



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,  
Cartográfica y Topográfica

Obtención de cartografía del yacimiento arqueológico de  
Los Millares a partir de un vuelo fotogramétrico

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: Sierra Hurtado, Marc

Tutor/a: Anquela Julián, Ana Belén

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Obtención de la cartografía del yacimiento arqueológico  
de Los Millares a partir de un vuelo fotogramétrico



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

TRABAJO FIN DE GRADO

OBTENCIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DEL  
YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE LOS  
MILLARES A PARTIR DE VUELO  
FOTOGRAMÉTRICO

---



---

GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA

*Autor:*

Marc Sierra Hurtado

*Tutora:*

Ana Belén Anquela Julián

Curso académico 2023/2024

## AGRADECIMIENTOS.

Tengo que agradecer a mi tutora Ana Belén Anquela Julián, tanto por la confianza depositada en mí para poder realizar este proyecto que tanto me ha ilusionado, como por las experiencias vividas estos años y la motivación que ha compartido.

Agradezco a todos los profesores por su esfuerzo en enseñar, por tenderme la mano cuando la he necesitado y por esas clases que guardo.

También agradecer a Nova Cartografía S.L. por acogerme y continuar con mi formación, además de brindarme la oportunidad de desarrollar la cartografía de este lugar tan singular. Menciono especialmente a Edu Cuesta por su paciencia conmigo, por sus consejos y por ayudarme siempre que lo he necesitado.

Por último, pero no por ello son menos, agradecer a mis padres y a mi hermano, junto con mis familiares, amigos y compañeros que tanto han aguantado y que tanto cariño les tengo.

## COMPROMISO.

“El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía”

Firmado: Marc Sierra Hurtado

## RESUMEN.

El objetivo del proyecto es la obtención de la cartografía de toda la ocupación del yacimiento arqueológico de los Millares. Se busca obtener un mapa tanto de pendientes como otro mapa altimétrico, y a la vez, un plano de la zona del poblado a mayor escala. Esto se realiza con el objetivo de actualizar la cartografía del lugar, ya que, con la que se dispone de momento, no se cubre toda la extensión del lugar. Además, se podrá emplear para próximos proyectos de excavación arqueológica.

En primer lugar, se realiza el levantamiento de los puntos de apoyo mediante tecnología GNSS, y posteriormente, la captura de las fotografías con un dron con RTK. A partir de ambos grupos de datos, se va a generar la nube de puntos georreferenciada con la que conseguir tanto el MDS como la ortofoto del lugar.

A continuación, se limpia la nube de puntos para obtener el MDT, y con él, las curvas de nivel y el mapa de pendientes.

Palabras clave:

Levantamiento topográfico, Yacimiento arqueológico, Fotogrametría, GNSS, Cartografía

## RESUM.

L'objectiu del projecte és l'obtenció de la cartografia de tota l'ocupació del jaciment arqueològic dels Millares. Es busca obtenir un mapa tant de pendents com un altre mapa altimètric, i alhora, un pla de la zona del poblat a major escala. Això es realitza amb l'objectiu d'actualitzar la cartografia del lloc, ja que, amb la qual es disposa de moment, no cobreix tota l'extensió del lloc. A més, es podrà emprar per a pròxims projectes d'excavació arqueològica.

En primer lloc, es realitza l'alçament dels punts de suport mitjançant tecnologia GNSS, i posteriorment, la captura de les fotografies amb un dron amb RTK. A partir de tots dos grups de dades, es generarà el núvol de punts georeferenciada amb la qual aconseguir tant el MDS com l'ortofoto del lloc.

A continuació, es neteja el núvol de punts per a obtenir el MDT, i amb ell, les corbes de nivell i el mapa de pendents.

Paraules clau:

Alçament topogràfic, Jaciment arqueològic, Fotogrametria, GNSS, Cartografia

## ABSTRACT.

The objective of the project is to obtain the cartography of the entire occupation of the archaeological site of Los Millares. The aim is to obtain a slope and altimetric map, and at the same time, a larger scale plan of the settlement area. This is done with the objective of updating the cartography of the site, as the one currently available does not cover the full extent of the location. It can be used for future archaeological excavation projects.

First of all, the support points are surveyed using GNSS technology, and then the photographs are captured using a drone with RTK. From both sets of data, the georeferenced point cloud will be generated to obtain both the MDS and the orthophoto of the site.

Subsequently, the point cloud is cleaned to obtain the DTM, and with it, the contour lines and the slope map.

Key words:

Topographical survey, Archaeological site, Photogrammetry, GNSS, Mapping

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Mapa conceptual – Fuente: Elaboración propia .....	12
Figura 2: Equipo GNSS GS16 y controladora CS20 – Fuente: ACRE Surveying Solutions .....	15
Figura 3: DJI MAVIC 3 ENTERPRISE RTK – Fuente: DJI .....	16
Figura 4: Puntos de apoyo – Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 5: Ejemplo punto de apoyo y marcador – Fuente: Elaboración propia.....	19
Figura 6: Nube de puntos de paso – Fuente: Elaboración propia .....	20
Figura 7: Nube de puntos densa – Fuente: Elaboración propia .....	20
Figura 8: Modelo 3D del poblado – Fuente: Elaboración propia .....	21
Figura 9: Nube de puntos sin limpiar – Fuente: Elaboración propia .....	24
Figura 10: Nube de puntos tras aplicar un filtro CSF – Fuente: Elaboración propia.....	24
Figura 11: Clasificación por colores – Fuente: Elaboración propia.....	25
Figura 12: Nube de puntos por campo escalar – Fuente: Elaboración propia .....	25
Figura 13: Nube resultado filtrar por color - Fuente: Elaboración propia .....	25
Figura 14: Nube de puntos con puente – Fuente: Elaboración propia.....	26
Figura 15: Extracción del puente – Fuente: Elaboración propia.....	26
Figura 16: Selección de puntos de ruido – fuente: Elaboración propia .....	28
Figura 17: Expresión reclasificación pendientes – Fuente: Elaboración propia .....	30
Figura 18: Delineación muro fortín 1– Fuente: Elaboración propia .....	31
Figura 19: Modelo digital de superficie – Fuente: Elaboración propia .....	33
Figura 20: Modelo digital del terreno – Fuente: Elaboración propia .....	33

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Clasificación pendientes – Fuente: Elaboración propia .....	30
Tabla 2: Coste medios humanos – Fuente: Elaboración propia .....	34
Tabla 3: Coste materiales – Fuente: Elaboración propia .....	35
Tabla 4: Coste vuelo – Fuente: Elaboración propia .....	35
Tabla 5: Costes indirectos – Fuente: Elaboración propia.....	36
Tabla 6: Presupuesto final – Fuente: Elaboración propia .....	36
Tabla 7: Puntos de apoyo – Fuente: Elaboración propia .....	44

# ÍNDICE.

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	10
<b>3. DATOS</b> .....	11
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	12
4.1. Preparación y obtención de los datos .....	12
4.1.1. Planificación .....	12
4.1.2. Puntos de apoyo.....	13
4.1.3. Vuelo fotogramétrico .....	16
4.2. Procesamiento del vuelo.....	17
4.2.1. Obtención del contorno .....	17
4.2.2. Obtención del ortomosaico.....	17
4.2.3. Obtención del modelo 3D .....	21
4.3. Obtención del MDT .....	22
4.3.1. Limpieza de la nube de puntos.....	22
4.3.2. Generación del MDT.....	29
4.3.3. Generación de las curvas de nivel.....	29
4.3.4. Mapa de pendientes.....	30
4.4. Delineación.....	31
<b>5. RESULTADOS</b> .....	32
<b>6. PRESUPUESTO</b> .....	34
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	37
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	38
<b>9. CARTOGRAFÍA</b> .....	40
<b>10. ANEXOS</b> .....	41

# 1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento arqueológico denominado “Despoblado de Los Millares”, localizado dentro de los términos municipales de Santa Fe de Mondújar y Gádor (Almería), es considerado uno de los asentamientos europeos de la Edad del Cobre más importantes, tanto por su monumentalidad como por su complejidad arquitectónica y extensión. Remontando su ocupación desde el año 3200 a.C. hasta el año 2200 a.C., presentando una enorme complejidad funcional para su época. El total del yacimiento ocupa el poblado, la necrópolis y 13 fortines.

El poblado se encuentra localizado sobre una meseta en forma de espolón, situada entre el río Andarax y la rambla de Huéchar. El poblado está protegido por cuatro líneas de muralla concéntricas, barbacana y saeteras que defendían el asentamiento, además de una cisterna y un taller metalúrgico entre otros edificios.

La necrópolis ocupa una superficie total de 13 hectáreas, y está compuesta por más de 80 tumbas colectivas con distintas dimensiones y con estructuras de carácter ceremonial.

Los fortines se encuentran repartidos a ambos lados de la rambla de Huéchar, y en su momento tenían la función de controlar el asentamiento y el territorio más próximo. Estos fortines presentan estructuras que van de torres circulares con barbacana, hasta formas más complejas como la del fortín 1, el cual tiene fosas de hasta 6 metros de profundidad.

En su labor por continuar con la investigación y difusión de este valor arqueológico, la junta de Andalucía ha requerido de una actualización y ampliación de la cartografía del territorio.

Para la obtención de los datos, se ha provisto de marcas en el terreno que a su vez han sido medidas mediante tecnología GNSS. Esto se hace para posteriormente verse reflejadas en las imágenes capturadas por el dron, con el fin de poder georreferenciar el trabajo. Para que una vez obtenidos los datos, poder elaborar la cartografía mediante técnicas fotogramétricas.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es el elaborar una cartografía actualizada del yacimiento de Los Millares a partir de fotografías tomadas con un vuelo de dron. Se busca en añadido el desarrollar una metodología para la limpieza de nubes de puntos mediante el software libre Cloud Compare.

Los objetivos específicos de este trabajo son los siguientes:

- Búsqueda de una metodología que permita obtener una limpieza de nubes de puntos más ajustada.
- Elaboración de un modelado 3D.
- Elaboración de mapa de pendientes de la zona de actuación.
- Elaboración de mapa altimétrico con curvas de nivel de la zona de actuación.
- Elaboración de un plano de detalle de la zona correspondiente al poblado.
- Obtención de los siguientes subproductos:
  - Ortofoto de la zona del proyecto.
  - Nube de puntos de la zona del proyecto.
  - Modelo Digital de Superficie (MDS).
  - Modelo Digital del Terreno (MDT).

La cartografía final obtenida en este proyecto puede ser de gran utilidad para los próximos proyectos de excavación previstos. También actúa como una gran herramienta para el estudio del lugar, al abarcar una zona más extensa que la anterior cartografía de la que se dispone y de un modelo 3D. Además, puede utilizarse como recurso didáctico para las visitas organizadas y promoción turística del lugar.

### 3. DATOS

Para la realización del proyecto se han necesitado de los siguientes datos de partida:

- Archivo .kmz con el contorno de la zona del proyecto, realizado el día 28/06/2023.
- Puntos de apoyo tomados los días 28/06/2023, 29/06/2023 y 30/06/2023. Precisión inferior a los 5 cm.
- Fotos tomadas mediante dron, proporcionadas por Nova Cartografía y tomadas los días 29/06/2023 y 30/06/2023. Con una precisión inferior a los 5 cm.
- Geoide EGM08 en formatos .gmp y .tif, descargado desde la página del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

## 4. METODOLOGÍA

En este apartado se va a desarrollar detalladamente todo el proceso seguido tanto para la obtención de los datos, como para todo su tratamiento.

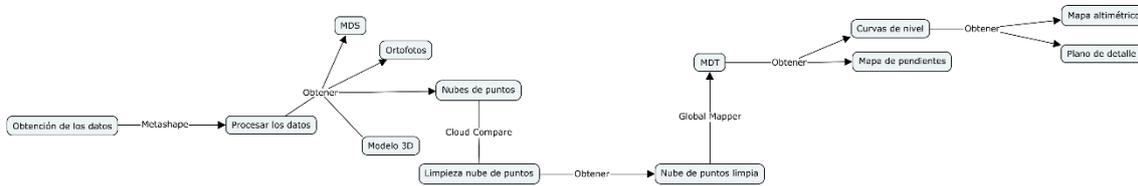


Figura 1: Mapa conceptual – Fuente: Elaboración propia

### 4.1. Preparación y obtención de los datos

#### 4.1.1. Planificación

Previo a la toma de datos, es necesaria una correcta planificación para ahorrar tiempo en campo y evitar posibles problemas. En la planificación de este proyecto se define la zona de trabajo. Para ello, empleando la herramienta de Google Earth, se ha dibujado un polígono. Este polígono cuenta con un área de 325 hectáreas, ocupando todo el suelo de actuación, incluyendo fortines, necrópolis y poblado. También se define un segundo polígono de unas 10 hectáreas de superficie y que corresponde exclusivamente con la zona del poblado.

Por otro lado, también se añaden unos marcadores en Google Earth a modo de puntos de apoyo. Se trata de puntos de coordenadas conocidas que se emplearán para la correcta georreferenciación del trabajo. En este trabajo se marcarán y medirán en el terreno previo al vuelo. Estos marcadores se distribuyen por toda la zona de la manera más homogénea posible, procurando mantener unas separaciones entre 500 metros o menores.

La técnica escogida para la obtención de las coordenadas de los puntos de apoyo es mediante instrumentación GNSS, debido a su gran velocidad para la toma de datos, su alta precisión y de un espacio despejado de vegetación alta o edificios que interfieran con la medición, siendo por ello la técnica ideal para este trabajo.

Para conocer cual es la red idónea a la que conectar el equipo y recibir correcciones, desde la página web de Visor GNSS se permite localizar las estaciones fijas situadas en la península. Se puede ver a tiempo real su estado, lo que es útil en caso de pérdida de conexión, además de las constelaciones, instituto y red a la que pertenecen. Además, se

pueden filtrar por distancia, criterio a seguir para una correcta planificación, siendo las dos redes más próximas la del IGN y RAP.

#### **4.1.2. Puntos de apoyo**

Lo primero es crear un nuevo proyecto en la controladora. En él se le asignará un nombre, el sistema de coordenadas, el geoide y una lista de códigos. Estos parámetros vienen definidos por defecto, pero siempre se encuentra la posibilidad de crearlos para el proyecto si lo requiere, a excepción del geoide que requiere cargarlo en la controladora de manera externa.

Para recibir las correcciones RTK<sup>1</sup>, se ha conectado a la red del IGN, mediante protocolo NTRIP<sup>2</sup> utilizando la técnica VRS (Virtual Reference Station). Esta técnica consiste en la simulación de una estación de referencia virtual generada en una posición muy cercana del usuario, desde la cual generar las correcciones. Para ello, las estaciones permanentes comparten datos en tiempo real a la estación central, desde la cual se genera el cálculo de correcciones para la red y a partir de una posición aproximada enviada por el equipo móvil, se simula la estación ficticia. Se ha escogido esta técnica para obtener una mayor precisión y cobertura. Además de una mayor productividad y reducción de costos respecto al uso de bases móviles.

