

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA  
Y TOPOGRÁFICA



## TRABAJO FIN DE GRADO

Grado Ingeniería en Geomática y Topografía

## **Datos LiDAR aplicados a la producción de mapas de orientación**

**Autor: Manuel Jurado Alonso**

**Tutor: Alfonso Fernández Sarría**

## AGRADECIMIENTOS

---

A mi tutor Alfonso Fernández Sarría, por haberme cedido los datos, ayudado y resuelto todas mis dudas durante estos meses para poder acabar este proyecto fin de grado.

A mis amigos de facultad, tanto en España como en Eslovenia, por haberme ayudado estos últimos cuatro años en todo momento y haber tenido una excelente compañía.

A mis amigos y compañeros Rafa y Fran, que me han acogido y ayudado en todo estos últimos meses en Valencia.

A todos mis amigos del deporte de orientación que he conocido a lo largo de mi carrera como deportista. Especialmente a Manuel Brotons, sin él no habría llegado a conocer este espectacular deporte ni tampoco haber llegado tan lejos. También a Luis Carlos Fernández García por su gran ayuda y contribución en el proyecto estos últimos meses.

Finalmente a mis padres y a mi hermana Saula. Desde siempre me apoyaron en los estudios y en el deporte. Sin ellos no habría sido posible llegar hasta aquí.

## RESUMEN

---

Los mapas de orientación son mapas temáticos con mucho detalle. Su elaboración es cara requiriendo muchas horas de trabajo de campo para el cartógrafo. El presente trabajo pretende utilizar datos LiDAR y su posterior procesamiento para la realización de mapas de orientación. En los últimos años la tecnología LiDAR (*Light Detection and Ranging*) se está utilizando cada vez más para la producción de mapas de orientación. A partir del procesado de estos datos se pueden obtener MDT, MDE... y extraer elementos que deben estar incluidos en los mapas de orientación además de la obtención de la curva de nivel a una alta resolución. Estos elementos pueden ser lineales (caminos, surcos, cortados...), puntuales (piedras, montículos, hoyos...) o de área (límites de vegetación, edificios, agua...).

La metodología del trabajo está dividida en tres partes: (i) procesamiento de los datos LiDAR para la obtención de un MDT y clasificación de los puntos, (ii) obtención de elementos puntuales, lineales y de área a partir de los modelos e imágenes obtenidas y (iii) finalmente la post clasificación de estos elementos en el trabajo de campo y levantamiento del mapa final de orientación.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios reduciendo notablemente el trabajo de campo. Se obtuvieron muy buenas precisiones en los elementos puntuales y lineales como la curva de nivel. Para los elementos de área como la vegetación o los edificios no se tuvo tan buenos resultados debido principalmente a la baja densidad de puntos LiDAR.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
<b>2. ANTECEDENTES TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS.....</b>	<b>2</b>
2.1 LiDAR.....	2
2.2 Deporte de orientación.....	3
2.2.1 Historia.....	4
2.3 Mapas de orientación.....	4
2.4 Antecedentes LiDAR y mapas de orientación.....	5
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>4. DATOS, ÁREA DE TRABAJO Y SOFTWARE UTILIZADO.....</b>	<b>8</b>
4.1 Zona de estudio.....	8
4.2 Datos de partida.....	8
4.3 Software utilizado.....	10
<b>5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
5.1 Introducción.....	13
5.2 Preprocesado de datos LiDAR.....	14
5.3 Generación de Modelos Digitales.....	16
5.3.1 Generación de curvas de nivel.....	17
5.3.1.1 LAStools.....	18
5.3.1.2 OL-Laser.....	18
5.3.1.3 Karttapullautin.....	19
5.3.1.4 ICV.....	19
5.3.2 Generación de cortados .....	19
5.3.2.1 OL-Laser.....	20
5.3.2.2 Karttapullautin.....	20
5.3.3 Obtención de variables derivadas.....	20
5.3.3.1 Sombreado del relieve.....	20

5.3.3.2 Mapa de pendientes.....	21
5.4 Generación de imagen de intensidades.....	22
5.5 Generación del mapa de vegetación.....	22
5.5.1 Según la altura.....	23
5.5.1.1 LAStools.....	24
5.5.1.2 ArcMap (nMDS).....	25
5.5.2 Según la densidad.....	25
5.5.2.1 FUSION.....	25
5.5.2.2 Karttapullautin.....	26
5.6 Obtención de edificios.....	28
5.7 Levantamiento del mapa de orientación.....	29
5.7.1 Mapa base.....	29
5.7.2 Trabajo de campo.....	33
5.7.3 Dibujo en OCAD.....	37
5.7.4 Maquetado.....	39
<b>6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>40</b>
6.1 Curva de nivel.....	41
6.2 Cortados.....	45
6.3 Sombreado de relieve.....	49
6.4 Imagen de intensidad.....	51
6.5 Vegetación.....	56
6.6 Encuesta de calidad.....	65
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
7.1 Productividad.....	67
7.2 Líneas futuras de trabajo.....	68
<b>8. REFERENCIAS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO I ORTOFOTO</b>	
<b>ANEXO II MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (MDS)</b>	
<b>ANEXO III MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)</b>	
<b>ANEXO IV MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE NORMALIZADO (nMDS)</b>	

**ANEXO V SOMBREADO DE RELIEVE**

**ANEXO VI MAPA DE PENDIENTES**

**ANEXO VII MAPA DE CORTADOS**

**ANEXO VIII MAPA DE LA DENSIDAD DE VEGETACIÓN CREADO CON KARTTAPULLAUTIN**

**ANEXO IX MAPA DE LA DENSIDAD DE VEGETACIÓN CREADO CON FUSION (0.3m-1m)**

**ANEXO X MAPA DE LA DENSIDAD DE VEGETACIÓN CREADO CON FUSION 1m-3m)**

**ANEXO IX MAPA DE ORIENTACIÓN. LOMAS DE POLO-PINOMAR**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de orientación en un terreno continental (izquierda) y en un terreno kárstico (derecha).....	1
Figura 2. Clasificación de los puntos según el estándar ASPRS versión 1.2.....	3
Figura 3. Thierry Gueorgiou, 7 veces campeón del mundo de orientación, picando un control..	3
Figura 4. Portada de la ISOM.....	5
Figura 5. Primer ejemplo de la aplicación de los datos LiDAR en el deporte de orientación en Suiza(2004).De izquierda a derecha: comparación de curva de nivel obtenido por LiDAR con una equidistancia entre curvas de 2.5 metros, con 1 metro, obtenida por fotogrametría y el mapa final de orientación.....	5
Figura 6. Zona del área de estudio detallada.....	8
Figura 7. Cuadrículas de 2 Km x 2 Km del PNOA utilizadas en el trabajo.....	9
Figura 8. Logo de OCAD.....	10
Figura 9. Logo de FUSION.....	11
Figura 10. Logo de rapidlasso.....	11
Figura 11. Esquema de la metodología seguida.....	13
Figura 12. Ejemplo de la herramienta <i>lasmerge</i> de LAStools.....	14
Figura 13. Ejemplo de la herramienta <i>clip</i> de LAStools.....	15
Figura 14. Puntos de mar clasificados como suelo en color púrpura en la parte derecha de la imagen.....	16
Figura 15. Ventana de filtrado de <i>las2dem</i> .....	17
Figura 16. Ejemplo del programa OL-Laser. A la izquierda herramientas de procesamiento y en la parte central ventana de visualización, donde se aprecia el modelo de sombreado de relieve.....	21
Figura 17. Relación entre la transitabilidad y la distancia cubierta para distintos tipos de densidad de vegetación en el bosque (ISOM).....	22
Figura 18. Perfil transversal de las principales especies en las dunas de Guardamar.....	23
Figura 19. Nube de puntos clasificados por debajo de 0.30 metros como suelo en color púrpura (izquierda) y por debajo de 0.15 metros (derecha).....	24
Figura 20. Muestra de los distintos estratos verticales (zonas).....	26
Figura 21. Nube de puntos clasificados después de la herramienta <i>lasclassify</i> . En rojo la clase edificios.....	28
Figura 22. Ventana de la herramienta de OCAD <i>Convert Layers</i> .....	32

Figura 23. Datos de la declinación magnética para el área de trabajo.....	32
Figura 24. Ejemplo del mapa base para la zona sur del mapa.....	33
Figura 25. Ejemplo del material para el trabajo de campo.....	34
Figura 26. Trabajo de campo sobre papel transparente (Izquierda), Mapa final (derecha).....	37
Figura 27. Ejemplo del software OCAD. Arriba herramientas de dibujo, visor en la parte central y simbología en la parte de la derecha.....	38
Figura 28. Trabajo de campo en el papel transparente solapado y ajustado sobre el mapa base.	
Figura 29. Elementos de maquetación en un mapa de orientación.....	39
Figura 30. Mapa de orientación (izquierda), curva de nivel obtenida del MDE del ICV (centro) y curva de nivel producida por Karttapullautin (derecha).....	42
Figura 31. Puntos 1 (izquierda) y 2 (derecha) con respecto a la figura 30.....	42
Figura 32. Mapa de orientación (izquierda), curva obtenida con LAStools (centro) y curva del mapa base obtenida con OL-Laser (derecha).....	42
Figura 33. Punto 3 con respecto a la figura 32.....	43
Figura 34. Mapa de orientación (izquierda), curva obtenida con Karttapullautin (centro) y curva de nivel del mapa base obtenida con OL-Laser (derecha).....	43
Figura 35. Puntos 6 (izquierda), 7 (centro) y 9 (derecha) respecto a la figura 34.....	44
Figura 36. Mapa de orientación (izquierda), curva obtenida con LAStools (centro) y curva de nivel del mapa base obtenida con Karttapullautin (derecha).....	44
Figura 37. Puntos 4 (izquierda) y 10 (derecha) respecto a la figura 36.....	44
Figura 38. Mapa de orientación (izquierda), curva obtenida con Karttapullautin (centro) y curva de nivel del mapa base obtenida con OL-Laser (derecha).....	45
Figura 39. Mapa de pendientes de la parte sureste del mapa.....	45
Figura 40. Mapa de orientación (izquierda) y mapa de cortados (derecha) de la parte sureste del mapa.....	46
Figura 41. Puntos 1 (izquierda) y 2 (derecha) respecto a la figura 40.....	47
Figura 42. Punto 4 respecto a la figura 40.....	47
Figura 43. Mapa de orientación (izquierda) y mapa de cortados (derecha) de la parte oeste del mapa.....	48
Figura 44. Mapa de pendientes de la parte oeste del mapa.....	48
Figura 45. Foto del punto 3 con distintos ángulos de toma respecto a la figura 43.....	48
Figura 46. Sombreado de relieve con un ángulo de iluminación de 45° (izquierda) y de 310° (derecha).....	49
Figura 47. Sombrado de relieve (ángulo de iluminación 310°) de la zona norte del mapa resaltando algunos elementos detectados.....	49

Figura 48. Zona norte del mapa de orientación resaltando algunos elementos detectados por el sombreado de relieve.....	50
Figura 49. Toma 1 (izquierda) y 2 (derecha) respecto la figura 48.....	50
Figura 50. Sombreado de relieve (ángulo de iluminación 310°) de la zona sur del mapa resaltando algunos elementos detectados.....	51
Figura 51. Zona sur del mapa de orientación de la zona sur del mapa resaltando algunos elementos detectados por el sombreado de relieve.....	51
Figura 52. Gráfico mostrando la reflectividad de la vegetación seca, húmeda y suelo según longitud de onda. En púrpura la longitud de onda del LiDAR.....	52
Figura 53. Valores de reflectividad de ditintos materiales para una longitud de onda de 900 nm.....	52
Figura 54. Mapa de orientación (izquierda) e imagen de intensidad (derecha) con los elementos extraídos marcados en diferentes colores.....	53
Figura 55. Puntos 1 (izquierda) y 2 (derecha) correspondientes con la figura 54.....	54
Figura 56. Puntos 3 (izquierda) y 4 (derecha) correspondientes con la figura 54.....	54
Figura 57. Mapa de orientación (izquierda) e imagen de intensidad (derecha) con los elementos extraídos en marcados diferentes colores.....	54
Figura 58. Punto 5 con diferentes ángulos de toma correspondientes a la figura 57.....	55
Figura 59. Puntos 6 (izquierda) y 7 (derecha) correspondientes a la figura 57.....	55
Figura 60. Puntos 8 (izquierda) y 9 (derecha) correspondientes a la figura 57.....	55
Figura 61. Barra de herramientas Georeferencing de ArcMap.....	56
Figura 62. Herramienta de <i>Clip</i> de ArcMap.....	57
Figura 63. Imagen recortada y reclasificada del mapa de orientación (izquierda), nMDS (centro) e imagen combinada (derecha).....	57
Figura 64. Mapa de orientación (izquierda), nMDS (centro) y mapa de vegetación generado por Karttapullautin (derecha).....	59
Figura 65. Puntos 1 (izquierda) y 2 (derecha) respecto la figura 64.....	60
Figura 66. Perfil transversal sobre una zona de matorral y vegetación medio-alta.....	60
Figura 67. Mapa de orientación (izquierda) y nMDS (derecha) de la zona centro del mapa.....	61
Figura 68. Punto 5 (izquierda) Claro con bosque limpio (405.0), punto 6 (centro) representando un verde 2 (408.0) y punto 7 (derecha) un verde 1 (406.0) respecto a la figura 67.....	61
Figura 69. Mapa de orientación (izquierda), nMDS (centro) y mapa de vegetación generado por Karttapullautin (derecha) de la zona oeste del mapa.....	62
Figura 70. Punto 3 respecto a la figura 69.....	62

Figura 71. Punto 4 respecto a la figura 69.....	63
Figura 72. Perfil transversal creado con Fugroviewer sobre zona de vegetación baja detectada como suelo.....	63
Figura 73. Densidad relativa 0.3 – 1 m.....	63
Figura 74. Densidad relativa 1 – 3 m.....	64
Figura 75. Uno de los dos entrenamientos hechos para evaluar el mapa.....	65
Figura 76. Resultado de la encuesta sobre la calidad del mapa.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Algunas de las características técnicas de los vuelos LiDAR del PNOA.....	9
Tabla 2. Productos elaborados con LiDAR para el objeto del trabajo.....	30
Tabla 3. Símbolos del mapa de orientación acorde con la ISOM utilizados en los resultados....	41
Tabla 4. Píxeles detectados entre las diferentes clases de los mapas del nMDS y mapa de orientación.....	58
Tabla 5. Porcentaje de píxeles detectados entre las diferentes clases de los mapas del nMDS y mapa de orientación.....	58
Tabla 6. Píxeles detectados entre las diferentes clases de los mapas generados con Karttapullautin y mapa de orientación.....	58
Tabla 7. Porcentaje de píxeles detectados entre las diferentes clases de los mapas generados con Karttapullautin y mapa de orientación.....	59
Tabla 8. Símbolos del mapa de orientación acorde con la ISOM utilizados en los resultados....	65

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción

El levantamiento de un mapa de orientación requiere mucho tiempo de trabajo de campo para un cartógrafo especializado. Los mapas de orientación son mapas topográficos con una simbología especial que ayuda al corredor a navegar por la zona. Son mapas mucho más detallados que los topográficos incorporando una simbología estandarizada.

Las carreras de orientación se desarrollan principalmente en áreas boscosas. La fotogrametría ha sido la principal fuente de obtención de curvas de nivel para los mapas de orientación obteniendo resultados realmente buenos en terrenos continentales, con desniveles moderados-altos (Zentai L, 2013).

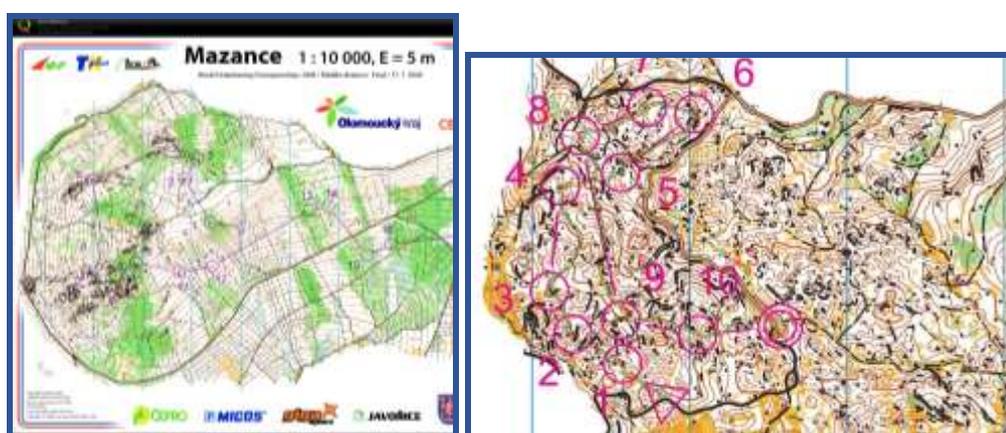


Figura 1. Mapa de orientación en un terreno continental (izquierda) y en un terreno kárstico (derecha).

Sin embargo, en terrenos de dunas, kársticos o volcánicos, que tienen una orografía más irregular, no se obtiene tanta precisión y calidad en la curva de nivel. En los últimos años, la tecnología LiDAR ha supuesto una ventaja para el cartógrafo ya que además de la obtención de la curva de nivel más precisa, se pueden obtener muchos elementos que se encuentran debajo de la masa boscosa. Esto evita estar trabajando en campo tantas horas con GPS o con métodos de triangulación para el posicionamiento de estos elementos. El LiDAR ha revolucionado la producción de mapas en el deporte de orientación ya que anteriormente estos mapas eran levantados a partir de una ortofoto y un mapa base generado por fotogrametría. La fotogrametría era capaz de detectar aquellos elementos en áreas abiertas o semiabiertas pero no detectaba mucha cantidad de elementos en áreas boscosas. Además en el último lustro han empezado a salir a la luz softwares gratuitos como OL-Laser y Karttapullautin que permiten generar mapas semi-automáticos de orientación a partir de datos LiDAR. Estos programas son de un fácil manejo y cualquier persona que no esté directamente relacionada con el mundo de la cartografía los puede utilizar debido a su fácil manejo. Con la combinación de softwares gratuitos de datos LiDAR como LAsTools o FUSION se puede hacer el preprocesamiento de estos datos para luego procesarlos con los programas específicos para el deporte de orientación.

## 2. ANTECEDENTES TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS

### 2.1 LiDAR

LiDAR (*Light Detection And Ranging*) es un sistema basado en una combinación de tres sistemas de toma de datos diferentes: un láser escáner montado sobre un avión, un sistema de posicionamiento global (GPS) y un sistema inercial de navegación (INS) (Baltsavias, 1999). La tecnología del láser escáner aéreo ha influido en la captura de datos espaciales del territorio. La principal ventaja de LiDAR es la rapidez: permite capturar una gran nube de puntos en poco tiempo con una alta densidad. El láser implantado en el dispositivo aerotransportado emite una serie de señales en el terreno que son reflejadas en el sensor de vuelta. Sabiendo el tiempo de vuelo del haz y su velocidad (velocidad de la luz) se puede calcular la distancia entre el escáner y el punto.

Además, el sistema aerotransportado tiene GPS diferencial que dan la posición del avión o helicóptero y un sistema de navegación inercial (IMU) para determinar las orientaciones. Con estas dos componentes se puede determinar la posición del avión o helicóptero durante el proyecto de vuelo y junto a los datos del ángulo de barrido, se pueden determinar las coordenadas relativas de cada punto. La precisión de estos puntos vendrá marcada por la altura de vuelo, velocidad del vuelo, alineamiento GPS-INS... Hoy en días se pueden obtener precisiones en planimetría por debajo del centímetro y en altimetría por debajo de los 15cm. Los instrumentos LiDAR miden con una frecuencia de 150 KHz lo que significa que emiten y reciben 150.000 pulsos por segundo. Hoy en día los equipos láser escáner comerciales trabajan con una longitud de onda entre 800 nm y 1550 nm. Como la reflectividad de los objetos depende de la longitud de onda, los diferentes sistemas láser muestran diferentes ventajas y desventajas cuando se escanea parte de la superficie terrestre: cerca del espectro visible la absorción del agua es mayor y por lo tanto estas superficies raramente serán visibles (Vosselman y Maas, 2010).

Los principales resultados del láser escáner aéreo son nube de puntos georreferenciados conteniendo información de la intensidad y del pulso retornado (eco). Toda esta información de la nube de puntos tridimensional viene almacenada generalmente en formato LAS. El formato contiene datos binarios consistentes en tres grupos (Cerrillo, 2010):

- Bloque de cabecera pública: incluye la información básica del fichero y datos genéricos como el número de puntos y las coordenadas de la extensión espacial que cubre la nube de puntos.
- Registros de longitud variable: contiene diferentes tipos de datos incluyendo la proyección y los metadatos.
- Registros de la nube de puntos.
- 

Uno de los aspectos más importantes de este estándar es la clasificación, que indica el código que ha de ser asignado a cada punto en función del objeto sobre el que haya incidido el láser. En la figura 2 se muestra la clasificación según la versión 1.2 del estándar.

Classification Value (Levels)	Meaning
0	Created, Never Classified
1	Unclassified 1
2	Ground
3	Low Vegetation
4	Medium Vegetation
5	High Vegetation
6	Building
7	Low Point (noise)
8	Model Key Point (mass point)
9	Water
10	Reserved for ASPRS Definition
11	Reserved for ASPRS Definition
12	Overlap Points 2
13-31	Reserved for ASPRS Definition

Figura 2. Clasificación de los puntos según el estándar ASPRS versión 1.2.

De la nube de puntos se pueden generar dos tipos de superficies: un modelo digital del terreno (MDT) con los últimos retornos y un modelo digital de superficies (MDS) con los primeros retornos de cada pulso láser.

## 2.2 Deporte de orientación

El deporte de orientación es una actividad deportiva que requiere exigencias físicas e intelectuales. Se define como una carrera individual sobre terreno variado (bosques, ciudades, parques...) con un recorrido determinado por una serie de controles que el deportista debe descubrir por itinerarios elegidos por él mismo sirviéndose únicamente de un mapa y una brújula. El corredor de pasar por ciertos controles en orden que están marcados sobre el mapa de orientación con círculos rojos en el menor tiempo posible. Existen cinco modalidades distintas de orientación:

- Orientación a pie
- Orientación en bicicleta de montaña
- Raids de aventura: combina orientación a pie con bicicleta de montaña y deportes de aventura como tirolina, rapel, tiro con arco, escalada...
- Orientación en esquí de fondo
- Orientación de precisión: se creó especialmente para los minusválidos

Este trabajo se centrará en orientación a pie y sus mapas.



Figura 3. Thierry Gueorgiou, 7 veces campeón del mundo de orientación, picando un control.

### **2.2.1 Historia**

En el año 1890 el capitán del ejército sueco Enest Killander se dio cuenta que utilizando los mapas y la brújula como entrenamiento de sus soldados dotaba a éstos de seguridad en sí mismos, autocontrol y capacidad de decisión. La primera competición oficial fue en 1897 organizada por el club nórdico Tjalve en 1897. Desde 1942 ha sido asignatura obligatoria en todas las escuelas de Suecia. El primer campeonato del mundo se celebró en 1966 en Finlandia. Actualmente existen 73 países afiliados a la Federación Internacional con 8 millones de practicantes (FEDO, 2014).

En España fue introducida por el profesor sueco de INEF Martin Kronlund cuando se encargó de la realización del primer mapa de orientación con normativa internacional en el parque de la Casa de Campo (Madrid). Actualmente España tiene la Federación Española de Orientación (FEDO) y que está distribuida en 10 Federaciones Territoriales con un total de 8500 federados en total.

### **2.3 Mapas de orientación**

Los mapas de orientación son mapas topográficos detallados, donde el principal uso es dar al corredor una igual importancia a la navegación en un terreno desconocido. En el mapa de orientación debe estar representado aquellos elementos del terreno que sean útiles para la navegación como las curvas de nivel, las piedras, cortados, surcos o hoyos. También elementos hechos por el hombre como carreteras, caminos o edificios, elementos de agua y por último la presencia de vegetación. Ésta aparece reflejada según la dificultad que supone al tránsito y a la visibilidad. La Especificación Internacional de Mapas de Orientación (ISOM, 2000) define aquellos elementos que deben ser incluidos en los mapas de orientación. Además de definir la escala y simbología apropiada, la ISOM es la normativa que regula la producción de mapas.

Una de las principales características que les diferencia de los mapas topográficos es que en los mapas de orientación las líneas del norte magnéticos están dibujadas ya que es un apoyo importante para orientar el mapa y marcar rumbos con la brújula. Además otro punto que les diferencia es que las posiciones absolutas no son estrictamente exigidas, pero si las posiciones relativas entre elementos que hace ayudar al corredor a orientarse en un terreno desconocido. Las diferencias de alturas absolutas no son significativas mientras que las diferencias relativas de altura sí ya que son indispensables para la navegación en elecciones de ruta (Boström, 2011). En definitiva, la regla general es que un elemento deberá ser incluido en el mapa sólo si es importante, para la navegación de un corredor, representándolo a una determinada escala y para ello es indispensable una buena generalización cartográfica.

Existen diferentes tipos de mapas de orientación según su disciplina. En la que se centra este trabajo es en la realización de un mapa de orientación a pie. De acuerdo con la ISOM, la escala del mapa de orientación debería ser de 1:10.000 o 1:15.000, dependiendo de la distancia de la carrera y el tipo de terreno. La escala 1:10.000 es internacionalmente la más usada con una equidistancia de 5 metros. También para mapas en zonas en áreas llanas y con mucho detalle es posible utilizar una equidistancia de 2.5 metros.

Finalmente, existe también la Especificación Internacional para Mapas de Orientación Sprint (ISSOM). ISSOM está basada en ISOM, pero enfocada a una disciplina de orientación a pie más rápida y por tanto de lectura más veloz. Principalmente son mapas con más detalle de áreas urbanas o parques. Los mapas dibujados en ISSOM deben de tener una escala de 1:4.000 o 1:5.000 a una equidistancia de 2 o 2.5 metros.

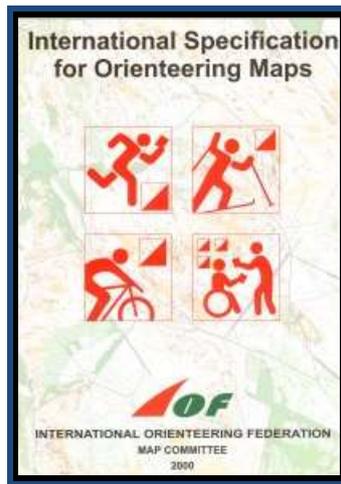


Figura 4. Portada de la ISOM.

## 2.4 Antecedentes LiDAR y mapas de orientación

Hoy en día, en Europa y en menor medida en Estados Unidos y Australia, se están produciendo mapas de orientación con mapas bases extraídas con tecnología LiDAR. Aunque LiDAR se conoce desde hace varias décadas no fue hasta 2004 en Suiza cuando se utilizó por primera vez aplicado a la realización de un mapa de orientación. Se hizo un estudio sobre el relieve obtenido a partir de LiDAR en un terreno con mapa previo en cuya elaboración se utilizó un mapa base elaborado con fotogrametría.

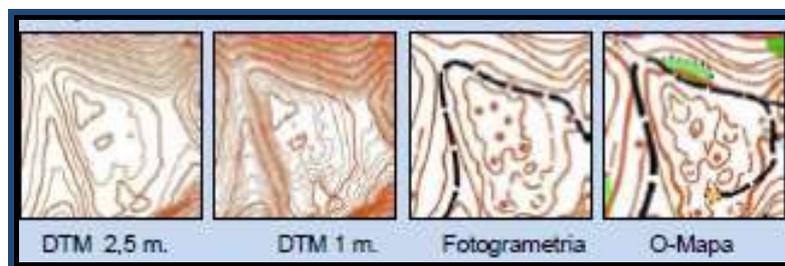


Figura 5. Primer ejemplo de la aplicación de los datos LiDAR en el deporte de orientación en Suiza(2004).De izquierda a derecha: comparación de curva de nivel obtenido por LiDAR con una equidistancia entre curvas de 2.5 metros, con 1 metro, obtenida por fotogrametría y el mapa final de orientación.

