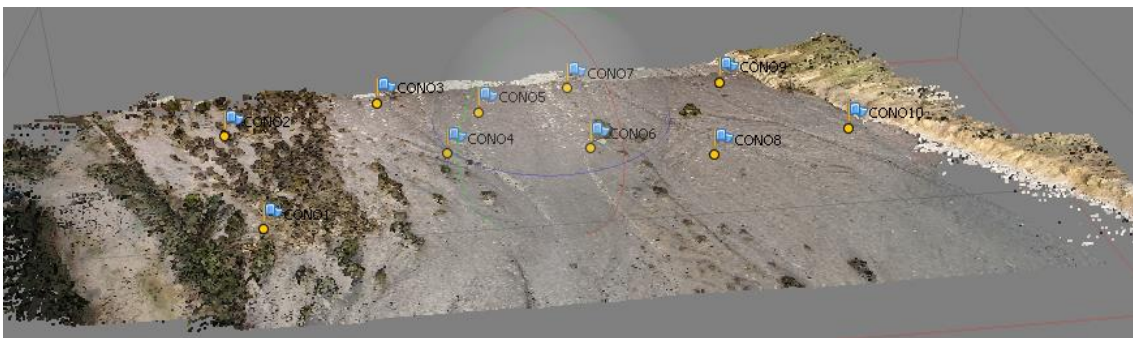


Ilustración 68. Resultado de la eliminación de ruido en la zona A del Puente Cervera.

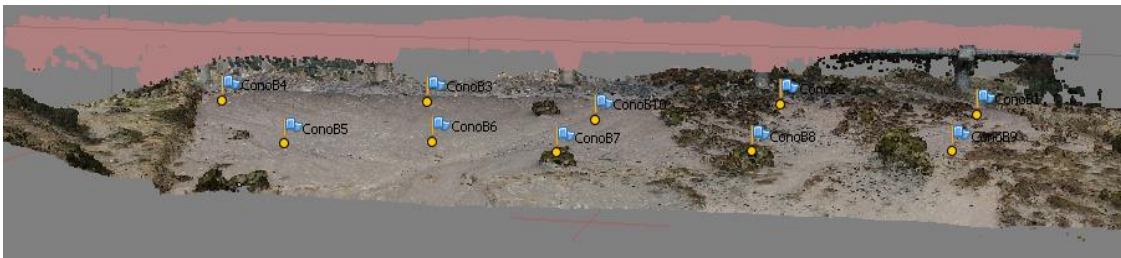


Ilustración 69. Ejemplo de la eliminación de ruido en la zona B del Puente Cervera.



Ilustración 70. Resultado de la eliminación de ruido en la zona B del Puente Cervera.

### 3.4.2.8. Visualización y análisis de errores

A continuación se muestran los errores obtenidos en las coordenadas de cada zona.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> cono1	765326.649200	4489806.762100	493.620100	0.005000	0.113450	91	0.742
<input checked="" type="checkbox"/> cono2	765312.944300	4489790.002600	492.453900	0.005000	0.696372	81	0.500
<input checked="" type="checkbox"/> cono3	765293.001600	4489794.017400	493.635000	<b>0.005000</b>	0.145136	63	0.457
<input checked="" type="checkbox"/> cono4	765287.228000	4489813.853400	495.089600	0.005000	0.173270	57	0.610
<input checked="" type="checkbox"/> cono5	765298.038600	4489816.431200	494.248400	0.005000	0.150747	87	0.664
<input checked="" type="checkbox"/> cono6	765310.890700	4489805.268800	492.069300	0.005000	0.250354	119	0.804
<b>Total Error</b>							
Control points					0.325139		0.664
Check points							

Ilustración 71. Errores en las coordenadas de los marcadores de la zona Barranc de Molina.

En esta zona obtenemos un error en el control de los marcadores de 32 centímetros. Las coordenadas con mayor error son las del cono2 (superior al medio metro). Se ha buscado como poder mejorar dicha coordenada, pero al eliminar marcadores o retocar su posición el error apenas cambia. No es un mal resultado teniendo en cuenta los problemas que tuvimos en esta zona.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> CONO1	775428.455300	4484575.572800	257.036000	0.005000	0.044751	41	3.954
<input checked="" type="checkbox"/> CONO2	775436.794500	4484604.635700	257.629100	0.005000	0.028501	28	5.318
<input checked="" type="checkbox"/> CONO3	775462.777100	4484599.350400	257.379600	0.005000	0.026917	69	2.024
<input checked="" type="checkbox"/> CONO4	775462.503600	4484577.637800	256.897600	0.005000	0.048846	72	2.670
<input checked="" type="checkbox"/> CONO5	775474.328900	4484585.587700	257.319000	0.005000	0.047776	69	1.347
<input checked="" type="checkbox"/> CONO6	775481.019800	4484564.107200	257.175000	0.005000	0.037060	76	4.082
<input checked="" type="checkbox"/> CONO7	775491.238800	4484582.897600	257.442900	0.005000	0.031279	70	1.316
<input checked="" type="checkbox"/> CONO8	775495.069400	4484550.128500	256.894900	0.005000	0.036920	61	2.209
<input checked="" type="checkbox"/> CONO9	775513.982900	4484568.741100	256.777900	0.005000	0.065771	49	4.498
<input checked="" type="checkbox"/> CONO10	775519.029000	4484543.309100	256.474600	0.005000	0.075456	31	5.077
<b>Total Error</b>							
Control points					0.046843		3.209
Check points							

Ilustración 72. Errores en las coordenadas de los marcadores de la zona A del Puente Cervera.

En la zona A del Puente Cervera obtenemos un error en el control de los marcadores de 4 centímetros. Las coordenadas con mayor error son las del cono9 (Con un error de apenas 7 cm).

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB1	775433.340100	4484657.648900	258.078700	0.005000	0.207382	41	39.299
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB2	775453.537700	4484643.836900	258.447600	0.005000	0.102862	49	10.533
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB3	775495.070400	4484622.859500	257.926300	0.005000	0.058106	52	10.605
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB4	775520.009000	4484608.873500	257.477100	0.005000	0.230746	32	6.334
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB5	775518.255900	4484649.707400	258.297100	0.005000	0.036079	64	7.022
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB6	775502.781300	4484654.719100	258.462500	0.005000	0.054867	62	3.843
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB7	775492.054300	4484665.219000	258.379900	0.005000	0.045193	68	11.914
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB8	775473.711300	4484674.734300	258.997900	0.005000	0.150570	49	2.669
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB9	775453.220300	4484680.988900	258.736100	0.005000	0.010321	36	11.691
<input checked="" type="checkbox"/> ConoB10	775479.538700	4484644.568700	258.006300	0.005000	0.166299	42	12.280
<b>Total Error</b>							
Control points					0.129227		14.299

Ilustración 73. Errores en las coordenadas de los marcadores de la zona B del Puente Cervera.

En la zona B del Puente Cervera obtenemos un error en el control de los marcadores de 12 centímetros. Las coordenadas con mayor error son aquellas en las cuales los marcadores que se han visto proyectados en menos imágenes (el ConoB1 (41 proyecciones) y el ConoB4 (32 proyecciones)).

