



---

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD EN  
CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN LA  
PROVINCIA DE VALENCIA A PARTIR DE  
DATOS LIDAR Y COORDENADAS GPS

---

ROBERTO PONS ANAYA



TUTORIZADO POR: RAMÓN PONS CRESPO  
GRADO EN INGENIERÍA EN GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA  
4º CURSO



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



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

# **ÍNDICE**

1.	Descripción General del proyecto .....	6
2.	Descripción de la zona .....	7
3.	Datos y errores.....	10
4.	Desarrollo del proyecto .....	20
5.	Marco Legal .....	41
6.	Análisis de Riesgo.....	45
7.	Riesgos y Daños .....	66
8.	Resultados y conclusiones .....	75
9.	Agradecimientos .....	78
10.	Bibliografía.....	79
11.	Anexos y cartografía .....	80

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1. Clasificación de Municipio por riesgo fluvial, marino y accidente de presa .....	7
Tabla 3.1 Perfil número 1 .....	12
Tabla 3.2.1 Perfil número 2 aguas arriba .....	13
Tabla 3.2.2 Perfil número 2 aguas abajo .....	13
Tabla 3.3 Perfil número 3.....	14
Tabla 3.4 Perfil número 4.....	15
Tabla 3.5 Perfil número 5.....	16
Tabla 3.6 Perfil número 6.....	17
Tabla 3.7 Perfil número 7.....	18
Tabla 3.8 Perfil número 8.....	19
Tabla 3.9 Perfil número 9.....	19
Tabla 4.1 Cálculo de la pendiente media del cauce.....	33
Tabla 4.2 Tipo de canal para curso en planicies, (Chow, 1959) .....	36
Tabla 6.1. Niveles de peligrosidad por combinaciones de intervalos de frecuencia y calados .	49
Tabla 6.2. Zonas de riesgo según peligrosidad de inundación, población y usos del suelo .....	52
Tabla 6.3 Población y superficie (ha) por municipio.....	52
Tabla 6.4.1 Superficie (ha) para cada uso del suelo por municipio.....	53
Tabla 6.4.2 Superficie (ha) para cada uso del suelo por municipio.....	53
Tabla 6.5 Coste según el daño en uso del suelo no urbano .....	65
Tabla 7.1 Umbrales de riesgo .....	66
Tabla 7.2 Riesgo potenciales para las vidas humanas .....	67
Tabla 7.3 Afecciones a servicios esenciales.....	67
Tabla 7.4 Daños materiales .....	67
Tabla 7.5 Daños ambientales .....	68
Tabla 7.6 Otras afecciones .....	68
Tabla 7.7 Valores de umbrales para declaración de escenarios.....	69
Tabla 7.8 Costes totales según el daño para suelo urbano .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Imagen 2.1 Localización municipio Bellús. Inicio del trayecto.....</i>	<i>8</i>
<i>Imagen 2.2 Presa de Bellús. Inicio del trayecto .....</i>	<i>9</i>
<i>Imagen 3.1 Perfil número 1 referenciado.....</i>	<i>12</i>
<i>Imagen 3.2 Foto real del perfil número 1 .....</i>	<i>12</i>
<i>Imagen 3.3 Perfil número 2 referenciado.....</i>	<i>13</i>
<i>Imagen 3.4 Perfil número 3 referenciado.....</i>	<i>14</i>
<i>Imagen 3.5 Foto real del perfil número 3.....</i>	<i>14</i>
<i>Imagen 3.6 Perfil número 4 referenciado.....</i>	<i>15</i>
<i>Imagen 3.7 Perfil número 5 referenciado.....</i>	<i>16</i>
<i>Imagen 3.8 Perfil número 6 referenciado.....</i>	<i>17</i>
<i>Imagen 3.9 Perfil número 7 referenciado.....</i>	<i>18</i>
<i>Imagen 3.10 Perfil número 8 referenciado.....</i>	<i>19</i>
<i>Imagen 3.11 Perfil número 9 referenciado.....</i>	<i>19</i>
<i>Imagen 4.1 AOI de la zona .....</i>	<i>20</i>
<i>Imagen 4.2 Ejemplo de borde y ancho .....</i>	<i>22</i>
<i>Imagen 4.3 Ejemplo de un azud .....</i>	<i>23</i>
<i>Imagen 4.4 Ejemplo de las cotas del río.....</i>	<i>24</i>
<i>Imagen 4.5 Diferencia de un perfil antes y después de perfeccionar el mde.....</i>	<i>25</i>
<i>Imagen 4.6 Diferencia del mde antes y después de depurarlo .....</i>	<i>25</i>
<i>Imagen 4.7 Corte transversal del perfil número 5.....</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 4.8 Corte transversal del perfil número 5 con las cotas integradas.....</i>	<i>27</i>
<i>Imagen 4.9 Comparación del perfil 1 antes y después de aplicar las cotas.....</i>	<i>27</i>
<i>Imagen 4.10 Comparación del perfil 2 antes y después de aplicar las cotas.....</i>	<i>28</i>
<i>Imagen 4.11 Comparación del perfil 4 antes y después de integrar las cotas .....</i>	<i>29</i>
<i>Imagen 4.12 Fotografía real del perfil 4 en la toma de datos.....</i>	<i>29</i>
<i>Imagen 4.13 Comparación del perfil 9 antes y después de integrar las cotas .....</i>	<i>30</i>
<i>Gráfica 4.1 Perfil longitudinal del trayecto.....</i>	<i>31</i>
<i>Gráfica 4.2 Parámetros índice de sinuosidad .....</i>	<i>34</i>
<i>Imagen 4.14 Cortes transversales a intervalos de 250 m para obtener la mancha de agua ....</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 4.15 Cortes transversales a intervalos de 750m para obtener la mancha de agua ....</i>	<i>36</i>
<i>Gráfica 4.3 Partes de un azud .....</i>	<i>37</i>
<i>Imagen 4.16 Modelado de un azud en ENVI .....</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 4.17 Modelado de un puente en ENVI .....</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 4.18 Ejemplo con perfiles de un puente con azud .....</i>	<i>39</i>

<i>Imagen 4.19 Ejemplo con perfiles de un azud con aliviaderos</i> .....	39
<i>Imagen 4.20 Ejemplo con perfiles de dos puentes</i> .....	40
<i>Esquema 6.1. Factores que determinan el riesgo de inundación</i> .....	49
<i>Gráfica 6.1 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Alberic</i> .....	54
<i>Gráfica 6.2 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Alzira</i> .....	55
<i>Gráfica 6.3 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Bellús</i> .....	56
<i>Gráfica 6.4 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Benigànim</i> .....	57
<i>Gráfica 6.5 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Benimuslem</i> .....	58
<i>Gráfica 6.6 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Carcaixent</i> .....	59
<i>Gráfica 6.7 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Villanueva de Castellón</i> .....	60
<i>Gráfica 6.8 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Genovés</i> .....	61
<i>Gráfica 6.9 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Manuel</i> .....	62
<i>Gráfica 6.10 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Senyera</i> .....	63
<i>Gráfica 6.11 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Xàtiva</i> .....	64
<i>Gráfica 7.1 Umbrales para época de bajo riesgo de avenidas (enero/agosto)</i> .....	69
<i>Gráfica 7.2 Umbrales para época de alto riesgo de avenidas (septiembre/diciembre)</i> .....	70
<i>Imagen 8.1 Zonas urbanas afectadas en los municipios de Benimuslem y Manuel</i> .....	75
<i>Imagen 8.2 Zona de uso agrario afectada entre los municipios de Benimuslem y Alzira</i> .....	76
<i>Imagen 8.3 Autovía afectada por el crecimiento del cauda</i> .....	76

## 1. Descripción General del proyecto

El propósito de este trabajo de fin de grado es el estudio de inundabilidad en la cuenca hidrográfica del río Albaida, situado en la provincia de Valencia.

A partir de Datos LIDAR y cotas tomadas manualmente un con equipo GPS Leica 1200 con el método RTK, se va a realizar un modelo digital de elevación (mde), lo más parecido posible a la realidad. Para ello, con la ayuda del software ArcGIS, se limpiará y se vectorizará el lecho marino del río Albaida para crear un modelo ajustado a la realidad, para posteriormente someterlo a simulacros con el ArcScene, observar las zonas donde el agua avance con peligro, y proponer soluciones para mejorar las condiciones del entorno y prevenir futuras inundaciones.

Una vez tengamos el modelo digital de elevaciones, perfeccionaremos el curso de nuestro río creando con ENVI, azudes y puentes que cruzan el trayecto.

La zona a estudiar comprende a un afluente del río Júcar, situado en la Vall de Albaida, el río Albaida, desde su paso por el embalse de Bellús, en el propio municipio de Bellús, con coordenadas de inicio (38°56'24.28"N; 0°28'41.01"O), hasta su desembocadura en el Júcar por el que continuaremos hasta los límites del municipio de Alzira, con coordenadas de final (39°9'54.14"N; 0° 26' 13.29"O). El plano de localización se encuentra en los Anexos

En línea recta desde el punto inicial hasta el punto final distan de 25,218Km, pero como podemos ver a primera vista, aunque la primera parte del trayecto transcurra entre montañas y el río mantenga una pendiente longitudinal continua, a medida que supera el desnivel, llega a un plano que estabiliza la pendiente y nos encontramos ante un curso sinuoso. En total seguimos el curso del agua 51,132Km de longitud, de los cuales 26.355Km son parte del río Albaida y 24,797Km forman parte del río Júcar.

El curso de nuestro tramo comienza en una altura de 122,9810m y finaliza luego de recorrer los 50km de longitud en una cota de 8,01m. El desnivel final del trayecto es de 114,971m.

(Ver ANEXO I, Plano de localización).

## 2. Descripción de la zona

Localizada el trayecto del tramo de río, se va a dar un listado de todos los municipios por los que pasa y el grado de riesgo de inundación de origen fluvial, marino o riesgo por accidente en presas, según el listado oficial que ofrece la Generalitat Valenciana.

Para ello es necesario conocer las categorías en las que se divide un zona (zonificación) según su peligrosidad por cercanía de una presa o embalse:

- Zona I: Comprende los municipios a los que pueda afectar la onda de avenida de rotura de la presa y producirles daños en la primera media hora de avenida.
- Zona II: Comprende los municipios a los que les pueda afectar la onda de avenida de rotura de la presa y producirles daños a partir de la primera medio hora de avenida hasta las dos horas.
- Zona de Alerta: Pertenecen a esta zona los municipios a los que la onda de avenida les afecte pasadas las dos horas.

Municipio	Fluvial	Marino	Accidente Presa
<b>ALBERIC</b>	Medio	Nulo	Alerta por P. Bellús
<b>ALZIRA</b>	Alto	Nulo	Alerta por P. Bellús Alerta por P. Forata Zona I por Acequia real del Júcar
<b>BELLÚS</b>	Bajo	Nulo	Zona I por P. Bellús
<b>BENIGNÀNIM</b>	Bajo	Nulo	Zona I por P. Bellús
<b>BENIMUSLEM</b>	Alto	Nulo	Alerta por P. Bellús
<b>CARCAIXENT</b>	Alto	Nulo	Alerta por P. Bellús
<b>POBLA LLARGA</b>	Medio	Nulo	Alerta por P. Bellús
<b>V.CASTELLÓ</b>	Medio	Nulo	Alerta por P. Bellús
<b>GENOVÉS</b>	Medio	Nulo	Zona I por P. Bellús
<b>MANUEL</b>	Medio	Nulo	Zona II por P. Bellús
<b>SENYERA</b>	Bajo	Nulo	Alerta por P. Bellús
<b>XÀTIVA</b>	Bajo	Nulo	Zona II por P. Bellús

Tabla 2.1. Clasificación de Municipio por riesgo fluvial, marino y accidente de presa.

Como podemos comprobar en la lista anterior hay dos factores a tener en cuenta a la hora de decidir si un municipio de nuestro tramo tiene riesgo de inundabilidad. Al estar alejados del mar, el riesgo marino es nulo, pero podemos ver dos tendencias claras si analizamos el riesgo fluvial. En las zonas montañosas más cercanas a la presa de Bellús, el índice de riesgo fluvial es Bajo, debido a que la pendiente del cauce es mucho mayor y por mucho que llueva el agua fluirá rápidamente hacia abajo sin subir su nivel. Por otro lado, cuando el río llega al valle que desencadena una sinuosidad alta, el índice fluvial aumenta, siendo Medio en los municipios por los que pasa el río Albaida y Alto cuando se cruzan las aguas de los dos cauces y el río Júcar incrementa el caudal. Unas lluvias intensas provocan desbordamientos en esta zona con mucha facilidad, afirmación apoyada con los datos de la reciente Dana que asoló la provincia de Valencia en Octubre de 2019. (Ver ANEXO II y III, Plano de riesgo fluvial y accidente de presa).

El otro factor que tenemos que tener en cuenta es el de riesgo de accidente de presa, por lo que debemos conocer la categoría en la que se encuentra la Presa de Bellús, la más próxima y la que afectaría a nuestro tramo en una supuesta rotura.

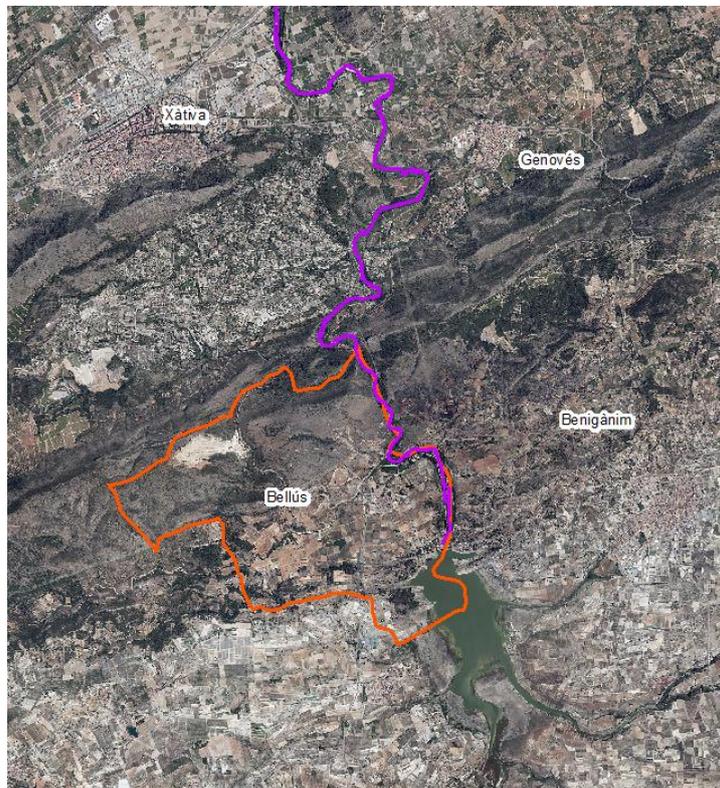
Presa: Se considera una presa a toda aquella estructura artificial que, limitando en todo o en parte el contorno de un recinto enclavado en el terreno, esté destinada al almacenamiento de agua dentro del mismo. A los exclusivos efectos de seguridad, también se entenderán como tales los diques de cierre de las balsas.

Clasificación de la presas según su peligrosidad:

- Categoría A: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.
- Categoría B: Presas que pueden ocasionar daños materiales o medioambientales importantes, o afectar a un número reducido de viviendas.
- Categoría C: Presas que pueden producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas. En todo caso, a esta categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en las categorías A o B. No se elaboran planes de emergencia para presas de categoría C.

Clasificación de las presas según su escenario de inundable, es decir: se determinan las zonas potencialmente inundables bajo una serie de rotura, que suele ser:

- H1: Escenario de rotura sin avenida.
- H2: Escenario de rotura en situación de avenida extrema.
- H3: Escenario de rotura encadenada en situación de avenida extrema.
- A1: Escenario de rotura de las compuertas del aliviadero.



*Imagen 2.1 Localización municipio Bellús. Inicio del trayecto*

## EMBALSE DE BELLÚS.

Ubicación: Bellús, cuenca del río Albaida

Coordenadas UTM (ETRS89):

X: 718607.41

Y:4313107.01

Categoría: A.

Escenario: H2.

Capacidad de almacenamiento en (Hm<sup>3</sup>): 101,52 (Resguardo de 64,289).

Cota de coronación: 159m.

Cota del cauce: 119m.

Características: La presa de Bellús se encuentra a 6.5Km al sur de la población de Xàtiva y justo al sur de la población de Bellús. En los primeros 3Km el cauce presenta una capacidad de transporte apenas suficiente para eventos de recurrencia interanual, con alta probabilidad de desbordamiento si hablamos de episodios de crecida. A lo largo de Kilómetro y medio posterior, aproximadamente, el río posee mayor capacidad que el subtramo anterior, lo cual permite absorber mayores ondas de flujo proveniente del embalse de Bellús. En los siguientes 4.5Km, la capacidad hidráulica del río se reduce debido a la suavización de las pendientes de las franjas marginales, lo cual reduce aún más su capacidad de flujo, debido a que su sección hidráulica es más llana y los banales que definen el canal de aguas normales tienden a desvanecerse reiteradamente. A continuación existe un tramo de cuatro Km, en los que la sección de transporte hidráulico es más definida que en el subtramo anterior, especialmente para flujos de gran magnitud. Finalmente, en los últimos kilómetros el río pierde sucesiva y significativamente su capacidad hidráulica presentando amplias llanuras de inundación.



*Imagen 2.2 Presa de Bellús. Inicio del trayecto*

### 3. Datos y errores

Para que el modelo digital de elevaciones se ajustara lo más preciso posible a la realidad, además de apoyarme en los datos LIDAR obtenidos del IGN, realicé una salida dividida en dos jornadas, en la que estudie diferentes lugares de acceso al propio cauce del río donde poder georreferenciar con la ayuda de un equipo Leica GPS1200 cotas del borde y del lecho marino. Denominamos a cada línea de puntos: perfil. Cada perfil situado a lo largo del curso del río nos indica la cota ortométrica exacta del lugar de extracción, pudiendo aproximar e interpolar aguas arriba y aguas debajo de cada perfil el valor exacto que debe tomar nuestro modelo. Obtuve un total de 76 puntos divididos en 9 perfiles, 7 a lo largo del río Albaida y 2 en el curso del río Júcar.

#### Leica GPS1200

Características:

- Compatible tanto con GPS como con GLONASS.
- Rápida adquisición de satélites.
- Rápida RTK +30Km auto chequeo.
- Resistente a bajas y altas temperaturas (- 40°C a + 65°C).
- Equipo completo muy ligero 2,8Kg.
- Soporta la inmersión a 1m en agua, arena y polvo.
- Receptor universal para todas las aplicaciones:
  - o 14 L1 + 14 L2 (GPS).
  - o Soporta L2C.
  - o 12 L1 + 12 L2 (GLONASS).
  - o 2 SBAS.
  - o Registro de datos.
  - o RTK y DGPS.
  - o Función Móvil o Referencia.
- 1 puerto de alimentación.
- 3 puertos seriales.
- 1 puerto de controlador.
- 1 puerto de antena.
- Tensión de alimentación Nominal 12 VCC.
- Consumo: receptor 4,6W + controlador + antena.



Equipo de trabajo:

- Controlador táctil con iluminación.
- Bastón RTK de fibra de carbono con mango universal y ergonómico.
- Leica Geo Office. Paquete de soporte por software para GNSS con herramientas y componentes para importación, visualización, conversiones, control de calidad, procesamiento, ajuste, informes y exportaciones.
- Tarjetas CompactFlash Para GNSS.
- Baterías de Ión-Li de larga duración.
- Antena estándar Smartack+ AX1202 GG.

Tecnología RTK de largo alcance:

- Inicialización de 8 segundos.
- Intervalo de actualización de posición seleccionable hasta 20Hz
- Latencia < 0.03 s.
- Alcance 30Km o más en condiciones favorables.

Precisiones:

- Cinemático
  - o Horizontal: 10 mm +1 ppm.
  - o Vertical: 20 mm +1 ppm.
- Estático (ISO 17123-8)
  - o Horizontal: 5 mm + 0.5 ppm.
  - o Vertical: 10 mm + 0.5 ppm.
- Fiabilidad: 99,99% para líneas base de hasta 30Km.

Redes de estaciones de referencia.

- Móvil RTK totalmente compatible con redes de estaciones de referencia de formatos de Leica Spider I-MAX & MAX, VRS y corrección de área (FKP).

### SALIDA A CAMPO

El trabajo en campo implicó tener que buscar zonas accesibles en un previo estudio del trayecto para poder referenciar perfiles. En dos días de trabajo, logré con la ayuda de un equipo de botas prestado y el GPS introducirme en las aguas del río Albaida y tomar las cotas que necesitaba para el proyecto. Algunos perfiles solamente constaban de cotas del terreno que indicasen los bordes del cauce, o la altura de los puentes para luego recrearlos en el modelo, sin embargo en la mayoría de los perfiles tuve que atravesar el río en aguas poco profundas que como mucho cubrían hasta la cintura para tomar cotas reales del lecho. Dependiendo de la zona, el GPS encontraba señal antes o después, pero logré tomar 9 perfiles óptimos para trabajar. Aunque algunos estuviesen bajo vegetación, o la corriente en algunos puntos interfería en la señal, repetía todas aquellos puntos que excedían el error en X, en Y o en Z en 0.050m. Es por eso que de los 92 puntos que referencié descarté algunos para quedarme con 76. Divididos en las siguientes categorías: borde, lecho, puente o isla, a continuación expongo la lista de todos los perfiles con su altura y sus respectivos errores.

## Perfiles

Perfil Número 1:

Situado aguas arriba del Azud de Bellus.

Coordenadas: 38° 57' 26.87" N 0° 29' 12.78" O.

Puntos referenciados: 4.

ID	Tipo	Elevación	6X	6Y	6Z
1	Borde	109.52285	0.012	0.024	0.033
2	Lecho	108.26244	0.010	0.008	0.017
3	Lecho	108.17239	0.014	0.016	0.030
4	Lecho	108.14872	0.021	0.011	0.030

Tabla 3.1 Perfil número 1



Imagen 3.1 Perfil número 1 referenciado



Imagen 3.2 Foto real del perfil número 1

Perfil Número 2:

Perfil doble situado en el paso del rio Albaida por la Cova Negra.

Coordenadas: 38° 57' 52.25" N 0° 29' 38.02" O.

Puntos referenciados: 17.

Aguas Arriba del puente:

ID	Tipo	Elevación	6X	6Y	6Z
5	Lecho	102.91267	0.006	0.011	0.018
6	Lecho	102.74019	0.006	0.009	0.018
7	Lecho	102.60254	0.009	0.015	0.026
8	Lecho	102.59089	0.008	0.012	0.023
9	Lecho	102.56120	0.007	0.011	0.021
10	Lecho	102.63513	0.007	0.015	0.023
11	Lecho	102.01230	0.009	0.014	0.025

Tabla 3.2.1 Perfil número 2 aguas arriba

Aguas Abajo del puente:

ID	Tipo	Elevación	6X	6Y	6Z
12	Borde	102.06845	0.012	0.024	0.034
13	Borde	102.04023	0.007	0.010	0.018
14	Borde	102.00746	0.006	0.008	0.016
15	Lecho	101.65187	0.007	0.011	0.020
16	Lecho	101.47059	0.005	0.008	0.015
17	Lecho	101.30695	0.006	0.010	0.018
18	Lecho	101.33197	0.006	0.009	0.016
19	Lecho	101.52940	0.005	0.008	0.014
20	Lecho	101.84404	0.009	0.014	0.026
21	Borde	102.11193	0.006	0.008	0.017

Tabla 3.2.2 Perfil número 2 aguas abajo



Imagen 3.3 Perfil número 2 referenciado

Perfil Número 3:

Situado en el paso del río Albaida por la Alboi, pedanía de Genovés.

Coordenadas: 38° 58' 16.22" N 0° 29' 16.05" O.

Puntos referenciados: 8.

ID	Tipo	Elevación	6X	6Y	6Z
22	Borde	96.26890	0.011	0.014	0.023
23	Lecho	95.84661	0.017	0.014	0.032
24	Lecho	95.56714	0.018	0.020	0.029
25	Lecho	95.61549	0.013	0.011	0.023
26	Lecho	95.56167	0.014	0.021	0.029
24	Lecho	95.70228	0.010	0.013	0.018
28	Lecho	95.75533	0.07	0.010	0.018
29	Lecho	95.97377	0.07	0.010	0.017

Tabla 3.3 Perfil número 3



Imagen 3.4 Perfil número 3 referenciado



Imagen 3.5 Foto real del perfil número 3

Perfil Número 4:

Perfil doble situado en el paso del río Albaida entre los municipios de Xàtiva y Genovés.

Coordenadas: 38° 59' 11.85"N 0° 29' 12.19" O.

Puntos referenciados: 10.

ID	Tipo	Elevación	6X	6Y	6Z
30	Lecho	78.92117	0.009	0.016	0.025
31	Lecho	78.72327	0.009	0.014	0.023
32	Lecho	78.78179	0.009	0.011	0.020
33	Lecho	78.89711	0.009	0.025	0.031
34	Lecho	79.08035	0.007	0.022	0.029
35	Lecho	78.18364	0.015	0.015	0.027
36	Lecho	78.56745	0.010	0.011	0.020
37	Lecho	78.64426	0.007	0.009	0.016
38	Lecho	78.43406	0.009	0.011	0.019
39	Lecho	78.72684	0.010	0.012	0.022

Tabla 3.4 Perfil número 4



Imagen 3.6 Perfil número 4 referenciado

Perfil Número 5:

Perfil doble situado en el paso del río Albaida en las proximidades del municipio de Xàtiva.

Coordenadas: 39° 0' 38.52" N 0° 30' 2.17" O.

Puntos referenciados: 13.

