

ESTUDIO DE ACCESO AL FORO ROMANO DE SAGUNTO EN LA EDAD ANTIGUA A PARTIR DE MODELIZACIÓN 3D

GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

AUTOR: JOSÉ MARÍA LÓPEZ

Curso: 2019 - 2020

TUTOR: ANA BELÉN ANQUELA JULIÁN

Fecha: Septiembre 2020

COTUTOR: JESÚS MANUEL PALOMAR VÁZQUEZ

"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".

AGRADECIMINETOS

Me gustaría dar las gracias a toda mi familia, padres y hermanos, por todo el apoyo que me han dado durante todos estos años y por haber estado a mi lado en los momentos complicados que hemos pasado.

También, a mis compañeros que siempre han estado dispuestos a ayudarme cuando lo he necesitado y con los que he pasado muy buenos momentos alegres que nunca olvidaré.

A todos los profesores, que no han cesado en empeño de enseñarnos todos los conocimientos necesarios para que salgamos lo mejor preparados posible al mundo laboral.

Y, por supuesto, a mis tutores Ana Anquela y Jesús Palomar, por toda su paciencia, por todos los conocimientos que me han enseñado a lo largo de la carrera y por toda la ayuda que me han ofrecido para la realización del TFG.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	3
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO	8
2.- ¿QUÉ ES EL LIDAR?	9
3.- SOFTWARE UTILIZADO	11
3.1.- LASTOOLS	11
3.2.- FUSION	11
3.3.- QGIS	12
3.4.- SAGA	13
3.5.- ARCGIS	13
4.- DATOS DE PARTIDA	15
4.1.- Datos LIDAR.....	15
4.2.- Ortofoto de máxima calidad	16
5.- METODOLOGÍA	17
5.1.- LASZIP.....	17
5.2.- FUSION	18
5.3.1.- Mergedata.....	20
5.3.2.- Clipdata	21
5.3.3.- GroundFilter	21
5.3.4.- GridSurfaceCreate	23
5.3.5.- DTM2ASCII	24
5.4.- QGIS	25
5.4.1.- Mapa de pendientes	26
5.4.2.- Ruta de menor coste	27
5.5.- SAGA	28
5.5.1.- Mapa de pendientes	29
5.5.2.- Mapa de costes acumulados	30
5.5.3.- Ruta de menor coste	31
5.6.- SAGA-QGIS	32
5.6.1.- Mapa de pendientes	33
5.6.2.- Mapa costes acumulados	34

5.6.3.- Ruta de menor coste	35
5.7.- ARCGIS	37
5.7.1.- Mapa de pendientes	38
5.7.2.- Reclasificación de mapa de pendientes.....	39
5.7.3.- Rasterizar la capa vectorial de la zona de estudio	41
5.7.4.- Mapa de superposición ponderada	43
5.7.5.- Mapa de distancia de coste.....	44
5.7.6.- Mapa de menor vínculo de coste	45
5.7.7.- Ruta de menor coste	47
5.7.8.- Ruta de menor coste como polilínea.....	48
5.7.9.- ModelBuilder.....	50
6.- RESULTADOS	51
7.- PRESUPUESTO	55
8.- CONCLUSIONES	59
9.- BIBLIOGRAFÍA.....	61
9.1.-CASTILLO DE SAGUNTO Y DEFINICIÓN DE LIDAR.....	61
9.2.- DATOS DE PARTIDA	61
9.3.- LASTOOLS	61
9.4.- FUSION	62
9.5.- QGIS	62
9.6.- SAGA	62
9.7.- ARCMAP	62
9.8.- PRESUPUESTO	63
9.9.- IMÁGENES	63
10.- ANEJOS.....	64
10.1.- CAPA VECTORIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	64
10.2.- CARTOGRAFÍA	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Ortofoto del vuelo americano de 1956 de la zona de Sagunto.....	8
Figura 2. Componentes básicos de un sistema LIDAR	9
Figura 3. Tipo de escaneo del terreno	10
Figura 4. Logotipo de LAStools	11
Figura 5. Espacio de trabajo de LASzip	11
Figura 6. Logo de FUSION	11
Figura 7. Espacio de trabajo de PDQ	12
Figura 8. Interfaz principal de FUSION	12
Figura 9. Espacio de trabajo de QGIS	12
Figura 10. Logo de QGIS	12
Figura 11. Espacio de trabajo de SAGA.....	13
Figura 12. Logo de SAGA	13
Figura 13. Aplicaciones de ArcGIS	13
Figura 14. Logo de ArcMAP	14
Figura 15. Vista de datos de ArcMAP	14
Figura 16. Vista de composición de mapa de ArcMAP	14
Figura 17. Página principal del CNIG	15
Figura 18. Tipos de modelos digitales de elevaciones.....	15
Figura 19. Archivos LIDAR de la zona de Sagunto.....	15
Figura 20. Página principal del CNIG	16
Figura 21. Tipos de ortofotos e imágenes de satélite.....	16
Figura 22. Ortofotos de la zona de Sagunto	16
Figura 23. Diagrama de flujo	17
Figura 24. Espacio de trabajo de LASZIP	17
Figura 25. Algoritmo de trabajo de LASZIP para la hoja 732-4396 LIDAR	17
Figura 26. Algoritmo de trabajo de LASZIP para la hoja 732-4398 LIDAR.....	18
Figura 27. Algoritmo de trabajo de LASZIP para la hoja 734-4396 LIDAR.....	18
Figura 28. Algoritmo de trabajo de LASZIP para la hoja 734-4398 LIDAR.....	18
Figura 29. Datos LIDAR de la hoja 732-4396.....	18
Figura 30. Datos LIDAR de la hoja 732-4398.....	19
Figura 31. Datos LIDAR de la hoja 734-4396.....	19
Figura 32. Datos LIDAR de la hoja 734-4398.....	19
Figura 33. Datos LIDAR unidos	20
Figura 34. Datos LIDAR zona de estudio.....	21
Figura 35. Zona estudio filtrada dos veces	22
Figura 36. Zona estudio filtrada una vez	22
Figura 37. Zona estudio filtrada tres veces.....	23
Figura 38. Zona de estudio filtrada final.....	23
Figura 39. Modelo digital del terreno (MDT).....	24
Figura 40. Modelo digital terreno en formato ASCII.....	25
Figura 41. Modelo digital del terreno en QGIS	26
Figura 42. Parámetros de la herramienta pendiente	26
Figura 43. Mapa de pendiente en QGIS.....	26
Figura 44. Parámetros de la herramienta Least Cost Path	27

Figura 45. Ruta de menor coste	28
Figura 46. Cómo instalar un complemento en QGIS	28
Figura 47. Administrador de complementos de QGIS	28
Figura 48. Modelo digital del terreno en SAGA	29
Figura 49. Parámetros de la herramienta Slope, Aspect, Curvature.....	29
Figura 50. Mapa de pendientes en SAGA	30
Figura 51. Parámetros de la herramienta Accumulated Cost	31
Figura 52. Mapa de coste acumulado en SAGA.....	31
Figura 53. Parámetros de la herramienta Least Cost Paths	32
Figura 54. Ruta de menor coste en SAGA.....	32
Figura 55. Parámetros de la herramienta pendiente de SAGA en QGIS	33
Figura 56. Mapa de pendientes de SAGA en QGIS	34
Figura 57. Parámetros de la herramienta Accumulated Cost de SAGA en QGIS.....	35
Figura 58. Coste acumulado de SAGA en QGIS.....	35
Figura 59. Parámetros de la herramienta Least Cost Paths de SAGA en QGIS	36
Figura 60. Ruta de menor coste de SAGA en QGIS	37
Figura 61. Modelo digital del terreno en ArcMap	38
Figura 62. Parámetros de la herramienta Slope en ArcMap.....	38
Figura 63. Mapa de pendientes en ArcMap	39
Figura 64. Parámetros de la herramienta Reclassify en ArcMap	40
Figura 65. Método de reclasificación empleado	40
Figura 66. Mapa de pendientes reclasificado	41
Figura 67. Parámetros de la herramienta Polygon To Raster en ArcMap.....	42
Figura 68. Capa ráster de la zona de estudio.....	42
Figura 69. Parámetros de la herramienta Weighted Overlay en ArcMap.....	43
Figura 70. Mapa de superposición ponderada	44
Figura 71. Parámetros de la herramienta Cost Distance en ArcMap	45
Figura 72. Mapa de distancia de coste	45
Figura 73. Parámetros de la herramienta Cost Back Link en ArcMap.....	46
Figura 74. Mapa de menor vínculo de coste	47
Figura 75. Parámetros de la herramienta Cost Path en ArcMap	48
Figura 76. Ruta de menor coste en ArcMap	48
Figura 77. Parámetros de la herramienta Raster to Polyline en ArcMap	49
Figura 78. .Ruta de menor coste como polilínea en ArcMap.....	49
Figura 79. Logo de MoldeBuilder en ArcMap	50
Figura 80. Modelo de trabajo de ModelBuilder en ArcMap	50
Figura 81. Model Builder	50
Figura 82. Ruta de menor coste en QGIS sobre una ortofoto	51
Figura 83. Ruta de menor coste de SAGA en QGIS sobre una ortofoto	52
Figura 84. Ruta de menor coste en SAGA.....	52
Figura 85. Rutas de menor coste en SAGA y de SAGA en QGIS sobre ortofoto	53
Figura 86. Ruta de menor coste en ArcMap sobre ortofoto	53
Figura 87. Rutas de menor coste sobre ortofoto.....	54
Figura 88. Coste licencias ArcGIS Desktop en EEUU	57
Figura 89. Rutas de menor coste sobre ortofoto.....	59

Figura 90. Curvas de nivel de la zona de estudio	59
Figura 91. Construcciones romanas	64
Figura 92. Polígono zona de estudio	64
Figura 93. Parámetros de la herramienta "Diferencia" en QGIS.....	65
Figura 94. Zona estudio sin construcciones.....	65
Figura 95. Parámetros herramienta "Merge" en ArcMap	66
Figura 96. Tabla de atributos de "capa_vectorial_zona_estudio"	66
Figura 97. "capa_vectorial_zona_estudio" en ArcMap	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Convenio de trabajo del sector de Oficinas y Despachos de Valencia del 2019.....	56
Tabla 2. Coste directo del presupuesto	57
Tabla 3. Coste directo del presupuesto	58
Tabla 4. Presupuesto total del proyecto.....	58

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO

La ciudad de Sagunto se implanta en la vertiente meridional de la sierra Calderona, siendo esta el límite sur de la zona urbana, y extendiéndose hasta el cauce del río Palancia, siendo este el límite norte de la población.

La ciudad se encuentra situada en un lugar estratégico debido a su ubicación topográfica y a su localización como nudo de caminos terrestres y marítimos y está protegida por el castillo, que se localiza en lo alto de una de las estribaciones de la sierra Calderona, con una longitud cercana a un kilómetro. Este castillo se divide en siete plazas distintas: la plaza de Almenara, la más oriental; la plaza de Armas o de Santa María Magdalena, donde se pueden ver los restos del foro romano y forma el núcleo principal del castillo; la plaza de Conejera, a la que se accede a través de la plaza de Armas; la plaza de la Ciudadela, la cual es la más elevada del castillo; la plaza de Dos de Mayo, que mira a poniente; y las plazas de San Fernando y de Estudiantes.

Durante la época romana, la ciudad se organiza hasta incluir el río Palancia, que es atravesado por un puente, desde el que comienza el eje norte-sur de la ciudad. La orografía de la ciudad se desarrolla en terrazas, desde el río Palancia hasta la plataforma del teatro, la plaza del fórum y la plaza de la Ciudadela, que se encuentra en el área occidental del castillo.

La construcción del circo romano, a mediados del siglo II, delante del puente del río Palancia, supone un obstáculo para el acceso al área del teatro y el fórum y al trazado original de la ciudad. Por tanto, el objetivo principal de este proyecto es indicar, de una forma aproximada, el camino que podía ser usado en la antigüedad, durante el asentamiento romano, para trasladarse desde el puente que atraviesa el río Palancia al acceso este del castillo mediante la modelización de nubes de puntos LIDAR. Para ello, se realizarán una serie de pasos y operaciones para el tratamiento y estudio de estos datos.

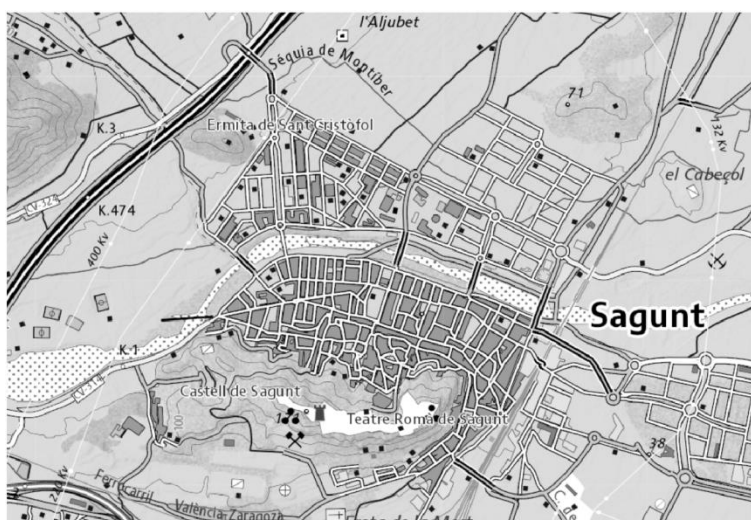


Figura 1. Ortofoto del vuelo americano de 1956 de la zona de Sagunto

En primer lugar, se estudiarán y analizarán los datos LIDAR para obtener un modelo digital de terreno (MDT) de la zona que abarcan los puntos de interés.

Acto seguido, mediante una serie de diversos procesos se intentará calcular y obtener la mejor ruta que comunica el puente con el castillo.

Y, para finalizar, se realizará una composición de mapa

para representar los resultados obtenidos en el proyecto.

2.- ¿QUÉ ES EL LIDAR?

El acrónimo LIDAR significa “Light Detection and Ranging” o “Laser Imaging Detection and Ranging”, es decir, detección de luz y rango y cuya definición según Tesauro 2013 de la Biblioteca Agrícola Nacional de los Estado Unidos es:

“Utilización de rayos láser pulsados y reflejados

sobre un objeto para medir distancia, posición o velocidad.”

El sistema de escaneo mediante LIDAR funciona de forma aerotransportada (ALS), esto significa que el láser utilizado para la medición de los objetos se encuentra en una aeronave, sea una avioneta (pilotada por un piloto) o un dron (pilotada de forma remota), y trabaja con dos movimientos diferentes: la trayectoria del avión, que es el desplazamiento longitudinal y el espejo que recibe la luz que llega desde el láser, que es movimiento transversal.

A la hora de realizar mediciones, el sistema LIDAR utiliza un conjunto de elementos básicos que permiten obtener buenos resultados, estos instrumentos son:

- Un sistema GNSS, que consta de dos o más GPS, uno que se encuentra en la superficie, el cual actúa como estación de referencia, y otro situado en la aeronave, que hace la función de receptor GPS, para obtener la posición y altura de la aeronave.
- Una unidad de medición inercial, que indica la trayectoria y los giros realizados por la avioneta.
- El sensor láser, que emite pulsos de luz para determinar la distancia desde el sensor al terreno medido.

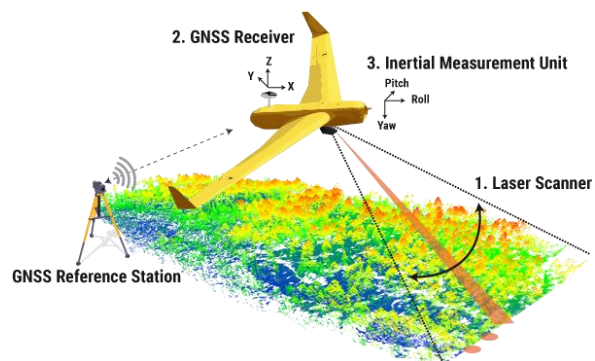


Figura 2. Componentes básicos de un sistema LIDAR

Con todo esto, este sistema tiene la capacidad de obtener un mapa de puntos del terreno que permite conocer su geografía de una forma detallada.

Los sistemas LIDAR pueden ser clasificados de dos maneras diferentes: por un lado, según el tipo de láser utilizado y, por otro, según el escaneo del terreno.

- Tipo de láser: puede ser lidar a pulsos o de medición de fase.
 - Lidar a pulsos: el emisor emite pulsos de luz y la distancia entre el sensor y el terreno se mide calculando el tiempo que tarda el pulso desde el momento que se emite hasta que es recibido.
 - Lidar de medición de fase: aquí, el emisor emite un haz láser continuo y mide la diferencia de fase entre la señal emitida y la señal reflejada.

- Tipo de escaneo del terreno: puede ser lineal, en zigzag, elíptico o de fibra óptica.
 - Lineal: el sistema dispone de un espejo rotatorio que va desviando el haz láser y produce un patrón de escaneo de líneas paralelas en el terreno.
 - Zigzag: en este sistema el espejo incorporado es rotatorio en dos sentidos y, como resultado, produce líneas en zigzag como patrón de escaneo.
 - Elíptico: aquí, hay dos espejos que desvían el haz láser y producen, como patrón de escaneo, un escaneo elíptico.
 - De fibra óptica: mediante unos pequeños espejos, el haz láser es desviado desde la fibra central del sistema a las fibras laterales, que están montadas alrededor del eje del sistema, y producen un escaneo en forma de circunferencias solapadas.

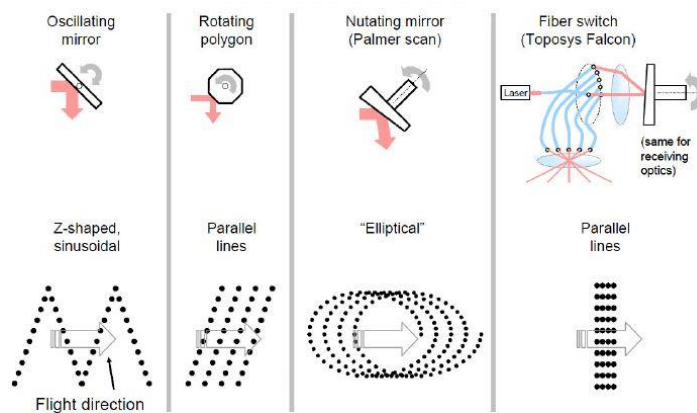


Figura 3. Tipo de escaneo del terreno

3.- SOFTWARE UTILIZADO

Para la realización de este trabajo se han utilizado cinco softwares diferentes: LASTOOLS, FUSION, QGIS, SAGA y ARCGIS. A continuación, se va a explicar de una forma rápida y concisa las características principales de cada uno de ellos.

3.1.- LASTOOLS

LASTools es un conjunto de herramientas que permiten un manejo y procesamiento eficiente de datos LIDAR aerotransportado y han sido creadas por Martin Isenburg de la Universidad de Carolina del Norte.



Figura 4. Logotipo de LASTools

Estas herramientas pueden convertir millones de puntos LIDAR en productos de fácil uso a grandes velocidades y con bajos requisitos de memoria y, por tanto, son muy útiles para el procesamiento LIDAR multinúcleo por lotes.

Dentro de todas las herramientas que contiene LASTools, en este proyecto, solo se va a utilizar la herramienta LASzip.

LASzip es un software de código abierto que permite comprimir archivos LAS en archivos LAZ. Estas compresiones representan entre un 7 y un 20 por ciento del tamaño original de los datos y conservan con gran precisión cada bit de información.

Además, LASzip también permite descomprimir archivos LAZ a archivos LAS.

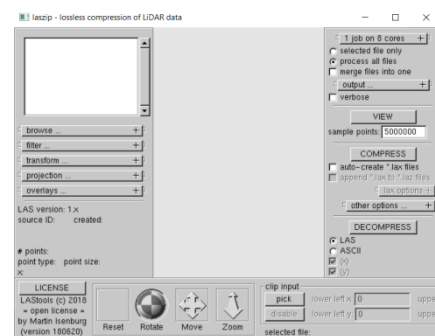


Figura 5. Espacio de trabajo de LASzip

3.2.- FUSION



Figura 6. Logo de FUSION

Fusion es un software que permite el análisis y visualización de datos LIDAR en un entorno 3D. Puede combinar datos LIDAR, datos de campo, capas SIG y modelos de superficie para poder hacer una buena valoración de los datos geoespaciales.

Este ha sido creado y desarrollado por el “Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)” para ayudar a entender, analizar e investigar datos LIDAR.

Su sistema de análisis y visualización está formado por dos programas principales: FUSION y el visor de datos LIDAR (LDV).

- FUSION: es la interfaz principal y consiste en una ventana de control y otra de visualización gráfica que presentan los datos en 2D.

- LDV: es el visualizador 3D de los datos LIDAR que permite realizar una valoración de los subconjuntos de datos espaciales.

Por otro lado, está la ventana PDQ, que permite tener una visualización 3D de los datos y los resultados obtenidos de una forma rápida y sencilla, basta con arrastrar el archivo sobre él y se abrirá sin ningún problema.

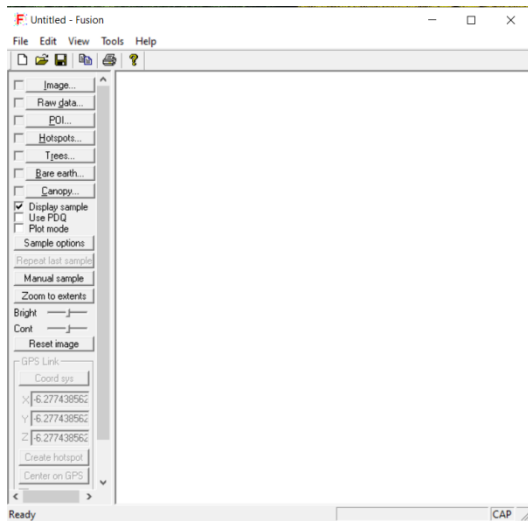


Figura 8. Interfaz principal de FUSION

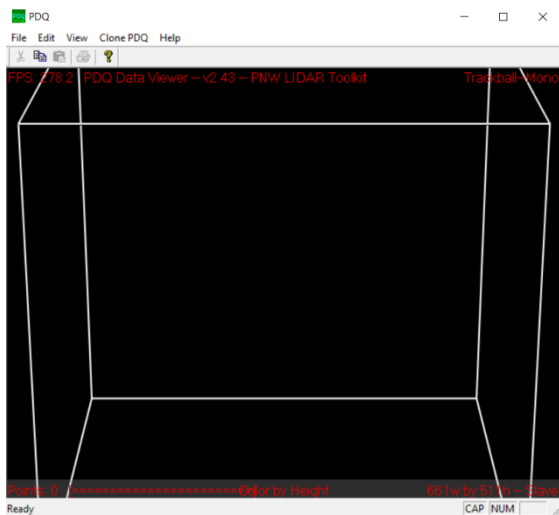


Figura 7. Espacio de trabajo de PDQ

3.3.- QGIS

QGIS es una aplicación profesional de Sistemas de Información Geográfica de código abierto y, por tanto, es un software libre.

Este programa permite trabajar con una alta variedad de datos (vectoriales, ráster, etc.) y puede visualizar, gestionar gran cantidad de datos, editarlos, analizarlos y, además, se pueden diseñar mapas o planos para, a la postre, poder imprimirlos o guardarlos en formato PDF.

En este proyecto se ha utilizado la versión 3.2.0 de QGIS.

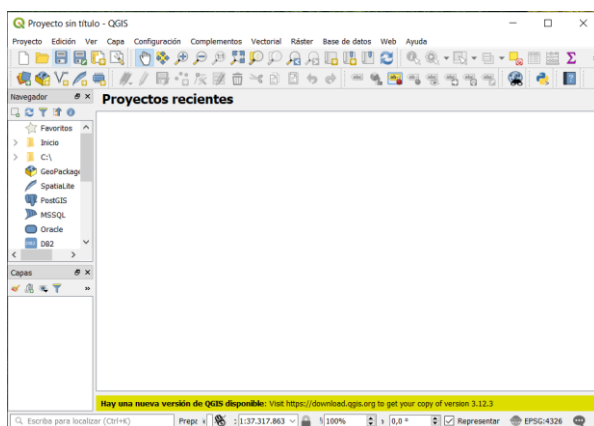


Figura 9. Espacio de trabajo de QGIS



Figura 10. Logo de QGIS

3.4.- SAGA

SAGA, cuyo significado es Sistema para Análisis Geocientíficos Automatizados, es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de software libre y de código abierto utilizado para analizar y editar datos espaciales.