Se sacó la conclusión de que LiDAR proporciona una rápida obtención de datos, es posible combinarla con ortofotomapas y se reduce mucho trabajo de campo. También se hizo una comparativa de los precios de la misma área respecto a un levantamiento fotogramétrico saliendo LiDAR significativamente más barato. Por otro lado uno de los inconvenientes sería el excesivo detalle de relieve que puede conducir a una mala legibilidad por parte del corredor y a una mala generalización del mapa. Suiza ya disponía en 2004 de MDT de todo su territorio levantado con datos LiDAR (Zentei, 2010).

Suecia desde 2013 posee todo su territorio cubierto con datos LiDAR. Hasta 2013, empresas privadas hacían levantamientos LiDAR expresamente para la realización de un mapa base de orientación. En general eran áreas de 10-20 km<sup>2</sup> siendo excesivamente caro la producción del

mapa base. En 2010, el sueco Jerker Boman creó el software libre OL-Laser capaz de manejar archivos .las y crear contornos, modelo de pendientes, relieve o taludes (Hederskoy Lysell, 2010).

En Noruega empezaron a experimentar con LiDAR para mapas de orientación en 2008 a cargo de la empresa noruega BLOM. Se extrajeron además del modelo digital del terreno, modelo de sombras, relieve, intensidades y altura de vegetación que podían servir de ayuda para la elaboración del mapa. El primer Campeonato del Mundo donde los mapas base se llevaran a cabo con LiDAR fue en Trondheim (2010). La empresa TerraTec se encargó de la captura de los datos y el procesado. El mapa base lo componía la curva de nivel a 1.25m de equidistancia obtenida con el Modelo Digital del Terreno junto los edificios, caminos o elementos de agua que fueron obtenidos por fotogrametría digital (Tveite y Lien, 2010).

En Dinamarca empezaron a utilizarlo en 2007 cuando tenían todo su territorio cubierto con 1 ptos/m<sup>2</sup>. Actualmente disponen de una densidad de 4 ptos/m<sup>2</sup>. En Letonia, se empezó a utilizar en 2008 para la elaboración del mapa base del Campeonato de Europa de 15 km<sup>2</sup> con una densidad de 10 ptos/m<sup>2</sup> (Norgaard, 2010).

Por otra parte en Finlandia disponen de un portal de descargas abierto de archivos LiDAR con una densidad de 0.5 pto/m<sup>2</sup>. El finlandés Jarkko Ryyppö creó en 2010 el software libre Kartapullautin capaz de generar mapas automáticos de orientación con archivos LiDAR. El programa crea contornos suavizados, depresiones, elementos del terreno como montículos o cortados y densidades de vegetación.

En España, el primer experimento se realizó en la Fageda d'en Jordà (Girona) en 2011 por un grupo de orientadores pertenecientes al ICC (Institut Cartogràfic de Catalunya). Se generó un MDT con curva a equidistancia de 2 metros mediante TerraScan v10.21 y TerraModeler v10.9. Las curvas de nivel se generaron utilizando los puntos más importantes mediante el algoritmo "Contours keypoints", algoritmo de simplificación del modelo TIN. Posteriormente se realizó el trabajo de campo. Debido a la baja densidad de puntos (0.5 puntos/m<sup>2</sup>) no se obtuvieron mejores resultados de cara a la obtención de otros objetos del terreno como caminos, rocas o muros de piedra (Santoyo Medina, 2011).

### **3. OBJETIVO**

Una vez se han comentado los antecedentes sobre la tecnología LiDAR y la relación con los mapas de orientación se pueden plantear los siguientes objetivos:

- Desarrollo de una metodología para reducir el tiempo de levantamiento de un mapa de orientación en un terreno de dunas utilizando datos LiDAR.
- Extracción de elementos tanto puntuales (hoyos, montículos, piedras...), lineales (curva de nivel, cortados...) como de área (zonas de agua, edificios, vegetación...) que son importantes de cara a la navegación en un mapa de orientación. La curva de nivel y la vegetación tendrá un papel más importante debido a que son los elementos más importantes en el tipo de terreno del área de trabajo.
- Utilización y evaluación de diferentes softwares gratuitos de preprocesado y procesamiento de datos LiDAR como FUSION y LAsTools aplicándolos para el levantamiento de un mapa de orientación.
- Utilización y evaluación de diferentes softwares gratuitos como OL-Laser y Karttapullautin especializados en el deporte de orientación y tratamiento de datos LiDAR.
- Obtención de los mejores parámetros para la generación de diferentes resultados de cara a la extracción de elementos para el mapa de orientación.
- Trabajo de campo y levantamiento del mapa de orientación utilizando como mapa base el conjunto de resultados obtenidos anteriormente con los datos LiDAR. Hacer especial hincapié en la generalización del mapa de cara a la velocidad de navegación debido a que los resultados de los datos LiDAR tienen mucha precisión y abundan los elementos.
- Comparación y análisis de los distintos resultados obtenidos con los distintos softwares y el mapa de orientación final

## 4. DATOS, ÁREA DE TRABAJO Y SOFTWARE UTILIZADO

### 4.1 Zona de estudio

La zona de estudio para la realización del trabajo es una zona de dunas situada entre los pueblos de Guardamar del Segura y La Mata (Torrevieja), al sur de la provincia de Alicante. Al este limita con la carretera nacional N-332 y las Lagunas de la Mata y al oeste con el mar Mediterráneo.



Figura 6. Zona del área de estudio detallada.

El sistema dunar estudiado ocupa a lo largo de la costa, una faja de unos 4 Km. y alcanza entre 300 y 600 metros de ancho, con alturas hasta 15 metros. El área total del trabajo tiene una extensión de 65 hectáreas aproximadamente, de donde el 10% pertenece a zona residencial, 15 % a dunas abiertas y el 85% a dunas cubierta por masa forestal. En las zonas forestales se encuentran zonas con diferentes densidades de vegetación. En la parte más cercana a la línea de costa se encuentran arbustos, pino bajo (*Pinus pinea*) y matorral. En las zonas más alejadas hay pinos más altos siendo las dos especies predominantes: "*Pinus halepensis* Miller" y "*Pinus pinea* L." (Romero Castellanos, 2007). En menor medida se pueden encontrar zonas aisladas con eucaliptos o palmeras. Se pueden encontrar en las zonas interiores del sistema dunar pinos con alturas entre 5 y 15 metros mientras que en las zonas más cercanas a la playa se encuentra vegetación más densa de altura que varía entre 1 y 2 metros.

El suelo es generalmente arenoso, y en la primera línea de dunas se pueden encontrar dunas móviles. Apenas existen rocas o piedras en el área de trabajo. Generalmente cerca de las edificaciones el suelo es menos arenoso y rugoso y existen más áreas asfaltadas. El desnivel del terreno es generalmente medio-bajo pero se acentúa la pendiente en zonas cercanas a algunas crestas dunares.

### 4.2 Datos de partida

Los datos de partida son datos LiDAR, ortofoto adquirida del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea), Modelo Digital del Terreno con malla de 1x1 metro del ICV (Instituto

Cartográfico Valenciano) y datos de la cartografía vectorial 1:5000 de la Comunidad Valenciana.

Los datos LiDAR provienen del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). El principal producto generado es el fichero LAS ajustado al terreno, en ficheros con una extensión de 2x2 Km sin clasificar y con alturas elipsoidales. Los ficheros vienen en proyección UTM huso 30 y sistema geodésico de referencia ETRS89. Los datos se adquirieron en 2009 para la provincia de Alicante. La precisión de las coordenadas de la nube de puntos LiDAR, dependerá de la precisión con la que se obtengan en cada momento, la posición y orientación del sensor, por lo que el proyecto PNOA la distancia entre el receptor GPS/GNSS instalado en el avión y la estación de referencia GPS colocada en tierra, tiene que ser menor de 40 kilómetros.

Algunas características del vuelo LiDAR sacadas de las Especificaciones Técnicas del PNOA se han adjuntado en la tabla 1.

	FOV Max	Frec. Escaneado	Frec. Pulso mín.	Densidad promedio	Distancia nominal entre puntos	Recubrimiento transversal	Precisión altimétrica nube de puntos
<b>LiDAR</b>	50°	40-70 Hz	45 Hz	0.5 ptos/m2	1.4 metros	>15%	<0.20 metros

Tabla 1. Algunas de las características técnicas de los vuelos LiDAR del PNOA.

Para el área de estudio se necesitaron 4 ficheros LAS que equivalen a 4 hojas de 2 kilómetros por 2 kilómetros. Cada hoja viene definida por X en su esquina inferior izquierda y su Y en la esquina superior derecha en UTM.



Figura 7. Cuadrículas de 2 Km x 2 Km del PNOA utilizadas en el trabajo.

Los ficheros LAS del PNOA utilizados para la zona de trabajo fueron:

- PNOA\_L3\_2009\_MUR-CLM-VAL\_25cm\_VLC\_las\_sc\_091120\_706-4212.las
- PNOA\_L3\_2009\_MUR-CLM-VAL\_25cm\_VLC\_las\_sc\_091120\_706-4214.las
- PNOA\_L3\_2009\_MUR-CLM-VAL\_25cm\_VLC\_las\_sc\_091120\_704-4212.las

- PNOA\_L3\_2009\_MUR-CLM-VAL\_25cm\_VLC\_las\_sc\_091120\_704-4214.las

Desde la sección de descargas de la página web del ICV (Instituto Cartográfico Valenciano) se pudieron obtener los siguientes productos:

- Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de 2009 obtenido con LiDAR con tamaño de píxel de 1 metro en formato ERS.
- Cartografía BCV 05. Cartografía vectorial de la Comunidad Valenciana en formato SHP a escala 1:5000
- Ortofoto a escala 1:5.000 de la Comunidad Valenciana 2012. Resolución espacial de 25 centímetros y formato ECW.

Todos los archivos fueron descargados únicamente del municipio de Guardamar del Segura. Todos están en proyección UTM huso 30 y sistema geodésico de referencia ETRS89.

### **4.3 Software empleado**

Durante el trabajo se ha utilizado software de diferente tipo, libre y comercial, primero para el procesado y tratamiento de los datos y segundo para el diseño cartográfico.

#### **ArcGIS 10.2**

ArcGIS es un conjunto de de aplicaciones SIG que permiten al usuario crear, analizar, almacenar y difundir datos, y modelos 3D. ArcGIS incluye las herramientas ArcReader, ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene y ArcGlobe, pero sin duda la más utilizada en este trabajo ha sido ArcMap. También incluye las aplicaciones ArcGIS Server para la publicación y gestión web y ArcGIS Móvil para la captura y gestión de información en campo.

#### **Global Mapper 10**

Global Mapper es un software comercial desarrollado tanto para SIG como para tratamiento de datos espaciales. Además de su bajo precio, es capaz de aceptar más de 250 formatos de datos espaciales, tiene un módulo para LiDAR y su procesado y puede generar curvas de nivel personalizadas, perspectivas en 3D o análisis con MDT entre otros.

#### **OCAD 10**

OCAD es un software comercial suizo para el dibujo de mapa de todo tipo (topográficos, excursionismo, bicicleta, ciudades). Posee todo tipo de herramientas para el diseño y dibujo cartográfico, editor de simbología, herramientas de generalización cartográfica, georreferenciación o derivación de curva de nivel desde un MDE. Por otro lado, también dispone de otros paquetes para importar y exportar datos espaciales y capturarlos o la publicación de mapas en Internet.

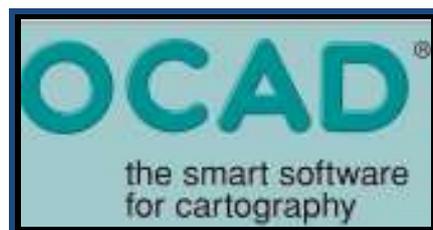


Figura 8. Logo de OCAD.

## FUGROVIEWER 2.0

Fugroviewer es un visor de datos LiDAR gratuito. Fugroviewer permite visualizar diferentes formatos LiDAR (LAS, ASCII, LAZ...) y examinar la nube de puntos según su clasificación, intensidad, altura, pasada o número de retorno. También crea TIN's, curva de nivel o la visión de perfiles 2D y 3D de la nube de puntos.

## FUSION 3.42

FUSION es un software libre desarrollado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (*US Forest Service, Department of Agriculture*). FUSION permite la visualización de datos LiDAR y su procesamiento que ayuda a entender, explorar y analizar estos datos. Las herramientas pueden manejar tareas básicas y avanzadas, tratando con archivos grandes de datos y producir diferentes productos desde ficheros LiDAR, incluido Modelos Digitales de Terreno y Elevaciones.

El software está dividido en un sistema de análisis y visualización (FUSION y LDV) y una biblioteca de comandos ejecutables. Estos son programas independientes que se ejecutan directamente sobre MS-Dos.



Figura 9. Logo de FUSION.

## LAStools

LAStools es uno de los tres softwares gratuitos creados por la compañía *rapidlasso* del ingeniero Martin Isenburg de la Universidad de Carolina del Norte. Este software contiene una gran variedad de extensiones para el manejo, análisis, desarrollo y publicación de archivos LAS. Entre otras cosas puede clasificar, recortar, crear contornos y TIN's o filtrar datos LiDAR.



Figura 10. Logo de rapidlasso.

### **Karttapullautin**

Karttapullautin es un ejecutable programado por el finlandés Jarkko Ryyppo en 2011. Su uso es principalmente para las carreras de orientación o carreras de aventura. Reconoce archivos LiDAR y el programa automáticamente crea un pseudo mapa de orientación con curva de nivel (con depresiones), cortados, agua y vegetación. También se pueden insertar datos vectoriales (edificios, carreteras...)

### **OL-Laser**

OL-Laser es un programa gratuito diseñado por el sueco Jarker Borman y se financia con las donaciones de los usuarios. Utiliza archivos LAS para crear modelos GRID/TIN y curvas de nivel con equidistancia elegida por el usuario. Crea también imágenes de la pendiente, sombreado, intensidad o clasificación de puntos.

### **Purple Pen 2.4.0**

Es un software gratuito que permite trazar carreras y entrenamientos de orientación. Es totalmente compatible con OCAD.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Introducción

El objetivo principal es la obtención de una metodología para el levantamiento de un mapa de orientación utilizando datos LiDAR. El proceso empieza por el preprocesado de datos LiDAR para la generación de modelos digitales. Tras el preprocesado, se procesarán los modelos digitales y los datos LiDAR para la obtención de distintos elementos que deberían ser representados en un mapa de orientación como cortados, curvas de nivel, densidades de la masa forestal, áreas abiertas, depresiones o caminos. Se trabajará con diferente software para así comparar distintos modelos y resultados. Posteriormente, se añadirán datos vectoriales como delimitación de urbanizaciones, carreteras o edificios y de datos ráster como la ortofoto para mejorar la interpretación. Todo lo obtenido anteriormente se integrará para crear un mapa base final georreferenciado que servirá de base para trabajar en campo y obtener un mapa de orientación. Por último, se irá al terreno a realizar el trabajo de campo, dibujando sobre un papel vegetal y de fondo el mapa base obtenido con LiDAR. El trabajo de campo se digitalizará y se dibujará con OCAD.

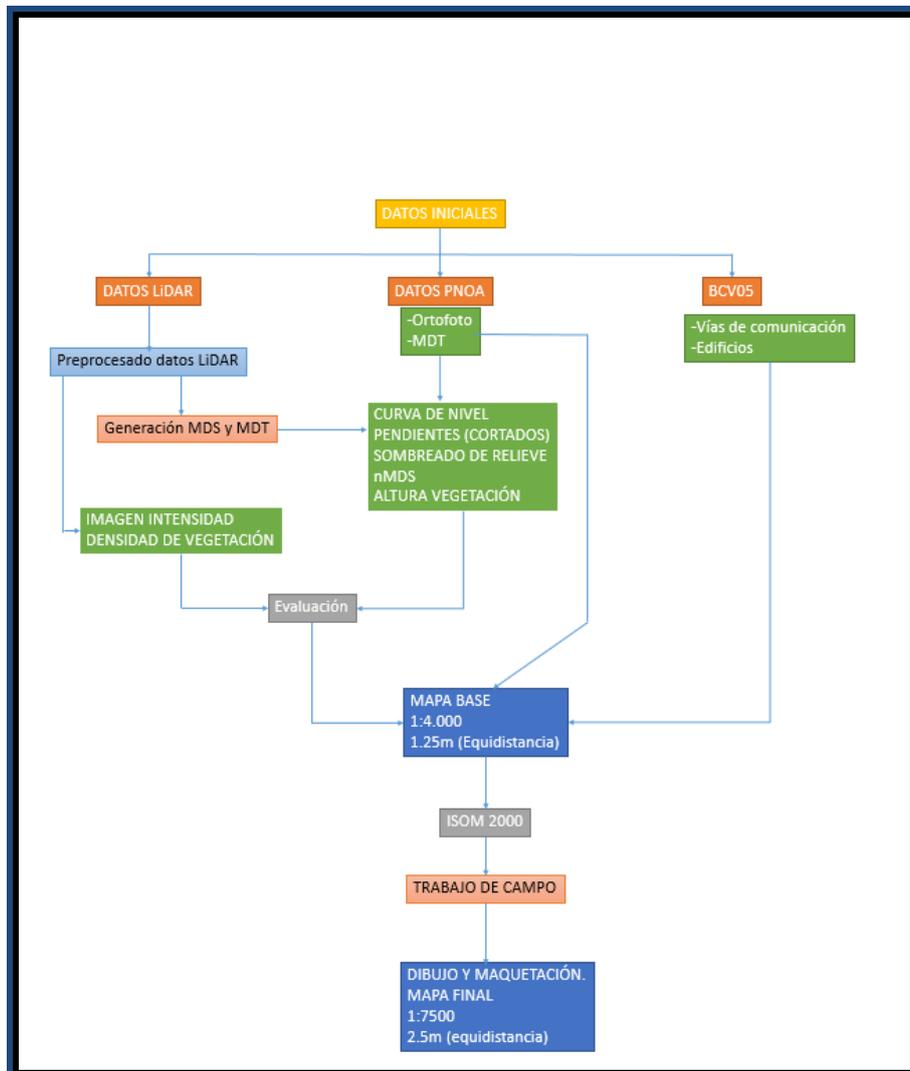


Figura 11. Esquema de la metodología seguida.

## 5.2 Preprocesado de datos LiDAR

Para el preprocesado de los datos LiDAR se utilizó el programa LASTools. LASTools funciona con diferentes herramientas que son ejecutables y dónde se pueden modificar los parámetros. El objetivo es conseguir los Modelos Digitales del Terreno y de Elevaciones del área, la densidad de la vegetación y la imagen de intensidad.

Los datos de partida son 4 ficheros LAS de 2x2 kilómetros cada uno (ver fig. x). Todos ellos en altitudes elipsoidales referidas al elipsoide SGR80 y en proyección UTM zona 30 con sistema de referencia ETRS89. No hizo falta cambiar de altitudes elipsoidales a ortométricas ya que para un mapa de orientación no adquiere importancia las alturas absolutas sino las relativas.

Para llevar a cabo el preprocesado se siguieron una serie de pasos utilizando las siguientes herramientas:

- *lasmerge*: la herramienta lee múltiples archivos LAS/LAZ/ASCII y los junta en uno simple en formato LAS/LAZ/ASCII. En este caso se unieron los 4 archivos LAS en un único. El archivo final guarda el número total de puntos (11.804.263), los números de retorno y la X e Y máxima y mínima.

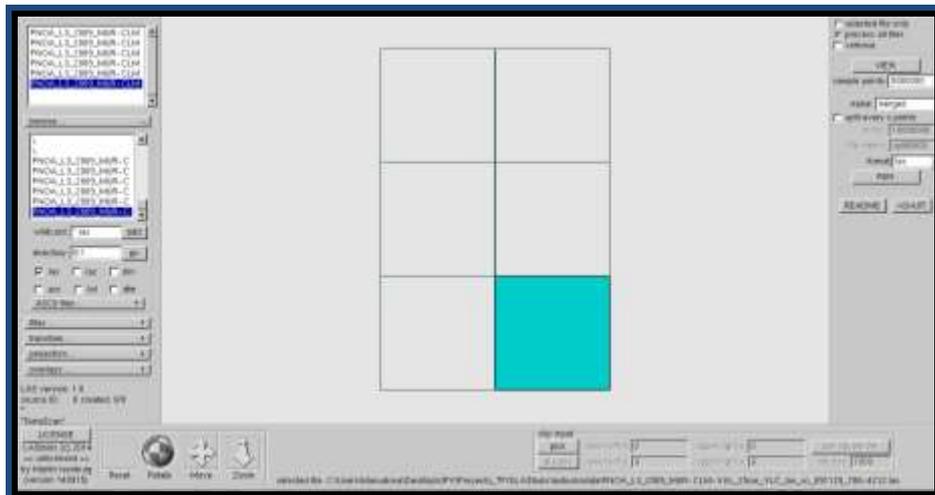


Figura 12. Ejemplo de la herramienta *lasmerge* de LASTools.

- *lasclip*: para reducir el tamaño del archivo anterior y centrarse en el área del trabajo. Esta herramienta elimina todos los puntos que están fuera del polígono de recorte. Para la creación de este polígono se utilizó ArcMap y se creó nuevo shapefile. Se dibujó un nuevo polígono sobre una ortofoto de fondo como referencia y se guardó el shapefile en formato SHP. Es importante que la ortofoto y el SHP guardado tengan el mismo sistema de proyección y referencia que los archivos LAS. Además, *lasclip* tan sólo acepta SHP o TXT. De esta forma se ha recortado el área de trabajo y reducido el número de puntos. El archivo pasa de un tamaño de 322.775 KB a 100.528 KB.

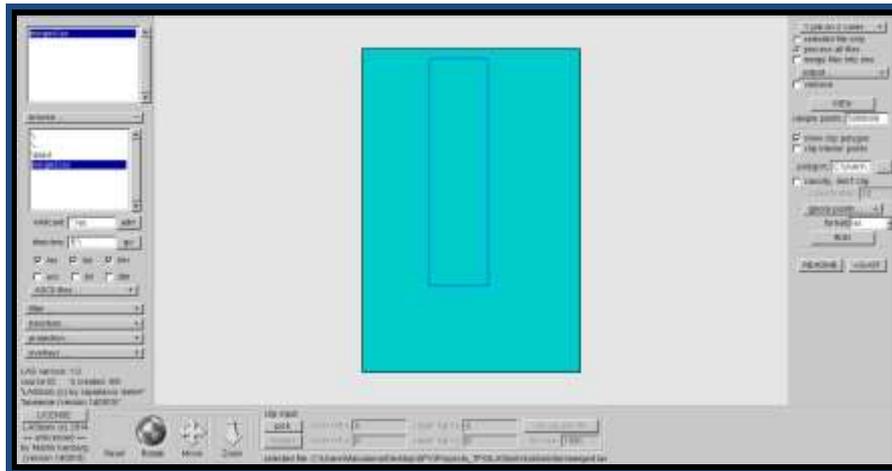


Figura 13. Ejemplo de la herramienta *clip* de LAStools.

Visualizando la nube de puntos con ArcMap se observa que existen puntos extremadamente altos o bajos fuera del rango de elevaciones en el área. El rango anterior del filtrado era de puntos entre -561.54 y 563.55 metros. Estos puntos altos provienen principalmente del choque del láser con pájaros o aerosoles mientras los bajos por el *multipath* del láser

*-lasnoise*: sirve para eliminar aquellos puntos de ruido que existen en la nube de puntos.. Se ha dejado los parámetros (*step* e *isolated*) por defecto. La herramienta elimina aquellos puntos que tienen 5 o menos puntos en su alrededor de una malla 3 por 3 por 3 (con el respectivo punto en el centro de la celda) dónde cada celda es de 4 por 4 por 4 metros de tamaño. El resultado es bastante bueno, eliminando todos los puntos de ruido. Tamaños de celda más grandes habrían dejado como puntos de ruido aquellos puntos de ruido aislados cerca del suelo. Para un tamaño de celda muy pequeño, por ejemplo aquellos puntos cercanos al suelo pero que pertenecen realmente a vegetación baja podrían haber sido eliminados cuando no tendrían que haber sido. Acorde con la densidad de la nube de puntos LiDAR se habría introducido unos parámetros u otros.

El único problema de este filtrado son los puntos correspondientes a zona de mar que se sitúan al este de la zona de trabajo. Como los puntos de mar no interesan para el objetivo del trabajo se decidió eliminarlos. Al principio se intentó hacerlo recortando los puntos que tengan una altitud más de 50 metros, sabiendo que 50 metros es la altitud elipsoidal del nivel del mar. No se obtuvieron muy buenos resultados debido a que algunos puntos correspondían a olas que tenían una altura mayor que la línea de costa. Finalmente, se utilizó de nuevo la herramienta *lasclip* de LAStools. Se importó un polígono en SHP creado en ArcMap que delimitaban los puntos de mar. Se utilizó la ortofoto de fondo para delimitar el área.



Figura 14. Puntos de mar clasificados como suelo en color púrpura en la parte derecha de la imagen.

*-lasground*: esta herramienta clasifica los puntos LiDAR en suelo (clase 2) y en puntos que no corresponden al suelo (clase 1 o puntos sin clasificar). Funciona realmente bien en terrenos naturales como montañas, colinas, campos o bosques. En el caso del trabajo, se han tenido que ajustar los parámetros al tipo de terreno, donde existen urbanizaciones y edificios en la parte oeste, bosque en el centro y al este dunas. Por defecto, para áreas de bosque trabaja con parámetros *step* igual a 5 metros. Cuando existen edificios más altos que 5 metros la herramienta tiene problemas para clasificar el suelo. En la zona de trabajo, los edificios más altos rondan los 20-22 metros. Se podrá comprobar midiendo la altura sobre los perfiles transversales creados con Furgroviewer. La herramienta coge por defecto tan sólo los puntos de último retorno. Los retornos anteriores no son considerados puntos de suelo. Para este proyecto he escogido la opción de *city or warehouses* ya que tiene el parámetro *step* en 25 metros, siendo suficiente para la zona y obteniendo un resultado bastante bueno.

### 5.3 Generación de Modelos Digitales

Una vez acabado está primera parte del preprocesado, el archivo de salida de *lasground* será utilizado como el de entrada para crear los modelos digitales. Se seguirá utilizando el software LAStools y en concreto la herramienta *las2dem* para crear dos Modelos Digitales distintos; el Modelo Digital de Superficie (MDS) y el Modelo Digital del Terreno (MDT).

*-las2dem*: la herramienta lee de entrada el archivo de salida de *lasground*, donde está la nube de puntos clasificada en suelo y no-suelo, la triangula temporalmente en un TIN (Triangulated Irregular Network) y luego la rasteriza para convertirla de un TIN a un Modelo Digital del Terreno (MDT) o un Modelo Digital de Superficie (MDS).

Para crear primero el MDS, no se cogen aquellos puntos pertenecientes al último retorno. LAStools tiene una opción llamada *filter* donde se puede filtrar qué puntos se quieren ejecutar según la clase o número de retorno (Ver figura 15). Se dejan los parámetros por defecto que ofrece LAStools. El MDS incluye todos los objetos sobre el terreno como la cubierta de los árboles, puentes, edificios.... El archivo de salida se guardó en formato ASCII.

Para crear el MDT, se cogen todos los puntos pertenecientes al último retorno (*last\_only*) y que además pertenezcan a la categoría suelo (*keep\_classification=nº2*). Al contrario que el

MDS, el MDT sólo incluye los puntos pertenecientes al terreno. El archivo de salida también se guardó en formato ASCII.



Figura 15. Ventana de filtrado de *las2dem*.

También se ha obtenido el Modelo Digital de Superficie Normalizado que se especifica en el apartado 5.5.1

### 5.3.1 Generación de curvas de nivel

La curva de nivel es uno de los elementos más importantes en un mapa de orientación. Indica la morfología del terreno y por lo tanto es uno de los elementos clave para la navegación. Como se dijo anteriormente, no importa las altitudes absolutas sino las relativas. La curva de nivel puede servir también para tomar elecciones de ruta mientras navegamos y así evitar grandes montañas o terrenos rugosos que ralentizan al corredor.

Especialmente en el área de trabajo es importante la curva de nivel ya que junto a la vegetación son los dos principales elementos a cartografiar. Excepto la parte oeste y sur del mapa, que está compuesto por urbanizaciones y edificios, el resto del mapa tiene una orografía de sistema dunar. Éste va formando pequeñas cordilleras alargadas y paralelas una con otra con dirección SO-NE. Entre cada cordillera se forman pequeñas ondulaciones del terreno o depresiones. En la parte más cercana a la costa, existe también mucho detalle en cuanto a la orografía ya que el viento la modula y existen cuantiosas depresiones, hoyos pequeños y montículos.