El tipo de conexión se debe configurar desde la controladora, en la pestaña de servidor, donde se solicita el nombre, la dirección y el puerto, además de un usuario y contraseña. Estos datos se pueden obtener desde la pestaña de información, en la página web del IGN. El IGN pone a disposición dos puertos de red, uno para obtener correcciones con el conjunto de red y otro para obtenerlas de una estación única. Debido a la distancia con las estaciones permanentes, se van a obtener las correcciones mediante el conjunto de red, con el punto de montaje<sup>3</sup> VRS3.

- Dirección: 192.148.213.42
- Puerto: 2101

Desde la misma página de información del IGN se encuentra la dirección URL para realizar el registro gratuito.

Para tomar los puntos se debe iniciar la conexión RTK, una vez se ha establecido, si la precisión es la adecuada se podrá empezar a medir. Con el proyecto seleccionado, desde el carrusel se selecciona la herramienta medir, que abrirá una pestaña que permitirá el tomar los puntos. Solamente es necesaria una medición por punto de apoyo.

Los puntos de apoyo se han tomado repartidos por toda la zona de trabajo de manera homogénea, procurando mantener una distancia próxima pero menor a los 500 metros entre puntos y colocando puntos en las esquinas del área del proyecto. Esto se hace con el objetivo de cubrir grandes zonas, pero manteniendo una cierta densidad y no dejar zonas muy amplias sin puntos conocidos.

Para este trabajo, debido a su dimensión y por comodidad se han marcado los puntos de apoyo mediante pintura en spray. Se han utilizado casi en su totalidad pintura de color blanco, ya que para la mayoría de los suelos es el más reconocible y no ocasiona problemas con las sombras. En su defecto, en aquellos suelos más claros y que se podía asumir que no había elementos próximos que pudiesen generar sombras, se ha empleado la pintura de color negro. El aspecto de estas marcas es en forma de círculo, con un diámetro aproximado entre 20 y 30 cm.

La orografía del terreno presenta montes no muy altos, con diferencias de cota de 200 metros, divididos por el paso del río Andarax y la rambla del Huéchar, por lo que, respetando las condiciones de distribución de los puntos de apoyo, se han tomado tratando de representar el variado aspecto del terreno, procurando hacer uso de los caminos, carreteras o siguiendo el curso del río, ya que este no porta caudal y permite el acceso a las fincas y casales de los vecinos del lugar. Para las zonas del fortín 1 y del poblado se ha requerido del consentimiento y supervisión del responsable del yacimiento durante la toma de puntos, ya que estos se encuentran con acceso restringido. Una vez se han obtenido todos los puntos de apoyo debe extraerse en formato ASCII a una memoria externa.

El equipo empleado para la toma de datos está compuesto por:

- Receptor Leica GS16
- Controladora Leica CS20
- Software Captivate
- Bastón Leica GLS31
- Tarjeta SIM



*Figura 2: Equipo GNSS GS16 y controladora CS20 – Fuente: ACRE Surveying Solutions*

---

<sup>1)</sup> Las soluciones RTK (Real Time Kinematic) consisten en la determinación de correcciones troposféricas, ionosféricas y orbitales en tiempo real. Para ello, se requiere de una red de estaciones permanentes que reciban constantemente señales satelitales, que comparten con la estación central y que genera un modelo de correcciones. De estas estaciones es necesario conocer sus coordenadas precisas y la determinación de las ambigüedades entre estaciones. Las correcciones se transmiten en formato RTCM.

<sup>2)</sup> El protocolo NTRIP (Networked Transport of RTCM vía Internet Protocol) permite la transmisión de datos GNSS a través de internet y trabajar con correcciones a tiempo real en grandes zonas, con precisiones de centímetro.

<sup>3)</sup> Un punto de montaje es la fuente de datos de corrección, pudiendo ser tanto una estación permanente seleccionada como una ficticia generada en función del lugar y relacionada con las fijas reales.

### 4.1.3. Vuelo fotogramétrico

El responsable del vuelo del dron es una persona externa, contratada específicamente para ello. A estos efectos, se le ha proporcionado de un archivo .kml con la zona del proyecto para realizar la planificación del vuelo.

El piloto del dron ha realizado los vuelos teniendo en cuenta un GSD de 5 cm/pixel para toda la zona de actuación. Al mismo tiempo, ha definido un 80% de solape longitudinal y un 70% de transversal.

El dron empleado para el vuelo es el DJI Mavic 3 Enterprise:

Tamaño imagen: 5280x3956 px

Tamaño sensor: 17,3x13 mm

Longitud focal: 12 mm



*Figura 3: DJI MAVIC 3 ENTERPRISE RTK – Fuente: DJI*

## **4.2. Procesamiento del vuelo**

### **4.2.1. Obtención del contorno**

Para poder trabajar con el contorno de la zona del proyecto, los distintos softwares no aceptan KML, por lo que se van a cambiar el formato a DXF. Esto se puede realizar desde multitud de páginas web sin necesidad de emplear ningún programa extra para ello. Para este caso se ha empleado MyGeodata Cloud.

Para poder cambiar de formato se selecciona el archivo deseado y se abrirá un emergente, donde se puede cambiar el sistema de coordenadas. Por defecto los archivos KML están en WGS84, mientras que interesa en ETRS89. Una vez se han cambiado los parámetros, se inicia la conversión y la descarga del nuevo archivo.

### **4.2.2. Obtención del ortomosaico**

Una ortofoto se trata de una imagen ortorectificada<sup>4</sup> por fotogrametría<sup>5</sup>, con una vista cenital del terreno, precisión cartográfica y escala invariable. El proceso de montaje de la ortofoto se va a realizar con el programa Agisoft Metashape.

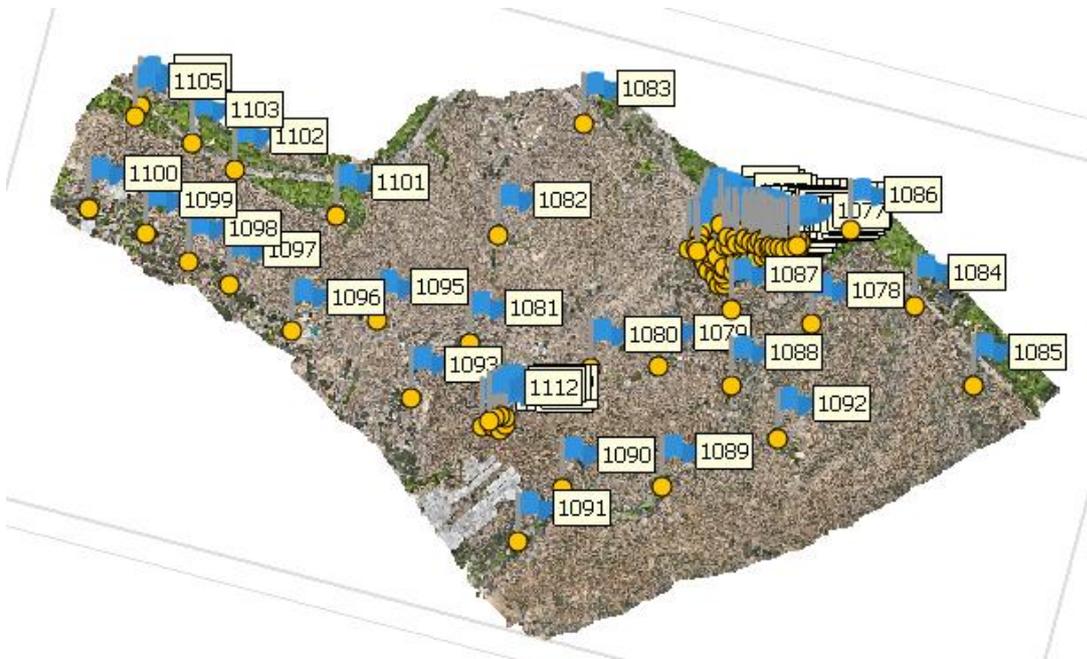
Primero de todo, desde Herramientas>Preferencia, se debe comprobar que se encuentran marcadas las opciones de cargar la calibración de la cámara, los ángulos de orientación y la precisión de las posiciones desde los metadatos.

A continuación, se añaden al trabajo todas las fotos; esto se realiza desde la pestaña de flujo de trabajo, que irá desbloqueando distintas herramientas según se vaya avanzando con el proceso de trabajo. Desde la barra de herramientas se puede mostrar la posición de las cámaras.

El sistema de referencia está en WGS84, por lo que se va a cambiar a ETRS89 UTM 30N. Desde la pestaña de referencia, pulsando sobre convertir coordenadas, se puede cambiar al sistema de coordenadas deseado, dejando el resto de las opciones por defecto. Es necesario además que este venga con alturas ortométricas, para ello se debe configurar un nuevo sistema o editar uno ya existente y cargar el geoide EGM08 en formato .tif.

Ahora, desde flujo de trabajo se van a orientar las fotos. Esto va a permitir determinar la posición de las fotografías al momento de la captura, alineándolas y generando una nube de puntos dispersa. La precisión por escoger será alta, dejando marcadas las casillas de preselección genérica y de referencia. La preselección genérica realiza el emparejamiento de elementos identificados en calidad baja, para a posterior repetir el proceso con la calidad seleccionada. Mientras que la preselección de referencia, preselecciona aquellas imágenes con solape, ya que estas comparten rasgos. Ambas acciones aceleran el proceso de orientación, por lo que, al tratarse de un proyecto con tanta densidad de imágenes, es un factor a tener en cuenta.

Una vez se ha terminado el proceso, se habrá generado una nube de puntos dispersa a partir de las imágenes, con una precisión de las cámaras de 0,043 metros. Para realizar un mayor ajuste de la nube a la realidad se van a introducir los puntos de apoyo. Junto a la herramienta de convertir coordenadas, se encuentra la de importar, desde donde se va a cargar el archivo de texto con los puntos. Debe indicarse el delimitador por tabulador y comprobar que está cargando correctamente las distintas columnas. Siendo a cargar los distintos datos como nombre del punto, coordenada en X, coordenada en Y y la altitud.



*Figura 4: Puntos de apoyo – Fuente: Elaboración propia*

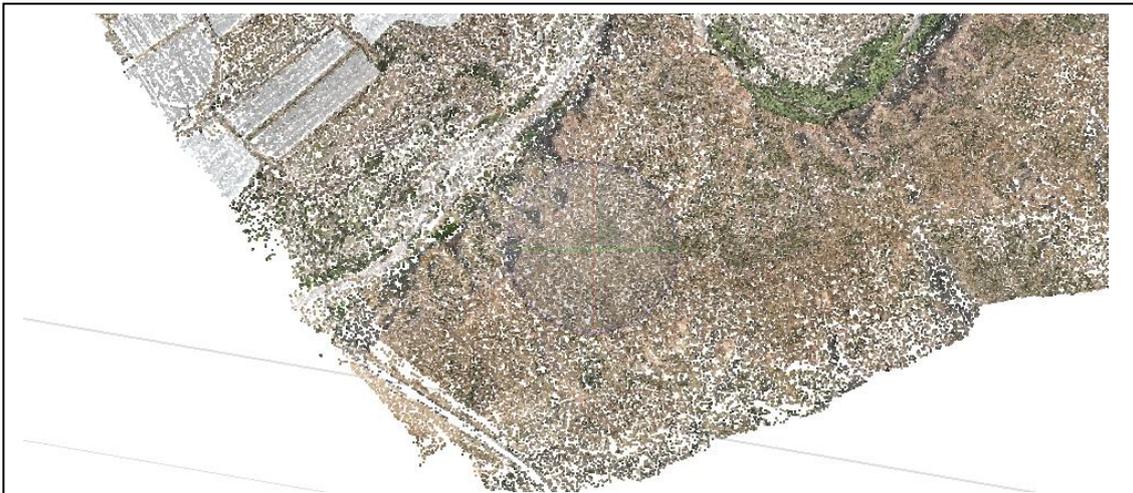
Una vez cargados los puntos de apoyo, estos aparecen como marcadores, que deben desplazarse hasta su correspondiente posición en las distintas imágenes (el centro del círculo o punto de apoyo) y constreñir la nube de puntos. Para poder visualizarlos fácilmente, Metashape permite con el botón derecho del ratón filtrar las imágenes por marcador. Debido a que el modelo viene ya orientado y con el mismo sistema de coordenadas, el marcador automáticamente aparece sobre el punto, siendo solamente necesario corregirlo. La precisión de los puntos de apoyo es de 0,016 metros.



*Figura 5: Ejemplo punto de apoyo y marcador – Fuente: Elaboración propia*

A continuación, desde flujo de trabajo se va a generar la nube densa de puntos, seleccionando una calidad en alto. Este va a ser un proceso con una duración muy alta (17 horas), por lo que para el resultado no es necesario la mayor densificación. Este paso es necesario para poder generar a continuación el modelo digital de elevación.

Una vez finalizado este proceso, se puede comprobar la notable diferencia entre los 1.743.490 puntos de la nube dispersa y los 1.792.544.659 de la nube densa.



*Figura 6: Nube de puntos de paso – Fuente: Elaboración propia*



*Figura 7: Nube de puntos densa – Fuente: Elaboración propia*

En la siguiente página puede verse la comparativa.

Con la nube densa de puntos se puede generar el modelo digital de superficie (MDS). Este se trata de un modelo digital en el que se representa tanto la superficie del terreno como todos los elementos que se encuentran sobre esta (vegetación, edificios...).

Para crear el MDS se realiza desde la herramienta de crear modelo digital de elevaciones, dentro de flujo de trabajo. Este tomará como referencia para generar el modelo la nube de puntos densa, pero que al tratarse de una nube todavía sin limpiar, el resultado no es como titula la herramienta sino un modelo de superficie. Se selecciona el tipo de proyección a geográfica y su resolución. Obteniendo un modelo digital de superficie de 6,3 cm por píxel.

Finalmente se puede generar el ortomosaico<sup>6</sup> desde flujo de trabajo a partir del MDS. Se dejan las opciones marcadas de cierre de agujeros y refinar líneas de costura. El tamaño del píxel es la mitad que el del modelo, por lo que el resultado final tiene un tamaño de 3,15 cm por píxel.

### 4.2.3. Obtención del modelo 3D

Como añadido al trabajo, siguiendo los pasos desde flujo de trabajo, se genera una malla a partir de la nube densa de puntos. Debido a su gran coste de procesamiento y almacenamiento, se ha escogido una calidad baja, pero que seguirá aportando un gran resultado visual. Una vez generado, se inicia el proceso de crear el texturizado a partir de las fotografías. Obteniendo finalmente un modelo en 3D del lugar.