ID	Tipo	Elevación	6X	6Y	6Z
40	Borde	60.37868	0.011	0.014	0.036
41	Lecho	59.98141	0.009	0.014	0.027
42	Lecho	60.00975	0.011	0.015	0.028
43	Lecho	59.92892	0.012	0.016	0.028
44	Lecho	59.73928	0.013	0.021	0.043
45	Lecho	59.77053	0.012	0.012	0.037
46	Lecho	59.82904	0.008	0.009	0.027
47	Lecho	59.87575	0.008	0.015	0.024
48	Lecho	59.76350	0.010	0.016	0.026
49	Lecho	59.75582	0.010	0.017	0.029
50	Lecho	59.62915	0.010	0.009	0.031
51	Lecho	59.66318	0.010	0.009	0.030
52	Lecho	59.85391	0.011	0.010	0.035

Tabla 3.5 Perfil número 5



Imagen 3.7 Perfil número 5 referenciado

Perfil Número 6:

Situado en el paso del río Albaida por el municipio de Manuel.

Coordenadas: 39° 2' 58.48"N 0° 29' 44.06" O.

Puntos referenciados: 12.

ID	Tipo	Elevación	6X	6Y	6Z
53	Borde	42.66515	0.012	0.014	0.026
54	Borde	39.45497	0.006	0.012	0.017
55	Lecho	38.84980	0.014	0.018	0.038
56	Lecho	38.90297	0.007	0.011	0.019
57	Lecho	38.96187	0.008	0.011	0.020
58	Lecho	38.73640	0.007	0.010	0.018
59	Isla	38.99691	0.007	0.010	0.018
60	Isla	39.14332	0.007	0.011	0.019
61	Lecho	38.91707	0.007	0.010	0.017
62	Lecho	38.51836	0.007	0.010	0.017
63	Lecho	38.35657	0.007	0.011	0.018
64	Lecho	38.81603	0.007	0.011	0.017

Tabla 3.6 Perfil número 6

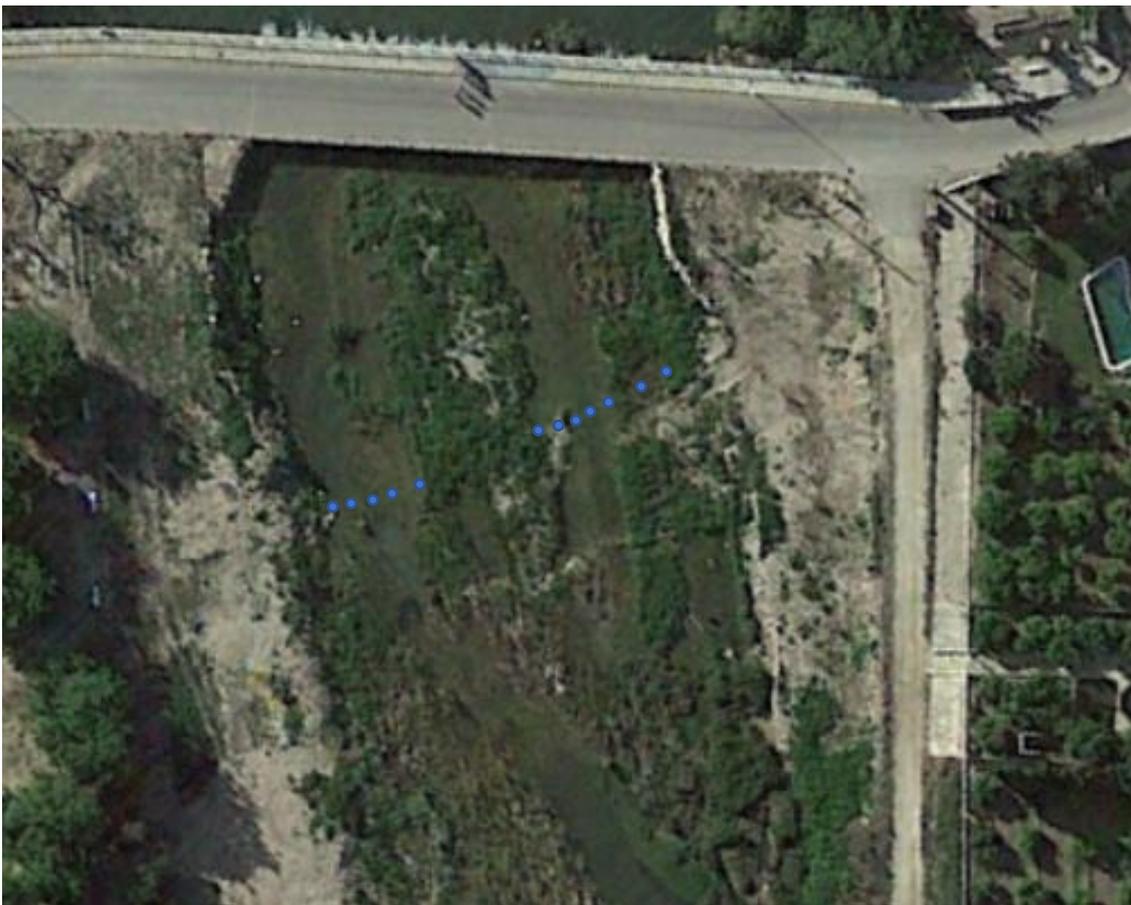


Imagen 3.8 Perfil número 6 referenciado

Perfil Número 7:

Situado en el paso del río Albaida por el municipio de Villanueva de Castellón.

Coordenadas: 39° 4' 13.17"N 0° 31' 6.97"O.

Puntos referenciados: 8.

ID	Tipo	Elevación	6X	6Y	6Z
65	Puente	32.04262	0.013	0.020	0.038
66	Puente	31.35883	0.012	0.022	0.042
67	Puente	32.37493	0.012	0.015	0.029
68	Puente	32.75638	0.009	0.015	0.020
69	Borde	31.19345	0.009	0.015	0.026
70	Isla	30.17204	0.008	0.011	0.019
71	Isla	30.41186	0.008	0.012	0.020
72	Borde	31.00865	0.008	0.012	0.021

Tabla 3.7 Perfil número 7



Imagen 3.9 Perfil número 7 referenciado

Perfil Número 8:

Situado en el paso del río Júcar entre los municipios de Alberic y Benimuslem.

Coordenadas: 39° 6' 39.37" N 0° 30' 7.87 O.

Puntos referenciados: 2.

ID	Tipo	Elevación	6X	6Y	6Z
73	Borde	15.65391	0.018	0.015	0.032
74	Lecho	14.17978	0.015	0.020	0.041

Tabla 3.8 Perfil número 8



Imagen 3.10 Perfil número 8 referenciado

Perfil Número 9:

Situado en el paso del río Júcar en el municipio de Alzira.

Coordenadas: 39° 9' 18.78 N 0° 26' 39.91" O.

Puntos referenciados: 2.

ID	Tipo	Elevación	6X	6Y	6Z
75	Borde	9.14825	0.013	0.021	0.040
76	Lecho	8.19459	0.012	0.019	0.037

Tabla 3.9 Perfil número 9



Imagen 3.11 Perfil número 9 referenciado

## 4. Desarrollo del proyecto

Una vez disponía de los datos necesarios tomados en campo, el proyecto pasó a la siguiente fase de desarrollo. Para ello, como he mencionado anteriormente, me apoyé del software ArcGIS para modelar el cauce del río. Conocidos los límites de la zona empezamos a trabajar con diversas capas para llegar a nuestro objetivo final: un modelo digital de elevaciones, lo más parecido posible a la realidad. Las capas, todas ellas georreferenciadas en la proyección de coordenadas europea ETRS 1989 UTM H30, que fui utilizando fueron las siguientes:

- Ortofoto:

Tipo de capa: Ráster.

Formato: ECW.

Descargué desde el centro de descargas del CNIG las ortofotos PNOA de máxima actualidad, datadas en 2015, que englobaban la zona de estudio para apoyarme en ellas en el posterior trabajo. Necesité un total de 6 hojas del MTN50 (Mapa topográfico nacional 1:50.000), todas ellas localizadas en la provincia de Valencia (0746, 0747, 0769, 0770, 0794, 0795).

- AOI:

Tipo de capa: Vectorial (Polígono).

Formato: Shp.

El AOI (Área of improvement) es el área de mejora. Establece el límite de la zona en la que vamos a trabajar, y como indica el nombre es el lugar que modificaremos y que abarcará el modelo digital de elevaciones final. La zona engloba el cauce del río e imita la forma de este, intersectando con el cauce, en el punto de inicio y de fin. Tiene un perímetro de 62423.495743 metros y su área comprende un total de 73235700 metros cuadrados de superficie.

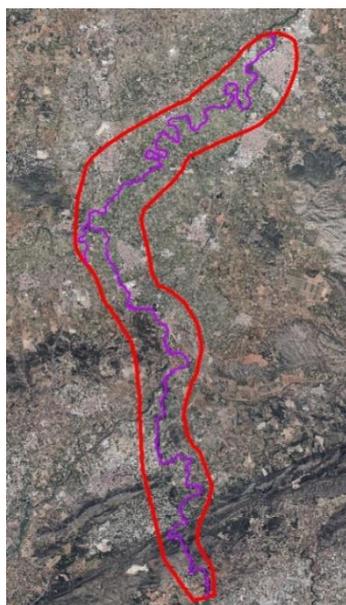


Imagen 4.1 AOI de la zona

- LAS:

Tipo de capa: Ráster.

Formato: LAZ/LAS.

Los ficheros digitales LAS son nubes de puntos 3D obtenidos con LIDAR de ámbito nacional. Nuevamente adquirimos los ficheros necesarios del centro de descargas del CNIG. Para abarcar la zona a estudiar se necesitaron 42 ficheros con una superficie de 2x2 km de extensión coloreados con infrarrojo (IRC) y cobertura (2015 - Actualidad). Fue necesario la conversión de formato de LAZ (formato base del fichero) a formato LAS, para poder trabajar con el LIDAR en ArcGIS. Una vez convertido todos los ficheros, hay que crear un LAS dataset, con extensión lasd, para poder visualizarlos en el software.

- MDE:

Tipo de capa: Ráster.

Formato: ADF.

El primer MDE que obtuvimos fue a partir del LIDAR descargado con los límites de nuestro AOI. Este modelo digital de elevaciones se encuentra aún sin pulir. Nuestro principal objetivo es limpiar toda la vegetación y obstáculos que entorpecen la digitalización del cauce del río para aproximarlos a la realidad. Es necesario crear un MDE, puesto que nos ayudaremos de él a lo largo del trabajo. Su altura máxima es de 392,154 metros y su altura mínima de 8,95 metros.

- Borde:

Tipo de capa: Vectorial (Polilínea).

Formato: Shp.

El borde del cauce es creado manualmente vectorizando ambos márgenes del cauce, apoyándose en las ortofotos, en el LIDAR y en el MDE. Para lugares sin mucha vegetación y buena visibilidad realizando un corte transversal en cualquier parte del río y seleccionando los puntos más bajos del LIDAR, se establece fácilmente la anchura del cauce, casi siempre coincide con la ortofoto, pero en caso de duda siempre hay que hacer caso al LIDAR. En zonas de vegetación donde los datos no registran cotas bajas, es más fácil seguir la orientación de la ortofoto y apoyarte del MDE por si encontramos algún pixel más bajo de lo normal que se ha colado entre la maleza. En el trayecto pocas veces se ha perdido la continuidad del río, puesto que con la ayuda de las tres capas mencionadas, no ha habido dificultad de seguimiento, sin embargo, hay zonas donde normalmente existe un estancamiento del agua, en las cuales he ensanchado por tierra el borde y posteriormente con la ayuda de otras capas vectoriales he creado la capa que a nosotros nos interesa.

- Ancho:

Tipo de capa: Vectorial (Polígono).

Formato: Shp.

El ancho es la capa final con la que posteriormente vamos a crear nuestro MDE válido. Para que nos hagamos una idea, esta capa poligonal englobará toda el agua del río para poder acotarla y así limpiar y perfeccionar el lecho marino. Con la ayuda del borde y otras capas como (islas, quitar borde terrestre...) logramos adquirir un solo polígono unificado. Como ejemplo adjunto dos imágenes de una zona donde se puede observar claramente la diferencia, (morado para el borde y verde para el ancho).



*Imagen 4.2 Ejemplo de borde y ancho*

Aquí podemos ver como el borde del río es más amplio aunque tome trozos de tierra, porque luego mediante otra capa podemos recortar para que el polígono exactamente cubra toda la superficie del agua. Un poco más adelante realizamos al misma operación en una bifurcación que se ha creado naturalmente por un masa de tierra más elevada a la que hemos denominado isla. En el MDE que posteriormente crearemos, solo se modelaran con nuevas cotas el interior del polígono mientras lo que esté fuera tomará su altura natural según el LIDAR y el primer MDE.

- Azud:

Tipo de capa: Vectorial (Polígono).

Formato: Shp.

El curso del río se topa con obstáculos que suponen bruscos cambios de elevación en poca distancia. A los que son obstáculos naturales los llamamos saltos de agua y jugaremos con las cotas para que el cambio de altura sea visible en nuestro modelo, pero para los artificiales debemos crear una capa adicional llamada: Azud. Pueden ocurrir dos cosas. La primera y como ocurre en la imagen superior, el azud es abierto y el cauce se estrecha para pasar entre el muro creando una pequeña catarata que cambia la altitud del lecho. En este caso el LIDAR toma perfectamente las cotas del Azud y como he mencionado anteriormente, no se verá afectado cuando modelemos el cauce. Sin embargo, hay azudes donde el agua rebasa la barrera totalmente por encima y se crea una rampa por la que el agua llega a su nueva altura. En este caso, creamos

un polígono que nos marque que en ese lugar hay un cambio de nivel artificial que deberemos añadir a posterior en ENVI.



Imagen 4.3 Ejemplo de un Azud

- Puente:

Tipo de capa: Vectorial (Polilínea).

Formato: Shp.

La capa de puentes es muy similar a la de azudes. Todos los puentes que cruzan de manera perpendicular el río, hay que marcarlos con un segmento que vaya desde un lado a otro del puente, para que posteriormente, luego de haber modelado el río crear esos puentes con ENVI, ya que en un principio, el polígono que hemos creado atraviesa todas las estructuras y limpiará los puentes como si fueran vegetación. Hay un total de 21 puentes que atraviesan el recorrido de nuestro trabajo.

- Curso:

Tipo de capa: Vectorial (Polilínea)

Formato: Shp.

El curso es una capa que recorre en una línea continua todo el itinerario de nuestro río por dentro de los bordes establecidos. La utilizaremos para varias cosas entre ellas para medir la longitud del tramo o crear con ella un perfil longitudinal cuando tengamos el modelo real. También es la línea en la que crearemos una cantidad de puntos sucesivos separados en intervalos de 2 metros para que tomen el valor del MDE y así tener la primera referencia de cotas.

- Cotas:

Tipo de capa: Vectorial (Puntos)

Formato: Shp.

Las cotas son puntos creados a lo largo del curso que toman valores de altura del MDE. Como no todos los valores son correctos vamos a seguir ciertas pautas para quedarnos

con cotas válidas. Aunque a veces no sea así, y hay puntos en los ríos en que los sedimentos en su lecho se almacenan y la altura sube y baja irregularmente, nosotros vamos a tomar una pauta sencilla que establece que las cotas van a ir de mayor a menor según el transcurso del río, es por esto que en tres cotas sucesivas, el valor de la altura no puede disminuir, para luego aumentar y nuevamente bajar. Otra norma que vamos a tomar es quedarnos con la cota más baja que veamos, pues el valor del lecho debe ser el menor que registre nuestro MDE. Hay que tener cuidado e ir comprobando manualmente que el punto se encuentre sobre la zona más baja, sino habrá que mover el punto y modificar el dato por el que te indique el MDE. No pasa nada porque haya distancias muy largas sin cotas registradas ya que luego se interpolará las zonas entre cota y cota para que el modelo vaya descendiendo. Aquí también tenemos que tener en cuenta los perfiles, ya que son los únicos datos fiables que tenemos, por lo que tendremos que jugar con los puntos para que coincidan con nuestros perfiles. Nuestra intención es crear con estas cotas un MDE descendente y continuo que vaya por el interior del cauce con el valor de las cotas que hemos tomado como ciertas.

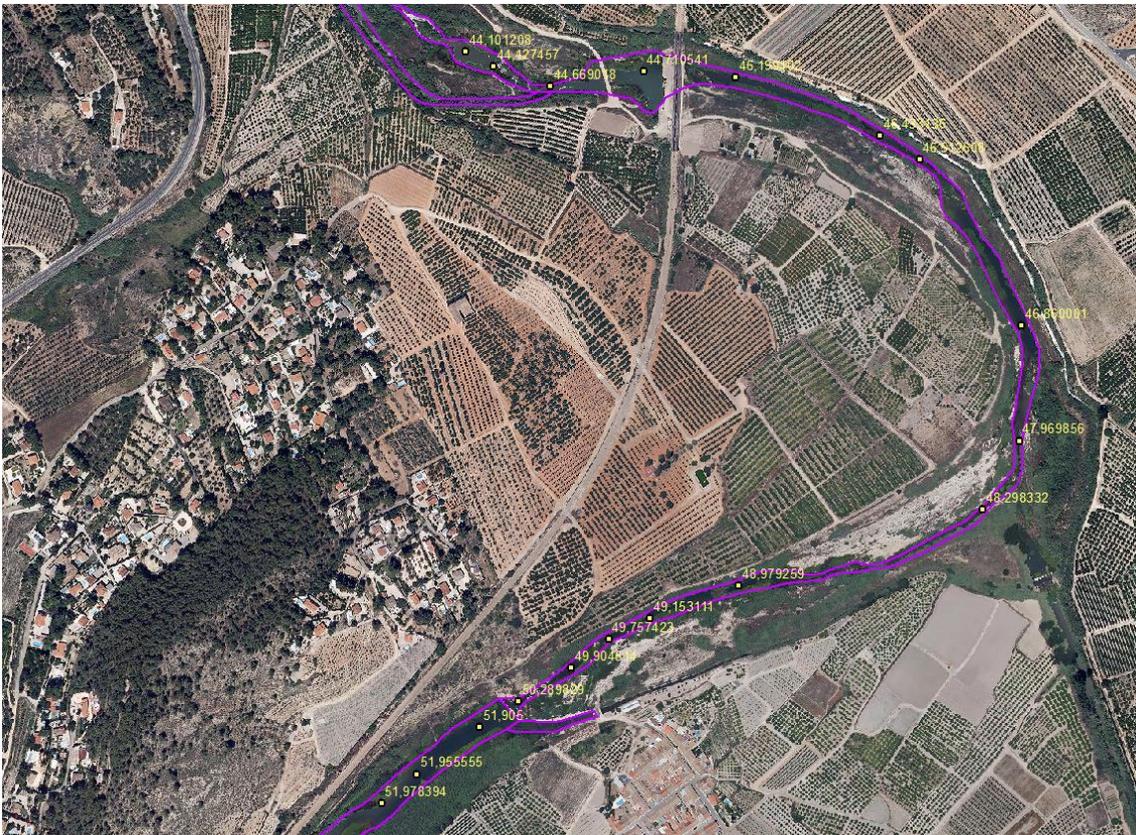


Imagen 4.4 Ejemplo de las cotas del río

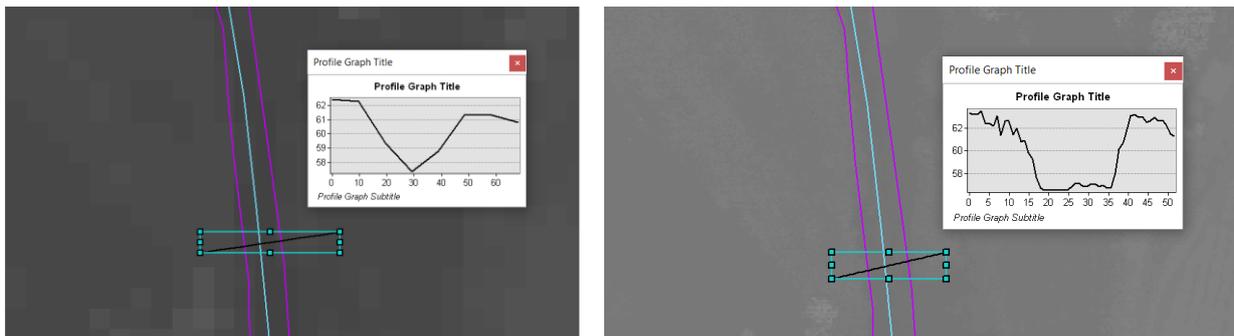
- MDE PULIDO

Tipo de capa: Ráster.

Formato: GRID

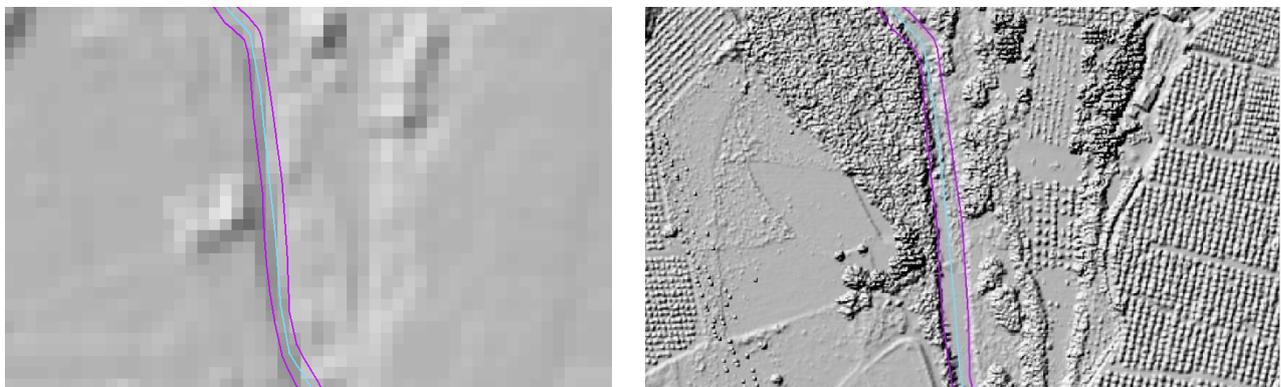
Nuestro primer modelo de elevaciones era muy primitivo, el exceso de vegetación y el área tan extensa, provocaba que el tratamiento de datos fuera imposible y el resultado que obtuvimos no se acercara a la realidad. Encontré una solución para el problema, tomando los datos LIDAR de los que disponía al principio y procesando zonas más

pequeñas que pasaban antes por un TIN, una red de triángulos formadas a partir de la nube de puntos inicial, para que el resultado fuese mucho más enriquecedor. Así es como con la ayuda de un cuadrado de kilómetro y medio de lado fui recorriendo el curso del río y creando el mde final por partes pasando el TIN obtenido a un ráster con valores de pixel de un metro. Obtuve un total de 21 cuadrados que tuve que unir en un mosaico para obtener el modelo digital que deseaba. El resultado fue sorprendente y a continuación os dejo una comparación de varias zonas que denotan la mejoría del proyecto. Con este MDE ya estamos preparados para crear la mancha de inundación.



*Imagen 4.5 Diferencia de un perfil antes y después de perfeccionar el mde*

Para la misma zona estudiada se ha realizado un perfil trasversal para observar las diferencias. Con claridad se ve que el antiguo MDE apenas distingue lo que es el lecho marino, simplemente referencia la franja por donde pasa el agua, sin embargo en el MDE nuevo más detallado, se contempla a la perfección el borde del río, la profundidad del cauce y el lecho marino que fue nuestro objetivo principal.



*Imagen 4.6 Diferencia del mde antes y después de depurarlo*

Si aplicamos sombreado a la zona gracias a la herramienta Hillshade, no hay color. En la primera imagen vemos un MDE borroso donde el margen del cauce que nosotros establecimos no contiene los pixeles más bajos a causa de la vegetación que entorpece la interpolación de los puntos, mientras que en el segundo se puede observar cómo los límites que nosotros marcamos coinciden con el borde del río y que gracias a la triangulación se consigue un modelo mucho más realista con detalles que se pueden observar a simple vista como un campo de cultivo a la derecha del cauce o la arboleda que acompaña el curso del río por el borde izquierdo.

Pero, ¿Qué pasa con los perfiles y las cotas que yo había establecido? Vamos a realizar un corte trasversal y ver que aún no coinciden con las cotas reales que nosotros queremos.

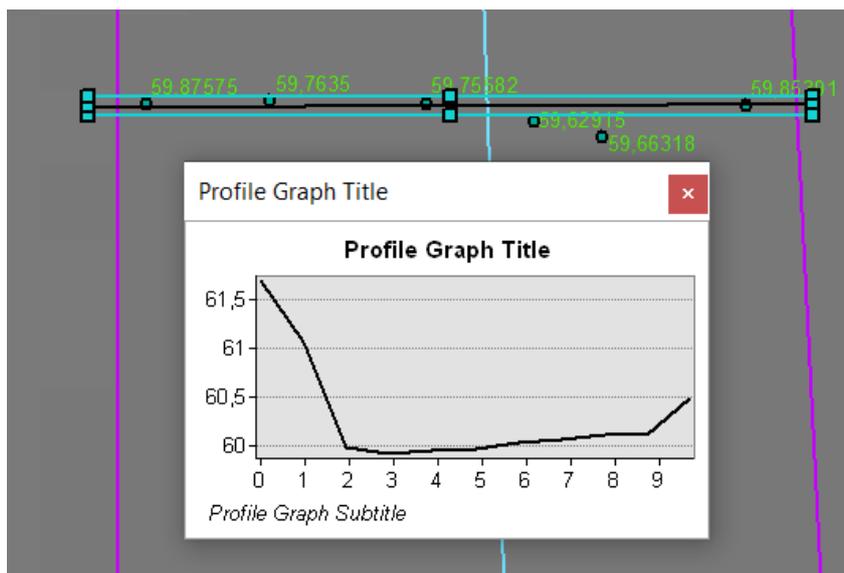


Imagen 4.7 Corte transversal del perfil número 5

Este es uno de nuestros perfiles, en concreto, el perfil número 5, aguas abajo. Al realizar un corte transversal nos damos cuenta que el MDE ha registrado bastante bien lo que es el cauce del río, incluso se ha aproximado a las cotas reales del lecho marino que nosotros referenciamos en la salida a campo, pero vemos una ligera variación en el margen izquierdo donde las cotas deberían ser inferior a 60, pero según el mde en este lugar son superior, por lo que existe una contradicción que no podemos permitir. Parece que el resulta sea bueno, pero existen otros perfiles, donde el agua era más profunda donde la variación distan de metros. Por eso realizamos una capa de cotas que interpolaban a la perfección con nuestros perfiles y es así como logramos que nuestro de MDE sea aún más real.