Al tratarse de un terreno relativamente llano, la altitud oscila entre los 0 y 15 metros, y con un terreno bastante irregular, la fotogrametría convencional tendría problemas para alcanzar la precisión y la equidistancia, que por ejemplo se pueden adquirir con los datos LiDAR. La fotogrametría convencional se podría haber utilizado para crear curvas de nivel en terrenos más montañosos o continentales.

La ISOM dice que para mapas de orientación a escalas de 1:10.000 o 1:15.0000 la equidistancia entre curvas de nivel debe de ser de 5 metros. Aun así, también especifica que para terrenos con alto detalle del terreno y llanos se puede usar una equidistancia de 2.5 metros. En el mapa a realizar se utilizará una equidistancia entre curvas de 2.5 metros. Como en el área de trabajo se dispone de una alta densidad de elementos de relieve, se utilizará cuando convenga, la curva auxiliar para ampliar la información del terreno en caso de que no pueda representarse con la curva de nivel normal. Entre dos curvas de nivel normales, tan sólo puede existir una curva de nivel auxiliar que en este caso estará a 1.25 metros. Por lo tanto, en la mayoría de los programas se utilizará una equidistancia de 1.25 metros aunque el mapa final tenga una

equidistancia de 2.5 metros. En el trabajo de campo se dibujará aquella curva auxiliar (1.25 metros) que sea importante para la navegación y la curva a 2.5 metros se dibujará siempre.

Para todos los programas, excepto para Global Mapper que se introduce un MDE, se usará como archivo de entrada "ground\_final.las", es decir, el archivo de salida de la herramienta *lasground* de LAsTools.

### 5.3.1.1 LAsTools

El software LAsTools también permite crear curvas de nivel a la equidistancia que quiera el usuario a través de la herramienta *las2iso*.

*-las2iso*: lee los datos LiDAR en formato LAS y extrae los contornos. Al igual que se hizo en la generación del DTM, se filtran los datos antes para seleccionar aquellos puntos que pertenezcan a la clase de suelo (*classification = nº2*) y que sean del último retorno (*last only*). La herramienta construye e interpola un TIN temporal y triangula aquellos puntos que se han filtrado. El parámetro concavidad se ha dejado el valor por defecto, que es 50. Lo que hace es eliminar todos los triángulos con una longitud de borde de 50 unidades que son adyacentes a la frontera. También se ha suavizado el TIN con dos pasadas. Tampoco es importante suavizarlo mucho porque se pueden extraer algunos elementos que suavizando más los contornos no se podrían extraer. Además, en este caso, no se han limpiado ni simplificado la curva de nivel de escasa longitud, ya que podrían ser interesantes para clasificar algunos hoyos o montículos en el trabajo de campo. La equidistancia se edita con el parámetros *units/isolines* y se cambia a que había por defecto que era 10 metros a 1.25 metros que es el objetivo de este trabajo. El archivo de salida es un SHP que luego se importará a OCAD para convertir esta capa a la simbología de un mapa de orientación.

### 5.3.1.2 OL-Laser

El programa sueco, dispone en la parte izquierda de una ventana de procesamiento y en el centro de una ventana de visualización. En la parte de arriba del programa se encuentran los ajustes de los parámetros que aparecen en inglés como *maintenance*. Existen parámetros para cada archivo de creación: GRID, curva de nivel, cortados, altura de la vegetación, sombreado de relieve, mapa de pendientes.... Estos parámetros se pueden modificar creando unos propios o dejando los que hay por defecto. El programa siempre pide al principio un archivo LAS de entrada (*open laserfile*) y después la creación de un GRID/TIN (*create GRID/TIN*).

El programa crea al principio un TIN o un GRID según se haya especificado en los ajustes. En el caso del trabajo, se ha creado un GRID con un tamaño de 1 metro de píxel. También hay que especificar qué puntos son los que se quiere coger. Al igual que para la generación de un MDT, se han cogido sólo puntos del último retorno y los que pertenezcan a la clase suelo. Una vez editados los propios parámetros del GRID, se construye éste. Se especifica en los parámetros de *contours* la equidistancia entre curvas de nivel que se quiera, en este caso 1.25 metros. También, se utilizará la opción de generalizar la curva con un factor de 5 y que la longitud mínima sea de 5 metros. Como se ha dicho anteriormente, no interesa mucho depurar la curva de nivel para el mapa base que se llevará a campo, puede haber pequeños detalles que sirven. La generalización de la curva se hará en el trabajo de campo y la digitalización. El archivo de salida se podrá guardar bien en formato OCD o bien en SHP.

### 5.3.1.3 Karttapullautin

El programa finlandés Karttapullautin funciona arrastrando el archivo LAS de entrada sobre un ejecutable y éste genera a través de una serie de algoritmos un mapa automático de orientación acorde con unos parámetros. Todos los ajustes se encuentran en un archivo de notas donde se editan los parámetros. Karttapullautin genera tres tipos diferente de archivos en formato DXF:

- Out.dxf: curva de nivel con una equidistancia de 5 metros y curva de nivel auxiliar a 2.5 metros sólo cuando sea necesaria entre curvas de nivel normales. La curva de este archivo viene sin ser generalizada.
- Out2.dxf: curva de nivel con una equidistancia de 5 metros y curva de nivel auxiliar a 2.5 metros sólo cuando sea necesaria entre curvas de nivel normales. La curva de este archivo sí que viene generalizada y depurada, simulando una curva de nivel de un mapa de orientación para su mejor legibilidad.
- Contours03.dxf: curva de nivel con equidistancia de 0.25 metros. Este tipo de curva podría ser útil para ayudar a situar pequeños detalles como agujeros, pequeños montículos o vaguadas estrechas. La curva de este archivo viene sin ser generalizada.

Todos estos archivos son fácilmente importables a OCAD, dónde tan sólo hay que hacer una conversión de capa a la simbología ISOM.

### 5.3.1.4 ICV

El Instituto Cartográfico Valenciano ofrece un servicio de descarga gratuita de varios productos. Entre ellos, se puede encontrar el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de 2009 con paso de malla de 1 metro y en formato ERS. El programa Global Mapper deja importar este formato y permita la visualización de éste.

El MDE descargado es de todo el municipio de Guardamar del Segura. Se puede importar también la ortofoto en formato ECW del municipio para así tener una mejor visualización del terreno y seleccionar el área que únicamente interese para el trabajo. Se generan las curvas de nivel gracias a la herramienta *generate contours*. En ella, hay que especificar la equidistancia que se quiere. En el caso de este trabajo será 1.25 metros. Para no crear los contornos de todo el municipio, lo cual tardaría bastante y ocuparía mucho, se selecciona el área de trabajo donde se quieran crear las curvas de nivel y para ello hay que apoyarse en la ortofoto. Una vez creadas, se exportan estos datos vectoriales a formato DXF a través de la herramienta *Export Vector Data*. A diferencia de LASTools o OL-Laser, Global Mapper no dispone de ninguna ventana de ajustes para editar los parámetros de la generación de curvas de nivel.

### 5.3.2 Generación de cortados

Los cortados es otro importante elemento en los mapas de orientación. Los cortados se pueden obtener una vez obtenido el MDT y su mapa de pendientes. Los cortados avisan de la peligrosidad y la transitabilidad y además puede ser un elemento para la lectura de mapa o para la situación de un control. La ISOM distingue entre cortados de tierra y de piedra, y entre ellos distingue entre cortados pasables e impasables. Además la altura mínima del cortado pasable para dibujarlo en un mapa ha de ser de 1 metro.

Aunque en el área de trabajo no es un elemento de total relevancia, sí que podría existir algún cortado artificial (hecho por el hombre) en las partes más próximas a las urbanizaciones. Para el objetivo de este trabajo, existen dos tipos de software que son capaces de detectar cortados mediante una serie de algoritmos: OL-Laser y Karttapullautin.

#### **5.3.2.1 OL-Laser**

El programa realiza los mismos pasos al principio que para la generación de curvas de nivel. Crea al principio un TIN o un GRID con un tamaño de 1 metro de píxel, filtrando aquellos puntos que pertenezcan sólo al último retorno y la clase suelo. Una vez construido el GRID ya es posible crear los cortados. Los parámetros a editar para la obtención de los cortados serán acordes con los que exige la ISOM. La altura mínima programada para detectar cortados es de 1 metro, con un ángulo mínimo de 45° y una longitud mínima de 2 metros. El programa no tiene la opción de separar cortados de tierra o de piedra (difícil con datos LiDAR) o entre pasables o impasables. Este trabajo de selección se tendrá que hacer en campo. El resultado se puede guardar bien en formato de imagen o bien en formato OCD para insertarla en el programa OCAD.

#### **5.3.2.2 Karttapullautin**

Además de los parámetros para ajustar la vegetación, curvas de nivel o montículos, el programa dispone de uno para ajustar los parámetros de los cortados. Por defecto, asigna dos tipos de cortados: el pasable con una altura mínima de 1.2 metros y el impasable con una altura mínima de 2.5 metros. Se dejan estos parámetros ya que siguen la normativa ISOM donde se especifica que la altura mínima a representar de un cortado es de 1 metro. El archivo de salida son dos DXF's, uno con los cortados pasables y otros con los cortados impasables. El DXF es fácilmente importado a OCAD y convertido a su símbolo correspondiente según la ISOM.

### **5.3.3 Obtención de variables derivadas**

A partir de un MDT se pueden obtener modelos derivados como mapa de pendientes, orientaciones, de redes de drenaje, sombreado...Especialmente para el objetivo del trabajo se utilizarán tan sólo el de pendientes y sombreado.

Para ambos mapas se han utilizado el software de OL-Laser para crear el sombreado del relieve. Como anteriormente se hizo, se ha creado un GRID con 1 metro de tamaño de píxel con sólo puntos del suelo y del último retorno.

#### **5.3.3.1 Sombreado del relieve**

El sombreado resalta las características del relieve mediante la iluminación de la superficie del terreno en función de la orientación y altura solares. Tiene dos objetivos principales; crear imágenes más realistas del terreno y la obtención de una iluminación local para determinar en una hora y día concreto si una zona está iluminada o bajo la sombra.

Se han obtenido dos tipos distintos de sombreado del relieve con dos ángulos de orientación solar diferente para comparar resultados. Para ambos, el ángulo vertical de iluminación ha sido de 45° y el tamaño de píxel de 0.5 metros. Por otro lado en uno el ángulo de dirección de iluminación ha sido 45° y en el otro de 310°.

Ambos mapas con distintos ángulos de dirección solar son realmente útiles de cara al cartógrafo para el levantamiento de un mapa de orientación. El sombreado permite una mejor visualización de la forma del terreno además de obtener elementos lineales. Los píxeles más claros indicarán mayor luminosidad y los más oscuros mayor zona de sombra. También se puede observar, al ángulo que se ha iluminado, que los píxeles más oscuros y los más claros pertenecen a zonas de mayor pendiente.

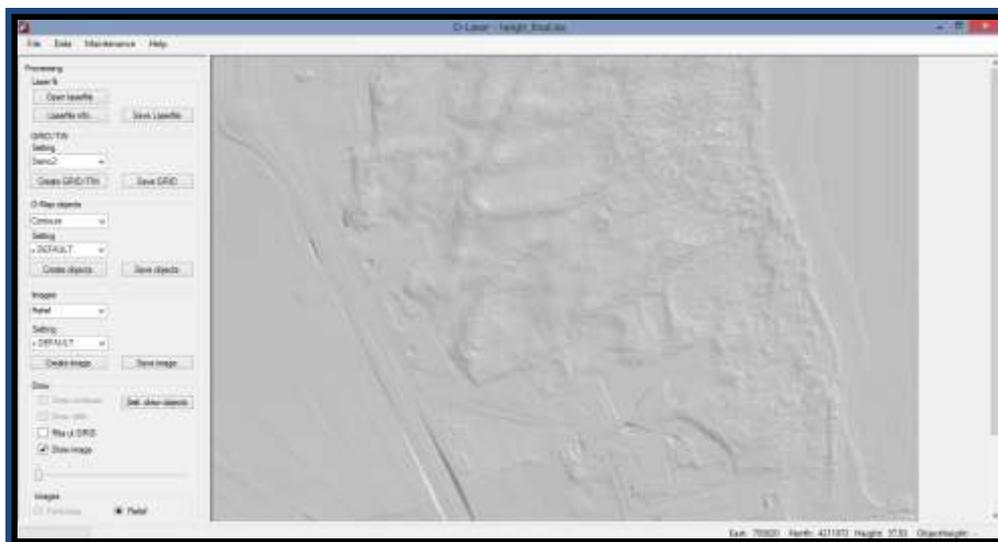


Figura 16. Ejemplo del programa OL-Laser. A la izquierda herramientas de procesamiento y en la parte central ventana de visualización, donde se aprecia el modelo de sombreado de relieve.

Superponiendo el sombreado del relieve con las curvas de nivel se puede visualizar hacia qué lado cae el terreno. Es decir, en la zona de trabajo existe multitud de curvas de nivel cerradas que a simple vista (o con la ayuda de la ortofoto) no se sabe si forman una cota o una depresión. Con la ayuda del sombreado se podrá intuirlo sin tener que comprobarlo en campo.

Por otra parte, se pueden detectar elementos lineales como arroyos, carreteras, rotondas, caminos, cortados de cultivo o la línea de costa. En algunos casos sólo supone la detección de estos elementos mientras en otros también puede servir de base para su digitalización.

### 5.3.3.2 Mapa de pendientes

En el mapa de pendientes cada píxel muestra la pendiente del terreno en grados ( $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ). La pendiente expresa la tasa de cambio de la elevación en cada píxel con respecto a sus píxeles vecinos.

El tamaño de píxel del mapa es de 1 metro y se ha utilizado una ecuación lineal para determinar el valor de grises con la pendiente. Cuanto más oscuro sea el píxel más pendiente y cuanto más claro menos pendiente. Los niveles digitales van desde 0(negro) que equivaldría con  $90^{\circ}$  hasta el 255( blanco) que equivale a  $0^{\circ}$ , es decir un terreno totalmente llano.

El principal uso para el mapa de pendientes sería de la detección de cortados, tanto naturales como artificiales. Estos últimos pueden ser de canteras, taludes de carreteras o de cultivos. También se pueden detectar caminos y la forma del terreno viendo cómo las áreas totalmente llanas (y que aparecen en color claro) pertenecen generalmente a depresiones o marjales cerca de la costa. Por el otro lado, se aprecia que tanto en la parte norte como en la parte sur

existen zonas de alta pendiente. En la zona sur se aprecia bien la alta pendiente de esas estrechas y alargadas crestas que van en dirección SO-NE.

## 5.4 Imagen de intensidad

La intensidad de retorno de los puntos LiDAR se relaciona con el ratio de cantidad de energía laser detectada por el sensor para un punto de reflexión dado por la cantidad de energía total emitida por el punto laser. Los valores de intensidad son recogidos por la mayoría de los sensores e incluyen los valores de intensidad en los archivos de la nube de puntos guardados en formato LAS. Los valores de intensidad son usados para crear una imagen. Cada píxel de la imagen es escalado según los valores mínimos y máximos a una paleta de escala de grises de 8-bit (0-255). Se crea un GRID y se asigna el valor medio de intensidad a cada celda de la malla.

Esta vez se ha creado la imagen de intensidad con el programa FUSION ya que LAsTools no tiene ninguna herramienta para crearla. Para ello se ha utilizado el comando de FUSION *IntensityImage*.

El comando *IntensityImage* crea una imagen con los valores de intensidad de la nube de puntos. Se asigna el valor medio de intensidad de todos los puntos de la nube que están en el píxel. La línea de comandos utilizada es la siguiente:

```
C:\FUSION\IntensityImage 1 C:\FUSION\intesity1m.jpg C:\FUSION\filtered_fusion.las
```

En la línea de comandos anterior se observa el comando de ejecución al principio, luego el tamaño de píxel de la imagen (1 metro) y el archivo de salida en formato JPG y por último el archivo de entrada en formato LAS.

## 5.5 Generación del mapa de vegetación

La representación de la vegetación es importante para el orientador ya que afecta a la transitabilidad y la visibilidad. Además es un elemento importante para la navegación y tomar elecciones de ruta.

El principio básico de la relación entre el color y la penetrabilidad viene expuesto en la figura de abajo.

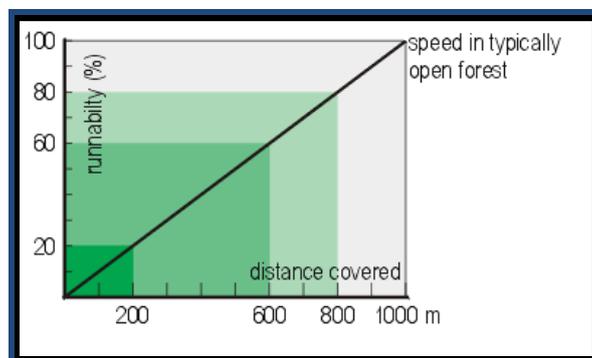


Figura 17. Relación entre la transitabilidad y la distancia cubierta para distintos tipos de densidad de vegetación en el bosque (ISOM).

El color amarillo, aunque no aparezca en la figura 17, representa zonas abiertas, sin árboles. Prados, zona de cultivos, playas...en un mapa de orientación.



orientador, se podría decir que un mapa de alturas de la vegetación, seleccionando los colores acordes con la ISOM, podría dar una primera aproximación. El único inconveniente, es que no se podrá obtener información sobre aquellos arbustos que queden por debajo de la copa de los árboles, como pueden ser manchas de lentisco (*Pistacia lentiscus*) y que tendrían que ser representados como un elemento más del mapa si su tamaño es suficientemente grande.

Se han utilizado dos softwares para clasificar la vegetación según la altura. Primero con LAStools y su herramienta *lasheight* se calcula la altura de cada punto sobre el suelo y se clasifican en las clases de altura que queramos. Este paso es imprescindible para luego usar la herramienta *lasclassify* y obtener los edificios. Por otra parte, se utilizó el software ArcMap para obtener un Modelo Digital de Superficies Normalizado.

#### 5.5.1.1 LAStools

-*lasheight*: calcula la altura de cada punto de la nube sobre el suelo. Para ello se tienen que haber clasificado los puntos del suelo con *lasground* y así pueden ser clasificados y usados para construir un TIN del suelo. Después se calcula la elevación de cada punto respecto a este TIN construido. Con esta herramienta, es posible también clasificar los puntos en las distintas clases. Para el objetivo de este trabajo, se ha clasificado la vegetación de la siguiente manera:

Suelo (*Ground*): puntos por debajo de 0.3 metros.

Vegetación baja (*Low vegetation*): puntos entre 0.3 metros y 1 metro.

Vegetación media (*Medium vegetation*): puntos entre 1 metro y 3 metros.

Vegetación alta (*High vegetation*): puntos más altos de 3 metros.

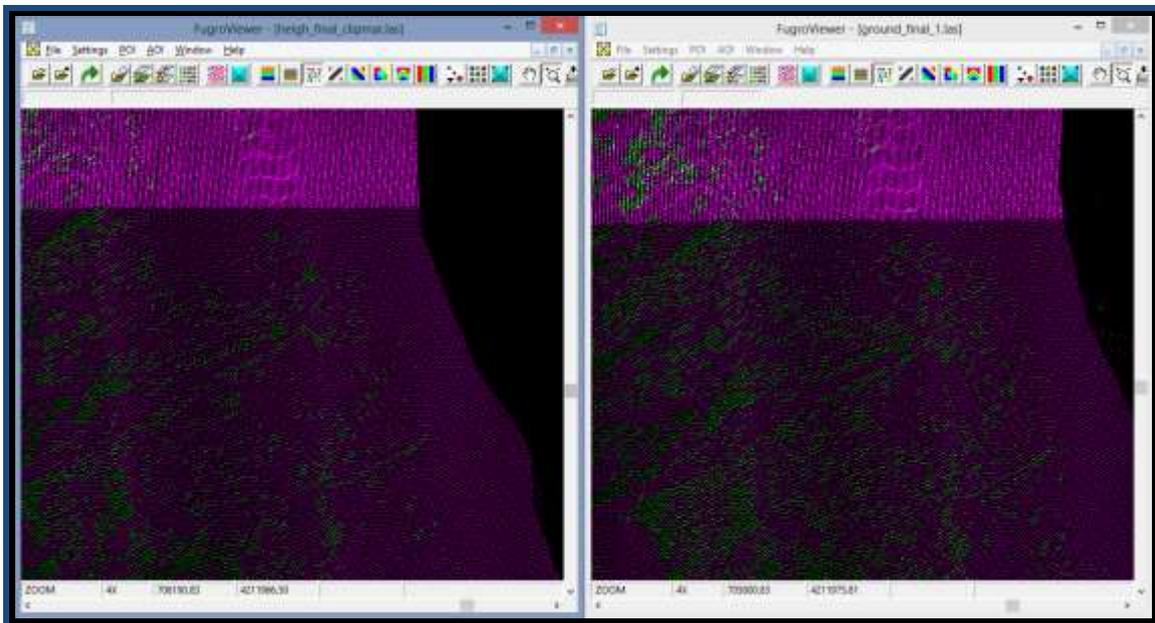


Figura 19. Nube de puntos clasificados por debajo de 0.30 metros como suelo en color púrpura (izquierda) y por debajo de 0.15 metros (derecha).

En la figura 19 se ve que cogiendo puntos como vegetación baja por encima de 0.15 metros coge mucho punto de matorral cerca de la costa que realmente no sirven para el análisis de este trabajo ya que no afectan a una transitabilidad desde el punto de vista de un corredor. Es

una altura demasiado baja, por eso se ha cogido finalmente 0.30 metros como límite entre suelo y vegetación baja.

### 5.5.1.2 ArcMap (nMDS)

Con el software ArcMap se han importado como capa los 2 Modelos Digitales de Elevaciones obtenidos: el MDT y el MDS. Gracias a la herramienta de calculadora de ráster (*Spatial Analyst* → *Raster Calculator*) se puede obtener este modelo. Se seleccionan como *inputs* el MDS y MDT. La operación será la diferencia de ambos modelos para así obtener el nMDS. (nMDS = MDS-MDT). De esta forma los objetos como edificios o vegetación se pueden distinguir más fácilmente de elementos de microrelieve y así poder obtener sus alturas.

## 5.5.2 Según la densidad

### 5.5.2.1 Karttapullautin

Uno de los puntos fuertes de este software es la vegetación. Karttapullautin es el único software dónde los algoritmos se diseñaron especialmente para calcular la el nivel de penetrabilidad del bosque para el deporte de orientación. Por defecto tiene asignado unos parámetros de vegetación que dan muy buenos resultados en bosques continentales y nórdicos (árboles altos y sin mucha zona de matorral). Para el terreno mediterráneo, dónde hay árboles más bajos y dispersos, se han tenido que cambiar bastante estos parámetros por defecto hasta que se han obtenido unos resultados más o menos aceptables. El primer parámetro, *greenground*, es para especificar a partir de que altura un punto se considera vegetación o suelo. En este parámetro se ha introducido 0.1 metros. El segundo parámetro es para delimitar los estratos verticales, puede haber tantos como se quieran. Si el bosque es denso, usualmente los primeros retornos son en la copa y el suelo así que el espacio entre el suelo y la copa queda vacía de puntos. Para el objetivo del trabajo se está interesado en conocer los puntos que quedan entre 0.3 y 3 metros principalmente sobre el suelo. El programa compara la cantidad del puntos entre cada estrato vertical (zona) y los contados por de debajo del parámetro de *greenground* (0.1 metros) (Ryyppo. J, 2014). Para el objetivo de este trabajo se han utilizado 3 zonas:

*zone1=0.3|2|99|1*

*zone2=2|5|11.0|0.2*

*zone3=5|25|49|0.1*

Para la primera zona, los puntos entre 0.3 y 2 metros sobre el suelo son calculados con un factor de 1 si el árbol (techo) es más bajo de 99 metros. Si el punto no fue calculado aún, puede golpear con la segunda zona, definida entre 2 y 5 metros si el “techo” del bosque es menor que 11 metros se cuenta, pero no factor 1 sino con el 0.2. Cuanto más se acerque el factor a 1 más verde será la zona. Conociendo la zona, se han adoptado estos parámetros ya que entre 2 y 5 metros los árboles tienen menos ramas mientras que entre 0.3 y 2 metros hay muchas más ramas y el pino más bajo es más denso.

El tercer parámetro son una serie de umbrales para el balance entre bosque alto y bajo.

*Thresold1=0.20|1|0.20*

*thresold2=1|3|0.20*

*thresold3=3|16|0.20*

$threshold4=16|20|0.10$

$threshold5=20|99|0.10$

Los primeros dos números son los límites inferior y superior del estrato vertical. El tercero es un valor de balance. Cuanto más bajo sea, más fácil que el bosque en ese estrato sea verde (más densidad). Se ha empezado con valores por defecto y probando con diferentes valores de balance se han conseguido los óptimos.

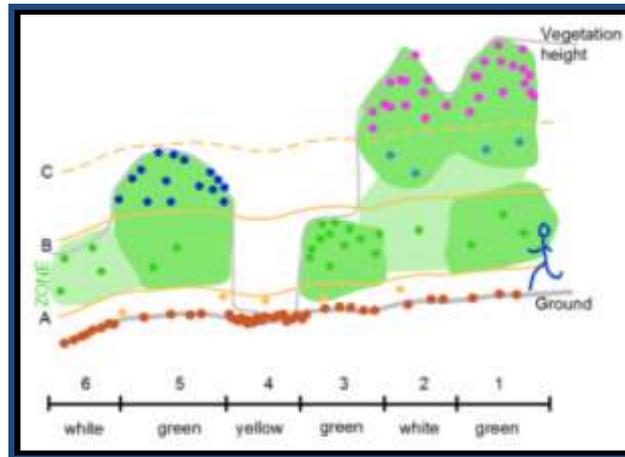


Figura 20. Muestra de los distintos estratos verticales (zonas).

En la figura 20 se aprecia un ejemplo de distintas zonas. Los puntos marrones y amarillos no son contados como zonas de verde sino como suelo. Los puntos entre el umbral A y B son contados como verde, que afectan a la transitabilidad del corredor. A los puntos azules se le asigna un peso menor puesto que son de otra zona más alta y los magentas no se cuentan ya que no afectan en cuanto a la transitabilidad del bosque.

El cuarto parámetro es para definir los tonos del verde. Se pueden tener tantos tonos de verde como se quieran. En un mapa de orientación sólo hay 3, desde más claro a más oscuro. En este caso se han definido 31. Luego con ArcMap se reclasificaron en tan sólo 3 que son los que se utilizarán para el análisis.

Los últimos parámetros utilizados son *blocksize* y *groundboxsize*. Ambos son parámetros que determinan el tamaño de celda de filtro. *Blocksize* es para calcular los verdes y *groundboxsize* los puntos del suelo. Con unos tamaños de *blocksize* de 4m x 4m y *groundboxsize* de 3m x 3m se han obtenido buenos resultados. Se ha comprobado que cuanto más pequeño sea el tamaño del bloque más dispersos son los píxeles pero más preciso en las localizaciones de los bordes de vegetación. Por otra parte cuanto más grande sean los bloques se adquieren unos colores más suaves y realistas pero menos precisos en cuanto a la localización de los límites de vegetación.

### 5.5.2.2 FUSION

El programa FUSION permite calcular la espesura de una masa forestal en cuanto su estructura horizontal como vertical con el comando *Cover.exe* (Fernández García, 2014). En cuanto a la estructura horizontal se puede calcular la Fracción de Cobertura (FCC), que es el porcentaje de suelo cubierto por la proyección horizontal de la vegetación. Al igual que con Kartapullautin, el trabajo se centrará en la densidad según los estratos verticales. De esta forma se calcula la densidad de ecos LiDAR por unidad de superficie considerada. En este caso

se calcula el % de densidad dividiendo el número de todos los retornos entre la línea de corte y un límite superior dado, por el número total de retornos (Fernández García, 2014). Se obtendrán dos resultados diferentes (En un rango de 0 a 100 %) para los dos estratos que interesan en este trabajo. El primer estrato está comprendido entre 0.3 metros y 1 metros, que correspondería a las zonas de vegetación baja. El segundo estrato está comprendido entre 1 y 3 metros, que correspondería a la zona de vegetación media. Resultados que tienen cierta relación con la vegetación del mapa de orientación final. Al analizar tan sólo esa parte del estrato vertical, es normal que en las partes de vegetación alta salgan valores intermedios debido a que muchos de esos puntos se quedan en las partes altas de las copas y no llegan a rebotar en valores situados entre 1 y 3 metros.