*Figura 8: Modelo 3D del poblado – Fuente: Elaboración propia*

---

<sup>4)</sup> La ortorectificación consiste en corregir las distorsiones geométricas y las variaciones de escala que presentan las fotografías.

<sup>5)</sup> La fotogrametría es la técnica cuyo fin es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición e el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto (Bonneval).

<sup>6)</sup> Un ortomosaico se trata de una imagen compuesta por varias ortofotos cosidas entre sí.

### 4.3. Obtención del MDT

Llegados a este punto, habiendo obtenido una nube de puntos a partir de las imágenes del vuelo, se va a tratar para obtener el modelo digital del terreno (MDT). Este viene a ser la contraparte del MDS, en el que el resultado ha sido eliminado todo aquel elemento por encima del terreno.

En la limpieza de la nube se busca eliminar todos aquellos elementos que no representen la forma del terreno como es la vegetación, edificaciones, construcciones o agentes temporales como vehículos y personas, al igual que el posible ruido generado.

Una vez se haya terminado con la limpieza se podrá obtener el modelo digital del terreno, y con él, las curvas de nivel y el mapa de pendientes.

#### 4.3.1. Limpieza de la nube de puntos

La limpieza se va a realizar mediante el software Cloud Compare. El programa Metashape ofrece herramientas para separar el terreno de la vegetación, pero este se encuentra más limitado respecto a posibilidades de limpieza que el escogido, con el que buscamos obtener un mejor resultado.

Para comenzar se debe cargar las nubes en formato .laz arrastrando al espacio de trabajo. Se abrirá una ventana emergente con los parámetros de apertura del archivo, donde se dejarán todas las opciones marcadas por defecto. Al aplicar sobre el archivo aparecerá una nueva ventana. Esta nueva ventana recalcula las coordenadas en un sistema local para que la nube sea más manejable para el programa, pero que al momento de guardar la nube esta se hará en su sistema de coordenadas original. No es necesario modificar ningún parámetro, a menos que se busque trabajar con un sistema de coordenadas local específico. La primera vez que aparezca esta ventana aparecerá la opción de *Suggested*, mientras que al cargar más nubes de puntos aparecerá por defecto la opción *Last input*, para que se encajen con el sistema de coordenadas local de la anterior nube.

Una vez cargadas las nubes de puntos, desde la ventana de herramientas, se debe aplicar un filtro de limpieza de ruido (Tools > Clean > Noise Filter), esto permite eliminar puntos ligeramente alejados. Se selecciona el filtro por radio, con el valor generado por defecto, generando una nueva nube de puntos resultado. A la hora de trabajar con las nubes de puntos es necesario seleccionar la que se busque editar, no necesariamente la nube que se esté visualizando es la que se está editando.

Trabajar con nubes de puntos exige un gran esfuerzo de procesamiento, por lo que es conveniente trabajar con nubes más pequeñas. Para recortar la nube se emplea la herramienta *Segment*, lo que permite separar mediante polígonos el conjunto de puntos, conservando los de dentro o los de fuera. Se van a extraer manualmente, escogiendo zonas con similares características como son las zonas ocupadas por el río (planas y con vegetación alta) o las de montaña (con pendiente y vegetación baja). Una vez dividida la nube, se generan dos nuevas, una con lo conservado y otra con lo extraído.

Ahora que se dispone de nubes de puntos que permiten un más sencillo manejo, se les va a aplicar el *plugin CSF Filter (Cloth Simulation Filter)*. Este se va a emplear para discriminar suelo de lo que no lo es por diferencia de alturas. Se puede acceder a él desde la pestaña de *plugins* o desde la barra de herramientas. El filtro está basado en la simulación de colocar una “sabana” sobre el lado opuesto de la nube de puntos, y según el grosor de la misma, esta se adaptará mejor a la forma del terreno. Y a partir de un umbral, esta “sabana” discrimina lo que no es suelo.

Dentro del filtro, desde la pestaña de parámetros generales, se señala la opción de *Relief* (ondulado) y activa la casilla de *Slope processing*. Generalmente marcando ambas opciones el filtro se adapta a cualquier tipo de terreno a utilizar, por lo que no es necesario adaptar este parámetro en función del suelo. En la pestaña de parámetros avanzados, se debe modificar el *Cloth resolution*, que corresponde con el tamaño de la “sabana” donde se aplicará el filtro. Su valor por defecto es de 2, que para suelo llano genera buenos resultados, mientras que en zonas con pendiente lo recomendable es bajarlo para que se adapte mejor. El máximo de iteraciones no es necesario modificarlo, ya que el número que viene por defecto es suficiente. El parámetro de *Classification threshold* también es necesario modificarlo, representando el umbral con el que va a distinguir entre suelo y lo que no lo es. Un umbral de 0.5 es suficiente para discriminar árboles y maleza alta, pudiendo bajarse incluso si el suelo lo permite para discriminar la hierba baja mejor.

El resultado son dos nubes de puntos, una de suelo y otra de no suelo. Para poder aplicar de manera eficiente el filtro, es necesario separar del resto de suelo las zonas con mucha pendiente o taludes, ya que el filtro lo acusaría como no suelo. Según las dimensiones de la nube y las condiciones señaladas en el filtro, el proceso puede ser tardado. En algunos casos es necesario recuperar parte de suelo que ha sido discriminado de manera errónea por el filtro mediante la herramienta de recorte.



*Figura 9: Nube de puntos sin limpiar – Fuente: Elaboración propia*

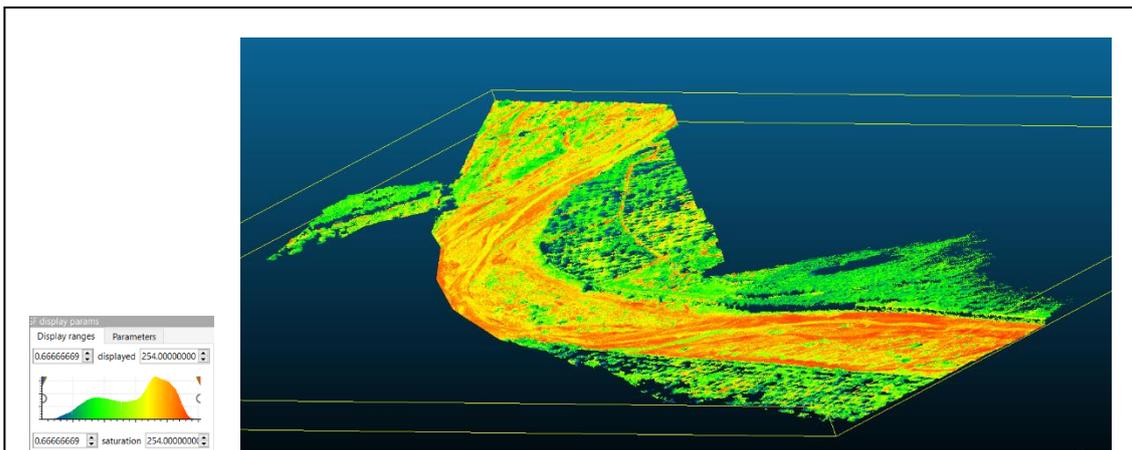


*Figura 10: Nube de puntos tras aplicar un filtro CSF – Fuente: Elaboración propia*

Como se puede observar en las figuras 9 y 10, se han eliminado parte de los elementos verticales, pero no de toda la vegetación. Este filtro es útil para eliminar edificaciones, árboles y matorrales, junto a otros elementos, pero presenta dificultad cuando estos elementos terminan por formar masas. Para solventar esto y eliminar todo este sobrante, se va a discriminar según el color.

Primero se va a convertir la nube de puntos a campo escalar (Edit > Colors > Convert to Scalar field), dejando por defecto las opciones de RGB y composición  $(R + G + B) / 3$ . Ahora el aspecto de la nube de puntos habrá cambiado a campo escalar, pudiendo alternar a RGB dentro de propiedades en el desplegable de color.

Dentro de propiedades, en la pestaña de *SF display params*, se puede seleccionar el rango dentro del espectro de color que se quiere visualizar, cambiando su aspecto a blanco todos aquellos puntos que se encuentren fuera. Las zonas del espectro azules y verdes corresponden con la vegetación, por lo que se va a modificar los límites para discriminar estas zonas. El límite entre que es vegetación y no lo es queda bajo nuestro criterio, pudiendo comprobar alternando con el RGB. Una vez se haya establecido el nuevo límite, este se recorta con la opción de *Split* (Edit > Scalar fields > Filter By Value). Tras esto se habrán obtenido dos nuevas nubes, una con los puntos extraídos y otra con los sobrantes.



*Figura 11: Clasificación por colores – Fuente: Elaboración propia*

*Figura 12: Nube de puntos por campo escalar – Fuente: Elaboración propia*



*Figura 13: Nube resultado filtrar por color - Fuente: Elaboración propia*

Durante la limpieza, no solo es necesario la eliminación de edificios, vegetación u otros elementos que se encuentren sobre el terreno, debe tenerse en cuenta la eliminación de los puentes. Debido a sus dimensiones y que comparten parte de superficie transitable, no deja de ser una construcción, por lo que no tiene sentido que aparezca en el MDT ni generar curvas de nivel sobre él, por lo que es necesaria su extracción.



*Figura 14: Nube de puntos con puente – Fuente: Elaboración propia*



*Figura 15: Extracción del puente – Fuente: Elaboración propia*

Tras extraer el puente mediante recorte del lugar y filtro SCF, es necesario devolver aquellos trozos de suelo que haya arrancado el filtro a la nube original, para así realizar la limpieza teniendo en cuenta esos puntos.

Tras todo el proceso de limpieza hasta el momento todavía quedarán unos pocos puntos sueltos que hay que eliminar. Estos son restos de los elementos extraídos pero que no se han separado con los anteriores filtros. Estos puntos se pueden eliminar fácilmente con el filtro SOR (*Statical Outlier Removal*). Con los valores que aparecen por defecto funciona correctamente.

Con todo el proceso se irán generando multitud de nubes de puntos, por lo que es necesario ser ordenado en la forma de trabajar e ir renombrando los archivos o almacenando en carpetas dentro del árbol de trabajo. También es necesario guardar de vez en cuando las nubes de puntos, ya que Cloud Compare no tiene un sistema de guardado cómodo. No dispone de la opción de deshacer ni cuenta con autoguardado, siendo necesario seleccionar todos los archivos que se quieran y guardar en formato .bin, volviéndolo una tarea muy lenta.

En este punto la nube de puntos está prácticamente limpia, pudiendo darse el caso que ciertos elementos no se hayan podido eliminar con los filtros. Para ello si es sencillo se elimina manualmente con la herramienta de recorte, pero en su defecto se puede corregir con el programa Global Mapper, que ofrece unas herramientas que facilitan esta limpieza.

Este proceso tiene que repetirse con el total de la nube de puntos. Al terminar, se cuenta con varias nubes de puntos que se han ido dividiendo y limpiando por separado. Estas nubes deben juntarse para poder exportar una única nube.

Para ello se seleccionan todas las nubes resultado y con la herramienta de *Merge multiple clouds* se unen. Al momento aparecerá una ventana emergente que pregunta si queremos generar un campo escalar a partir de las nubes y debemos indicar que sí. Esto genera un campo escalar con un color asociado a cada nube, lo que nos permite dividir por color las distintas nubes en caso de haber cometido algún error al seleccionarlas. Esto es importante ya que esta herramienta no genera una nueva nube, sino que junta todas, por lo que se podría perder gran parte del proceso si no se dispone de copias de seguridad.

Para guardar el resultado final se hace en formato .laz. En la ventana emergente se define el nombre, la ruta y la resolución del archivo. Esta última se selecciona la resolución original.

Limpieza desde Global Mapper:

Se arrastra al espacio de trabajo la nube de puntos que se quiere limpiar. Al hacerlo se abre una ventana emergente de *Lidar Load Options*, donde se puede seleccionar los tipos de puntos que se buscan cargar, pero al no estar clasificados para este caso solo es necesario dejar marcada la opción de la capa 0 – *Created, never classified*. El sistema de coordenadas lo ha detectado automáticamente.

Para limpiar la nube se va a emplear la herramienta de *Path profile*, que permite dibujar una línea sobre el conjunto de puntos y ver perfiles transversales que facilitan la limpieza. Al dibujar aparece una ventana emergente donde se muestra representado por donde cruza, apareciendo por defecto el perfil longitudinal de la alineación. Dentro de la ventana, en configuración se activa la opción de *Display series of profiles perpendicular to path*, para ver los perfiles transversales. Se cambia el ancho del perfil y desde *Perpendicular Sampling* se define el intervalo cada cuanto ver los perfiles.

Con la herramienta de selección se marcan todos aquellos puntos que no son necesarios, junto con la herramienta de clasificar por *High Noise*, se enviarán a dicha capa. Como se ha comentado antes, solamente está seleccionada como visible la capa 0 de puntos no clasificados, por lo que al asignarlos a la capa de ruido estos desaparecerán.

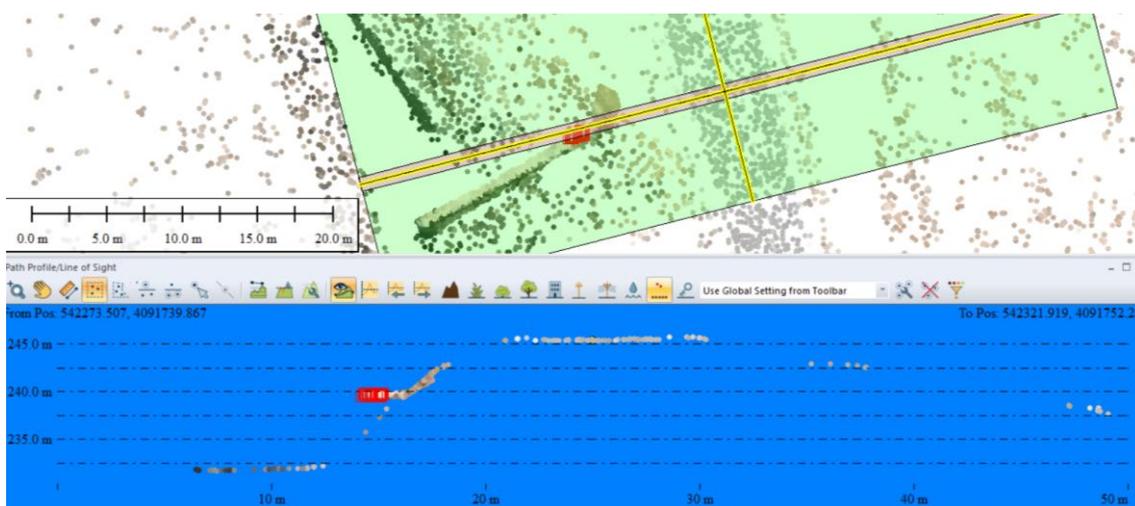


Figura 16: Selección de puntos de ruido – fuente: Elaboración propia

### **4.3.2. Generación del MDT**

Con las nubes de puntos limpias ya se puede generar el modelo digital del terreno. Previo a su generación se va a densificar la nube. Desde Cloud Compare con la herramienta Delaunay 2.5D (best fit plane) se genera una malla a partir de la nube. Es necesario indicar una distancia máxima para que genere los triángulos, la cual va a ser el de la distancia del hueco más grande, siendo 80 metros. No es recomendable dejar el valor en 0, ya que generaría triángulos sin tamaño máximo, pudiendo generar mal la malla.