- COTAS FINALES

Tipo de capa: Vectorial.

Formato: Shp.

Es la capa final de cotas con la que vamos a trabajar. Simplemente es una suma que incluye tanto la capa de cotas como la de perfiles en una sola. Hay un total de 281 puntos que tienen un valor para la altura, que utilizaremos para obtener el resultado que queremos.

- MDE INTERIOR

Tipo de capa: Ráster

Formato: Tif.

Gracias a la herramienta de interpolación Idw logramos que para dentro del cauce del río, márgenes que hemos establecido anteriormente con la capa de Ancho, y con un valor de celda de 1 metro, logramos un mde continuo y estable que de manera progresiva vaya desde el inicio del curso hasta el final de este pasando por todas las cotas y obtenga el valor de la altura de nuestros perfiles que sabemos que son reales, e interpole con las demás cotas que hemos elegido siguiendo las normas mencionadas en el apartado de cotas. De esta manera, combinando el MDE PULIDO y el MDE INTERIOR, logramos el MDE FINAL, el resultado con el que podemos llevar a cabo el estudio de inundación.

- MDE FINAL.

Tipo de capa: Ráster.

Formato: Tif.

La fusión del MDE PULIDO (área comprendida por el AOI, apoyada por los datos LIDAR) y del MDE INTERIOR (área comprendida por el ancho del río, apoyada por las cotas reales que referenciamos y las cotas más bajas del LIDAR) forman el MDE FINAL. Ahora sí, el pixel sobre el que está colocado el perfil coincide a la perfección con las cotas que nosotros referenciamos. Véase la corrección del perfil 5:

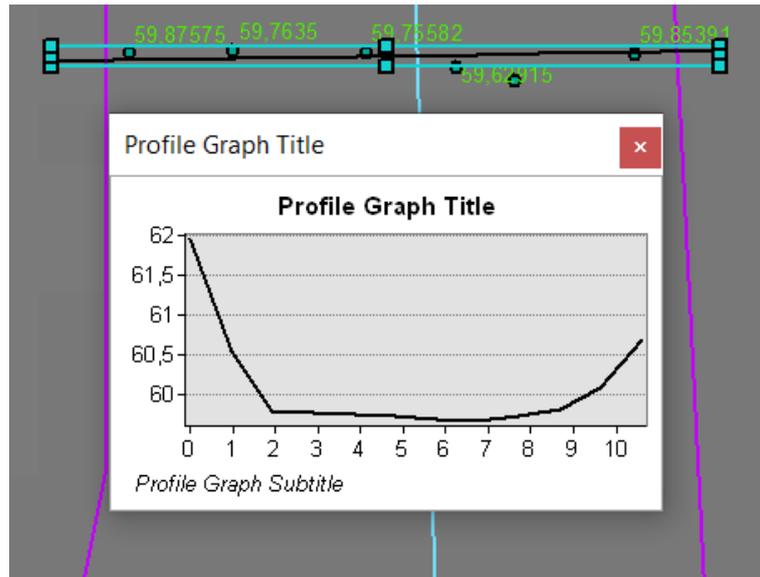


Imagen 4.8 Corte transversal del perfil número 5 con las cotas integradas

Arreglado este problema, tenemos la solución definitiva para estudiar el área inundable de nuestra zona, pero antes, vamos a ver algunos perfiles peculiares donde la corrección es necesaria, ya que la diferencia entre los dos modelos es mucha. A la izquierda sin corregir y a la derecha corregido:

- Perfil 1

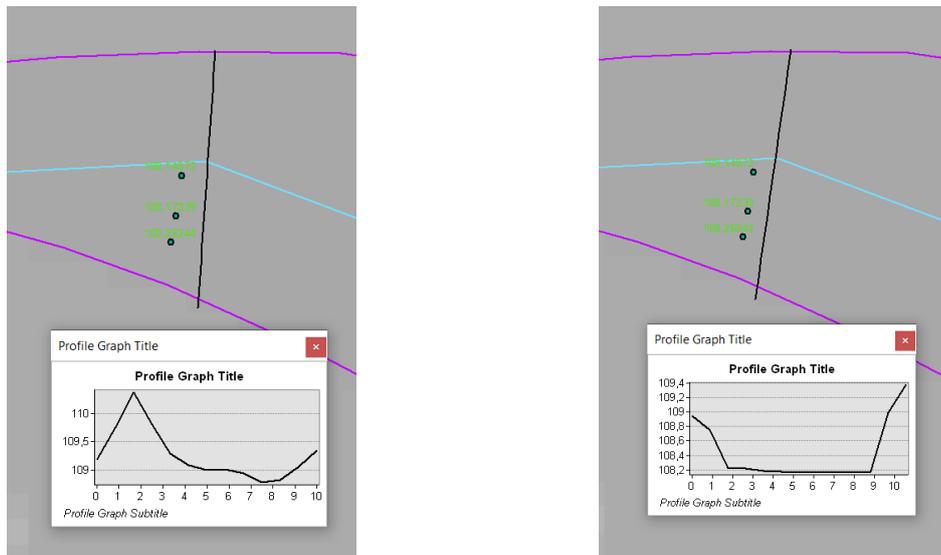


Imagen 4.9 Comparación del perfil 1 antes y después de aplicar las cotas

- Perfil 2

Este perfil en concreto (perfil 2 aguas arriba) tiene un detalle particular que hay que evitar que ocurra y se ve la corrección perfectamente. Además de que en el gráfico de la derecha las cotas coinciden, siendo el margen derecho del río más bajo que en el centro, existe un pico en el gráfico de la izquierda que ha creado nuestro MDE por triangulación que indica que el terreno es más bajo que el cauce del río, y eso, es imposible. En la derecha vemos como ese problema no ocurre, ya que las cotas que tomamos son más bajas y ahora sí el cauce toma su forma de U en los laterales que debe seguir en mayor medida. Esto se comprueba observando a ojo todo el recorrido del cauce y si en algún momento existen zonas conflictivas donde ocurre el problema y no cuantas con datos reales suficientes, existen dos formas de corregirlo: ensanchando el cauce del río o bajando las cotas del interior. Esta vez apoyados en nuestros datos, el problema se ha solucionado automáticamente cuando hemos aplicado las cotas reales.

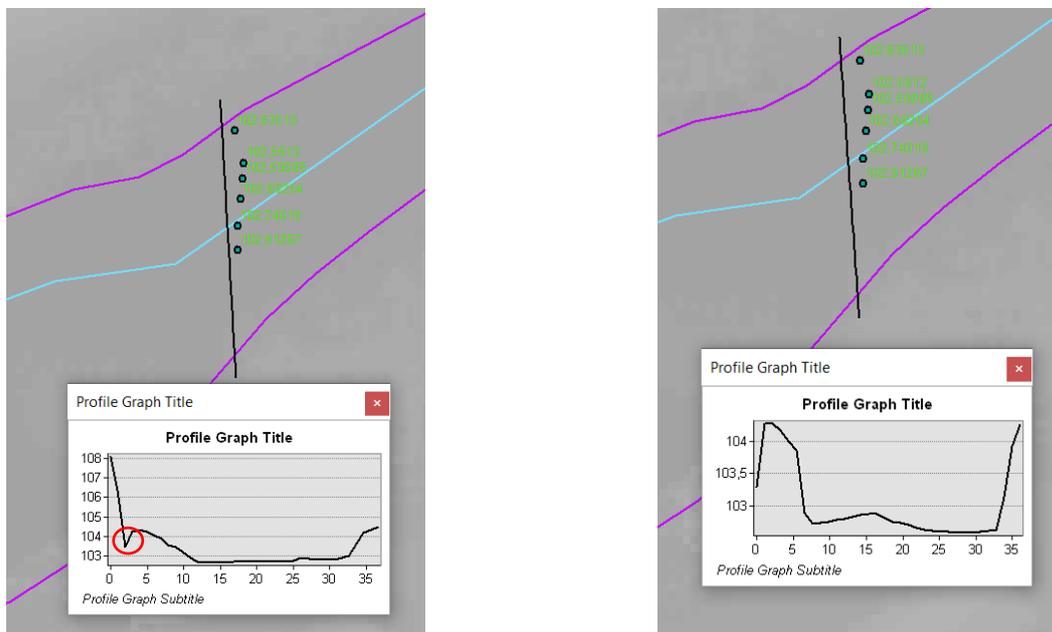


Imagen 4.10 Comparación del perfil 2 antes y después de aplicar las cotas

- Perfil 4

Para este perfil aprovechando que tenemos dos tomas de puntos consecutivas muy cercanas vamos a ver cómo se comporta el cauce en ambos casos realizando un corte longitudinal entre dos cotas reales, antes y después de realizar la corrección. A primera vista ya vemos de que tanto al inicio como al final, la gráfica no coincide con la altura real, y no solo eso, sino que en menos de treinta metros el desnivel sube y baja hasta un metro, para finalizar en una altura mayor aguas abajo que arriba. No sería extraño que hubieran pequeñas subidas del lecho marino donde alguna tenga la fuerza suficiente para remontar acumulaciones de sedimentos, pero sin embargo, un desnivel tan grande es totalmente falso, y se le atribuye a un error del LIDAR que hay que corregir. Apoyados con nuestros datos, otra vez, vemos una fluidez descende entre los dos puntos incluso se aprecia esa pequeña subida del terreno cercana al inicio del corte, pero nada que la fuerza del agua no pueda superar. Al final del gráfico de la derecha vemos un pequeño descenso más pronunciado, por suerte tomé fotos de la zona y queda reflejado perfectamente un pequeño salto de agua donde hay más corriente.

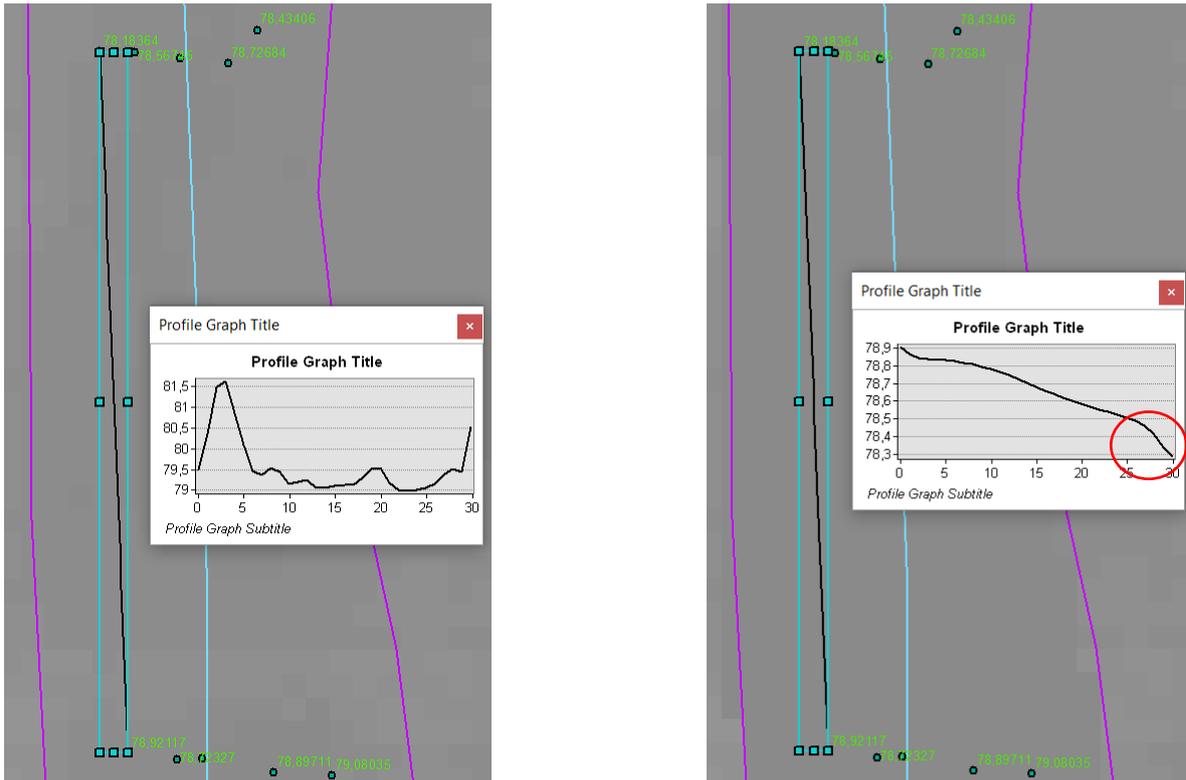


Imagen 4.11 Comparación del perfil 4 antes y después de integrar las cotas



Imagen 4.12 Fotografía real del perfil 4 en la toma de datos

- Perfil 9

El último perfil que vamos a analizar va a ser el perfil 9, que no es en sí un perfil sino un único punto de 8,1945m. En el último tramo del trayecto el gran caudal del río Júcar dificulta la toma de datos. La profundidad del lecho marino niega una toma auténtica de datos, pero necesitaba algún punto de referencia para poder orientarme en los últimos kilómetros. Tanto el perfil 8 como el 9 tratan solamente de dos puntos, uno marcando el borde y el otro una zona poca profundo pero significativa cerca del margen y accesible para el GPS. Por lo que la finalidad de tener un punto referenciado es para suavizar todo el lecho marino a un hipotético terreno uniforme partiendo del dato conocido. En el paso por Alzira encontré un acceso que cumplía las condiciones. La corrección es evidente:

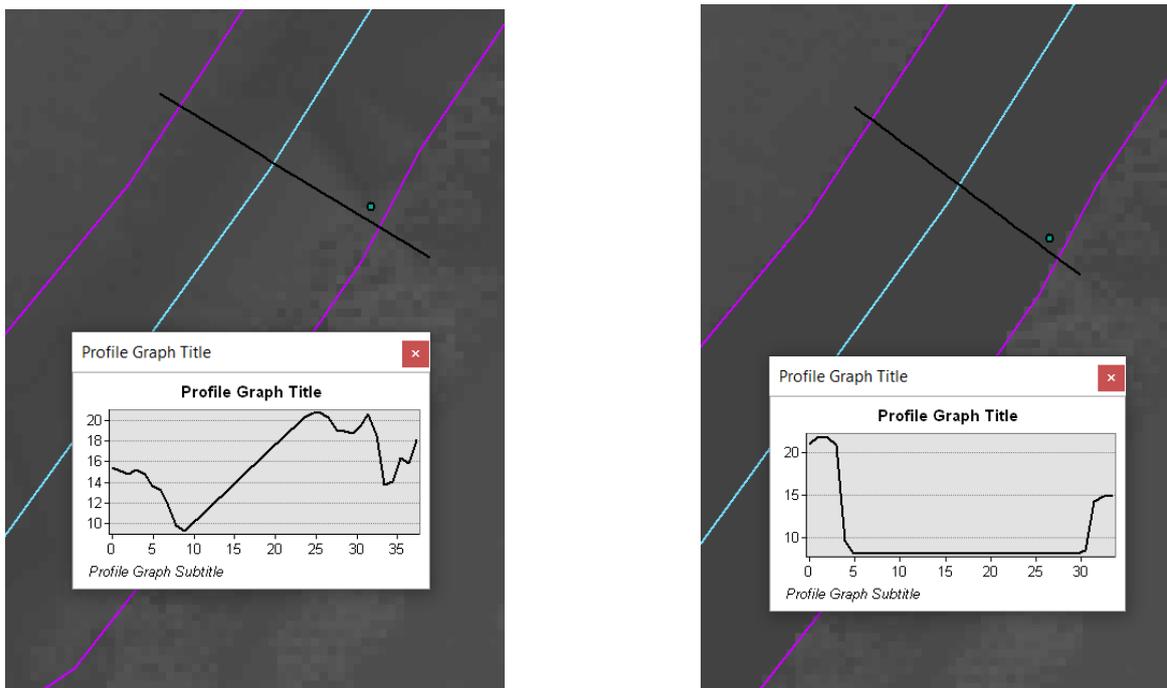
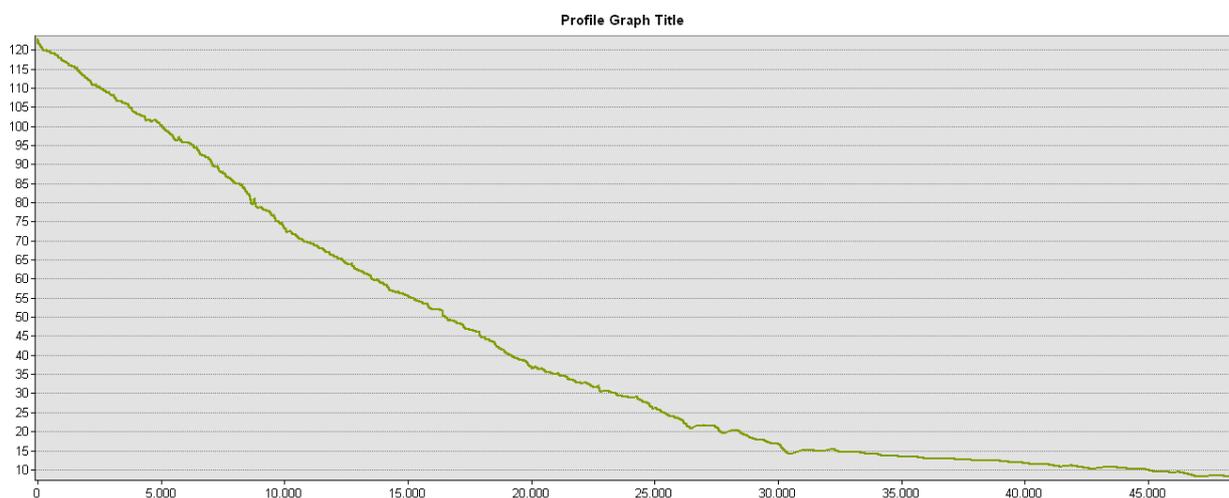


Imagen 4.13 Comparación del perfil 9 antes y después de integrar las cotas

Por último, para una mejor visualización y comprender mejor lo que he hecho, vamos a ver una misma zona antes y después de la corrección, fijándonos en otro caso curioso cómo es el de un puente que atraviesa el río. Mientras que en nuestro primer modelo se aprecia la estructura, en el MDE FINAL desaparece, ya que para el estudio de inundación entorpece. Aunque no hay por qué preocuparse, para eso hemos creado las capas de puentes y de azudes, pues posteriormente vamos a editar las zonas con ENVI para contar con un MDE sin puentes/azudes y otro con ellos. La escala de las imágenes que se muestran a continuación está en 1:5000 para poder contemplar bien todos los detalles. El puente situado en la parte inferior, se trata del lugar donde tomamos el perfil número 7, es decir, junto al municipio de Villanueva de Castellón.

(Ver ANEXO VII y VIII, Imágenes aclaratorias del MDE y el MDE Final)

Hasta el momento, no teníamos una forma precisa de conocer la pendiente del río, aunque se pueden apreciar dos zonas reconocibles, la primera montañosa con más pendiente y en sus primeros kilómetros, y la segunda mucho más serpenteante debido a sus meandros que se originan a la llegada a una llanura aluvial. Ahora vamos a estudiar el perfil longitudinal completo de nuestro río, gracias a la suavización del cauce que permite establecer un perfil real, en el que nos basaremos el análisis. Gracias a la herramienta Interpolate Shape obtenemos la siguiente gráfica:



Gráfica 4.1 Perfil longitudinal del trayecto

En la gráfica se observa con claridad lo que hemos mencionado antes. En sus 25 primeros km, lo que representa el paso por el río Albaida al ser una zona montañosa y con mucha pendiente el río presenta un desnivel de unos 95m (desde 123 metros de altura, justo bajo del embalse de Bellús, hasta los 28m en el punto donde el río Albaida desemboca en el Júcar). A partir de ahí, la pendiente se estabiliza y recorre un trayecto por una llanura al paso por el río Júcar donde el desnivel tan solo se ve alterado en 20 metros (desde los 28m en el punto donde convergen las dos ramas principales que estudiamos, hasta el fin del trayecto seleccionado una vez el río pasa la zona habitada de Alzira). Por lo que he decidido dividir los cálculos para tres tramos. Para el tramo total, para el primer tramo y para el segundo tramo, vamos aproximar la distancia total del río a 50000m para facilitar los cálculos.

Pendiente media del cauce:

$$PM = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_c} = \frac{123 - 8}{50000} = 0.0023 \text{ m/m}$$

$$PM1 = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_c} = \frac{123 - 28}{25000} = 0.0038 \text{ m/m}$$

$$PM2 = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_c} = \frac{28 - 8}{25000} = 0.0008 \text{ m/m}$$

Lo que quiere decir que en el primer tramo por cada metro que avanza el río, la altura descende una media 3.8mm, una pendiente 5 veces más grandes que la obtenida en el segundo tramo que por cada metro de longitud, la altura del lecho marino descende en tan solo 0.8mm. Viéndolo de otra forma: cada 1000 metros el desnivel en el primer tramo descende 3,8 metros y en el segundo tramo 0,8 metros.

La pendiente media no es un valor significativo, aunque nos ofrece un vistazo general de la pauta de la pendiente que tiene el cauce en su recorrido, no es muy fiable. Para un mejor cálculo, he utilizado el Método de Taylor y Schwarz, *Gallego, D(2019)*.

Replanteándose que el cauce está constituido por una serie de desniveles, dependiendo del trayecto grandes o pequeños, que influyen en el estudio total de la cuenca. Por lo que para analizar la pendiente con más detalle hay que dividir por tramos más pequeños de igual longitud. En nuestro caso partiendo de que la longitud del cauce es de 50.000m, obtendremos un tramo cada 2500m, a lo que llamaremos  $\Delta X$ . Por lo tanto el tiempo de recorrido por tramo será:

$$V_i = \frac{\Delta X}{t_i} \rightarrow t_i = \frac{\Delta X}{V_i} \quad (1)$$

Siendo:

$V_i$ : velocidad media en el tramo.

$\Delta X$ : longitud de cada tramo de igual longitud (es igual para todos los tramos).

$t_i$ : tiempo de recorrido del flujo de agua por el tramo.

Según la expresión de Chezy, obtenemos:

$$V_i = C_i * \sqrt{R_{hi} * S_i} \rightarrow V_i = K * \sqrt{S_i} \quad (2)$$

Por lo que el tiempo de recorrido será:

$$V_i = \frac{\Delta X}{K * \sqrt{S_i}} \rightarrow T = \sum t_i \quad (3)$$

Siendo:

$C_i$ : coeficiente de Chezy en el tramo.

$R_{hi}$ : radio hidráulico en el tramo.

$S_i$ : pendiente media en el tramo.

$K$ : constante

$T$ : tiempo total del recorrido del flujo de agua por el cauce.

El tiempo total de recorrido ( $T$ ) será igual a la suma de los tiempos parciales de los "m" tramos, y se calcula como:

$$T = \frac{L}{V} \rightarrow V = K * \sqrt{S} \rightarrow T = \frac{L}{K * \sqrt{S}} \quad (4)$$

Siendo:

$L$ : Longitud total del cauce.

$V$ : velocidad del flujo de agua por el cauce.

$S$ : pendiente media del cauce.

Si igualamos las expresiones:

$$\frac{L}{K * \sqrt{S}} = \sum \frac{\Delta X}{K * \sqrt{S_i}} \rightarrow \frac{L}{K * \sqrt{S}} = \frac{\Delta X}{K} * \sum \frac{1}{\sqrt{S_i}} ; m = \frac{L}{\Delta X} \rightarrow \sqrt{S} = \frac{m}{\sum \frac{1}{\sqrt{S_i}}} \quad (5)$$

$$S = \left( \frac{m}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right)^2 \quad (6)$$

Siendo:

M: número de segmentos iguales en los que se divide el cauce principal.

S: pendiente media del cauce.

S<sub>n</sub>: es la pendiente del tramo n.

Por lo que la pendiente media del cauce se calcula para tramos de longitud variable, lo que nos deja la última ecuación:

$$S = \left( \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}}} \right)^2 \quad (7)$$

L: Longitud del río.

L<sub>n</sub>: longitud del tramo.