La línea de comandos general es la siguiente:

```
Cover [switches] groundfile coverfile heightbreak cellsize zyunits coordsys zone horizdatum  
vertdatum datafile...
```

El programa necesita un modelo del terreno (MDT) usado para normalizado todos los puntos de retorno. Algunos de los parámetros utilizados son detallados a continuación:

- *cellsize*: se introduce el tamaño de celda. El tamaño de celda recomendado es 15 metros. La razón es que los tamaños pequeños de celda suelen estar cubiertos por una única copa de árbol. De esta forma los valores toman valores cercanos a los límites: 0% o 100%. En el caso de esta zona y su tipo de bosque, con 15 metros es suficiente. En otras zonas con bosques donde la copa sea más pequeña se puede reducir el tamaño de muestra.
- *heightbreak*: se introduce la altura de corte del valor inferior del estrato. Para el primer caso de densidad será 0.3 y para el segundo 1.
- *switch /class*: se introduce el número de clases que se quieren seleccionar para el cálculo. En este caso se quiere calcular la densidad de la vegetación únicamente, es decir, las clases 3 (vegetación baja), 4 (vegetación media) y 5 (vegetación alta).
- *Switch /all*: se introducen todos los puntos de retorno.
- *Switch/upper*: se introduce el valor del límite superior del estrato vertical. Para la primera densidad será 1 y para la segunda 3.
- *xyunits*: se definen las unidades para las coordenadas X e Y. Se introduce M para metros.
- *zunits*: se definen las unidades para las elevaciones. Se introduce M para metros.
- *coordsys*: se define el sistema de coordenadas. Se utiliza 1 para UTM
- *zone*: se introduce el huso de la zona de trabajo, huso 30.

La línea de comandos utilizada para calcular la densidad relativa entre 1 y 3 metros es la siguiente:

```
C:\FUSION\Cover /all /class:3,4,5 /upper:3 C:\FUSION\dtm_2m.dtm  
C:\FUSION\densidad03.dtm 1 15 M M 1 30 0 0 C:\FUSION\heigh_final_clipmar.las
```

El archivo ráster de salida viene en formato DTM con un tamaño de celda de 15 metros. Este formato no es compatible con ArcMap por lo que hay que buscar uno que sí lo sea. FUSION tiene la opción de convertir ficheros DTM a ASCII con el comando *DTM2ASCII.exe*. Este comando devuelve el archivo en formato ASCII con el cual ya se podría importar en ArcMap. Un ejemplo de la línea de comandos DTM2ASCII para convertir de DTM a ASCII es el siguiente:

```
C:\FUSION\DTM2ASCII /raster C:\FUSION\densidad04.dtm
```

El *switch raster* es utilizado para ajustar el origen del archivo de celda ASCII. Para casi todas las aplicaciones es necesario poner este *switch*.

## 5.6 Obtención de edificios

El programa LAStools permite a través de la herramienta *lasclassify* clasificar los edificios.

- *lasclassify*: clasifica tanto edificios como vegetación alta en un archivo LAS. Requiere previamente haber clasificado los puntos de suelo que se hizo con *lasground* y la elevación de cada punto sobre el suelo que ya se hizo con *lasheight* también. Por defecto, el algoritmo busca puntos vecinos que están al menos 2 metros sobre el nivel del suelo, tienen un coeficiente de planaridad de 0.1 (para techos) y un coeficiente de rugosidad de 0.4 (para árboles). Estos valores se pueden cambiar en los parámetros *building planarity* y *forest ruggedness*. *Building planarity* requiere que un grupo de puntos con un plano teórico atravesándolos tenga una desviación estándar desde el plano hasta 0.1 metros para ser clasificado como edificio. Lo mismo con *forest ruggedness* pero estos puntos tienen que superar una desviación típica de 0.4 metros para ser clasificados como vegetación. Además está el parámetro *Search area size* que define el área de filtro. Por defecto tiene un tamaño de 4m x 4m. Los parámetros utilizados y con los que mejores resultados se obtuvieron se especifican a continuación:

*Ground offset*: 3 m

*Building planarity*: 0.2 m

*Forest ruggedness*: 0 m

*Search area size*: 4m x 4m.

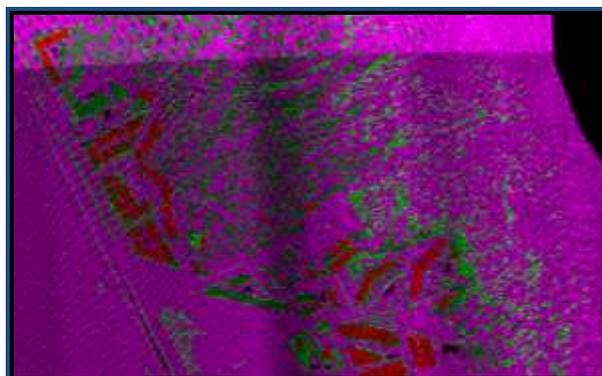


Figura 21. Nube de puntos clasificados después de la herramienta *lasclassify*. En rojo la clase edificios.

Estos parámetros fueron los mejores para detectar edificios aunque como se ve en la figura 21 la clasificación no es del todo precisa. El problema viene cuando también detecta las zonas altas de los *Pinus pinea* ya que este tipo de árbol tiene una copa muy plana. Al haber edificios bajos, de alrededor de 4-5 metros de altura, no es posible clasificar aquellos puntos con una altura sobre el suelo de más de 10 metros por ejemplo. Además el *Pinus pinea* tiene generalmente de esta zona tiene una altura aproximada de 10-15 metros. Por otro lado, edificios con un techo irregular no son del todo registrados. Para seguir investigando en este apartado habría que modificar el algoritmo. Finalmente se ha optado por importar una cartografía vectorial con los edificios en ella para obtener mayor exactitud y reducir el tiempo.

## 5.7 Levantamiento del mapa de orientación

El levantamiento de un mapa de orientación está compuesto por diferentes pasos. El primero es la elección del terreno, la escala y la equidistancia a la que se levantará el mapa. También se tendrá que hacer un presupuesto según el coste del mapa base y las horas del cartógrafo en el trabajo de campo y dibujo según la extensión del mapa. Posteriormente, buscar información cartográfica sobre el terreno para construir un mapa base. Se puede encontrar hoy en día mucha información con diferentes IDE's o descargar directamente sobre el programa de dibujo con un WMS. Durante los años anteriores, los mapas base eran creados con fotogrametría analítica y digital por especialistas, lo que suponía un dinero extra para el levantamiento del mapa. Hoy en día, cada vez son más los IDE's que ofrece la descarga gratuita de datos vectoriales y rásters. Sin embargo, para este trabajo se optó por crear casi todo el mapa base con datos LiDAR que ofrece el IGN del plan PNOA, obteniendo así mucha más información sobre los elementos y con más precisión. Después, toda la información obtenida con los datos LiDAR juntarla en el programa de dibujo para crear el mapa o los mapas base que servirán para que el cartógrafo se apoye en ellos en el trabajo de campo. El trabajo de campo es el siguiente paso y uno de los más importantes, donde el cartógrafo dibuja y toma anotaciones sobre el mapa base en el terreno. Se suele dibujar en un papel vegetal que se pone sobre el mapa base. Este papel vegetal es luego escaneado y georreferenciado para poder luego dibujar con el software de dibujo. Cada vez es más común el dibujo directamente sobre el software cuando se está en el trabajo de campo gracias a tablets que vienen incorporadas con GPS y OCAD. En el caso de este proyecto se hará al estilo tradicional, es decir, primero dibujando sobre papel vegetal en campo y luego escaneándola para posteriormente que sirva de plantilla para el dibujo en OCAD. Después existe el proceso de dibujo, en este caso con el programa de dibujo OCAD. De plantilla se importaran las imágenes de diferentes resultados del tratamiento de datos LiDAR, así como la ortofoto y la imagen escaneada del dibujo sobre el papel vegetal. Finalmente, el maquetado, el control de calidad del mapa y la impresión, aunque a esta última parte se le dará menos importancia porque no entra dentro de los objetivos del trabajo.

### 5.7.1 Mapa base

Antes del dibujo del mapa de orientación, se necesita un tipo de mapa para usarlo como patrón o base. Este tipo de mapa es generalmente llamado mapa base. El mapa base debería tener una escala conocida y una precisión suficiente para así extraer diferentes elementos artificiales o naturales y puedan ser localizados por el cartógrafo en campo para representarlo en el mapa final.

Durante la historia de los mapas de orientación, han existido tres tipos diferentes de mapas base:

- Mapas existentes: el mapa de orientación antiguo del lugar a cartografiar, mapas de catastro, mapas topográficos (1:5.000, 1:10.000 o 1:25.000), mapas de satélite u ortofotos. Se puede encontrar cartografía vectorial en SHP o DXF que es fácilmente importable al programa de dibujo, así no hace falta digitalizar.
- Mapas base fotogramétricos: una empresa de fotogrametría se hace cargo del vuelo, que será único para el área a levantar. Se usa bien fotogrametría analógica o digital. Se puede obtener la curva de nivel, elementos de agua, caminos, límites de vegetación. No es recomendable para bosques densos y en la parte norte de las laderas aunque se obtiene muy buenos resultados en terrenos abiertos.
- Airbone Laser Scanner o LiDAR: se pueden obtener muchos elementos de esta tecnología aplicada al mapa de orientación. En la tabla de abajo se resumen los productos que se han generado para el mapa base a partir de datos LiDAR en este trabajo.

Curva de nivel	Software	Formato	Equidistancia (metros)
	Karttapullautin	DXF	0.25, 2.5, 5
	OL-Laser	OCD, DXF	1.25
	LAStools	SHP	1.25
	GlobalMapper	DXF	1.25
Cortados	Software	Formato	Altura (metros)
	OL-laser	OCD, DXF	1
	Karttapullautin	DXF	1.2, 2.5
Imágenes	Software	Formato	Resolución (metros)
Pendientes	OL-Laser	JPG	1
Relieve 310	OL-Laser		
nMDS	ArcMap		
Densidad Vegetación	Karttapullautin		
Intensidad	FUSION		
Densidad 0.3- 1 m	FUSION	ASCII	15
Densidad 1-3 m	FUSION		

Tabla 2. Productos elaborados con LiDAR para el objeto del trabajo.

En este trabajo, se han obtenido casi toda la cartografía para el mapa base a partir de LiDAR. Tan sólo ha habido una excepción con los edificios y algunas carreteras. Considerando la baja densidad promedio (0.5 puntos/m<sup>2</sup>) se han obtenido resultados muy pobres para la detección de edificios con el programa LAsTools. Por otro lado, al tratarse de un vuelo del año 2009 y el mapa levantarse en 2014, no se han podido obtener a través de LiDAR todas las carreteras y caminos ya que algunos son de nueva construcción. Para evitar dibujarlos en campo, se pudo obtener cartografía vectorial actualizada del Instituto Cartográfico Valenciano (ICV) a escala 1:5.000 en formato SHP. Aunque vienen muchos archivos incorporados en la cartografía vectorial, como orografía, hidrografía, límites administrativos...tan sólo se han seleccionado los archivos de Ejes Virtuales de Comunicaciones (carreteras y caminos) y Construcciones Poligonales (edificios) que van a servir para el mapa base. Los elementos hidrográficos aunque podría haber sido incorporados para representar la posición de la línea de costa, piscinas, arroyos o canales, no se han incorporado ya que para el área del proyecto apenas tiene relevancia ya que no abundan y además pueden ser detectados por la curva de nivel y la imagen de intensidad generados a través del procesado de puntos LiDAR. Por otro lado, para la visualización de diferentes elementos se ha considerado de gran importancia importar una ortofoto del área.

Resumiendo, se han obtenido dos tipos de datos diferentes para el mapa base: ráster y vectoriales. Todos ellos serán importados en OCAD y georreferenciados para obtener el mapa base final.

Teniendo tantos productos generados y descargados, se ha optado por elegir tan sólo aquellos que mejor convengan para el mapa base. Los demás productos, se pueden imprimir y llevar a campo, para ayudar, o si no como plantilla sobre el dibujo del mapa en OCAD.

La Comisión Internacional de Cartógrafos de Orientación (ICOM) recomienda que el mapa base debe tener una aproximadamente la mitad de la escala del mapa final. Considerando la escala del mapa final 1:7.500, el mapa base será impreso a escala 1:4.000. Tanto los datos vectoriales (edificios, carreteras, curva de nivel y cortados) como la ortofoto al importarla se georreferencian automáticamente con OCAD10. Todos los archivos están en coordenadas UTM y mismo sistema de proyección, ETRS89, por lo que quedan superpuestos.

De las cuatro diferentes curvas de nivel generadas, se ha elegido finalmente la generada por OL-Laser con una equidistancia entre contornos de 1.25 metros. Aunque es una curva que no está muy suavizada, tiene mucha precisión y puede ser de gran ayuda para detectar pequeñas formas del terreno como montículos, hoyos o vaguadas suaves. Las demás curvas de nivel generadas servirán de ayuda. La curva importada en formato DXF a OCAD se convierte al símbolo de orientación 101.0 (Curva de nivel). OCAD tiene una herramienta para convertir capas al símbolo que se quiera otorgar de orientación. Lo mismo se hizo con las capas de Ejes Virtuales de Comunicación y Construcciones Poligonales convirtiéndolas en los símbolos 501.0, 502.0, 503.0 y 526.0 respectivamente (Autovía, carretera, pista importante y edificación). Por otro lado, se importaron los cortados generados por los programas OL-Laser y Karttapullautin. Los de OL-Laser son importados directamente en formato OCD por lo que no hay que convertir ninguna capa, sin embargo los importados por Karttapullautin se convierten a los símbolos 202.0 y 203.0 (cortado infranqueable y franqueable respectivamente).

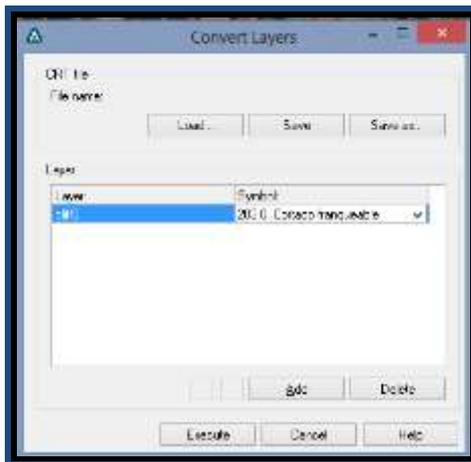


Figura 22. Ventana de la herramienta de OCAD *Convert Layers*.

Por otro lado, las imágenes no son georreferenciadas automáticamente por lo que hay que ajustarlas. OCAD dispone de una herramienta de ajuste de las plantillas por lo que seleccionando puntos comunes entre la imagen de plantilla (como la de intensidad, densidad de vegetación, altura de objetos...) y la ortofoto se puede ajustar la imagen y ya estaría escalada y georreferenciada. Después como todo programa de dibujo, se puede ajustar los niveles de capas y las transparencias de cada imagen de plantilla.

Por último, queda por definir el norte magnético y poner las marcas de posición que servirán para el trabajo de campo.

Para situar el norte magnético se necesita rotar el mapa, del norte geográfico al norte magnético. Para ello se utiliza el visor de geomagnetismo que dispone el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Se pincha en el visor sobre la situación aproximada de la parte central del mapa y el visor devuelve las coordenadas del punto (latitud y longitud) con la declinación y variación resultante. Para el área de trabajo corresponde con una declinación de 0°15' (Oeste). Una vez obtenida la declinación, se rota el mapa 15' hacia el oeste en el programa OCAD y ya se tiene el mapa orientado al norte magnético.



Figura 23. Datos de la declinación magnética para el área de trabajo.

Finalmente, se sitúan diferentes marcas púrpuras en forma de cruz, situado en los bordes del mapa base, y aproximadamente distanciadas 300-400 metros entre cada una. Estos puntos tienen unas coordenadas. Se dibujaran estas cruces en el papel vegetal para así poder georreferenciar y escalar la imagen escaneada (el papel vegetal) superponiendo estas marcas con las del mapa base.



Figura 24. Ejemplo del mapa base para la zona sur del mapa.

### **5.7.2 Trabajo de campo**

Una de las partes más importantes del levantamiento de un mapa de orientación y que requiere bastante experiencia en el deporte de orientación es el trabajo de campo. Aun teniendo un buen mapa base el área entera debe ser chequeada a fondo y toda la información del mapa base debería ser transformada a elementos de un mapa de orientación (o bien algunos de ellos eliminados). Muchas veces, los cartógrafos de estos mapas no son cartógrafos profesionales, sino que son orientadores que hacen el trabajo de campo con un mapa base ya realizado por algún cartógrafo profesional. Es indispensable el conocimiento de las especificaciones de un mapa de orientación y su simbología escritas en la ISOM 2000.

Para realizar un mapa de orientación se requieren en general muchas horas de trabajo de campo, muchas más que para un mapa topográfico ordinario. Dependiendo de la calidad del mapa base, los cartógrafos pueden gastar entre 40-60 horas de trabajo de campo por kilómetro cuadrado. El tipo de terreno también influye en las horas de trabajo de campo. Por ejemplo, no es lo mismo cartografiar un terreno abierto o semi abierto donde muchos elementos pueden ser localizados desde la ortofoto que en un bosque cerrado, donde estos elementos deben ser localizados por técnicas de GPS o mediante triangulación con la brújula y distancias (con pasos o dispositivos láser). Hoy en día también pueden ser localizados mediante datos LiDAR.

El trabajo de campo comienza por la preparación del material a llevar a campo. El material utilizado para este mapa fue el siguiente:

- Tabla de dibujo
- Portaminas 0.5 mm. Portaminas de color rojo y azul 0.7 mm.
- Goma de borrar.
- Brújula de Orientación con regla incorporada. Modelo 8 de la marca Moscowcompass.
- Smartphone con la aplicación Polaris Navigation GPS instalada.

- Papel transparente y mapa base
- Celo



Figura 25. Ejemplo del material para el trabajo de campo.

Primero se superpone el papel transparente sobre el mapa base en la tabla de dibujo. El trabajo de campo vendrá dibujado sobre el papel transparente en todo momento, por lo que es importante marcar con el portaminas al principio las marcas de localización que se pusieron en color púrpura en el mapa base. Así en todo momento el papel transparente queda totalmente georreferenciado con las marcas solapadas. Para que sea más difícil de desplazar el papel vegetal se pega con celo parte de los laterales. Aun así se deja algunas partes sin pegar por si hace falta localizar algún elemento en el mapa base que es difícil de ver sobre el papel transparente.

Normalmente, sobre el papel transparente se marcan los elementos que finalmente serán representados en el mapa final. Para marcar diferentes elementos se han utilizado colores distintos. El portaminas de color gris para los cortados y la curva de nivel. El color rojo para los elementos hechos por el hombre, principalmente senderos y caminos. Finalmente el color azul para elementos de la vegetación y de agua. Cada cartógrafo tiene su propia forma de dibujar en el trabajo de campo, no existe ninguna norma que marque una dirección. La idea es que sobre el esquema/dibujo que se realiza en campo, luego se escanee y se digitalice con OCAD y por lo tanto cada cartógrafo entienda sus propios croquis y códigos hechos en el trabajo de campo.

Una vez en campo, y previamente definidos los límites del mapa (generalmente grandes cortafuegos, caminos, carreteras, límites municipales), se explora toda el área de cara a decidir el nivel de detalle que se incluirá en el mapa final. Es decir, especificar aquellos elementos se cartografiaran en todo el mapa y que sean significantes para el orientador. También definir tamaños mínimos de elementos a representar para tener un nivel de simplificación y así mayor legibilidad en el mapa.

Existen dos reglas generales cuando se levanta un mapa de orientación. Como se ha dicho anteriormente, la simplificación. Es mejor que un mapa tenga pocos elementos pero bien elegidos de cara a la navegación, que tener un mapa desordenado lleno de elementos insignificantes para el corredor. Además hay que tener mucho cuidado ya que la tecnología LiDAR proporciona tanto detalle y detección de elementos que alguno tiene que ser suprimido. Por otra parte, la generalización. Es importante seguir un criterio cartográfico en todo el mapa.

Por ejemplo, pintar todas aquellas áreas de vegetación más baja de 1 metros con el mismo símbolo y no pintarlo con símbolos distintos en zonas diferentes del mapa. Por todo esto, es importante marcarse un criterio de simplificación y generalización andando sobre la zona previamente.

La secuencia del trabajo de campo seguida en este proyecto es la siguiente:

1. Dibujo de los elementos de vegetación y senderos
2. Dibujo de los elementos del terreno como la curva de nivel, depresiones, montículos y cortados
3. Dibujo de los elementos hechos por el hombre como edificaciones, urbanizaciones, vallas ...

El dibujo viene basado principalmente relacionando el mapa base e imágenes (relieve, intensidades, vegetación...) que se llevó a campo con los elementos a dibujar, pero en caso de que no se contenga ninguna información desde el mapa base, o haya que rectificarlo, se tiene que dibujar el nuevo elemento gracias a la ayuda del GPS del Smartphone.

Se buscó una aplicación que devolviera coordenadas y altitudes. Se optó por la descarga de la aplicación Polaris Navigation GPS. Esta aplicación devuelve coordenadas de un punto (geográficas, geodésicas, UTM...) y altitud. También tiene brújula incorporada y puede guardar velocidades, distancias, puntos y recorridos.

No se utilizó demasiado esta aplicación debido al buen mapa base obtenido. Tan sólo se utilizó para algunos casos como algún hoyo y montículo en dunas abiertas y algunas depresiones y hoyos en el bosque, es decir para elementos puntuales. Para elementos lineales, como por ejemplo caminos o límites de vegetación no hizo falta, ya que fue suficiente detectarlos con el mapa base. Si no se podría haber guardado como un recorrido del camino recorrido o del borde de vegetación y posteriormente importada al programa. Se configuró la aplicación para que convirtiera de coordenadas geográficas a UTM, ya que es el sistema de coordenadas del mapa. Las altitudes se configuraron también para que las devolviera en elipsoidales.

Tanto en áreas abiertas/semi abiertas como en áreas cubiertas por árboles de distintas alturas y densidades, se obtuvieron precisiones de  $\pm 4$  metros. Se puede decir que es una precisión aceptable para un mapa de orientación. Sin embargo, en las altitudes hubo muchas discordancias respecto al mapa base, por lo que se decidió no cogerlas.

En los mapas de orientación existen mapas sin georreferenciar que son útiles para competiciones, porque las inexactitudes suponen una distribución en todo el mapa entero, y estos fallos no afectan a la navegación de los competidores usando tan sólo un mapa de orientación y una brújula en el terreno. Como se ha dicho, la precisión de la posición absoluta es de pequeña significancia comparada con la posición relativa y la representación apropiada de la forma del terreno y los elementos. Las coordenadas no están indicadas en los mapas de orientación ya que son insignificantes porque acorde con la normativa existente de las carreras de orientación, se prohíbe cualquier dispositivo GPS que pueda ser de ayuda para el corredor.

Otro tema a tener en cuenta en el trabajo de campo, es el límite de percepción visual. El límite de percepción visual es la distancia mínima que ha de existir entre dos puntos para que una persona pueda distinguirlos. Para el ser humano esta distancia mínima es de 0.2 mm. Se hablará del límite de apreciación gráfica al límite de percepción visual multiplicado por el

denominador de la escala. Magnitudes menores al valor obtenido no se van a representar en el mapa. En el caso de este trabajo:

$$\text{Límite de apreciación gráfica} = 7500 * 0,2 = 1500\text{mm} = 1.5 \text{ metros}$$

A escala 1:7.500 el límite de apreciación gráfica es 1.5 metros, por lo tanto toda distancia en el terreno no llegue a este valor no será representado.

Para el dibujo de la vegetación y los caminos, se utilizaron una serie de normas de generalización que se aplicaron a todo el mapa.

- Áreas de vegetación con un diámetro menor de 2 metros no serán representadas en el mapa.
- La vegetación de pino joven cercana a la costa tendrá que tener una altura mínima de 1 metro para ser representada con el símbolo 410.0 (vegetación: muy difícil de correr). Aquellas zonas de vegetación con alturas menores vendrán representadas con el símbolo 409.0 (matorral: difícil de correr) o bien con el 408 (vegetación: difícil de correr)
- Debido a la multitud de matorral bajo de lentisca generalmente y que tenían un diámetro mayor a dos metros, se ha decidido representar con el símbolo 408.0 (matorral, carrera lenta) en vez de puntos verdes (símbolo 410.0) para una mejor legibilidad del mapa.
- Debido a la abundancia de caminos se han representado tan sólo los caminos de más de 2 metros de ancho o bien aquellos que sean pasarelas de madera (anchura menor de 2 metros inclusive).

El tema de los niveles de penetrabilidad del bosque es algo muy subjetivo y que hay que solucionar en campo. En general, la vegetación con una penetrabilidad fácil eran bosques de eucaliptos y pino (*Pinus pinea*) de una altura mayor a 4-5 metros asignándole el símbolo 405.0 (bosque: carrera fácil). La vegetación de pino con una altura entre 2 y 4 metros y con muchas ramas a lo largo del tronco se le asignó el símbolo 406.0 y 408.0 (vegetación: carrera lenta y difícil de correr). La zona cercana a la costa de pino joven y matorral con una altura entre 1 y 2 metros se le asignó el símbolo 410.0 (vegetación: carrera muy lenta). Como se ha dicho, es un tema muy subjetivo sigue generalmente este patrón, pero existen excepciones según la densidad del bosque o el tipo de vegetación.

Para el dibujo de la curva de nivel, cortados y formas del terreno se siguieron las siguientes normas de generalización que se aplicaron en todo el mapa.

- Tan sólo se dibujaron los cortados con más altura de 1 metros. Se consideraron impasable aquellos con una altura de más de 2 metros.
- La curva de nivel se suavizó, teniendo así una mayor legibilidad de la que daba el mapa base (hecho por LiDAR).
- Tan sólo se han representado hoyos con un tamaño mínimo de 2 metros de diámetros y un metro de profundidad.

- Se ha utilizado la curva auxiliar tan sólo en los casos que se haya necesitado, donde la curva de nivel normal no aporta una información detallada de la forma del terreno y para ello se necesite una curva auxiliar a 1.25 metros de equidistancia.
- La altura mínima para representar un montículo ha sido 1 metro. Cuando se ha tratado de un montículo de un área más grande de 2 metros de diámetros. Cuando el tamaño de la cota tiene un área mayor a 5 metros de diámetro se representa con curvas de nivel siempre y cuando quepa y no se toquen entre ellas.

Para los elementos hechos por el hombre como edificios, vallas o límites de urbanizaciones se siguió el siguiente criterio.

- Actualización de las vallas que delimitan las urbanizaciones. Se delimitó con el símbolo de área 527.0 (propiedad) aquellas zonas de carácter privado y donde estaría prohibido el acceso al orientador.
- Los muros de piedra, principalmente de delimitación de una propiedad, se han dibujado con el símbolo 521.0 (Muro de piedra alto) cuando tenga una altura mayor a 1.5 metros.
- Todas las piscinas de las urbanizaciones también se han pintado aunque estén en zona privada, ya que pueden servir para la navegación del corredor.
- Se ha considerado valla impenetrable aquella con una altura mayor a 1.5 metros y se han dibujado con el símbolo 524.0 (Valla alta).

El último proceso, con el que se terminaría el trabajo de campo es el escaneado del dibujo hecho sobre el papel vegetal para luego incorporarlo a OCAD. Se ha escaneado el papel vegetal a una resolución de 200 dpi (*dots per inch*) que es totalmente suficiente para luego trabajar sobre él en OCAD.