Una vez con la malla generada, desde Mesh > Smooth, se va a densificar, dejando el valor que viene por defecto. Una vez densificada, se elimina la malla. A continuación, se guarda la nube en formato .laz.

Con la nube limpia y densificada se carga en Global Mapper. Este tiene una herramienta para generar la malla de elevación con el mismo nombre. En la ventana emergente se selecciona el tamaño del pixel, en este caso de 20 cm, y que genere la malla a partir del valor más bajo. Una vez se ha terminado el proceso, se exporta en formato .tif.

Global Mapper permite exportar los archivos en una gran variedad de formatos. Las ortofotos generadas desde Metashape pueden llegar a resultar demasiado pesadas para trabajar desde Civil 3D, por lo que se pueden cargar en Global Mapper y exportarlas en formato .csw, que permite un mejor manejo.

### **4.3.3. Generación de las curvas de nivel**

Global Mapper permite generar las curvas de nivel a partir de un MDT. Desde la herramienta de Create Contours, con el modelo seleccionado, se le asigna un intervalo entre líneas de 5 metros.

Al crear las curvas, estas se van a exportar desde File>Export>Export Vector/Lidar Format en formato .dwg para posteriormente editarlas en Civil 3D.

#### 4.3.4. Mapa de pendientes

A partir del modelo digital del terreno generado, se puede obtener un mapa de pendientes mediante las herramientas de QGIS.

Para cargar el archivo desde Administrador de fuente de datos>Ráster>Fuente. Una vez introducido, con la herramienta de pendiente, dentro de Análisis Ráster, se va a seleccionar el elemento de entrada, dejando el resto de valores por defecto, obteniendo un nuevo ráster con valores en grados.

Ahora, haciendo uso de la calculadora ráster, se van a reclasificar los valores por unos nuevos a modo de clase.

Tipo pendiente	Grados	Clase
Llano	< 2°	1
Ligeramente inclinado	> 2° y <5°	2
Inclinado	>5° y <10°	3
Fuertemente inclinado	>10° y <30°	4
Escarpado	>30° y <60°	5
Muy escarpado	> 60°	6

Tabla 1: Clasificación pendientes – Fuente: Elaboración propia

```
Expresión de la calculadora ráster
( "Pendiente@1" < 2 ) * 1 + ( ( "Pendiente@1" > 2 ) AND ( "Pendiente@1" < 5 ) ) * 2 + ( (
"Pendiente@1" > 5 ) AND ( "Pendiente@1" < 10 ) ) * 3 + ( ( "Pendiente@1" > 10 ) AND (
"Pendiente@1" < 30 ) ) * 4 + ( ( "Pendiente@1" > 30 ) AND ( "Pendiente@1" < 60 ) ) * 5 + (
"Pendiente@1" > 60 ) * 6
```

Figura 17: Expresión reclasificación pendientes – Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. Delineación

Para la obtención del mapa altimétrico a partir de las ortofotos (ya convertidas a formato .csw para un fácil manejo), se va a delinear todo elemento que se encuentre dentro de la zona de trabajo, así como una clasificación por uso del suelo. El criterio a seguir para determinar que elementos incluir, es teniendo en cuenta el mínimo de percepción visual de 0,2 mm, por lo que para una escala de 1:10.000, solo se van a dibujar elementos de un tamaño superior a los 2 m en la realidad, junto con todos aquellos elementos lineales que se consideren de importancia para una correcta representación.

Para este apartado se va a hacer uso del software Civil 3D, empleando las diferentes herramientas que este incluye.

Una vez finalizada la delineación, se ha incluido las curvas de nivel obtenidas en el apartado 4.3.3. y los límites municipales descargados desde el IGN.



*Figura 18: Delineación muro fortín 1– Fuente: Elaboración propia*

## 5. RESULTADOS

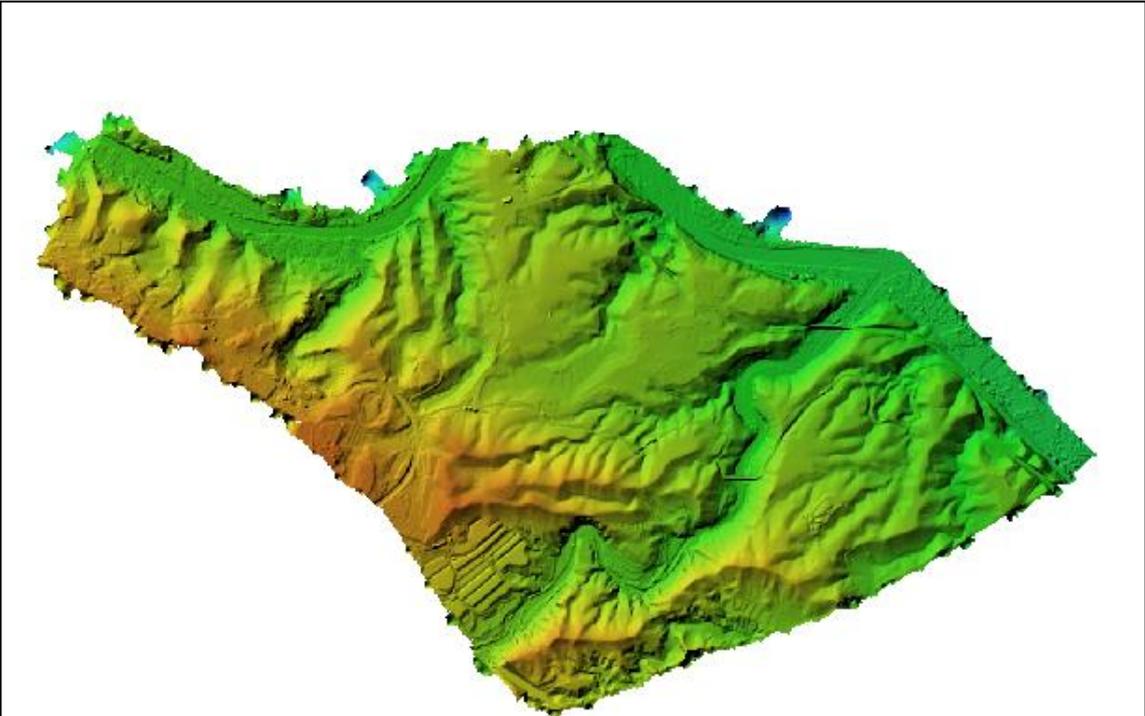
Para terminar, tras la realización del proyecto se han obtenido tanto un mapa de pendientes como uno altimétrico de toda la ocupación, además de un plano a mayor escala del poblado.

A partir de los valores introducidos, se puede observar en el mapa de pendientes ref. 9.2. cómo se trata de una zona montañosa mayormente dominada por pendientes inferiores a  $30^\circ$ , dando los casos de mayor inclinación a los lados de la carretera y en las paredes del río. La zona del poblado se encuentra sobre suelo llano, aumentando enormemente la pendiente en los bordes de la meseta.

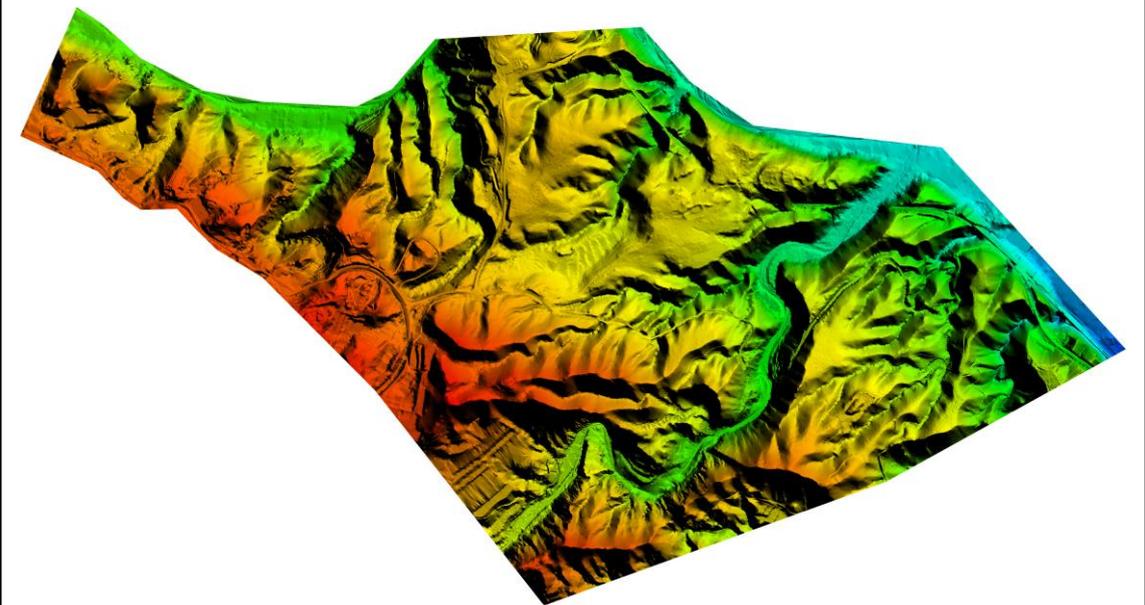
Desde Metashape, se puede generar un informe con todos los datos del proyecto ref. Anexo. En este aparece reflejado los parámetros seleccionados en la generación de cada elemento, junto a la duración, el tamaño en disco y valores. El error en la posición de las cámaras es de 0,043 m y el de los puntos de apoyo es de 0,017 m, mientras que el error en los puntos de control es de 0,045 m. Este último es el más relevante de los tres, ya que nos indica el error en el trabajo. Para conocer este error es necesario deseleccionar puntos de apoyo, en este caso se han separado los puntos intermedios, para así no dejar zonas muy largas descolgadas.

El tamaño del pixel en el modelo digital de superficie es de 6,3 cm, mientras que para la ortofoto es la mitad siendo 3,15 cm. En el caso del MDT se ha seleccionado un tamaño de pixel de 20 cm.

En la página siguiente se encuentran tanto el modelo digital de superficie como el del terreno ya recortado, donde se pueden observar ambos modelos. Del MDT se han extraído árboles, edificios, vegetación, rocas...



*Figura 19: Modelo digital de superficie – Fuente: Elaboración propia*



*Figura 20: Modelo digital del terreno – Fuente: Elaboración propia*

## 6. PRESUPUESTO

A continuación, se van a especificar los costes asociados a la realización del trabajo. Para el proyecto se ha requerido de la contratación externa para la realización del vuelo fotogramétrico, por lo que se ha separado en una tabla independiente dentro de los costes indirectos con los precios desglosados.

Dentro de los costes indirectos, los correspondientes al software empleado se ha estimado teniendo en cuenta el coste por equipo anualmente. Por otro lado, los costes de equipos, instrumentación y vehículo han sido estimados a sufragar a 5 años. Se considera un total de 240 días anuales para el cálculo.

Cada tabla muestra el coste subtotal sin incluir el IVA.

### COSTES DIRECTOS

Medios Humanos	Ingeniero Técnico en Topografía
Categoría escogida según convenio	II
Salario mensual conforme al convenio	1.385,40
Seguridad social a cargo del empresario 33%	457,18
Coste anual por perfil	25.796,12
Horas dedicadas al proyecto	120
Coste del recurso humano al proyecto	2.149,68

*Tabla 2: Coste medios humanos – Fuente: Elaboración propia*

Medio	Coste unitario (€)	Unidades	Coste parcial (€)
Pintura Blanca	6,46	6	38,76
Alojamiento	43	2	86
Dieta completa	20	2	40
Gasolina	150	1	150
Equipo GNSS	115	3	345
		Subtotal	659,76

*Tabla 3: Coste materiales – Fuente: Elaboración propia*

Medio	Precio unitario (€)	Unidades	Precio parcial (€)
Desplazamiento	0,23	1300	299
Vuelo	2,3	350	805
Dieta completa	20	1	20
Extra noche fuera	80	1	80
		Subtotal	1204

*Tabla 4: Coste vuelo – Fuente: Elaboración propia*

COSTES INDIRECTOS

Recurso	Coste anual (€)	Coste diario (€)	Días empleo del recurso (€)	Coste parcial (€)
Agisoft Metashape	3499	14,58	5	72,90
Cloud Compare	0	0	6	0
Global Mapper	549	2,29	2	2,29
QGIS	0	0	1	0
Autodesk Civil 3D	2650	11,04	1	11,04
Vehículo	4202,01	17,668	3	53,00
Equipo informático	138,88	0,58	19	11,02
			Subtotal	150,25

Tabla 5: Costes indirectos – Fuente: Elaboración propia

REPRESENTACIÓN DE CADA PARTARTIDA DE COSTE RESPECTO DEL PRESUPUESTO MÁXIMO DE LICITACIÓN

Costes directos (€)	91,04%	4013,44
Costes indirectos (€)	3,3%	150,25
Beneficio industrial (€)	5,66%	244,35
Presupuesto máximo de licitación (IVA no incluido) (€)		4408,05
IVA (€)	21%	925,69
Presupuesto base de licitación (IVA incluido) (€)		5333,73

Tabla 6: Presupuesto final – Fuente: Elaboración propia

## 7. CONCLUSIONES

Tras finalizar el trabajo, se puede concluir que ha sido resuelto con éxito, obteniendo unos resultados con buena precisión.

La idea inicial era la obtención de una ortofoto por debajo de los 5 cm por pixel y obtener una cartografía completa que pudiera servir como base para futuros proyectos. Por otro lado, una de las ideas iniciales era el obtener una ortofoto con mayor detalle de las zonas del fortín 1 y poblado a partir de las imágenes del vuelo tomadas a menor altura, pero que debido al gran volumen de información y las limitaciones con el equipo informático se tuvo que desechar la idea. El resto de objetivos se han alcanzado satisfactoriamente y obteniendo en añadido un modelo en 3D del yacimiento.

A nivel personal me siento satisfecho ya que con el trabajo buscaba profundizar en el programa que ya conocía como es Metashape, y aprender sobre nuevo software con nuevas herramientas y funcionalidades.

