

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	OBJETIVOS .....	9
2.1	Objetivos generales .....	9
2.2	Objetivos específicos .....	9
3.	ANTECEDENTES .....	13
3.1	La tecnología LiDAR ALS. ....	13
3.2	Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) .....	15
3.3	Tipos de análisis visual .....	17
3.3.1	Cuenca visual .....	17
3.3.1.1	Tipos de cuenca visual .....	21
3.3.1.1.1	Cuenca visual simple .....	21
3.3.1.1.2	Cuenca visual múltiple .....	22
3.3.1.1.3	Cuenca visual acumulada .....	23
3.3.1.1.4	Cuenca visual total .....	23
3.3.1.1.5	Cuenca visual inversa.....	24
3.3.1.1.6	Cuenca visual probable .....	25
3.3.1.1.7	Cuenca visual de identificación.....	26
3.3.1.1.8	Cuenca visual difusa.....	27
3.3.1.1.9	Cuenca visual Higuchi .....	28
3.3.1.1.10	Cuenca visual de los horizontes .....	30
3.3.2	Intervisibilidad .....	31
3.3.3	Isovista.....	32
3.3.4	<i>Viewsphere</i> .....	34
3.3.5	Factor <i>Sky-view</i> .....	35

3.3.6	Magnitud visual.....	36
3.3.7	Apertura visual.....	37
3.4	La cuenca visual en los sistemas de información geográfica SIG. ....	38
3.5	Normativa de paisaje.....	40
3.5.1	El Convenio Europeo del Paisaje.....	40
3.5.2	La legislación de paisaje en España y en las Comunidades Autónomas.....	41
3.5.2.1	Instrumentos de gestión del paisaje en la normativa de paisaje de las Comunidades Autónomas.....	43
3.5.2.1.1	Cantabria .....	43
3.5.2.1.2	Cataluña.....	44
3.5.2.1.3	Comunitat Valenciana .....	44
3.5.2.1.4	País Vasco.....	44
3.5.2.1.5	Murcia .....	45
3.6	Métodos de valoración del paisaje.....	46
3.6.1	Métodos directos .....	46
3.6.1.1	Métodos directos de subjetividad aceptada.....	46
3.6.1.2	Métodos directos de subjetividad controlada.....	47
3.6.1.3	Métodos directos de subjetividad compartida.....	48
3.6.1.4	Métodos directos de subjetividad representativa.....	48
3.6.2	Métodos indirectos.....	48
3.6.2.1	Métodos de valoración a través de componentes del paisaje .....	49
3.6.2.2	Métodos de valoración a través de categorías estéticas .....	49
3.6.3	Métodos mixtos .....	50

---

3.6.4	Aplicaciones de los métodos de valoración del paisaje a partir de cartografía .....	50
3.7	Modelos digitales de elevaciones, modelos digitales el terreno y modelos digitales de superficie .....	52
3.7.1	Definiciones .....	52
3.7.2	Métodos de interpolación para la obtención de un modelo digital de superficie .....	55
3.7.2.1	Distancia inversa ponderada (IDW) .....	55
3.7.2.2	Topo a ráster .....	55
3.7.2.3	Kriging .....	56
3.7.2.4	Vecino natural .....	58
3.7.2.5	TIN a ráster .....	58
3.7.2.6	Punto a ráster .....	59
3.7.2.7	Superficie de mínima curvatura Spline .....	59
4.	MARCO TEÓRICO .....	63
4.1	Estudios previos sobre la generación de modelos digitales de superficie a partir de datos LiDAR .....	63
4.2	Estudios previos sobre la comparación de la cuenca visual realizada a partir de diferentes programas informáticos de SIG .....	65
4.3	Estudios previos sobre la realización de la cuenca visual a partir de datos LiDAR. ....	69
4.4	Estudios previos sobre el análisis de la visibilidad en el planeamiento urbanístico .....	75
5.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	81
5.1	Materiales .....	81
5.1.1	Área de estudio .....	81
5.1.2	Datos LiDAR .....	82

5.1.3	Capas vectoriales .....	84
5.1.4	Modelo digital del terreno.....	87
5.2	Metodología.....	87
5.2.1	Generación de un modelo digital de superficie a partir de datos LiDAR.....	87
5.2.1.1	Procesado de los datos/algoritmos de creación de modelos digitales de superficie (MDS) .....	87
5.2.1.2	Preparación de datos LiDAR.....	88
5.2.1.3	Creación de los modelos digitales de superficie (MDS) .....	89
5.2.1.4	Evaluación de la precisión en la interpolación del modelo digital de superficie .....	90
5.2.1.5	Comparación entre cuencas visuales realizadas con cada método de interpolación.....	92
5.2.1.6	Generación de perfiles longitudinales. ....	95
5.2.2	Análisis comparativo de la cuenca visual realizada a partir de distintos sistemas de información geográfica .....	98
5.2.2.1	Cuenca visual realizada con ArcGIS.....	100
5.2.2.2	Cuenca visual realizada con gvSIG.....	101
5.2.2.3	Cuenca visual realizada con ENVI .....	102
5.2.2.4	Cuenca visual realizada con QGIS.....	103
5.2.2.5	Cuenca visual realizada con GRASS .....	105
5.2.2.6	Análisis estadístico de las cuencas visuales de distintos programas SIG .....	105
5.2.3	Estudio comparativo del análisis visual realizado a partir de modelos digitales distintos.....	106