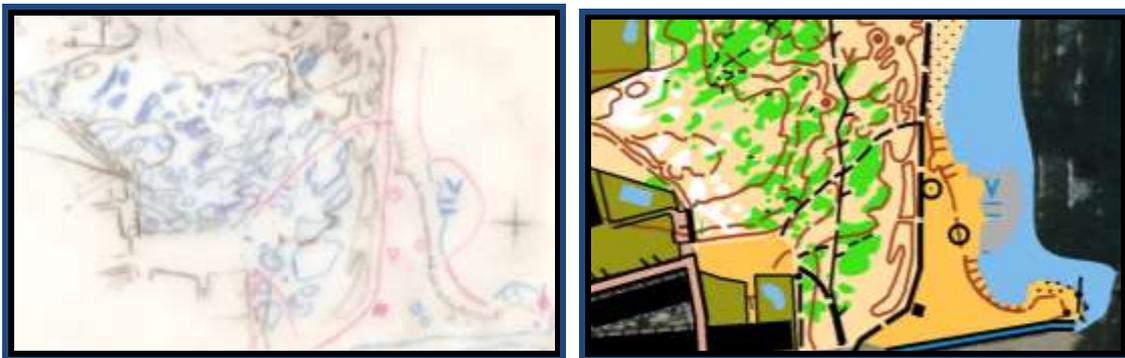


Figura 26. Trabajo de campo sobre papel transparente (Izquierda), Mapa final (derecha).

### 5.7.3 Dibujo en OCAD

Los primeros mapas de orientación dibujados en ordenador se realizaron en la década de los 80 con programas de SIG y de diseño gráfico. Estos programas tenían dificultades para dibujar principalmente todos los símbolos de la leyenda de un mapa de orientación. El primer software especializado en el dibujo de mapa de orientación fue lanzado en 1989 por la compañía suiza OCAD y hoy en día es utilizado en el 90% de los casos para el dibujo de mapas de orientación. La versión con la que se ha trabajado en el proyecto ha sido la 10. Como en

otros programas de SIG o de diseño, OCAD tiene todo tipo de herramientas para el dibujo, editar y crear símbolos, importar plantillas y herramientas especiales para el diseño y levantamiento cartográfico como importar puntos GPS, importar bases de datos o WMS.

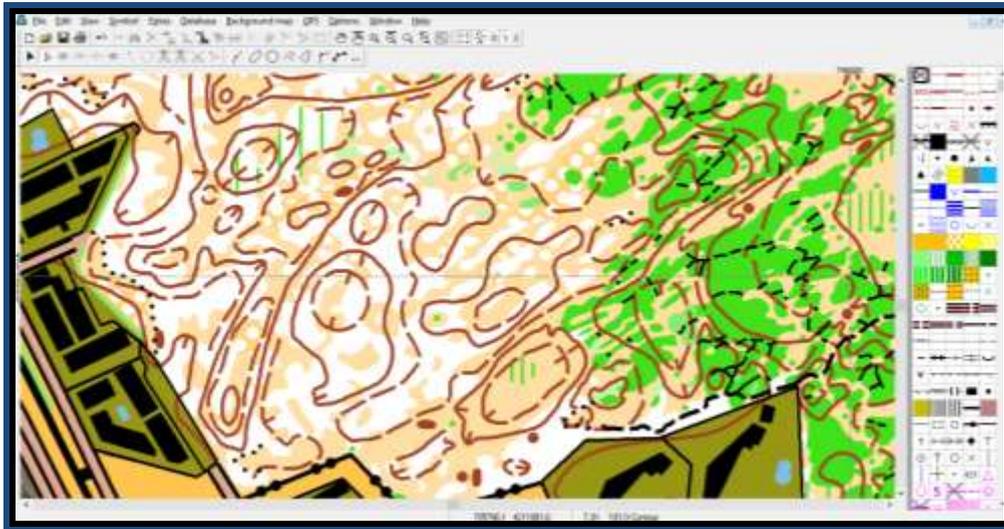


Figura 27. Ejemplo del software OCAD. Arriba herramientas de dibujo, visor en la parte central y simbología en la parte de la derecha.

Para empezar a dibujar, lo primero que se hizo fue la importación del mapa base y de las distintas capas (imágenes de intensidad, MDS, relieve, altura de vegetación...). Al ser la escala final del mapa 1:7.500, primero se cambió la escala del mapa base de 1:4.000 a 1:7.500. Automáticamente la simbología también cambia de tamaño y no hay que estar manualmente cambiándola. Después se incorporó como plantilla el escaneado del trabajo de campo. Se ajustó manualmente al mapa base gracias a las marcas en forma de cruz puestas en ambos mapas en las mismas localizaciones. Se deja la capa del mapa base por encima del trabajo de campo y se le asigna una transparencia del 50%. Así se puede dibujar sobre el papel vegetal teniendo como referencia el mapa base para algún detalle.



Figura 28. Trabajo de campo en el papel transparente solapado y ajustado sobre el mapa base.

Todos los objetos se dibujan cogiendo el símbolo deseado en la parte derecha de la ventana (ver figura 27) y luego seleccionando la herramienta de dibujo que mejor se apropie (recta, modo curva, elipsoide, círculo, a mano...).

### 5.7.4 Maquetado

El maquetado es el paso previo a imprimir el mapa. En la maquetación se le dará forma al mapa para que quede un mejor diseño y se tenga información de él. El maquetado se puede realizar con cualquier programa de edición vectorial. En este caso se ha hecho con OCAD. En el maquetado se han incluido los siguientes elementos:

- Título del mapa.(1)
- La escala y la equidistancia del mapa.(2)
- El nombre y correo electrónico del cartógrafo.(3)
- La fecha de levantamiento del mapa.(4)
- Extensión y perímetro del mapa.(5)
- Leyenda del mapa.(6)
- Líneas del norte magnético, símbolo del norte y escala gráfica.(7)
- Marco.(8)
- Marcas de georreferenciación UTM.(9)
- Sistema de referencia, proyección y datum.(10)

En los paréntesis se han marcado los números que relacionan cada elemento del maquetado con la figura 29.

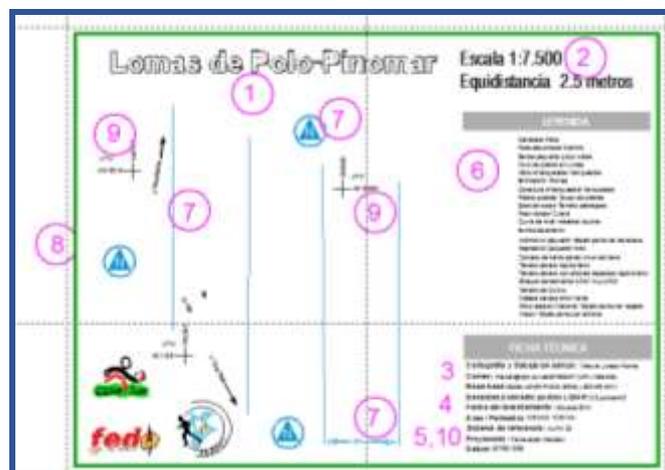


Figura 29. Elementos de maquetación en un mapa de orientación.

En caso de que el mapa estuviera registrado en la Federación Española de Orientación (FEDO) tendría que aparecer también el número de registro. Por otro lado, sería opcional poner los logotipos de aquellas empresas o entidades que hayan colaborado o patrocinado el levantamiento del mapa de orientación. En este caso se han puesto los logos del Club de Orientación Sant Joan (club del autor del trabajo), de la Federación Valenciana de Orientación (FEDOCV) y de la Federación Española de Orientación (FEDO). También se ha decidido marcar algo de toponimia, como el número de identificación de la carretera nacional que esta al oeste del mapa. Las marcas de georreferenciación son sólo algunas de las mismas de las que fueron utilizadas para georreferenciar el trabajo de campo.

## 6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron separados para las diferentes clases de elementos que se obtuvieron con los datos LiDAR. Estos elementos fueron curva de nivel, cortados, sombreado de relieve, mapa de intensidades y la vegetación. Para entender bien los elementos que se detectaron y su posterior clasificación a una simbología de orientación se adjunta la tabla 3 donde aparece toda la simbología de orientación utilizada acorde a la ISOM.

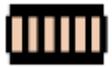
Punto	Símbolo	Número símbolo ISOM	Descripción
1, 3, 4, 5 (figura 30)		112.0	Montículo(Diámetro<5 m)
2 (figura 30)		101.0	Curva de nivel. Depresión
6 (figura 34)		101.0	Curva de nivel. Vaguada
5, 7 (figura 34)		103.0	Curva de nivel auxiliar. Depresión
8 (figura 34), 10 (figura 36)		115.0	Hoyo
9 (figura 34 )		862.0	Escaleras
1 (figura 40)		106.0	Cortado de tierra pasable
3 (figura 43)		203.0	Cortado de piedra pasable
4 (figura 40)		201.0	Cortado de piedra impasable
Figura 57		110.0	Surco pequeño de erosión
1 (figura 54)		310.1, 303.0	Zona pantanosa pequeña, hoyo de agua
2 (figura 54),7 (figura 57)		506.0	Camino (<3 m ancho)
3 (figura 48)		507.0	Camino pequeño(<1 m ancho)
9 (figura 57), 2 figura (64)		416.0	Límite de vegetación distintivo

Figura 54		401.0	Terreno abierto
Figura 54		211.0	Terreno abierto arenoso
Figura 54		403.0	Área abierta
Figura 67		404.0	Área con árboles dispersos
5 (figura 67)		405.0	Bosque: carrera fácil
6 (figura 67)		406.0	Bosque: carrera lenta
-		407.0	Matorral: carrera lenta
7 (figura 67)		408.0	Bosque: difícil de correr
2 (figura 64)		409.0	Matorral: difícil de correr
Figura 67		410.0	Bosque: muy difícil de correr

Tabla 3. Símbolos del mapa de orientación acorde con la ISOM utilizados en los resultados

## 6.1 Curva de nivel

Se obtuvieron cuatro diferentes curvas de nivel de diferentes softwares para analizar los diferentes resultados. Tanto con GlobalMapper, LAsTools y OL-Laser se introdujo el valor de la equidistancia de la curva manualmente, definiéndola a 1.25 metros. El programa Karttapullautin devuelve automáticamente la curva de nivel con tres distintas equidistancias: 0.25 metros, 2.50 metros y 5 metros. Todos estos resultados se han comparado con el mapa de orientación final, después del dibujo y trabajo de campo ya hecho. La simbología del mapa de orientación utilizada para las formas del terreno viene definida en la tabla 3 y que también son mostradas en las distintas figuras para analizar los resultados

Tabla: Parte de la simbología de un mapa de orientación acorde con la ISOM asociada a la forma del terreno.

En la tabla 3 se aprecian dos elementos como el montículo (punto 1) y la depresión (punto 2). La curva obtenida del MDE del ICV (creada con GlobalMapper) representa el montículo en forma de un espolón pequeño. Sin embargo, la curva obtenida con Karttapullautin la detecta como una cota de 0.5 metros de altura (dos curvas de nivel consecutivas). En campo se comprobó que la cota tiene un diámetro próximo a los 5 metros. Por legibilidad del mapa, se decidió representar la cota con el símbolo de montículo en vez de con curva de nivel.

La depresión, es detectada por ambos programas, aunque Karttapullautin representa las depresiones en color magenta, evitando así tener que comprobarlo en campo ya que en los

demás programas no vienen marcadas las líneas de pendiente que marcan una depresión y ha de comprobarse en campo o con la imagen de sombreado de relieve si se trata de una depresión o una cota.



Figura 30. Mapa de orientación (izquierda), curva de nivel obtenida del MDE del ICV (centro) y curva de nivel producida por Karttapullautin (derecha).



Figura 31. Puntos 1 (izquierda) y 2 (derecha) con respecto a la figura 30.

En la figura 32 el punto 3 se corresponde con un montículo en el mapa de orientación. Al igual que en anterior ejemplo, tanto LAsTools y OL-Laser, el montículo viene representado con una curva de nivel cerrada. Se trata de una cota de 2 metros de diámetro por 1 metros de alto, por lo que acorde con la ISOM se representó con el símbolo de montículo.



Figura 32. Mapa de orientación (izquierda), curva obtenida con LAsTools (centro) y curva del mapa base obtenida con OL-Laser (derecha).



Figura 33. Punto 3 con respecto a la figura 32.

En la figura 34 vienen marcados diferentes puntos de análisis. El punto 6 se corresponde con una vaguada muy suave pero de gran significancia para la navegación. Como se aprecia en la figura, ambos programas detectan este pequeño entrante. Por otro lado, el punto 7 es una depresión también muy suave, de aproximadamente 15 metros de largo por 4 de ancho. OL-Laser detecta esta depresión como una vaguada y no llegando a cerrar la curva de nivel. Sin embargo, Karttapullautin la detectó como depresión con la curva de nivel magenta. Es común a lo largo del mapa encontrar esta serie de errores en depresiones suaves que son detectadas como vaguadas. Por eso es importante el trabajo de campo, para definir estas formas del terreno ya que son un elemento importante para la navegación y la lectura del mapa. El punto 8 es un hoyo pequeño de 2 metros de diámetros por 0.5 metros de profundidad. Aunque se trata de un elemento pequeño, es significativo y apreciable para el orientador. OL-Laser detecta el hoyo como una pequeña vaguada mientras Karttapullautin lo detecta con una curva de nivel cerrada pequeña, aunque no en color magenta (depresión). Como se va viendo, la curva de nivel con una equidistancia de 0.25 metros tiene mucha precisión. No resultaría totalmente válido para un mapa base por el alto detalle pero si de ayuda en el trabajo de campo. Tanto detalle daría al mapa menos legibilidad por lo que esta curva de nivel se utilizará tan sólo para la situar distintos elementos (hoyos, depresiones, montículos...) que no son detectados en la curva de distancia con equidistancia de 1.25 metros. Por último el punto 9 son unas escaleras de acceso a un túnel para pasar la carretera nacional. Este desnivel negativo de aproximadamente 3 metros también es registrado en la curva de nivel en forma de curvas concéntricas. Una vez en el terreno, se ha comprobado que esta depresión corresponde en la realidad a unas escaleras.



Figura 34. Mapa de orientación (izquierda), curva obtenida con Karttapullautin (centro) y curva de nivel del mapa base obtenida con OL-Laser (derecha).



Figura 35. Puntos 6 (izquierda), 7 (centro) y 9 (derecha) respecto a la figura 34.

En la figura 36 vienen marcados dos montículos muy próximos uno del otro (punto 4) y un hoyo (punto 10). En la curva obtenida de LAsTools se aprecia que existen varias cotas pero con una forma bastante aleatoria. Lo mismo pasa con la curva de Karttapullautin, donde es difícil identificar estos dos montículos. Sin embargo, el hoyo sí que es identificado por ambos programas, como un círculo concéntrico pequeño en LAsTools con un círculo magenta por Karttapullautin. Por último resaltar que la depresión existente justo al este de los dos montículos es también detectado por Karttapullautin con curvas de nivel concéntricas pero no en color magenta (depresión).



Figura 36. Mapa de orientación (izquierda), curva obtenida con LAsTools (centro) y curva de nivel del mapa base obtenida con Karttapullautin (derecha).



Figura 37. Puntos 4 (izquierda) y 10 (derecha) respecto a la figura 36.

En este caso se aprecian tres elementos dentro del círculo azul. Una pequeña depresión al suroeste, un montículo en el centro y un hoyo al este. El hoyo no es detectado por OL-laser pero si por Karttapullautin con una curva concéntrica pero no de color magenta (depresión). Es

un hoyo de una profundidad muy baja, aproximadamente 0.40 metros por lo que tiene total coherencia con la precisión de ambos programas para ser detectado. El montículo tiene un diámetro de aproximadamente 2 metros por más de 1 metro de alto pero sin embargo no es detectado por OL-Laser y si con una pequeña curva de nivel por Karttapullautin. La depresión situada al suroeste sí que es detectada por ambos programas aunque Karttapullautin no la llega a detectar como depresión (color magenta)



Figura 38. Mapa de orientación (izquierda), curva obtenida con Karttapullautin (centro) y curva de nivel del mapa base obtenida con OL-Laser (derecha).

## 6.2 Cortados

Debido a la poca densidad de cortados en el mapa, para analizar los resultados de los cortados detectados, se importaron los cortados creados por OL-Laser y Karttapullautin y se juntaron de esta forma creando un símbolo conjunto pero que no aparece en el mapa final. Este símbolo viene representado en color rojo, para así apreciarlo bien sobre la ortofoto.

En el mapa de pendientes se aprecia que los 3 puntos marcados vienen en tonalidades más oscuras de gris lo que significa que tienen una alta pendiente. Las zonas más llanas vienen representadas en tonalidades más claras de gris. Los bordes de los edificios que generalmente vienen dibujados como cortados, no son tan claramente visibles en el mapa de pendientes.



Figura 39. Mapa de pendientes de la parte sureste del mapa.

En la figura 40 vienen marcados tres zonas de interés. En la primera zona, correspondiente al punto 1, viene representado en el mapa de pendientes un cortado de tierra (ver figura 39) de

una altura aproximada de 0.60 metros. Aunque el cortado no llegue a tener una altura de 1 metro es un elemento característico en la zona y se aprecia perfectamente como tiene una pendiente de 90° a lo largo del cortado. El programa tan sólo representa aquellos cortados con una altura mínima de 1 metro, mínimo 2 metros de largo, 1 metro de ancho y 45° de pendiente pero sin embargo en este caso viene representado. Por otra parte en la zona sur de esta zona aparece bien representado el canal que entra hacia el interior cuyas laterales son dos paredes de hormigón de más de un metro de altura. Al igual que el ejemplo anterior, lo detecta pero no de forma continua.

En el punto 2 también vienen marcados dos pequeños cortados pero una vez en campo se ha comprobado que realmente se trata de una ladera de tierra con alta pendiente (>45°) por lo que el programa automáticamente lo detecta como cortado. Si hubiera sido de piedra posiblemente haya sido dibujado con el correspondiente símbolo de cortado de piedra pasable (ver tabla 3) pero al tratarse de un cortado de tierra la mejor solución ha sido representarlo con curvas de nivel paralelas entre ellas.

El último punto marcado, el número 4 se trata de un muro impasable que ha sido mínimamente registrado en el mapa de cortados. Tan sólo aparece una pequeña porción del cortado. El criterio entre pasable e impasable es un poco subjetivo ya que la ISOM tan sólo especifica que la altura mínima para dibujar un muro pasable ha de ser 1 metro, sin embargo no especifica la altura mínima a la que debe dibujarse un muro impasable. En todo caso, para este mapa se ha adoptado una altura de 1.50 metros a partir de la cual cortados y muros menores a esa altura son representados como pasables y mayores a esa altura son marcados como impasables. El cortado de piedra fue marcado como impasable debido a su altura de 1.70 metros aproximadamente.

Se aprecia también en el mapa de cortados que los bordes de algunos edificios vienen marcados como cortados quedando así más o menos definidos. Aunque adoptan una forma más curva que lineal y además no coge todo los edificios. Eso es debido a que al crear el MDT ha habido zonas limítrofes de los edificios que han quedado marcadas y no han sido interpoladas tan bien como suelo.

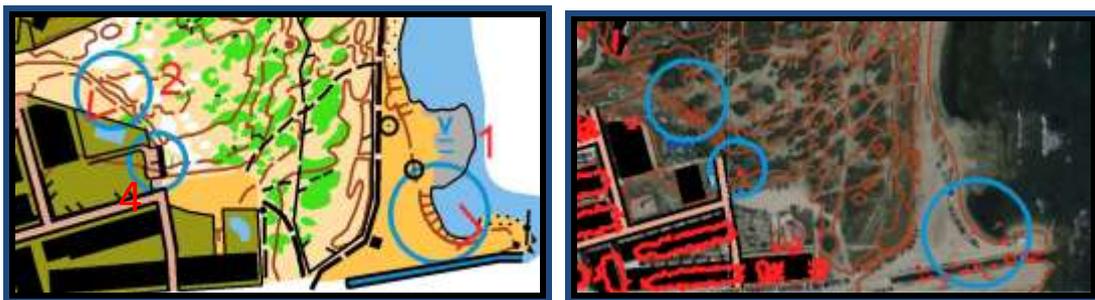


Figura 40. Mapa de orientación (izquierda) y mapa de cortados (derecha) de la parte sureste del mapa.



Figura 41. Puntos 1 (izquierda) y 2 (derecha) respecto a la figura 40.



Figura 42. Punto 4 respecto a la figura 40.

En el punto 3 se distinguen los dos cortados que dividen la zona asfaltada y residencial del bosque de pinos. Ambos cortados tienen una altura aproximada de 1.40 metros, por lo que acorde con el criterio citado anteriormente, están representados como pasables. Al igual que ocurre en el anterior ejemplo, los cortados no salen marcados como una línea o área continua si no discontinua. El cortado sur, es un poco más bajo (alrededor de 1 metro de altura) y no ha sido tan bien representado como el otro.

Por otra parte también detectó las escaleras del paso subterráneo (ver figura 35) como un cortado en forma de círculo cerrado.

Quizás en el mapa de pendientes se aprecia mejor la forma de los dos cortados, siguiendo una trayectoria recta casi de Norte-Sur y Este-Oeste, ambas representadas con una franja fina de color gris oscuro.

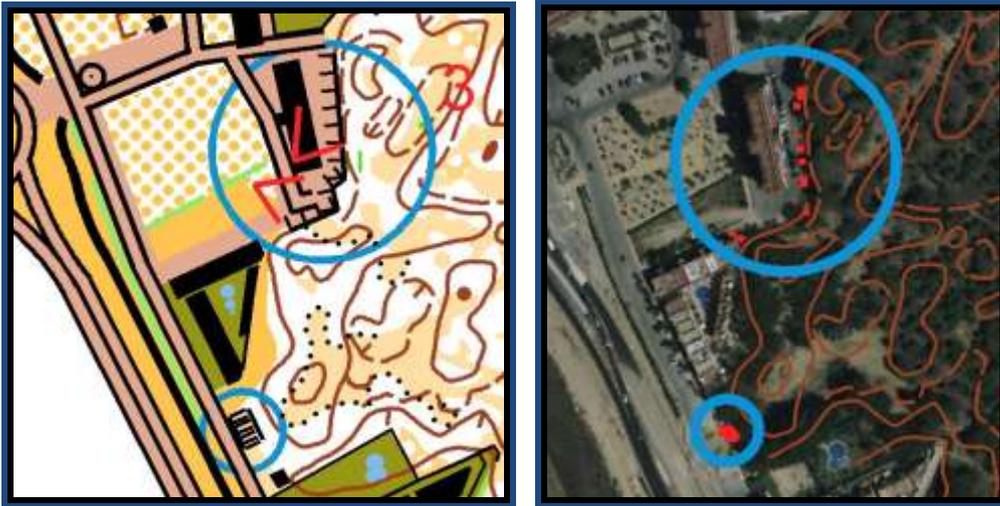


Figura 43. Mapa de orientación (izquierda) y mapa de cortados (derecha) de la parte oeste del mapa.

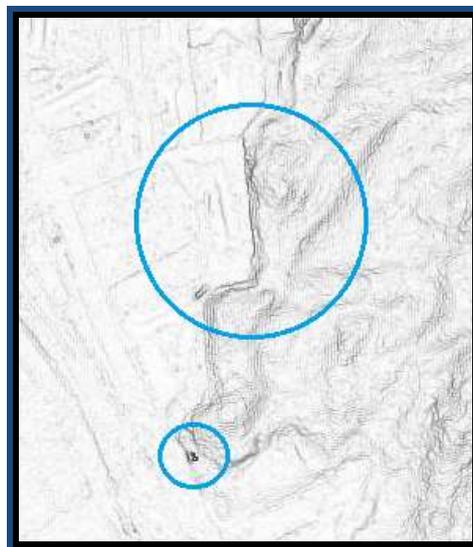


Figura 44. Mapa de pendientes de la parte oeste del mapa.



Figura 45. Foto del punto 3 con distintos ángulos de toma respecto a la figura 43.

### 6.3 Sombreado del relieve

El sombreado de relieve da visualización intuitiva muy importante sobre la forma del terreno y algunos elementos artificiales hechos por el ser humano. Se han detectado sobre todo caminos, senderos y pequeños elementos del terreno como hoyos y depresiones. Puede ser de una utilidad discutible ya que muchos resultados también son obtenidos por la curva de nivel o la imagen de intensidades (Tvetei.H, Lien.J, 2010). En este caso, al tratarse de un terreno particular por el detalle de la orografía sí que ha tenido cierto uso para sacar varios elementos. También es importante remarcar que depende el ángulo de iluminación se podrán observar más objetos o menos. Por ejemplo en la figura 46 se aprecia que para el camino que cruza casi de forma perpendicular a las dunas, con un ángulo de 45° se aprecia mejor que con el de 310°. Sin embargo las formas del relieve quedan mejor definidas con el ángulo de 310°. Según para que elementos y dependiendo de la orografía del área de trabajo hay ciertos ángulos de iluminación que mejoran la visualización. El sombreado de relieve no debe aparecer en el mapa de competición, así como en mapas topográficos sí que se utiliza para mejorar la visualización del relieve.

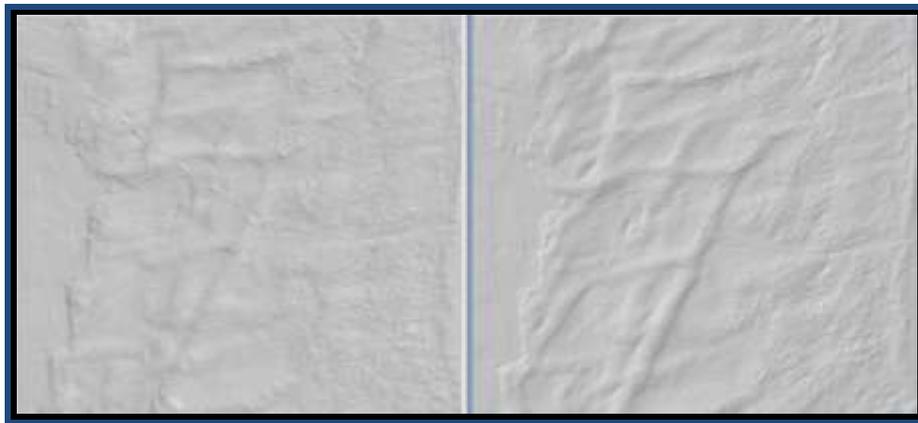


Figura 46. Sombreado de relieve con un ángulo de iluminación de 45° (izquierda) y de 310° (derecha).

En las figuras x y x se han remarcado algunos elementos característicos comunes en la imagen de sombreado de relieve y del mapa de orientación. En naranja se ha redondeado aquellos elementos del relieve, en rojo los caminos y senderos y en azul los elementos de vegetación.

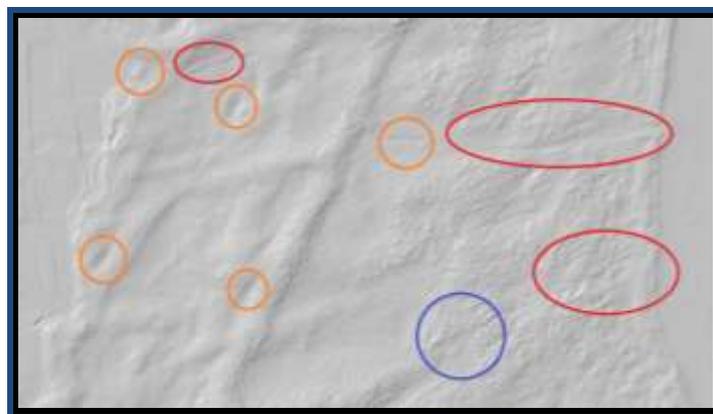


Figura 47. Sombrado de relieve (ángulo de iluminación 310°) de la zona norte del mapa resaltando algunos elementos detectados.

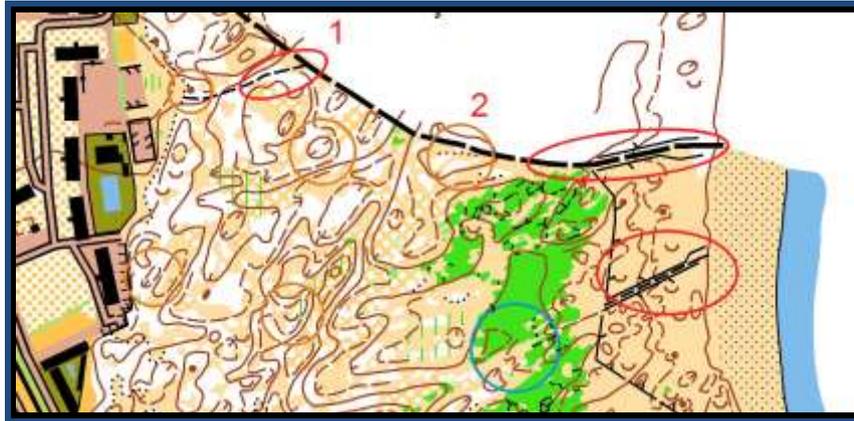


Figura 48. Zona norte del mapa de orientación resaltando algunos elementos detectados por el sombreado de relieve.