Con toda la información obtenida, gracias a la nube de puntos y con el software Cloud Compare se puede servir para diferentes estudios del suelo. Además, gracias a las herramientas de perfiles de Global Mapper, se pueden dibujar sobre la nube de puntos, pudiendo extraer datos 3D relevantes como el dibujar carreteras y exportarlas para incluirlos en proyectos CAD, al igual que con las cunetas u ODTs.

Este trabajo presenta beneficios a nivel económico, abaratando los costes de según el proyecto topográfico y obteniendo modelos 3D, con la que apostar por los sistemas BIM. Por otro lado, es menos invasivo en el terreno al utilizar estas técnicas, pudiendo perturbar mínimamente zonas protegidas o posibilitando trabajos de difícil acceso.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Cloud Compare. User Manual. [Consulta: 1 de agosto de 2023]

<<https://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf>>

Agisoft Metashape. Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 2.0 [Consulta: 15 de julio de 2023]

<[https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_2\\_0\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_en.pdf)>

Blue Marble Geographics. Global Mapper Getting Started Guide [Consulta: 1 de agosto de 2023]

<<https://www.bluemarblegeo.com/docs/guides/global-mapper-v18-getting-started-sp.pdf>>

Zhang W, Qi J, Wan P, Wang H, Xie D, Wang X, Yan G. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. Remote Sensing. 2016; 8(6):501.

Acre Surveying Solutions. Descarga imagen y consulta alquiler [Consulta: 26 de agosto de 2023]

<[https://grupoacre.es/?gclid=CjwKCAjwo9unBhBTEiwAipC11\\_NGtqzKrXxUEhsxecPBikzftoF-wF8lu9n1E3FYNQnxR\\_12fHReFBoC5O4QAvD\\_BwE](https://grupoacre.es/?gclid=CjwKCAjwo9unBhBTEiwAipC11_NGtqzKrXxUEhsxecPBikzftoF-wF8lu9n1E3FYNQnxR_12fHReFBoC5O4QAvD_BwE)>

DJI. Especificaciones M3E. [Consulta: 24 de agosto de 2023]

<<https://enterprise.dji.com/es/mavic-3-enterprise/specs>>

Junta de Andalucía. Enclave arqueológico de Los Millares [Consulta: 26 de agosto de 2023]

<<https://www.juntadeandalucia.es/cultura/enclaves/enclave-arqueologico-de-los-millares>>

Instituto Geográfico Nacional. Modelo de Geoide EGM08-REDNAP [Consulta: 13 de agosto de 2023]

<<https://datos-geodesia.ign.es/geoide/>>

Instituto Geográfico Nacional. Fotogrametría [Consulta: 15 de septiembre de 2023]

<<https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Fotogrametria.pdf>>

Centro Nacional de Información Geográfica. Descargar “Límites municipales, provinciales y autonómicos” [Consulta: 5 de octubre]

<<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>>

Berné Valero, J.L., Garrido Villén, N. y Capilla Romá, R. (2019). *GNSS: GPS, GALILEO, GLONASS, BEIDOU Fundamentos y métodos de posicionamiento*. Valencia: Universitat Politècnica de València

## 9. CARTOGRAFÍA

541000

542000

543000

544000

4091000

4091000

4090000

4090000

541000

542000

543000

544000



Escala 1:15000

Sistema de referencia ETRS89 Proyección U.T.M. Huso 30N

# MAPA DE SITUACIÓN DEL YACIMIENTO DE LOS MILLARES

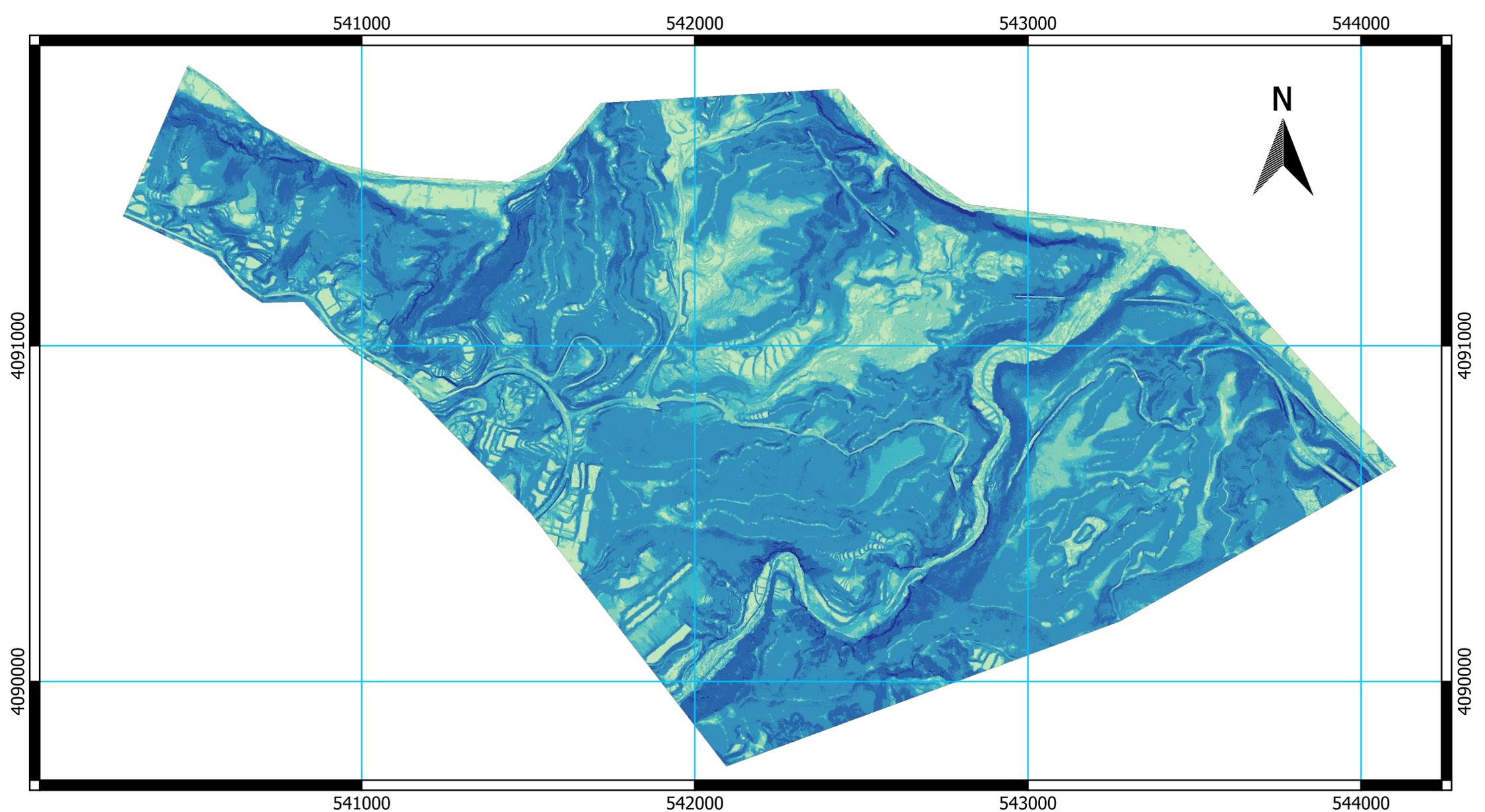
Leyenda

- ⊙ Puntos de apoyo
- ▭ Poblado
- ▭ Zona de actuación



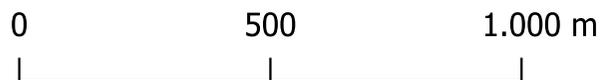
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

Autor: Marc Sierra Hurtado



Clasificación según los grados

- Llano < 2°
- Ligeramente inclinado > 2° y < 5°
- Inclinado > 5° y < 10°
- Fuertemente inclinado > 10° y < 30°
- Escarpado > 30° y < 60°
- Muy escarpado > 60°



Escala 1:15000

Sistema de referencia ETRS89 Proyección U.T.M. Huso 30N

## MAPA DE PENDIENTES DEL YACIMIENTO DE LOS MILLARES



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

Autor: Marc Sierra Hurtado

# MAPA ALTIMÉTRICO YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE LOS MILLARES

541000.000

542000.000

543000.000

544000.000

4091000.000

4091000.000

4090000.000

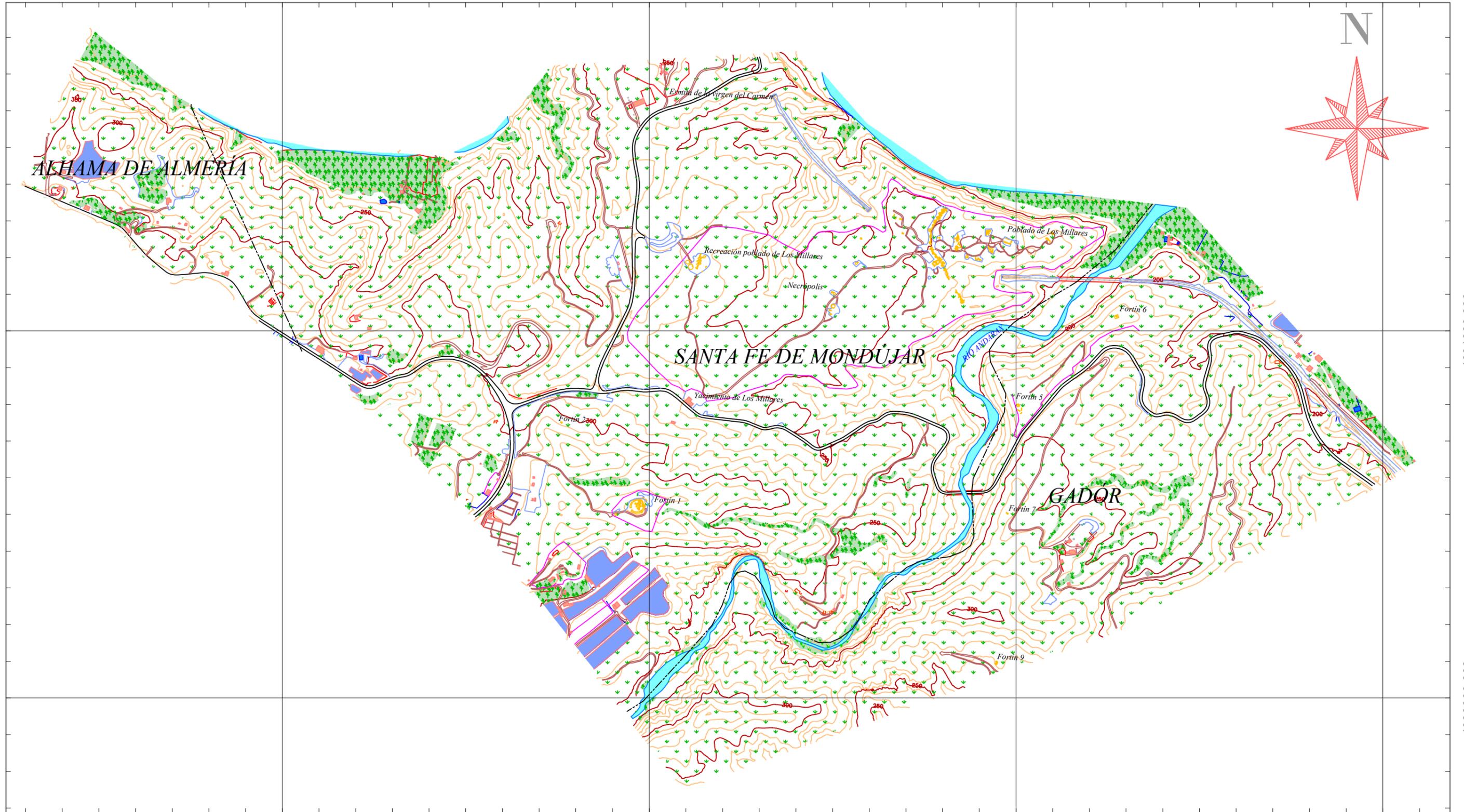
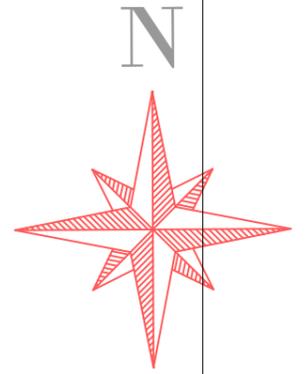
4090000.000

541000.000

542000.000

543000.000

544000.000



## LEYENDA

- |                  |                                    |           |
|------------------|------------------------------------|-----------|
| Yacimiento       | Vallado                            | Arbusto   |
| Caminos          | Vías                               | Arbolado  |
| Carretera        | Suelo sin uso                      | Cañaveral |
| Curvas maestras  | Río                                |           |
| Curvas normales  | Embalse                            |           |
| Derrumbe         | Edificio singular                  |           |
| Drenaje          | Construcción agrícola o industrial |           |
| Límite municipal |                                    |           |
| Muro             |                                    |           |
| Túnel            |                                    |           |