### 3.4.2.9. Generación de malla y textura

El siguiente paso es la generación de malla y textura. Este paso es igual para todas las zonas. Como se pretende procesar ambas acciones se realiza desde el comando **Batch Process** de la ventana de **Workflow**.

En dicho comando se especifica las acciones a realizar y el orden a proceder. Se escoge primero **Build Mesh**, para la creación de la malla, y a continuación **Build Textura**, el proceso que nos generará la textura del modelo.

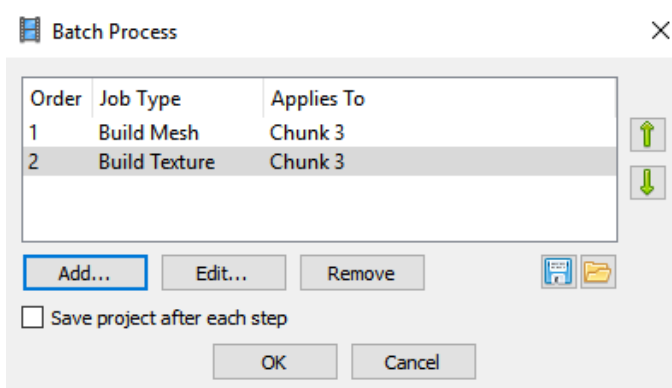


Ilustración 74. Selección de procesos en Batch Process.

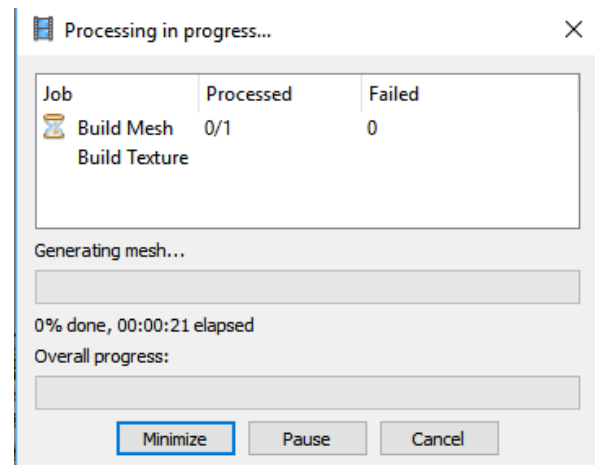


Ilustración 75. Batch Process.

### 3.4.2.10. Generación del MDE

La generación de un modelo digital de elevaciones (MDE) es el objetivo principal de este tratamiento de fotografías.

Este proceso que se continúa explicando más abajo debe de repetirse para todas las zonas de estudio.

En el programa FUSION, se puede obtener el MDE a partir de la nube de puntos densa, mediante el comando **Build DEM** perteneciente a la ventana **Workflow**.

En dicho comando se debe especificar: el sistema de coordenadas utilizado, que tiene que ser el mismo que se utilizó para la generación del modelo, es decir, en la alineación de fotografías, y, de donde se van a obtener los datos para la generación del MDE, que debe ser de la nube de puntos densa.

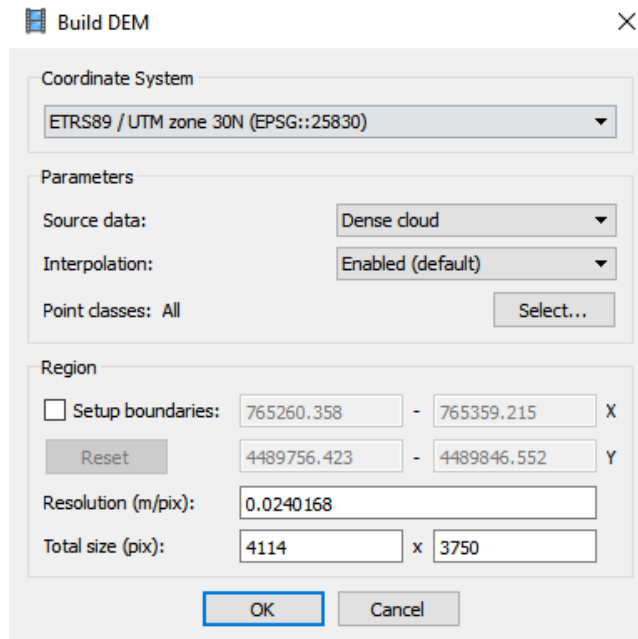


Ilustración 76. Comando Buuild DEM.

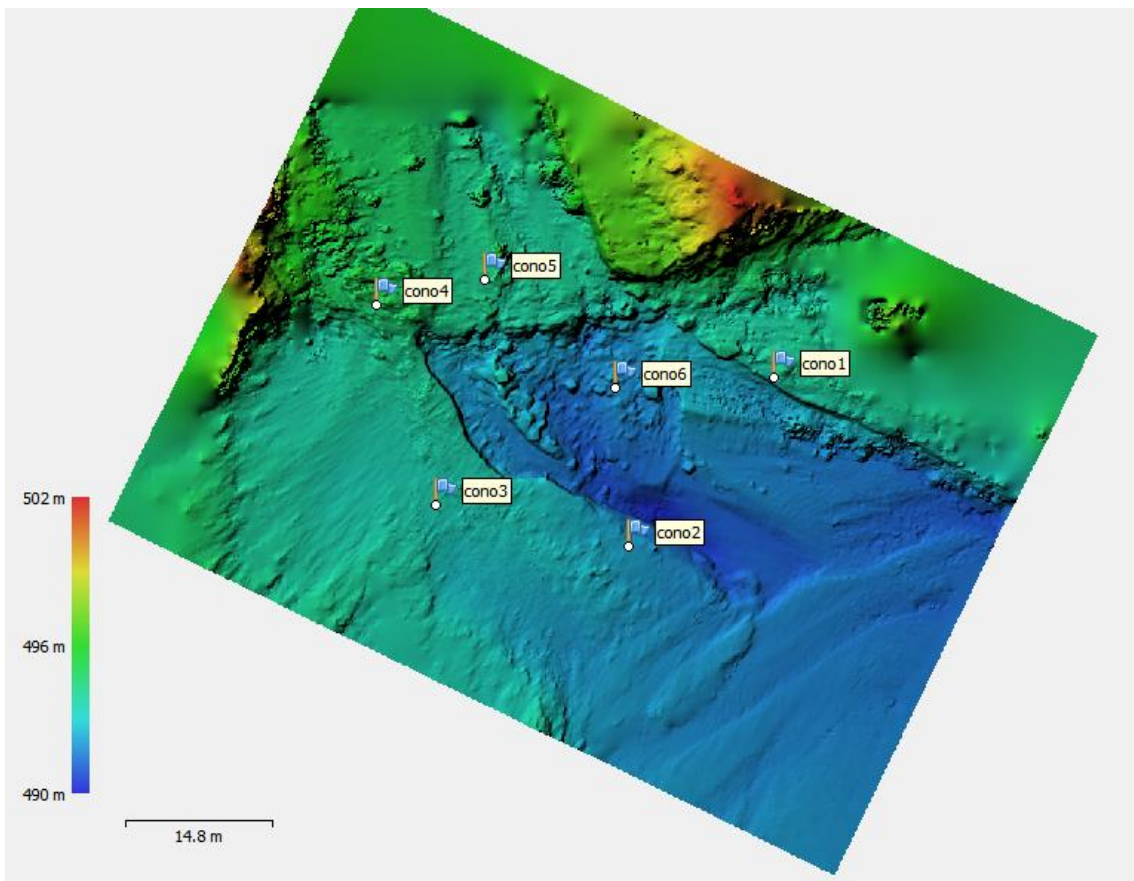


Ilustración 77. MDE de la zona del Barranc de Molina.