Viendo en las figuras x y x se puede apreciar se ha recogido cierta información del sombreado de relieve. En la parte superior derecha aparece el montículo que anteriormente fue analizado en la curva de nivel. Si bien, en esta imagen se puede decir que es realmente una cota pequeña y no un espolón como aparecía en la curva de nivel generada a una equidistancia de 1.25 metros. En las demás áreas marcadas se aprecia la forma del terreno en forma de depresión. Especialmente en el punto 2, donde es una depresión tan alargada y estrecha que se ha decidido dibujarla con el símbolo 110.0 (surco de erosión).

Respecto a los caminos y senderos, los más significativos vienen bastante bien definidos. Como se ha dicho anteriormente, hay que buscar el ángulo de iluminación que mejor resultados de. La imagen de sombreado puede ser bastante útil también ya que se pueden obtener los caminos que queden cubiertos por las copas de los árboles mientras que en la imagen de intensidades no se podría visualizar.



Figura 49. Toma 1 (izquierda) y 2 (derecha) respecto la figura 48.

En la siguiente figura se puede apreciar perfectamente el espolón alargado con una cota pequeña en la parte oeste y la depresión en medio de toda la vegetación impasable. Por otra parte el camino alargado de tablas de madera de acceso alargado también detectado en la imagen de intensidad.



Figura 50. Sombreado de relieve (ángulo de iluminación 310°) de la zona sur del mapa resaltando algunos elementos detectados.



Figura 51. Zona sur del mapa de orientación de la zona sur del mapa resaltando algunos elementos detectados por el sombreado de relieve.

Para resumir este apartado, el sombreado del relieve ha tenido cierta utilidad para dar una visualización del relieve bastante real y detectar antes de ir al campo pequeñas depresiones y surcos que con la curva de nivel no han podido ser detectadas. Finalmente tiene un gran uso en la detección de caminos y senderos en aquellas zonas de masa boscosa que ni con la ortofoto ni con la imagen de intensidad LiDAR han podido ser localizados.

#### 6.4 Imagen de intensidad

Para analizar los resultados de la imagen de intensidad LiDAR se tienen que tener varios conocimientos previos sobre la señal. La intensidad de la reflexión puede estar afectada por una combinación de factores como la altura de vuelo, la atmósfera, la dirección de barrido, número de retornos y la frecuencia y longitud de del pulso láser.

Generalmente la longitud de onda de la señal LiDAR tiene un valor de 1040 nm. La longitud de onda de la señal LiDAR se sitúa más próximo al infrarrojo cercano (NIR) que al espectro visible, es por eso que no hay que confundirlo con los análisis que se podrían obtener de una fotografía aérea. Por ejemplo, mientras superficies sólidas como cemento o piedra reflejan casi toda la luz visible en el espectro visible, no se refleja de igual manera en el infrarrojo cercano ya que el asfalto de las carreteras tiene un retorno bajo y por el otro lado el césped o los cultivos en crecimiento tienen un retorno alto. De hecho, la clorofila en la vegetación refleja cerca del 50% de la radiación del infrarrojo cercano, opuesta al 15% que refleja el visible. Por lo

tanto, la intensidad puede ser un buen resultado para detectar distintas especies de vegetación, ya que también depende de la disposición, tamaño y densidad de la hoja. Teniendo unos conocimientos previos de las distintas especies en el área de trabajo se pueden detectar distintas especies y categorizarlas cada una con su símbolo de orientación correspondiente acorde a la penetrabilidad y visibilidad.

Por otro lado, la rugosidad de la superficie también es otro factor importante ya que más rugosidad más se difunde la energía incidente. Así pues se puede distinguir distintas clases de suelo que pueden ser de suma importancia para representarlas en un mapa de orientación de orientación para indicar la transitabilidad del área. También en el trabajo se ha detectado distintos niveles de reflexión en el los caminos y carreteras, que han servido para distinguir varios tipos y comprobarlos con el trabajo de campo.

Finalmente, los elementos de agua también se han detectado debido a la reflexión especular del pulso láser que impide en ocasiones que el eco regrese al sensor. (A.Ruiz, W.Kornus, ICC)

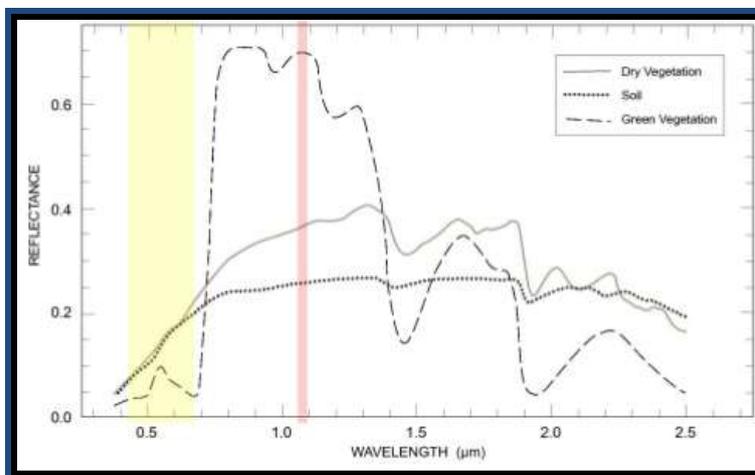


Figura 52. Gráfico mostrando la reflectividad de la vegetación seca, húmeda y suelo según longitud de onda. En púrpura la longitud de onda del LiDAR.

Reflectivity vs. material	
MATERIAL	REFLECTIVITY @ 1 = 900 nm
Dimension lumber (pine, clean, dry)	94%
Snow	80-90%
White masonry	85%
Limestone, clay	up to 75%
Deciduous trees	typ. 60%
Coniferous trees	typ. 30%
Carbonate sand (dry)	57%
Carbonate sand (wet)	41%
Beach sands, bare areas in desert	typically 50%
Rough wood pallet (clean)	25%
Concrete, smooth	24%
Asphalt with pebbles	17%
Lava	8%
Black rubber tire wall	2%

Figura 53. Valores de reflectividad de ditintos materiales para una longitud de onda de 900 nm.

A continuación se hará una comparación entre el mapa de orientación final y la imagen de intensidades. En las áreas de análisis se han obtenido fotografías para analizarlas con los resultados. Los puntos enumerados en rojo son aquellos sitios donde se han tomado fotografías, las líneas azules detecta elementos de vegetación y las naranjas a vías de comunicación. La simbología del mapa de orientación que vienen en las figuras de análisis vienen descritas en la tabla 3.

En la figura 54 se ven distintos puntos dónde la imagen de intensidad ha influido para detectar algunos elementos que han sido representados en el mapa de orientación. Primero, se ha de decir que se encuentran píxeles rojos en aquellas zonas que corresponden a agua, en la parte derecha de la imagen corresponde al mar y en la parte sur a las piscinas de las urbanizaciones. No supone una información del todo importante, debido a que son elementos claramente apreciables desde la ortofoto, sin embargo, en el punto 1 hay dos pequeñas charcas de agua que han sido representadas con los símbolos 301.0 y 303.0 y en la imagen de intensidad vienen representadas con un píxel rojo. Debido a su proximidad a la costa, estas charcas están más o menos llenas, dependiendo del oleaje.



Figura 54. Mapa de orientación (izquierda) e imagen de intensidad (derecha) con los elementos extraídos marcados en diferentes colores.

Por otra parte, los puntos 3, 4 y 5 son caminos construidos con tabletas de madera. En la imagen de intensidades queda representado en colores blancos, debido la alta reflexión del material. Como se aprecia en la imagen de intensidades, queda bastante bien definidos los caminos, desde donde comienzan hasta donde acaban.

Viendo la imagen de intensidades de la figura 54, también se observa que la vegetación adquiere diferentes tonalidades de gris acorde con su especie. Las líneas azules marcan los límites de la zona de *Pinus pinea* joven y bastante bajo que se extiende longitudinalmente de norte a sur paralelo a la costa. Entre estos pinos existen algunos bosquesillos pequeños de palmeras que son fácilmente detectables en la imagen de intensidades ya que aparecen en una tonalidad de gris más oscura. Por otra parte todo lo que queda hacia el oeste del área de pino joven queda cubierto por zonas de pino alto y que también tienen menos reflexión esta última debido a que adquieren tonalidades de gris más oscuras.

Por último, en la parte sureste del mapa de orientación de la figura 54, se ve como existe un cambio en la simbología de suelo. De los símbolos 211.0 y 403.0 pasa al 401.0, es decir, de terreno abierto con arena y terreno abierto con matorral a un terreno abierto no rugoso. En la imagen de intensidad también se aprecia este cambio. Las zonas de terreno abierto con arena

y matorral adquieren casi el mismo nivel de gris mientras que la zona de terreno abierto, con menor rugosidad, tiene niveles de gris más claros debido a su mayor reflexión de la señal LiDAR.



Figura 55. Puntos 1 (izquierda) y 2 (derecha) correspondientes con la figura 54.



Figura 56. Puntos 3 (izquierda) y 4 (derecha) correspondientes con la figura 54.

En la figura 57 se ven nuevos puntos que marcan zonas características del mapa de orientación que fueron detectadas con la imagen de intensidad LiDAR. El primero es un límite de vegetación entre los símbolos 403.0 y 410.0. Existe un ligero cambio entre las distintas tonalidades de gris en las dos clases, siendo la zona de suelo abierto más clara que la zona de vegetación baja y densa. Por otro lado, los puntos 6 y 7 al igual que los puntos 2,3 y 4 de la figura 54 corresponden a caminos. A diferencia del resto de puntos, el punto 6 no viene tan bien definido aunque tiene los mismos materiales. El camino del punto 7 es de grava pero viene bien diferenciado, con niveles de gris bastante claros.



Figura 57. Mapa de orientación (izquierda) e imagen de intensidad (derecha) con los elementos extraídos en marcados diferentes colores.



Figura 58. Punto 5 con diferentes ángulos de toma correspondientes a la figura 57.



Figura 59. Puntos 6 (izquierda) y 7 (derecha) correspondientes a la figura 57.

Por otra parte, el punto 8 pertenece a un límite de vegetación entre los símbolos 405.0 y 410.0. La parte izquierda corresponde a zonas de bosque alto mientras que la derecha a zonas de pino joven y bajo. Ambos totalmente discriminados en la imagen de intensidad con diferentes tonalidades de gris.

Finalmente, en la parte oeste del mapa se encuentra una pequeña zona de masa boscosa de eucaliptos. A diferencia que el pino, tienen menor reflexión y por lo tanto tonos más oscuros (cercanos al negro) y son totalmente identificativos en la imagen de intensidades y se aprecia el límite de vegetación mostrado en el punto 9.



Figura 60. Puntos 8 (izquierda) y 9 (derecha) correspondientes a la figura 57.

## 6.5 Vegetación

La vegetación es uno de los temas más subjetivos para dibujar y definir en los mapas de orientación. Al no depender tan sólo de la densidad del bosque sino también de la transitabilidad es necesario un trabajo de campo para determinar esta variable. A través de los datos LiDAR se pueden determinar varias variables como la altura o la densidad dividida en diferentes estratos que son importantes para clasificar las distintas categorías de vegetación que existen en un mapa de orientación pero no del todo determinantes como se puede ver a continuación en los resultados.

Por una parte se analiza cómo la altura de la vegetación a través del nMDS puede tener cierta relación con los niveles de transitabilidad del bosque y por otra los resultados del modelo de densidad de vegetación dividida en estratos verticales creada con Karttapullautin y FUSION. Observando los tres mapas de vegetación se ha decidido hacer una comparativa conjunta del nMDS y el mapa de Karttapullautin y por otro lado hacer un análisis aparte del mapa de densidad relativa obtenido con FUSION.

Para tener cierta idea en las relaciones entre el Modelo Digital de Superficies Normalizado, el mapa de densidades generado con Karttapullautin y el mapa de orientación final, se ha creado una tabla comparativa entre las categorías del nMDS y las categorías (símbolos) del mapa de orientación final. Todos los símbolos son de área y están especificados en la tabla 3.

Lo primero que se ha hecho es exportar el mapa de orientación en formato GIF. Tan sólo se han exportado los símbolos a analizar, los demás se han ocultado. Se importa la imagen en ArcMap y se activa la barra de herramientas *Georeferencing* (Customize→Toolbar→Georeferencing). Se activa la capa de la ortofoto, para así tenerla de referencia para georeferenciar. Se seleccionan puntos comunes entre la imagen y la ortofoto hasta que la imagen quede totalmente solapada. Para este trabajo han sido suficiente 12 puntos distribuidos por todo el mapa. Una vez georeferenciada la imagen, se reclasifica con la herramienta de ArcMap *Reclassify* para así agruparla en las 6 clases a analizar porque previamente estaba clasificada en 255 clases.



Figura 61. Barra de herramientas Georeferencing de ArcMap.

Si la imagen tiene un tamaño de píxel diferente al de los datos ráster, es decir, 1 metro, se cambia. En este caso se ha tenido que aumentar el tamaño de píxel de 0,4 metros a 1 metro con la herramienta de ArcMap *Resample*.

La imagen de Karttapullautin fue importada en formato PNG y no fue necesario una georeferenciación de la imagen porque ya venía georeferenciada. No se tuvo que ampliar el tamaño de píxel tampoco porque ya venía con un tamaño de píxel de 1 metro. De los 31 tonos de verde creados con el programa se tuvieron que reclasificar en las 4 clases a analizar (405.0, 406.0, 408.0 y 410.0). La clase de suelo se mantuvo en la misma clase.

Para centrarse solamente en la vegetación se ha creado una polilínea que haga de límite del área de recorte. Con la herramienta *Clip* (*Data Managament* → *Clip*) se recortan el nMDS, el mapa de vegetación de Karttapullautin y el mapa de orientación. Es importar activar el icono *Use Input Features for Clipping Geometry* así se recorta el área encerrada por el perímetro de polígono (polilínea creada).

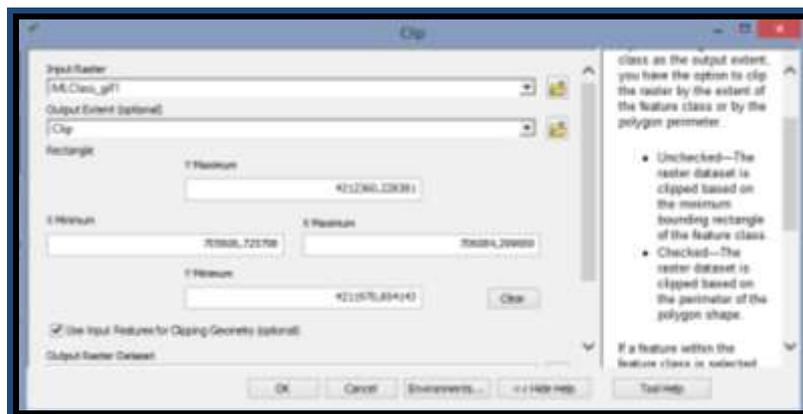


Figura 62. Herramienta de *Clip* de ArcMap.

El nMDS se tiene que volver a reclasificar con la herramienta Reclassify después del recorte. Al igual que antes, está separado en cuatro categorías: Suelo (0m-0.3m), vegetación baja (0.3m-1m), vegetación media (1m-3m) y vegetación alta (<3m).

Para obtener una tabla comparativa entre los diferentes datos ráster, nMDS y mapa de orientación y vegetación de Karttapullautin y mapa de orientación, se utiliza la herramienta *Combine* de ArcMap. Para la combinación de nMDS y mapa de orientación se crea un ráster nuevo con 22 clases dónde un único valor de salida es asignado a cada única combinación de los valores de entrada. Existen 24 combinaciones posibles, de las 6 clases de la vegetación del mapa de orientación y las 4 del nMDS. Sin embargo, 2 combinaciones de clases no tienen datos. Para la combinación entre la vegetación de Karttapullautin y el mapa de orientación se crean 30 clases nuevas, 6 clases de la vegetación del mapa de orientación y 5 de Karttapullautin.

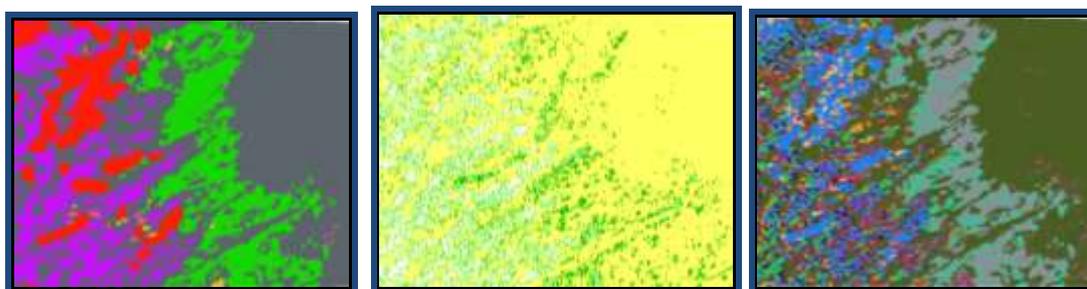


Figura 63. Imagen recortada y reclasificada del mapa de orientación (izquierda), nMDS (centro) e imagen combinada (derecha).

Abriendo la tabla de atributos de cada imagen combinada aparece el número de píxeles de cada clase. Estos datos se pueden importar y ordenar en una tabla Excel de tal manera que las 6 clases de vegetación del mapa de orientación queden en columnas, y las 4 clases del nMDS (5 en el caso de Karttapullautin) queden distribuidas en filas. De esta forma se puede ver de qué forma han sido clasificados los distintos píxeles y el grado de correlación entre distintas clases.

También se han creado dos tablas diferentes dónde aparece el porcentaje de coincidencia entre los píxeles de las clases del mapa de orientación y los del nMDS y en la segunda entre los

del mapa de orientación y los de la vegetación generada por Karttapullautin. Cada valor de celda se divide entre el total de esa clase (del mapa de orientación tan sólo) y se multiplica por 100 para obtener un porcentaje.

nMDS/Mapa Orientación	Suelo (211.0, 401.0,403.0)	404.0	405.0	406.0	408.0	410.0	TOTAL
0m-0.3m (Suelo)	84541	12228	6736	141	156	2394 8	12775 0
0.3m-1m (Vegetación baja)	5321	2510	3188	79	154	7586	18838
1m-3m (Vegetación media)	5291	3187	10120	258	278	1283	20417
< 3m (Vegetación alta)	2029	902	10014	107	ND	ND	13052
<b>TOTAL</b>	97263	18785	30141	600	594	3290 2	18028 5

Tabla 4. Píxeles detectados entre las diferentes clases de los mapas del nMDS y mapa de orientación.

nMDS/Mapa Orientación	Suelo (211.0, 401.0,403.0)	404.0	405.0	406.0	408.0	410.0
0m-0.3m (Suelo)	86,99%	64,95%	22,41%	24,10%	26,53%	72,97%
0.3m-1m (Vegetación baja)	5,48%	13,33%	10,61%	13,50%	26,19%	23,12%
1m-3m (Vegetación media)	5,44%	16,93%	33,67%	44,10%	47,28%	3,91%
< 3m (Vegetación alta)	2,09%	4,79%	33,32%	18,29%	ND	ND

Tabla 5. Porcentaje de píxeles detectados entre las diferentes clases de los mapas del nMDS y mapa de orientación.

Karttapullautin/Mapa Orientación	Suelo (211.0, 401.0,403.0)	404.0	405.0	406.0	408.0	410.0	TOTAL
Suelo	72507	7674	1786	86	52	17647	99752
405.0	16991	5577	24159	230	32	4146	51135
406.0	3575	2244	3257	157	73	2302	11608
408.0	1814	1410	573	63	88	2213	6161
410.0	2376	1880	366	64	349	6594	11629
<b>TOTAL</b>	97263	18785	30141	600	594	32902	180285

Tabla 6. Píxeles detectados entre las diferentes clases de los mapas generados con Karttapullautin y mapa de orientación.

Karttapullautin/Mapa Orientación	Suelo (211.0, 401.0,403.0)	404.0	405.0	406.0	408.0	410.0
Suelo	74,55%	40,85%	5,93%	14,33%	8,75%	53,64%
405.0	17,47%	29,69%	80,15%	38,33%	5,39%	12,60%
406.0	3,68%	11,95%	10,81%	26,17%	12,29%	7,00%
408.0	1,87%	7,51%	1,90%	10,50%	14,81%	6,73%
410.0	2,44%	10,01%	1,21%	10,67%	58,75%	20,04%

Tabla 7. Porcentaje de píxeles detectados entre las diferentes clases de los mapas generados con Karttapullautin y mapa de orientación.

Como se puede ver en las tablas anteriores, previamente en la clase suelo del mapa de orientación se han unido la clase de área abierta (401.0), área abierta áspera(403.0) y zona arenosa (211.0), y así crear una única clase de suelo. Esta es la clase mejor clasificada de todas respecto al nMDS con un casi 87% de píxeles comunes. Existen el 13% de píxeles restantes que se han clasificado como suelo en el mapa de orientación pero que en el nMDS pertenecen a vegetación baja, media y alta. En la vegetación baja y media, es principalmente debido a que en algunas zonas se ha representado esta vegetación con el símbolo 407.0 (matorral) y este símbolo se ha ocultado para la clasificación y viene bien como suelo o bien como bosque (405.0). Por ejemplo en el punto 2 de la figura 64 se puede apreciar como la zona de cañas se ha dibujado con el símbolo de matorral pero sin embargo en el nMDS viene representado con una mancha verde oscuro (vegetación baja). Las zonas de vegetación alta son debidas generalmente por la simplificación de algunas áreas de bosque, dónde no se han representado pequeñas áreas arboladas (de menos de 3 árboles) porque no daban información al mapa y empeoraban la legibilidad. También la simplificación a la hora de delimitar el límite de vegetación entre la cubierta del bosque y el suelo, a veces límites angulosos se ha suprimido y por tanto representado como suelo.



Figura 64. Mapa de orientación (izquierda), nMDS (centro) y mapa de vegetación generado por Karttapullautin (derecha).



Figura 65. Puntos 1 (izquierda) y 2 (derecha) respecto la figura 64.

Los símbolos 407.0 y 409.0 son utilizados para representar el sotobosque de menos de 1 metro de altura y que permiten visibilidad al corredor. Como se ve en la figura 64, viene representado en el nMDS tan sólo cuando está en medio de una zona abierta y no se encuentra cubierto por vegetación alta o media. Cuando el matorral está debajo de una cubierta vegetal más alta, apenas está registrado en la nube de puntos ya que casi todos los retornos se quedan en la parte superior de la copa de los árboles. Con la densidad promedio de puntos LiDAR por metro cuadrado (0.5) raramente zonas de sotobosque puede ser detectada debajo de la copa. En la figura 66 se visualiza como no existe ningún punto debajo del bosque que pertenezca a vegetación baja cuando en la realidad existen zonas de matorral de 0.5 m-1.5 m de altura y ha sido representado con el símbolo 407.0 en el mapa de orientación.



Figura 66. Perfil transversal sobre una zona de matorral y vegetación medio-alta.

Respecto al símbolo 404.0 (zona semiabierta) se ven resultados totalmente acordes con lo que se esperaba tanto en el nMDS como en el mapa de vegetación de Karttapullautin. Estas zonas semiabiertas son principalmente vegetación media-baja y matorral, que por la alta densidad (y al no estar agrupado) se decidió pintar con este símbolo. Por tanto los resultados son bastante acordes con lo que se estimaba a priori. En el nMDS el 65% de los píxeles clasificados como suelo pertenecen a zona semiabierta en el mapa de orientación y en la vegetación de Karttapullautin el 41%.

Respecto a las zonas de bosque limpio (405.0) a priori, deberían de estar relacionadas con la vegetación alta en el nMDS, debido a que las especies de árboles de la zona de trabajo en general no tienen mucho sotobosque y ramaje. En la tabla 3 se aprecia que están generalmente relacionadas con la vegetación media y alta. Las zonas de los bordes del bosque alto tienen menos altura, generalmente clasificado como vegetación media. Como criterio general, estos bordes que a veces tienen una copa más voluminosa y por lo tanto impiden un

poco la visibilidad al corredor, se han dibujado con el símbolo 405.0 porque no aporta mucha información al mapa. En el punto 1 de la figura 64 se aprecia perfectamente el límite de vegetación entre bosque (405.0) y suelo. También se puede ver como en los bordes del límite de la zona boscosa hay zonas de vegetación media y baja que finalmente en el mapa de orientación se han pintado en blanco (405.0). Otra cosa a tener en cuenta de las zonas de bosque, es que desde la ortofoto muchas veces se puede confundir la sombra de la copa con la vegetación y por tanto se pinta como blanco cuando en verdad es suelo. Más del 20 % de los pintados como bosque corresponderían a suelo y parte de ellos pueden ser debido al error descrito anteriormente por parte del cartógrafo aunque no sólo se utilizó la ortofoto para pintar la vegetación sino también a veces el nMDS.

Con Karttapullautin se han conseguido una mejor clasificación del símbolo 405.0. Más del 80% de los píxeles fueron clasificados como zona de bosque limpio, siendo un resultado bastante óptimo y tan sólo el 5% fue clasificado como suelo. Como se ve en la figura 64, el nMDS es más preciso en cuanto a la situación de los bordes de vegetación mientras que Karttapullautin debido al tamaño del filtro crea una imagen más homogénea en cuanto colores pero con menos precisión. Rebajando el tamaño del filtro se conseguiría más precisión para detectar bordes de vegetación pero quedaría un resultado más heterogéneo en cuanto a colores y con píxeles más dispersos.

Los símbolos 506.0 y 408.0 a priori deberían de estar relacionados con la vegetación media, ya que se tratan de árboles más bajos y por lo tanto, la visibilidad y transitabilidad es menor. En general casi el 50% de los píxeles de ambas categorías están situados en áreas de vegetación media y el resto en menor medida están categorizados con suelo y vegetación baja y para el símbolo 406.0 también vegetación alta. Generalmente esto es debido a especies de *Pinus halepensis* de mayor altura pero que tienen bastante ramalaje.

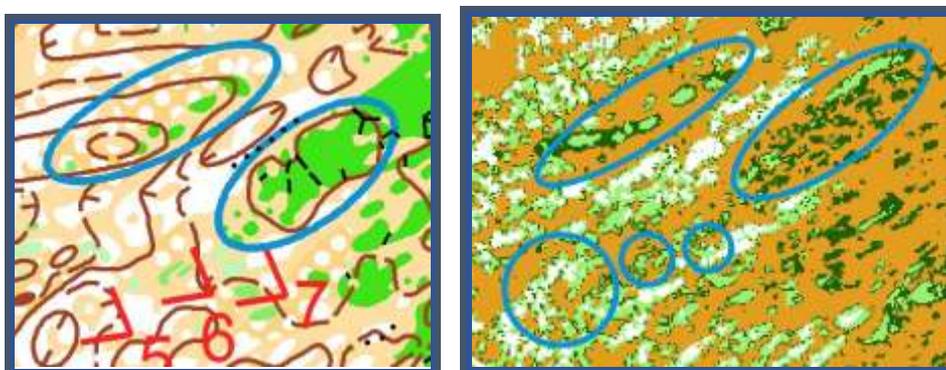


Figura 67. Mapa de orientación (izquierda) y nMDS (derecha) de la zona centro del mapa.



Figura 68. Punto 5 (izquierda) Claro con bosque limpio (405.0), punto 6 (centro) representando un verde 2 (408.0) y punto 7 (derecha) un verde 1 (406.0) respecto a la figura 67.

En la figura 67 se puede visualizar las dos clases de verde: verde 1 (Bosque: carrera lenta, 406.0) y verde 2 (Bosque: difícil de correr, 408.0). La distinción entre ambas clases se tiene que hacer en el trabajo de campo. Acorde con la ISOM, el símbolo 406.0 disminuiría la carrera entre un 20% y un 40% y el símbolo 408.0 entre un 40% y un 80%. Estas zonas son bien o zonas de *Pinus halepensis* o bien de *Pinus pinea* que tienen sus ramas inclinadas drásticamente hacia la dirección del viento dominante cuando estaba en periodo de crecimiento.