1 : 10.000



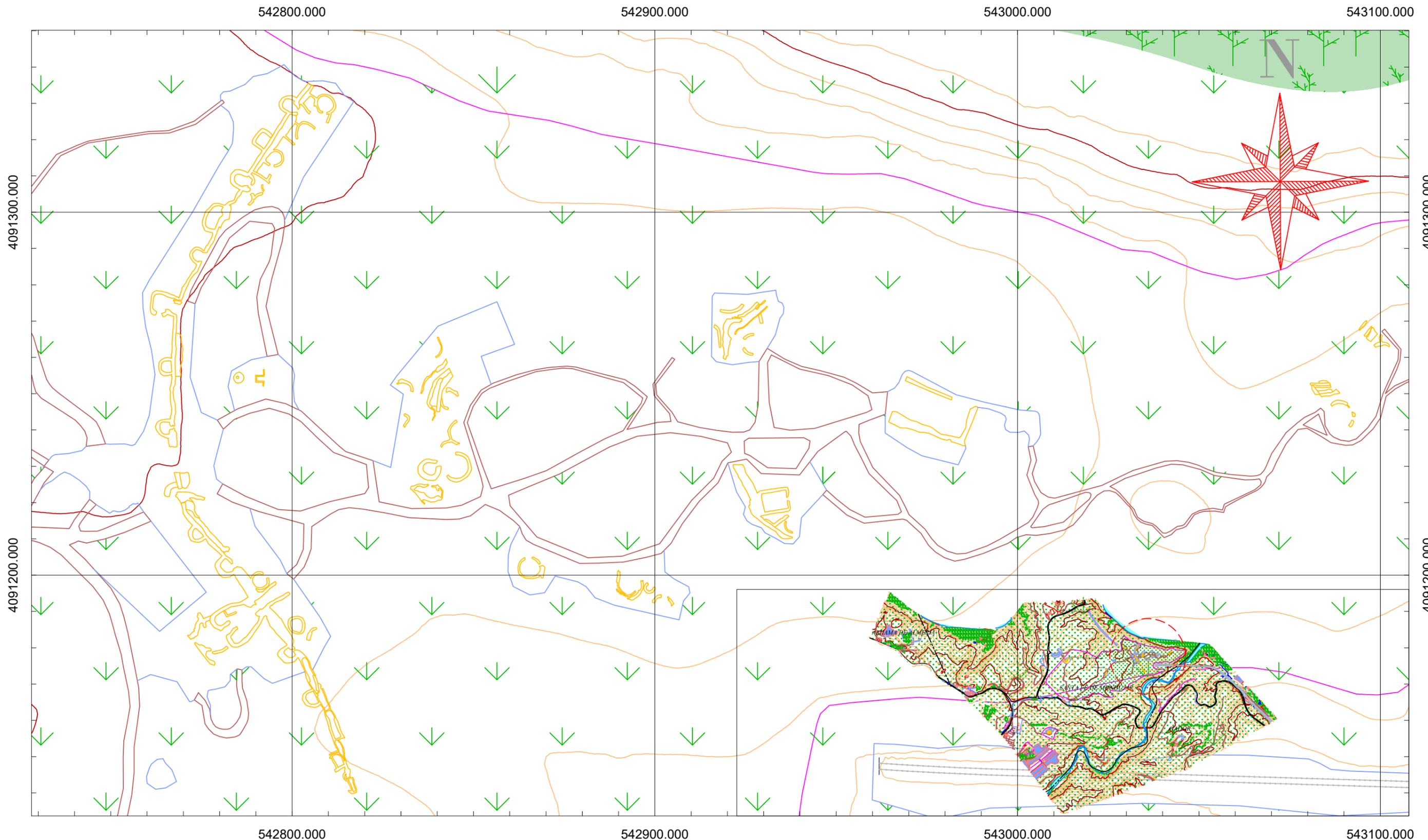
Sistema de referencia ETRS89 Proyección U.T.M. Huso 30 N

Autor: Marc Sierra Hurtado



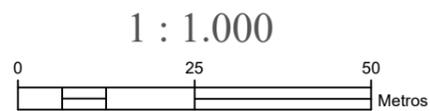
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**

# MAPA ALTIMÉTRICO DE DETALLE DEL POBLADO DE LOS MILLARES



## LEYENDA

- |                  |                                    |           |
|------------------|------------------------------------|-----------|
| Yacimiento       | Vallado                            | Arbusto   |
| Caminos          | Vías                               | Arbolado  |
| Carretera        | Suelo sin uso                      | Cañaveral |
| Curvas maestras  | Río                                |           |
| Curvas normales  | Embalse                            |           |
| Derrumbe         | Edificio singular                  |           |
| Drenaje          | Construcción agrícola o industrial |           |
| Límite municipal |                                    |           |
| Muro             |                                    |           |
| Túnel            |                                    |           |



Sistema de referencia ETRS89 Proyección U.T.M. Huso 30 N

Autor: Marc Sierra Hurtado



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**

## 10. ANEXOS

Nombre	Coordenada en X	Coordenada en Y	Altura ortométrica	Precisión 2D	Precisión 3D
1001	542719,326	4091211,591	249,86	0,014	0,030
1002	542762,212	4091183,686	246,723	0,011	0,024
1003	542779,843	4091155,958	245,501	0,013	0,028
1004	542797,009	4091129,286	244,197	0,012	0,026
1005	542820,269	4091123,106	241,938	0,010	0,022
1006	542825,314	4091101,127	236,272	0,010	0,022
1007	542839,889	4091075,656	233,146	0,023	0,044
1008	542859,279	4091074,098	235,969	0,012	0,024
1009	542864,56	4091092,906	229,413	0,015	0,029
1010	542848,821	4091112,699	232,215	0,012	0,026
1011	542861,444	4091139,749	232,656	0,011	0,024
1012	542833,646	4091156,093	235,996	0,015	0,031
1013	542811,493	4091178,333	244,401	0,015	0,031
1014	542797,987	4091202,09	247,489	0,015	0,031
1015	542782,522	4091226,996	248,242	0,016	0,033
1016	542771,571	4091250,864	249,512	0,017	0,034
1017	542774,227	4091277,34	249,656	0,019	0,039
1018	542791,058	4091300,163	250,55	0,020	0,039
1019	542812,042	4091321,277	250,713	0,022	0,045
1020	542789,857	4091337,833	251,338	0,014	0,028
1021	542770,779	4091296,531	250,185	0,012	0,025
1022	542760,06	4091267,46	250,441	0,015	0,030
1023	542758,071	4091237,566	250,509	0,015	0,030
1024	542742,088	4091223,411	251,334	0,018	0,036
1025	542754,091	4091205,212	248,915	0,009	0,017
1026	542819,442	4091218,07	246,911	0,017	0,032
1027	542831,874	4091186,128	240,745	0,016	0,030
1028	542856,344	4091146,704	233,124	0,014	0,027
1029	542894,116	4091125,262	226,146	0,016	0,030
1030	542908,108	4091144,415	228,329	0,016	0,030
1031	542897,588	4091164,131	234,404	0,016	0,029
1032	542925,943	4091155,385	231,051	0,014	0,025

1033	542926,471	4091132,935	225,289	0,019	0,033
1034	542937,436	4091154,488	228,738	0,013	0,023
1035	542956,47	4091174,144	232,822	0,013	0,024
1036	542983,147	4091177,565	234,225	0,008	0,014
1037	543011,876	4091188,05	233,282	0,013	0,024
1038	543039,353	4091192,086	231,591	0,010	0,018
1039	543061,353	4091188,591	229,449	0,019	0,034
1040	543086,927	4091184,179	229,735	0,010	0,017
1041	543112,736	4091190,489	227,863	0,009	0,017
1042	543133,124	4091204,963	229,55	0,012	0,020
1043	543154,061	4091224,855	229,353	0,010	0,017
1044	543161,486	4091244,313	227,076	0,011	0,019
1045	543146,754	4091264,178	226,256	0,011	0,019
1046	543129,082	4091275,843	227,969	0,010	0,018
1047	543102,571	4091275,811	229,665	0,012	0,022
1048	543078,23	4091268,611	225,653	0,016	0,028
1049	543056,156	4091258,194	229,046	0,014	0,025
1050	543031,915	4091265,027	234,293	0,013	0,023
1051	543007,866	4091282,729	239,07	0,013	0,023
1052	542979,995	4091286,483	243,329	0,12	0,022
1053	542951,861	4091287,728	246,273	0,011	0,020
1054	542921,355	4091289,227	245,748	0,012	0,022
1055	542889,851	4091292,708	244,308	0,011	0,020
1056	542861,78	4091303,759	239,964	0,013	0,023
1057	542841,898	4091314,287	243,899	0,012	0,022
1058	542854,089	4091226,548	247,581	0,009	0,018
1059	542880,279	4091230,533	247,787	0,010	0,019
1060	542870,813	4091260,166	249,073	0,009	0,017
1061	542901,691	4091259,105	249,017	0,010	0,020
1062	542907,901	4091232,547	247,732	0,010	0,019
1063	542936,564	4091231,558	248,188	0,010	0,019
1064	542943,346	4091258,278	248,555	0,007	0,014
1065	542970,688	4091256,681	247,777	0,008	0,017
1066	542960,713	4091239,277	247,765	0,010	0,019
1067	542986,449	4091232,015	246,969	0,007	0,015

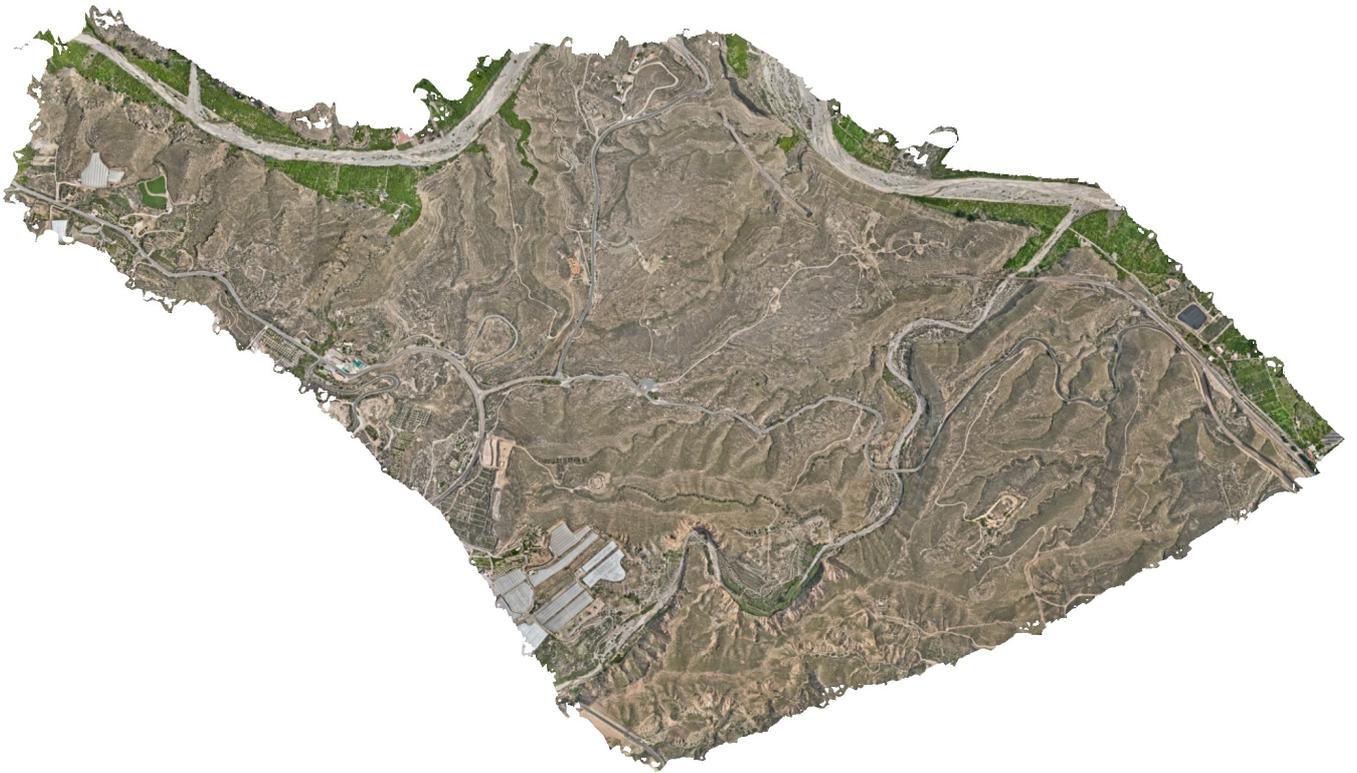
1068	543000,652	4091250,856	245,643	0,009	0,020
1069	543018,169	4091247,84	242,023	0,009	0,019
1070	543010,282	4091219,092	241,631	0,010	0,020
1071	543035,203	4091221,669	241,248	0,010	0,020
1072	543043,701	4091231,973	237,392	0,011	0,022
1073	543057,631	4091219,505	238,734	0,012	0,024
1074	543075,952	4091220,237	235,512	0,013	0,027
1075	543102,392	4091216,424	233,811	0,011	0,022
1076	543127,898	4091222,22	234,302	0,011	0,022
1077	543150,859	4091232,602	230,349	0,013	0,026
1078	543207,689	4090916,375	227,188	0,013	0,027
1079	542598,105	4090748,18	244,234	0,014	0,030
1080	542325,154	4090736,567	259,542	0,013	0,028
1081	541850,337	4090839,561	281,277	0,013	0,028
1082	541961,041	4091270,078	269,708	0,021	0,044
1083	542297,865	4091718,487	247,821	0,014	0,029
1084	543621,453	4090991,394	196,727	0,008	0,018
1085	543860,742	4090670,436	200,649	0,013	0,026
1086	543369,239	4091300,413	178,923	0,021	0,041
1087	542887,787	4090978,534	191,696	0,012	0,048
1088	542887,437	4090667,799	200,416	0,012	0,040
1089	542608,765	4090267,432	213,682	0,012	0,030
1090	542216,2	4090259,097	231,396	0,008	0,022
1091	542037,521	4090044,025	239,288	0,009	0,024
1092	543070,118	4090459,462	259,753	0,013	0,027
1093	541618,636	4090619,552	307,14	0,011	0,022
1094	541898,272	4090504,016	326,919	0,015	0,030
1095	541483,781	4090926,423	305,146	0,011	0,022
1096	541150,353	4090885,513	313,066	0,015	0,030
1097	540904,557	4091069,966	318,048	0,010	0,019
1098	540747,124	4091154,795	315,303	0,019	0,032
1099	540571,71	4091269,875	310,006	0,018	0,030
1100	540352,363	4091372,079	310,647	0,009	0,016
1101	541313,809	4091351,708	221,715	0,013	0,024
1102	540906,585	4091536,002	213,733	0,010	0,019

1103	540731,364	4091641,49	215,670	0,011	0,021
1104	540527,453	4091789,902	219,188	0,012	0,022
1105	540507,707	4091751,529	219,305	0,015	0,024
1106	541939,591	4090508,622	329,399	0,012	0,031
1107	541972,731	4090495,118	328,829	0,013	0,034
1108	541992,757	4090515,073	328,807	0,016	0,042
1109	541993,155	4090544,054	329,782	0,021	0,051
1110	541968,173	4090549,809	327,353	0,019	0,052
1111	541947,283	4090540,206	328,253	0,019	0,046
1112	541930,532	4090525,104	330,566	0,019	0,051