Este software incluye un gran número de módulos que permiten analizar datos vectoriales, imágenes, tablas y cuadrículas, así como, operaciones geoestadísticas, clasificación de imágenes y análisis del terreno, entre otros. Además, para favorecer la aplicación de métodos científicos y facilitar el acceso a ellos se ha utilizado una interfaz de programación API y una interfaz gráfica de usuario GUI.

En las dos últimas décadas, SAGA ha sido desarrollado y actualizado en el Instituto de geografía de la Universidad de Hamburgo.

En este proyecto se ha utilizado la versión 2.3.2.

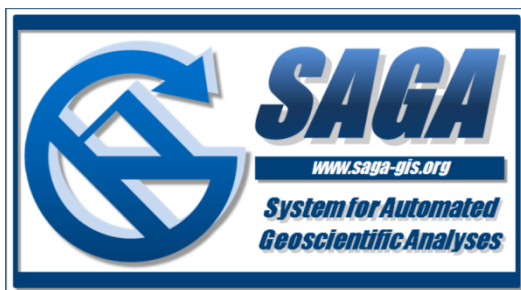


Figura 12. Logo de SAGA

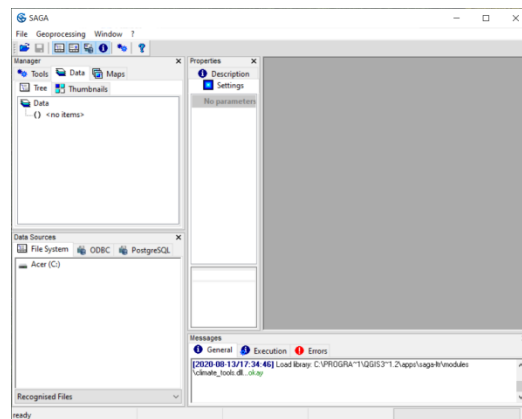


Figura 11. Espacio de trabajo de SAGA

3.5.- ARCGIS

ArcGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) que contiene un grupo de aplicaciones que permiten recopilar, analizar, administrar, compartir y distribuir información geográfica. Estas aplicaciones se agrupan en diferentes familias temáticas como ArcGIS Server, ArcGIS Movil y ArcGIS Desktop.



Figura 13. Aplicaciones de ArcGIS

Los softwares de ArcGIS son producidos y comercializados por ESRI y, por tanto, son softwares privados, es decir, se necesita una licencia de pago para poder trabajar con ellos.

En este proyecto, se ha empleado la versión 10.1 de ArcMap, que es una aplicación de escritorio y pertenece a la familia ArcGIS Desktop.

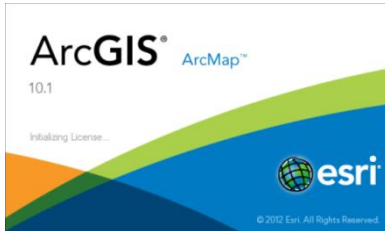


Figura 14. Logo de ArcMAP

ArcMap es la aplicación de escritorio principal de ArcGIS utilizada para la realización de las tareas habituales de SIG, como la creación, visualización y edición de los datasets y el diseño de los mapas para imprimir. Además, representa la información geográfica que se está usando como una colección de capas y otros elementos de un mapa.

El espacio de trabajo de ArcMap tiene dos vistas diferentes: la vista de datos y la vista de composición de mapa.

- Vista de datos: donde se pueden visualizar los datos mediante una ventana geográfica y se puede mostrar y trabajar con la información geográfica.
- Vista de composición de mapa: donde los elementos de mapa están estructurados en una página para la impresión del mapa.

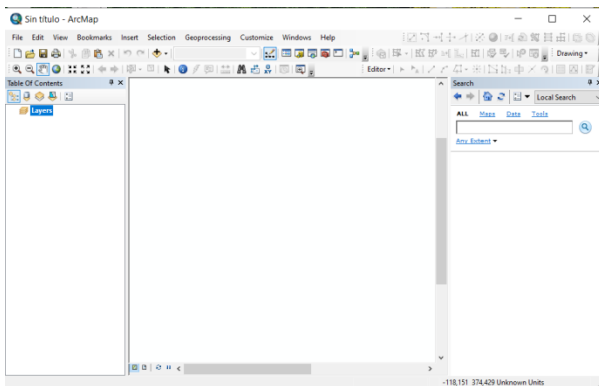


Figura 15. Vista de datos de ArcMAP

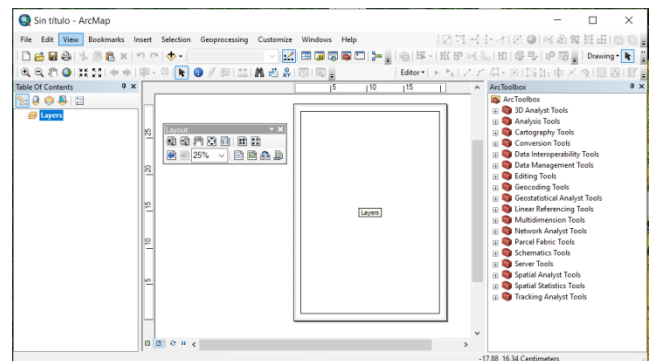


Figura 16. Vista de composición de mapa de ArcMAP

4.- DATOS DE PARTIDA

En este proyecto, los datos a utilizar se han descargado del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Estos datos han sido cuatro archivos de datos LIDAR y una ortofoto de máxima calidad.

4.1.- Datos LIDAR



Figura 17. Página principal del CNIG

Para obtener los datos LIDAR se ha entrado en la opción "Modelos Digitales de Elevaciones". Una vez dentro, se ha elegido la opción "LIDAR 2ª Cobertura" y se han seleccionado y descargado los archivos PNOA_2015_VAL_732_4396_ORT_CLA_RGB, PNOA_2015_VAL_732_4396_ORT_CLA_RGB, PNOA_2015_VAL_732_4396_ORT_CLA_RGB y PNOA_2015_VAL_732_4396_ORT_CLA_RGB en formato LAZ, los cuales corresponden a la zona de estudio.



Figura 18. Tipos de modelos digitales de elevaciones

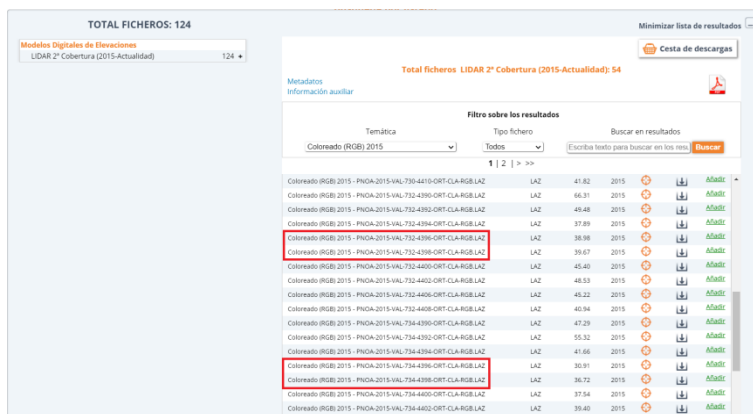


Figura 19. Archivos LIDAR de la zona de Sagunto

4.2.- Ortofoto de máxima calidad



Figura 20. Página principal del CNIG

Para obtener la ortofoto del PNOA, se ha entrado en la opción “Fotos e imágenes aéreas”. Una vez dentro, se ha elegido en “Ortofoto PNOA Máxima Calidad” y se ha seleccionado y descargado el archivo “PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0668” en formato ecw, que corresponde a la zona de estudio de Sagunto.



Figura 21. Tipos de ortofotos e imágenes de satélite



Figura 22. Ortofotos de la zona de Sagunto

5.- METODOLOGÍA

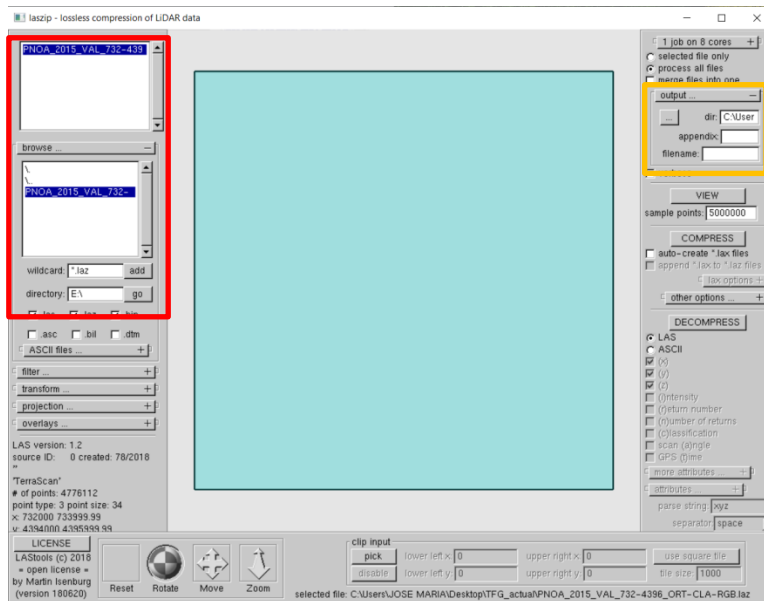
Para el tratamiento y el análisis de los datos se van a utilizar los cinco softwares que se han expuesto en el apartado 3 y se explicará, de una forma clara, el proceso llevado a cabo para obtener el resultado final, así como, imágenes que ilustren los resultados intermedios que se van obteniendo.



Figura 23. Diagrama de flujo

5.1.- LASZIP

Con este programa, se pretende descomprimir los datos LIDAR en formato LAZ descargados del CNIG al formato LAS, para que sea más fácil el uso de la nube de puntos en el programa FUSION.



La imagen de la izquierda, muestra el espacio de trabajo de LASzip, donde se han cargado los datos.

El recuadro rojo indica de donde se han cogido y cargado los datos.

El recuadro naranja indica el lugar donde se va a dejar el archivo descomprimido.

Figura 24. Espacio de trabajo de LASZIP

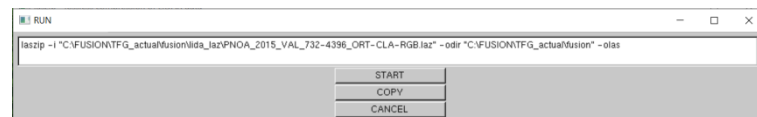


Figura 25. Algoritmo de trabajo de LASZIP para la hoja 732-4396 LIDAR

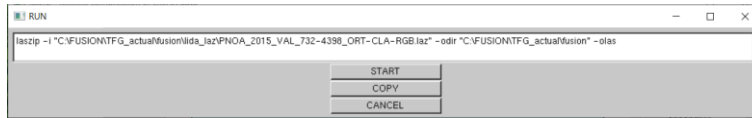


Figura 26. Algoritmo de trabajo de LASZIP para la hoja 732-4398 LIDAR

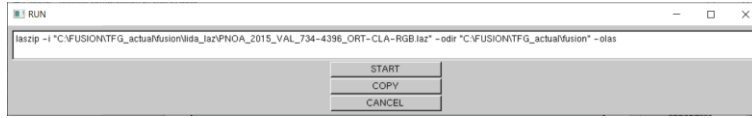


Figura 27. Algoritmo de trabajo de LASZIP para la hoja 734-4396 LIDAR

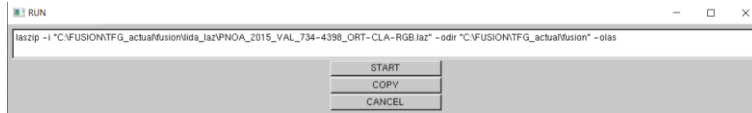


Figura 28. Algoritmo de trabajo de LASZIP para la hoja 734-4398 LIDAR

Las figuras 25, 26, 27 y 28 muestran el algoritmo que se ha ejecutado, en este caso laszip, el directorio de los datos de entrada y el directorio donde se ha guardado el archivo de salida.

5.2.- FUSION

En FUSION, se va a realizar el procesamiento y el análisis de los datos LIDAR para obtener, a partir de la nube de puntos 3D, un modelo digital de elevaciones (MDE) para poder trabajar con él con el programa QGIS. Para ello, se van a utilizar varias de las herramientas de este software, las cuales son: mergedata, clipdata, groundfilter, GridSurfaceCreate y DTM2ASCII que serán explicadas y descritas a continuación.

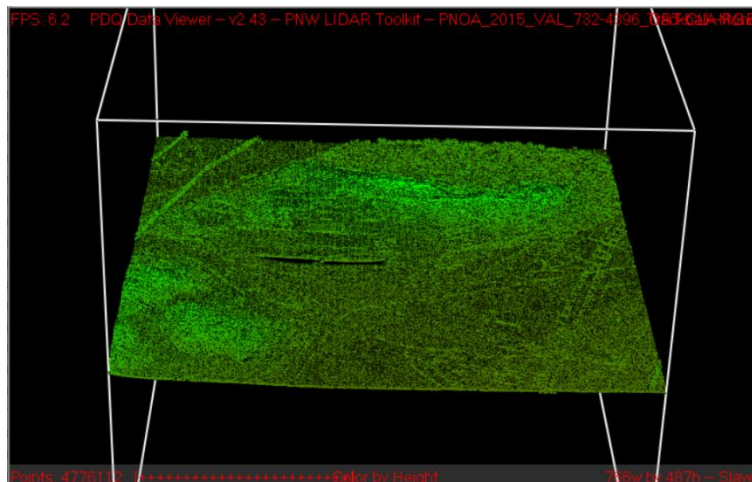


Figura 29. Datos LIDAR de la hoja 732-4396

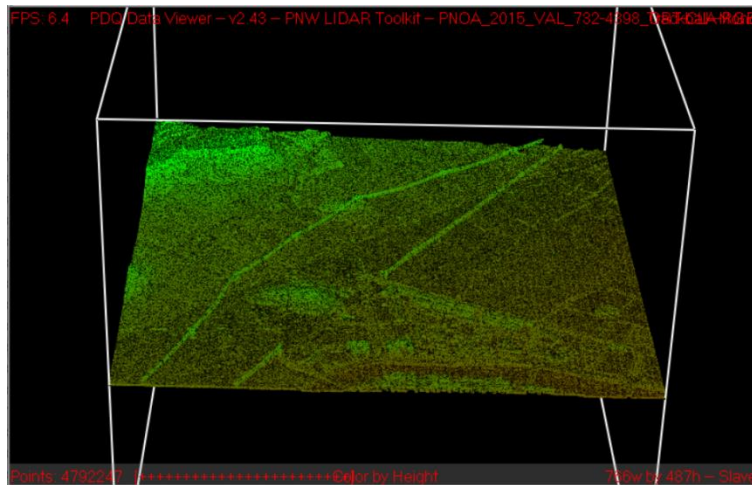


Figura 30. Datos LIDAR de la hoja 732-4398

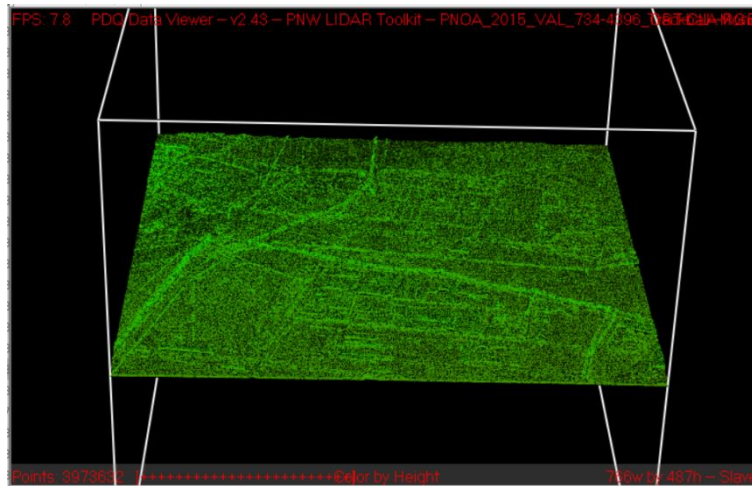


Figura 31. Datos LIDAR de la hoja 734-4396

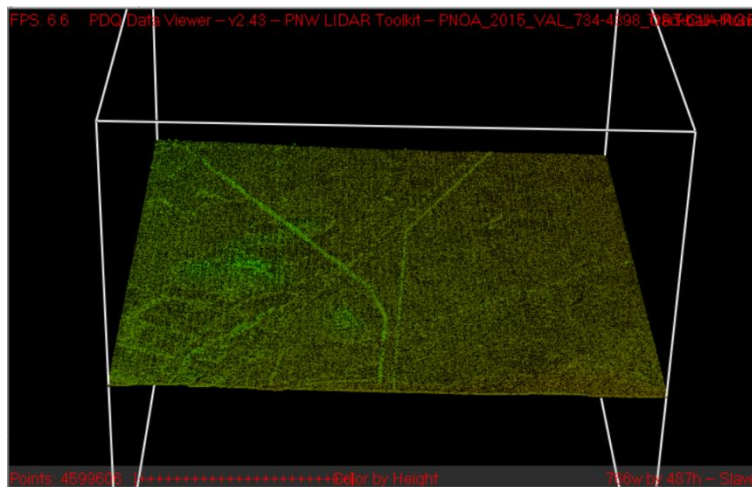


Figura 32. Datos LIDAR de la hoja 734-4398

5.3.1.- Mergedata

Mergedata combina varios archivos de nubes de puntos LIDAR en un solo archivo. La unión de los archivos se realiza por la lectura secuencial de cada archivo de entrada y escribiendo los datos de puntos en el archivo de salida.

La sintaxis de este comando es el siguiente:

```
MergeData [switches] DataFile OutputFile
```

donde:

- DataFile: nombre de un archivo de texto que contiene una lista de los nombres de los archivos LIDAR (con extensión .txt) o plantilla de archivo de datos LIDAR.
- OutputFile: nombre del archivo para los datos de salida. Es necesario indicar la extensión que tiene el archivo.

Descritas todas las partes de este comando, se muestra la sintaxis que se ha utilizado para obtener la unión de los cuatro archivos LIDAR de la zona de estudio, así como una imagen del resultado.

```
C:\FUSION\mergedata C:\FUSION\TFG_actual\fusion\datos_lidar.txt  
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\datos_lidar_juntos.las
```

Donde el archivo datos.txt contiene el directorio de los archivos LIDAR.

```
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\PNOA_2015_VAL_732-4396_ORT-CLA-RGB.las  
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\PNOA_2015_VAL_732-4398_ORT-CLA-RGB.las  
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\PNOA_2015_VAL_734-4396_ORT-CLA-RGB.las  
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\PNOA_2015_VAL_734-4398_ORT-CLA-RGB.las
```

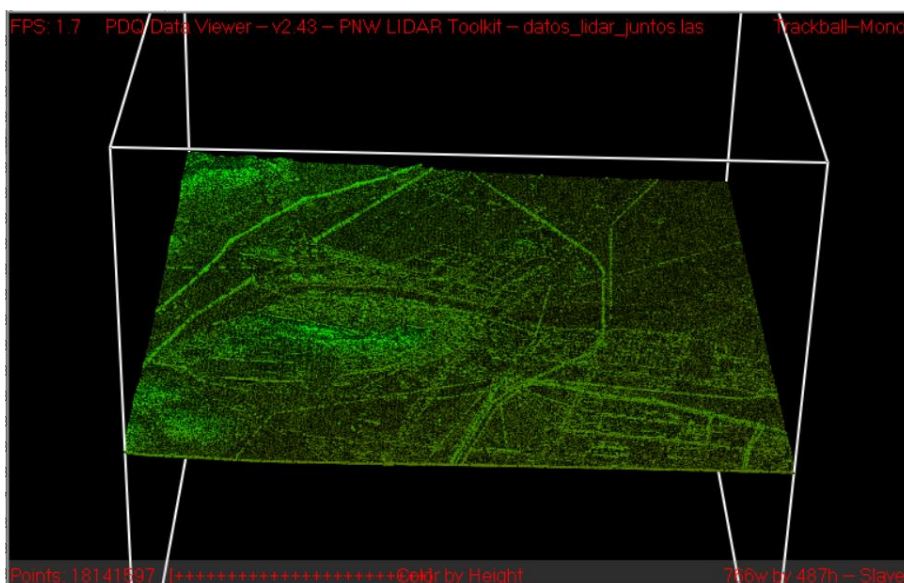


Figura 33. Datos LIDAR unidos

5.3.2.- Clipdata

Clipdata hace un recorte de los datos utilizando la parte inferior izquierda y la esquina superior derecha de la zona que se quiere recortar.

La sintaxis de este comando es la siguiente:

```
ClipData [switches] InputSpecifier SampleFile [MinX MinY MaxX MaxY]
```

donde:

- Input Specifier: indica el archivo de los datos de entrada, que puede tener extensión .las (si contiene datos LIDAR), .txt o un archivo CSV de FUSION.
- SampleFile: indica el nombre del archivo de salida que se va a obtener y es necesario indicar la extensión del archivo.
- [MinX MinY]: indican la esquina inferior izquierda de la zona que se va a recortar.
- [MaxX MaxY]: indican la esquina superior derecha de la zona que se va a recortar

Descritas todas las partes de este comando, se muestra la sintaxis que se ha utilizado para obtener la nube de puntos de la zona de estudio, así como una imagen del resultado.

```
C:\FUSION\clipdata C:\FUSION\TFG_actual\fusion\datos_lidar_juntos.las
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\zona_estudio.las 732232 4394861 734483 4396320
```

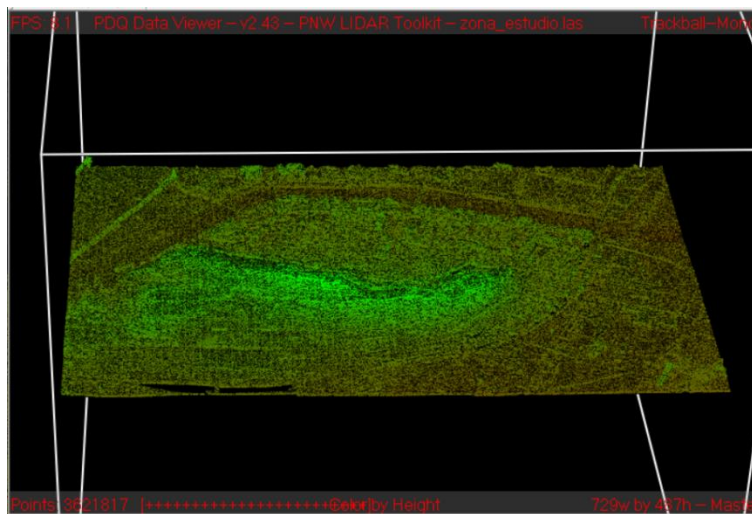


Figura 34. Datos LIDAR zona de estudio

5.3.3.- GroundFilter

GroundFilter filtra una nube de puntos LIDAR para identificar los puntos del terreno, es decir, reconocer aquellos puntos que se encuentran en la superficie del terreno probable. Estos puntos son conocidos como puntos bare-earth.

La sintaxis de este comando es la siguiente:

```
GroundFilter [switches] outputfile cellsize datafile1 datafile2 ....
```

donde:

- Outputfile: nombre del archivo de salida de datos LIDAR que contiene puntos clasificados como resultados bare-earth.
- Cellsize: tamaño de celda usado para modelo de superficies intermedios.
- datafile1: primer archivo de datos LIDAR de entrada, puede tener formato LDA, LAS, ASCII LIDARDAT.
- datafile2: segundo archivo de datos LIDAR de entrada, puede tener formato LDA, LAS, ASCII LIDARDAT.