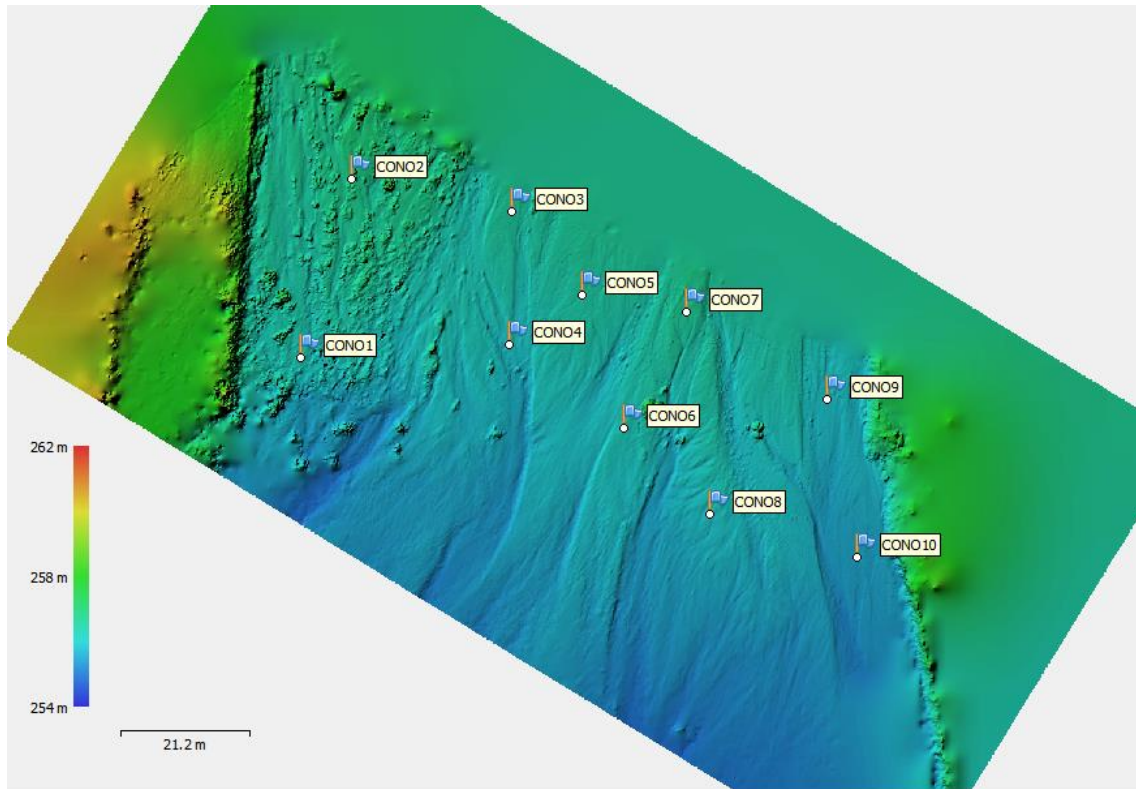


Ilustración 78. MDE de la zona B del Puente Cervera.

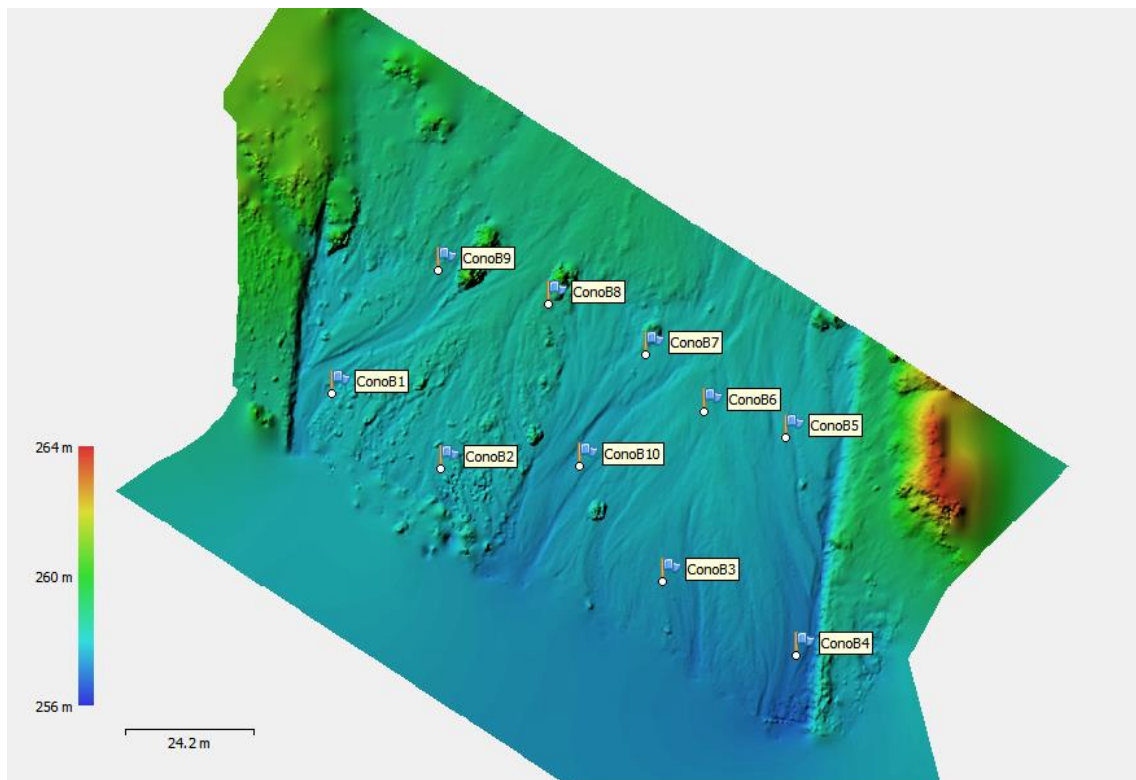


Ilustración 79. MDE de la zona B del Puente Cervera.

### 3.4.2.11. Exportación de datos

Una vez realizados todos los pasos anteriores en el tratamiento de las fotografías digitales, se llega a la exportación de datos.

En este apartado se podría exportar la información referente a la nube de puntos en un formato .las, pero como se ha obtenido en el apartado anterior el MDE no nos interesa volver a crear uno a partir del fichero .las en el programa FUSION.

Lo que lleva a la exportación directa del MDE de cada zona. Con el comando **Export DEM**, localizado en la ventana **File**.

Donde nos debemos asegurar que el sistema de coordenadas es el mismo que el utilizado para su generación y para la generación del modelo (alineación de fotografías).