Sacamos los valores de las cotas para cada intervalo de 2500 metros y gracias a la siguiente tabla, calculamos la pendiente media del cauce:

Longitud(X)	Cota(Y)	ΔX	ΔY	Pendiente tramo	L/(S <sub>i</sub> ) <sup>1/2</sup>
0	123	2500	13,5858	0,00543432	33913,0933
2500	109,4142	2500	12,3642	0,00494568	35548,9684
5000	97,05	2500	10,788	0,0043152	38057,4376
7500	86,262	2500	15,7583	0,00630332	31488,7435
10000	70,5037	2500	9,0343	0,00361372	41587,4947
12500	61,4694	2500	7,4844	0,00299376	45691,0899
15000	53,985	2500	8,325	0,00333	43322,9371
17500	45,66	2500	8,5673	0,00342692	42705,9144
20000	37,0927	2500	6,0821	0,00243284	50685,4416
22500	31,0106	2500	4,9406	0,00197624	56236,7438
25000	26,07	2500	5,1177	0,00204708	55255,1295
27500	20,9523	2500	4,0587	0,00162348	62046,3927
30000	16,8936	2500	2,2541	0,00090164	83257,511
32500	14,6395	2500	1,13937	0,000455748	117105,589
35000	13,50013	2500	0,96413	0,000385652	127304,048
37500	12,536	2500	0,8354	0,00033416	136761,161
40000	11,7006	2500	1,4205	0,0005682	104879,207
42500	10,2801	2500	0,5222	0,00020888	172978,282
45000	9,7579	2500	0,8821	0,00035284	133091,74
47500	8,8758	2500	0,8758	0,00035032	133569,575
50000	8				

Tabla 4.1 Cálculo de la pendiente media del cauce

Siendo:

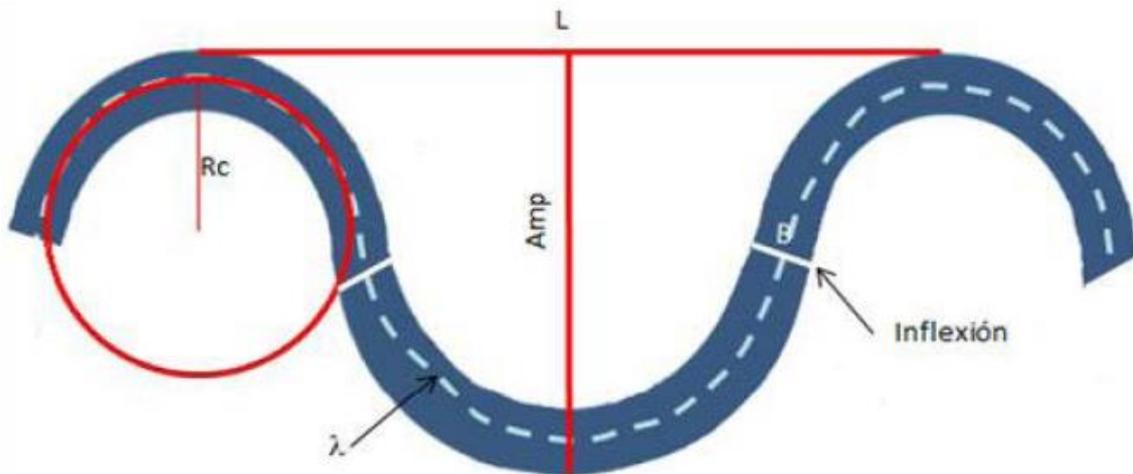
$$L = 50000$$

$$\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}} = 1545486,5$$

$$S = \left( \frac{50000}{1545486,5} \right)^2 = 0,0010467 \text{ m/m}$$

Finalmente, podemos aceptar que la pendiente media del cauce es de un 0,1%. Por lo que es un río con muy poca pendiente. Estos tipo de cauce se llama, meándrico, siendo su sinuosidad alta (mayor a 1,5). La característica principal de este río como indica su nombre es la formación de meandros en su recorrido, una curva completa sobre el canal, compuesta de arcos sucesivos. Para afianzar esta valoración vamos a calcular el grado de sinuosidad para los dos tramos marcados de nuestro río y para la sinuosidad total.

El cálculo del índice de sinuosidad relaciona dos parámetros ( $\lambda$ ) longitud del Talweg y ( $L$ ) la longitud de onda. Siendo la longitud de Talweg un indicador del tamaño del meandro tomado a lo largo del talweg, punto más bajo en el cauce de un río, es decir es la distancia entre dos puntos de inflexión del cauce y la longitud de la onda la distancia que existe entre dos crestas o el inicio y el fin de un tramo.



Gráfica 4.2 Parámetros índice de sinuosidad

$$IS = \frac{\lambda}{L} \quad (8)$$

Tomando desde el punto de inicio del cauce hasta el fin de nuestro estudio, la distancia que los separa es de 25218m y la distancia del talweg es de 51132m. Por lo tanto:

$$IS = \frac{51132}{25218} = 2,02$$

Como habíamos supuesto el tramo de río que hemos estudiado tiene un alto índice de sinuosidad, pero si separamos el estudio en los dos intervalos bien diferenciados, observamos que el IS es muy distinto en el tramo de montaña y en tramo llano.

$$L_1 = 17452\text{m}$$

$$\lambda_1 = 26355\text{m}$$

$$L_2 = 7766\text{m}$$

$$\lambda_2 = 24797\text{m}$$

$$IS1 = \frac{26355}{17452} = 1,51$$

$$IS2 = \frac{24797}{7766} = 3,2$$

Ambos tramos son considerados meándricos, pero la primera parte supera la barrera por poco, casi entrando en los valores de un río rectilíneo, pero en el tramo del valle el IS se dispara por las nubes.

Existen muchos más factores medioambientales y geomorfológicos que nombraremos más adelante, pero con todos los resultados obtenidos, podemos suponer que la mancha de inundación que vamos a crear abarcará una mayor superficie en la zona llana con mucha menos pendiente y un grado de sinuosidad mayor que la zona montañosa. La conclusión que sacamos con el análisis que hemos hecho, es que existe una relación entre la pendiente, el IS y las inundaciones. Siendo conocedores de estos datos ya podemos avanzar a la siguiente fase del estudio.

- MANCHA DE AGUA

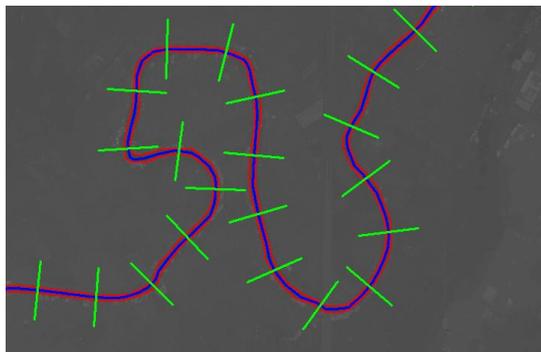
Tipo de capa: Vectorial.

Formato: Shp

La mancha de agua tal y como indica el nombre es la superficie que ocupa la zona con peligro de inundación. Para su obtención hemos usado una herramienta alternativa del ArcGIS (HEC-geoRAS) que junto a un programa externo llamado: HEC-RAS, nos ha permitido determinar el área Inundable. Apoyados de las capas de Ancho y Curso creadas anteriormente hemos podido establecer el centro de la cuenca y los márgenes de la misma para crear perfiles longitudinales a lo largo del recorrido, cuyo punto medio lo establecía el curso. Para poder exportar los datos el archivo debía cumplir que:

- Los ejes no se cortaran entre sí, ni se salieran del margen delimitado de la zona de estudio
- La distancia entre los dos cortes fuera suficiente para abarcar todo el cauce;
- Una sección no puede cortar dos veces el río, ya que tiene que establecer una distancia a cada margen

Un área tan extensa como la que vamos a estudiar presenta varios problemas y al final para un estudio preciso, se ha decidido, que los cortes transversales se sucedieran cada 250m y tuvieran una longitud de 250m. De esta manera se cumplían todas las normas y se han creado un total de 194 perfiles. Las zona que voy a ejemplificar es una de las más complicadas de acoplar a las reglas debido a su alta sinuosidad:



*Imagen 4.14 Cortes transversales a intervalos de 250 m para obtener la mancha de agua*

Luego de indicar la dirección del curso estableciendo el margen izquierdo y el derecho que delimita el AOI, se procesa la cartografía apoyada en el MDE FINAL, creando un perfil transversal en 2D para cada sección. La Cartografía creada en ArcGIS dispone de una tabla que indica el ID de cada sección, la longitud, la distancia de la que el centro se encuentra del margen derecho y del izquierdo, la distancia a la que se encuentra del siguiente y un dato de valor cero que vamos a tener que buscar, que indica el tipo de canal que es nuestro cauce. Apoyándonos en la tabla (Chow, 1959):

<b>Tipos de Canales para curso en planicies</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Normal</b>	<b>Máximo</b>
Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0.025	0.03	0.33
Rectos con algunas piedras y pastos	0.03	0.035	0.04
Limpios con meandros, con algunos pozos	0.033	0.04	0.045
Meandros con algunas piedras y pastos	0.035	0.045	0.05
Meandros con muchas piedras	0.045	0.05	0.06
Tramo sucio con pastos y pozos profundos	0.05	0.07	0.08
Tramo con mucho pasto y cauce en crecida	0.075	0.100	0.150

*Tabla 4.2 Tipo de canal para curso en planicies, (Chow, 1959)*

Debemos determinar el valor para nuestro trayecto. Mientras que la el tramo montañoso es medianamente recto con pocos meandros y el índice debería oscilar entre 0.03 y 0.04; el segundo es un tramo con más meandros piedras y pozos que debe oscilar entre 0.035 y 0.05, el valor para el tipo de canal que hemos utilizado es de 0.035.

Una vez clara la cartografía se exporta a HEC-RAS y allí podemos crear una geometría tridimensional con un supuesto caudal específico gracias a los datos como el de la pendiente que hemos obtenido anteriormente. Ocupando una supuesta superficie de agua de  $5000\text{m}^3/\text{s}$ , cantidad mínima que se requiere para una zona en peligro de inundación, se ha alcanzado la simulación parcial del trayecto. Importando los datos de nuevo a ArcGIS, se consigue la mancha de agua. La mancha de agua era correcta para las zonas que comprende el primer tramo del recorrido ya que las secciones cubrían todo el territorio, pero había un problema cuando el cauce llegaba al río Júcar. La extensión de los perfiles eran de 250m, insuficiente para abarcar todo el territorio inundado de una zona tan amplia. En la simulación se podía observar que cada corte estaba inundado por completo, es por eso que no bastaba con secciones tan pequeñas y estudie la segunda parte por separado. Para cumplir las reglas y encajar todas las secciones he tenido que utilizar, perfiles de una longitud de 750m, separados a cada 1Km. Aun así había demasiados solapes e incluso perfiles que se salían del AOI establecido inicialmente, por eso decidí eliminar los que creaban problemas y realizar el estudio de la mancha de agua con los que podía. Una vez repetido el proceso, el resultado se asemejo un poco más a lo esperado:



*Imagen 4.15 Cortes transversales a intervalos de 750m para obtener la mancha de agua*

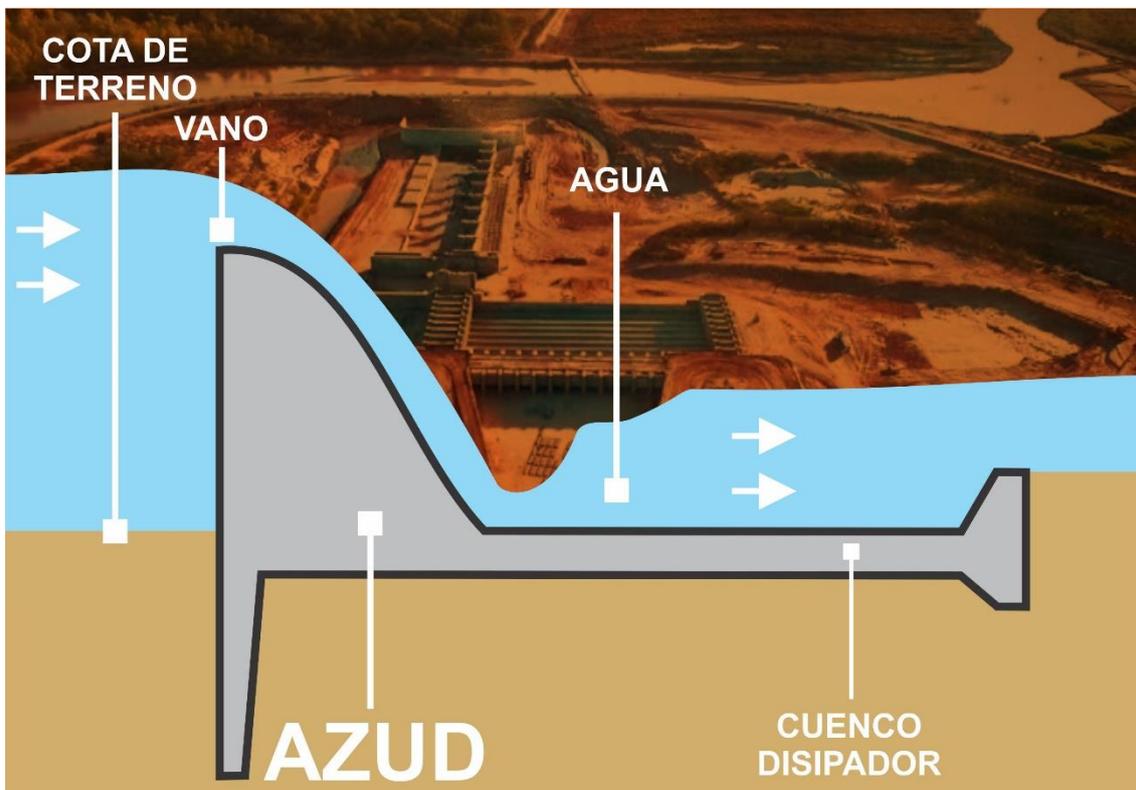
- MDE PUENTES+AZUDS

Tipo de capa: Ráster.

Formato: Tif.

Por último la capa que vamos a realizar es una edición de las estructuras que hemos hecho desaparecer a lo largo del trayecto para así también tener a disposición el MDE con puentes y azudes, y poder escoger en la simulación de ArcScene que escenario queremos que la mancha de agua obtenida inunde. Para ello vamos a trabajar con ENVI. Para trabajar en esta capa necesitaremos, el MDE final, las capas de Borde, para marcarnos los límites del río, Azud, que nos marque el área en la que hay que trabajar, y Puentes. Indirectamente también nos apoyaremos en la ortofoto cuando tengamos dudas o queramos perfeccionar la edición.

Un Azud es un salto de agua, artificial o natural, que eleva el cauce del río, normalmente se utiliza para desviar cierto flujo de agua que se usa para el regadío. Depende de la altura del vano, el agua sobrepasa el obstáculo cayendo en cascada por arriba o se le abre un aliviadero en el centro para que el curso siga su rumbo sin mucho impacto.



Gráfica 4.3 Partes de un azud

La forma de trabajar es la siguiente: Cargamos las capas y localizamos el primer polígono que nos indique la existencia de un Azud. En cada uno de ellos observaremos su geometría e intentaremos replicarla, para ello primer observamos la altura a la que están el margen exterior del cauce y colocamos un polígono que ocupe la zona que hemos delimitado como azud con la misma cota. Luego arreglamos los flancos para que no quede un salto grotesco y creamos una pequeña rampa que nunca llegue al nivel del lecho para que el agua caiga en cascada. Si hay aliviadero se intenta representar dejando un hueco en la pared del Azud donde procesa, siempre con una cota mayor a la del cauce ya que el agua debe coger velocidad para filtrar por el aliviadero sin llegar

nunca a estancarse agua arriba del Azud. Un ejemplo de la construcción de un Azud es el siguiente:

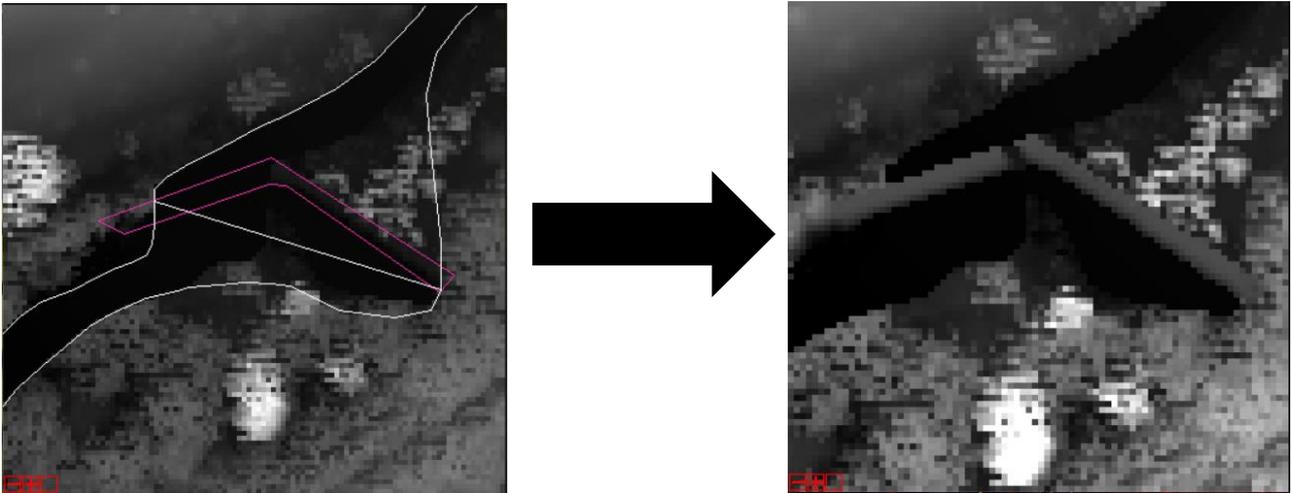


Imagen 4.16 Modelado de un azud en ENVI

Para un puente el procedimiento es muy similar, pero esta vez tratándose de una estructura que se encuentra a una altura considerable del cauce, se apreciará mucho mejor el contraste. Lo más importante es que los extremos del puente coincidan con el terreno sin que exista un salto brusco. Un ejemplo de puente quedaría tal que así:

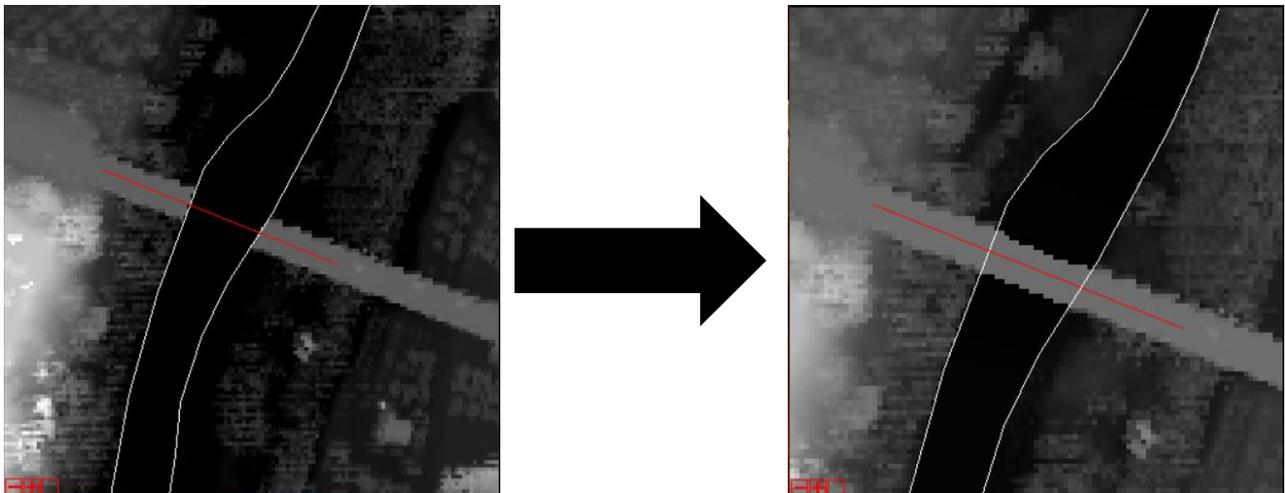


Imagen 4.17 Modelado de un puente en ENVI

En total en todo nuestro recorrido hay 13 Azuds, de los cuales ha habido que retocar 7, y 20 puentes. Una vez terminada la edición obtenemos la capa de MDE+PUENTES+AZUDES y la cargamos a ArcGIS, para demostrar con imágenes algún caso curioso de azudes y puentes.

Este es un caso especial porque hay un puente sobre un Azud que tiene un aliviadero en el margen derecho. Vamos a trazar un perfil para ver la diferencia antes y después de la creación del puente y del azud.

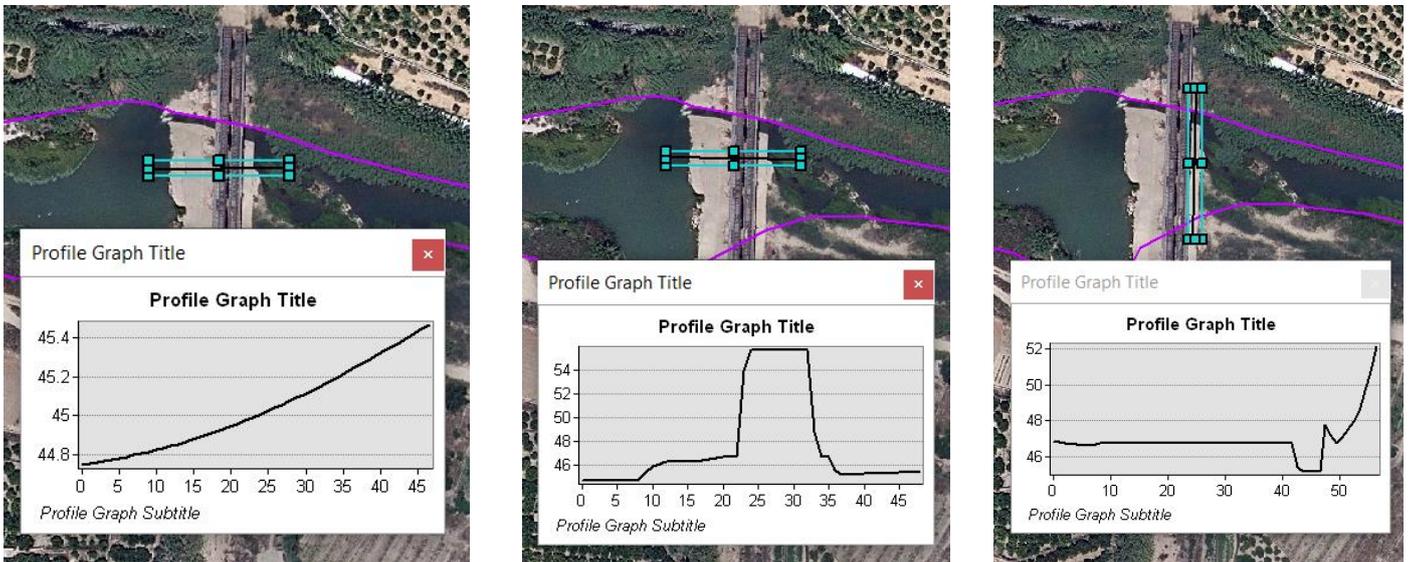


Imagen 4.18 Ejemplo con perfiles de un puente con azud

Antes de la modificación si realizábamos un corte longitudinal, el agua bajaba normal sin ningún obstáculo, mientras que ahora vemos como el flujo sigue su descenso, pero se encuentra ante un pequeño muro, el modelo detecta el puente y luego por debajo vemos como el azud prosigue su descenso en forma de cascada para volver a la cota del terreno original. A la derecha vemos un perfil transversal realizado antes del puente donde se puede distinguir con claridad el aliviadero por donde pasa el agua para seguir su curso.

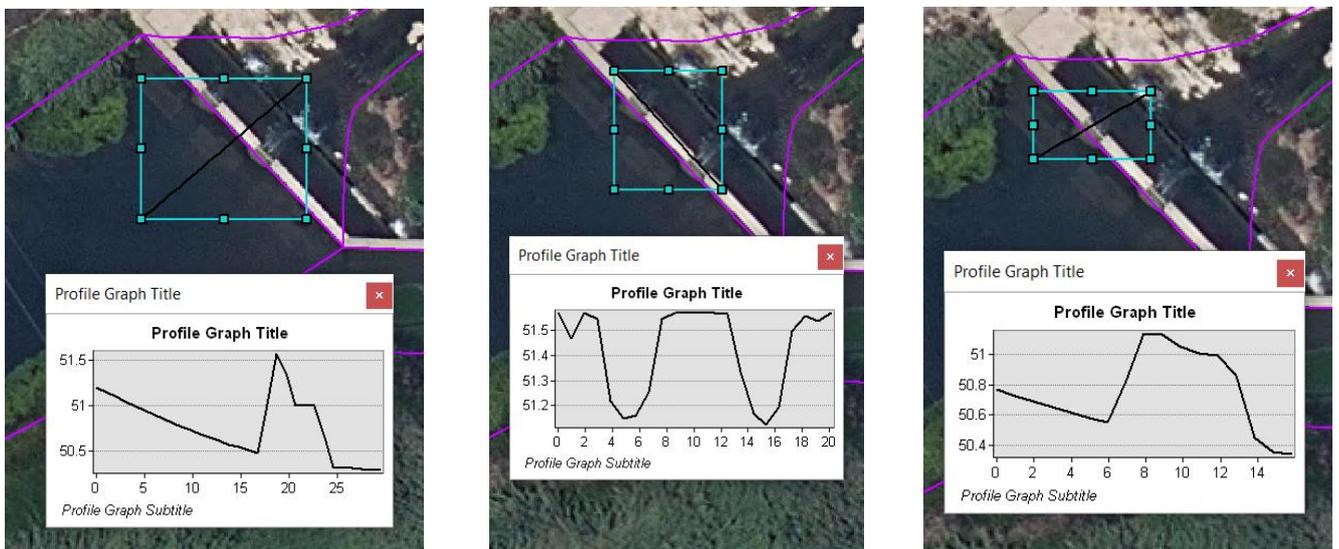
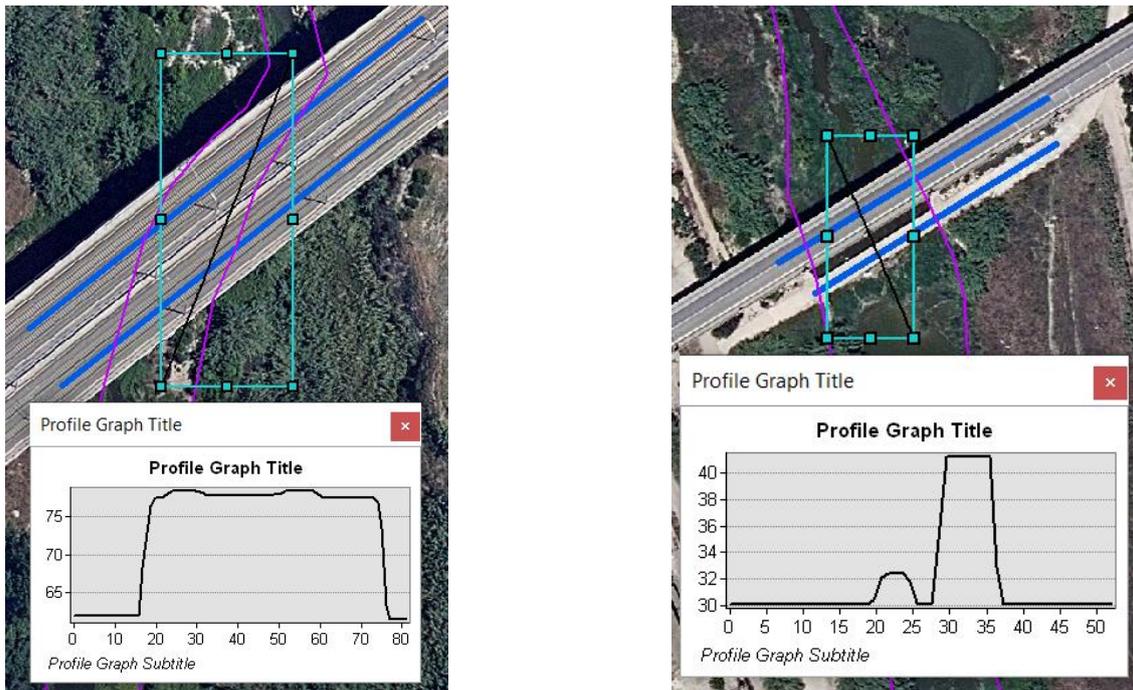


Imagen 4.19 Ejemplo con perfiles de un azud con aliviaderos

En este ejemplo podemos ver la diferencia en el pico que existe en la imagen de la izquierda cuando se hace un corte longitudinal por encima del vano, mientras que en la imagen de la izquierda al realizar un corte por el aliviadero que tiene una cota más baja, permite al flujo atravesar el azud y llegar tras una pequeña cascada a la cota del terreno aguas abajo. El corte trasversal muestra los dos aliviaderos.