Descritas todas las partes de este comando, se muestra la sintaxis que se ha utilizado para obtener las nubes de puntos filtradas, así como imágenes de los resultados obtenidos.

```
C:\FUSION\Groundfilter /gparam:0.0 /wparam:0.5 /iterations:8
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\zona_filtrada.las 5
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\zona_estudio.las

C:\FUSION\Groundfilter /gparam:0.0 /wparam:0.3 /iterations:8
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\zona_filtrada_2.las 4
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\zona_filtrada.las

C:\FUSION\Groundfilter /gparam:0.0 /wparam:0.2 /iterations:8
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\zona_filtrada_3.las 3
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\zona_filtrada_2.las

C:\FUSION\Groundfilter /gparam:0.0 /wparam:0.1 /iterations:8
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\zona_filtrada_final.las 1
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\zona_filtrada_3.las
```

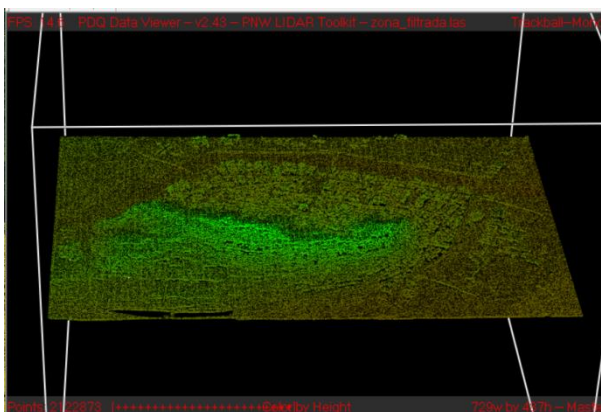


Figura 36. Zona estudio filtrada una vez

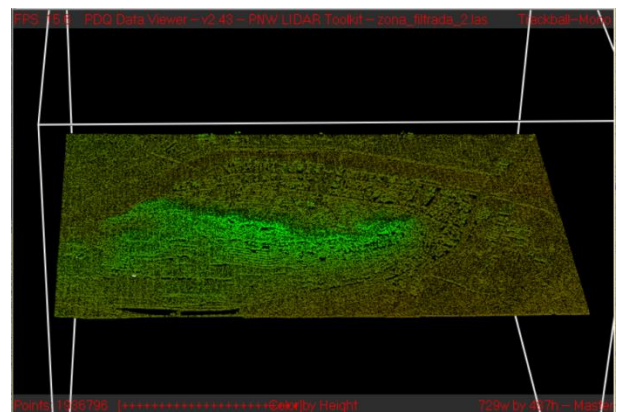


Figura 35. Zona estudio filtrada dos veces

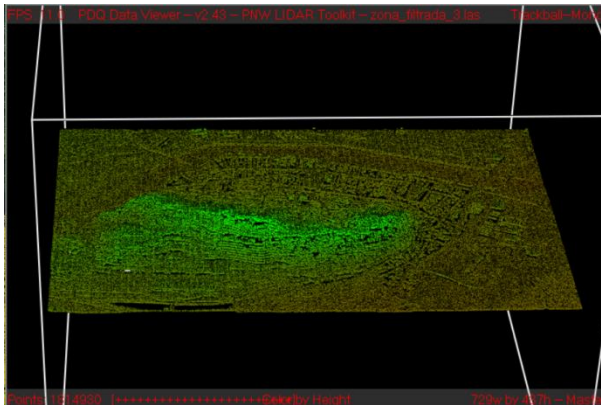


Figura 37. Zona estudio filtrada tres veces

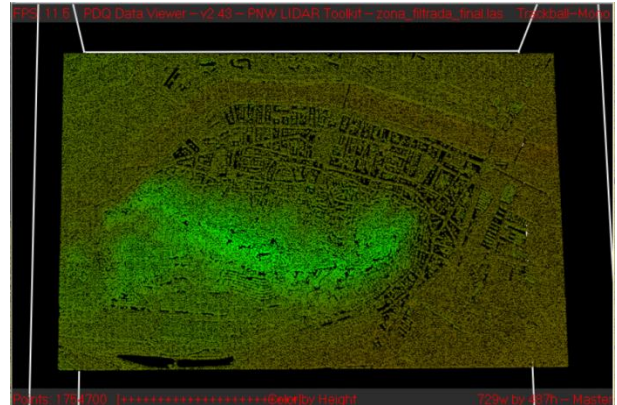


Figura 38. Zona de estudio filtrada final

5.3.4.- GridSurfaceCreate

GridSurfaceCreate crea una cuadrícula del modelo de superficie a partir de datos de puntos y representa la elevación media de todos los puntos dentro de una celda, por lo que la superficie final que produce se extiende dentro del conjunto de puntos bare-earth.

La sintaxis de este comando es la siguiente:

```
GriSurfaceCreate [switches] surfacefile cellsize xyunits zunits coordsys zone horizdatum
vertdatum datafile1 datafile 2...
```

donde:

- surfacefile: nombre para el fichero de superficie de salida guardado en formato PLANS DTM con extensión .dtm.
- cellsize: tamaño de celda de la cuadrícula para la superficie.
- xyunits: unidades para los datos X e Y LIDAR, que pueden ser:
 - m: para metros.
 - f: para pies.
- zunits: unidades para datos de elevación LIDAR, que pueden ser:
 - m: para metros.
 - f: para pies.
- coordsys: sistema de coordenadas utilizado para la superficie.
 - 0: para desconocido.
 - 1: para coordenadas UTM.
 - 2: para plano de estado.
- zone: huso de la zona del sistema coordenado utilizado, cuyo valor es 0 si es desconocido.
- horizdatum: dato horizontal para la superficie, que puede tener valor 0, 1 o 2.
 - 0: para desconocido.
 - 1: para NAD27.

- 2: para NAD83.
- verdatum: dato vertical para la superficie, que puede tener valor de 0, 1, 2 o 3.
 - 0: para desconocido.
 - 1: para NGVD29.
 - 2: para NADV88.
 - 3: para GRS80.
- datafile1: primer archivo de datos LIDAR de entrada, puede tener formato LDA, LAS, ASCII LIDARDAT.
- datafile2: segundo archivo de datos LIDAR de entrada, puede tener formato LDA, LAS, ASCII LIDARDAT.

Descritas todas las partes de este comando, se muestra la sintaxis que se ha utilizado para obtener el modelo digital del terreno (MDT) de la zona de estudio, así como una imagen del resultado.

```
C:\FUSION\GridSurfaceCreate C:\FUSION\TFG_actual\fusion\modelo_terreno.dtm 2 m m 1 30 0
0 C:\FUSION\TFG_actual\fusion\zona_filtrada_final.las
```

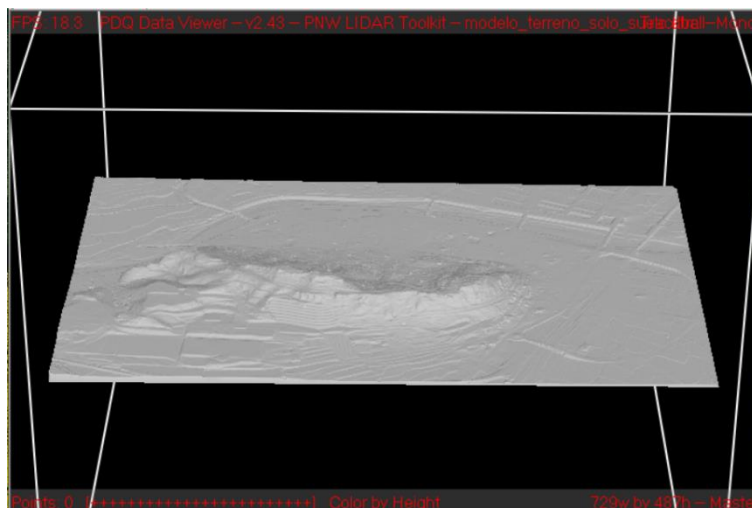


Figura 39. Modelo digital del terreno (MDT)

5.3.5.- DTM2ASCII

DTM2ASCII convierte los datos almacenados en el formato PLANS DTM a archivos ráster ASCII.

La sintaxis de este comando es la siguiente:

```
DTM2ASCII [switches] inputfile [outputfile]
```

donde:

- Inputfile: nombre del archivo con formato PLANS DTM para convertir a formato ráster ASCII.

- Outputfile: nombre del archivo de salida convertido.
- Switches: es un conjunto de comandos que tiene esta herramienta para ayudar en la conversión de los datos. Para este caso se ha utilizado el switch Raster.
 - Raster: interpreta los puntos DTM como el atributo para una celda y ajusta el origen del archivo de cuadrícula ASCII de modo que el punto inferior izquierdo es el centro de la celda inferior izquierda de la cuadrícula.

Descritas todas las partes de este comando, se muestra la sintaxis que se ha utilizado para obtener el modelo digital del terreno (MDT) en formato ascii de la zona de estudio, así como una imagen del resultado.

```
C:\FUSION\DTM2ASCII /raster C:\FUSION\TFG_actual\fusion\modelo_terreno.dtm
C:\FUSION\TFG_actual\fusion\modelo_terreno_ascii.asc
```

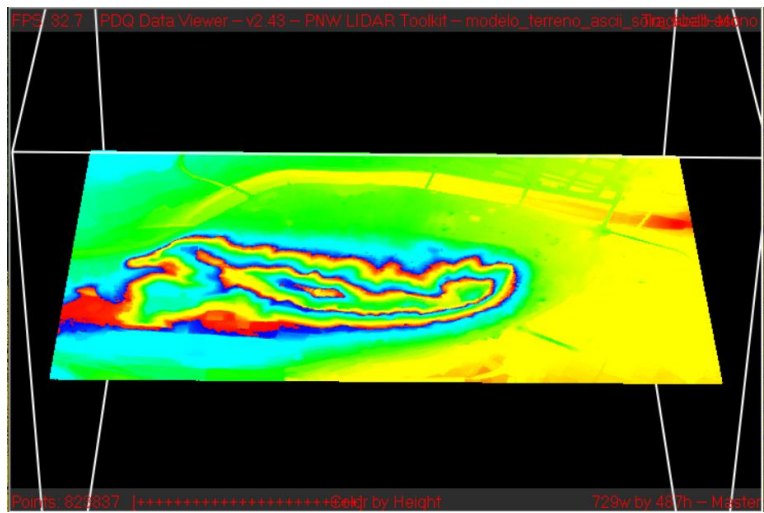


Figura 40. Modelo digital terreno en formato ASCII

5.4.- QGIS

El objetivo al que se quiere llegar en QGIS es obtener, de una forma aproximada, el camino que se empleaba en la antigüedad para desplazarse desde el puente que cruza el río Palancia al foro del castillo. Para ello, se van a realizar un conjunto de operaciones, como el cálculo de un mapa de pendientes y máscaras ráster a partir de dichas pendientes.

La información de partida que se va a utilizar es la capa en formato ascii del modelo digital del terreno (MDT) obtenida en FUSION.

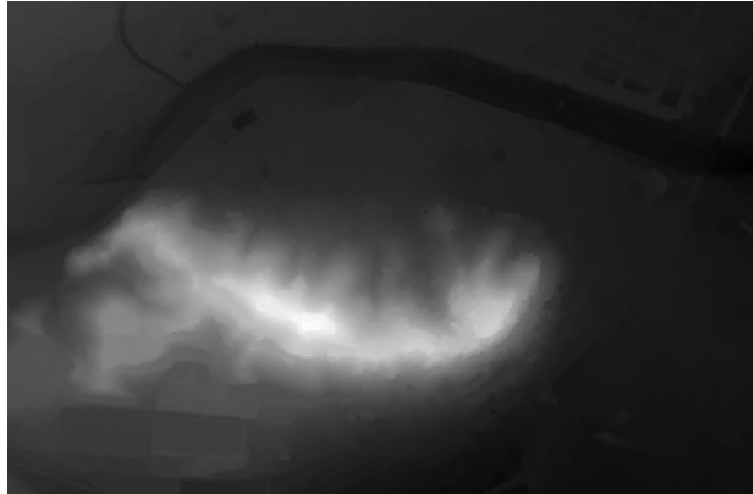
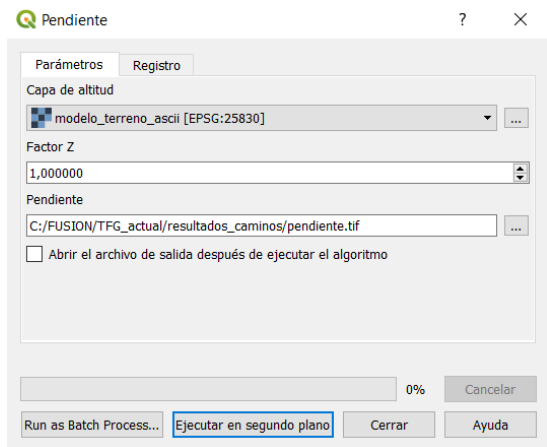


Figura 41. Modelo digital del terreno en QGIS

A la hora de cargar la capa, es necesario indicar que el sistema de referencia de las coordenadas (SRC) es el ETRS89/UTM Zone 30N cuyo EPSG es 25830.

5.4.1.- Mapa de pendientes



El mapa de pendientes se obtiene utilizando la herramienta pendiente (slope), que se encuentra en la caja de herramientas de QGIS.

Para un buen funcionamiento de esta herramienta es necesario indicar la capa de entrada, en este caso, el modelo digital del terreno obtenido en FUSION, el factor Z, que por defecto es 1, y se deja así, y el directorio donde se quiere guardar la capa de salida con las pendientes calculadas.

Figura 42. Parámetros de la herramienta pendiente

están en grados (degrees).

Las pendientes resultantes de esta operación

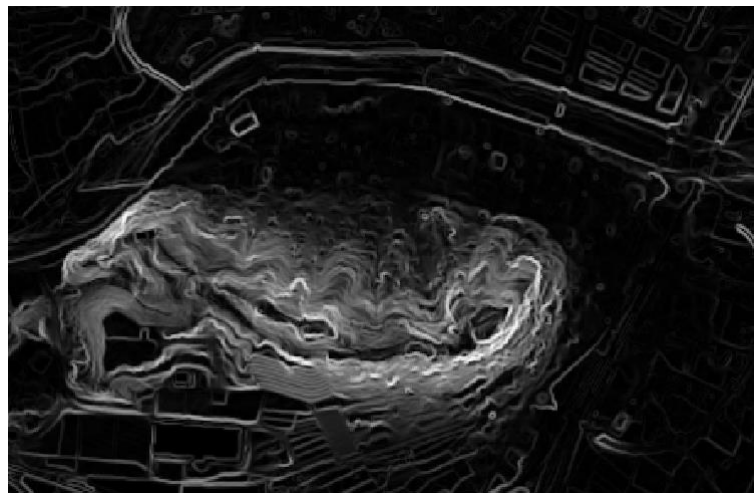


Figura 43. Mapa de pendiente en QGIS

Otra forma de poder calcular el mapa de pendientes a partir del modelo digital del terreno es empleando la herramienta pendiente de la librería GDAL. En este comando, se puede elegir las unidades en la que se obtendrán las pendientes (grados o porcentaje) y se puede encontrar dentro del menú Raster de QGIS.

- Raster → Analisis → Pendiente

5.4.2.- Ruta de menor coste

Para obtener la ruta de menor coste entre dos puntos se debe utilizar la herramienta “Least Cost Path”, que se encuentra en la caja de herramientas de QGIS. A continuación, se indica como encontrar dicha herramienta.

- Cost distance analysis → Least Cost Path

El comando “Least Cost Path” necesita una serie de datos de entrada para calcular la ruta de menor coste, estos datos son:

- Capa ráster de costo: es una capa numérica que indica el coste necesario de cada unidad (píxel) espacial. En este caso, se utiliza el mapa de pendientes que se ha obtenido en el apartado anterior.
- Capa de punto de inicio: es una capa vectorial que contiene el punto de partida de la ruta a calcular.
- Capa de punto final: es una capa vectorial que contiene el punto o puntos de destino de la ruta.

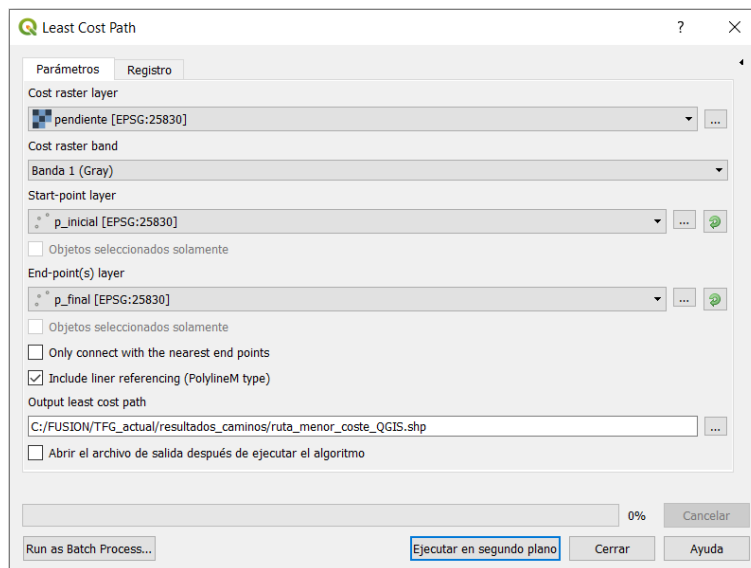


Figura 44. Parámetros de la herramienta Least Cost Path

El resultado de esta operación va a ser mostrado sobre el mapa de pendientes.

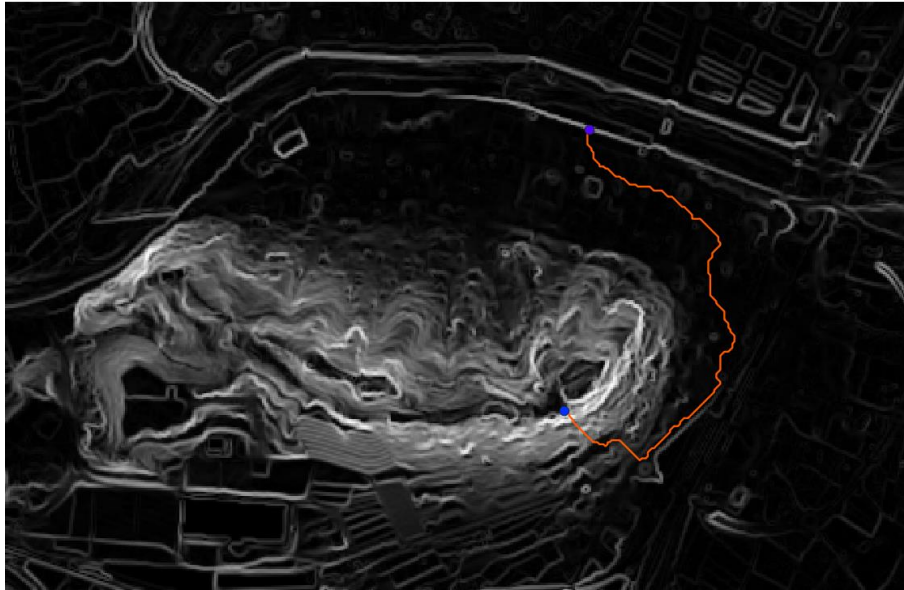


Figura 45. Ruta de menor coste

Si no estuviera cargada la herramienta, se puede instalar el complemento desde el administrador de complementos de QGIS, que se encuentra dentro del menú complementos.

- Complementos → Administrar e instalar complementos

Una vez en el administrador, en la barra de búsqueda se puede escribir el complemento que se busca y, cuando ya se ha encontrado, darle a la opción instalar complemento y la herramienta ya estará disponible para ser usada en QGIS.

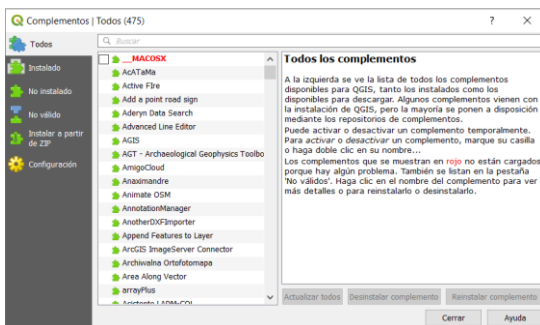


Figura 47. Administrador de complementos de QGIS

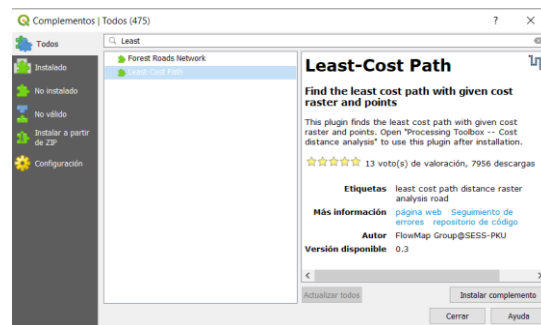


Figura 46. Cómo instalar un complemento en QGIS

5.5.- SAGA

El objetivo al que se quiere llegar en SAGA es el mismo que se tenía con QGIS, es decir, obtener, de una forma aproximada, el camino que se empleaba en la antigüedad para desplazarse desde el puente que cruza el río Palancia y el castillo. Para ello, se van a realizar un conjunto de operaciones, como el cálculo de un mapa de pendientes, la obtención de un mapa de costes acumulados y la ruta de menor coste entre los puntos ya indicados.

La información de partida que se va a utilizar es la capa en formato ascii del modelo digital del terreno (MDT) obtenida en FUSION.

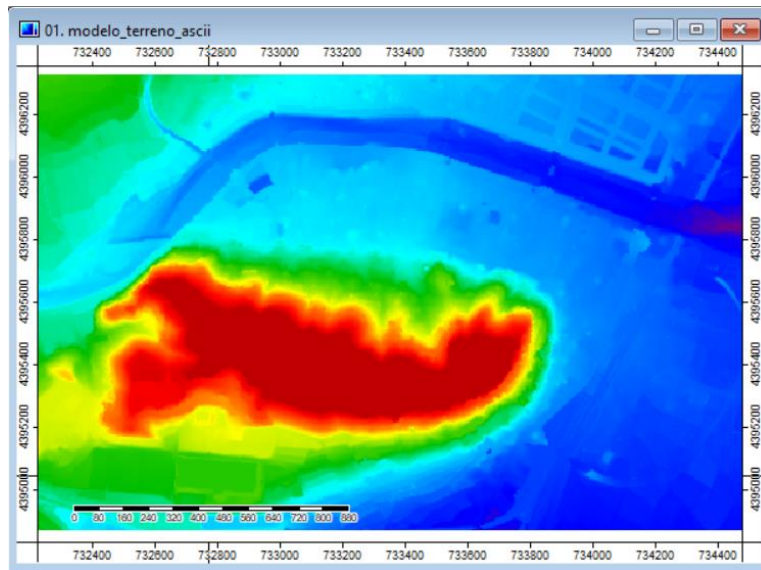


Figura 48. Modelo digital del terreno en SAGA

5.5.1.- Mapa de pendientes

El mapa de pendientes se obtiene empleando la herramienta “Slope ,Aspect, Curvature” que se encuentra en la caja de herramientas de Saga, concretamente, en el grupo de comandos para el análisis del terreno.

- Terrain Analysis → Morphometry → Slope, Aspect, Curvature

En esta herramienta, solo es necesario indicar una capa de entrada que, en este caso, es el modelo digital del terreno obtenido en FUSION.

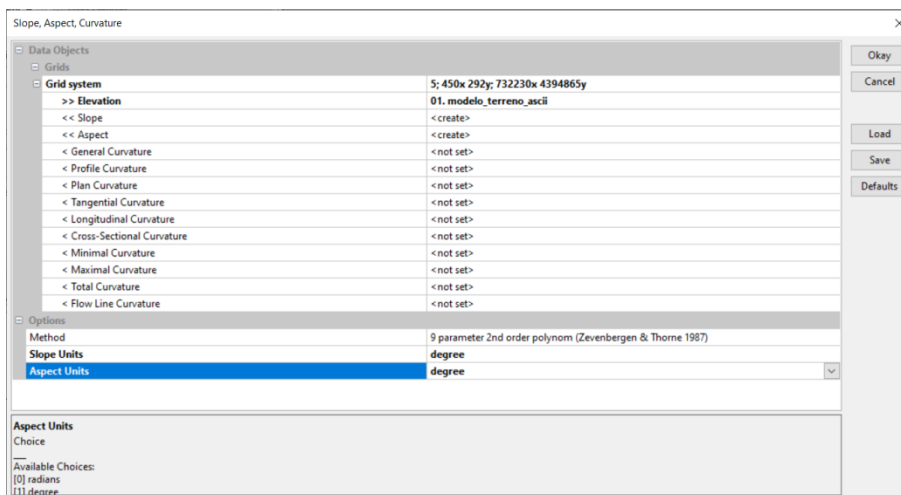


Figura 49. Parámetros de la herramienta Slope, Aspect, Curvature

A continuación, se muestra el resultado de esta operación.