---

5.2.3.1	Creación de un modelo digital de superficie con las edificaciones del catastro.....	106
5.2.3.2	Aplicación de la metodología de análisis visual de la Comunitat Valenciana.....	107
5.2.3.3	Concordancia de los análisis visuales .....	112
5.2.3.4	Índice de Kappa .....	112
5.2.3.5	Comparación por categorías .....	114
5.2.4	Análisis visual para estudios de integración paisajística a partir de un modelo digital de superficie obtenido de datos LiDAR .....	114
5.2.4.1	Adición del edificio propuesto en los modelos digitales de superficie .....	115
5.2.4.2	Determinación de la cuenca visual de identificación .....	116
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	119
6.1	Resultados de la creación de modelos digitales de superficie (MDS) .....	119
6.1.1	Precisión de los modelos digitales de superficie .....	119
6.1.2	Resultados comparación entre cuencas visuales realizadas con cada método de interpolación .....	126
6.1.3	Resultados Perfiles longitudinales.....	127
6.2	Resultados de la comparación de la cuenca visual realizada a partir de distintos sistemas de información geográfica.....	137
6.2.1	Diferencias entre programas .....	137
6.2.2	Tiempo de procesamiento.....	144
6.3	Resultados obtenidos en el estudio comparativo del analisis visual realizado a partir de distintos modelos digitales.....	145
6.3.1	Índice de Kappa .....	148

6.3.2	Método por categoría.....	151
6.4	Resultados del análisis visual de estudios de integración paisajística a partir de un modelo digital de superficie obtenido de datos LiDAR.....	157
7.	CONCLUSIONES .....	167
8.	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN .....	173
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	177
10.	ANEXOS .....	193
10.1	ANEXO I Correlación entre cuencas visuales de distintos modelos digitales de superficie .....	195
10.2	ANEXO II Cuencas visuales según punto de vista y programa .....	201
10.3	ANEXO III Diferencias entre cuencas visuales .....	206

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Escala de valores de paisaje.....	47
Tabla 2.	Coordenadas UTM de los puntos de observación .....	100
Tabla 3.	Escala de fuerza de concordancia según coeficiente de Kappa .....	113
Tabla 4.	Error medio absoluto y error medio cuadrático .....	121
Tabla 5.	Número de celdas visibles .....	139
Tabla 6.	Nº de celdas iguales entre programas.....	139
Tabla 7.	Nº de celdas iguales y diferentes ArcGIS vs. ENVI .....	141
Tabla 8.	Nº de celdas iguales y diferentes ArcGIS vs. gvSIG.....	141
Tabla 9.	Nº de celdas iguales y diferentes ENVI vs. QGIS.....	141

---

Tabla 10. N° de celdas iguales y diferentes ENVI vs. QGIS .....	142
Tabla 11. N° de celdas iguales y diferentes ENVI vs. gvSIG .....	142
Tabla 12. N° de celdas iguales y diferentes gvSIG vs. QGIS.....	142
Tabla 13. Coeficientes de correlación de las cuencas visuales según programa .....	143
Tabla 14. Porcentaje de celdas diferentes.....	143
Tabla 15. Tiempos de procesamiento en la generación de las cuencas visuales .....	144
Tabla 16. Coeficientes globales de los estadísticos de Kappa para la comparación MDS-MDT .....	149
Tabla 17. Coeficientes por categorías de los estadísticos de Kappa para la comparación MDS-MDT.....	149
Tabla 18. Coeficientes globales de los estadísticos de Kappa para la comparación MDS - (2,5-DUSM) .....	149
Tabla 19. Coeficientes por categorías de los estadísticos de Kappa para la comparación MDS - (2,5-DUSM) .....	150
Tabla 20. Comparación de mapas por categoría MDS-(MDT).....	153
Tabla 21. Comparación de mapas por categoría MDS-(2,5-DUSM) ...	155
Tabla 22. Tabla de atributos de la cuenca visual de identificación a partir del modelo digital de superficie.....	163
Tabla 23. Tabla de atributos de la cuenca visual de identificación a partir del modelo digital de superficie urbana (2,5-DUSM) .....	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca visual .....	17
Figura 2. Isovista (Proporcionada por Weitkamp).....	33
Figura 3. <i>Viewsphere</i> (Proporcionada por Putra) .....	35
Figura 4. Factor Sky-view (Proporcionada por Žiga Kokalj).....	36
Figura 5. Diferencias entre modelo digital de superficie y modelo digital de terreno.....	54
Figura 6. Localización del municipio de Navajas.....	81
Figura 7. Ortofoto del municipio de Navajas.....	82
Figura 8. Ubicación de los puntos de observación del estudio de paisaje de Navajas .....	86
Figura 9. Ubicación de los perfiles longitudinales.....	97
Figura 10. Visualización 3D del modelo digital de superficie con resolución de 1 m.....	98
Figura 11. Ubicación de los puntos de observación .....	100
Figura 12. Viewshed en ArcGIS.....	101
Figura 13. R2 Viewshed en gvSIG .....	102
Figura 14. Viewshed Analysis en ENVI .....	103
Figura 15. Viewshed analysis en QGIS.....	104
Figura 16. Proceso en Model Builder del análisis visual.....	111
Figura 17. Error medio cuadrático según tamaño de celda .....	123
Figura 18. Error medio cuadrático según método de interpolación.....	124
Figura 19. Error medio absoluto según tamaño de celda .....	124
Figura 20. Error medio absoluto según método de interpolación.....	125
Figura 21. Segmento del perfil agrícola 1.....	128