Por otro lado, se han representado los muros de vegetación que están en los alrededores de las urbanizaciones. Se han dibujado con unas franjas estrechas con el símbolo 408.0. El muro de vegetación de la foto 1 no llega apenas al metro de altura y viene perfectamente reflejado como vegetación baja en el nMDS y vegetación muy densa en Karttapullautin. La foto 2 es otro muro de vegetación que pasa ligeramente el metro de altura y viene acertadamente representada como vegetación media en el nMDS. Aunque el muro del punto 1 no viene representado de una forma totalmente continua, en los demás muros de vegetación sí que se puede distinguir donde comienzan y acaban cada uno. Por ejemplo, si se marca una altura mínima para determinar muros pasables e impasables, se podría saber perfectamente definiendo los umbrales previamente con el nMDS.

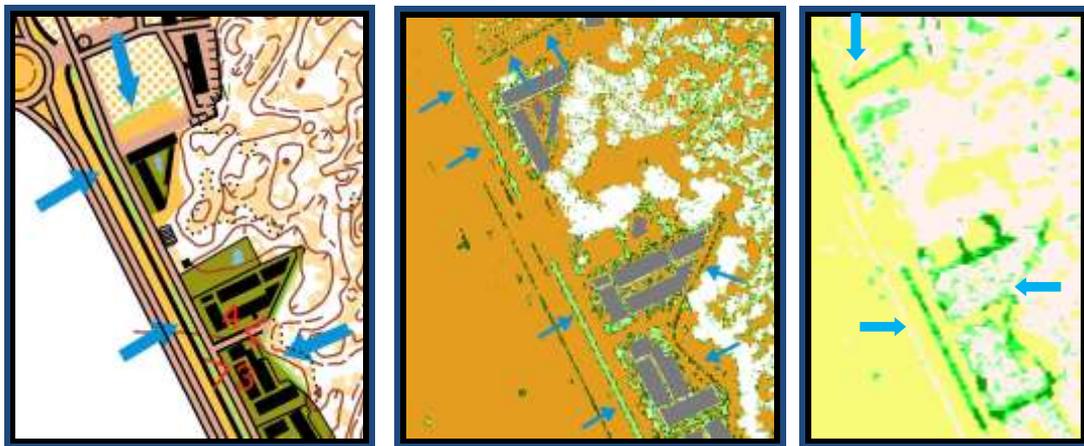


Figura 69. Mapa de orientación (izquierda), nMDS (centro) y mapa de vegetación generado por Karttapullautin (derecha) de la zona oeste del mapa.



Figura 70. Punto 3 respecto a la figura 69.



Figura 71. Punto 4 respecto a la figura 69.

Por último, la vegetación baja y parte de la media tendría que estar asociada al símbolo 410.0, ya que las partes cercanas a la costa existe *Pinus pinea* joven de entre 0.5 y 2 metros de altura de mucha densidad que impide al corredor avanzar. Viendo la tabla 5, se aprecia que la mayoría de los píxeles (casi el 73%) están asociados a la clase suelo del nMDS. En la tabla 5, también se aprecia que la mayoría de píxeles aunque en menor media (53%) están asociados a la clase suelo de la vegetación creada con Karttapullautin. El resto es prácticamente vegetación baja como se estimaba a priori. El por qué viene del filtrado de los puntos LiDAR ya que esas zonas de matorral y *Pinus pinea* bajo cercano a la costa en vez de detectarlo como vegetación baja (clase 3) lo han detectado como suelo (clase 2) y por lo tanto no es un error propio del cartógrafo sino del preprocesado de datos. En la figura 72 se puede ver un perfil transversal creado con Fugroviewer de una zona dibujada en el mapa de orientación con el símbolo de área 410.0 pero que en la nube de puntos LiDAR está clasificada como suelo principalmente aunque con algunos puntos clasificados como vegetación baja pero de forma muy discontinua.

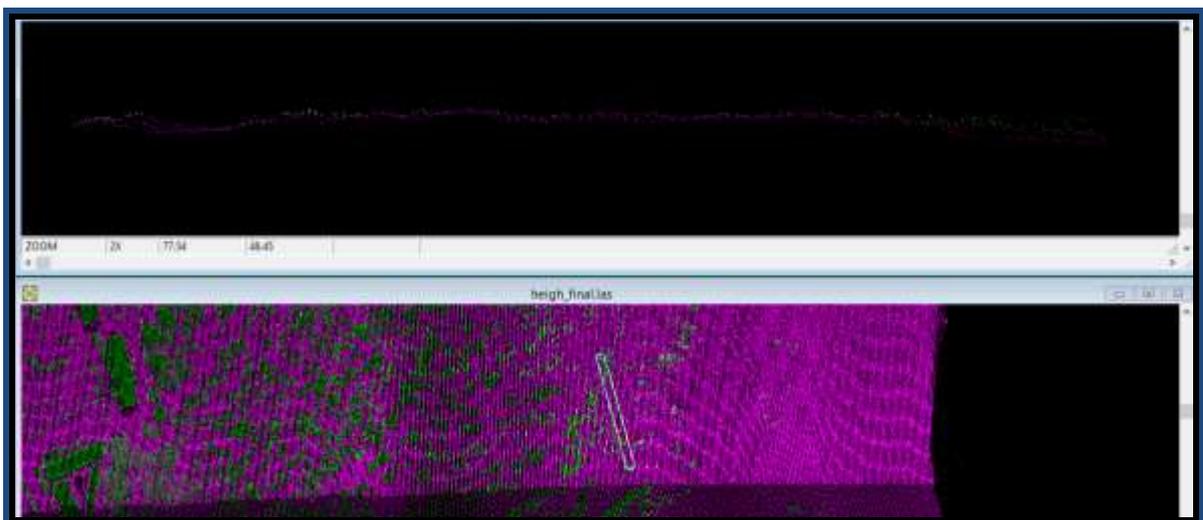


Figura 72. Perfil transversal creado con Fugroviewer sobre zona de vegetación baja detectada como suelo.

En cuanto a los mapas de densidad generados con FUSION los resultados están en porcentaje teniendo un rango de 0 a 100% y el tamaño de celda es de 15 x 15 metros. Viendo el mapa de densidades ente 0 y 1 metros se aprecia que mucha parte del mapa está ocupada por valores altos marcados en rojo, cercanos a 100. En las zonas de vegetación baja se encuentran estos píxeles de alta densidad pegados uno junto a otro, mientras que en la zona de vegetación alta estos píxeles están distribuidos de una forma más aleatoria. También decir que en la zona de matorral bajo y zonas de suelo cercanas a la costa, se registran valores altos también en la densidad entre unas alturas de 0.3 y 1 metros. Este mapa realmente no se puede discriminar ninguna clase y que tenga cierta relación con el mapa de orientación.



Figura 73. Densidad relativa 0.3 – 1 m.

Respecto al mapa de densidad entre 1 y 3 metros se obtienen resultados diferentes. La vegetación baja tiene valores cercanos a 0, representados en píxeles verdes. Las zonas de vegetación media, tienen valores bastante altos, cercanos a 100 y están representados en píxeles rojos. Por último, la vegetación alta tiene unos valores intermedios, cercanos a 50. Aún así, este mapa no es del todo representativo en cuanto a la precisión se refiere. Al tener un tamaño de muestreo de 15 metros abarcan zonas muy extensas y entre ellas zonas de suelo que no corresponden a vegetación en la realidad.

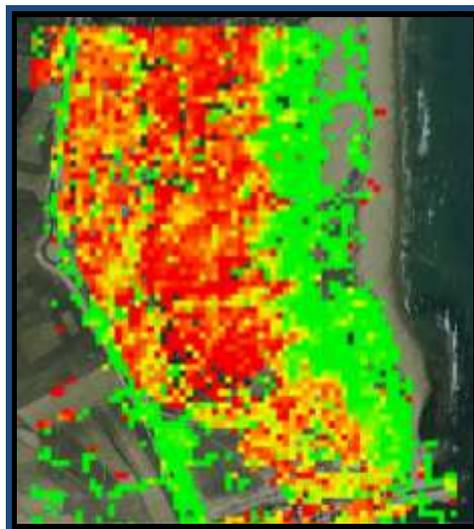


Figura 74. Densidad relativa 1 – 3 m.

## 6.6 Control de calidad

Para tener una idea de la calidad del mapa de orientación se hicieron dos entrenamientos en la zona intentando situar los puntos de control en zonas donde los datos LiDAR han influido en el levantamiento del mapa como la vaguadas, espolones, límites de vegetación, hoyos, depresiones o montículos. El primer entrenamiento tenía una distancia de 2.8 kilómetros y el segundo 2.2 kilómetros. Los entrenamientos se realizaron con el software gratuito PurplePen, especial para trazar carreras de orientación.

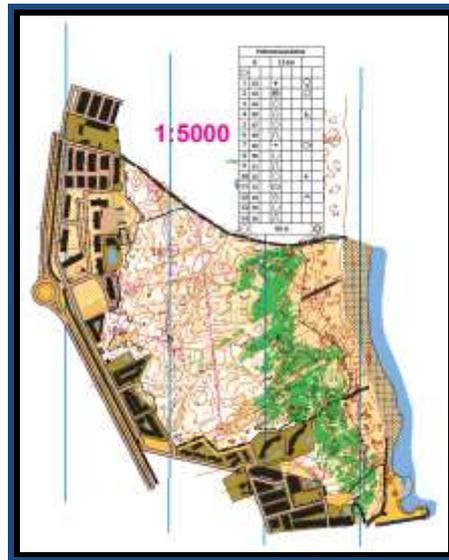


Figura 75. Uno de los dos entrenamientos hechos para evaluar el mapa.

Después de los entrenamientos se hizo una encuesta sobre la calidad de varios aspectos del mapa. Se puntuó cada asunto de 1 a 5. 1 muy mal, 2 mal, 3 normal, 4 bien, 5 muy bien y 0 no opina. Se preguntó sobre la legibilidad y la armonización del mapa, la representación de la vegetación y el suelo, los caminos, la impresión (idoneidad de colores), la curva de nivel y sobre la idoneidad del mapa para hacer entrenamientos y carreras de orientación. Los resultados se muestran en la tabla 8.

Criterio	Media (sobre 5)	Desviación Típica
Legibilidad del mapa	4,2	0,6
Idoneidad de los colores	4,4	0,8
Relieve: objetos puntuales (hoyos, depresiones, montículos)	4,0	0,9
Precisión de la curva de nivel	4,6	0,5
Representación de la vegetación: claros	4,3	0,8
Representación de la vegetación: verdes	4,2	0,9
Generalización del mapa	3,8	0,8
Caminos y senderos	2,7	1,1
Idoneidad para entrenamientos	4,8	0,6
Idoneidad para competición	4,4	0,8

10 respuestas

Tabla 8. Resultados de la encuesta sobre la calidad del mapa.

Como se puede ver de la tabla de resultados, el mejor elemento puntuado fue la curva de nivel. En general casi todos los elementos se han valorado como bueno, con más de un 4 de media. La generalización baja de la media así como los senderos y los caminos. La generalización, en parte por la zona cercana a la costa dónde hay mucho pino joven bajo y que ha sido simplificado dibujándolo con un único símbolo (410.0) mientras que otras zonas ha sido más detalladas. También hubo un error al no detectar, ni tanto con los datos LiDAR ni con el trabajo de campo, una valla de madera de retención de arena. No es que fuera un elemento indispensable para navegar pero sí que confundió a los corredores ya que las demás vallas sí que estaban dibujadas en el mapa.

La regular puntuación a los caminos y senderos también tiene una causa. Se decidió por criterio pintar tan sólo aquellos caminos de más de 3 metros de ancho y los que tuvieran una anchura menor tan sólo aquellos que estaban contruidos con tabletas de madera. En la zona existen muchos senderos de arena de acceso a la playa desde las urbanizaciones. Todos ellos no fueron representados ya que no aportaba una información tan importante y creaban una menor legibilidad al mapa aunque se entiende que pueda causar confusión. Se siguió el mismo criterio respecto a los camino que para el mapa levantado en 1995 por el cartógrafo ruso Valentin Pravilo en las dunas de Guardamar Norte.

En general los comentarios post-entrenamiento fueron positivos, y dadas las características técnicas que ofrece el lugar, se está pensando hacer una carrera de carácter internacional para 2016 con el mapa ampliado hacia el norte.

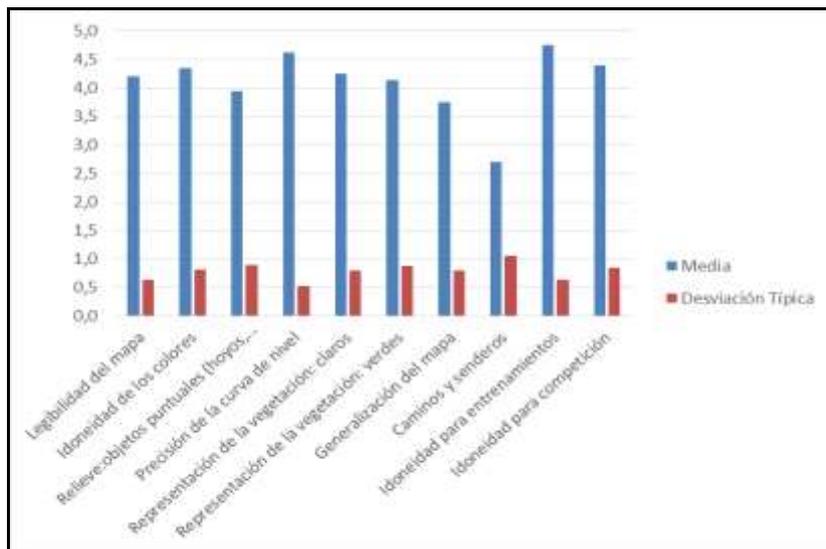


Figura 76. Resultado de la encuesta sobre la calidad del mapa.

## 7. CONCLUSIÓN

### 7.1 Productividad y precisión

Una vez analizados los diferentes resultados que se han obtenido se definen las conclusiones acordes a los objetivos marcados al principio del trabajo. Algunos de los objetivos y de la metodología marcada al principio tuvieron que ser modificada debida al gran consumo de horas que producía. El área a levantar tuvo que ser reducida debido a que el procesamiento con algunos softwares era muy lento por el gran tamaño de la nube de puntos LiDAR y también porque el trabajo de campo podía ser demasiado laborioso y podía consumir mucho tiempo si se cartografiaban todas las dunas (aproximadamente 2.5 kilómetros cuadrados).

El software LAStools ofrece herramientas estupendas para el preprocesado de puntos y no se tiene que escribir ninguna línea de comandos lo que lo hace más fácil de usar y se ahorra más tiempo que usando FUSION. En términos de análisis de la vegetación FUSION dispone de muchos comandos que LAStools no tiene, además de poder crear una imagen de intensidades.

La nube de puntos LiDAR del PNOA viene sin clasificar por lo que hay que separar el suelo de la vegetación y edificios. Esta tarea ha creado serios errores en la clasificación del suelo, ya que muchas zonas de vegetación baja fueron clasificadas como suelo y esto empeora la calidad del MDT, la curva de nivel y la clasificación de la densidad de la vegetación en esas zonas. Con todo esto, en el tipo de terreno del área de trabajo, la curva de nivel fue el elemento más importante de extracción del tratamiento de datos LiDAR. Todos los programas ofrecen introducir manualmente la equidistancia, pudiendo tener equidistancias de 25 centímetros entre curvas de nivel. Esto ha mejorado el trabajo de campo en cuanto a la precisión y la rapidez frente a los levantamientos tradicionales con GPS o triangulaciones con brújula y pasos mediante la identificación de elementos del relieve sobre la curva de nivel. La precisión del LiDAR está por debajo del medio metro en planimetría frente a los 3 metros obtenidos por GPS (Smartphone) además de estar las altitudes por debajo de los 0.4 metros con los datos LiDAR frente a una precisión de más de un metro con GPS.

Debido a que la extensión del área a levantar no era muy grande, se decidieron no tocar los parámetros de generalización y suavizado de la curva de nivel de los diferentes programas y hacerlo manualmente en campo. Posiblemente sea interesante evaluar si estos parámetros habrían sido óptimos para el deporte de orientación.

Sólo Karttapullautin registró de una manera aceptable las diferentes depresiones que había en la zona. Los demás programas las identificaban como una cota o una vaguada.

La extracción de los demás elementos lineales ha sido buena en cuanto a su precisión pero no en cuanto a la representación del elemento entero. Los cortados y muros salían representados parcialmente. La extracción de caminos o senderos se hizo de manera visual, identificando el objeto sobre el mapa de intensidades o sombreado de relieve.

La extracción de los elementos puntuales ha sido muy buena debido a la identificación de estos en la curva de nivel con una equidistancia pequeña. Principalmente fueron hoyos y depresiones.

La extracción de los elementos de áreas ha tenido resultados menos positivos. Los edificios fueron difíciles clasificar debido a que clasificaban muchas zonas de bosque como zonas de edificios. Para obtener buenos resultados se tendría que disponer de una mayor densidad nominal de puntos por metro cuadrado, al menos 3-4 puntos/m<sup>2</sup>. Respecto a la vegetación se obtuvieron resultados dispares. El nMDS y los distintos estratos de altura tuvieron cierta relación con la transitabilidad y densidad del bosque para esta área en particular. El nMDS es un buen indicador para delimitar la vegetación debido a su precisión y además de que no tienen sombra (al contrario que las imágenes de satélite). Por otro lado Karttapullautin ofreció resultados más reales en cuanto a la densidad pero con menos precisión. La vegetación en un mapa de orientación sigue siendo una de las tareas más importantes y donde la subjetividad del cartógrafo tiene un valor muy importante. Por eso parametrizarla es una tarea todavía muy laboriosa y difícil.

Se han obtenido muchos resultados de muchos programas por lo que algunos han sido redundantes como el modelo de densidad y de altura de vegetación creado por OL-Laser. Escogiendo las mejores herramientas de cada programa se podrá mejorar en tiempo y calidad del mapa.

Por último, acorde con el cuestionario realizado, la generalización es buena pero sigue estando debajo de la media. La cantidad de información que ofrecen los resultados y la mayor precisión de los datos hacen que se amplíe la escala (de 1:10.000 a 1:7.500) debido a la mayor cantidad de elementos y que sea más difícil de generalizar el mapa.

## **7.2 Líneas futuras de trabajo**

El levantamiento del trabajo de campo se podría haber hecho con una Tablet. El programa de dibujo (OCAD) estaría incorporado en la Tablet, de esta forma se habría hecho la parte de dibujo en campo directamente y no en gabinete. También ofrece ventajas como poner todos los mapas resultantes del tratamiento LiDAR como plantilla en el programa de dibujo y así no tener que imprimirlos.

Mejorar los softwares para que importen los elementos directamente con la simbología del mapa de orientación.

Volver a realizar el procesado de puntos LiDAR con mayor densidad nominal. Se detectarían más elementos de vegetación, edificios y relieve. Las zonas de sotobosque podrían ser identificadas y los mapas de densidad de vegetación serían más reales.

Combinar los datos LiDAR con fotografías de satélite y combinar las herramientas de procesamiento LiDAR con las de la técnica de la teledetección para poder clasificar mejor la vegetación.

Acceso de ficheros LAS para clubes y federaciones del deporte de orientación. Accesibilidad pública de los datos LiDAR en formato LAS.

## 8. REFERENCIAS

- Andersson, JO. (2011). *Orienteering Map Making*. O-Ringen Academy. Mohed (Suecia), agosto.
- FEDO (2014). *Historia de la Federación Española de Orientación*. URL: <http://www.fedo.org/web/ficheros/federacion/orientacion/Historia-FEDO.pdf>
- Fernández García, LC. (2014). *Clasificación de las masas vegetales en los mapas de orientación a través de imágenes LiDAR*. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Universidad de Salamanca.
- Gartner, G., Ditz, R. (2009). *Applying laser scanning as a basis for deriving orienteering maps of Viena*. Institute of Geoinformation and Cartography, Technical University of Vienna.
- Gloor, T., Hohl, T. (2005). *Representing the relief of Orienteering maps with the aid of airborne laser scanning*. 11<sup>th</sup> International Conference on Orienteering Mapping. Toyota (Japón), 6 de Agosto.
- Gloor, T. (2013). *Vegetation height maps derived from digital elevation models- the next innovation in the production of orienteering maps?* ICC Dresden, 28 de Agosto.
- Hederskog, T., y Lysell, G. (2010). *Laser scanning and O-mapping in Sweden*. ICOM and Open Nordic Mam Meeting, Trondheim (Noruega) 11-13 Agosto.
- Instituto Geográfico Nacional (2014). *Cálculo Declinación Magnética .Datos geomagnéticos*. IGN. URL: <http://www.ign.es/ign/layoutIn/visorgeomagnetismo.do> [Consulta: 23-10-2014]
- John A. Dutton Education Institute (2014). *Characteristics of LiDAR data*. URL: <https://www.e-education.psu.edu/lidar/book/export/html/1873> [Consulta: 10-10-2014]
- LAStools (2014). Rapidlasso GmbH. URL: <http://rapidlasso.com/lastools/> [Consulta: 3-10-2014]
- Mathisen, T. (2013). *Using LiDAR point clouds for Orienteering base map generation*. URL: [http://tmsw.no/mapping/basemap\\_generation.html](http://tmsw.no/mapping/basemap_generation.html) [Consulta: 1-11-2014]
- Norgaard, F. (2010). *LiDAR data. History and status, Denmark*. Danish Orienteering Federation.
- O-Kansas (2012). *Lidar data for vegetation mapping*. URL: <http://okansas.blogspot.com.es/search?q=Ol-laser> [Consulta: 17-10-2014]
- Olivant, D., y Peckett. E. (2012). *British Orienteering Digital Elevation Project 2012*.
- Persson, B. (2000). *International Specification for Orienteering Maps (ISOM)*.
- Petrovic, D. (2013). *Automation in Orienteering Map Production*. University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering.
- Petrovic, D. (2013). *Reducing Field Work with Automation in Orienteering*. Scientific journal of orienteering, volume 19, issue 1, 2014, 3-12.
- Romero Castellanos, LF. (2007). *Estudio de los flujos hídricos en las dunas de Guardamar del Segura*. Departamento de ecología. Universidad de Alicante.
- Ruiz, A., y Soro. M. (2010). *Aplicación de datos LiDAR a los mapas de orientación en la Fageda d'en Jordà*. Instituto Cartográfico de Catalunya.
- Ryyppo, J. (2013). *Karttapullautin vegetation mapping guide*.

Santoyo Medina, F. (2011). *La base de datos LiDAR aplicada a la cartografía de orientación*. Clínic de cartografía FEDO, Toledo, 17-18 de diciembre.

Tveite, H., Lien, JR. (2010). *Laserscanning experiments and experiences in Norway*.

Vosselman, G., Maas, HG. (2010). *Airbone and terrestrial laser scanning*. Ed. Whittles Publishing.

Zentai, L. (2009). *The use of new technologies in making orienteering maps*. Scientific Journal of Orienteering, volume 17, issue 1, 2009.

Zentai, L.(2000). Instructor's kit for O-mapping courses. URL: <http://lazarus.elte.hu/mc/ik/ik-start.htm>

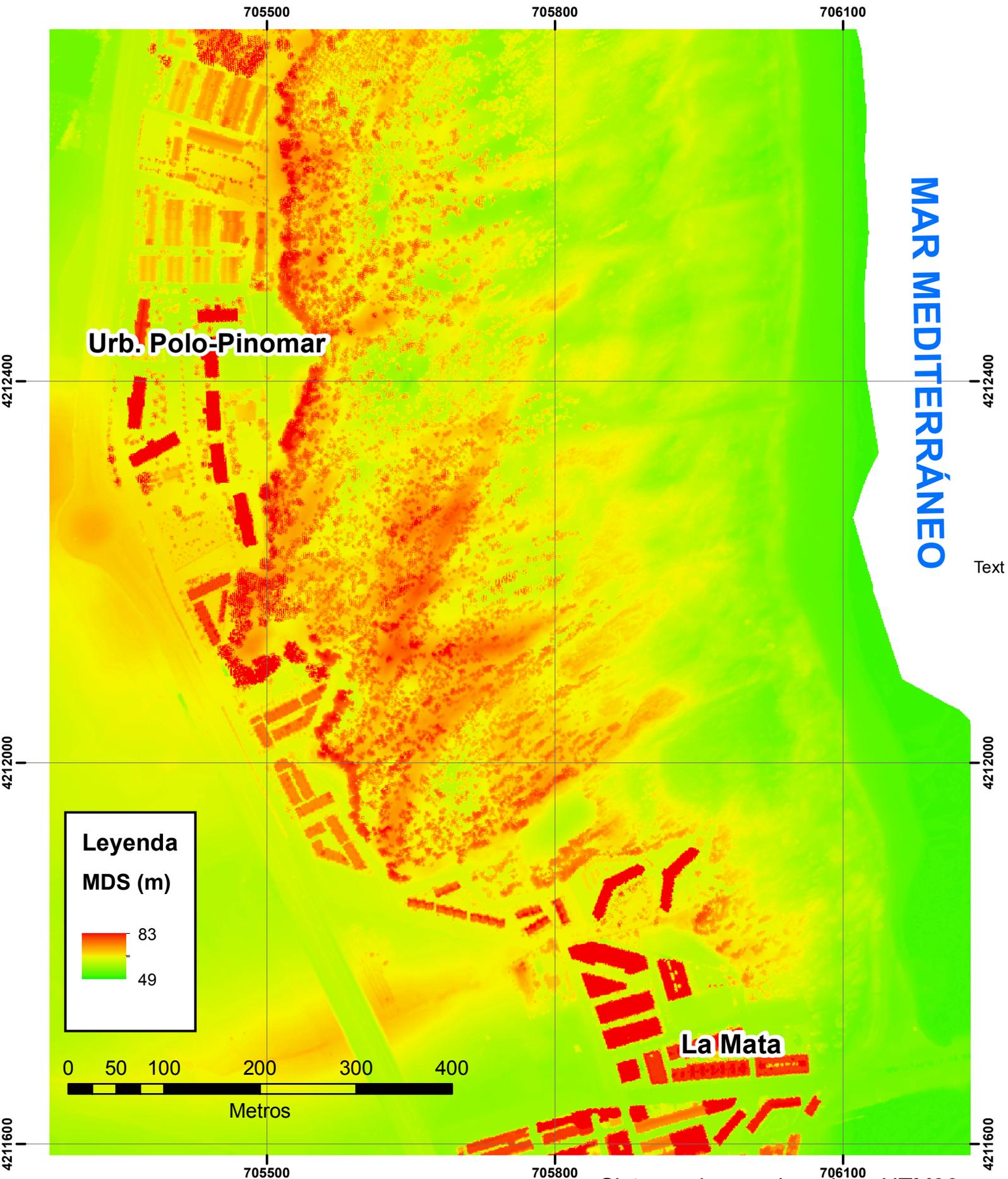
# ANEXO I: Ortofoto



**Escala 1:5000**

Sistema de coordenadas : UTM30  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: ETRS 1989