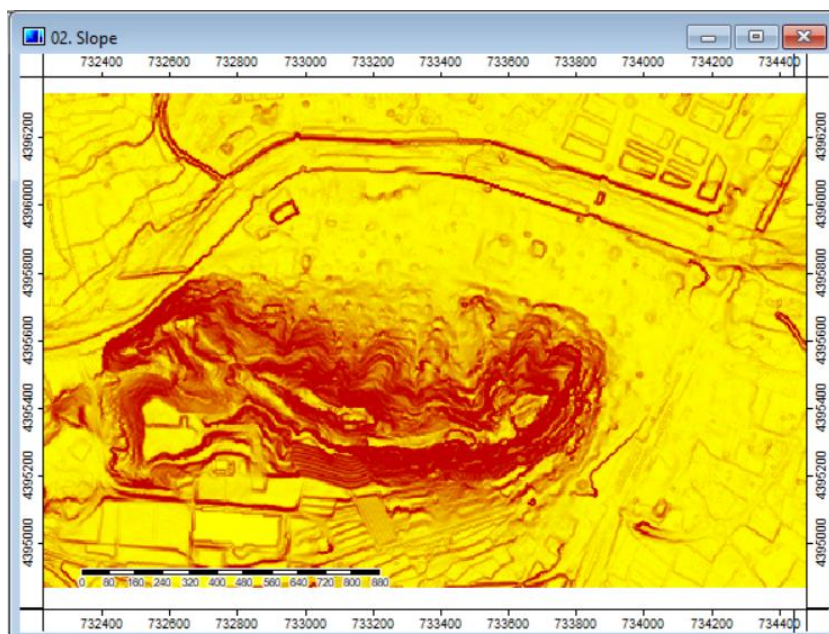


Figura 50. Mapa de pendientes en SAGA

5.5.2.- Mapa de costes acumulados

El mapa de costes acumulados se puede obtener con la herramienta "Accumulated Cost", que se encuentra en la caja de herramientas de SAGA, en concreto, en el grupo de comandos correspondientes al análisis de cuadrículas (grid).

- Grid → Analysis → Accumulated Cost

El módulo "Accumulated Cost" necesita una serie de datos de entrada para calcular, de forma correcta, los costes acumulados de la zona de estudio, estos datos son:

- Local Cost: es una capa numérica que indica el coste necesario de cada unidad (píxel) espacial. En este caso, se utiliza el mapa de pendientes que se ha obtenido en el apartado anterior.
- Direction of Maximum Cost: es una capa que indica la dirección del coste acumulado. En este caso, se utiliza también el mapa de pendientes obtenido en el apartado anterior.
- Destinations: es una capa vectorial que contiene el punto de partida de la ruta de mínimo coste que será calculada posteriormente.

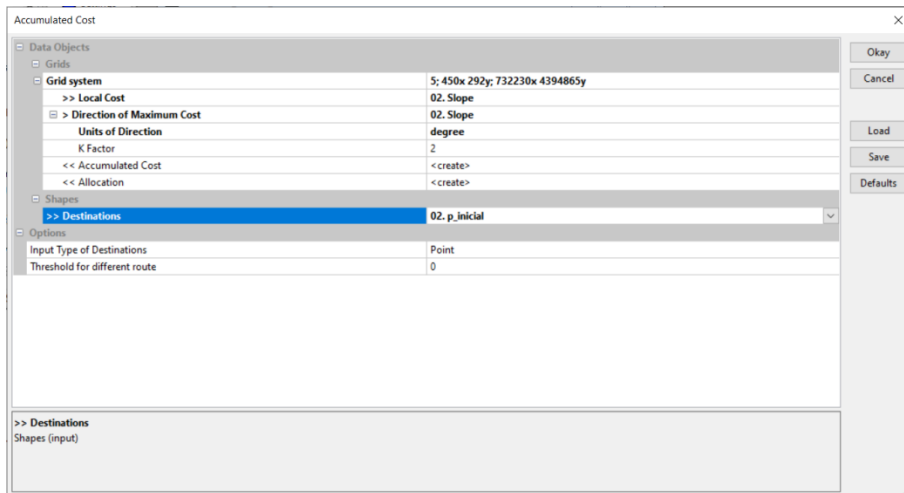


Figura 51. Parámetros de la herramienta Accumulated Cost

A continuación, se muestra una imagen con el mapa de costes acumulados obtenido tras la operación realizada.

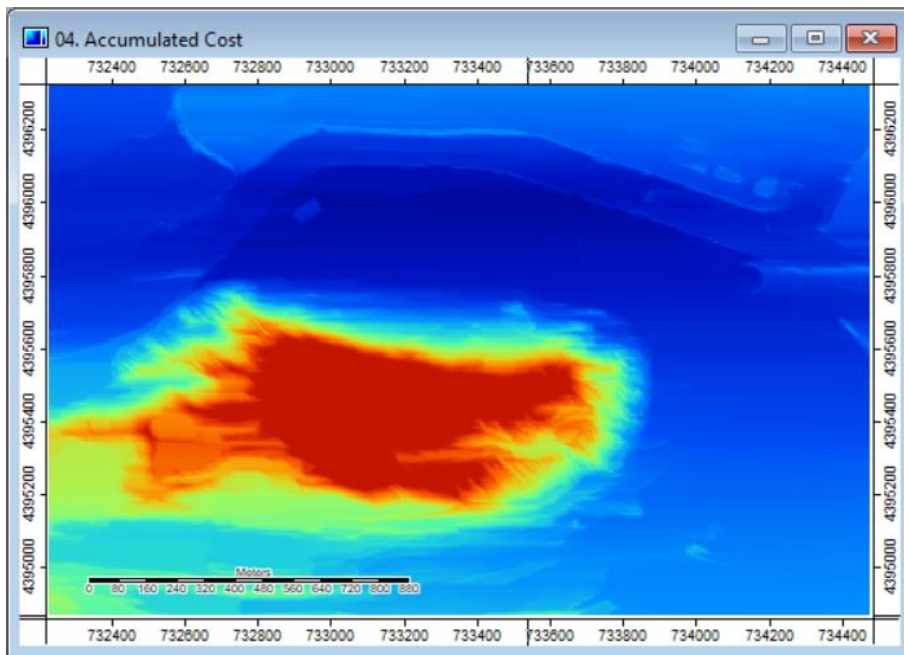


Figura 52. Mapa de coste acumulado en SAGA

5.5.3.- Ruta de menor coste

La ruta de menor coste se puede obtener con la herramienta “Least Cost Paths”, que se encuentra en la caja de herramientas de SAGA, concretamente, en el grupo de comandos correspondientes al análisis de cuadrículas (grid).

- Grid → Analysis → Least Cost Paths

El comando “Least Cost Paths” necesita varios datos de entrada para poder calcular la ruta entre los dos puntos. Estos datos son:

- Accumulated Cost Surface: es una capa ráster que indica el coste acumulado a lo largo de la zona de estudio. En este caso, se utiliza el mapa de costes acumulados obtenido en el punto anterior.
- Source Point(s): es una capa vectorial que contiene el punto o puntos de destino de la ruta.

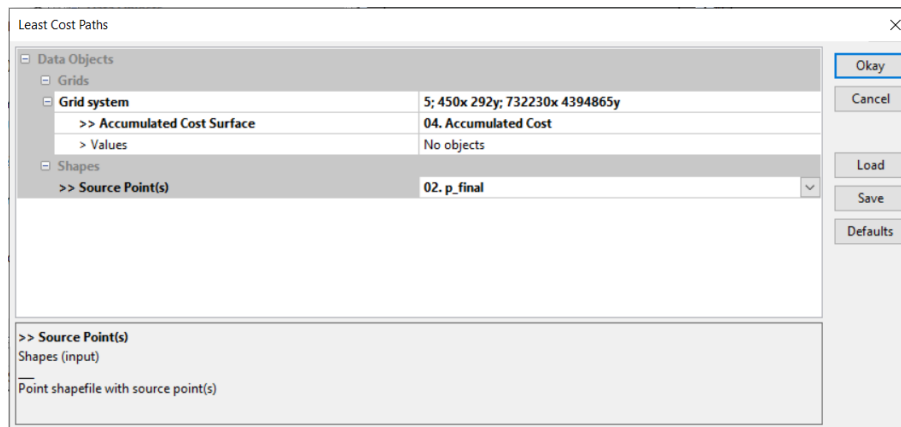


Figura 53. Parámetros de la herramienta Least Cost Paths

Acto seguido, se muestra la ruta de menor coste obtenida sobre el mapa de costes acumulados adquirido anteriormente.

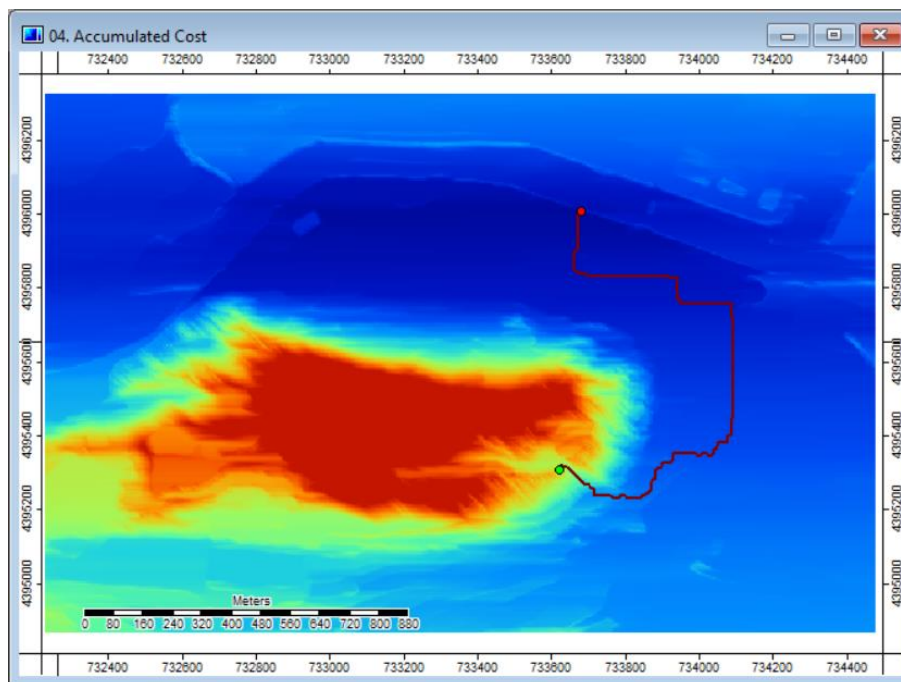


Figura 54. Ruta de menor coste en SAGA

5.6.- SAGA-QGIS

En este apartado, se pretende volver a calcular la ruta de menor coste con las herramientas de SAGA, pero desde el software QGIS, es decir, en QGIS hay implementadas un conjunto de herramientas de SAGA, que son las que serán utilizadas para el análisis de los datos.

Esto se realiza para comparar los resultados obtenidos desde el software SAGA y el software QGIS y poder visualizar si son iguales.

Como se ha dicho en el apartado 5.5 el objetivo es obtener, de una forma aproximada, el camino que se empleaba en la antigüedad para desplazarse desde el puente que cruza el río y el castillo y, para ello, se va a obtener un mapa de pendientes, un mapa de costes acumulados y la ruta de menor coste entre los puntos ya indicados.

5.6.1.- Mapa de pendientes

El mapa de pendientes se obtiene empleando la herramienta “Slope ,Aspect, Curvature” que se encuentra en la caja de herramientas de QGIS, concretamente, en el grupo de comandos para el análisis del terreno de SAGA.

- SAGA → Terrain Analysis – Morphometry → Slope, Aspect, Curvature

En este módulo, solo es necesario indicar una capa de entrada que, en este caso, es el modelo digital del terreno obtenido en FUSION

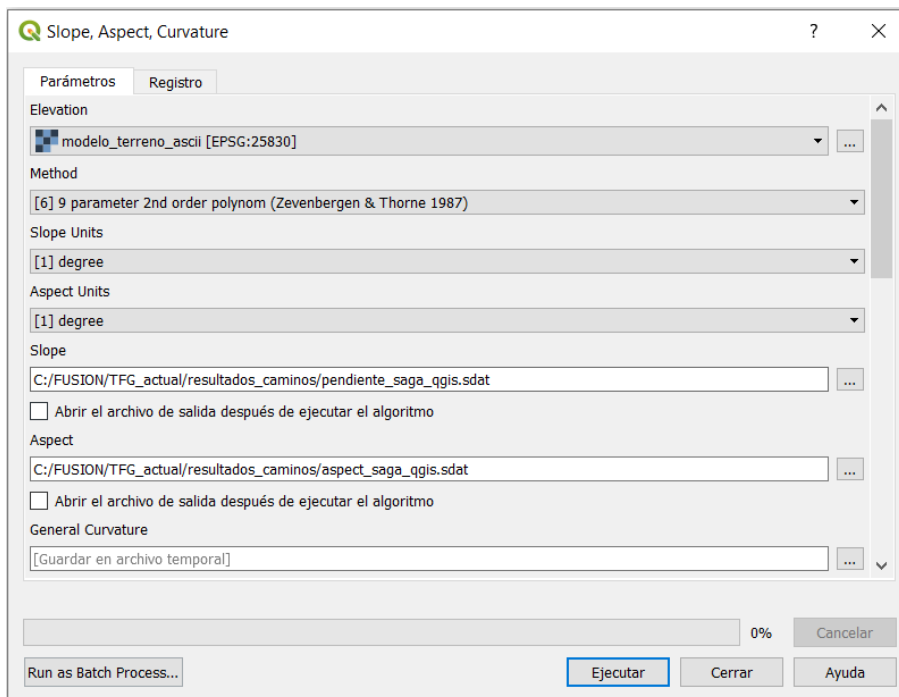


Figura 55. Parámetros de la herramienta pendiente de SAGA en QGIS

A continuación, se muestra una imagen con el resultado obtenido tras el uso de esta herramienta.

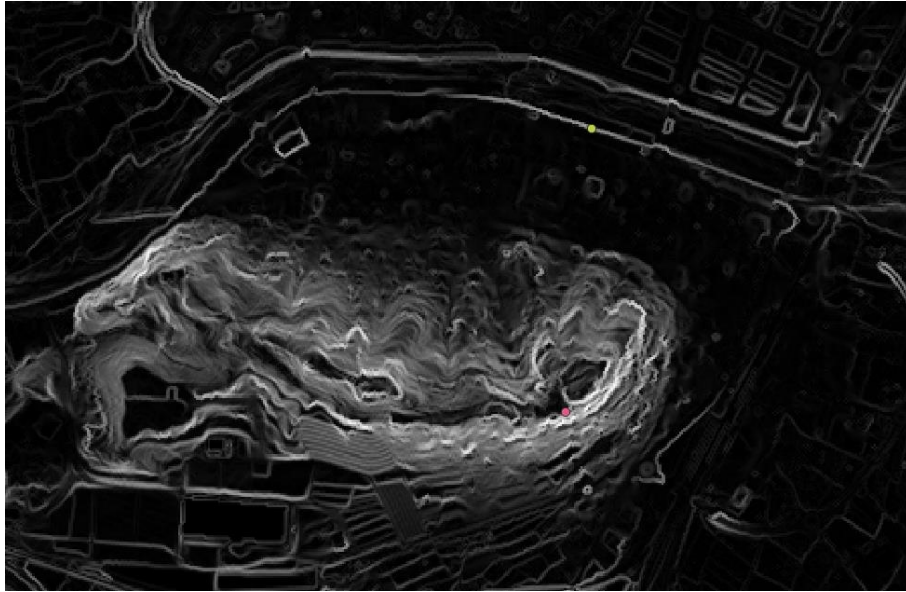


Figura 56. Mapa de pendientes de SAGA en QGIS

5.6.2.- Mapa costes acumulados

El mapa de costes acumulados se puede obtener con la herramienta “Accumulated Cost”, que se encuentra en la caja de herramientas de QGIS, en concreto, en el grupo de comandos correspondientes al análisis ráster de SAGA.

- SAGA → Raster Analysis → Accumulated Cost

El módulo “Accumulated Cost” necesita una serie de datos de entrada para calcular, de forma correcta, los costes acumulados de la zona de estudio, estos datos son:

- Local Cost: es una capa numérica que indica el coste necesario de cada unidad (píxel) espacial. En este caso, se utiliza el mapa de pendientes que se ha obtenido en el apartado 5.6.1.
- Direction of Maximum Cost: es una capa que indica la dirección del coste acumulado. En este caso, se utiliza también el mapa de pendientes obtenido en el apartado 5.6.1.
- Destinations: es una capa vectorial que contiene el punto de partida de la ruta de mínimo coste que será calculada posteriormente.

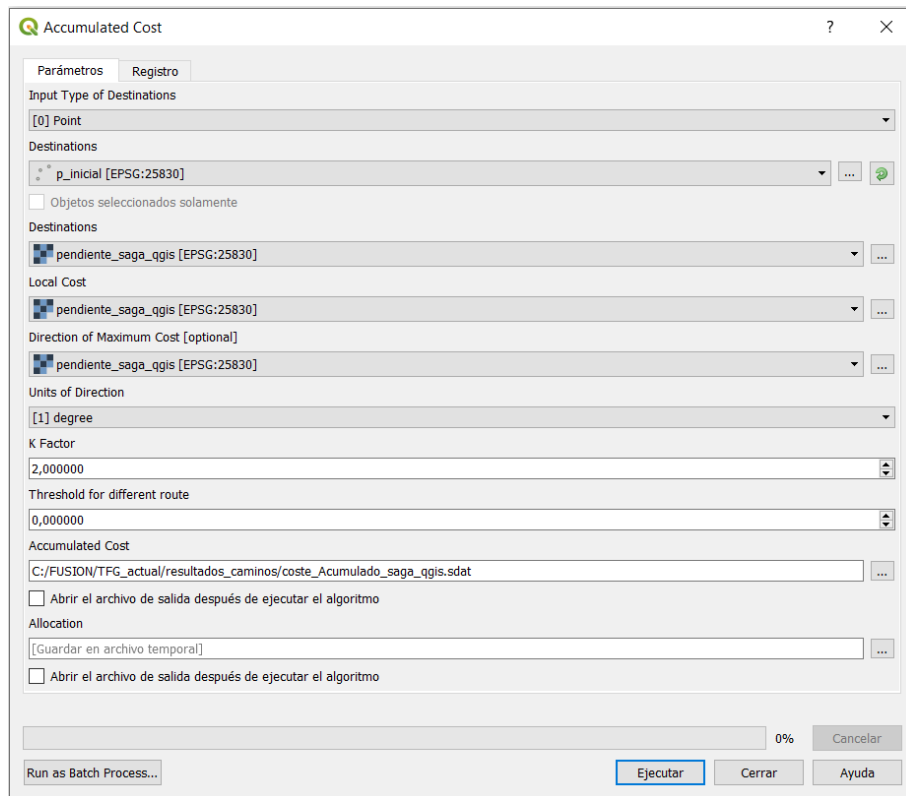


Figura 57. Parámetros de la herramienta Accumulated Cost de SAGA en QGIS

A continuación, se muestra una imagen con el mapa de costes acumulados obtenido tras la operación realizada.

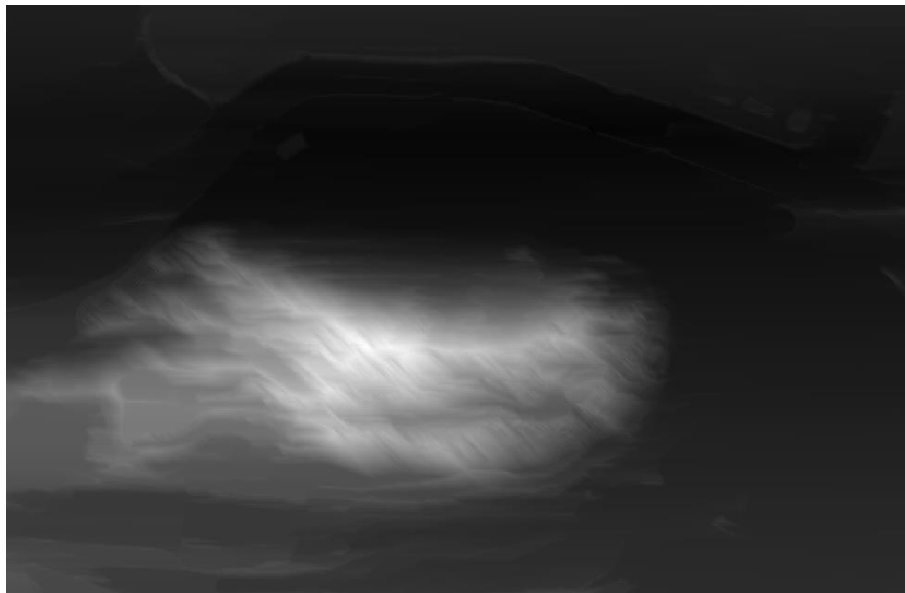


Figura 58. Coste acumulado de SAGA en QGIS

5.6.3.- Ruta de menor coste

La ruta de menor coste se puede obtener con la herramienta “Least Cost Paths”, que se encuentra en la caja de herramientas de QGIS, concretamente, en el grupo de comandos correspondientes al análisis raster de SAGA.

- SAGA → Raster Analysis → Least Cost Paths

El módulo “Least Cost Paths” necesita varios datos de entrada para poder calcular la ruta entre los dos puntos. Estos datos son:

- Accumulated Cost Surface: es una capa ráster que indica el coste acumulado a lo largo de la zona de estudio. En este caso, se utiliza el mapa de costes acumulados obtenido en el punto anterior.
- Source Point(s): es una capa vectorial que contiene el punto o puntos de destino de la ruta.

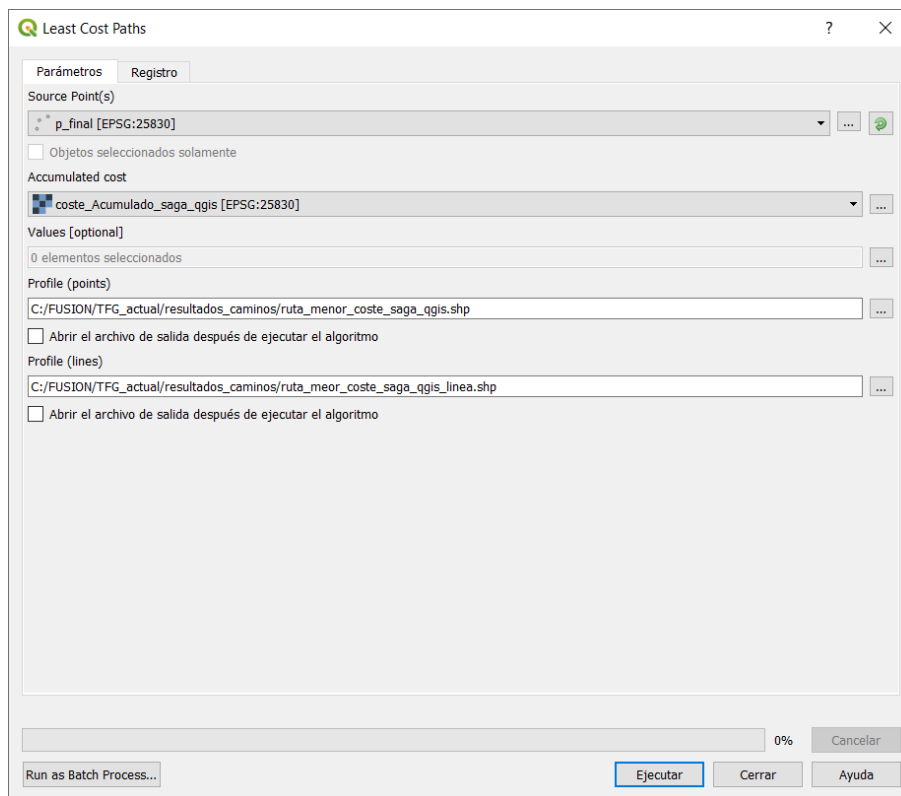


Figura 59. Parámetros de la herramienta Least Cost Paths de SAGA en QGIS

Ahora, se muestra la ruta de menor coste obtenida sobre el mapa de costes acumulados adquirido anteriormente.