Los MDE generados se exportaran en archivos ASCII, los cuales pueden tratarse en el programa ArcGis.

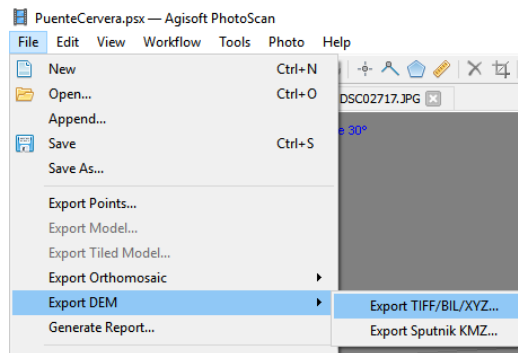


Ilustración 80. Localización del comando Export DEM.

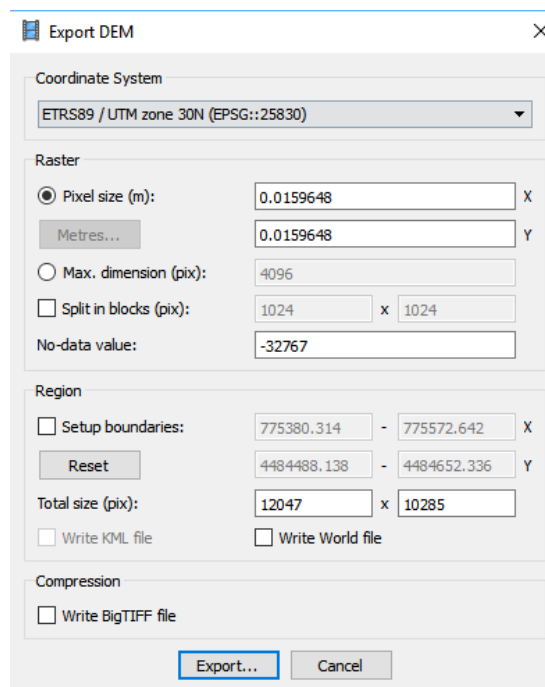


Ilustración 81. Comando Export DEM.

### 3.5. Visualización y comparación de modelos

La comparación y análisis de los datos se va a realizar desde el programa ArcGis, desde una de sus herramientas ArcMap.

Para realizar lo pretendido se debe primero cambiar el formato en el que se encuentran los modelos, de formato ASCII a Raster. Mediante la herramienta ASCII to RASTER, que puede encontrarse en la pestalla de búsqueda (search) de la que dispone ArcMap, para la búsqueda de herramientas.

Donde se obtienen los siguientes resultados para cada zona:

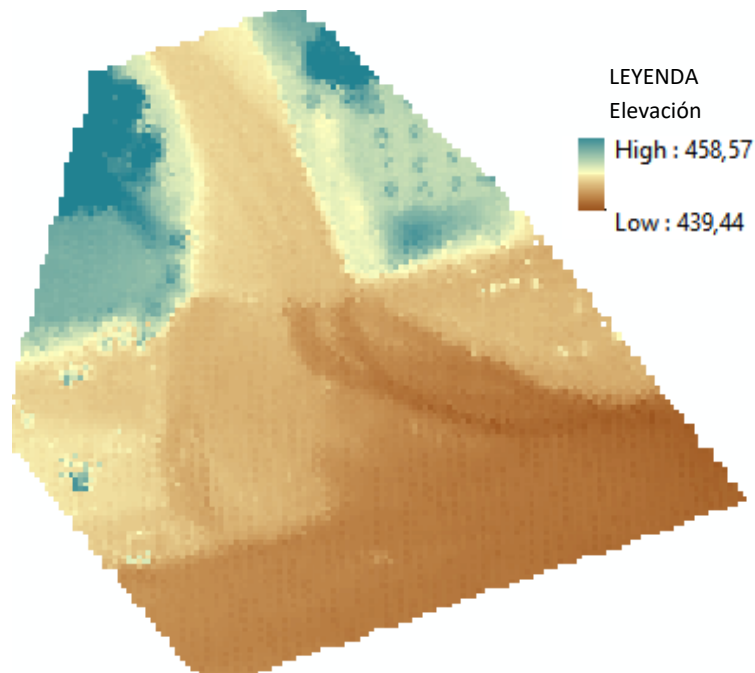


Ilustración 82. MDE de los datos LIDAR de la zona del Barranc de Molina en formato Raster.

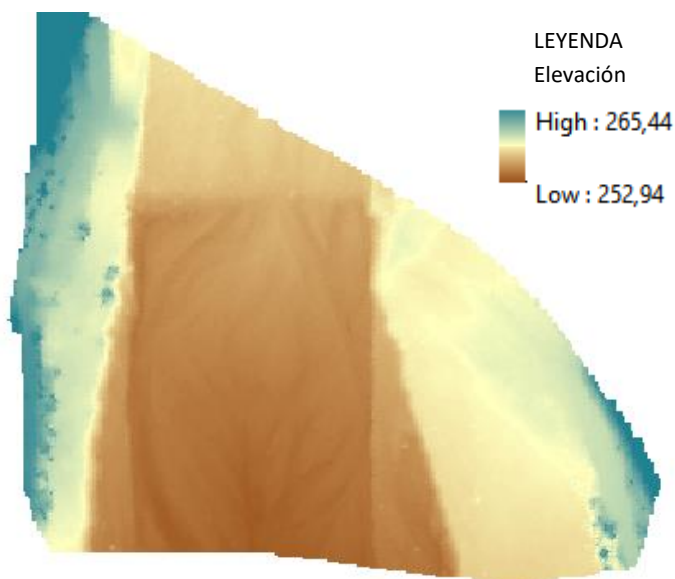


Ilustración 83. MDE de los datos LIDAR de la zona A del Puente Cervera en formato Raster.



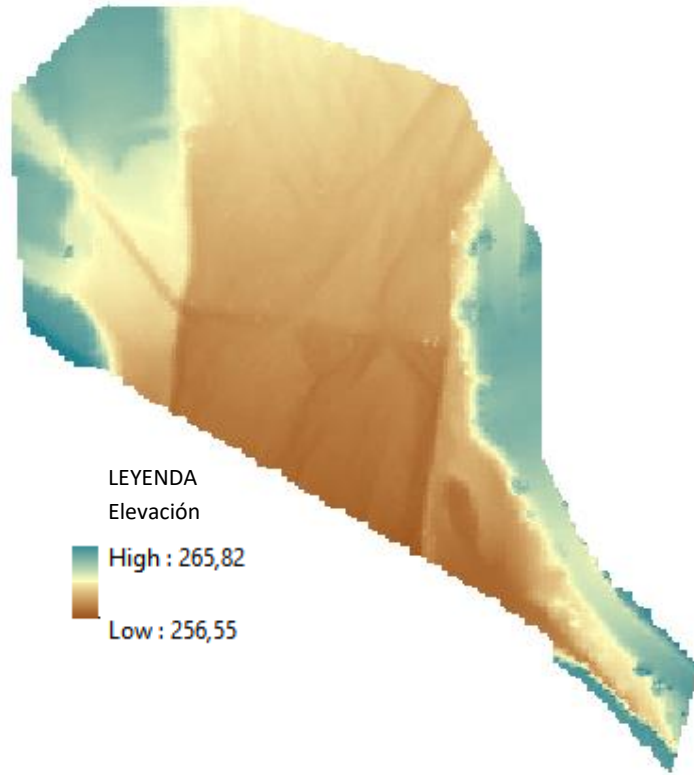


Ilustración 84. MDE de los datos LIDAR de la zona B del Puente Cervera en formato Raster.