*Imagen 4.20 Ejemplo con perfiles de dos puentes*

Por último dos puentes; el primero, el de la imagen de la izquierda, es un puente de ferrocarril donde se aprecia la pequeña elevación de las dos vías; y en la derecha el segundo, correspondiente al perfil número 7, cuyas altura he altura, no de los márgenes como en los otros puentes, sino según las cotas que referencíé en la salida a campo.

Luego de llegar hasta este punto, solo nos queda la animación con ArcScene y un posterior estudio de la zona afectada.

(Ver ANEXO IV, Plano de la mancha de agua).

## 5. Marco Legal

Las inundaciones constituyen en el territorio de la Comunitat Valenciana el fenómeno natural que con mayor frecuencia se manifiesta, lo que da lugar a situaciones de emergencia y catástrofes que engloba la *Ley 17/2015* de 09 de Julio.

Las inundaciones originan grandes efectos destructivos en áreas extensas del territorio, necesitando, ante esta eventualidad, un plan de protección de personas y bienes, el empleo coordinado de medios y recursos pertenecientes a las distintas administraciones públicas y de particulares.

Por todo esto el riesgo de inundación está fundamentado en la Norma básica de Protección civil, aprobada por el *Real Decreto 407/1992*, de 24 de abril, la cual determina que este riesgo será objeto de Planes especiales en aquellos ámbitos territoriales que lo necesiten.

En 1996, la Generalitat Valenciana confeccionó un procedimiento de actuación que hace frente a las posibles inundaciones que frecuentan la Comunitat Valenciana. Dicho plan entró en vigor en verano de 1996, tras un informe favorable que emitió la comisión de protección civil. El Plan especial frente a inundaciones se incorporó al texto una vez se dispuso del Análisis del riesgo poco después.

El Consell aprobó mediante el *Decreto 156/1999*, de 17 de septiembre, homologado por la Comisión Nacional de Protección Civil el 23 de Marzo de 1999, por lo que el Plan Especial frente al riesgo de inundaciones, que hoy conocemos, entró en vigor el 29 de septiembre de 1999.

Once años después, en 2010, se realizó una revisión en profundidad del Plan Especial, que incluirá por primera vez los planes de Presa/Balsa, que definen nuevas zonas de riesgo que requieren nuevos protocolos de prevención operativos hasta día de hoy. Las nuevas tecnologías adquiridas durante tantos años hizo necesario una actualización del plan Especial de inundaciones que llegó en 2020, informe del que nos apoyamos para la realización de este trabajo.

### MARCO REGLAMENTARIO

El marco reglamentario con el que se regula la gestión de las inundaciones es el siguiente:

- *Ley 17/2015*, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil.
- *Ley 7/1985*, de 2 de abril, reguladora de las Bases de Régimen local.
- *Real Decreto legislativo*, de 18 de abril de 1986, que aprueba el texto refundido de las disposiciones legales en materia de régimen local.
- *Real Decreto 407/1992*, de 24 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil.
- *Real Decreto 849/1986*, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio público Hidráulico, modificado por el *Real Decreto 9/2008*, de 11 de enero, *Real Decreto 606/2003*, de 23 de mayo, *Real Decreto 638/2016*, de 9 de diciembre.
- *Real Decreto 927/1988*, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración pública del Agua y de la planificación Hidrológica, modificada por el *Real Decreto 1541/1994*, de 8 de julio.

- *Decreto 119/2013*, de 13 septiembre, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Plan Territorial de Emergencia de la Comunitat Valenciana.
- Resolución de 31 de enero de 1995, de la Secretaría del Estado del interior por la que se aprueba la Directriz Básica de la Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones.
- Orden de 12 de marzo de 1996 por la que se aprueba el Reglamento técnico sobre la Seguridad de Presas y Embalses.
- *Real Decreto Legislativo 1/2001*, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- *Decreto 81/2010*, de 7 de mayo, del Consell, por el que se aprueba el Plan Especial ante el Riesgo de Inundaciones en la Comunitat Valenciana.
- *Ley 13/2010*, de 23 de noviembre, de la Generalitat, de Protección Civil y Gestión de Emergencias.
- *Real Decreto 903/2010*, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación.
- Resolución de 2 de agosto de 2011, de la Subsecretaría de Estado de Interior, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 29 de julio de 2011, por el que se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones.
- *Decreto 201/2015*, de 29 de octubre, del Consell, por el que se aprueba el Plan de acción territorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunitat Valenciana (PATRICOVA), tras su revisión.
- *Real Decreto 18/2016*, de 15 de enero, por el que se aprueban los Planes de gestión del riesgo de inundación de las demarcaciones hidrográficas del Guadalquivir, Segura, Júcar y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana, Ebro, Ceuta y Melilla.

## PLAN ESPECIAL

El plan Especial frente al riesgo de inundaciones será considerado Plan Director de la planificación territorial del ámbito inferior que se elabore en la Comunitat Valenciana ante este riesgo. Por lo tanto frente a cualquier riesgo derivado de las inundaciones, para nuestro territorio existen tres tipos de planes:

- Plan Especial.
- Planes de actuación Municipal.
- Planes de emergencia de Presas y Balsas.

## PLAN DE ACTUACIÓN MUNICIPAL

Ante el riesgo de inundaciones (PAM) cada Municipio estable la organización y actuaciones de los recursos y servicios propios, al objeto de hacer frente a las emergencias por inundaciones, dentro de su ámbito territorial.

Por lo tanto, todos los municipios con riesgo alto y medio, deberán elaborar un Plan de Actuación Municipal frente al riesgo de inundaciones.

También para aquellos municipios que se encuentren en Zona I o II, se elaborará un protocolo de actuación municipal por accidente o rotura de presa / balsa.

Con la información obtenida podemos asegurar que para los Municipios por los que pasa nuestro estudio, excepto Senyera, que tiene un riesgo bajo de inundación y no se

encuentra en Zona I o II, obligatoriamente, todos los Municipios de la lista deben tener un plan de actuación Municipal en caso de inundación.

Las funciones básicas de los Planes de Actuación Municipales son las siguientes:

1. Prever la estructura organizativa y los procedimientos para la intervención en emergencias por inundaciones, dentro del territorio municipal.
2. Catalogar elementos vulnerables y zonificar el territorio en función del riesgo, en concordancia con lo establecido en el Análisis del Riesgo del presente Plan, así como delimitar áreas según posibles requerimientos de intervención o actuaciones para la protección de personas y bienes.
3. Especificar procedimientos de información y alerta a la población.
4. Catalogar los medios y recursos específicos para la puesta en práctica de las actividades previstas.

En caso de una hipotética rotura de presa, en el Plan de Actuación municipal se habrán de contemplar los siguientes aspectos para todo territorio que pueda verse afectado en un intervalo de tiempo inferior a dos horas, desde el momento de colapso (Zona I o II):

1. Delimitación de zonas de inundación, de acuerdo con lo establecido en el correspondiente Plan de Emergencia de Presa / Balsa.
2. Previsión de los medios y procedimientos de alerta y alarma a la población y comunicación con el *CCE Generalitat*.
3. Previsión de las vías y medios a emplear por la población para su alejamiento inmediato de las áreas de peligro.

Para aquellos municipios que pertenecen a la zona de Alerta de un Plan de Emergencia de Presa/Balsa, ante el riesgo de inundaciones, el plan estará integrado en el Plan territorial Municipal relacionado con la afección en su municipio.

## PLANES DE EMERGENCIA DE PRESAS Y BALSAS

Los planes de Emergencia de Presas / Balsas analizan las consecuencias de las posibles emergencias que puedan darse en estas y establecen una estructura, una organización y las funciones a desarrollar por los trabajadores de la propia presa, así como de la Confederación Hidrográfica de la que dependa, en nuestro caso la Confederación Hidrográfica del Júcar, con la intención de minimizar las consecuencias en caso de rotura.

Los planes han de ser elaborados y confeccionados por los titulares de las presas / balsas. Estos planes deben establecer un sistema de alerta a la población potencialmente afectada, de forma que se adopten las medidas de autoprotección necesarias a tiempo.

Las Presas/ Balsas se clasifican en tres categorías en función de la gravedad de los daños que puedan producir en caso de colapso. Como hemos mencionado con anterioridad, la Presa de Bellús está clasificada en la categoría A, es decir, una presa cuya rotura puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.

Las funciones para un plan de emergencia de presas / balsa son:

1. Determinar, tras el correspondiente análisis de seguridad, las estrategias de intervención para el control de situaciones que puedan implicar riesgos de rotura

- o de avería grave de la presa/ balsa y establecer la organización adecuada para su desarrollo.
2. Determinar la zona inundable en caso de rotura, indicando los tiempos de propagación de la onda de avenida y efectuar el correspondiente análisis de riesgo.
  3. Disponer la organización y medios adecuados para obtener y comunicar la información sobre incidentes, la comunicación de alertas y la puesta en funcionamiento, en caso necesario de los sistemas de alarma que se establezcan.

Todo plan de emergencia de Presa / Balsa deberá:

- Contener un procedimiento de notificación, alerta o comunicación de incidentes al *CCE Generalitat*.
- Disponer de una sala de Emergencias y de los sistemas de comunicación necesarios que garanticen que en caso de emergencia, existe una comunicación directa entre la organización del Plan de Emergencia de la misma y el *CCE Generalitat*.

Una vez aprobados los Planes de emergencia de Presa / Balsa, la Consellería competente en materia de protección civil y gestión de emergencias, procederá a efectuar su integración en el Plan Especial.

## 6. Análisis de Riesgo

La peligrosidad de inundación ha sido un constante peligro que ha asolado nuestras tierras y desde la realización del primer Plan Especial en el año 1997 se ha modificado la manera de abordar un estudio de inundabilidad, siempre mejorando e introduciendo nuevo factores que deben ser considerados para determinar el riesgo al que se encuentra sometido un territorio. La incorporación de factores económicos, sociales y medioambientales también son importantes al verse susceptiblemente dañados ante un suceso de inundación.

La peligrosidad de inundación en su última revisión, definió siete niveles de peligrosidad de origen fluvial, seis niveles determinados en función de la combinación de tres frecuencias: los denominados periodos de retorno (cada 25, 100 y 500 años) y dos calados de la lámina de agua (menor y mayor de 80cm) y un séptimo basado en las condiciones geomorfológicas de la zona elaboradas en cartografía a escala 1:25.000.

El estudio de vulnerabilidad para determinar el riesgo de inundación que se ha agrupado a escala municipal, debe tener en cuenta los siguientes factores:

### 6.1 DISPOSICIÓN DEL RELIEVE

El territorio de la Comunitat Valenciana se caracteriza por un interior montañoso con intercalación de cubetas que constituyen llanos interiores y una franja litoral llana de escasa extensión hacia el interior.

Normalmente, las cuencas hidrográficas son de escasa longitud y fuertes pendientes debido a la proximidad del área montañoso al mar. Asimismo, la franja litoral está salpicada de zonas deprimidas, marjales, que se inundan periódicamente por las aportaciones de barrancos y las crecidas por lluvias locales.

La cuenca hidrográfica del río Albaida cumple perfectamente con lo establecido. Siendo un trazado corto con elevada pendiente en la zona montañoso que llega a un llano de inundación al acercarse a la costa.

El llano costero, por consiguiente, es donde se concentra el mayor riesgo de inundabilidad fluvial. Pero no hay que olvidar las zonas cercanas a la presa que sufrirían más si hubiera una hipotética rotura de la presa de Bellús.

### 6.2 CLIMA

El clima presente en la Comunitat Valenciana es un clima mediterráneo, con cierta influencia de la continentalidad en las tierras interiores. Por ello, la disposición orográfica determina la distribución de las temperaturas y las precipitaciones.

Las precipitaciones varían entre un carácter interanual y anual depende en la zona que nos encontremos. En general, la pluviometría disminuye de norte a sur, con una clara frontera marcada entre ambos sectores definida por el sistema Bético. Cada más al sur de la Comunitat nos acerquemos la pluviosidad tiene más semejanza a la de un clima subárido.

El valor medio de precipitación anual, oscila entre los 400 y 600mm. Algunas zonas del interior y el norte de la Comunitat están más expuestas a los frentes atlánticos, que produce precipitaciones más suaves pero más frecuentes. En la zona de Valencia, y la que nos interesa, al estar orientada perpendicular a los vientos húmedos del Noreste, es notablemente más lluviosa. La zona de la Safor, por la que pasa el trazado del río

Albaida registra lluvias anuales que oscilan entre los 600 y 900mm, normalmente concentradas en otoño, salvo escasas excepciones donde la primavera supera al otoño.

Esto es debido a que al final del Verano, principio de otoño, el mediterráneo adquiere las máximas temperaturas, por lo que la masa de aire sobre el mar es muy cálida y húmeda, y cuando se desplaza a tierra, aunque la situación atmosférica no sea muy inestable, produce importantes precipitaciones que dan lugar a lluvias torrenciales que nosotros conocemos como DANAS, que pueden registrar valores muy altos de precipitación superando los 800mm en 24 horas.

### 6.3 TIPOLOGÍA

Una inundación es un fenómeno temporal de terrenos que habitualmente no están cubiertos de agua, ocasionadas por los desbordamientos de los ríos, torrentes de montaña y demás corrientes de agua. Pueden ser de origen natural o antrópico, es decir, fenómenos causados por la naturaleza de origen fluvial o marino, o por fallo de las infraestructuras construidas por el hombre.

A continuación nombraré los tipos de procesos morfológicos de un territorio que pueden ocasionar un episodio de inundación:

#### 1. Cauces

Lechos mayores de los principales cursos fluviales, entre los que se considera tanto el canal de aguas bajas, como las barras laterales, meandros estrangulados y terrazas bajas. Se vinculan a los procesos de crecida encajada generalmente en topografía convexas entre terrazas y laderas.

#### 2. Barrancos y vaguadas de fondo plano

Esta amplia cartografía engloba diversas tipologías de cauces entre las que se incluyen cauces simples de primer o segundo orden y otros de mayor rango que no presentan encajamiento significativo, incluso algunas vaguadas que drenan glaciares, piedemontes y fondos de valle semiáridos semejantes a las playas norteamericanas. Entre estas tipologías cobran especial relevancia las vaguadas de fondo plano, particularmente presentes en zonas meridionales con litologías blandas.

En estas formas se dan diferentes procesos de inundación lineal, desde arroyadas laminares para el caso de los fondos de fosa y las vaguadas de fondo plano, hasta flujos concentrados con velocidades elevadas en algunos barrancos de zonas de cabecera.

#### 3. Llanura Aluvial o llanura de inundación

Emplazadas en los principales cursos bajos fluviales. Son edificios aluviales extensos con topografías por lo general convexas o con puntuales alternancias cóncavo-convexas, con una importante variedad morfológica debido a los procesos de acreción plurisecular y a la divagación de los cauces, normalmente a causa de una importante meandrización. El llano de inundación del Júcar de la Ribera por el que pasa nuestro estudio es un claro ejemplo de Llanura de inundación. Debido a las dificultades topográficas de drenaje, las inundaciones suelen ser extensas y de larga duración, creando flujos que circulan lentamente y posteriormente regresan al cauce.

La variedad y abundancia de sedimentos en estos ambiente puede provocar:

- Crestas aluviales: motas, diques o levées, que coronan las topografías convexas, donde se producen diversos procesos de desbordamiento.
- Paleocauces: antiguos cursos abandonados por procesos de avulsión, que suelen reactivarse en los eventos de mayor flujo de crecida.

#### 4. Abanicos Aluviales

Edificios aluviales, siempre convexos, formados cuando se produce un contacto entre los relieves y fosas interiores o llanos litorales, asociados a pérdida de pendiente y liberación de constreñimiento topográfico.

Los desbordamientos tienen por lo general un flujo lineal, con importantes velocidades que suele concentrarse en Paleocauces y derrames asociados a puntos de ruptura en los sectores apicales o medios. En la Zona distal y en el contacto con otras unidades la velocidad del flujo disminuye y la inundación se hace más extensa. La permanencia de la inundación es corta.

Los procesos de erosión remontante y reorganización de flujos son frecuentes, normalmente donde hay una secuencia de abanicos o fenómenos de coalescencia lateral.

#### 5. Abanicos Torrenciales

Morfología similar a los abanicos aluviales, en este caso asociado a cuencas de pequeña entidad y mayor pendiente. Pueden ser individuales o conformar una bajada (3/5 de pendiente), cuando coalescen alineados en el borde la fosa. Se asocian a los mismos procesos que los abanicos fluviales.

#### 6. Glacis

Depósitos de piedemonte que forman extensas laderas de pendiente muy suave y perfil cóncavo, en ocasiones formados por la coalescencia de antiguos abanicos. Ocasionalmente presentan redes de drenaje internas mal organizadas y escasamente jerarquizadas. Se vinculan a arroyadas laminares de peligrosidad baja.

#### 7. Derrames

Zonas asociadas a cauces en los que se produce la desaparición del canal por pérdida de pendiente y frecuentemente también por actuaciones antrópicas, debido a la puesta en cultivo de sus tierras. Raramente presentan depósitos sedimentarios reconocibles, debido a la escasez del aporte sedimentario y a su retirada o transformación por los agricultores. Son zonas en las que existe una escasa percepción del riesgo pero que pueden presentar localmente calados importantes.

#### 8. Humedales

Láminas de agua intermitentes o fluctuantes en espacios naturales o cultivado. Incluyen una amplia variedad tipológica entre las que se han considerado endorreísmos y semiendorreísmos de zonas interiores y marjales costeros. Se incluyen en este apartado las lagunas y embalses, pese a su origen artificial, considerándose en este caso como límite la isohipsa impuesta por la cota de

coronación de la presa. Estas formas se asocian a procesos de concentración de flujo y estancamiento de agua prolongado.

#### 9. Dolinas y Poljes

Depresiones cerradas de origen cárstico de dimensiones modestas en el primer caso, en torno al centenar de metros de diámetro, y kilométricas para el segundo. Si bien se trata de formas de disolución cárstica no consideradas parte de las morfologías fluviales, estas depresiones tienen una capacidad de concentración de flujos y prolongados encharcamientos permanentes en algunos episodios lluviosos.

#### 10. Restingas

Barreras costeras de arenas o cantos de origen marino, que aíslan albuferas húmedales. Constituyen también formas ajenas a la morfología fluviales, pero pueden ser objeto de procesos de inundación por los aportes de los desbordamientos de los cursos fluviales de mayores dimensiones, potenciados por el efecto tapón de los temporales marinos. En estas barreras, la presencia de depresiones o surcos interdunares facilita la apertura de vías de desagüe temporales al mar durante crecidas o la dispersión de parte de los flujos desbordados.

### 6.4 ZONAS AFECTADAS POR INUNDACIONES

El riesgo de inundación de un territorio se puede determinar por la interacción entre la peligrosidad de inundación existente en ese territorio y la vulnerabilidad de los usos implantados, así como, de las personas y bienes que ocupan dicho territorio.

Teniendo en cuenta que hablamos de Inundaciones de origen fluvial hay que mostrar los diferentes niveles de peligrosidad de inundación.

- Zonas de inundación frecuente. Se corresponde con zonas sometidas a inundaciones de periodo de retorno inferior a los 25 años, es decir, tienen una probabilidad de sufrir una inundación al año igual o superior al 4%.
- Zona de inundación ocasional. Engloba a las zonas que sufren inundaciones entre 25 y 100 años de periodo de retorno, lo que es lo mismo, aquellas que tengan una probabilidad de inundación al año entre el 1 y 4%.
- Zonas de inundación excepcional. Son todas las zonas que sufren crecidas cada 100 hasta 500 años de periodo de retorno. Estas zonas apenas tienen peligro de inundación, donde el porcentaje de probabilidad oscila entre el 0.2% y 1%.

Hay muchos factores que veremos a seguidamente que permiten determinar los daños sufridos debido a una inundación, pero el factor más importante en la mayoría de los casos es el calado máximo del agua, que está muy relacionado con la velocidad o el transporte de sedimentos.

La discretización de los calados es la siguiente:

- Calados bajos, cuando el nivel de agua esperado general en la zona de inundación es inferior a 80 centímetros. Aunque se pueden producir vías preferentes de flujo con fuertes daños, en general las pérdidas económicas

que se pueden producir son limitadas y las medidas a adoptar para disminuirlas serán sencillas.

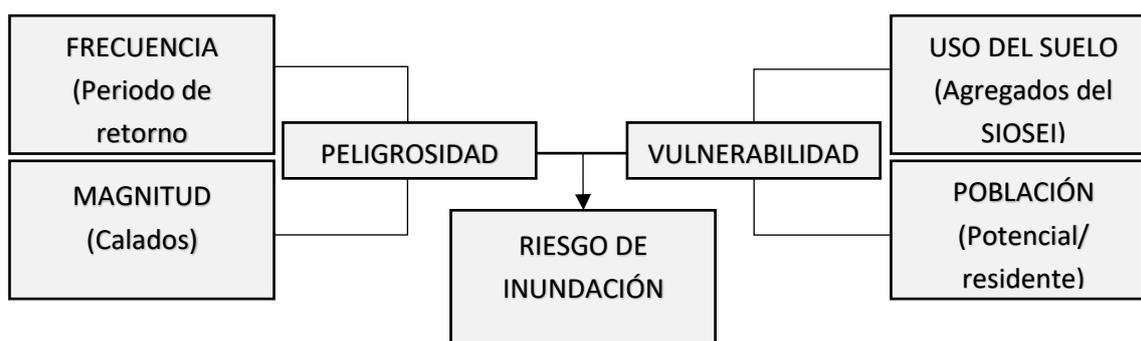
- Calados altos, cuando el nivel es superior a los 80 centímetros. En este caso los daños comienzan a ser muy importantes.

Ahora entendemos cuando hablamos de que la inundación de origen fluvial tiene siete niveles de peligrosidad, donde seis de ellos son combinación de tres niveles de frecuencia (Baja, Media, Alta) y dos calados (Bajo, Alto). El séptimo nivel está definido como peligrosidad geomorfológica. A continuación vamos a ver una tabla que categorizará cada nivel de más a menos peligroso.

Calado	FRECUENCIA		
	Baja (100/500 años)	Media (25/100 años)	Alta (< 25 años)
Bajo (<0,8m)	6º	4º	3º
Alto (>0,8m)	5º	2º	1º

Tabla 6.1. Niveles de peligrosidad por combinaciones de intervalos de frecuencia y calados

Una vez clasificados los niveles de peligrosidad de inundación y considerando los usos del suelo de las zonas afectadas, tan solo queda un factor que establece definitivamente una clasificación del riesgo de inundación considerando la vulnerabilidad que depende de la Población de cada uno de los municipios, Por tanto:



Esquema 6.1. Factores que determinan el riesgo de inundación

En toda la Comunitat Valenciana considerando todos los factores, la superficie de peligrosidad de inundación de origen fluvial es de 2.864,24 Km<sup>2</sup> sin contar la peligrosidad geomorfológica, aumentando hasta 3.039,59Km<sup>2</sup> al haber integradas cartografías referidas al suelo. (Ver, ANEXO VI, Plano de litología).

Cuando ya se ha estudiado y analizado las zonas inundables, es considerable realizar un análisis de riesgos y daños teniendo en cuenta la vulnerabilidad de los usos del suelo, la población residente y potencial que puedan encontrarse afectados por un suceso de inundación con el motivo de determinar la magnitud de daño previsible.

Vamos a ver un listado de las características básicas y la composición de los usos de suelo que han sido agregados y su afección con el tipo de inundación de origen fluvial:

- Núcleo urbano: asentamientos residenciales compactos, polígonos denominados casco y ensanche, agregándose a veces los usos asociado a urbano (zona verde urbana y asentamiento agrícola) Presenta una superficie afectada por peligrosidad de inundación fluvial de 10.679,30 ha, equivalente al 3,52% del total de la superficie inundable de origen fluvial.