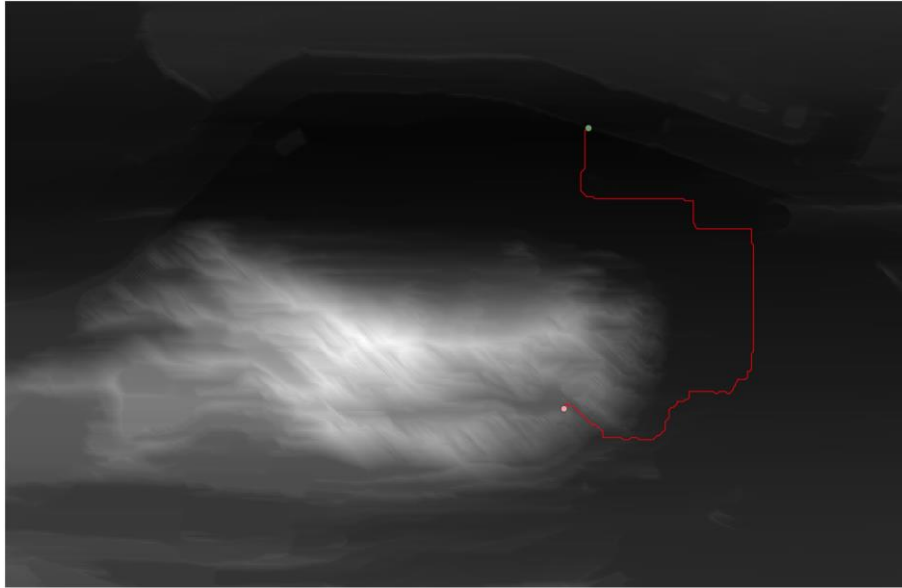


Figura 60. Ruta de menor coste de SAGA en QGIS

5.7.- ARCGIS

El objetivo al que se quiere llegar en ArcGis, concretamente en ArcMap, es el mismo que se tenía con QGIS y SAGA, es decir, obtener, de una forma aproximada, el camino que se empleaba en la antigüedad para desplazarse desde el puente que cruza el río Palancia y el castillo. Para ello, se van a realizar un conjunto de operaciones, como un mapa de pendientes, la reclasificación del mapa de pendientes, un mapa de superposición ponderada, un mapa de distancia de coste, un mapa de menor vínculo de coste y la ruta de menor coste entre los puntos ya indicados.

La información de partida que se va a utilizar es la capa en formato ascii del modelo digital del terreno (MDT) obtenida en FUSION.

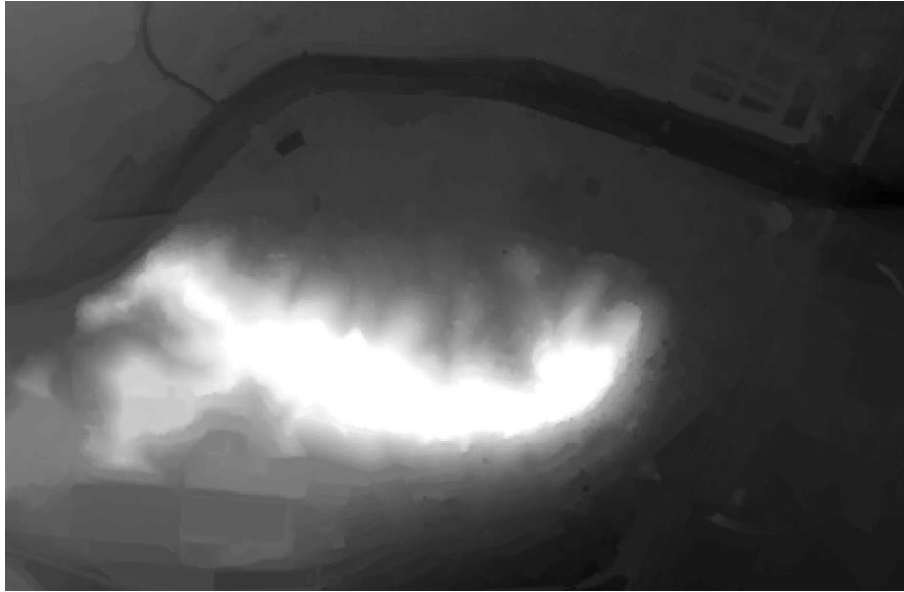


Figura 61. Modelo digital del terreno en ArcMap

5.7.1.- Mapa de pendientes

El mapa de pendientes se puede obtener empleando la herramienta “Slope”, que se encuentra en la caja de herramientas (ArcToolbox), concretamente, en el grupo de comandos para el análisis espacial.

- Spatial Analyst → Surface → Slope

Esta herramienta identifica la pendiente de cada una de las celdas de una superficie ráster y necesita, como dato de entrada, un modelo digital del terreno. En este caso, la capa de entrada que se va a utilizar es el modelo digital del terreno obtenido en FUSION.

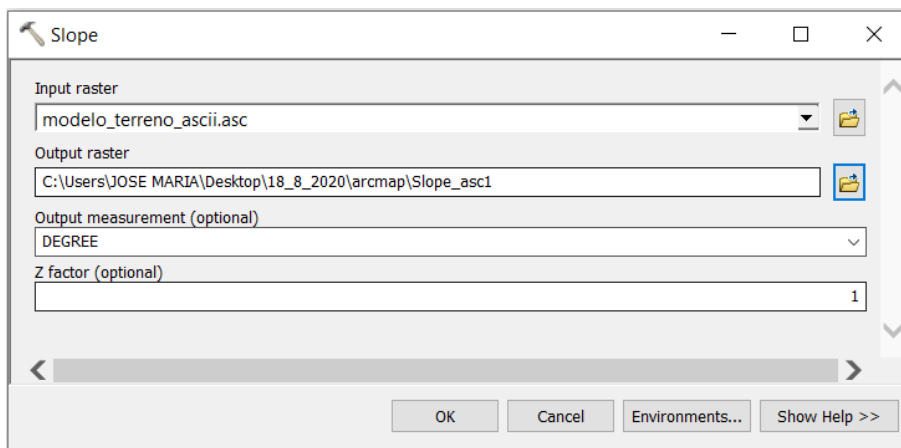


Figura 62. Parámetros de la herramienta Slope en ArcMap

A continuación, se muestra una imagen con el resultado obtenido tras la operación realizada.

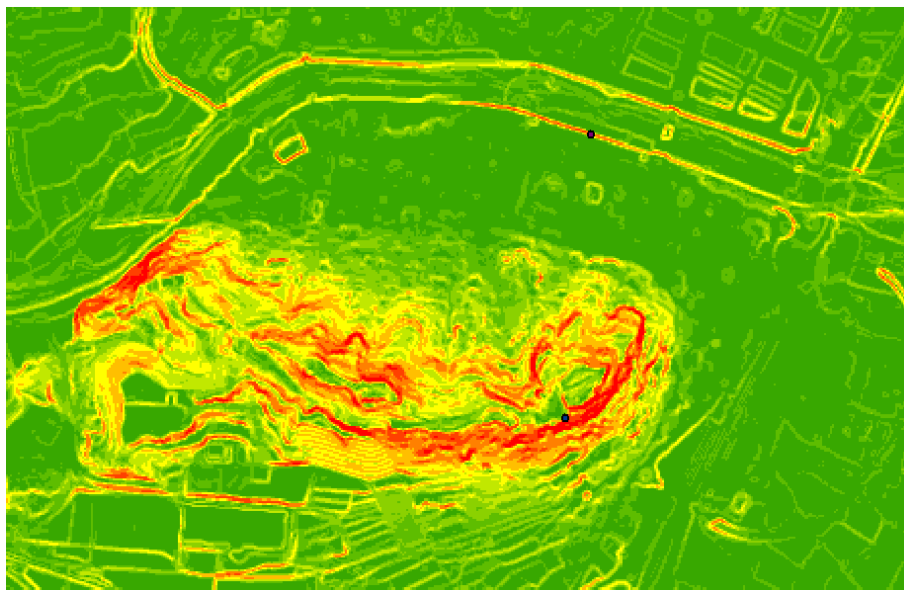


Figura 63. Mapa de pendientes en ArcMap

5.7.2.- Reclasificación de mapa de pendientes

Para poder reclasificar el mapa de pendientes obtenido anteriormente, es necesario utilizar la herramienta “Reclassify”, que se encuentra en la caja de herramientas (ArcToolbox), en concreto, en el grupo de módulos de herramientas para el análisis espacial.

- Spatial Analys Tools → Reclass → Reclassify

En esta herramienta, se utiliza como parámetro de reclasificación los rangos de valores que contiene el mapa de pendientes y muestra una tabla que define la forma en la que se reclasificarán estos valores.

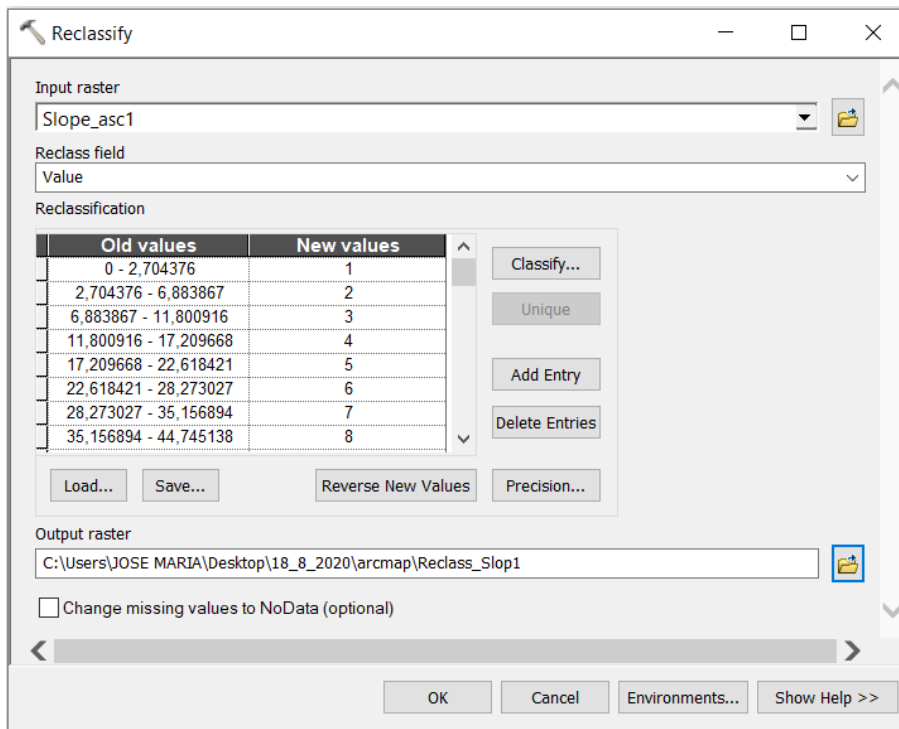


Figura 64. Parámetros de la herramienta Reclassify en ArcMap

El método de reclasificación empleado ha sido “Natural Breaks”, donde se han creado nueve clases teniendo en cuenta los valores que se habían utilizado en el cálculo del mapa de pendientes. De esta manera, no se altera la distribución ni la resolución del mapa, si no, que se modifica la forma de numerar e indicar los distintos rangos o clases de pendientes existentes.

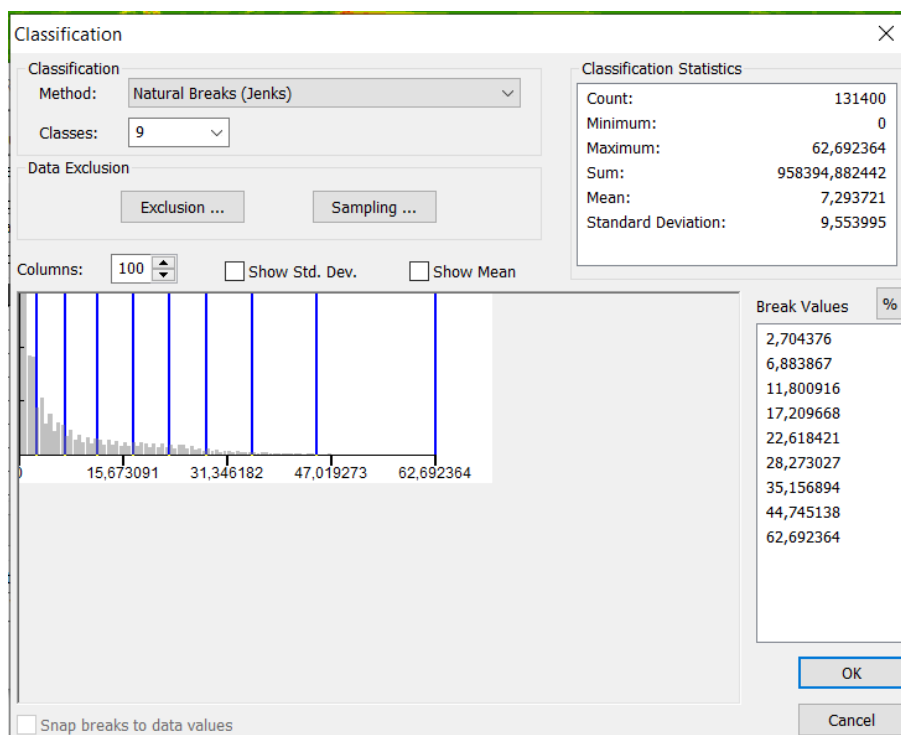


Figura 65. Método de reclasificación empleado

Ahora, se muestra una imagen que permite observar el mapa de pendientes, obtenido en el apartado anterior, reclasificado.

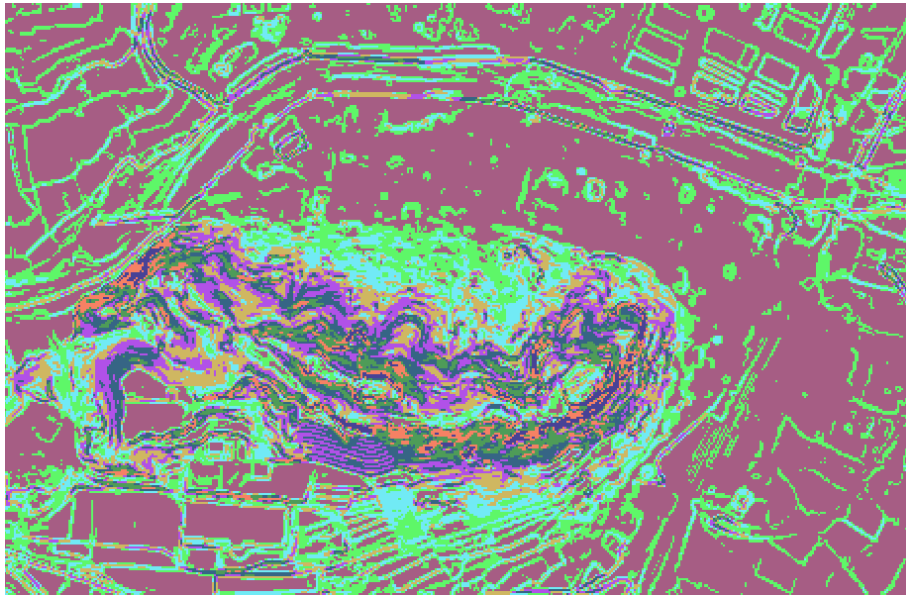


Figura 66. Mapa de pendientes reclasificado

5.7.3.- Rasterizar la capa vectorial de la zona de estudio

Para poder transformar la capa vectorial de la zona de estudio a una capa ráster es necesario utilizar la herramienta "Polygon To Raster", que se encuentra en la caja de herramientas (ArcToolbox), concretamente, en el grupo de comandos de herramientas de conversión.

- Conversion Tools → To Raster → Polygon To Raster

En esta herramienta, solo es necesario indicar la capa de entrada, que en este caso es la capa vectorial de la zona de estudio donde se indican algunas construcciones pertenecientes a la edad antigua, en concreto, del imperio romano.

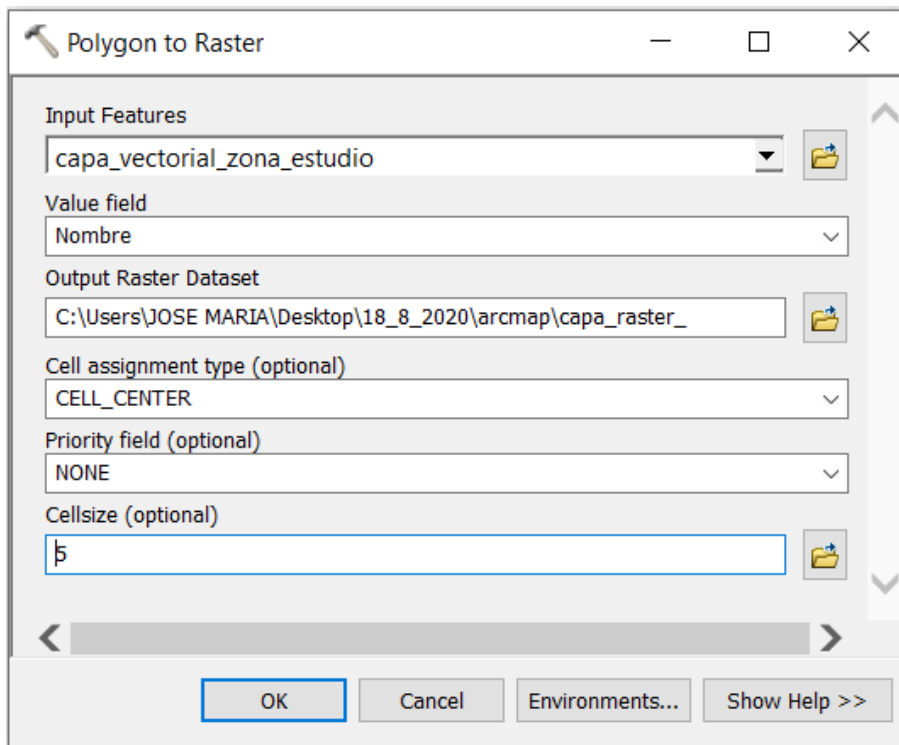


Figura 67. Parámetros de la herramienta Polygon To Raster en ArcMap

A continuación, se muestra una imagen con la capa ya transformada al formato ráster.

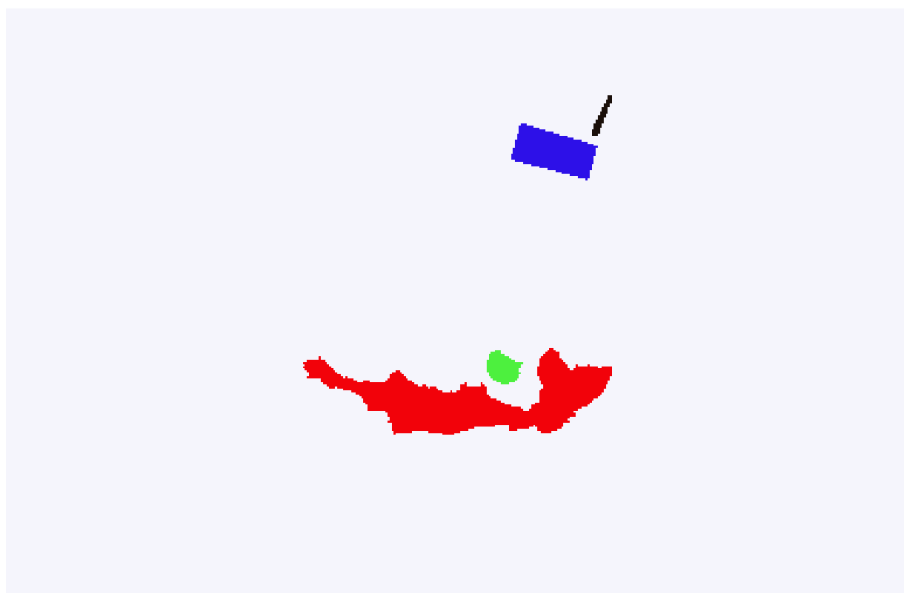


Figura 68. Capa ráster de la zona de estudio

IMPORTANTE: en el apartado “11.1.- CAPA VECTORIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO” se explica como se ha obtenido la capa vectorial (capa_vectorial_zona_estudio) que ha sido utilizada como dato de entrada en este apartado.

5.7.4.- Mapa de superposición ponderada

El mapa de superposición ponderada se puede obtener utilizando la herramienta “Weighted Overlay”, que se encuentra en la caja de herramientas (ArcToolbox), concretamente, en el grupo de módulos de herramientas para el análisis espacial.

- Spatial Analyst Tools → Overlay → Weighted Overlay

La función de esta herramienta es superponer varios rásteres y, para ello, utiliza una escala de medición común y pondera cada uno de los rásteres según la importancia que se le ha dado.

En este caso en concreto, se quiere superponer la capa de pendientes reclasificada, obtenida en el apartado 5.7.2, y la capa ráster de la zona de estudio, obtenida en el apartado 5.7.3. Al cargar estas capas, se selecciona que se muestre la variable “value” de la capa de pendientes reclasificada y la variable “nombre” de la capa ráster de la zona de estudio.

Al ser muy importante la orografía del terreno a la hora de calcular la ruta de menor coste, se le ha dado una influencia del 70% a la capa de pendientes reclasificada y una influencia del 30% a la capa ráster de la zona de estudio.

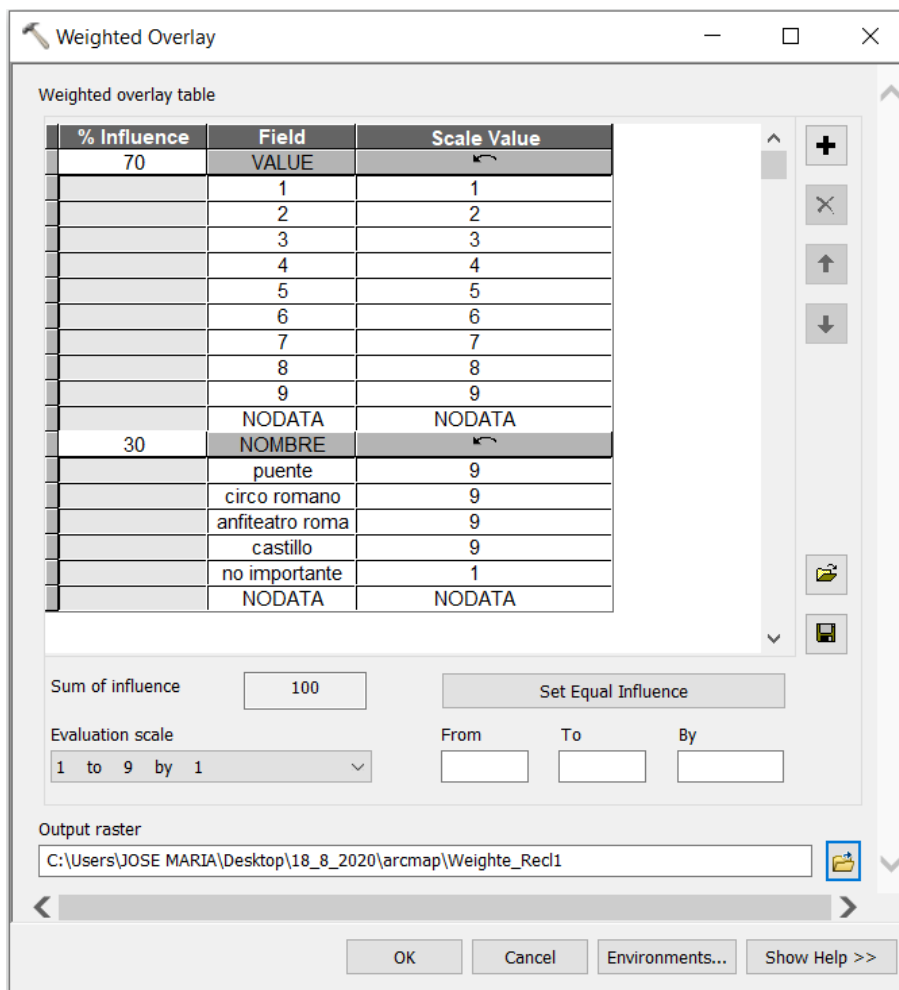


Figura 69. Parámetros de la herramienta Weighted Overlay en ArcMap

Como se puede apreciar en la imagen anterior, a cada una de las construcciones antiguas se les ha aplicado un peso de nueve 9, que es el peso máximo posible, para evitar que a la hora de calcular la ruta de menor coste el camino pase o transcurra a través de ninguna de estas construcciones.

Acto seguido, se muestra una imagen con el mapa de superposición ponderada.