Los visualizados en las imágenes anteriores corresponden a los modelos obtenidos mediante los datos LIDAR. Los que se muestran a continuación son los obtenidos mediante fotografías digitales:

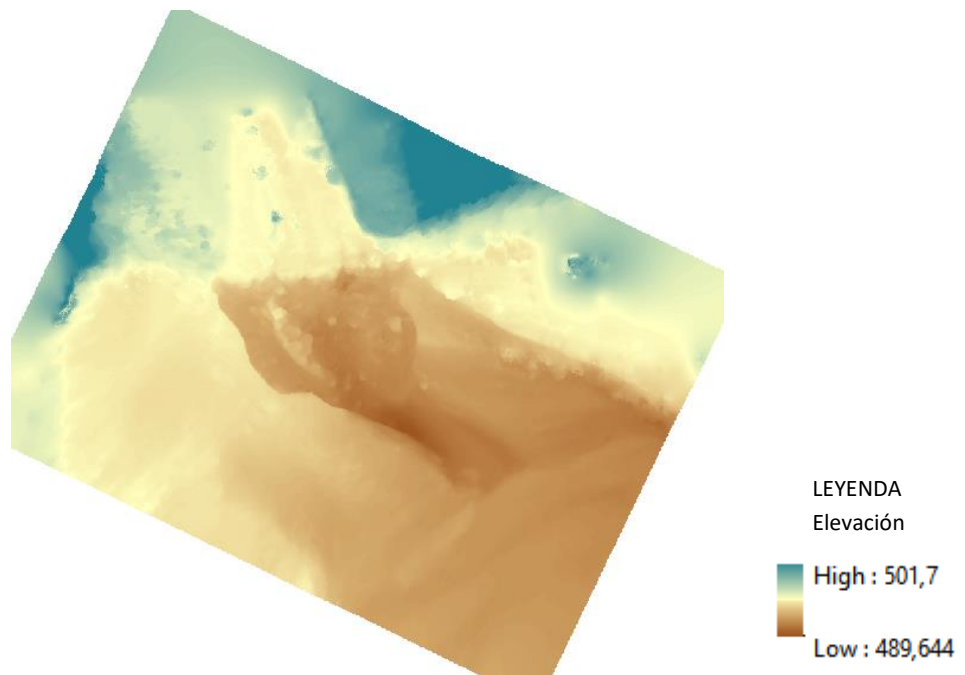


Ilustración 85. MDE obtenido de las fotografías de la zona del Barranc de Molina en formato Raster.

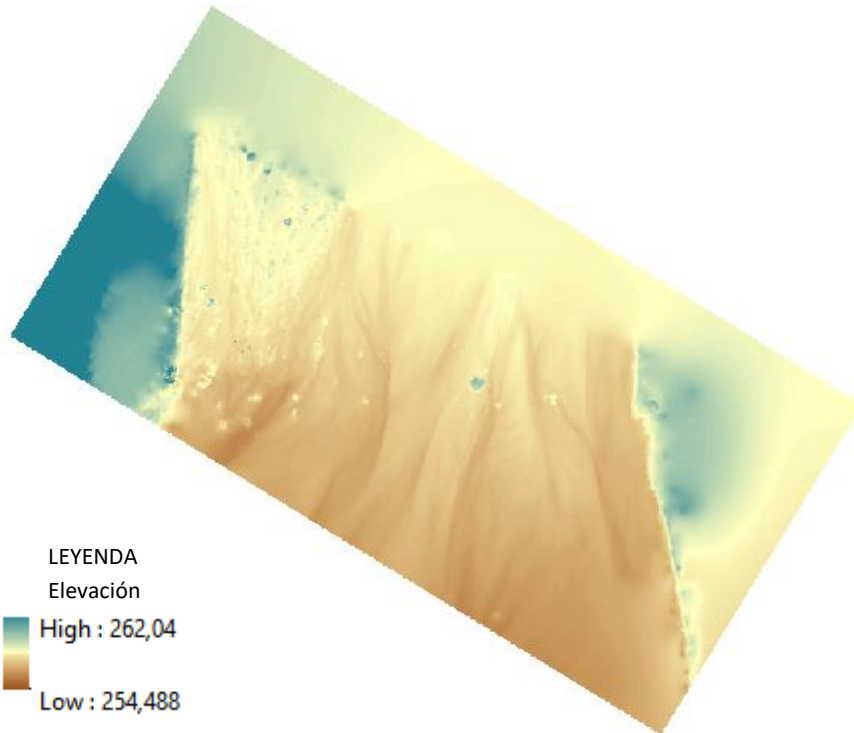


Ilustración 86. MDE obtenido de las fotografías de la zona A del Puente Cervera en formato Raster.

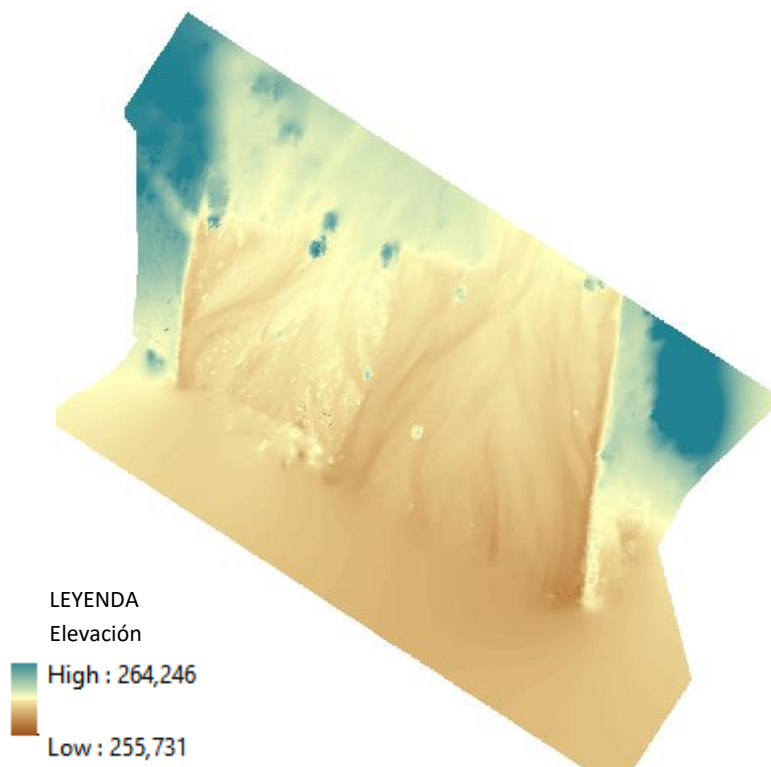


Ilustración 87. MDE obtenido de las fotografías de la zona B del Puente Cervera en formato Raster.