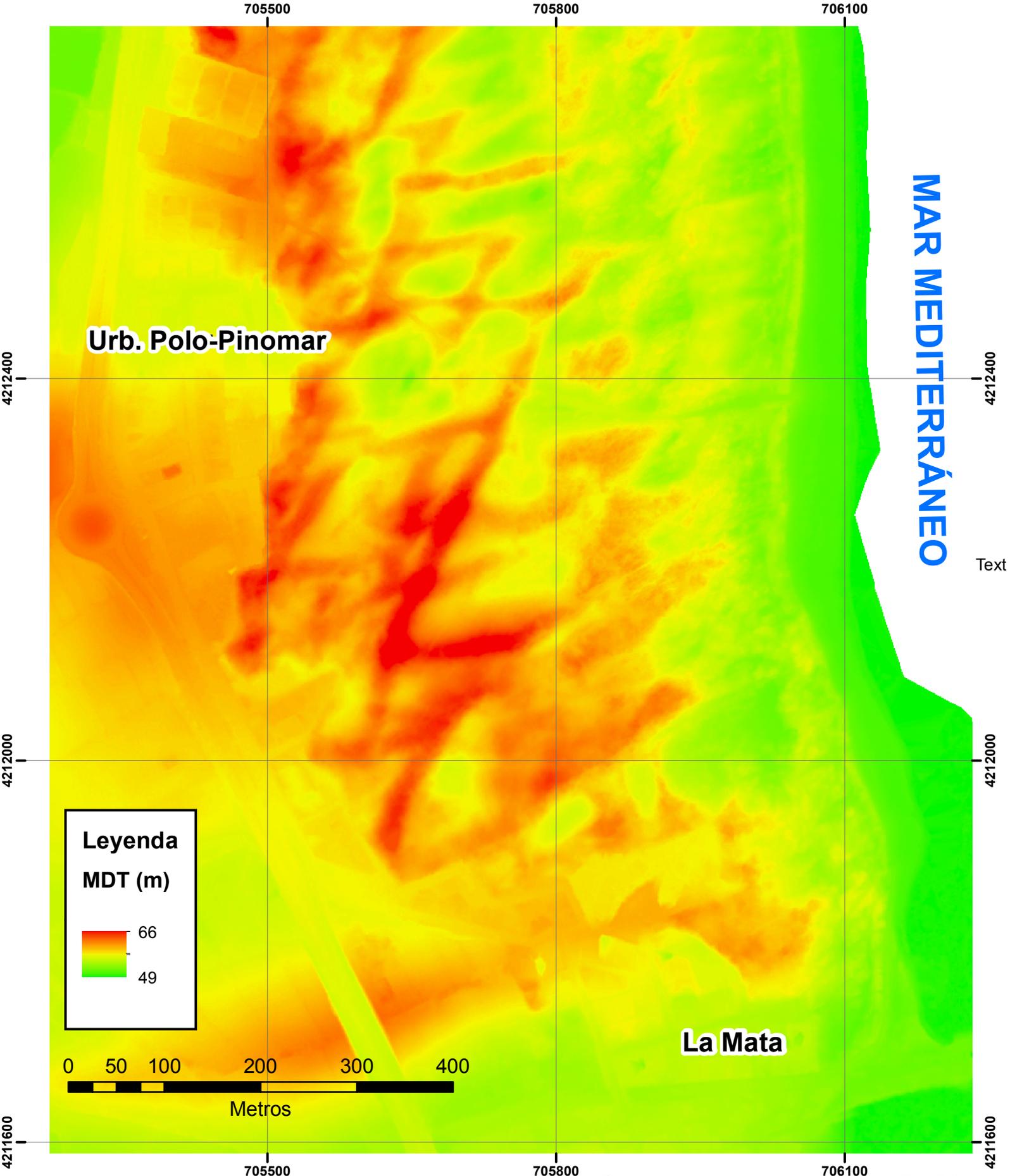
# ANEXO II: Modelo Digital de Superficies (MDS)



**Escala 1:5000**

Sistema de coordenadas : UTM30  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: ETRS 1989  
Alturas elipsoidales

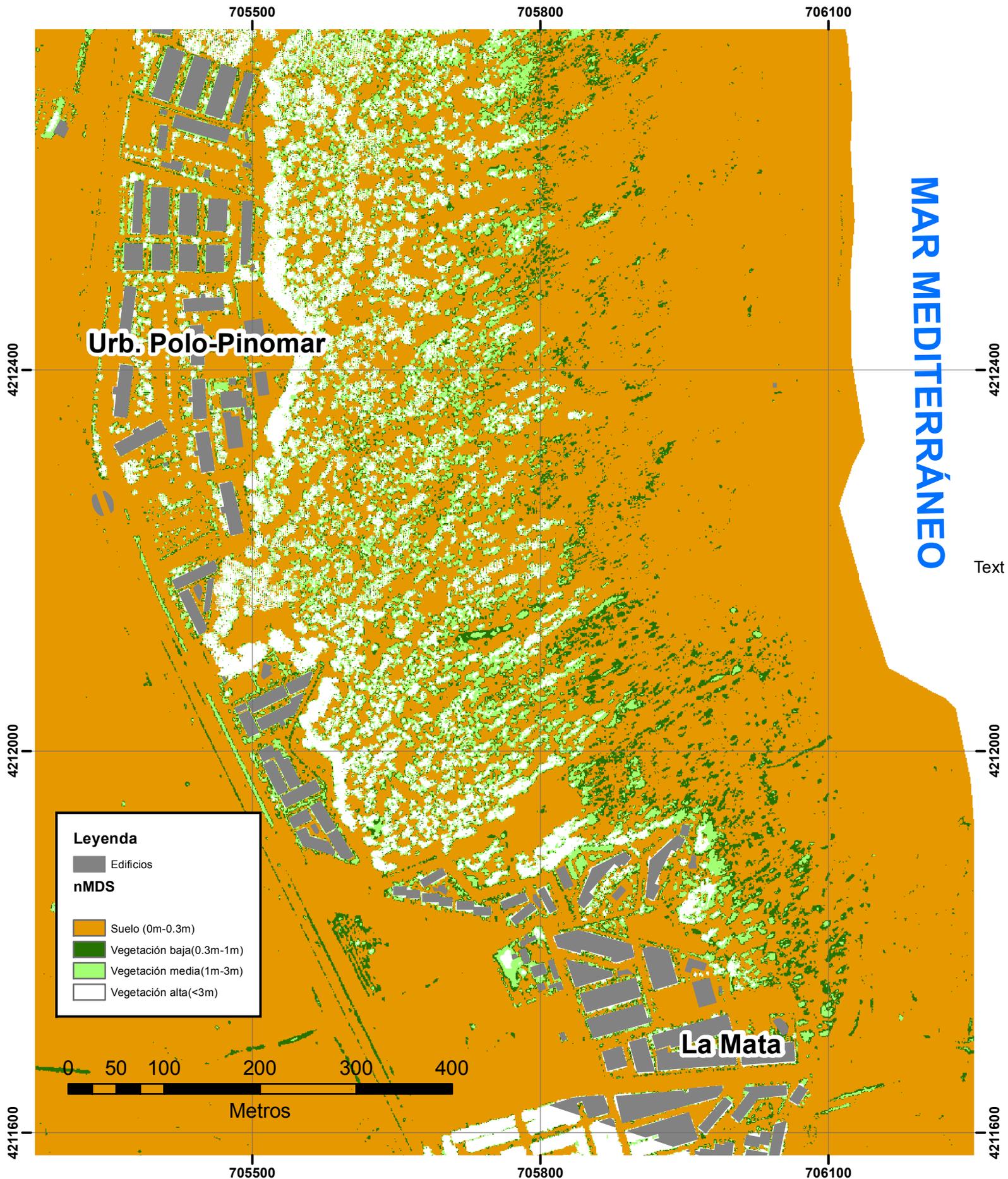
# ANEXO III: Modelo Digital del Terreno (MDT)



**Escala 1:5000**

Sistema de coordenadas : UTM30  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: ETRS 1989  
Alturas elipsoidales

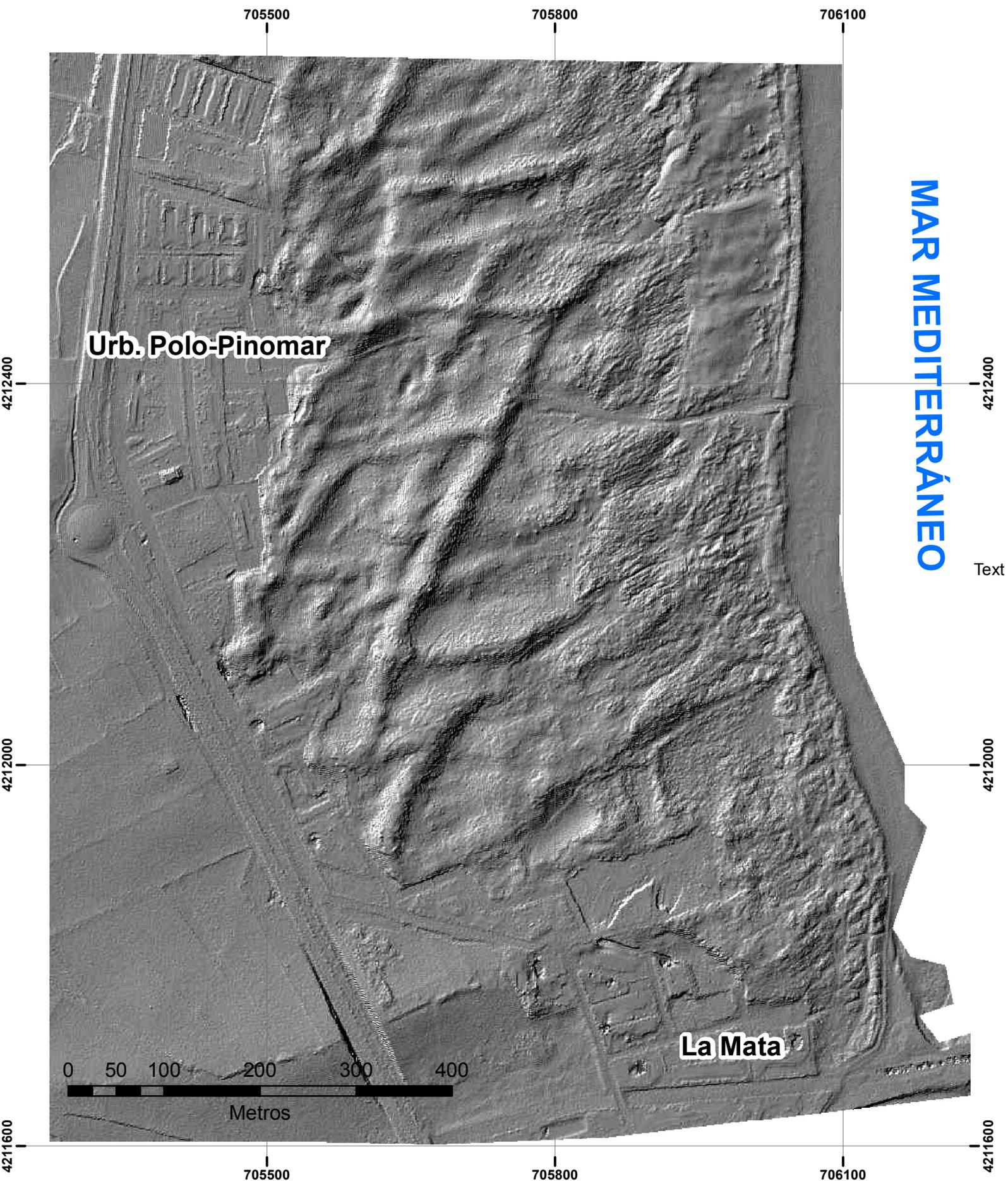
# ANEXO IV: Modelo Digital de Superficies Normalizado (nMDS)



Escala 1:5000

Sistema de coordenadas : UTM30  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: ETRS 1989

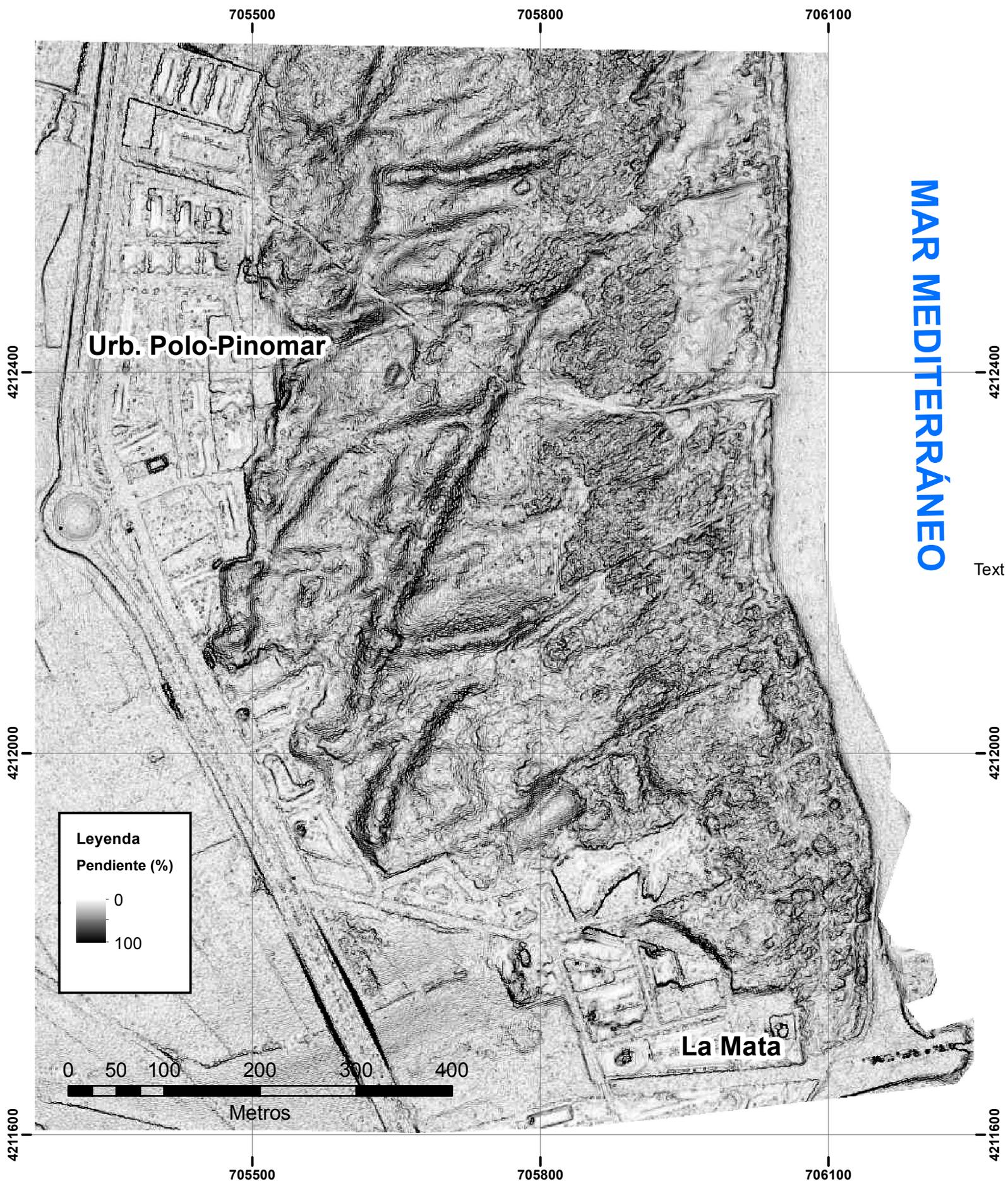
# ANEXO V: Sombreado de relieve



**Escala 1:5000**

Sistema de coordenadas : UTM30  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: ETRS 1989

# ANEXO VI: Mapa de pendientes



Escala 1:5000

Sistema de coordenadas : UTM30  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: ETRS 1989

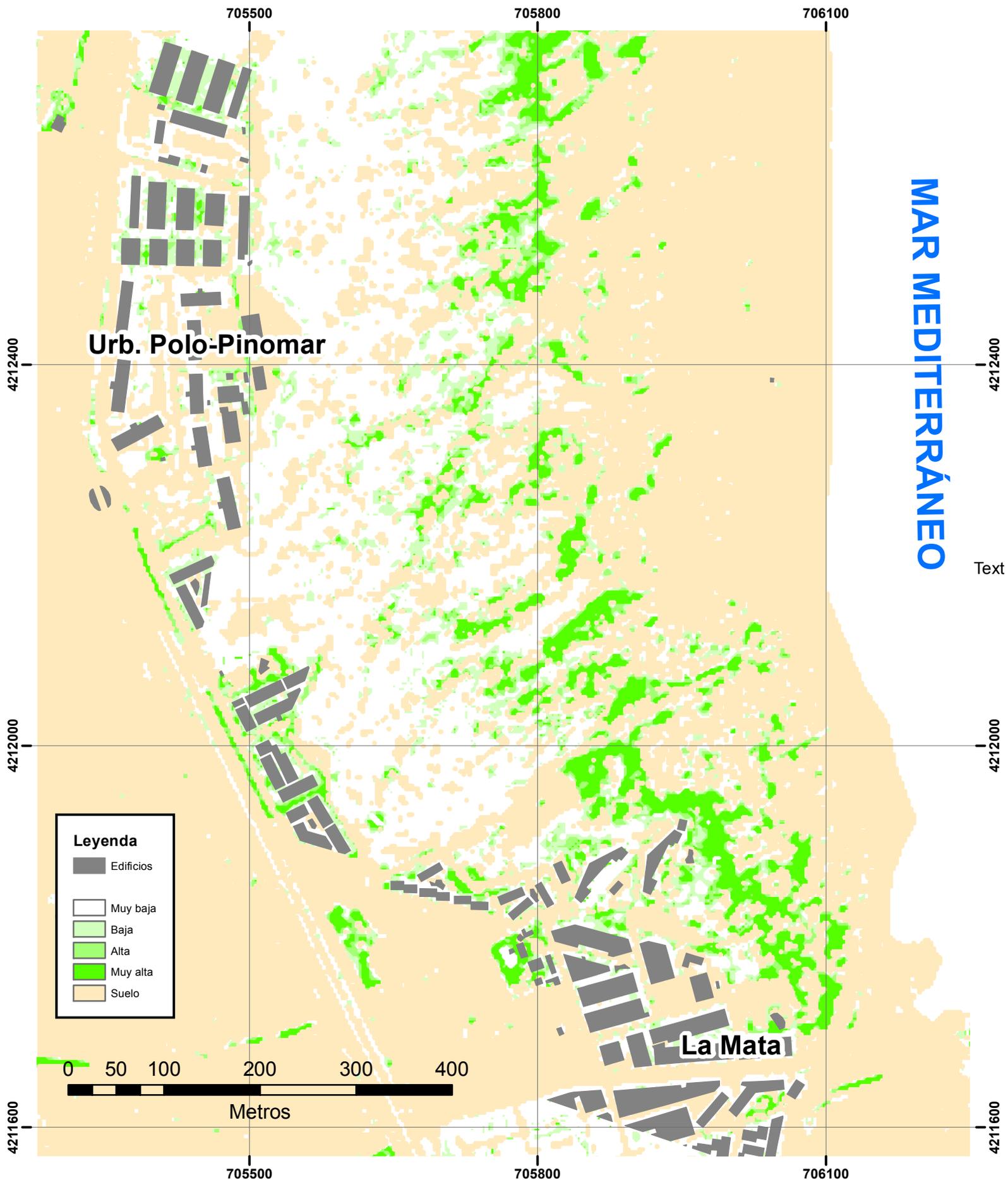
# ANEXO VI: Mapa de cortados



Escala 1:5000

Sistema de coordenadas : UTM30  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: ETRS 1989

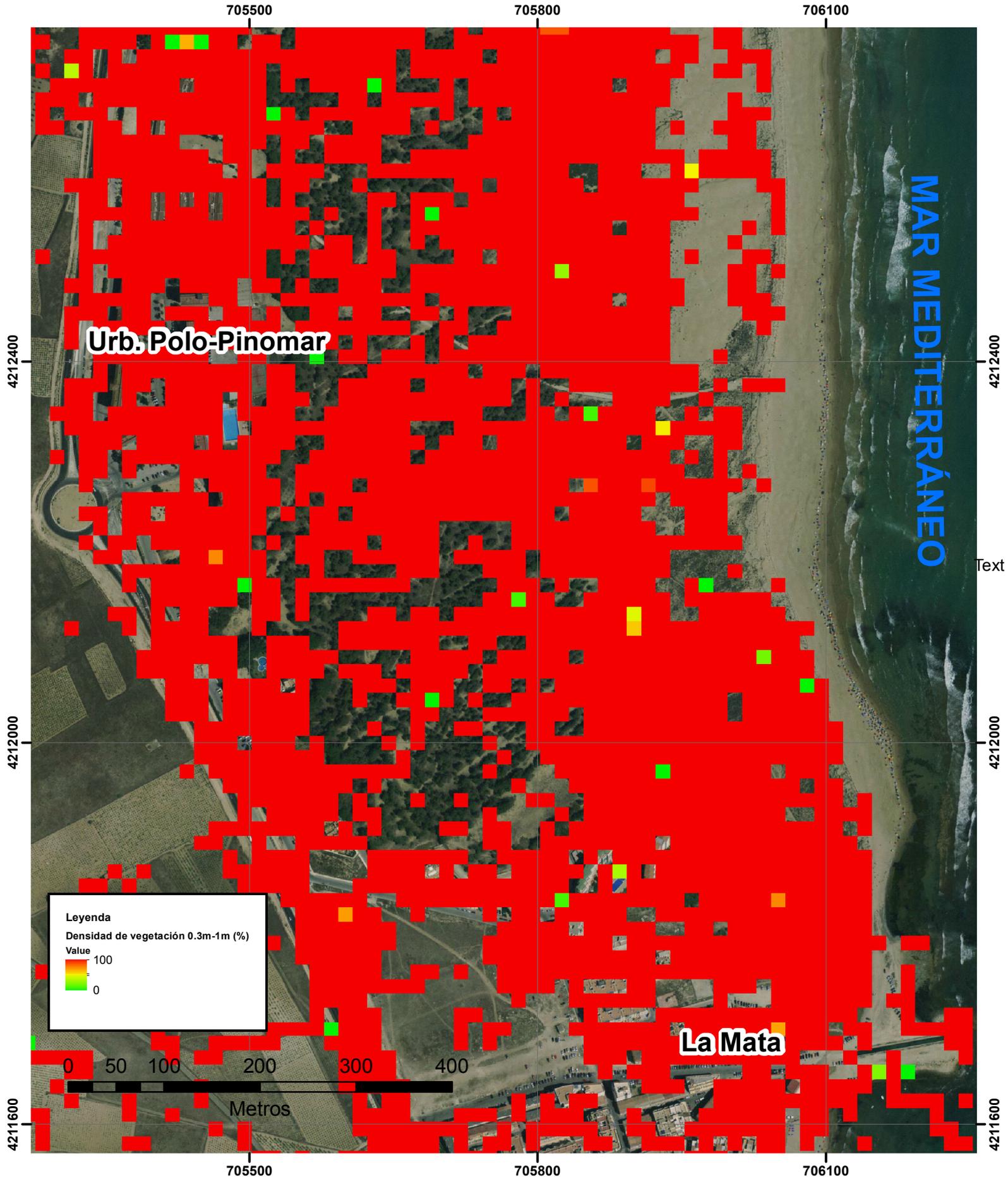
# ANEXO VIII: Mapa de la densidad de vegetación creado con Karttapullautin



Escala 1:5000

Sistema de coordenadas : UTM30  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: ETRS 1989

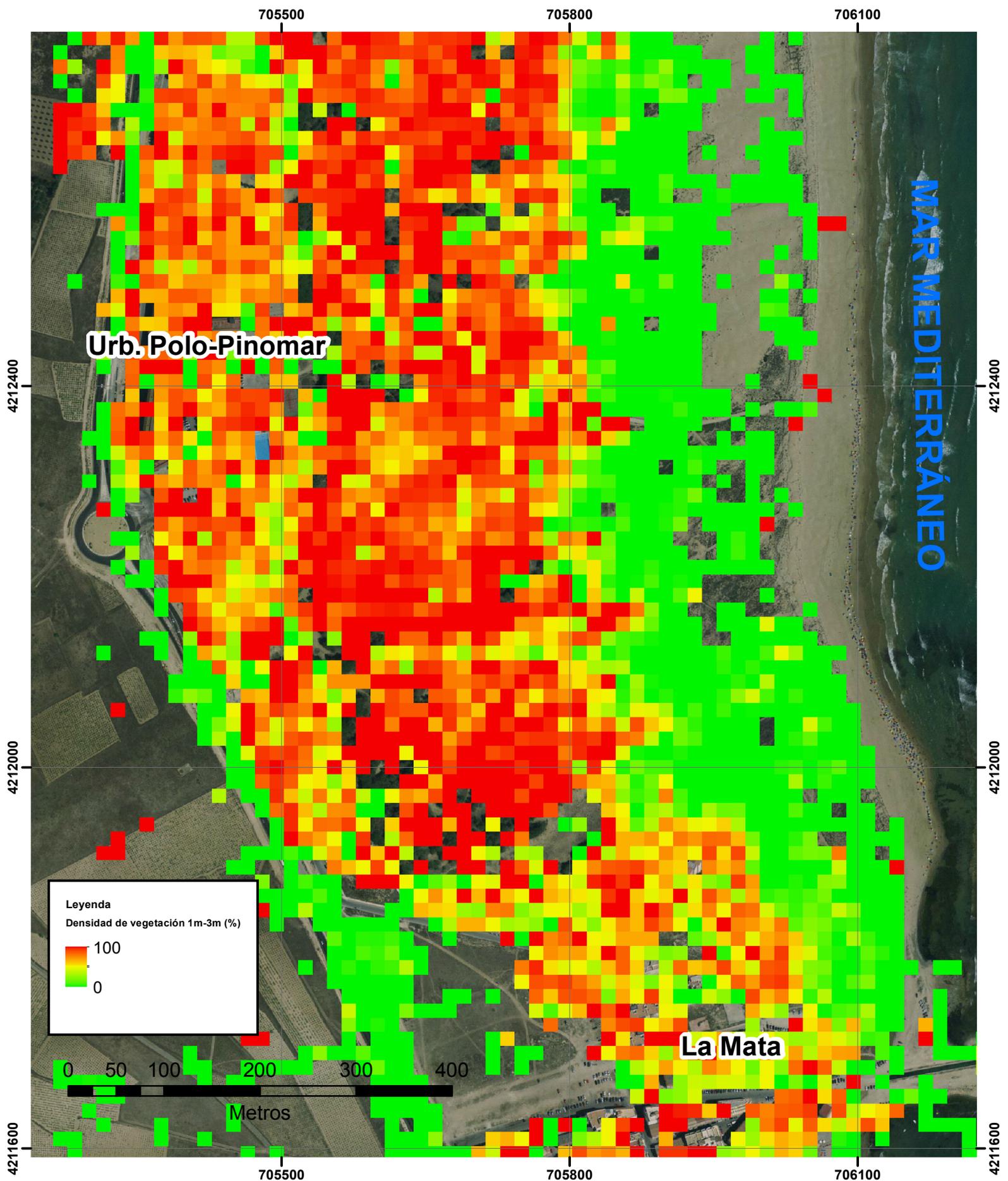
# ANEXO IX: Mapa de la densidad de vegetación creado con FUSION (0.3 m-1 m)



Escala 1:5000

Sistema de coordenadas : UTM30  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: ETRS 1989

# ANEXO X: Mapa de la densidad de vegetación creado con FUSION (1 m -3 m)



Escala 1:5000

Sistema de coordenadas : UTM30  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: ETRS 1989

# Lomas de Polo-Pinomar

(Guardamar del Segura)

Escala 1:7.500  
Equidistancia 2.5 metros



## LEYENDA

	Carretera/ Pista
	Pista secundaria/ Camino
	Senda pequeña/ poco visible
	Muro de piedra/ en ruinas
	Valla infranqueable/ franqueable
	Edificación/ Ruinas
	Cortadura infranqueable/ franqueable
	Piedra/ grande/ Grupo de piedras
	Zona de rocas/ Terreno pedregoso
	Foso rocoso/ Cueva
	Curva de nivel/ maestra/ auxiliar
	Surcos de erosión
	Montículo/ pequeño/ Objeto particular de relieve
	Depresión/ pequeña/ foso
	Cortado de tierra/ pared, muro de tierra
	Terreno abierto rápido/lento
	Terreno abierto con árboles dispersos rápido/lento
	Bosque carrera lenta/ difícil/ muy difícil
	Terreno de Cultivo
	Maleza carrera difícil/ lenta
	Árbol aislado/ Matorral/ Objeto particular vegetal
	Mojón/ Objeto particular artificial

## FICHA TÉCNICA

**Cartografía y trabajo de campo:** Manuel Jurado Alonso  
**Correo:** majual@topo.upv.es ETSIGCT (UPV, Valencia)  
**Mapa base:** Datos LIDAR PNOA( 2009) y BCV05 (ICV)  
**Densidad promedio puntos LiDAR:** 0.5 puntos/m2  
**Fecha del levantamiento:** Octubre 2014  
**Área / Perímetro:** 0.6 Km2 / 3.23 Km  
**Sistema de referencia:** NUTM 30  
**Proyección:** Transversal Mercator  
**Datum:** ETRS 1989