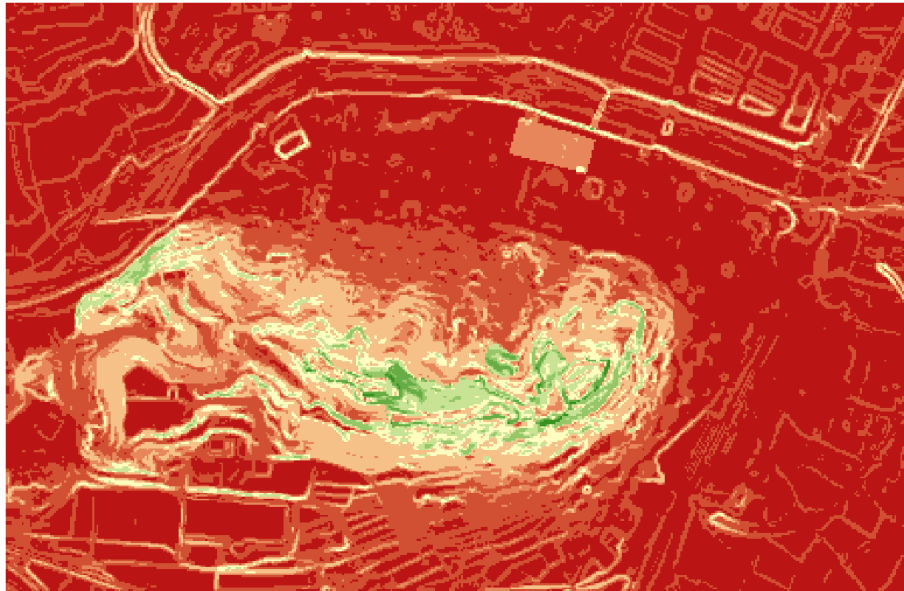


Figura 70. Mapa de superposición ponderada

5.7.5.- Mapa de distancia de coste

El mapa de distancia de coste se puede obtener utilizando la herramienta “Cost Distance”, que se encuentra en la caja de herramientas (ArcToolbox), en concreto, en el grupo de comandos de herramientas para el análisis espacial.

- Spatial Analyst Tools → Distance → Cost Distance

Esta herramienta calcula la distancia de coste acumulativo desde el punto, puntos o entidades de partida más cercanas para cada una de las celdas que componen la zona de estudio. Para ello, necesita varias capas de entrada que indiquen la región a analizar.

- Input ráster or feature source data: es un dataset ráster o de entidades que identifica el lugar (celda o celdas) desde el que se calcula la distancia de coste mínimo acumulado. En este caso, es una capa vectorial en formato .shp que contiene el punto inicial de la ruta que se calculará más adelante.
- Input cos raster: es un ráster que indica el coste para moverse de forma planimétrica a través de cada celda que conforma el ráster de la zona de estudio. En este caso, es la capa ráster que contiene el mapa de superposición ponderada obtenido en el apartado 5.7.4.

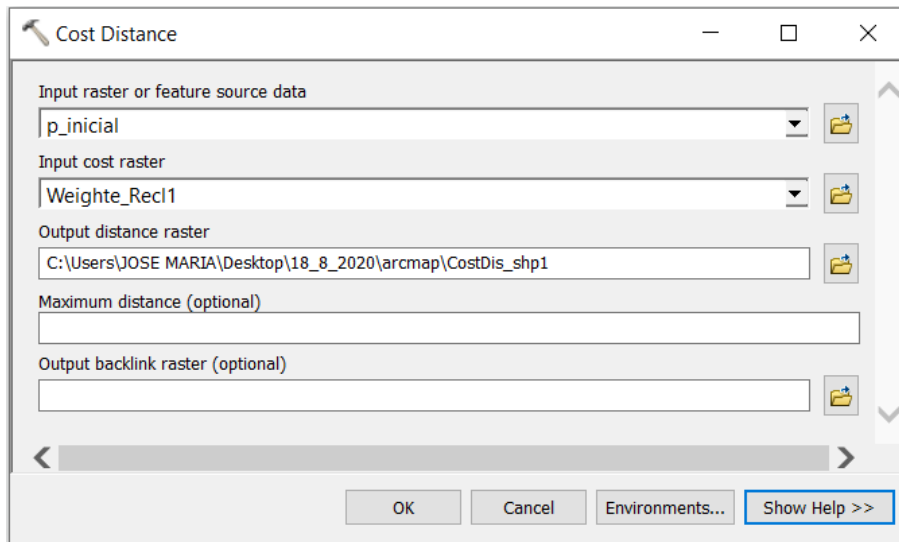


Figura 71. Parámetros de la herramienta Cost Distance en ArcMap

A continuación, se muestra una imagen con el mapa de distancia de coste.

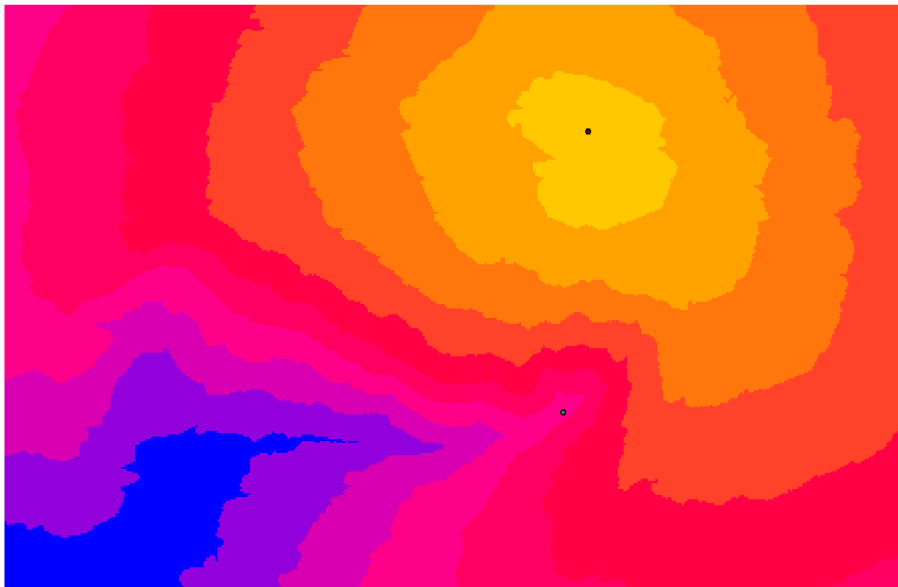


Figura 72. Mapa de distancia de coste

5.7.6.- Mapa de menor vínculo de coste

El mapa de menor vínculo de coste se puede obtener utilizando la herramienta “Cost Back Link”, que se encuentra en la caja de herramientas (ArcToolbox), en concreto, en el grupo de comandos de herramientas para el análisis espacial.

- Spatial Analyst Tools → Distance → Cost Back Link

Este módulo, define e indica la siguiente celda en la ruta de menor coste, es decir va marcando las celdas vecinas por las que transcurrir entre ellas sea lo menos costoso posible. Para ello, necesita varias capas de entrada que indiquen la región a analizar y el punto de inicio.

- Input ráster or feature source data: es un dataset ráster o de entidades que identifica el lugar (celda o celdas) desde el que se calcula la distancia de coste mínimo acumulado. En este caso, es una capa vectorial en formato .shp que contiene el punto inicial de la ruta de menor coste que se calculará más adelante.
- Input cos raster: es un ráster que indica el coste para moverse de forma planimétrica a través de cada celda que conforma el ráster de la zona de estudio. En este caso, es la capa ráster que contiene el mapa de superposición ponderada obtenido en el apartado 5.7.4.

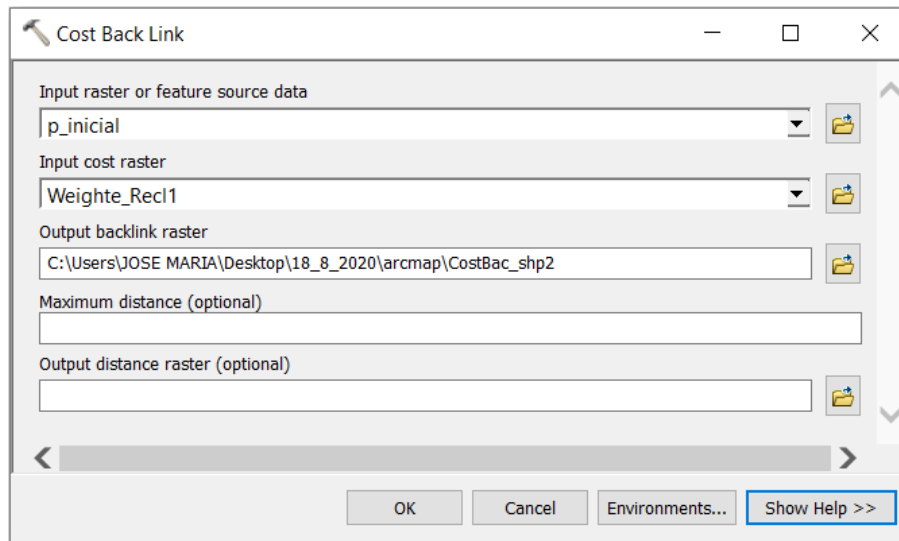


Figura 73. Parámetros de la herramienta Cost Back Link en ArcMap

Como se puede apreciar en la imagen anterior, los datos de entrada utilizados en este comando son los mismos que se han utilizado en el apartado anterior para calcular el mapa de coste de distancia.

Ahora, se va a mostrar una imagen que contiene el mapa de menor vínculo de coste calculado.

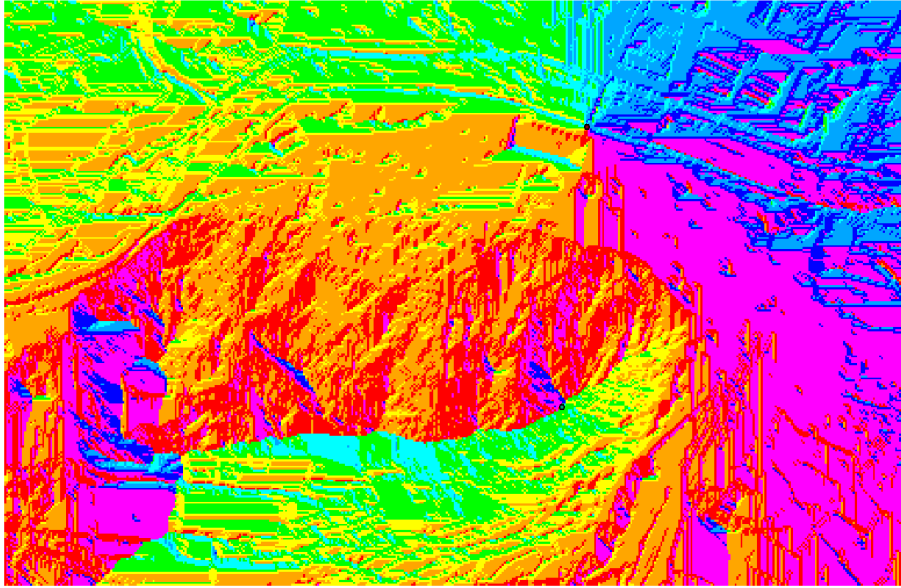


Figura 74. Mapa de menor vínculo de coste

5.7.7.- Ruta de menor coste

La ruta de menor coste se puede obtener utilizando la herramienta “Cost Path”, que se encuentra en la caja de herramientas (ArcToolbox), concretamente, en el grupo de comandos de herramientas para el análisis espacial.

- Spatial Analyst Tools → Distance → Cost Path

Este módulo calcula la ruta de menor coste entre un punto origen y un punto destino. Para ello, necesita varias capas de entrada para que pueda analizar y definir la ruta de forma sencilla.

- Input raster or feature destination data: es un dataset ráster o de identidades que indica la celda o celdas desde las que se determina la ruta de menor costo hasta la celda o celdas menos costosas, es decir, indica el punto o puntos finales de la ruta de menor coste. En este caso, es una capa vectorial en formato .shp que contiene un punto final de la ruta.
- Input cost distance raster: es un ráster de coste de distancia que se emplea para determinar la ruta de menor coste desde el punto final hasta el punto inicial de la ruta. En este caso, es la capa de distancia de coste obtenida en el apartado 5.7.5.
- Input cost backlink raster: es un ráster que determina el camino de menor coste para volver al punto inicial. En este caso, es la capa del vínculo de menor coste calculada en el apartado anterior.

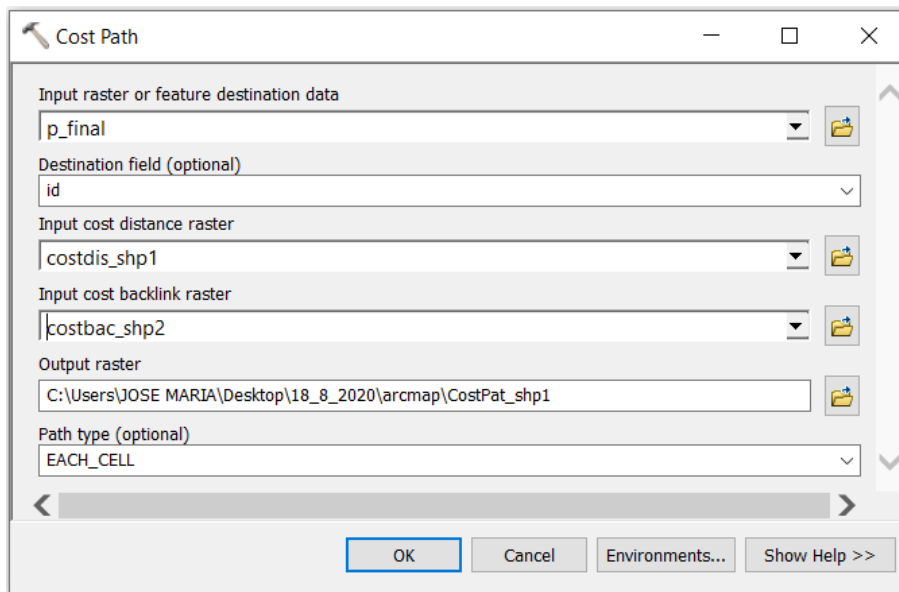


Figura 75. Parámetros de la herramienta Cost Path en ArcMap

A continuación, se muestra una imagen con la ruta de menor coste sobre la capa ráster de la zona de estudio y el mapa de distancia de coste.

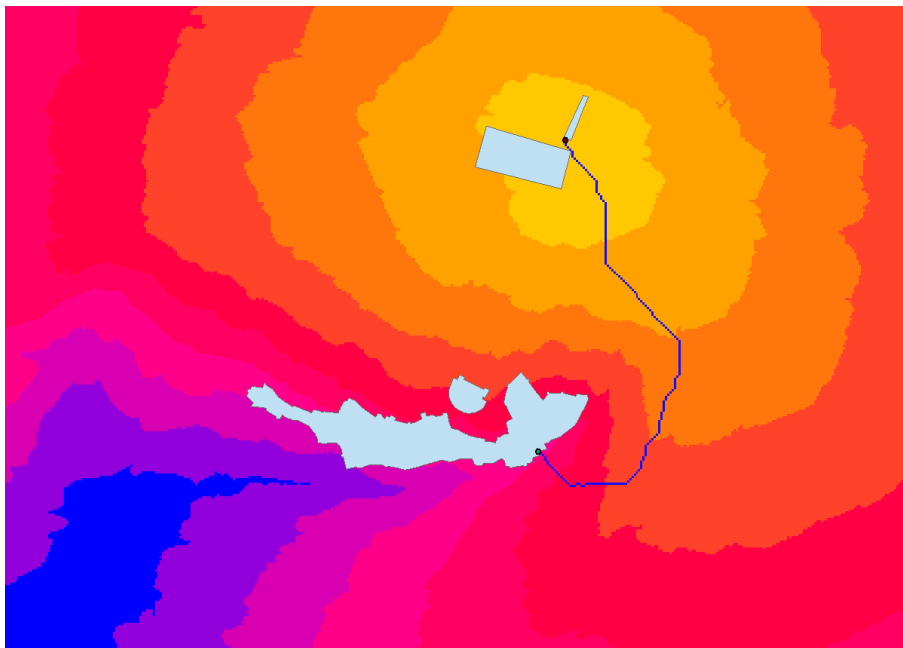


Figura 76. Ruta de menor coste en ArcMap

5.7.8.- Ruta de menor coste como polilínea

La ruta de menor coste se puede transformar a una polilínea utilizando la herramienta “Raster to Polyline”, que se encuentra en la caja de herramientas (ArcToolbox), en concreto, en el grupo de comandos de herramientas de conversión.

- Conversion Tools → From Raster → Rater to Polyline

Este complemento, como indica su nombre, transforma una capa en formato ráster a formato polilínea. Para ello, solo es necesario indicar la capa ráster de entrada que se quiere transformar, en este caso, la ruta de menor coste obtenida en el apartado anterior.

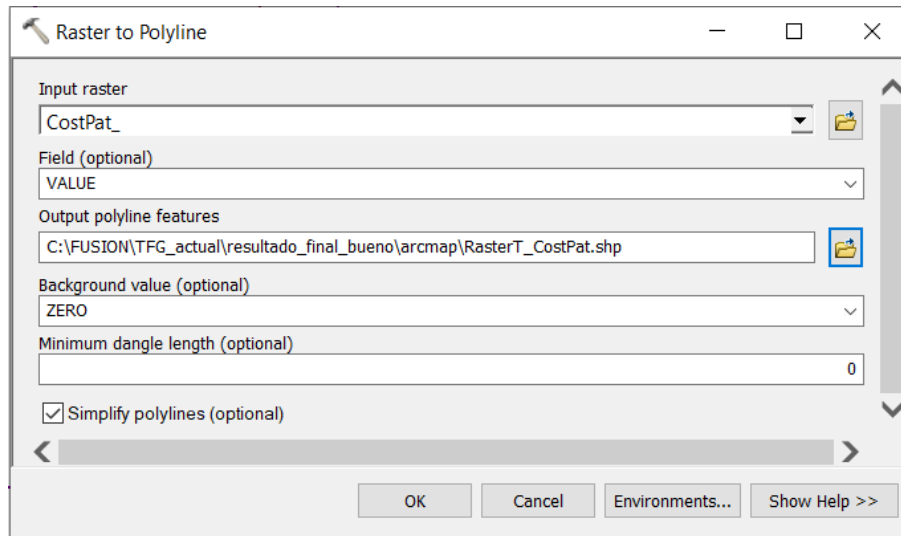


Figura 77. Parámetros de la herramienta Raster to Polyline en ArcMap

Ahora, se muestra una imagen con la ruta de menor coste como polilínea sobre la capa ráster de la zona de estudio y el mapa de distancia de coste.

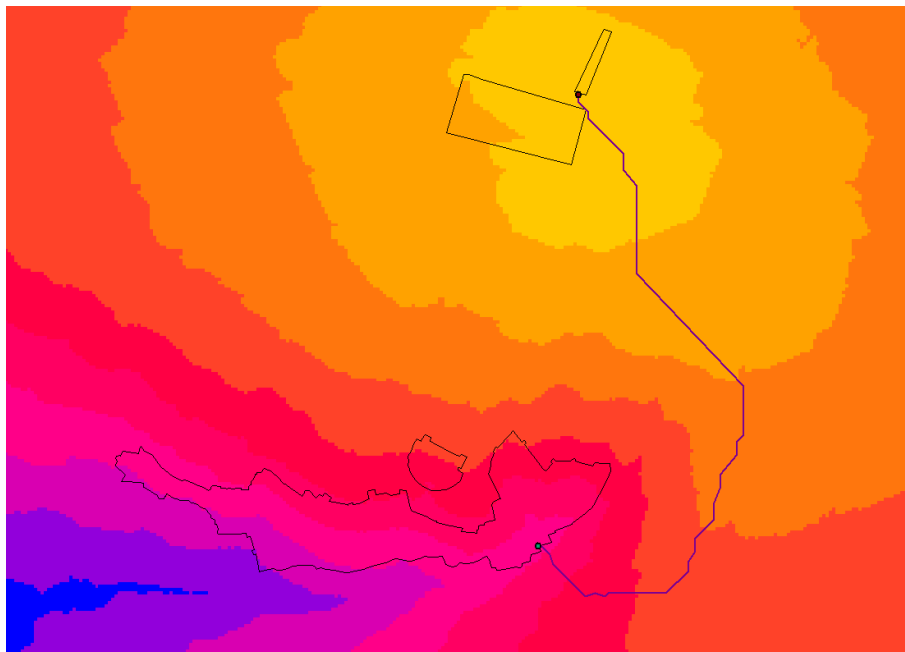


Figura 78. Ruta de menor coste como polilínea en ArcMap

Esta conversión se ha realizado para poder cargar la capa con el camino calculado en QGIS, porque en este software se realizará la cartografía del proyecto.

5.7.9.- ModelBuilder



Figura 79. Logo de MoldeBuilder en ArcMap

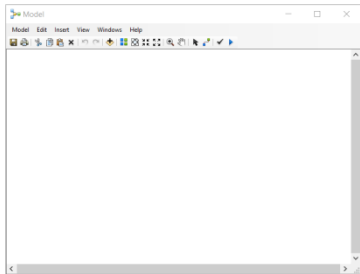


Figura 80. Modelo de trabajo de ModelBuilder en ArcMap

ModelBuilder es una aplicación de ArcMap que se emplea para crear, analizar y editar flujos de trabajo que contiene módulos de procesamiento y geoprocresamiento conectados entre sí. Esta herramienta suele utilizarse para agilizar, de una forma significativa, el tiempo para la realización de los distintos procesos que se quieren llevar a cabo.

En la figura 79, se indica con un recuadro rojo el logo del módulo MolderBuilder en ArcMap.

En este proyecto, se ha utilizado la aplicación ModelBuilder para engrasar todos los procesos que se han llevado a cabo para obtener la ruta de menor coste. Para ello, se han introducido los datos de partida empleados, así como las distintas herramientas y el nombre de las capas que se quieren obtener con cada una de ellas. El resultado de la construcción del diagrama de flujo se muestra en la siguiente imagen.

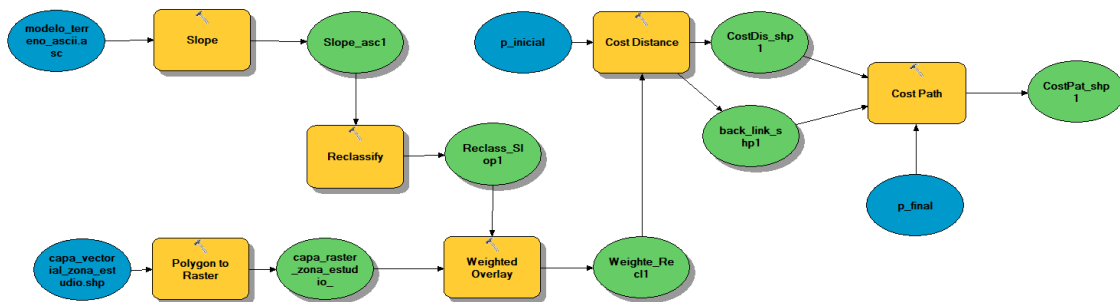


Figura 81. Model Builder

En ModelBuilder, para diferenciar entre los datos entrada, los procesos o herramientas empleados y los resultados que se obtienen se utiliza una leyenda de diferentes colores (azul, amarillo y verde), que se puede observar en la imagen anterior, donde:

- Azul: datos de entrada
- Amarilla: módulos de la caja de herramientas de ArcMap
- Verde: resultados obtenidos

También es importante señalar que algunos de los resultados intermedios que se obtienen sirven de datos de entrada a otras herramientas.

6.- RESULTADOS

En este apartado, se van a mostrar los diferentes caminos que se han obtenido en los diversos programas (QGIS, SAGA, ArcMap) sobre la ortofoto de máxima calidad "PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0668". Primero, se podrá observar la ruta de menor coste obtenida en QGIS. A continuación, se mostrarán los dos recorridos que se han calculado con el programa SAGA en SAGA y en QGIS, así como una imagen con los dos juntos para comprobar que el resultado sea el mismo. En tercer lugar, se podrá ver el camino de menor coste obtenido en ArcMap. Y, por último, una ilustración con todas las rutas de menor coste.