Para comparar la diferencia que hay entre ambos modelos obtenidos (por fotografías digitales y datos LIDAR) se podría realizar una operación de “resta”, la cual resta un modelo con el otro y nos deja como resultado la diferencia. Esto puede realizarse a través de la herramienta Raster Calculator, localizada en AcrCatalog /ToolBox / Spatial analys Tool / Map Algebra.

Sin embargo, como nuestros modelos no representan exactamente la misma superficie, este comando nos da problemas, y el resultado obtenido resulta de zonas en las que no tenemos interés, y lo más fácil que es lleve a confusión. Por lo que se descarta esta metodología.

Se pueden visualizar diferencias en el fondo de la rambla y esto puede ser causado no por un mal resultado de algún modelo, sino por los cambios que se hayan podido realizar en el terreno de estudio.

Pues, los datos LIDAR utilizados tienen fecha del año 2009. Y las fotografías y datos GPS son del año 2015.

También, podemos tener algún error producido por la existencia de objetos físicos en el terreno, refiriendo a los conos marcados como puntos de apoyo. Cuando se georrefencian las nubes de puntos antes de generar el MDE, en los puntos donde hay conos se introduce 54cm más a la coordenada Z, haciendo referencia a la altura del cono. Lo que, no se ve representado en los modelos generados con datos LIDAR pues no introducimos en ellos puntos de apoyo.

Un objetivo secundario de la obtención de estos modelos podría ser la cuantificación de canales de drenaje presentes en las zonas de estudio. Todas las zonas de estudio pertenecen a la Rambla Cervera, la cual se caracteriza en que el caudal es inexistente durante gran parte del año. En estos canales se experimenta una bajada de cota, y por lo tanto, una acción erosiva mayor. Aunque, se puede ver en los modelos MDE que se trata de una llanura aluvial con escasa pendiente.

Las redes de drenaje son la manifestación de la escorrentía superficial, esto implica un proceso dinámico que no se manifiesta con una intensidad estable, además de que dependen de la actuación de numerosos factores. Principalmente depende de las precipitaciones que intervienen con varias intensidades y de la respuesta que obtiene el suelo a consecuencia de dichas precipitaciones. También dependen las características del suelo, como la permeabilidad y condiciones de humedad, además de la pendiente, longitud, posición y orientación que intervienen directamente en la aceleración y velocidad de la escorrentía. Al igual que la cubierta vegetal y la densidad de la misma pueden facilitar la infiltración o reducir la aceleración o velocidad de la que se hablaba anteriormente.

Sin embargo, para cuantificar correctamente el drenaje de esta zona se necesita un estudio mucho más exhaustivo, propio de un análisis morfológico. Como no se dispone del tiempo suficiente para realizar este análisis, se ha realizado una valoración general con la observación de los modelos y sus diferencias.

Se puede comprobar, entonces, en que los canales de drenaje si se observa bastante diferencia, es decir, son zona de cambio a lo largo del tiempo. Por las razones expuestas anteriormente, como el aumento de caudal con las lluvias.

#### 4. CONCLUSIONES

- A partir de la nube de puntos densa

Los resultados que se obtienen una vez realizada la toma de datos y el procesado de las fotografías, son los diferentes MDE para cada zona estudiada.

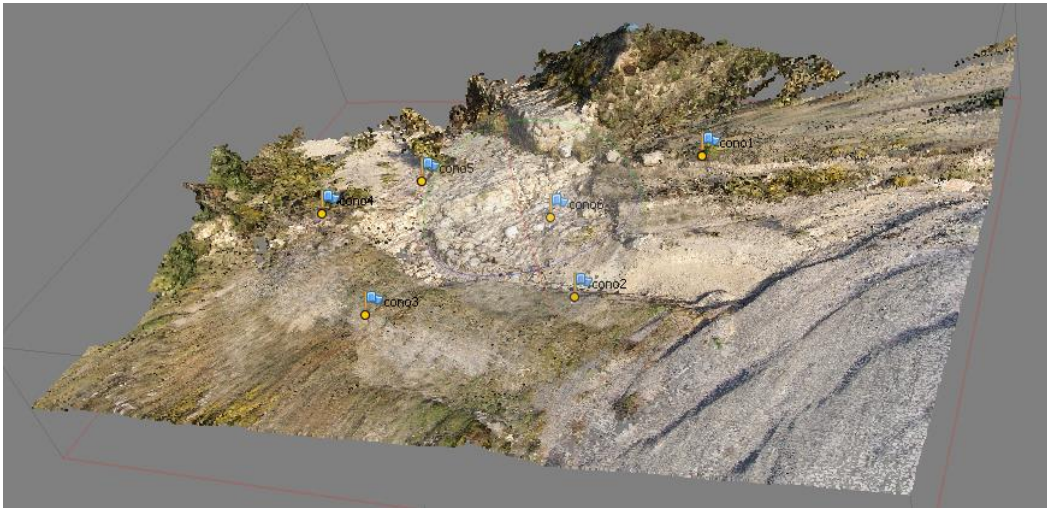


Ilustración 88. Nube de puntos densa para la Zona del Barranc de Molina

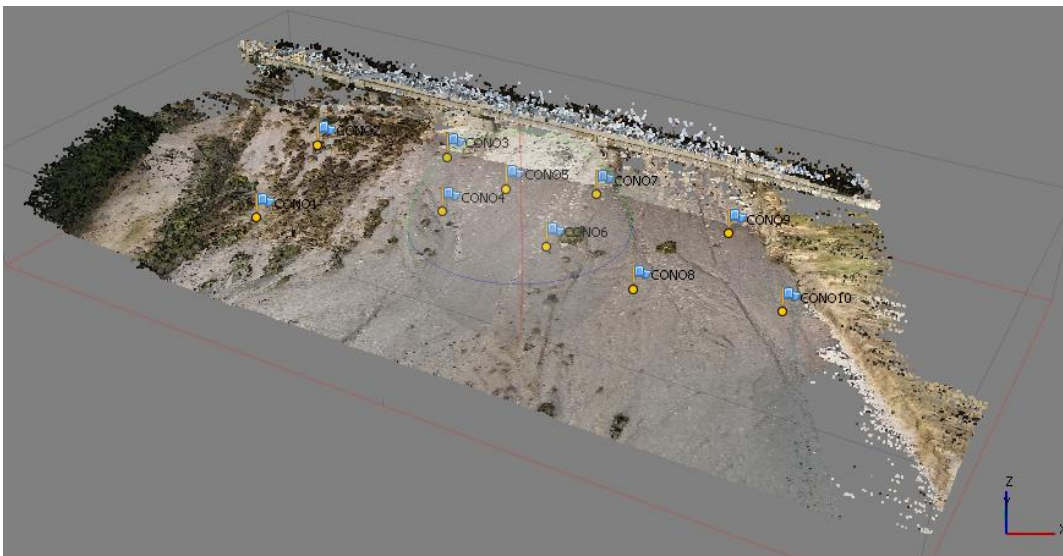
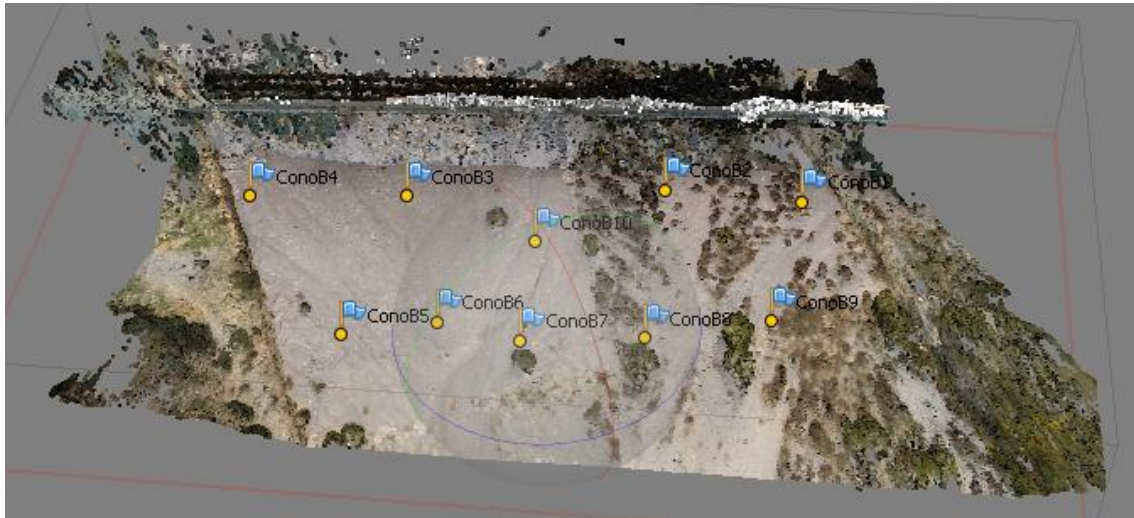