- Residencial diseminado: asentamientos residenciales situados fuera del núcleo urbano. Tiene una afección por peligrosidad fluvial de 7.855,04 ha, correspondiente al 2,56% del total de la superficie inundable de origen fluvial.
- Actividad económica: suelos destinados a usos de industrias, instalaciones forestal, agrícolas o ganaderas. La superficie afectada por peligrosidad fluvial es de 9.038,12 ha, lo que es lo mismo, el 2,98% de total de la superficie inundable de origen fluvial.
- Equipamiento/dotacional: integrado por coberturas adjudicadas a servicios administrativos, sanitarios, educativos, culturales, deportivos y religiosos. Registra una peligrosidad de inundación fluvial del 1,19% del total de la superficie inundable de origen fluvial, es decir, 3.603,15 ha.
- Infraestructuras: red viaria y ferroviaria, puertos, aeropuertos, residuos, suministros de energía, agua y telecomunicaciones. La afección por peligrosidad de inundación de origen fluvial alcanza las 6.450,62 ha, que equivale a un 2,13% del total de la superficie inundable de origen fluvial.
- Agrícola: coberturas de los distintos tipos de cultivo. Ámbito que mayor porcentaje de peligrosidad de origen fluvial alcanza, siendo este de 63,48% del total, correspondiente a 182.331,02 ha.
- Forestal: integrado por las coberturas con distintos tipos de vegetación natural, incluidos los suelos desnudos y desarbolados a causa de incendios. Abarca una superficie de peligrosidad de 48.904,72 ha, que acapara el 16,14% del total de la superficie inundable de origen fluvial.
- Masas de agua: cursos de agua, lagos, embalses, láminas de agua artificial, mar y glaciares. La afección por peligrosidad de inundación por origen fluvial cubre una superficie de 24.096,96 ha, que equivale a un 7,95% de la superficie total.

Para la población se ha determinado varios factores de población residente a nivel de sección censal dentro de cada municipio, es decir a escala inframunicipal.

Teniendo en cuenta todos los factores que intervienen en el cálculo del riesgo de inundación por origen fluvial, se obtiene el riesgo de inundación generado por los niveles de peligrosidad y los usos del suelo, clasificando cada municipio como zonas de riesgo alto (Zona A), significativo o medio (Zona B) y bajo (Zona C).

Los criterios utilizados son los siguientes:

- Población afectada residente en vivienda principal (habitantes)
- Población potencial afectada en vivienda no principal (habitantes)
- Superficie de núcleo urbano afectado (ha)
- Superficie de residencial diseminado afectado (ha)
- Superficie de actividad económica afectada (ha)
- Superficie de equipamiento/dotación afectada (ha)
- Superficie de infraestructuras afectadas (ha)

Clasificación de zonas según su peligrosidad:

#### ZONA A

Llamamos Zonas A, de riesgo alto, a aquellas cuyas avenidas de 50, 100 o 500 años ocasionarán graves daños a núcleos de población importantes. Estas zonas se pueden dividir en subzonas dependiendo el periodo de retorno.

- Zona A-1: zonas de riesgo alto frecuente. Aquellas zonas en las que la avenida de cincuenta años producirá graves daños a núcleos urbanos (N1).
- Zona A-2: zonas de riesgo alto ocasional. Aquellas zonas en las que la avenida de cien años producirá graves daños a núcleos urbanos (N2 y N3).
- Zona A-3: zonas de riesgo alto excepcional. Son aquellas zonas en las que la avenida de quinientos años producirá graves daños a núcleos urbanos (N4 y N5).

Ante cualquiera de estas situaciones se marca como requisitos de la población afectada por peligrosidad de inundación para considerar que el riesgo es alto:

- En municipios de más de 5000 habitantes: cuando la población residente en viviendas principales se encuentre afectada en al menos 1000 habitantes.
- En municipios de menos de 5000 habitantes: cuando la población afectada represente al menos el 20% de la población residente en viviendas principales y sea igual o superior a 100.

En cuanto a las infraestructuras, a las actividades económicas y equipamiento/dotación afectadas por peligrosidad de inundación, se establece como condición para considerar riesgo alto que, al menos, la superficie afectada de uno o varios usos sea de 20Ha.

## ZONA B

Conocemos las zonas B, de riesgo medio, a aquellas zonas que no coinciden con las que tienen clasificación A, en las que la avenida de los 100 años producirá un impacto en las viviendas aisladas, y en las avenidas con periodo de retorno mayor a 100 años provocará daños significativos a instalaciones comerciales, industriales o servicios básicos.

Cuando las zonas B se inundan también lo hacen las zonas A, cosa que al revés no tiene por qué pasar. Los requisitos según la población afectada por peligrosidad de inundación para considerar un riesgo significativo o medio son:

- En municipios de más de 5000 habitantes: cuando la población residente en viviendas principales y viviendas no principales se encuentre afectada en un mínimo de 500 habitantes.
- En municipios de menos de 5000 habitantes: cuando la población afectada represente al menos un 10% de la población residente en viviendas principales y la población potencial en viviendas no principales, sea igual o superior a 50 habitantes.

En cuanto a las infraestructuras, a las actividades económicas y equipamiento dotación afectadas por peligrosidad de inundación, se establece como condición para considerar riesgo medio que, al menos, la superficie afectada de uno o varios usos sea de 60 Ha.

## ZONA C

Definimos las zonas C, de riesgo bajo, aquellas que no coincidan con las zonas A y B, en las que la avenida de 500 años producirá impactos en viviendas aisladas, y daños pequeños a instalaciones comerciales, industriales o servicios básicos.

No se exige requisitos mínimos en las zonas de riesgo bajo sobre la población afectada ni sobre las actividades económicas, equipamientos/dotación e infraestructuras.

A Continuación voy a mostrar una tabla que resuman las zonas de riesgo (A, B, C) de inundación según peligrosidad (N1, N2, N3, N4, N5 y N6) de inundación, población y usos del suelo.

POBLACIÓN Y USOS DEL SUELO VULNERABLES		NIVELES DE PELIGROSIDAD DE INUNDACIÓN							Cauces, Vaguadas, barrancos	Peligrosidad geomorfológica
		N1	N2	N3	N4	N5	N6			
Núcleos de población	Residentes en vivienda principal	A1	A2	A2	A3	A3	B	B	C	
	Potencial en vivienda no principal	B	B	B	B	C	C	C	C	
Viviendas aisladas	Residentes en vivienda principal	A	B	A	B	C	C	B	C	
	Potencial en vivienda no principal	B	B	B	B	C	C	C	C	
Actividades económicas		A	B	B	C	C	C	B	C	
Equipamiento dotacional e infraestructuras		A	B	A	B	C	C	B	C	

Tabla 6.2. Zonas de riesgo según peligrosidad de inundación, población y usos del suelo

## 6.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR MUNICIPIO

Recuperando la tabla 2.1 que establece el nivel de peligrosidad por inundación fluvial de cada municipio, vamos a estudiar cada uno de los municipios para contrastar con datos fiables específicos el nivel de peligrosidad según los requisitos que hemos estado viendo.

Municipio	Población	Superficie(ha)
Alberic	10526	2695,029
Alzira	44352	11072,598
Bellús	304	963,484
Benigànim	5841	3351,662
Benimuslem	653	418,936
Carcaixent	20358	5957,504
Pobla Llarga	4452	1004,131
V. Castelló	7049	2029,114
Genovés	2842	1514,891
Manuel	2428	597,616
Senyera	1136	204,405
Xàtiva	29231	7672,093

Tabla 6.3 Población y superficie (ha) por municipio

Teniendo la población y la superficie de cada municipio, es hora de establecer la superficie (ha) para cada uso del suelo distinguidos por municipios. Así, al calcular la zona inundable, podremos establecer el porcentaje de superficie afectado por inundación de origen fluvial dependiendo de su uso del suelo y clasificado por municipio, verificando nosotros si el riesgo para cada municipio, que nos ofrece el plan especial de inundaciones de la Generalitat Valenciana se adecua a los parámetros extraídos de nuestro modelo de inundación.

Municipio	Forestal	Agrícola	Núcleos urbanos	Residencial diseminado
Alberic	0	1556,507	517,609	251,694
Alzira	3152,52	6069,699	539,548	146,035
Bellús	419,971	369,179	14,023	23,622
Benigànim	130,195	2483,389	109,54	47,289
Benimuslem	0	160,249	28,132	26,817
Carcaixent	2474,876	2596,695	222,501	133,194
Pobla Llarga	72,181	783,361	67,074	14,335
V. Castelló	22,523	1562,753	106,905	31,568
Genovés	570,994	759,119	96,321	30,162
Manuel	34,094	363,539	58,208	7,707
Senyera	0	151,373	19,02	9,856
Xàtiva	2277,721	3509,446	704,86	125,419
<b>Total</b>	<b>9155,075</b>	<b>20365,309</b>	<b>2483,741</b>	<b>847,698</b>

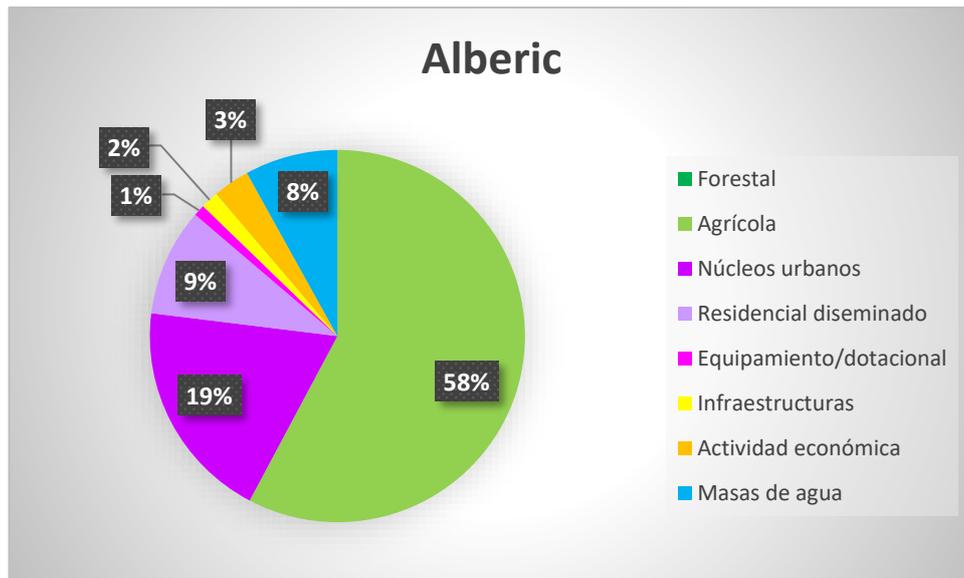
Tabla 6.4.1 Superficie (ha) para cada uso del suelo por municipio

Municipio	Equipamiento/dotacional	Infraestructuras	Actividad económica	Masas de agua
Alberic	26,662	41,711	84,801	216,045
Alzira	45,415	191,426	229,72	698,235
Bellús	1,651	32,744	17,081	85,213
Benigànim	7,041	57,558	39,725	476,925
Benimuslem	4,398	20,324	4,988	174,028
Carcaixent	71,918	129,034	197,438	131,848
Pobla Llarga	5,972	7,372	53,836	0
V. Castelló	10,838	10,885	70,346	213,296
Genovés	0,616	8,773	7,914	40,992
Manuel	6,515	87,258	10,087	30,208
Senyera	3,121	2,04	11,722	7,273
Xàtiva	43,272	352,119	151,88	507,376
<b>Total</b>	<b>227,419</b>	<b>941,244</b>	<b>879,538</b>	<b>2581,439</b>

Tabla 6.4.2 Superficie (ha) para cada uso del suelo por municipio

Puesto que el nivel de peligrosidad de cada zona se establece según el porcentaje de superficie afectada para los usos del suelo (Núcleos urbanos, agrícola, residencial diseminado, Infraestructuras, equipamiento dotacional y actividad económica) vamos a ver los gráficos por porcentaje según el uso del suelo para cada municipio y calcular la superficie afectada de cada municipio así como el coste de daño.

(Ver ANEXO V, Plano del uso del suelo).



Gráfica 6.1 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Alberic

Estadísticas del daño:

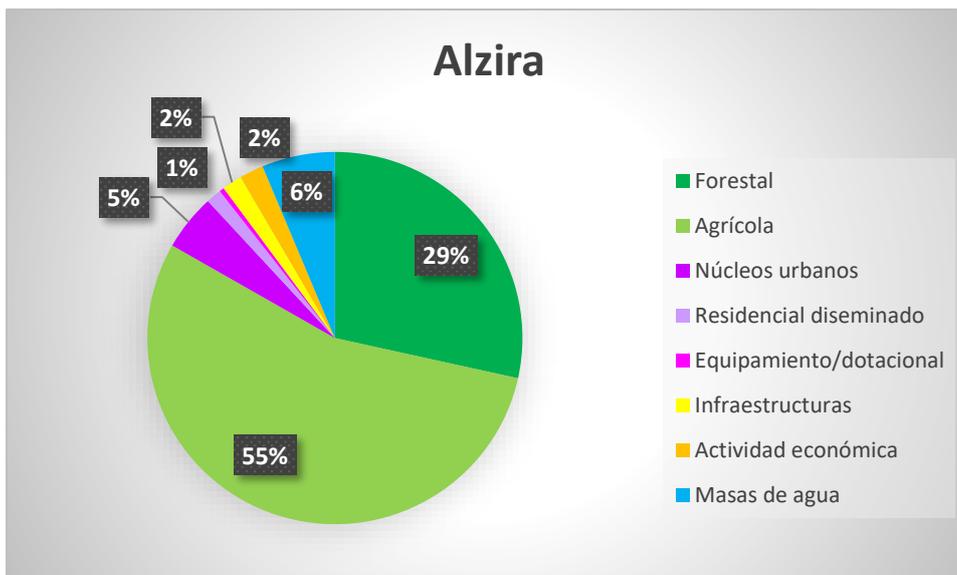
	Habitantes	Densidad (ha)	ha Afectadas	Población afectada	infraestructuras afectadas ha	Riesgo Inundación
<b>Alberic</b>	10526	3.9	251.085	979.2315	1.18	B

Alberic es un municipio cuya superficie agrícola abarca un 58% de un total de 2695,029 ha. La superficie afectada por la simulación de la mancha de agua es de 251.085 ha, a consecuencia de una densidad de 3.9 habitantes por ha, la población afectada aproximada será de 979.23 habitantes, número menor que 1000 pero superior a 500. Rango de intervalo de los municipios con una población que exceda los 1000 habitante, perteneciendo a la zona B de riesgo de Inundación corroborando lo que nos decían las tablas. La mayoría de superficie afectada se concentra en áreas agrícolas (170,71 ha), siendo la suma de infraestructuras, equipamiento dotacional y actividad económica dañadas, solo de 1.18 ha.

Costes de daños:

	Agrícola €/ha	ha agrícola afectada	€/ha Parcela media	ha restantes afectadas	Coste Agrícola €	Coste restante €	Costes totales €
<b>Costes</b>	36.52	170.71	60	1.18	6234.3292	70.8	6305.1292

El suelo agrícola en la provincia de Valencia está tasado en una media de 28.960 €/ha, pero conociendo que el cultivo de regadío que más prolifera en la Ribera es el del naranjo hemos tomado la cantidad específica para dicho cultivo que es de 36.52ha. El coste medio para la hectárea en suelo para infraestructuras, equipamiento dotacional y actividades económicas no está especificado totalmente, ya que varía mucho según la zona y el propietario, pero se ha estimado un valor medio de 60€ que es el valor medio de las hectáreas en 2019. El resto de superficie afecta al porcentaje de masa de agua y no es tasable. Hay que añadir un posible coste por daño a la población, ya sean bienes o personales que se adicionarán luego del análisis de daños personales y materiales. El coste total de daños en el municipio de Alberic es de **6305.1292€**.



Gráfica 6.2 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Alzira

Estadísticas del daño:

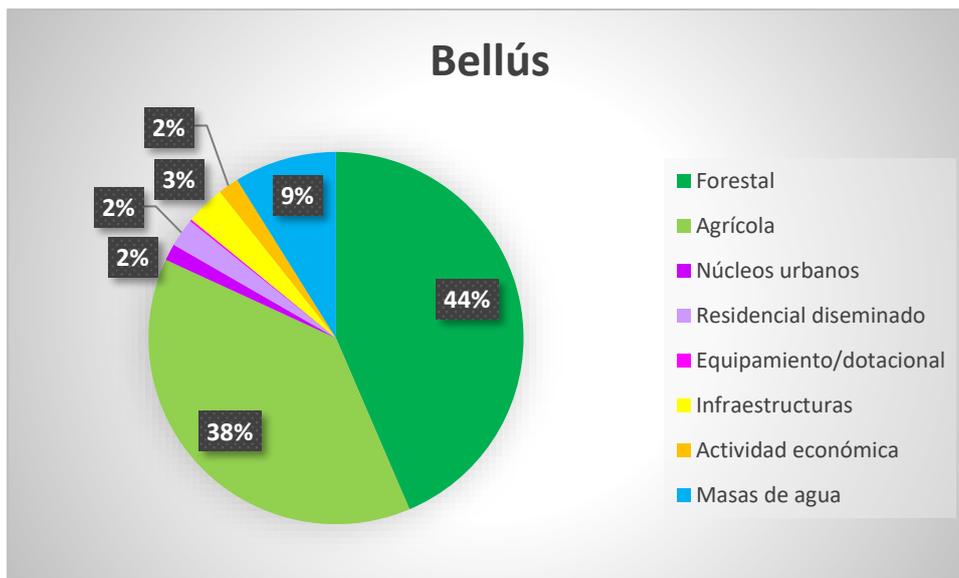
	Habitantes	Densidad (Ha)	Ha Afectadas	Población afectada	Infraestructuras afectadas ha	Riesgo Inundación
<b>Alzira</b>	44352	4.01	540.81135	2168.65353	30.68	A

Alzira es el Municipio más grande tanto en habitantes como en superficie de los que vamos a estudiar. El cauce del río atraviesa el núcleo urbano, aunque la mayor parte del terreno está comprendido por uso del suelo agrícola y forestal, la superficie afectada de uso urbano sufre bastante alcanzando 47.7 de las 540.81ha totales que se han visto perjudicadas con la crecida del cauce. Al superar los 5000 habitantes y la población afectada sea superior a 1000 personas entra en el rango de riesgo de inundación A. Además, supera el mínimo de ha en Infraestructuras o equipamiento dotacional o actividad económica que se han de considerar para clasificarlo como riesgo A, siendo el mínimo 20ha y solamente las infraestructuras alcanzan 30.68ha afectadas.

Coste de daños:

	Agrícola €/ha	ha agrícola afectada	€/ha Parcela media	ha restantes afectadas	Coste Agrícola	Coste restante	Costes totales
<b>Costes</b>	36.52	372.26	60	36.97	13594.935	2218.2	15813.135

La zona forestal queda fuera del alcance de la crecida, pero el uso del suelo agrícola se ve afectado en 372.26ha. La suma de daños en Infraestructuras, Equipamiento dotacional y actividad económica asciende hasta 36.97ha, causando costes de **15813.135€** en el municipio de Alzira, sin sumar los daños personales y materiales.



Gráfica 6.3 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Bellús

Estadísticas del daño:

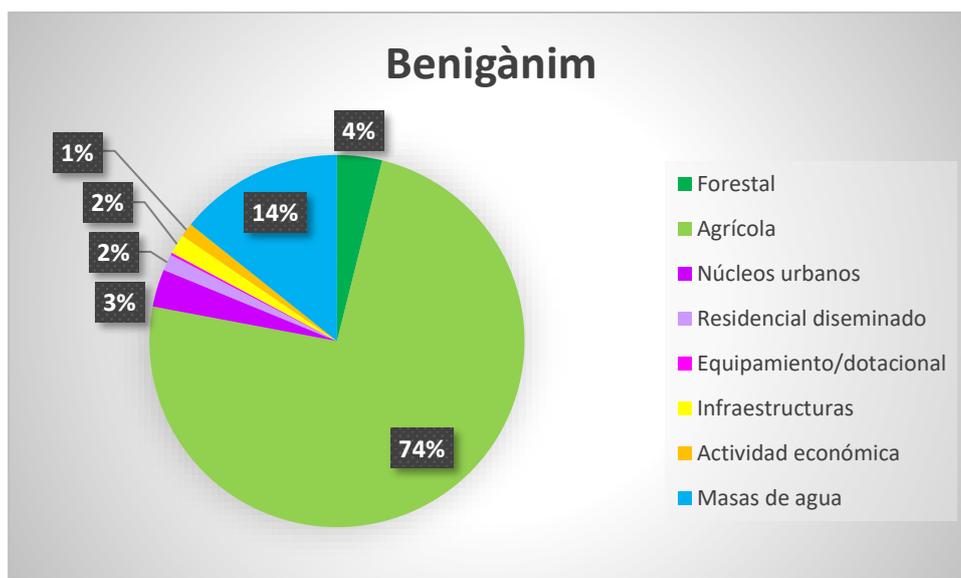
	Habitantes	Densidad (Ha)	Ha Afectadas	Población afectada	Infraestructuras afectadas ha	Riesgo Inundación
<b>Bellús</b>	<b>304</b>	0.31	33.5	10.385	0	<b>C</b>

Bellús es el municipio donde se encuentra la presa y el inicio de nuestro trayecto. El cauce a su paso por allí está encajonado en barrancos entre montañas y eso causa que aunque exista un incremento de la cota de inundación, la mancha no ascienda. Si se encuentra en el análisis de inundación de origen Fluvial, es por encontrarse en la cuenca hidrográfica del río Albaida ya que en cuanto a superficie afectada el peligro es casi nulo, todo lo contrario que si habláramos de una hipotética inundación por rotura de presa, donde la fuerza del agua engulliría gran parte de la superficie. En nuestra simulación la zona afectada es de 33.5ha y la población afectada 10, por lo que se queda fuera de los márgenes de un peligro medio o alto. Riesgo de inundación: C.

Coste de daños

	Agrícola €/ha	ha agrícola afectada	€/ha forestal	ha forestal afectadas	Coste Agrícola	Coste forestal	Costes totales
<b>Bellús</b>	36.52	19.92	599	0.53	727.4784	317.47	1044.9484

Aun así vemos que el coste total para el municipio de Bellús asciende a **1044.9484€**. Esto es debido a que hay un pequeño porcentaje de ha forestal que se ve afectada por la crecida del nivel del río. El valor en Valencia en euros por hectáreas del monte (suelo y vuelo) que se establece por la producción económica de los mismos (producción de madera, apícola, fungicultura y pastoreo) y al ser un espacio verde y protegido donde existe todo tipo de fauna y flora, el suelo es bastante más caro que el agrícola, siendo en Valencia de 599€/ha.



Gráfica 6.4 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Benigànim

Estadísticas del daño:

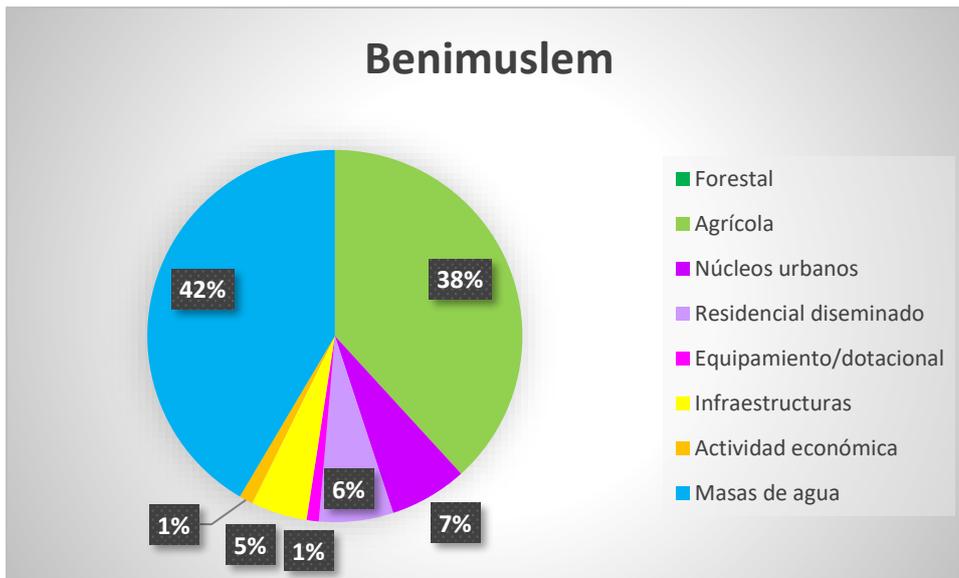
	Habitantes	Densidad (Ha)	Ha Afectadas	Población afectada	infraestructuras afectadas ha	Riesgo Inundación
<b>Benigànim</b>	5841	1.73	38.87	67.2451	2.17	C

Algo similar ocurre con Benigànim como pasaba con Bellús. Además la forma de las montañas favorece a este municipio situado al este del cauce del río. Apenas sufre daños importantes, siendo el uso del suelo agrícola el más afectado con 12.75ha luego de las zonas. Los daños no son suficientes para contemplar que el municipio entre en riesgo medio o alto, es por eso que también se incorpora a los municipios de Riesgo C en inundación de tipo fluvial.

Coste de daños:

	Agrícola €/ha	ha agrícola afectada	€/ha Parcela media	ha restantes afectadas	Coste Agrícola	Coste restante	Costes totales
<b>Benigànim</b>	36.52	12.75	60	2.17	465.63	130.2	595.83

Benigànim abarca un total de **595.83€** de coste de daños, siendo uno de los municipio que menos costes sufre en una hipotética subida del cauce natural del río.