Figura 82. Ruta de menor coste en QGIS sobre una ortofoto



Figura 83. Ruta de menor coste de SAGA en QGIS sobre una ortofoto

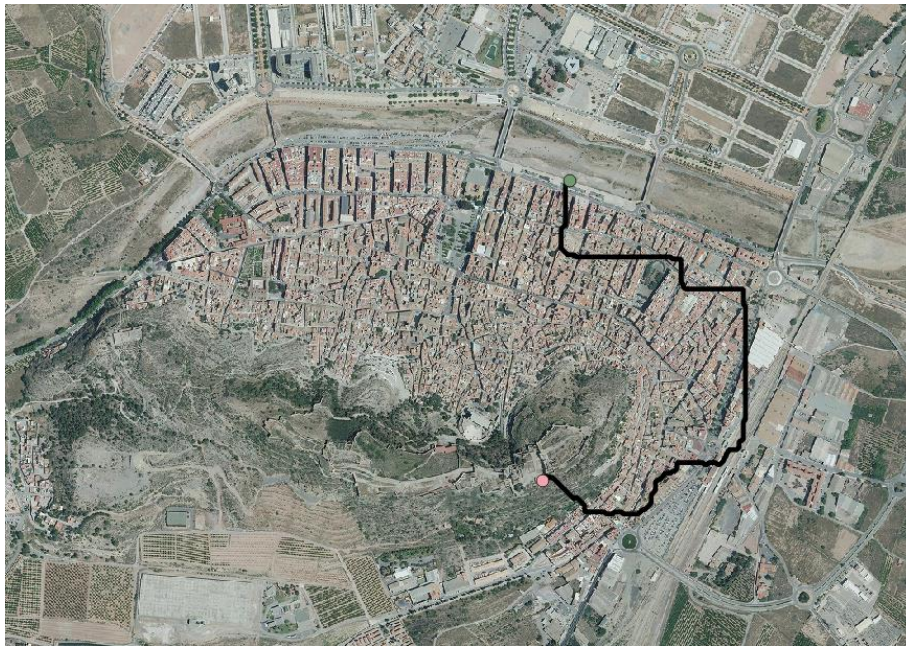


Figura 84. Ruta de menor coste en SAGA



Figura 85. Rutas de menor coste en SAGA y de SAGA en QGIS sobre ortofoto

Al observar la ilustración 78, se puede apreciar que las rutas de menor coste calculadas con el software SAGA en QGIS y en el propio SAGA son idénticas. Para poder ver esta coincidencia, de una forma clara, en la misma imagen, se ha utilizado una leyenda distinta para cada uno de los caminos, mostrando en color negro la ruta obtenida en SAGA y en color amarillo el recorrido calculado en QGIS con las herramientas de SAGA.



Figura 86. Ruta de menor coste en ArcMap sobre ortofoto



Figura 87. Rutas de menor coste sobre ortofoto

En la imagen anterior, se muestra en color azul el camino obtenido en QGIS, en naranja el recorrido calculado en SAGA y en rojo la ruta de menor coste en ArcMap. Además, aparecen varios polígonos negros que representan algunas construcciones de la época romana.

Dicho esto, se puede apreciar que la única ruta que no transcurre ni cruza ninguna de las construcciones es la calculada en ArcMap.

7.- PRESUPUESTO

A la hora de realizar el presupuesto de un proyecto, hay que tener en cuenta todas las variables que han sido utilizadas en él. Esto quiere decir, que hay que considerar, por una parte, la parte económica necesaria para la adquisición de los datos y los softwares necesarios para su correcto uso y, por otra parte, el sueldo a pagar del técnico que ha realizado el trabajo en gabinete.

Como se ha nombrado en puntos anteriores, los datos de partida utilizados se han obtenido del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y, por tanto, su adquisición ha sido gratuita y no supone ningún coste para el proyecto. Además, los programas informáticos empleados para el tratamiento de los datos (LAStools, Fusion, QGIS, Saga y ArcMap) se pueden descargar de forma gratuita en sus portales web, excepto ArcGis (ArcMap) que necesita una licencia de pago para poder ser utilizado, por lo que se ha tenido que hacer un desembolso económico por uno de ellos.

Por tanto, para saber el coste económico necesario para este proyecto, solamente hay que tener en cuenta el tiempo empleado por el técnico para la realización del trabajo, la parte proporcional del coste de la licencia del producto ArcGis, los gastos generales y el beneficio que quisiera obtener la empresa por dicho trabajo.

Todo proyecto, a la hora de calcular su presupuesto, tiene una parte de costes directos, que en este caso son el salario a pagar al trabajador y la parte proporcional de la licencia de ArcGis Desktop, una parte de costes indirectos, que son los gastos generales, y el beneficio industrial.

El salario de un ingeniero en geomática y topografía se ha obtenido del convenio de trabajo del sector de Oficinas y Despachos de Valencia del 2019, donde se indica que un trabajador con este nivel de estudios pertenece al nivel II (Titulado Medio o Diplomado). En este mismo convenio, se indica que el sueldo anual del trabajador es de 14 pagas, 12 por cada uno de los meses del año y dos pagas extraordinarias (Junio y Diciembre), hay un plus por convenio y el número de horas anuales a trabajar asciende a 1767.

Para saber el coste que tiene la empresa respecto a su trabajador, es necesario saber la parte proporcional de gasto por día de trabajo. Para ello, se calcula, en primer, lugar, el salario bruto anual de trabajador, que será el salario mensual y el plus por convenio multiplicado por las catorce pagas y el pago a la seguridad social que tiene que afrontar el empresario por su empleado.

SALARIO BRUTO MENSUAL: 1427,13 €

PLUS POR CONVENIO MENSUAL: 67,73 €

SALARIO BRUTO MENSUAL TOTAL: 1427,13 € + 67,73 = 1494,86 €

SALARIO BRUTO ANUAL: 1494,86 € × 14 = 20928,04 €

Además del salario bruto del trabajador, es necesario saber la parte proporcional que se debe pagar a la seguridad social por él, que aproximadamente es el 40% del sueldo, quedando el gasto anual de la siguiente manera:

GASTO ANUAL POR TRABAJADOR: 20928,04 € + 8371,216 € = 29299,56 €

Sabiendo el salario bruto anual de trabajador y el número de horas trabajadas a lo largo del año, se puede calcular el sueldo por hora del empleado.

SALARIO/HORA: 29299,56 ÷ 1767 = 16,58 €/h

TAULES ODD PROVÍNCIA DE VALÈNCIA 2019				
GRUP	NIVELL		2018	TRAM 1 (1,3%)
I	I	Titulació Superior i Direcció	1.584,89	1.605,49
II	II	Titulació Mitjana ó Diplomats/des	1.408,82	1.427,13
II	II	Traductor/a titulat/da e intèrpret jurat/da	1.408,82	1.427,13
III	III	Cap superior	1.322,49	1.339,68
III	III	Cap delineant	1.322,49	1.339,68
III	III	Cap de projecte	1.322,49	1.339,68
III	III	Analista	1.322,49	1.339,68
III	IV	Cap d'oficina	1.230,79	1.246,79
III	IV	Delineant projectista	1.230,79	1.246,79
III	IV	Comptable	1.230,79	1.246,79
III	IV	Programador/a d'ordinador	1.230,79	1.246,79
III	IV	Traductor/a no titulat/da	1.230,79	1.246,79
				TRAM 2 (2%)
IV	V	Oficial 1a Administratiu/va	1.065,07	1.086,37
IV	V	Delineant	1.065,07	1.086,37
IV	V	Operador/a	1.065,07	1.086,37
IV	V	Encarregat/da	1.065,07	1.086,37
IV	VI	Oficial 2a Administratiu/va	1.010,82	1.031,04
IV	VI	Comercial	1.010,82	1.031,04
IV	VI	Hostessa	1.010,82	1.031,04
				TRAM 3 (2,3%)
V	VII	Conductor/a	955,33	977,30
V	VII	Gravador/a	955,33	977,30
V	VII	Auxiliar Administratiu/va	955,33	977,30
VI	VIII	Emmagatzemador/a	892,73	913,26
VI	VIII	Conserge/ja	892,73	913,26
VI	VIII	Ordenança tramitador/a	892,73	913,26
VI	VIII	Telefonista	892,73	913,26
VI	VIII	Neteja	892,73	913,26
VI	VIII	Peó/na?	892,73	913,26
VI	VIII	Mossos/es	892,73	913,26
		Plus conveni totes les categories + 1,5%	66,73	67,73
		Kilòmetre	0,20	0,20
		Dieta completa	20,14	20,14
		Plus idiomes	10 % salari b	10 % salari b
		Plus diumenges i festius + 1,5%	44,37	45,04
		Menyscapte de moneda + 1,5%	49,16	49,90
		Plus menjar + 1,5%	7,77	7,89

Tabla 1. Convenio de trabajo del sector de Oficinas y Despachos de Valencia del 2019

La realización de este proyecto ha durado 5 días hábiles, por lo que el coste total relacionado con el salario del trabajador es el siguiente:

DURACION PROYECTO: 5 días

HORAS TOTALES: 5 días × 8h/día = 40 horas

COSTE TOTAL TRABAJADOR: 40 horas × 16,58 €/hora = 663,20 €

En este proyecto, se ha utilizado la licencia avanzada de ArcGIS Desktop con todas sus extensiones teniendo un coste anual de 6000 dólares, en Estados Unidos, que equivale a 5070,39 €.

ArcGIS Desktop Pricing	Advanced Buy Single Advanced License	Standard Buy Single Standard License	Basic Buy Single Basic License
Single price	\$4,200	\$3,000	\$800
+ one extension	\$4,800	\$3,600	\$1,400
+ all extensions	\$6,000	\$4,800	\$2,600

Figura 88. Coste licencias ArcGIS Desktop en EEUU

El tiempo empleado con este software ha sido de dos días de trabajo, que se traduce en 16 horas. Para saber la parte proporcional de la licencia en esos dos días, es necesario cuantos días de trabajo hay a lo largo de un año y, una vez conocido esto, se puede obtener el coste del producto por cada día.

Estableciendo una jornada laboral de 8 horas y con las 1767 horas de trabajo anuales se obtiene:

DÍAS LABORALES: $1767 \div 8 = 220,875 \approx 221 \text{ días}$

Quedando el precio de la licencia por día:

COSTE LICENCIA POR DÍA: $5070,39 \div 221 = 22,95 \text{ €/día}$

Sabiendo todo esto, se puede calcular el coste de la licencia de ArcGIS Desktop en este proyecto:

COSTE ARCGIS DESKTOP: $22,95 \times 2 = 45,90 \text{ €}$

El coste directo de este proyecto se adquiere sumando el **COSTE TOTAL TRABAJADOR** y el **COSTE ARCGIS DESKTOP**.

COSTE DIRECTO	
COSTE TRABAJADOR	663,20 €
COSTE ARCGIS DESKTOP	45,90 €
TOTAL	709,10 €

Tabla 2. Coste directo del presupuesto

Los costes indirectos se engloban dentro de los llamados “Gastos Generales”, que, según, son entre el 13 y el 17 por ciento de los costes directos. En este proyecto se ha considerado un 15 % los Gastos Generales, por lo que los costes indirectos ascienden a:

GASTOS GENERALES: $709,20 \times 0,15 = 106,37 \text{ €}$

COSTE INDIRECTO	
GASTOS GENERALES	106,37 €
TOTAL	106,37 €

Tabla 3. Coste directo del presupuesto

El beneficio de la empresa en el proyecto es del 10 % respecto a los costes directos, siendo este beneficio el siguiente:

BENEFICIO EMPRESA: $709,20 \times 0,10 = 70,92 \text{ €}$

Ahora, sabiendo los costes directos, los costes indirectos y el beneficio de la empresa, se calcula el presupuesto total del proyecto. Es importante tener en cuenta el IVA, que en este caso es del 21 %.

PRESUPUESTO	
COSTES DIRECTOS	709,10 €
COSTES INDIRECTOS	106,37 €
BENEFICIO EMPRESA	70,92 €
IVA (21 %)	186,14 €
TOTAL	1072,53 €

Tabla 4. Presupuesto total del proyecto

El presupuesto total de este proyecto asciende a un valor de **1072,53 €**

8.- CONCLUSIONES

A través de este proyecto se ha visto como obtener un modelo digital del terreno (MDT) o modelo digital de elevaciones (MDE) a partir de nubes de puntos LIDAR, mediante una serie de operaciones, las cuales se ha intentado que sean las más rigurosas posible para tener el mejor resultado.



Figura 89. Rutas de menor coste sobre ortofoto

A partir del MDT, se han calculado varias rutas alternativas, empleando diferentes softwares, dando diferentes resultados, que se muestran en la imagen de la izquierda, que es la misma que la imagen 81 del apartado 6.

De los tres caminos resultantes, se puede decir

que el mejor o al que se puede considerar más exacto

y riguroso es el obtenido en ArcMap (en la imagen anterior aparece en color rojo), ya que es el único que no atraviesa el circo romano. Esto es entendible debido a que en ArcMap se han empleado más herramientas que permitan poner mayores restricciones a la hora de calcular la ruta, como el mapa de superposición ponderada, donde se podía utilizar pesos y se ha aplicado una influencia del 70% para la topografía del terreno y un 30 % a las construcciones existentes en la época romana; estos niveles de influencia se han marcado así, porque se quiere y quería que la parte más importante a la hora de hacer los procesos fuese la orografía del terreno, por lo que se le ha aplicado un peso superior que al resto de elementos. También se ha calculado, en ArcMap, un mapa de distancia de coste y otro que indica el vínculo de menor coste entre los píxeles adyacentes.

Dicho esto, otra forma de comprobar que la ruta obtenida en ArcMap pueda considerarse correcta es analizarla junto a las curvas de nivel de la zona de estudio, las cuales se muestran en la imagen de la derecha.

Se puede observar que la parte final del camino transcurre por una zona donde el relieve del terreno tiene una

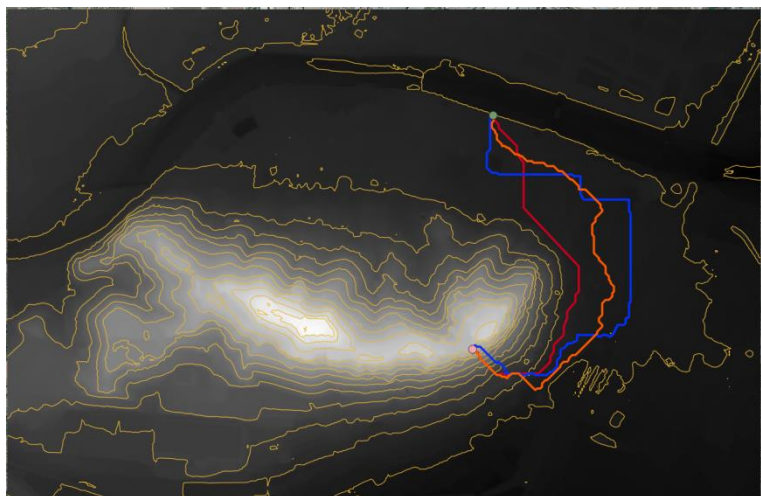


Figura 90. Curvas de nivel de la zona de estudio

pendiente considerable, ya que las curvas de nivel se encuentran muy juntas entre sí y, estas, se han calculado con una distancia de 10 metros entre ellas. Esto, puede indicar que el acceso al castillo sea complicado debido a lo abrupto del terreno de la zona, pero podría haber sido un punto a favor, en la época romana, para la mejor defensa del castillo.

Por otra parte, podría mejorarse, bajo mi punto de vista, la obtención de la ruta de menor coste entre el puente del río Palancia y el castillo empleando las curvas de nivel dentro del proceso de cálculo o poniendo mayores restricciones, como que el valor de la pendiente no pueda superar un valor límite, marcado previamente.

A pesar de la problemática que nos podemos encontrar en el tramo final del recorrido, se puede considerar que los resultados obtenidos pueden satisfacer el objetivo principal de este proyecto, ya que se ha conseguido obtener una ruta, lo más exacta y rigurosa posible, en la que se ha tenido en cuenta muchas variables diferentes, como la topografía del terreno y las construcciones preexistentes.

Para finalizar, este trabajo ha servido para poner en práctica conocimientos que se han adquirido a lo largo de la carrera y para poder familiarizarse con los programas FUSION, QGIS, ARCGIS, los cuales también se habían empleado en varios cursos durante el grado, y SAGA, que no había tenido la oportunidad de poder trabajar con él y es un software potente y sencillo de utilizar.

9.- BIBLIOGRAFÍA

En este apartado, se muestra las direcciones webs de las que se ha obtenido la información utilizada en este proyecto. Para que quede de forma más clara, se separará la información según las partes en las que se ha dividido el trabajo.

9.1.-CASTILLO DE SAGUNTO Y DEFINICIÓN DE LIDAR

Lidar. Recuperado 20 de mayo de 2020, de boletinagrario website: <https://boletinagrario.com/ap-6,lidar,3133.html>

Martinez, N. (2017). Qué es la tecnología LIDAR y por qué está vinculada con los vikingos o el coche autónomo. Recuperado 20 de mayo de 2020, de nobbot website: <https://www.nobbot.com/futuro/tecnologia-lidar/>

LIDAR. (2020). Recuperado 20 de mayo de 2020, de Wikipedia website: <https://es.wikipedia.org/wiki/LIDAR>

Sagunto Turismo e historia. Recuperado 8 de junio de 2020, de saguntoweb website: <https://www.saguntoweb.com/castillo/>

CASTILLO Y MURALLA DE SAGUNTO. Recuperado 8 de junio de 2020, de camino del Cid website: <https://www.caminodelcid.org/servicios/castillo-y-muralla-de-sagunto-1877424/>

El Castillo de Sagunto. Recuperado 8 de junio de 2020, de Rutas con Historia website: <https://www.rutasconhistoria.es/loc/el-castillo-de-sagunto>

El Castillo de Sagunto y sus alrededores. Recuperado 8 de junio de 2020, de Castillos del Olvido website: <https://castillosdelolvido.com/el-castillo-de-sagunto-y-sus-alrededores/>

Monumentos. Recuperado 8 de junio de 2020, de <https://www.upv.es/cv/sanonume.html>

Teatro Romano de Sagunto. Recuperado 8 de junio de 2020, de ArqueotuR website: <http://www.arqueotur.org/yacimientos/teatro-romano-de-sagunto.html>

9.2.- DATOS DE PARTIDA

Recuperado 4 de mayo de 2020, de Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica website: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

9.3.- LASTOOLS

Alonso, D. (2016). Cómo convertir ficheros LiDAR .LAZ a .LAS. Recuperado 11 de mayo de 2020, de MappinGIS website: <https://mappinggis.com/2016/08/como-convertir-ficheros-lidar-laz-a-las/>

LAStools. Recuperado 18 de mayo de 2020, de rapidlasso website: <https://rapidlasso.com/lastools/>

9.4.- FUSION

Araya Morales, E. J. (2019). ¿Cómo instalar y usar el software libre FUSION para el procesamiento de datos LIDAR?. Recuperado 13 de mayo de 2020, de 2 Engenheiros website: <https://2engenheiros.com/2019/08/06/fusion-y-procesamiento-datos-lidar/>

Jiménez, A. (2017). Trabajando con el LiDAR del PNOA. Recuperado 4 de mayo de 2020, de <https://sigyteledeteccionblog.wordpress.com/2017/04/18/trabajando-con-el-lidar-del-pnoa/>

McGaughey, R. J. (2018). Recuperado 11 de mayo de 2020, de https://w3.ual.es/GruposInv/ProyectoCostas/FUSION_manual.pdf

9.5.- QGIS

Alonso, D. (2015). Cómo crear una composición de mapa con QGIS. Recuperado 13 de mayo de 2020, de MappinGIS website: <https://mappinggis.com/2015/06/como-crear-una-composicion-de-mapa-con-qgis/>

Leonardo, F. (2018). Insertar la flecha norte en QGIS 3. Recuperado 2 de junio de 2020, de <https://www.youtube.com/watch?v=ZLZqXjKSyoE>

González Bernal, C. (2016). CREAR MAPAS CON EL DISEÑADOR DE IMPRESIÓN DE QGIS. Recuperado 1 de junio de 2020, de Universidad Miguel Hernández de Elche website: <https://www.youtube.com/watch?v=JJWrSmOUPWw>

(2018). Simple Least Cost Path Analysis in QGIS. Recuperado 1 de agosto de 2020, de GEO 2004 website: <https://www.youtube.com/watch?v=6dodHcHm7ws>

9.6.- SAGA

Mira Martínez, J. M. (2017). Cálculo ruta origen-destino en un MDE con SAGA (Least cost path). Recuperado 2 de agosto de 2020, de <https://www.youtube.com/watch?v=InnJIszYZ4Q>

SAGA. Recuperado 16 de agosto de 2020, de OSGeoLive website: [https://live.osgeo.org/es/overview/saga_overview.html#:~:text=SAGA%20\(Sistema%20para%20A n%C3%A1lisis%20Geocient%C3%ADficos,editar%20y%20analizar%20datos%20espaciales.](https://live.osgeo.org/es/overview/saga_overview.html#:~:text=SAGA%20(Sistema%20para%20A n%C3%A1lisis%20Geocient%C3%ADficos,editar%20y%20analizar%20datos%20espaciales.)

(2019). SAGA GIS. Recuperado 16 de agosto de 2020, de Wikipedia website: https://es.wikipedia.org/wiki/SAGA_GIS

9.7.- ARCMAP

Leonardo, F. (2013). Encontrar la mejor ruta entre dos puntos en ArcGis. Recuperado 5 de agosto de 2020, de acolita website: <https://www.youtube.com/watch?v=5Myb8OZhP5A>

(2020). ArcGIS. Recuperado 16 de agosto de 2020, de Wikipedia website: <https://es.wikipedia.org/wiki/ArcGIS>

(2016). ArcMap. Recuperado 16 de agosto de 2020, de ArcGIS for Desktop website: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap-.htm>

(2016). Un recorrido rápido por ArcMap. Recuperado 17 de agosto de 2020, de ArcGIS for Desktop website: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/map/a-quick-tour-of-arcmap.htm>

(2016). ¿Qué es ModelBuilder?. Recuperado 20 de agosto de 2020, de ArcGIS for Desktop website: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>

9.8.- PRESUPUESTO

(2020). Convenio Oficinas y Despachos provincia de Valencia. Recuperado 25 de agosto de 2020, de Servicios CCOO País Valencià website: <https://www.ccoo-servicios.es/paisvalenciano/conveniospaisvalenciano/html/46788.html>

(2019). BUTLLETÍ OFICIAL DE LA PROVÍNCIA DE VALÈNCIA. Recuperado 25 de agosto de 2020, de <http://stics.intersindical.org/web/attachments/article/17/Convenio%20colectivo%20de%20trabajo%20de%20Oficinas%20y%20Despachos%202019-2020.pdf>

(2020). ArcGIS Desktop Subscription. Recuperado 25 de agosto de 2020, de esri website: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop-subscription>

9.9.- IMÁGENES

¿Cómo funciona el mapeo de los UAV 3DLiDAR?. (2018). Recuperado 21 de mayo de 2020, de YellowScan website: https://www.google.com/search?q=lidar&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjO5_XKo8XpAhVE1hoKHbTtDz0Q_AUoAXoECBMQAw&biw=1536&bih=706&dpr=1.25#imgrc=PJza2jNS_F8oSM

10.- ANEJOS

10.1.- CAPA VECTORIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para la obtención de la “capa_vectorial_zona_estudio”, se han realizado una serie de pasos, los cuales se van a explicar, de una forma clara y concisa, a continuación.

En primer lugar, desde el programa de ordenador QGIS, se crea un polígono cuya extensión es la misma que la zona de estudio y análisis de este proyecto. Además, se digitaliza, en otra capa, varias construcciones romanas, las cuales se han obtenido gracias a la bibliografía aportada por la directora del castillo de Sagunto.

Es importante decir, que estas dos capas has sido creadas como datos vectoriales.

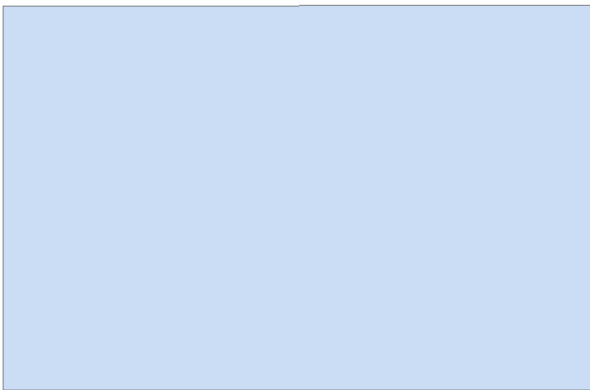


Figura 92. Polígono zona de estudio



Figura 91. Construcciones romanas

Una vez creadas las dos capas anteriores, se utiliza la herramienta “Diferencia” para obtener una capa con la extensión de la zona de estudio, pero sin el espacio que ocupan la construcciones romanas. Este módulo se encuentra dentro del grupo de procesos “Vectorial”.