Ilustración 89. Nube de puntos densa para la Zona A del Puente Cervera.



**Ilustración 90. Nube de puntos densa para la Zona B del Puente Cervera.**

Se han obtenido nubes de puntos de 23, 20 y 4 millones de puntos, de la zona A del Puente Cervera, de la zona B del mismo y de la zona del Barranc de Molina, respectivamente. Con unas precisiones de 4, 12 y 20 centímetros. Por lo que se puede decir que tras la generación de los modelos mediante fotografías digitales se consigue una precisión centimétrica.

Por lo que se llega a la conclusión de que con las nubes de puntos densa se consigue una resolución de 0.1m en la generación de los modelos digitales. Pues, la zona del Barranc de Molina de errores mayores, pero se debe tener en cuenta los problemas ocasionados en dicha zona, que aunque, visiblemente resueltos no significa que no puedan perjudicar el resultado.

- A partir de los modelos digitales de elevaciones:

Se generan con una resolución de 0.1 metros.

Como se puede ver en las imágenes, se puede contemplar mucho mejor el fondo de la rambla en los modelos generados mediante fotografías digitales que los generados a través de datos LIDAR. Además los modelos generados a partir de las fotografías muestran una claridad de detalle que no se puede observar en los modelos generados a partir de datos Lidar.

Por lo que, se llega a la conclusión, de que los modelos generados con fotografía terrestre llegan a tener la misma resolución que se puede conseguir mediante datos LIDAR, y en cambio un lujo de detalles que el modelos generados mediante datos LIDAR no puede ofrecer.

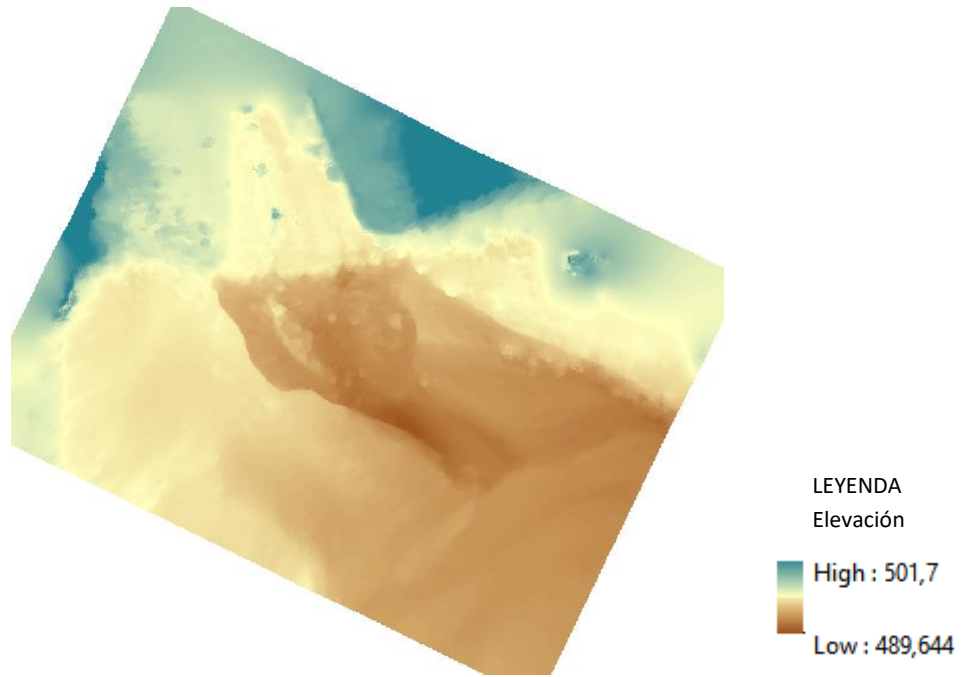


Ilustración 91. MDE obtenido de las fotografías de la zona del Barranc de Molina en formato Raster.

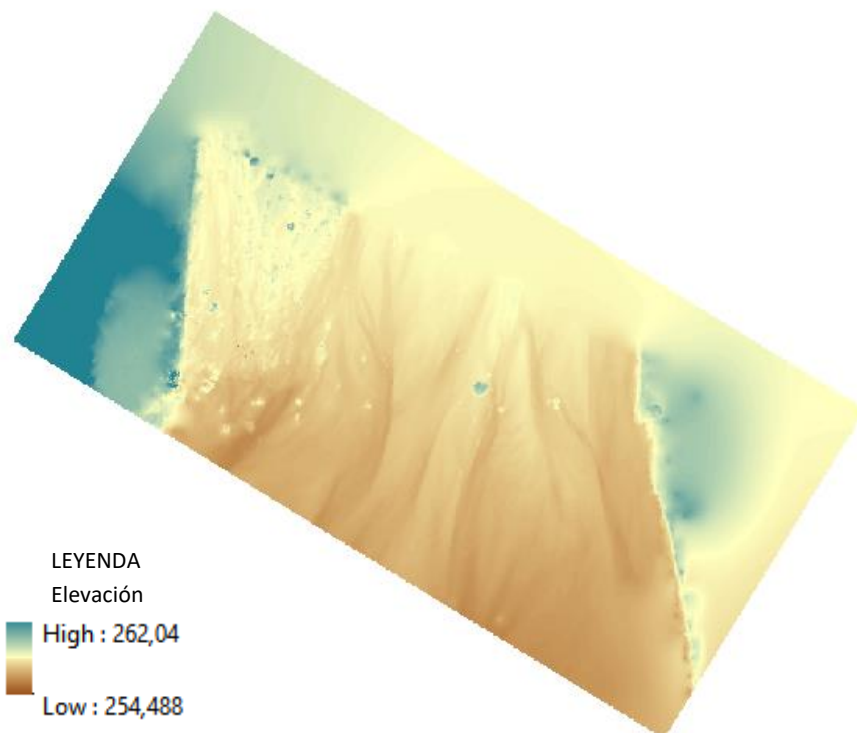


Ilustración 92. MDE obtenido de las fotografías de la zona A del Puente Cervera en formato Raster.