Gráfica 6.5 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Benimuslem

Estadísticas del daño:

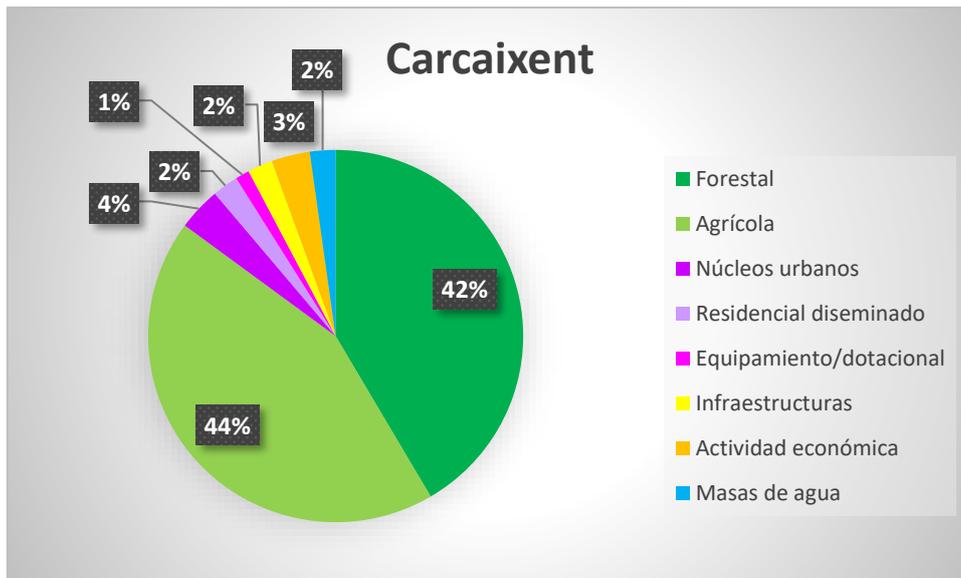
	Habitantes	Densidad (Ha)	Ha Afectadas	Población afectada	infraestructuras afectadas ha	Riesgo Inundación
<b>Benimuslem</b>	653	1.6	81.91	131.056	1.45	A

El problema de Benimuslem es que a relación de su poca superficie, la superficie afectada es mucha. Este municipio tiene una peculiaridad y es que tiene un porcentaje de uso del suelo dedicado a masas de agua debido a que al norte de este, hay un complejo de acequias y un barranco protegido con mucho riesgo de inundación que están considerado zona de masa de agua. Pero lo que lo clasifica como un municipio de riesgo A, es debido a que su población es menor a 5000 habitantes y el número de población afectada representa más de un 20% de la población total y además es mayor a 100 habitantes.

Costes de daños:

	Agrícola €/ha	ha agrícola afectada	€/ha Parcela media	ha restantes afectadas	Coste Agrícola	Coste restante	Costes totales
<b>Benigànim</b>	36.52	16.34	60	2	596.7368	120	716.7368

El cauce del río Júcar no pasa lejos del casco urbano de Benimuslem afectando a parte de directa de la población, esa cifra la veremos implementada más tarde, por ahora el coste total de daños es de **716.7368€**.



Gráfica 6.6 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Carcaixent

Estadísticas del daño:

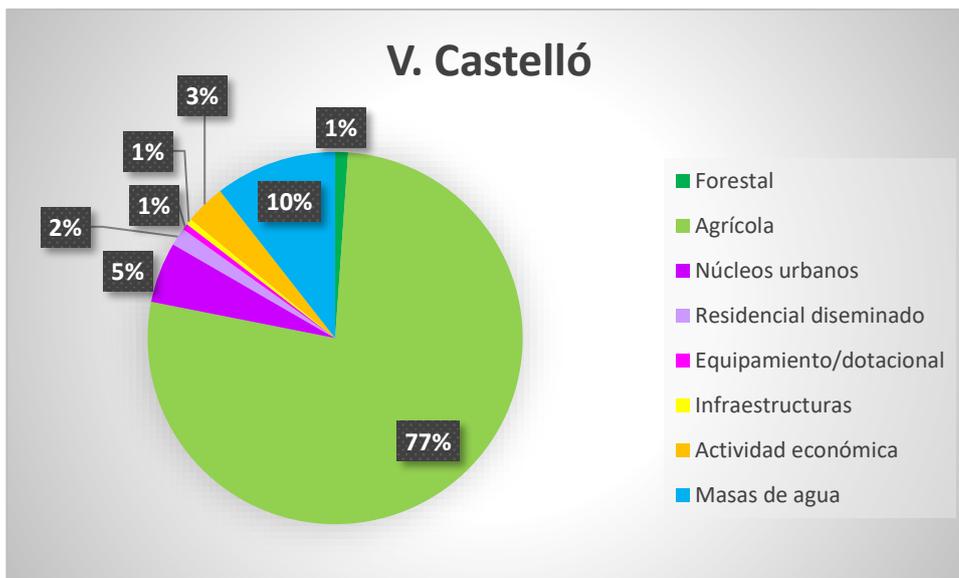
	Habitantes	Densidad (Ha)	Ha Afectadas	Población afectada	infraestructuras afectadas ha	Riesgo Inundación
<b>Carcaixent</b>	20358	3.45	465.04	1604.388	11.87	A

Carcaixent, igual que Alzira es un municipio con muchos habitantes y mucha superficie y sufre de la misma manera la crecida de la mancha de agua. Al ser un municipio de más de 5000 habitantes y la población afectada es mayor a 1000, automáticamente pertenece al grupo de municipios con riesgo de inundación A, aunque el número de hectáreas de infraestructuras no supere las 20ha. Como vamos a ver a continuación es el mayor municipio que sufre en cuanto a zona agraria afectada (317.83ha), y aunque abarque una amplia cantidad de superficie forestal, la simulación no alcanza cotas tan altas.

Costes de daños:

	Agrícola €/ha	ha agrícola afectada	€/ha Parcela media	ha restantes afectadas	Coste Agrícola	Coste restante	Costes totales
<b>Carcaixent</b>	36.52	317.83	60	11.87	11607.152	712.2	12319.352

El coste de daños de Carcaixent asciende a **12319.352€** debido al amplia área agrícola afectada por la crecida del caudal del río Júcar. Recordemos que tanto Alzira como Carcaixent se encuentran en el tramo del recorrido donde el cauce es más sinuoso, zona de menos pendiente y, por lo tanto, superficie que favorece al estancamiento de agua superior. Es por esto por lo que estos dos municipios son los que más ha agrícolas sufren un peligro directo origen de una inundación.



Gráfica 6.7 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Villanueva de Castellón

Estadísticas del daño:

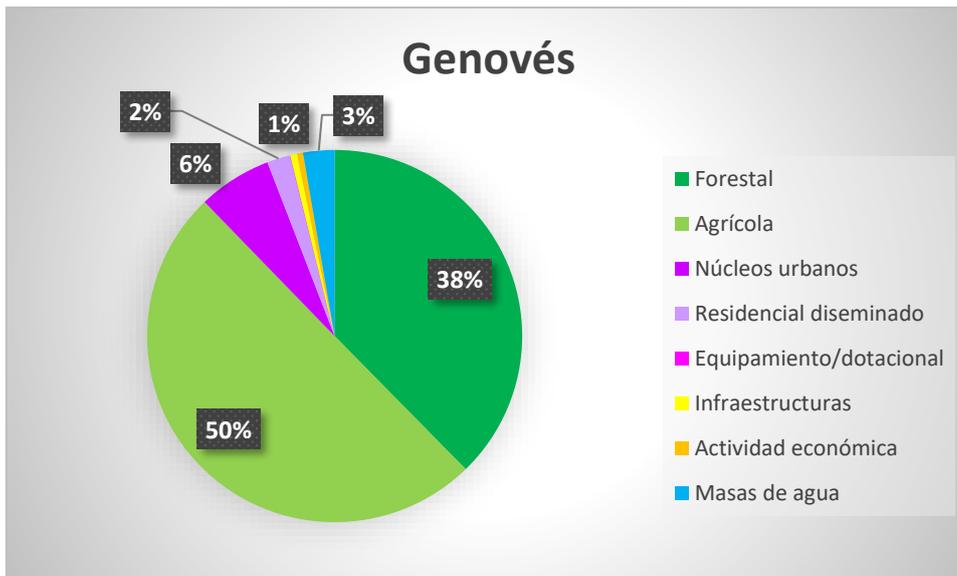
	Habitantes	Densidad (Ha)	Ha Afectadas	Población afectada	Infraestructuras afectadas ha	Riesgo Inundación
V. Castellón	7049	3.47	287.37	997.1739	0.33	B

Villanueva de Castellón es un municipio que comprende un sector amplio de superficie agrícola y es, además, el municipio que donde el río Albaida desemboca en el cauce del río Júcar. Es una zona curiosa, ya que esta unión en el pasado no ocurría en el mismo lugar y por esa zona existen pequeños barrancos, incluso estructuras que se mantienen en pie que revelan el antiguo cauce del río. Esas zonas están integradas en el uso de suelo para masas de agua, y de ahí el 10% de superficie. Por otra parte vemos la estimación de población afectada es de 997, casi al límite de ser un municipio de riesgo de inundación A, sin embargo se clasifica en el grupo B al no sobrepasar los 1000 habitantes.

Costes de daños:

	Agrícola €/ha	ha agrícola afectada	€/ha Parcela media	ha restantes afectadas	Coste Agrícola	Coste restante	Costes totales
V. Castellón	36.52	167.44	60	0.33	6114.9088	19.8	6134.7088

Más de un 50% de las hectáreas afectadas son de uso agrícola, 167.44ha para ser exactos. El total de costes que origina el municipio de Villanueva de Castellón a exentas de los daños personales y materiales son de **6134.7088€**.



Gráfica 6.8 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Genovés

Estadísticas del daño:

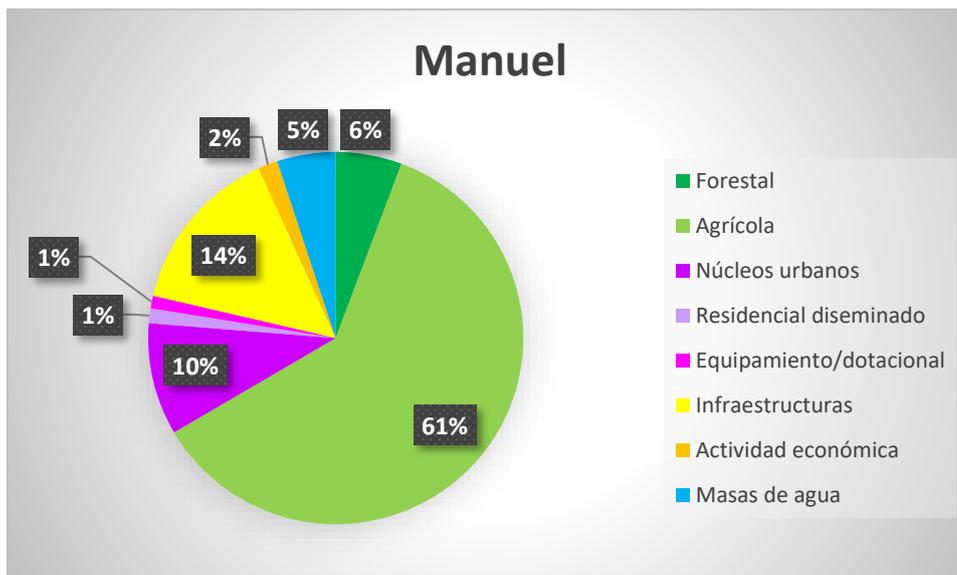
	Habitantes	Densidad (Ha)	Ha Afectadas	Población afectada	Infraestructuras Afectadas ha	Riesgo Inundación
<b>Genovés</b>	2842	1.86	97.89	182.0754	0	C

Puede que Genovés sea un caso especial pero tiene detalles curioso en su estudio. Es un municipio situado parcialmente en suelo montañoso, de hecho, hay zona forestal afectada que incrementara su coste de daños. Genovés es el primer caso que en mi estudio el resultado no cuadra con los datos que nos ofrece la Comunidad Valenciana. Esto es porque al ser un municipio de menos de 5000 habitantes para ser un municipio de Riesgo de inundación de clase B, al menos debe tener al menos el 10% de población afectada respecto al total de la población, pero en nuestro estudio la población afectada es solo un 6,4% del total, por lo que debería tener carácter de riesgo de nivel C. Hasta el momento todos los municipios cuadraban con la clasificación que se le había dado pero en este caso los resultados distan un poco de la norma general, pero no por ello debe estar mal, simplemente que para nuestro Estudio Genovés entraría en Riesgo C, que viendo los municipios de alrededor tampoco desentona.

Coste de daños:

	Agrícola €/ha	ha agrícola afectada	€/ha forestal	ha forestal afectada	Coste Agrícola	Coste forestal	Costes totales
<b>Genovés</b>	36.52	42.04	599	13.66	1535.3008	8182.34	9717.6408

Con los datos que hemos extraído de nuestro análisis en ArcGIS el coste de los daños ascendería a **9717.6408€** debido a la notoria cantidad de hectáreas forestal que se han visto afectadas por la inundación.



Gráfica 6.9 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Manuel

Estadística del daño:

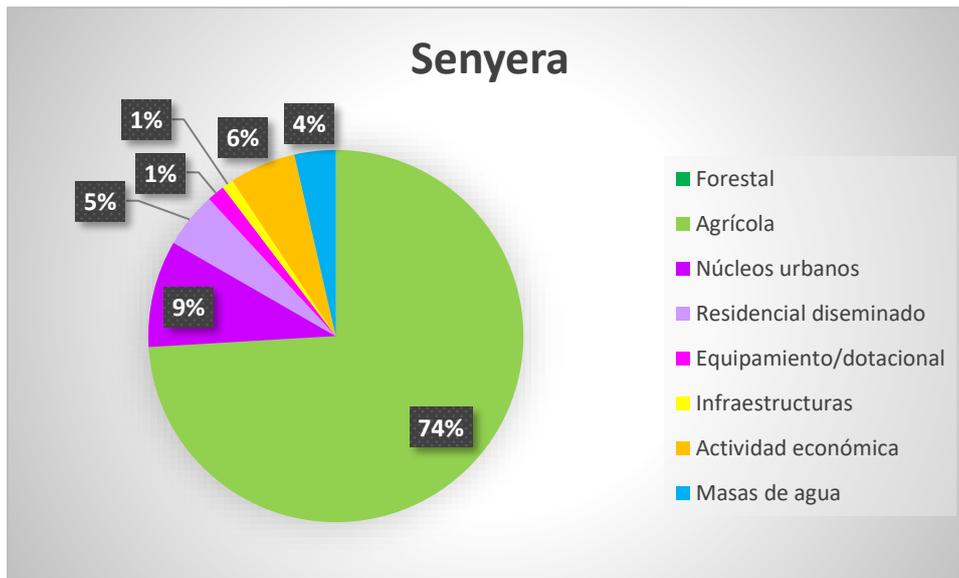
	Habitantes	Densidad (Ha)	Ha Afectadas	Población afectada	infraestructuras afectadas ha	Riesgo Inundación
<b>Manuel</b>	2428	4.08	64.51	279.5208	1.57	B

Manuel es el municipio contiguo a Genovés, y esta vez sí los datos del estudio vuelven a certificar que el riesgo de inundación por origen fluvial de este municipio sea de tipo B, ya que al ser su población menor a 5000 habitantes para que sea considerado de riesgo medio, la población afectada tiene que ser entre un 10 y un 20%. En este caso es de un 11.5% cumpliendo los requisitos que la norma establece. Manuel tiene un casco urbano muy cercano al cauce del río y esto se verá reflejado luego en el estudio de daños personales y material, de hecho el perfil número 6 está tomado al lado del pueblo y una crecida atacaría sin piedad a los residentes periféricos. Al tampoco ser un

Costes de daños:

	Agrícola €/ha	ha agrícola afectada	€/ha Parcela media	ha restantes afectada	Coste Agrícola	Coste restante	Costes totales
<b>Manuel</b>	36.52	30.98	60	2.71	1131.3896	162.6	1293.9896

El municipio acumula un coste de daños de **1293.9896€**, sabiendo que solo la mitad de las hectáreas han sido contabilizadas y el coste será mayor cuando se le sume las hectáreas del uso del suelo urbano.



Gráfica 6.10 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Senyera

Estadística del daño:

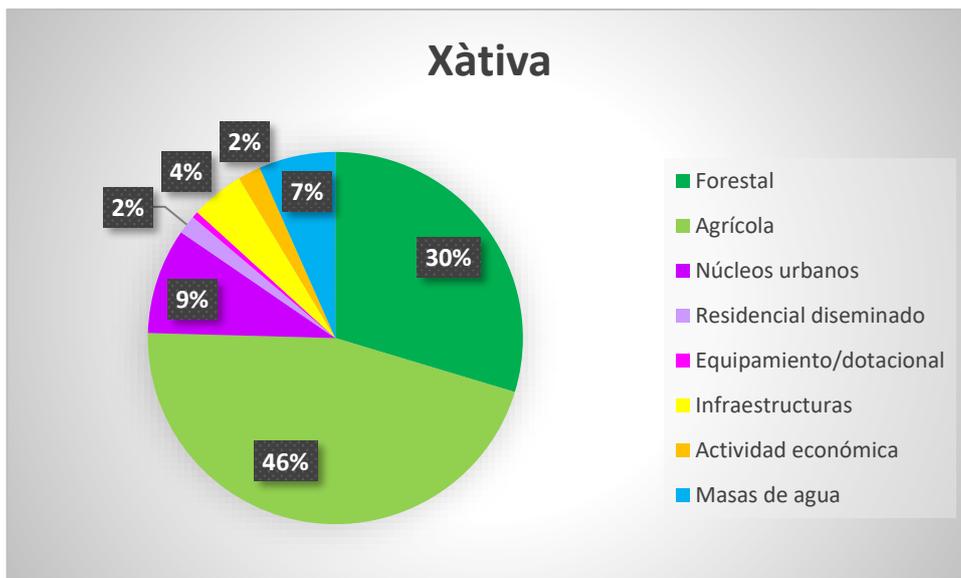
	Habitantes	Densidad (Ha)	Ha Afectadas	Población afectada	Equipamiento/dotacional Afectado ha	Riesgo Inundación
<b>Senyera</b>	<b>1136</b>	5.58	20.3	<b>113.274</b>	<b>1.37</b>	<b>C</b>

Senyera es un municipio pequeño que se encuentra entre Manuel y Villanueva de Castellón pero para su poca superficie existe una gran concentración de población, teniendo la densidad más elevada de todos nuestros municipios estudiados: 5.58 Habitantes por hectárea. Al ser un municipio de menos de 5000 habitantes, la población afectada no supera ni los 500 casos, ni supera el 10% de la población total, por lo que Senyera se clasifica en un riesgo de inundación por origen fluvial C.

Costes de daños:

	Agrícola €/ha	ha agrícola afectada	€/ha Parcela media	ha restantes afectada	Coste Agrícola	Coste restante	Costes totales
<b>Senyera</b>	36.52	8.44	60	2.28	308.2288	136.8	445.0288

Solo con un 20.3ha afectadas, es el municipio que menos sufre por la crecida del caudal del río Albaida, al igual que también es el menor en cuanto a costes incrementa. Tan solo de **445.0288€**.



Gràfica 6.11 Porcentaje del uso del suelo en el municipio de Xàtiva

Estadística del daño:

	Habitantes	Densidad (Ha)	Ha Afectadas	Población afectada	Actividad económica afectadas ha	Riesgo Inundación
<b>Xàtiva</b>	29231	3.81	202.88	772.304	13.50	C

Xàtiva es un municipio de una extensión considerable, pero que la población se concentra en el núcleo urbano, es por eso la poca densidad de población por hectárea cuando la comparas con los demás municipios. Al ser un municipio de más de 5000 habitantes y la población afectada no superar las 1000 personas, ni las infraestructuras superar las 20ha afectadas que deben de tener como mínimo para pertenecer al grupo de riesgo A o B, Xàtiva tiene un riesgo de inundación por origen fluvial de tipo C.

Costes de daños:

	Agrícola €/ha	ha agrícola afectada	€/ha forestal	ha forestal afectada	€/ha Parcela media	ha restantes afectada	Coste agrícola	Coste forestal	Coste restante	Coste total
<b>Xàtiva</b>	36.52	7.5	599	8.34	60	16.49	274.3	4995.66	989.4	6259.325

Por último, el coste total de los daños por hectáreas afectadas por la mancha de inundación es de **6259.325€**. Al ser un municipio con mucha superficie existe una amplia variedad de usos del suelo, y al contrario que otros municipios, la zona agrícola no sale tan perjudicada al encontrarse lejos del cauce. Xàtiva es un municipio con amplia actividad económica superando en hectáreas afectadas por primera vez a las infraestructuras.

Como bien se puede observar, los municipios estudiados abundan en el uso de suelo por agricultura, debido a que la comarca basa su economía principalmente en el cultivo de la naranja y es por eso que gran parte de su superficie es de uso agrícola, siendo la mayoría zona afectada también de uso agrícola, mientras que las zonas forestales, las infraestructuras, el equipamiento dotacional o de actividad económica, al situarse lo suficientemente lejos del cauce no se han visto tan afectadas. Aunque no hemos analizado un municipio, La Pobla Llarga. Hay que fijarse que en la tabla 6.4.2, de indica que el porcentaje de masa de agua en ese municipio es de 0%. Además que el único municipio que no linda directamente con el cauce del río, nuestra AOI no intersecciona con los límites municipales, no obstante el plan general de la Comunidad Valenciana lo data como riesgo B que puede ser originado por un antiguo meandro que rodea el municipio por detrás y cuando exista una crecida se llene y ponga en peligro a su población. Lamentablemente ese ramal queda fuera de nuestro estudio, pero me ha parecido interesante aportar la peculiaridad de un municipio que se encuentra en nivel medio de riesgo sin estar cerca del cauce principal del estudio.

A continuación observamos una tabla conjunta con todos los costes y el coste total para daños en las zonas afectadas no urbanas.

<b>Municipio</b>	<b>Coste €</b>
Alberic	6305.1292
Alzira	15813.135
Bellús	1044.9484
Benigànim	595.83
Benimuslem	716.7368
Carcaixent	12319.352
V.Castellón	6134.7088
Genovés	9717.6408
Manuel	1293.9896
Senyera	445.0288
Xàtiva	6259.325
<b>TOTAL</b>	<b>60645.8244</b>

*Tabla 6.5 Coste según el daño en uso del suelo no urbano*

A primera vista parece no encontrarse una relación en los costes de cada municipio, porque mayor riesgo no tiene por qué significar mayor coste. Al ser la mayoría de las hectáreas afectadas de uso agrícola no hay mucha diferencia y podríamos pensar que a mayor población, mayor coste, pero la balanza parece caer hacia un lado cuando algún municipio tiene zonas forestales afectadas. Por lo que el orden por lo que definiríamos los costes sería primero por la cantidad de población y luego según el uso del suelo afectado, después iría por superficie, y por último por riesgo.

## 7. Riesgos y Daños

### 7.1 MEDIDAS DE PROTECCIÓN A LA POBLACIÓN EN CASO DE INUNDACIÓN

Con el fin de evitar las consecuencias de una posible inundación de origen fluvial, existen procedimientos para la protección de la población. Estas medidas se activan cuando la alerta hidrológica debido a las crecidas de los caudales o las lluvias, implican una situación de peligro, es decir, cuando el nivel de alerta es rojo, siguiendo los siguientes umbrales:

Verde	No existe ningún riesgo
Amarillo	No existe riesgo para la población en general aunque sí para alguna actividad concreta.
Naranja	Existe un riesgo importante
Rojo	El riesgo es extremo

*Tabla 7.1 Umbrales de riesgo*

Las medidas de protección a la población comprenden:

- Medidas de autoprotección personal: son medidas sencillas que atienden con la prudencia y la responsabilidad propia de la población.
- Confinamiento: consiste en el refugio de la población, o bien en sus propias viviendas, o en recintos o habitáculos próximos al lugar donde se encontraran en el momento en el que se anuncie la alarma.
- Alejamiento: es el traslado de la población por sus propios medios desde posiciones expuestas a riesgo elevado a lugares seguros, preferiblemente poco distantes
- Evacuación: consiste en el traslado de la población que se encuentra en la zona de riesgo, hacia zonas seguras. Esta medida solo se realiza si el peligro al que está expuesta la población es extremo y deben realizarlo los servicios del propio municipio. El alcalde es el único que podrá ordenar la evacuación de la población.

En un primer nivel, el aviso de alerta deberá efectuarse mediante la megafonía del municipio y la población deberá actuar de la manera más conveniente en cada caso aplicando las medidas antes enunciadas.

Finalizada la situación de riesgo para las personas y declarado el fin de la emergencia, en función del nivel de daños que haya causado, las necesidades de apoyo extremo a los municipios para realizar las tareas de limpieza y acondicionamiento de las zonas afectadas. De esta manera se restablecerán las condiciones mínimas e imprescindibles para el retorno a la normalidad.

### 7.2 RIESGOS EN PRESAS Y BALSAS

Una hipotética inundación, siempre viene acompañados de diversos daños que vamos a ver a continuación. Para ello debemos realizar una análisis de los riesgos de las Presas/ Balsas. Cada zona potencialmente inundable engloba una serie de hipótesis de rotura. El embalse de Bellús, como hemos destacado anteriormente es un escenario H2, es decir, un escenario de rotura en situación de avenida extrema.

Criterios básicos para la valoración de daños:

Los planes tienen que incluir un estudio pormenorizado de los elementos en riesgo y de los daños potenciales en caso de inundación o rotura de Presa/ Balsa.

### 7.2.1 RIESGO POTENCIALES PARA LAS VIDAS HUMANAS. POBLACIÓN EN RIESGO

TIPO	DAÑOS POTENCIALES: AFECCIÓN GRAVE
<b>Núcleos urbanos</b> (entendido como más de 10 edificaciones formando calles o menos de 10 edificaciones con más de 50 habitantes)	Afecta a más de 5 viviendas habitadas y representa riesgo para la vida de sus habitantes
<b>Nº reducido de viviendas</b> (entre 1 y 5 viviendas habitadas)	Afecta a entre 1 y 5 viviendas habitadas
<b>Pérdida incidental de vidas humanas</b>	Presenta ocasional y no previsible en el tiempo de personas en la zona vulnerable (no incluye residencias permanentes, acampadas estables o zona de aglomeración habitual de personas)

Tabla 7.2 Riesgo potenciales para las vidas humanas

### 7.2.2 AFECCIONES A SERVICIOS ESENCIALES

(Servicios indispensables para el desarrollo de las actividades, de los que dependen más de 10.000 habitantes)

TIPO	DAÑOS POTENCIALES: AFECCIÓN GRAVE
Abastecimiento y saneamiento. Suministro de energía. Sistema sanitario. Sistema de comunicaciones Sistema de transporte	Aquella que no pueda ser reparada de forma inmediata impidiendo permanentemente y sin alternativa el servicio.