*Tabla 7: Puntos de apoyo – Fuente: Elaboración propia*

# Agisoft Metashape

Processing Report  
04 September 2023



# Datos del levantamiento

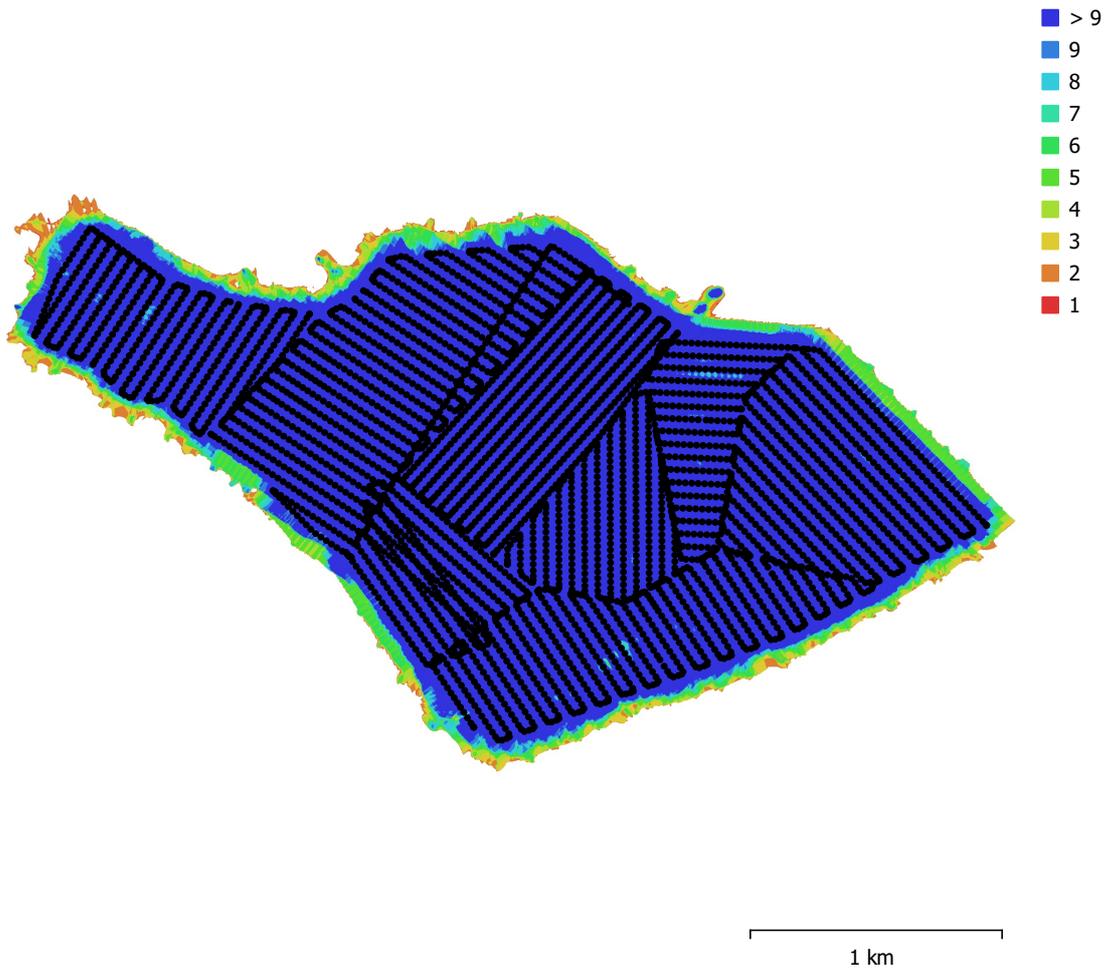


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 4,056

Altitud media de vuelo: 129 m

Resolución en terreno: 3.15 cm/pix

Área cubierta: 4.94 km<sup>2</sup>

Imágenes alineadas: 4,056

Puntos de paso: 1,743,490

Proyecciones: 16,416,063

Error de reproyección: 0.872 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
M3E (12.29mm)	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 micras	Sí

Tabla 1. Cámaras.

# Calibración de cámara

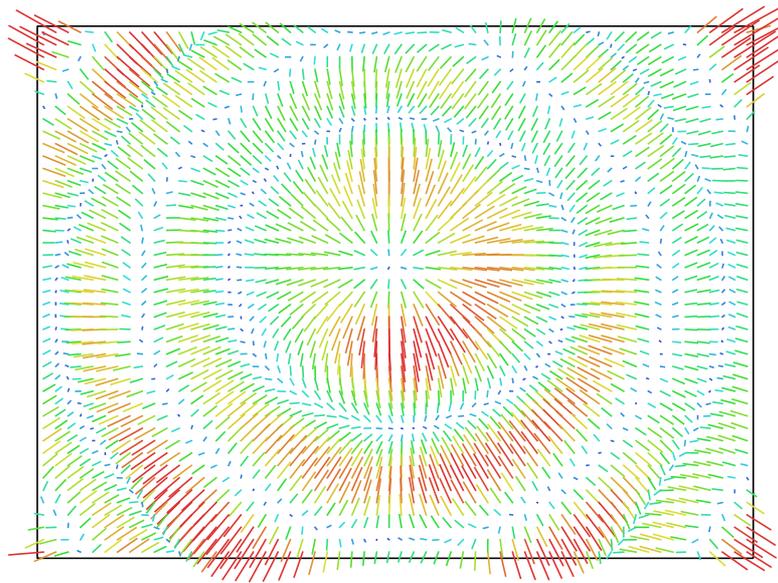


Fig. 2. Gráfico de residuales para M3E (12.29mm). 1 pix

## M3E (12.29mm)

4056 imágenes, precalibrada

Tipo  
**Cuadro**

Resolución  
**5280 x 3956**

Distancia focal  
**12.29 mm**

Tamaño de píxel  
**3.36 x 3.36 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>3710.99</b>	0.023	1.00	0.07	0.13	-0.37	0.09	-0.16	-0.05	-0.07
<b>Cx</b>	<b>20.1934</b>	0.0031		1.00	0.00	0.01	-0.04	0.04	0.62	-0.01
<b>Cy</b>	<b>-5.14463</b>	0.0028			1.00	-0.05	0.02	-0.03	-0.01	0.53
<b>K1</b>	<b>-0.110127</b>	4.6e-06				1.00	-0.93	0.91	0.06	0.00
<b>K2</b>	<b>0.00876454</b>	1.1e-05					1.00	-0.98	-0.06	0.02
<b>K3</b>	<b>-0.0224294</b>	8.5e-06						1.00	0.07	-0.02
<b>P1</b>	<b>7.00583e-05</b>	1.7e-07							1.00	-0.01
<b>P2</b>	<b>9.49412e-05</b>	1.6e-07								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

# Posiciones de cámaras

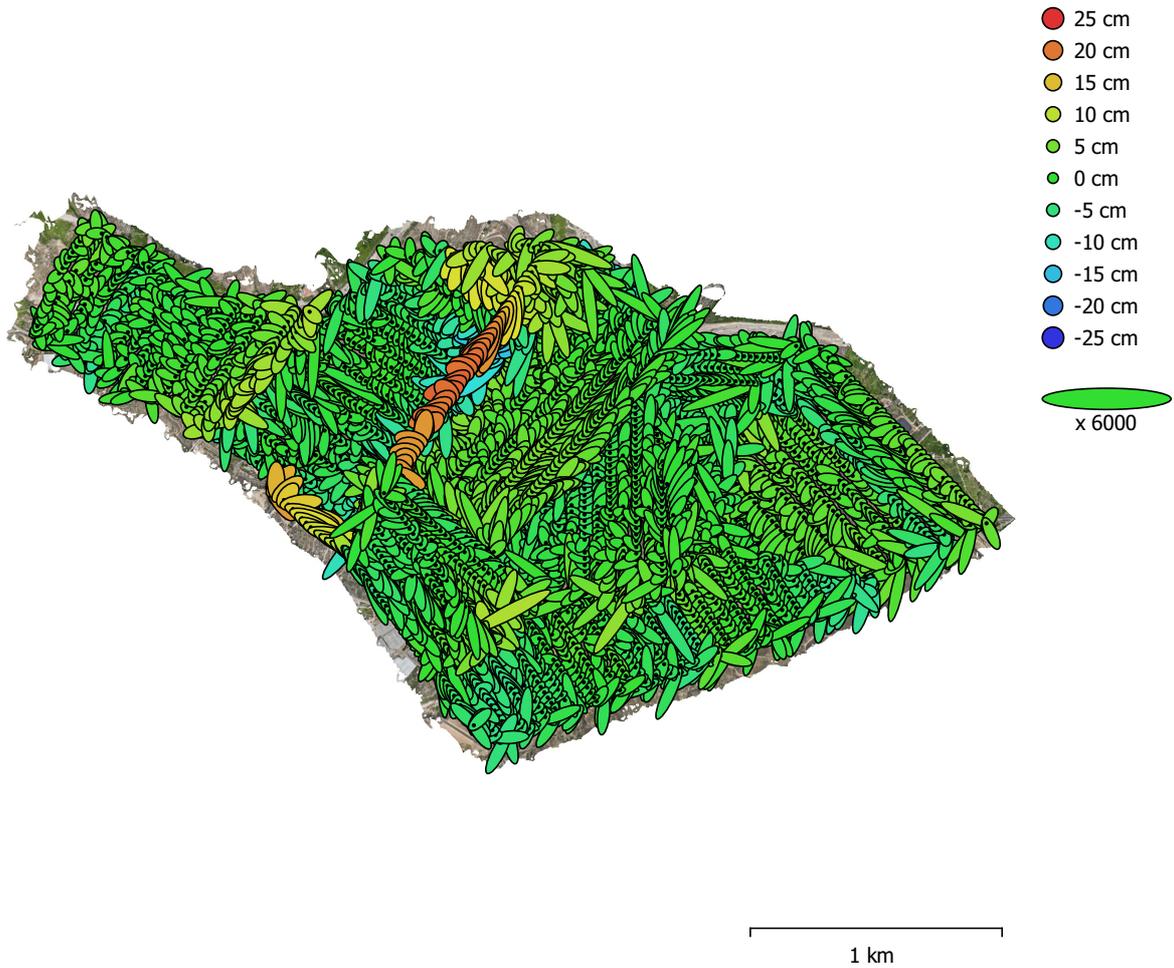


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Error combinado (cm)
0.993347	1.09181	4.11523	1.47607	4.37195

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

# Puntos de control terrestre

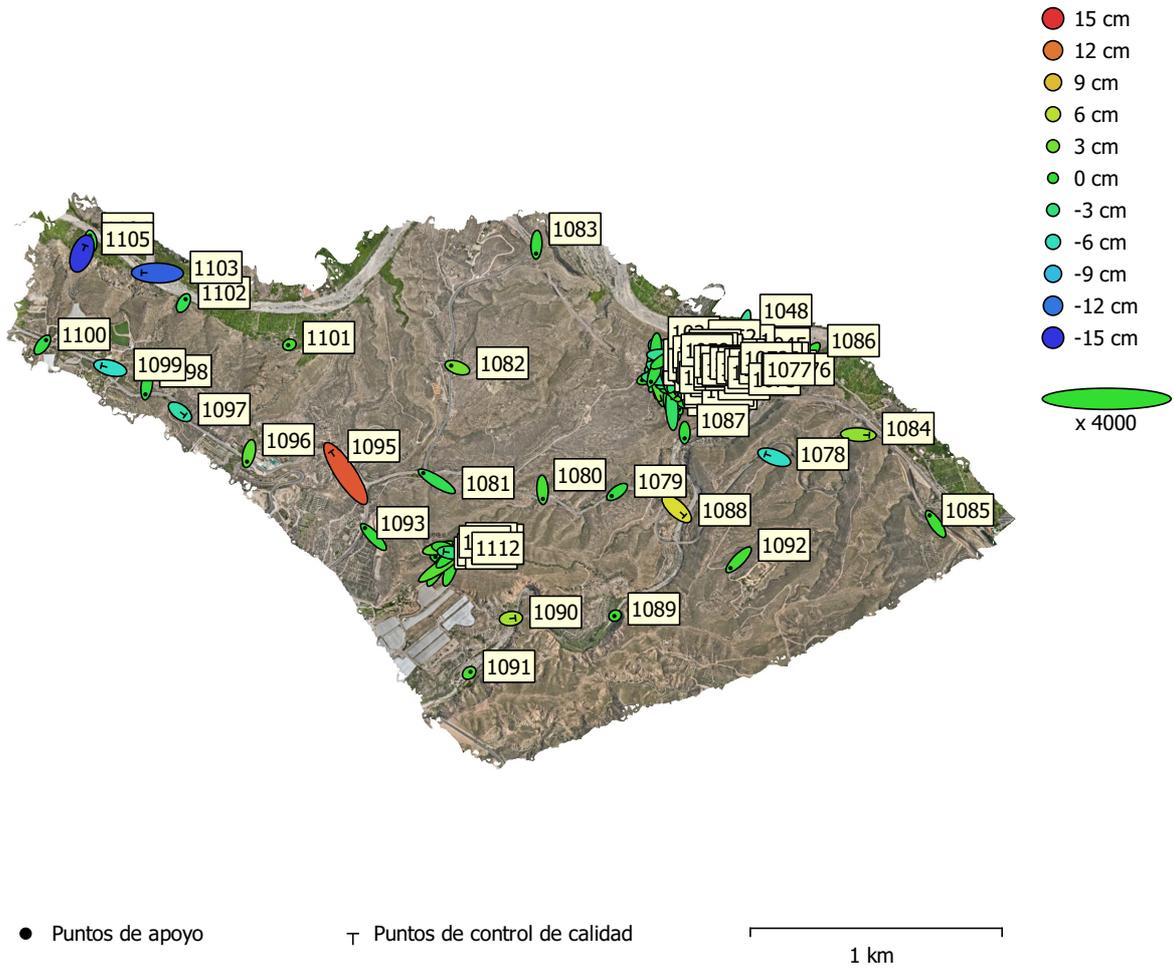


Fig. 4. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
62	0.862071	1.37197	0.741793	1.62033	1.78205

Tabla 4. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
50	1.64131	1.82302	4.60109	2.45302	5.21415

Tabla 5. ECM de puntos de control de calidad.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

<b>Nombre</b>	<b>Error en X (cm)</b>	<b>Error en Y (cm)</b>	<b>Error en Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagen (pix)</b>
1001	-0.951519	-0.386161	0.42885	1.11284	0.684 (13)
1003	-0.352706	-2.21923	-0.111497	2.24985	0.862 (10)
1005	-1.19976	-1.8336	-0.399952	2.22743	0.826 (14)
1007	-0.371087	-0.836429	0.136677	0.925203	0.586 (16)
1009	0.65982	-1.16297	-0.159034	1.34653	0.517 (13)
1011	-0.74095	0.591981	0.197726	0.968785	0.437 (11)
1013	-1.37012	-0.102766	-1.25447	1.86051	0.761 (15)
1015	0.204998	-1.60718	-0.656117	1.74801	0.723 (13)
1017	-0.542264	-0.0803146	-0.228342	0.593835	0.725 (13)
1019	-0.623052	-0.58586	-1.12492	1.41311	0.806 (15)
1021	-0.14145	-2.04797	-0.584531	2.13444	0.887 (12)
1023	-1.14236	-0.144644	-0.625167	1.31025	0.870 (12)
1025	-0.962268	-2.33987	-0.48286	2.57567	0.938 (10)
1027	0.398648	-1.33376	-0.185227	1.40433	0.622 (12)
1029	-0.044046	-2.56414	0.574105	2.628	1.245 (10)
1031	0.515101	-1.21174	0.71708	1.49928	0.786 (12)
1033	0.107271	-1.99778	0.608181	2.09105	0.805 (13)
1035	0.0262902	-2.21554	0.29643	2.23544	0.794 (13)
1037	0.0114147	-1.48334	0.161411	1.49214	0.622 (11)
1039	-0.703923	-2.20097	-0.31728	2.33248	0.802 (10)
1041	0.0634149	-1.15029	0.212459	1.17147	0.565 (15)
1043	0.469041	-1.99584	-0.573958	2.12904	0.717 (10)
1045	0.323469	-1.75738	0.500821	1.85576	0.768 (13)
1047	1.32012	-1.19348	0.146844	1.78569	0.586 (12)
1049	0.763695	0.0882651	0.773929	1.09087	0.732 (13)
1051	0.378623	-1.62572	-0.297182	1.69548	0.702 (11)
1053	0.427695	0.0846139	-0.324099	0.543252	0.410 (12)
1055	0.749238	-0.884408	-0.914059	1.47616	0.628 (12)
1057	1.73238	1.04128	-0.532962	2.09032	0.715 (13)
1059	-0.297039	-0.0740133	0.518796	0.602378	0.622 (12)
1061	0.632831	2.37283	-1.11242	2.69598	1.177 (10)
1063	-0.413023	-0.574948	0.0986776	0.714766	0.543 (12)