---

Figura 22. Perfil zona agrícola A1 .....	128
Figura 23. Segmento del perfil agrícola 2 .....	129
Figura 24. Perfil zona agrícola A2 .....	129
Figura 25. Segmento del perfil forestal 1 .....	130
Figura 26. Perfil zona forestal F1 .....	130
Figura 27. Segmento del perfil forestal 2 .....	131
Figura 28. Perfil zona forestal F2 .....	131
Figura 29. Segmento del perfil urbano 1 .....	132
Figura 30. Perfil zona urbano U1 .....	132
Figura 31. Segmento del perfil urbano 2 .....	133
Figura 32. Perfil zona urbano U2 .....	133
Figura 33. Modelo digital de superficie con resolución de 1m .....	134
Figura 34. Modelo digital de superficie con resolución de 2m .....	135
Figura 35. Modelo digital de superficie con resolución de 5m .....	136
Figura 36. Modelo digital de superficie con resolución de 10 m .....	137
Figura 37. Error producido en GRASS .....	138
Figura 38. Nº de celdas iguales entre programas por punto de observación .....	140
Figura 39. Análisis visual realizado a partir del MDS .....	146
Figura 40. Análisis visual realizado a partir del MDT .....	147
Figura 41. Análisis visual realizado a partir del 2,5-DUSM' .....	148
Figura 42. Comparación por categorías MDS-MDT .....	152
Figura 43. Comparación por categorías MDS-(2,5-DUSM) .....	154
Figura 44. Localización del edificio en el modelo digital de superficie. ....	158
Figura 45. Localización del edificio en el 2,5-DUSM. ....	158
Figura 46. Cuenca visual de identificación a partir del modelo digital de superficie .....	160

Figura 47. Cuenca visual de identificación a partir del modelo digital de superficie.....	161
Figura 48. Cuenca visual de identificación a partir del modelo digital de superficie urbana 82,5-DUSM) .....	162
Figura I. 1. Coeficiente de correlación Topo a ráster - IDW .....	195
Figura I. 2. Coeficiente de correlación Topo a ráster - Punto a ráster.	196
Figura I. 3. Coeficiente de correlación Topo a ráster - TIN a ráster ....	196
Figura I. 4. Coeficiente de correlación Topo a ráster - Vecino natural	197
Figura I. 5. Coeficiente de correlación IDW - Punto a ráster.....	197
Figura I. 6. Coeficiente de correlación IDW - TIN a ráster .....	198
Figura I. 7. Coeficiente de correlación IDW - Vecino natural .....	198
Figura I. 8. Coeficiente de correlación Punto a ráster - TIN a ráster ...	199
Figura I. 9. Coeficiente de correlación Punto a ráster - Vecino natural	199
Figura I. 10. Coeficiente de correlación TIN a ráster - Vecino natural.	200
Figura II. 1. Cuenca visual del punto 1 .....	201
Figura II. 2. Cuenca visual del punto 2 .....	202
Figura II. 3. Cuenca visual del punto 3 .....	203
Figura II. 4. Cuenca visual del punto 4 .....	204
Figura II. 5. Cuenca visual del punto 5 .....	205
Figura III. 1. Diferencias cuencas visuales entre programas del punto 1 .....	206
Figura III. 2. Diferencias cuencas visuales entre programas del punto 2 .....	207

Figura III. 3. Diferencias cuencas visuales entre programas del punto 3  
 .....208

Figura III. 4. Diferencias cuencas visuales entre programas del punto 4  
 .....209

Figura III. 5. Diferencias cuencas visuales entre programas del punto 5  
 .....210

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 .....26

Ecuación 2 .....91

Ecuación 3 .....94

Ecuación 4 .....95

Ecuación 5 .....112

Ecuación 6 .....113

Ecuación 7 .....113