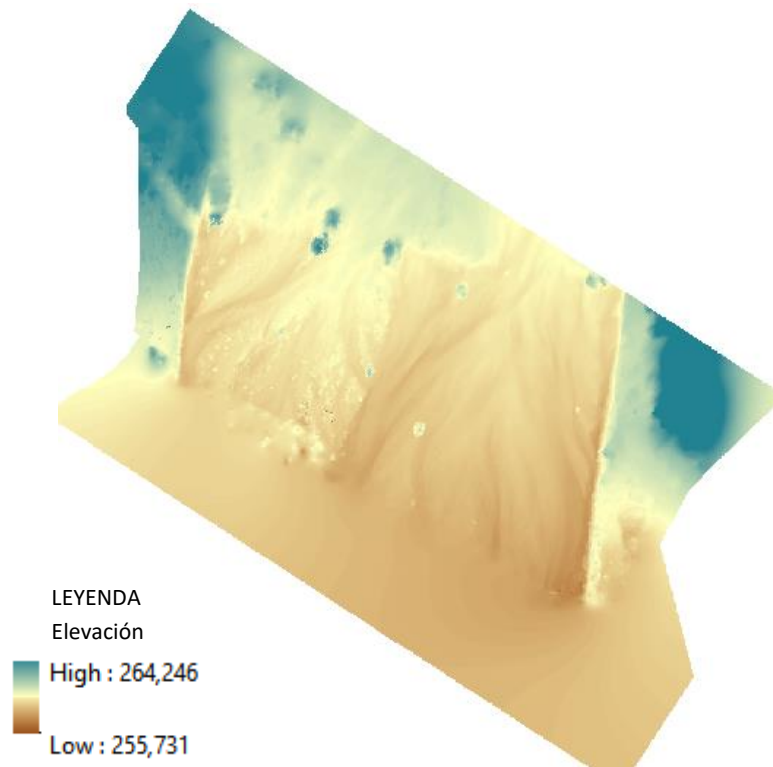


Ilustración 93. MDE obtenido de las fotografías de la zona B del Puente Cervera en formato Raster.

#### 4.1. Tiempo y costes

Un objetivo específico del presente proyecto, es obtener valores sobre el tiempo empleado además del coste que pueda proporcionar.

El alquiler de GPS oscila entre los 120 y 150 euros por día, con el IVA incluido. Sabiendo que la toma de datos nos costó solamente un día, conocemos ya el valor económico y temporal que nos dedicará la medición con GPS.

Material	Coste (euros)
Cámara réflex (Alta resolución)	400
Alquiler GPS	150 (IVA incluido)
Software	
PhotoScan	160 (Licencia estudiantil)
ArcGIS	100 (Licencia estudiantil)
LasTools	Software Libre
FUSION/LVD	Software Libre
Total:	810

Por otro lado, el coste de la cámara réflex de alta resolución es aproximadamente de 400 euros (en el caso de que no se pudiera obtener de ninguna otra fuente y fuera necesario comprarla).

Se conoce, también, el coste de las licencias de los software, en este caso consideremos la licencia estudiantil, ya que reduce bastante el precio, y en nuestro caso se podría obtener.

El proyecto ha consistido en la combinación de la técnica del uso de cámara fotográfica con el uso de un GPS para la definición de los puntos de apoyos que en las imágenes se vean representados.

Sin tener en cuenta los software utilizados y dando por sentado que el usuario dispone de una cámara con alta resolución, el coste sería solamente el del GPS alquilado, es decir de 150 euros.

Sin embargo, hay que tener presente que el tiempo de toma de datos es considerablemente corto, pero, el trabajo en gabinete nos demora mucho más tiempo. Y según queramos elevar la calidad de los resultados los procesos duraran mucho tiempo.

## 4.2. Conclusión

Tras todos los procesos de trabajo, análisis y generación de resultados, se llega a la conclusión de que mediante la técnica de generación de modelos 3D realizada a partir de fotografías digitales es posible obtener un modelo tridimensional con buenas precisiones y resoluciones. Además de un coste muy asequible comparándolo con la obtención de datos espaciales actualizados, y un tiempo óptimo.

En la actualidad existen múltiples formas de realizar esta metodología e incluso de mejorarla. Con la existencia de tanta tecnología tan avanzada al alcance de cualquiera, los software adecuados y una pequeña base de conocimiento, esta metodología podría ser utilizada para muchos otros campos, como: la arquitectura, Catalogación y documentación gráfica del patrimonio histórico-artístico, arqueología, industria, ingeniería, medicina, criminología, ciencias naturales e incluso en emergencias.



## 5. Bibliografía

Historia:

<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/352/1/Muro%20Morales-Fotogrametria.pdf>

Artículo fotogrametría:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57928/Lerma%3bCabrelles%3bNavarro%20-%20Aplicaci%C3%B3n%20de%20la%20fotogrametr%C3%ADa%20terrestre%20al%20levantamiento%20de%20alzados%20de....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Modelo 3D:

<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/21696/1/Comunicacion16983.pdf>

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/61249/Lerma%3bCabrelles%3bNavarro%20-%20Modelado%20fotorreal%3ADstico%203D%20a%20partir%20de%20procesos%20fotogram%C3%A9tricos%3a%20l%C3%A1ser....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/61249/Lerma%3bCabrelles%3bNavarro%20-%20Modelado%20fotorreal%3ADstico%203D%20a%20partir%20de%20procesos%20fotogram%C3%A9tricos%3a%20l%C3%A1ser....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/46547/1/2014\\_MartinezCebrian\\_Congreso\\_TIG.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/46547/1/2014_MartinezCebrian_Congreso_TIG.pdf)

Lidar:

<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/381249/TesisMPMB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rambla Cervera:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/67070/Sanchis%3bFrancisca%20-%20Spatial%20variability%20of%20channel%20changes%20in%20a%20Mediterranean%20ephemeral%20stream%20in....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fotogrametría terrestre:

<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/33162/1/502038.pdf>

Photoscan:

<https://www.agisoft.es/products/agisoft-photoscan/>

[http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/37635/1/TFM\\_Paula\\_N%C3%BA%3%B1ez\\_Calleja.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/37635/1/TFM_Paula_N%C3%BA%3%B1ez_Calleja.pdf)

Especificaciones GPS:

[http://www.instop.es/gps/PDF/gps1200\\_brochure\\_es.pdf](http://www.instop.es/gps/PDF/gps1200_brochure_es.pdf)