- Vectorial → Herramientas de geoprocreso → Diferencia

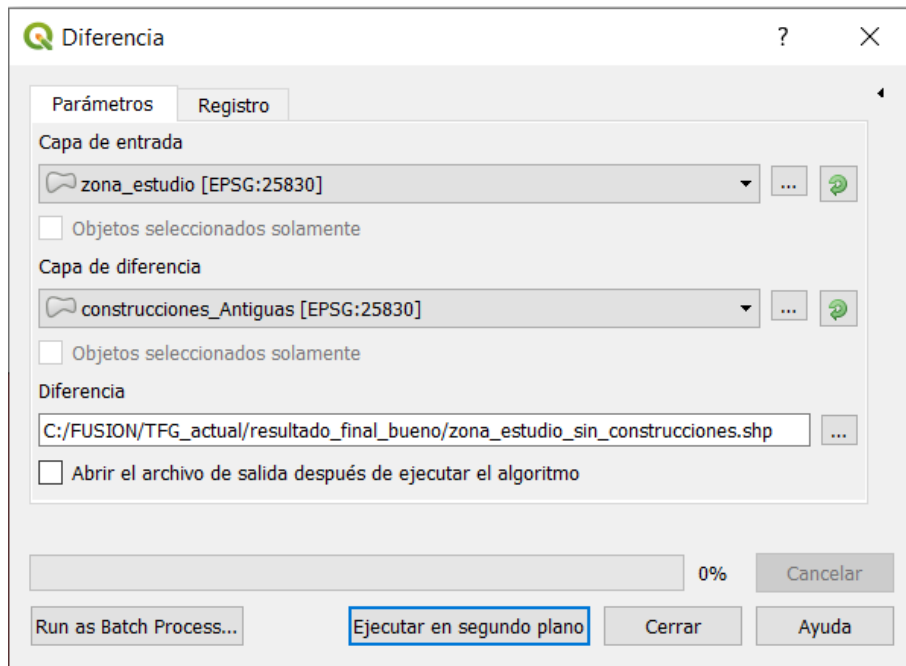


Figura 93. Parámetros de la herramienta "Diferencia" en QGIS

El resultado de esta operación se muestra en la siguiente imagen.

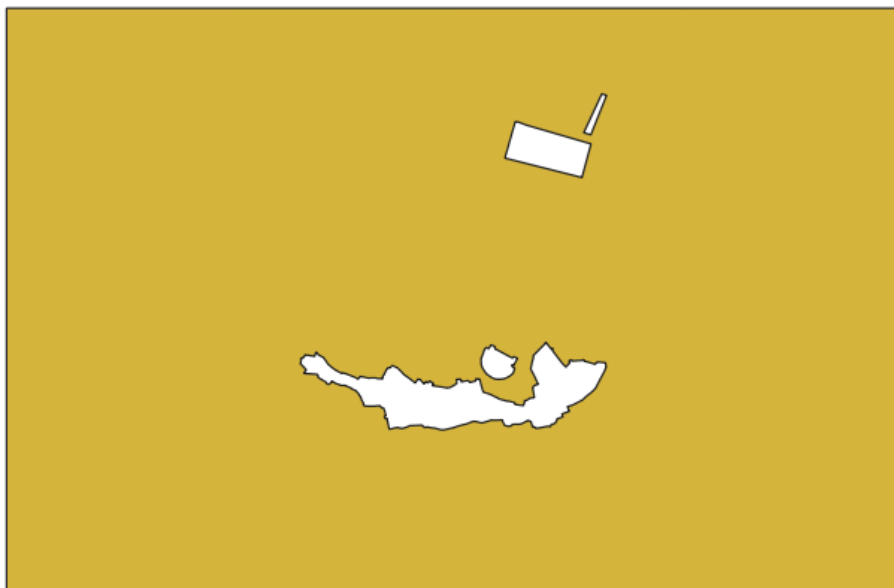


Figura 94. Zona estudio sin construcciones

Ahora, en ArcMap, se pretende juntar la capa obtenida anteriormente (zona_estudio_sin_construcciones) con la capa de construcciones romanas (construcciones_Antiguas). Para ello, se usa la herramienta "Merge", que se encuentra dentro de grupo "geoprocessing".

- Geoprocessing → Merge

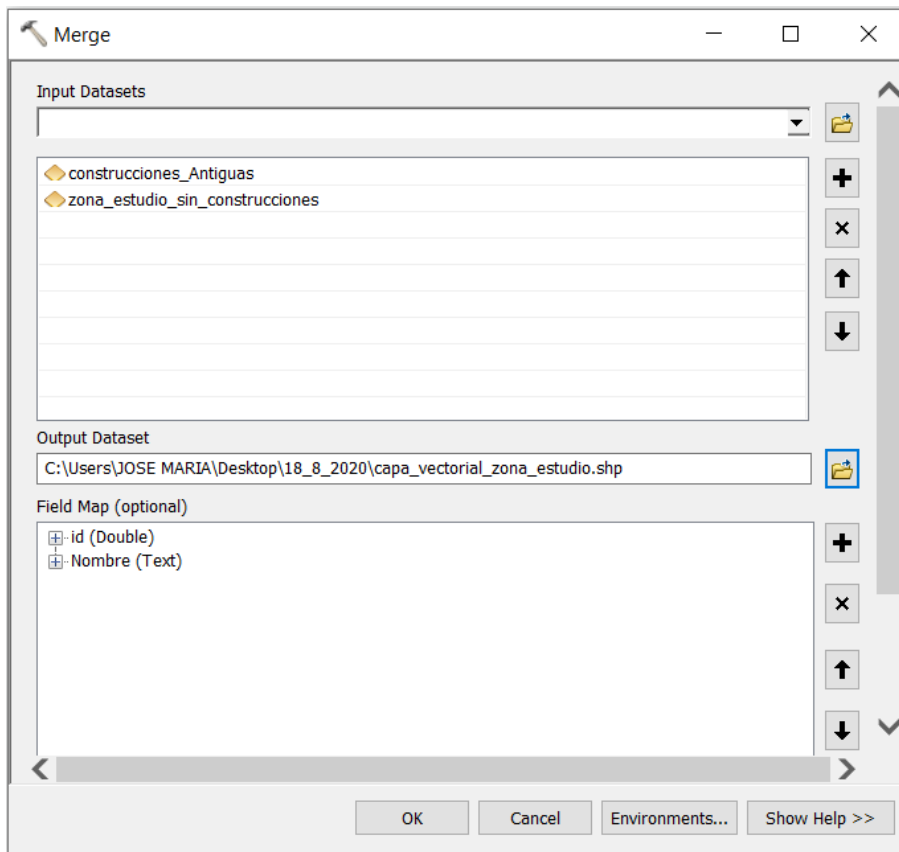


Figura 95. Parámetros herramienta "Merge" en ArcMap

Por último, se van a mostrar dos imágenes, una con la capa resultante de esta operación y otra con la tabla de atributos de dicha capa.

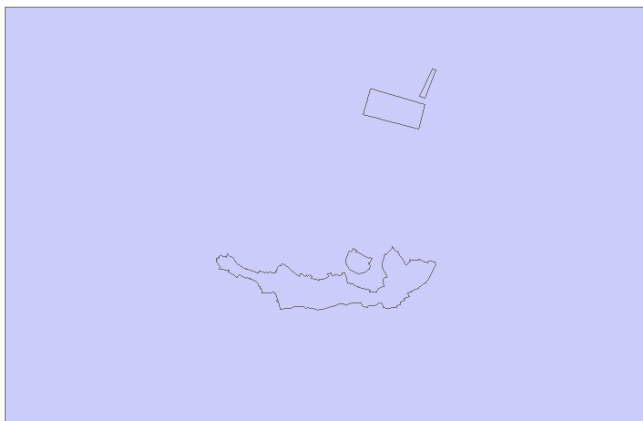
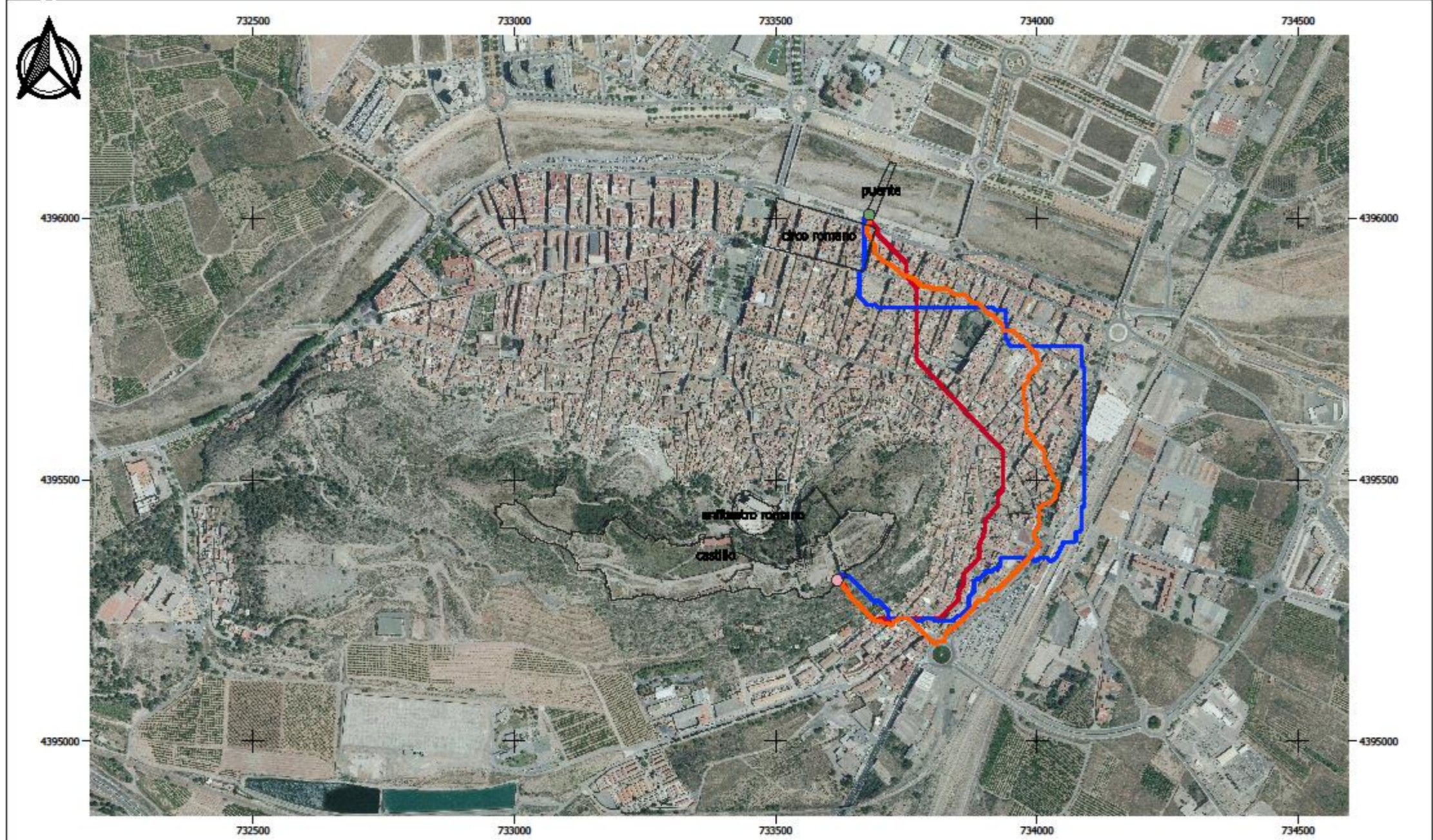


Figura 97. "capa_vectorial_zona_estudio" en ArcMap

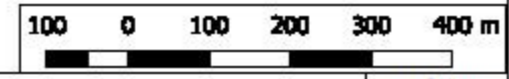
FID	Shape *	id	Nombre
0	Polygon	1	puente
1	Polygon	0	circo romano
2	Polygon	0	anfiteatro romano
3	Polygon	0	castillo
4	Polygon	0	no importante

Figura 96. Tabla de atributos de "capa_vectorial_zona_estudio"

10.2.- CARTOGRAFÍA



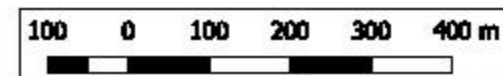
LEYENDA	PUENTE	RUTA DE MENOR COSTE EN SAGA	RUTA DE MENOR COSTE EN ARCMAP
	CASTILLO	RUTA DE MENOR COSTE EN QGIS	PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0668
	CONSTRUCCIONES ROMANAS		



	TÍTULO DEL PROYECTO ESTUDIO DEL ACCESO AL FORO DE SAGUNTO EN LA EDAD ANTIGUA A PARTIR DE MODELIZACIÓN 3D			TÍTULO DEL PLANO DIFERENTES RUTAS DE MENOR COSTE ENTRE EL PUENTE Y EL CASTILLO			Nº PÁGINA 1 DE 1
	AUTOR JOSÉ MARÍA LÓPEZ PÉREZ	TUTOR ANA BELÉN ANQUELA JULIÁN	COTUTOR JESÚS MANUEL PALOMAR VÁZQUEZ	SISTEMA DE REFERENCIA ETRS89	HUSO 30	PROYECCIÓN UTM	ESCALA NUMÉRICA 1:7000



LEYENDA	● PUENTE	— RUTA DE MENOR COSTE
	● CASTILLO	PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0668
	□ CONSTRUCCIONES ROMANAS	



	TÍTULO DEL PROYECTO			TÍTULO DEL PLANO			ESCALA NUMÉRICA
	ESTUDIO DE ACCESO AL FORO ROMANO DE SAGUNTO EN LA EDAD ANTIGUA A PARTIR DE MODELIZACIÓN 3D			RUTA DE MENOR COSTE ENTRE EL PUENTE Y EL CASTILLO			1:7000
AUTOR	TUTOR	COTUTOR	SISTEMA DE REFERENCIA	HUSO	PROYECCIÓN	NÚMERO DE PÁGINA	
JOSÉ MARÍA LÓPEZ PÉREZ	ANA BELÉN ANQUELA JULIÁN	JESÚS MANUEL PALOMAR VÁZQUEZ	ETRS89	30	UTM	1 DE 1	

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE
INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

2

Submitted to Associatie K.U.Leuven

Trabajo del estudiante

1%

3

Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León

Trabajo del estudiante

1%

4

JULIÁN CARLOS COLLADO LATORRE.
"APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LIDAR EN
EL ANÁLISIS VISUAL DE LA VALORACIÓN
DEL PAISAJE", Universitat Politecnica de
Valencia, 2017

Publicación

<1%

5

ridum.umanizales.edu.co:8080

Fuente de Internet

<1%

6

www.monumentalia.net

Fuente de Internet

<1%

7

www.todalaley.com

Fuente de Internet

<1%

8	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	<1%
9	www.ceisp.com Fuente de Internet	<1%
10	García, . "Outlet works", Dam Maintenance and Rehabilitation II, 2010. Publicación	<1%
11	www.vinculando.org Fuente de Internet	<1%
12	www.rtvv.es Fuente de Internet	<1%
13	oa.upm.es Fuente de Internet	<1%
14	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1%
15	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	<1%
16	Submitted to Infile Trabajo del estudiante	<1%
17	Submitted to Universidad de Salamanca Trabajo del estudiante	<1%
18	ligadao.spaceblog.com.br Fuente de Internet	<1%

19

pdmuba.blogspot.com

Fuente de Internet

<1%

20

rio.upo.es

Fuente de Internet

<1%

21

www.infodisclm.com

Fuente de Internet

<1%

22

dgtrebal.caib.es

Fuente de Internet

<1%

23

buleria.unileon.es

Fuente de Internet

<1%

24

cayanet.dnsalias.org

Fuente de Internet

<1%

25

pesquisa.bvsalud.org

Fuente de Internet

<1%

26

metodosestadisticos.unizar.es

Fuente de Internet

<1%

27

www.mundoprogramacion.com

Fuente de Internet

<1%

28

www.uclg-cglu.com

Fuente de Internet

<1%

29

alobbs.com

Fuente de Internet

<1%

30

www.vision.uji.es

Fuente de Internet

<1%

31 megaconstrucciones.net <1%
Fuente de Internet

32 www.jdiezarnal.com <1%
Fuente de Internet

33 www.computadoras.net <1%
Fuente de Internet

34 www.cidep.com.mx <1%
Fuente de Internet

35 documents.mx <1%
Fuente de Internet

36 fcf.unse.edu.ar <1%
Fuente de Internet

37 xa.yimg.com <1%
Fuente de Internet

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

ESTUDIO DE ACCESO AL FORO ROMANO DE SAGUNTO EN LA EDAD ANTIGUA A PARTIR DE MODELIZACIÓN 3D

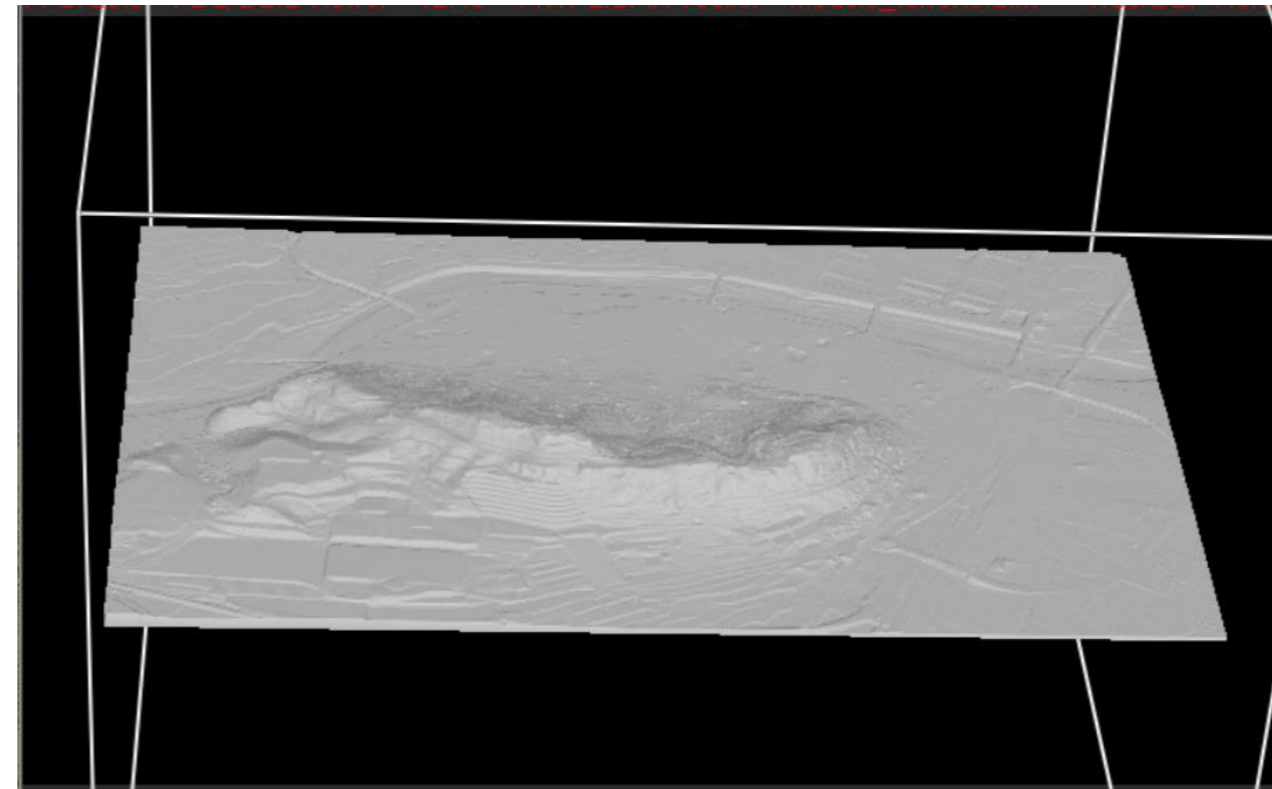
CNIG

PNOA_2015_VAL_732_4396_ORT_CLA_RGB
 PNOA_2015_VAL_732_4396_ORT_CLA_RGB
 PNOA_2015_VAL_732_4396_ORT_CLA_RGB
 PNOA_2015_VAL_732_4396_ORT_CLA_RGB



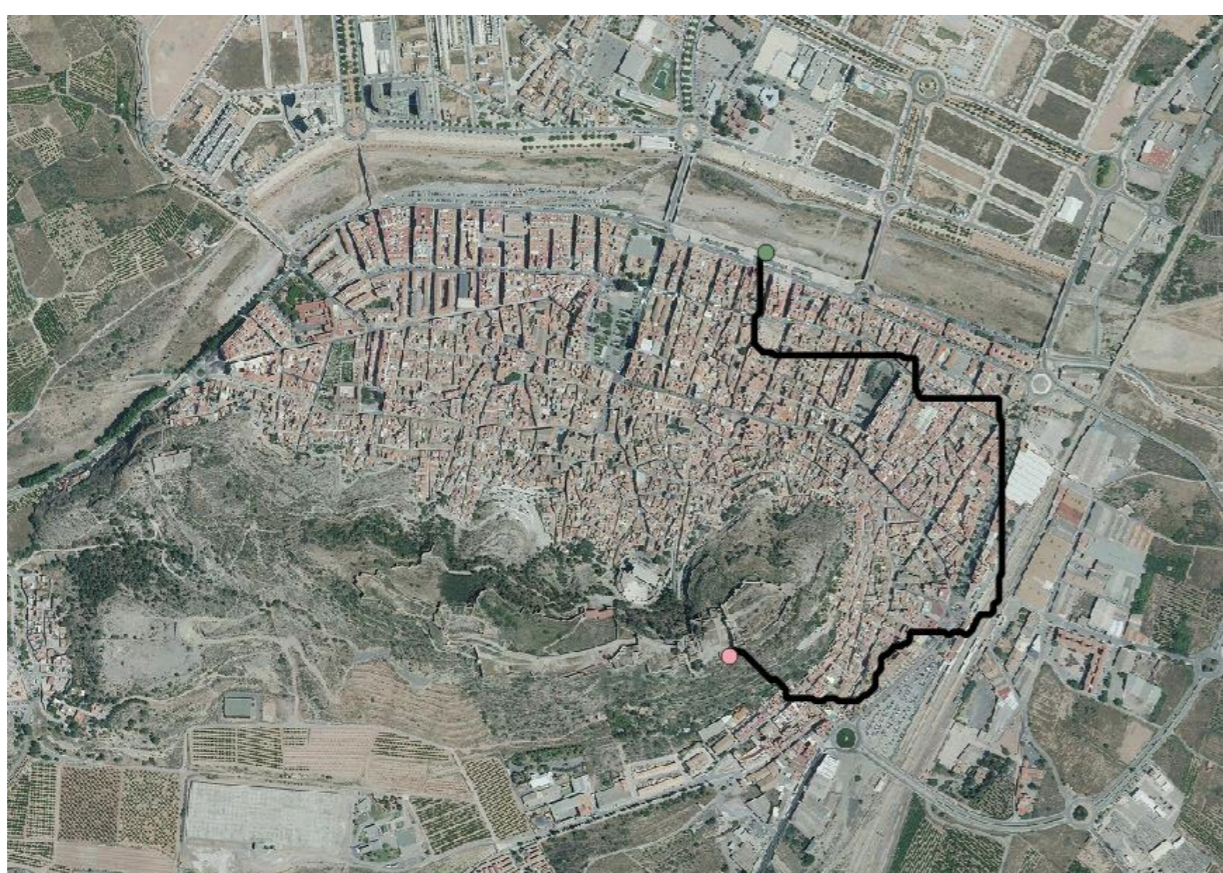
FUSION

- MergeData
- ClipData
- GroundFilter
- GridSurfaceCreate
- DTM2ASCII



QGIS

- Slope
- Least Cost Path



SAGA

- Slope, Aspect, Curvature
- Accumulated Cost
- Least Cost Paths



ARCMAP

- Slope
- Reclassify
- Polygon To Raster
- Weighted Overlay
- Cost Distance
- Cost Back Link
- Cost Path

Tras la realización del proyecto, el mejor software para el cálculo de ruta de menor coste es ArcMap, que es lógico debido a que se pueden realizar más restricciones que en el resto de programas. Dicho esto, se puede decir que resultado final obtenido puede considerarse bueno, ya que satisface el objetivo propuesto en el proyecto.