<b>Nombre</b>	<b>Error en X (cm)</b>	<b>Error en Y (cm)</b>	<b>Error en Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagen (pix)</b>
1065	0.465871	0.966574	-0.427022	1.15484	0.730 (13)
1067	-0.462131	-0.0196347	-0.101964	0.473653	0.478 (9)
1069	-0.433345	0.859619	-0.14032	0.972842	0.830 (9)
1071	-0.519851	-0.326163	0.142095	0.629936	0.498 (12)
1073	-0.956876	0.772311	-0.086958	1.23274	0.700 (12)
1075	-1.01104	-0.356496	1.11664	1.54796	0.691 (15)
1077	-0.454969	0.859387	-0.0836145	0.975979	0.665 (11)
1079	-1.07787	-0.803512	-0.636098	1.4873	0.826 (12)
1080	0.084729	-1.81085	0.874586	2.01277	0.920 (11)
1081	-2.65647	1.64884	-1.27939	3.37821	1.177 (10)
1082	-1.21639	0.418921	2.87335	3.14821	1.694 (12)
1083	-0.0836449	-1.78327	-0.4033	1.83022	0.862 (10)
1085	-1.17719	1.72128	0.524452	2.15026	1.219 (10)
1086	-0.965916	-1.07806	0.317658	1.48193	0.644 (11)
1087	-0.00501208	-1.15805	-0.18623	1.17294	0.634 (14)
1089	-0.140479	-0.0776041	0.536681	0.560164	0.747 (12)
1091	0.253186	0.210929	1.12221	1.16959	1.281 (11)
1092	-1.61088	-1.64805	0.757266	2.42579	1.115 (10)
1093	-1.6989	1.79664	-0.240474	2.48435	1.060 (10)
1094	-0.714309	0.227835	-0.00876018	0.749815	0.755 (12)
1096	-0.379687	-1.61058	1.93618	2.54695	1.508 (10)
1098	-0.257043	-1.785	-0.659156	1.9201	1.032 (10)
1100	0.713537	0.945961	-0.804082	1.43197	0.717 (12)
1101	-0.23238	-0.0864253	0.7609	0.800274	1.017 (10)
1102	0.429634	0.779115	-1.20617	1.49881	0.980 (14)
1104	-0.178433	1.02841	-0.914508	1.38773	1.077 (14)
1106	1.48576	2.54734	0.784965	3.05166	1.093 (10)
1107	0.744958	2.17387	0.456788	2.34294	0.816 (12)
1109	1.85955	1.67806	-0.102973	2.50688	0.817 (11)
1111	1.07043	-0.148963	0.0854051	1.08411	0.492 (10)
<b>Total</b>	<b>0.862071</b>	<b>1.37197</b>	<b>0.741793</b>	<b>1.78205</b>	<b>0.840</b>

Tabla 6. Puntos de apoyo.  
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

<b>Nombre</b>	<b>Error en X (cm)</b>	<b>Error en Y (cm)</b>	<b>Error en Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagen (pix)</b>
1002	-1.94467	-2.50832	-1.32669	3.43999	0.721 (11)
1004	1.08673	-3.99183	1.43268	4.37816	0.437 (10)
1006	0.0411628	-1.79437	-0.0747507	1.7964	0.444 (12)
1008	0.475707	-4.82561	-1.21998	5.00012	0.895 (10)
1010	-1.88095	-0.555261	-0.430809	2.00795	0.593 (14)
1012	-0.193414	3.02841	-2.25634	3.7815	0.499 (12)
1014	0.0800928	0.0540489	-2.25413	2.2562	0.619 (12)
1016	0.468197	-0.0326523	-1.48914	1.56135	0.686 (14)
1018	-0.975446	-0.0633834	-3.53088	3.66369	0.551 (14)
1020	0.353786	-0.253534	-8.52896	8.54005	0.592 (11)
1022	-1.89698	1.12417	-4.01209	4.57812	0.777 (11)
1024	-2.22193	0.272279	-3.52226	4.17342	0.605 (11)
1026	-0.0116554	-1.21687	-4.02021	4.20035	0.587 (13)
1028	0.890045	-1.33617	1.58058	2.25294	0.695 (11)
1030	1.56178	-1.52299	2.3824	3.23025	0.641 (14)
1032	-1.2182	-0.488018	-0.77867	1.52595	0.604 (14)
1034	1.61248	-1.65138	1.38558	2.69202	0.582 (14)
1036	-0.338074	-0.483882	2.07009	2.15261	0.515 (13)
1038	1.07986	-2.8674	3.06319	4.33257	0.402 (10)
1040	0.339292	-2.06714	0.404729	2.13354	0.332 (12)
1042	0.0858153	-0.796892	-0.059394	0.803697	0.619 (14)
1044	1.57241	-0.578615	0.31158	1.70421	0.715 (12)
1046	3.2673	-1.18271	0.37057	3.49448	0.396 (10)
1048	-1.40179	-4.95	-4.39784	6.7682	0.618 (10)
1050	1.68057	-1.26651	-1.70812	2.71035	0.527 (12)
1052	1.18583	-1.98465	-3.66888	4.33655	0.414 (11)
1054	2.13401	-1.03511	-2.43597	3.39992	0.666 (14)
1056	2.43758	-0.213734	-4.24519	4.89991	0.939 (11)
1058	0.763179	-1.99135	-0.919126	2.32222	0.637 (12)
1060	0.852579	1.89812	-2.86064	3.53737	0.592 (13)
1062	-0.241091	0.916465	1.48456	1.76124	0.543 (12)
1064	0.344331	1.7156	-0.0717639	1.75128	0.524 (11)
1066	-1.48303	2.11908	-4.23655	4.96369	0.579 (8)

<b>Nombre</b>	<b>Error en X (cm)</b>	<b>Error en Y (cm)</b>	<b>Error en Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagen (pix)</b>
1068	1.17705	1.69059	-0.237637	2.07365	0.731 (10)
1070	-0.263236	0.427502	1.19884	1.29972	0.662 (12)
1072	-0.399387	-1.04741	-1.01674	1.51339	0.516 (10)
1074	-3.43582	-0.306172	2.05341	4.01436	0.545 (11)
1076	-2.37342	-0.160847	2.28951	3.30164	0.543 (14)
1078	-1.80565	0.667019	-6.31162	6.59862	0.430 (15)
1084	2.18924	-0.1031	4.12151	4.668	0.667 (12)
1088	1.55822	-1.43593	7.34841	7.64781	0.323 (10)
1090	0.892725	0.089751	5.05148	5.13054	0.436 (13)
1095	-2.91237	4.4304	13.3899	14.4013	0.576 (12)
1097	1.01363	-0.752184	-5.06638	5.22124	0.524 (12)
1099	-1.77543	0.465601	-6.49996	6.75414	0.604 (12)
1103	-3.16803	0.0452406	-13.0401	13.4195	0.453 (11)
1105	0.639175	1.6571	-14.6968	14.8037	0.399 (10)
1108	3.50856	2.37805	1.69531	4.565	0.609 (13)
1110	2.41393	0.511997	2.07104	3.22155	0.492 (13)
1112	-1.5081	0.188347	-2.89496	3.26965	0.480 (12)
<b>Total</b>	<b>1.64131</b>	<b>1.82302</b>	<b>4.60109</b>	<b>5.21415</b>	<b>0.584</b>

Tabla 7. Puntos de control de calidad.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

# Modelo digital de elevaciones

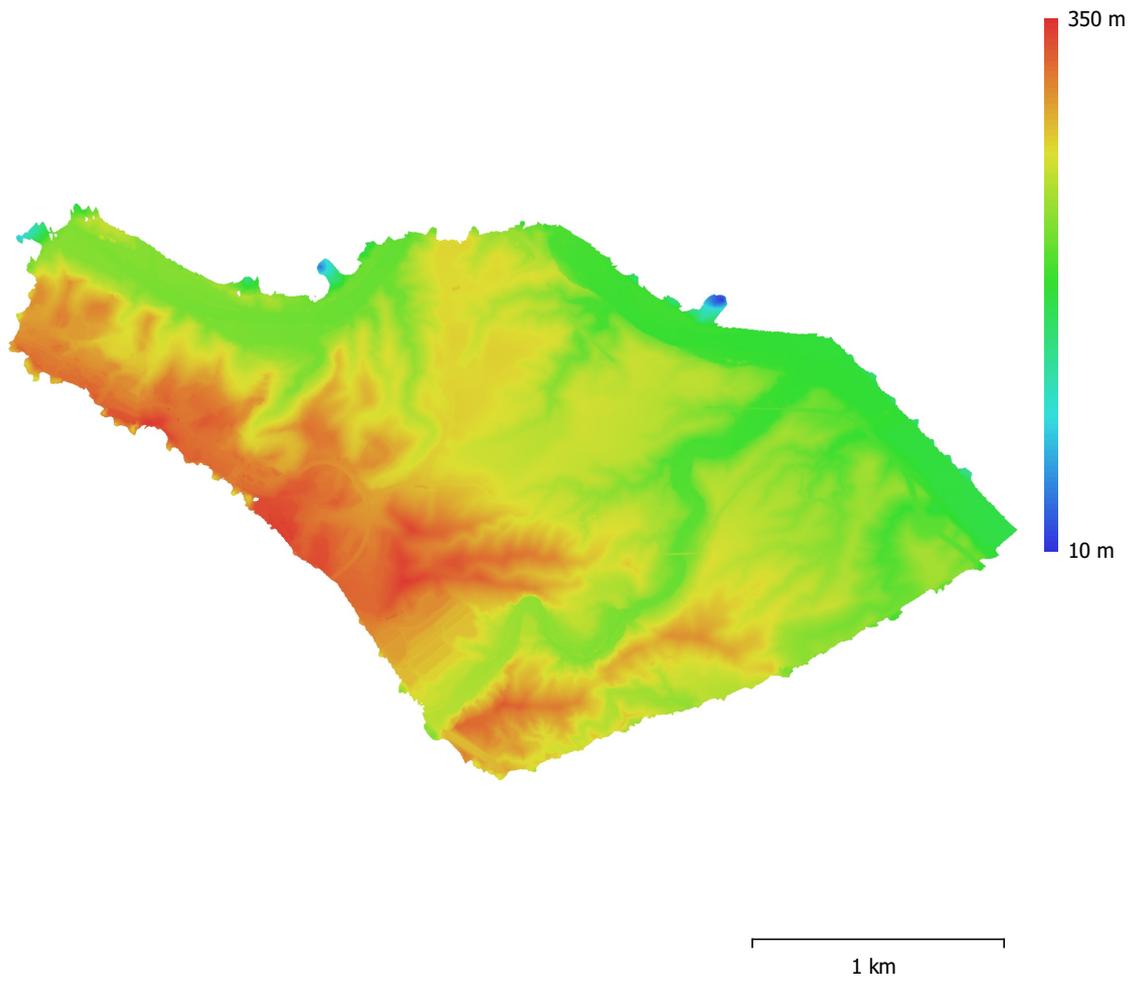


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 6.3 cm/pix  
Densidad de puntos: 252 puntos/m<sup>2</sup>

# Parámetros de procesamiento

## Generales

Cámaras	4056
Cámaras orientadas	4056
Marcadores	112
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 30N + EGM08
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

## Nube de puntos

Puntos	1,743,490 de 1,862,464
RMS error de reproyección	0.252314 (0.871718 pix)
Error de reproyección máximo	0.758117 (36.8065 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.45106 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	9.78242

## Parámetros de orientación

Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	40,000
Puntos de paso por foto	4,000
Exclude stationary tie points	Sí
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de emparejamientos	41 minutos 28 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	6.05 GB
Tiempo de orientación	1 hora 6 minutos
Uso de memoria durante el alineamiento	2.49 GB
Versión del programa	1.7.0.11701
Tamaño de archivo	323.77 MB

## Mapas de profundidad

Número	4056
--------	------

### Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	8 horas 21 minutos
Uso de memoria	11.17 GB
Versión del programa	1.7.0.11701
Tamaño de archivo	34.60 GB

## Nube de puntos densa

Puntos	1,792,544,659
Colores de puntos	3 bandas, uint8

### Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	8 horas 21 minutos
Uso de memoria	11.17 GB

### Parámetros de generación de la nube densa

Tiempo de procesamiento	8 horas 25 minutos
Uso de memoria	11.54 GB
Versión del programa	1.7.0.11701
Tamaño de archivo	22.75 GB

**MDE**

Tamaño 81,839 x 57,335  
Sistema de coordenadas ETRS89 / UTM zone 30N + EGM08

**Parámetros de reconstrucción**

Origen de datos Nube de puntos densa  
Interpolación Habilitada  
Tiempo de procesamiento 20 minutos 44 segundos  
Uso de memoria 367.55 MB  
Versión del programa 1.7.0.11701  
Tamaño de archivo 4.77 GB

**Ortomosaico**

Tamaño 127,107 x 73,337  
Sistema de coordenadas ETRS89 / UTM zone 30N + EGM08  
Colores 3 bandas, uint8

**Parámetros de reconstrucción**

Modo de mezcla Mosaico  
Superficie MDE  
Permitir el cierre de agujeros Sí  
Habilitar el filtro de efecto fantasma No  
Tiempo de procesamiento 2 horas 1 minuto  
Uso de memoria 8.63 GB  
Versión del programa 1.7.0.11701  
Tamaño de archivo 123.41 GB

**Sistema**

Nombre del programa Agisoft Metashape Professional  
Versión del programa 1.7.0 build 11701  
OS Windows 64 bit  
RAM 15.63 GB  
CPU 12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-12700H  
GPU(s) NVIDIA GeForce RTX 3050 Laptop GPU