Tabla 7.3 Afecciones a servicios esenciales

### 7.2.3 DAÑOS MATERIALES

(Cuantificables directa o indirectamente en términos económicos)

TIPO	DAÑOS POTENCIALES.		
	Los Límites deberán reducirse en caso de instalaciones de singular importancia		
	MODERADOS	IMPORTANTES	MUY IMPORTANTES
Industrias, polígonos industriales y propiedades rústicas	Menos de 10 instalaciones	Entre 10 y 50 instalaciones	Más de 50 instalaciones
Cultivos de secano	Menos de 3000 Has	Entre 3000 y 10000 Has	Más de 10000 Has
Cultivos de regadío	Menos de 1000 Has	Entre 1000 y 5000 Has	Más de 5000 Has
Carreteras		Red general de las CC. AA u otras redes de importancia equivalente	Red general del estado y red básica de CC. AA.
Ferrocarriles		ff.cc vía estrecha	ff.cc vía ancha y alta velocidad

Tabla 7.4 Daños materiales

## 7.2.4 DAÑOS AMBIENTALES

(Áreas con protección medioambiental y patrimonio histórico- artístico)

TIPO	DAÑOS IMPORTANTES
Elementos o territorios con alguna figura legal de protección	Los daños severos que tengan carácter de irreversibles, entendidos como aquellos que suponen la imposibilidad o la dificultad extrema de retornar a la situación anterior a la acción que los produce (R.D 1131/88 de 30 de septiembre)
Bienes de interés cultural	Posibilidad de destrucción o daño irreversible

Tabla 7.5 Daños ambientales

## 7.2.5 OTRAS AFECCIONES

(Elementos singulares cuya afección pueda potenciar y agravar los efectos de la rotura de la presa / balsa)

TIPO	DAÑOS
Presas/Balsa aguas abajo	Posible rotura
Instalaciones de alto riesgo: Centrales nucleares. Plantas de producción de productos altamente dañinos	Su afección será siempre considerada como grave

Tabla 7.6 Otras afecciones

A continuación se identificará el escenario para la presa de Bellús mediante una ficha que analice sus valores de umbrales en caso de emergencia extremas.

La cota de coronación de la presa de Bellús es de 159.00 msnm.

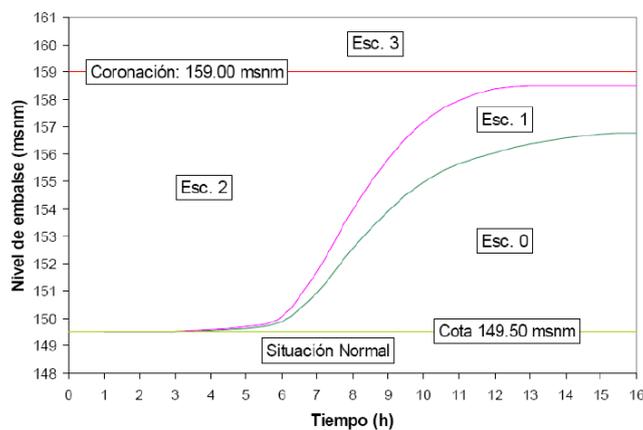
Hay que tener en cuenta que hay dos periodos a lo largo del año:

- Época de bajo riesgo de avenidas: enero a agosto.
  - o Nivel máximo de explotación: 149.50 msnm.
- Época de alto riesgo de avenidas: septiembre a diciembre.
  - o Nivel máximo de explotación 144.50 msnm.

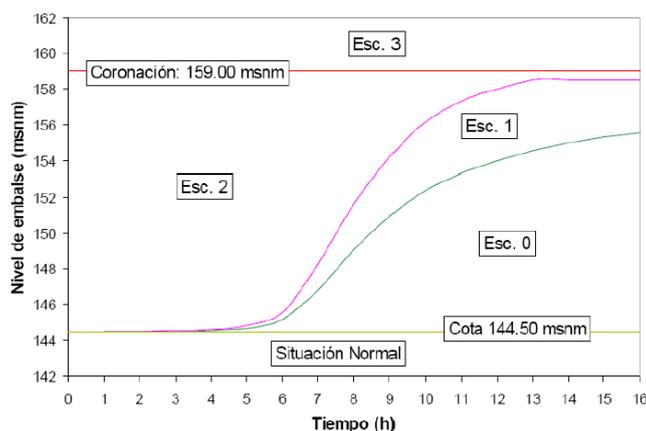
Indicador	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Precipitaciones extremas	>160,5mm en 24 horas	Si es declarado el escenario 0 por precipitaciones, dan parámetros para este escenario		
Avenidas	Se prevé superar el nivel máximo de explotación ordinaria, cota 149.50 msnm en época de bajo riesgo de avenidas, o la	Se prevé superar la curva de evolución de avenida de T= 1000 años.	Se prevé superar la curva de evolución avenida extrema.	Se prevé alcanzar la cota de coronación 159.00 msnm y, es previsible la rotura de la presa.

	cota 144.50 msnm en época de alto riesgo			
Sismos	Sismo de 3.5 escala Richter, nivel IV MKS o percepción evidente de temblores	Sismo que provoca cualquier tipo de desorden en los órganos vitales de la presa		
Inspección y vigilancia	Aparición del indicador	Simultaneidad de indicadores	Generalización	Previsible rotura inmediata
	Indicadores aguas abajo, acceso, alimentación eléctrica, aliviadero, comunicaciones, desagüe de fondo, toma de agua, grupos electrógenos, cámaras de válvulas, contacto presa-cimiento, coronación, espejo de agua, galerías, costa del embalse, vaso de presa, puente sobre el aliviadero, inspección de parámetros e inspección general.			
Auscultación	El Plan de emergencia de presas establece toda una serie de umbrales para los instrumentos de medida que vigilan los siguientes parámetros: Movimiento vertical, giro de los bloques, nivelación de coronación, colimación de la coronación, niveles piezométricos en cimientos, temperatura del hormigón, movimiento de juntas, movimientos horizontales, aforo de caudales filtrados, caudales en drenes individuales.			

Tabla 7.7 Valores de umbrales para declaración de escenarios.



Gráfica 7.1 Umbrales para época de bajo riesgo de avenidas (enero/agosto)



Gráfica 7.2 Umbral para época de alto riesgo de avenidas (septiembre/diciembre)

### 7.3 COSTOS PROBABLES POR DAÑOS DE INUNDACIÓN

Una vez sabemos la teoría, debemos especificar cuánto es el coste por los daños provocados por una inundación, conociendo que existen daños directos como son los daños físicos sobre los bienes, propiedades privadas (muebles e inmuebles), Infraestructuras públicas, costes para las medidas de emergencia que se dan en el momento de la inundación y un posterior coste para la limpieza de calles, casas, etc.

Gracias al Instituto Valenciano de la Edificación de la que hemos extraído la información de los precios para daños directos:

- Mobiliario Urbano: Se consideran daños en bancos, papelería, señales, etc. (2500€/ha).
- Alumbrado y semáforo: Daños sobre las farolas, los semáforos, el cableado y los cuadros eléctricos (3500€/ha).
- Electricidad: Daños en los centros de transformación y su cuantía de la reparación puede ser considerable (2500€/ha).
- Saneamiento: Las conducciones del saneamiento del alcantarillado no se dañan durante las inundaciones, pero luego la limpieza puede alcanzar a costar valores de cómo se colocaran unos nuevos (4000€/ha).
- Agua potable: Los daños sobre las conducciones, válvulas y otros elementos singulares no van a ser muy elevados, ya que la red de abastecimiento no suele quedar muy afectada (500€/ha).
- Telefonía: La red de teléfonos no se ve tampoco muy afectada pero tiene un coste de (500€/ha).
- Viales: El arrastre de los sedimentos provoca reparaciones tanto en el asfalto como el pavimento y las aceras (1500€/ha).
- Vehículos: Los vehículos de la calle también pueden sufrir daños llegando a un máximo de 15000€/ha dependiendo del valor del coche, por lo que nos quedaremos con el valor medio de (7500€/ha).
- Precio del suelo urbano en 2019 es de (167,2€/ha).

En total 22667.2€/ha.

Municipio	Área afectada	Coste
Alberic	0	0
Alzira	47.74	1082132
Bellús	0	0
Benigànim	0	0
Benimuslem	17.84	404382.8
Carcaixent	0	0
V. Castelló	0	0
Genovés	4.68	106082.5
Manuel	4.61	104495.8
Senyera	2.52	57121.34
Xàtiva	2.84	64374.85
<b>Total</b>	<b>80.23</b>	<b>1818589</b>

*Tabla 7.8 Costes totales según el daño para suelo urbano*

Si sumamos los costes tanto del estudio en suelo urbano como el suelo de uso no urbano, obtenemos que el total de costes en nuestra simulación de inundación es de **1879235.28€**, es decir, en caso de que se produjera un aumento del caudal estudiado en 5000m<sup>3</sup>/s, los costes producidos por los daños totales serían casi de 2 millones de euros. Cifra considerable que debería alertar a los municipios y establecer unas medidas estrictas para menguar los daños y proteger a la ciudadanía en caso de inundación.

#### 7.4 CAUSAS Y SOLUCIONES PARA REDUCIR LOS DAÑOS DE INUNDACIÓN

Se denomina crecida al aumento del caudal de un río respecto a su valor medio. Por todo lo que hemos visto sabemos que el río no tiene un cauce con una única anchura, sino que ocupa espacios fluviales de distinta amplitud según el caudal, es decir del tamaño de la crecida. Aunque hay que tener en cuenta esos espacios como parte del río, respetando y no ocupando tales espacios, aunque el agua sólo llegue a ellos eventualmente. Aun así, nuestro territorio, abundante en suelo agrícola, ocupa ciertos espacios destinados al caudal del río. A continuación vamos a desarrollar las causas que incrementan el daño en caso de inundación:

- La ocupación de zonas inundables: no solo la ocupación de suelo agrícola expone un riesgo de daños en nuestra zona, pues hemos visto que la crecida ocupa también zonas inundable donde existen viviendas, infraestructuras, equipamientos, incrementando en la misma medida le exposición de la población y de los bienes. Aunque por normativa hay que respetar las zonas inundables, la realidad es que no se cumple. Son los ayuntamientos de cada municipio los que tienen las competencias, y por tanto, son los responsables de la principal causa que está impulsando el incremento de los daños tras una inundación de origen fluvial, puesto que están exponiendo a las personas, permitiendo el desarrollo urbanístico en zonas inundables.
- Espacios agrarios cada vez más intensivos y sin prácticas de conservación: La industria agrícola y la expansión del regadío intensivo está cambiando la dinámica hidrológica de extensas zonas territoriales incrementando la cantidad de la escorrentía, así como la velocidad de los flujos de agua cuando las precipitaciones son intensas, de forma que los efectos de las lluvias torrenciales

son más dañinos e intensos. Esto supone que el agua llega más rápido a las zonas agrícolas inundables, dando lugar a acumulaciones de agua.

- En primer lugar, la reducción de la cubierta vegetal en zonas de nuevos regadíos, que antes estaban cubiertas por vegetación natural (vegetación arbustiva y de matorral), que eran vegetación muy eficaz a la hora de retener el suelo, impidiendo el arrastre de sedimentos, favoreciendo una mayor infiltración y reduciendo por tanto los picos de avenida y la acumulación de agua. Esta función protectora se elimina cuando se rompe las áreas que antes estaban cubiertas de vegetación natural.
  - En segundo lugar, la intensificación dentro de los propios espacios agrarios también ha eliminado la vegetación natural que existía en los paisajes agrarios tradicionales. En el pasado los cultivos estaban distribuidos en parcelas pequeñas en cuyos lindes existían caminos o espacios no cultivados ocupados por vegetación natural. Hoy en día, la agricultura industrial y los regadíos intensivos eliminan estos elementos protectores.
  - Por último la agricultura intensiva, no aplica las prácticas de conservación de suelo. Prácticamente se ha perdido todos los riegos de boquera, que aprovechaban las lluvias torrenciales para desviar la escorrentía hacia el cultivo. Esto aprovechaba más el agua de las lluvias estancando parte en los campos, reduciendo los efectos aguas abajo ya que la lámina de agua es menor.
- La impermeabilización del suelo: Estamos presenciando un aumento de la impermeabilización del suelo, debido al desarrollo urbanístico y la proliferación de las distintas edificaciones y equipamientos, que van desde centros comerciales a todo tipos de infraestructuras. A mayor superficie impermeable, mayor escorrentía frente a una misma precipitación, por lo que los daños por inundación aumenta.
  - Nuevas infraestructuras que desorganizan el drenaje natural: Aunque pensemos que el desarrollo urbanísticos es necesario, el incremento acelerado de nuevas infraestructuras (autovías, carreteras, rotondas, taludes) están ocupando zonas inundables, que cortan y desorganizan la red de drenaje y crean barreras a la misma agravando los daños, reconduciendo los flujos de agua hacia zonas que antes habían estado libres de problemas de inundación
  - Obras de defensa frente a inundaciones que agravan los daños cuando estas se producen: Paradójicamente, otro de los factores que están contribuyendo de forma característica a aumentar los daños por inundaciones es la construcción de obras hidráulicas de defensa frente a inundaciones como: motas, diques, presas de laminación, dragados, cortes de meandro y encauzamientos). Aunque creamos que estas obran ayuden, algunas ha distorsionado la percepción del riesgo y dan lugar a una falsa seguridad, provocando que ocupemos mayor zona inundable sin saber que continuamos exponiéndonos a un riesgo para la población y los bienes. Además, por ejemplo los encauzamientos tienen consecuencias negativas al favorecer una mayor energía y velocidad de las aguas de avenida, incrementando la capacidad de destrucción aguas abajo. Se ha demostrado que las obras hidráulicas (diques o motas) son de escasa utilidad ante las inundaciones de origen fluvial, siendo a la larga peor, por su vulnerabilidad a roturas que han constituido el mayor peligro real para las vidas humanas. Hay que mencionar que la construcción de estas obras hidráulicas

originan graves impactos ambientales, al romper el equilibrio morfodinámico del río, acarreado la degradación de vegetación natural y la destrucción de hábitats naturales.

- Los ríos se han quedado sin su espacio. Los cultivos, el crecimiento urbano y el aumento de las infraestructuras, han acorralado los límites de las cuencas de los ríos en muchos lugares, olvidando que el río no sólo tiene un caudal, sino distintos cauces para distintos caudales, y hay que tener en cuenta las crecidas fluviales.

Para poner en marcha las estrategias de adaptación frente al incremento de los riesgos por inundación hay que asumir que en el territorio Valenciano siempre seguirán ocurriendo episodios extremos de inundación. Lo deseable sería modificar nuestros estilos de vida y la percepción que tenemos sobre los ríos, que se ha ido olvidando a lo largo de los años, y ha sido sustituida por una falsa percepción, promovida en muchos casos desde las administraciones públicas. A continuación enumeraremos las soluciones para disminuir los daños por inundación por origen fluvial y lo aplicaremos a nuestra zona de estudio.

- Respetar las zonas inundables: esto significa eliminar por completo todas las viviendas, infraestructuras y equipamientos de todo tipo que solapen con zonas inundables de mayor riesgo o con población más vulnerable. Aunque no elimine por completo los daños por inundaciones, respetar las zonas inundables reducirá de forma significativa los daños humanos y de los bienes.
- Devolver el espacio al río: esta medida trata de desencauzar y eliminar motas ramblas y cauces aguas arriba de zonas urbanas y devolver a los ríos partes de sus espacios de desbordamiento, permitiendo una inundación blanda sin ningún daño a personas y con bajo daño a bienes. Un territorio fluvial respetado y bien gestionado permite conservar o recuperar la dinámica hidrogeomorfológica. Es sabido que la acumulación de cañares en las riberas de los ríos es un problema a la hora de una crecida, pues el aumento del nivel de agua arranca los cañares y las acumula aguas abajo, aumentando los daños. Por lo que la mejor solución es promover el bosque de ribera, puesto que los árboles no suponen un peligro ya que son arrancados, además que permiten laminar la crecida. Establecer y gestionar adecuadamente el territorio fluvial mitiga los daños por inundaciones, recuperar meandros y bosques de ribera es esencial para contribuir a disipar la energía de las crecidas.
- Implantar medidas naturales de retención de agua: son actuaciones promovidas por la Comisión Europea inspiradas en la naturaleza y la conservación del agua y del suelo tradicionales.
  - Recuperación de la vegetación natural en los espacios agrarios, a distintas escales. De esta forma aumenta la capacidad de infiltración y sobre todo se reducen y enlentecen las escorrentías.
  - La recuperación de la red de drenaje natural. Recuperar la red de drenaje natural supone respetar su trazado, incluso en zonas llanas donde dicho trazado es menos evidente.
  - El mantenimiento de una cubierta verde en los cultivos. Tanto en el caso de cultivos arbóreos como en las parcelas no cultivadas, se trata de mantener una cubierta verde con especies herbáceas adecuadas, que contribuyan a retener sedimentos y favorezcan la infiltración en caso de precipitaciones. Además, la retención de agua tiene otros beneficios

adicionales, como por ejemplo, reducir de forma significativa de la contaminación agraria difusa, provocada por la aplicación de fertilizantes agrarios, causantes de la exportación de grandes cantidades de nutrientes.

- **Implantar sistemas de Drenaje Urbano Sostenible:** Hay que reducir los daños de la inundación en zonas urbanas, y para eso hay que incluir superficies filtrantes, suelos drenantes, estanques y jardines inundables y el incremento de superficies vegetadas. Estos drenajes urbanos son muy caros y la cantidad de agua que pueden acumular es pequeña, por lo que una solución estable sería crear espacios urbanos de superficies verdes inundables capaces de retener cantidades de agua mayores a menor coste.
- **Eliminar viviendas e infraestructuras en zonas de alto riesgo:** Imprescindible es realizar un nuevo censo de viviendas y equipamientos que se encuentran en zonas de riesgo elevado por inundación dentro de un periodo de retorno de 10 años. La mejor medida que se puede aplicar es el traslado.
- **Impulsar una estrategia de comunicación sobre la necesidad de una gestión adaptativa frente a las inundaciones:** Hay que incluir programas de educación de comunicación social para educar en la incertidumbre y en la cultura del riesgo por inundación a los habitantes ribereños. Modificar la percepción pública e informar a la sociedad para que apoye una gestión adecuada de los territorios fluviales, es la mejor forma de prevenir los daños por inundación de origen fluvial.

## 8. Resultados y conclusiones

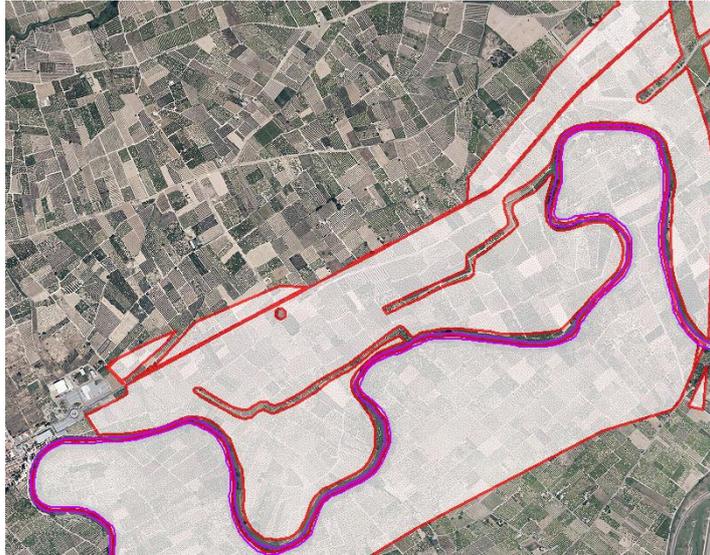
Hemos comprobado que una inundación como la de nuestra simulación genera, no solo un impacto ambiental, sino también económico y social. El periodo de retorno de una inundación como la que hemos supuesto vuelve a ocurrir de cada 10 a 25 años, siendo aún más devastadora inundaciones con periodos de retorno superiores a los 100 años, que pueden llegar a los 2000m<sup>3</sup>/h. La DANA que asoló Valencia en 2019 registró en algunos puntos de la comunidad Valenciana cifras que no llegan al punto de nuestra simulación pero que también se consideran peligrosas. En las tormentas mencionadas, el nivel del cauce que nosotros estudiamos aumentó lo suficiente para cubrir infraestructuras, suelo agrícola y núcleos urbanos donde las calles eran avenidas de agua y durante tres días la población tuvo que quedar aisladas en sus viviendas. Como podemos observar Alzira, Benimuslem y Manuel serían los municipios que sus respectivos núcleos urbanos más se verían afectados por la crecida del caudal. De hecho, en el lugar donde referenciamos el perfil número 6, en las cercanías del casco urbano de Manuel, y el número 9, un acceso al cauce del río cercano a un colegio de Alzira, el riesgo de inundación estaba señalado en carteles de advertencia.



*Imagen 8.1 Zonas urbanas afectadas en los municipios de Benimuslem y Manuel*

Las personas que residen en estas viviendas son conocedoras del peligro que supone una inundación y los desperfectos que puede causar, sin embargo entra en la responsabilidad del ayuntamiento de cada municipio no edificar en zonas inundables. Quien aprobó la construcción de las viviendas en su momento puede que no tuviera un análisis detallado del peligro que conllevaba, pero hoy en día, por suerte, cada ayuntamiento está sobre avisado y preparado por si ocurre una inundación, y por supuesto, está prohibido construir nuevas viviendas en zonas inundables.

La mayor parte de la superficie afectada es de uso agrícola alrededor de la cuenca del río, ya que multitud de campos se aglomeran en los espacios colindantes al cauce. El peligro de perder la cosecha sobre todo en los temporales de invierno, son muy elevados, además si ocurriese una crecida de caudal considerable los efectos serían devastadores para los agricultores. Las medidas que hemos dado anteriormente para menguar efectos dañinos también deberían aplicarse, siendo parte de responsabilidad también de los ayuntamientos que deberían ponerse en contacto con los trabajadores del campo para resolver futuros problemas de inundación recuperando la mayor parte de vegetación natural, aumentar la capacidad de infiltración de la tierra para una mejora de la escorrentía, respetar las zonas llanas entre campos para ayudar a un mejor drenaje natural que no quede obstruido por arbustos que lindan en los límites entre parcelas o controlar el mantenimiento de una cubierta verde de los cultivos.



*Imagen 8.2 Zona de uso agrario afectada entre los municipios de Benimuslem y Alzira*

Las cañas y arbustos que aparecen por descuidar el espacio natural de un río, entorpecen al agua en su crecida, desencadenando daños aguas abajo de los cañares debido a que la fuerza del agua los arranca y transporta la suciedad con ella. Es por eso que hay que eliminar todo cañar no deseado y devolver al río su espacio de desbordamiento para menguar los daños. Una limpieza anual con máquinas que recorriesen la orilla del río y eliminasen los cañares y las malezas sería la mejor solución, pero son gastos de limpieza y mantenimiento que los ayuntamientos no suelen destinar. Hay una amplia zona conflictiva llena cañares desde el perfil 4 al perfil 6 que debería limpiarse y no se hace.

El desbordamiento del cauce inunda muchas infraestructuras a su paso, desde caminos y carreteras convencionales y hasta un tramo de autovía, que yo he visto plagado de agua en alguna ocasión. La mancha abarca varios metros cuadrados de la autovía que queda plenamente sumergida en agua, cortando el tráfico durante horas y generando accidentes. Desviar la autovía no es tarea sencilla, está situada entre el cauce natural del río y la cequia real del Júcar que a su vez está situada en el pie de una montaña. El impacto y el coste para readaptar el trazo de autovía es demasiado grande. La solución que doy para este problema, es mejorar y adaptar un sistema de drenaje mejor que no colapse las infraestructuras y en caso de inundación no afecte a dicha autovía.



*Imagen 8.3 Autovía afectada por el crecimiento del caudal*

Para terminar, habría que concienciar a la sociedad y realizar charlas explicativas en todos los municipios que puedan verse afectados en caso de inundación, para que las personas supieran reaccionar antes, durante y después de una inundación.

En conclusión, este trabajo me ha servido para analizar y estudiar los efectos y las medidas que se deben adoptar en caso de una inundación. Quise realizar un estudio de inundación desde que trabajé en una empresa de batimetría y escogí el tramo del río Albaida y Júcar porque se encontraba cerca de mi segunda vivienda. Los resultados han sido similares a lo que me esperaba, sabía de antemano que suele inundarse y en menor o mayor medida la mancha de agua ocupaba la superficie que suponía que debía ocupar. El estudio estadístico, excepto en un municipio, entran dentro de lo que la Generalitat Valenciana exponía en su plan general, por lo que puedo confirmar que mi estudio es correcto, coherente, y puede que útil para algún lugareño que desconozca el riesgo que conlleva residir en las cercanías de la cuenca de un río como es el Júcar, que su propio nombre en latín significa el destructor. La mayoría de las medidas que se pueden adoptar corren a cargo de los ayuntamientos, quienes tendrán su propio análisis para valorar si vale la pena adecuar la zona para menguar los daños de una supuesta inundación, o por el contrario, los gastos que se puedan tolerar son asequibles y no deberían interferir. Mi respuesta es un no rotundo, y creo que se debería condicionar el terreno, invertir ahora en el presente para evitar daños mayores en el futuro.

No podemos evitar que cada cierto periodo de tiempo nos veamos asolados por inundaciones, pero sí podemos prepararnos para ello.

## 9. Agradecimientos

Estoy muy contento con el proyecto final de grado. No es fácil plasmar una idea extraída del trabajo en el que estuve de prácticas, exprimirla, expandirla, investigar, tomar los datos y utilizar tus propias herramientas para conseguir los objetivos que mecánicamente estaban programados en la empresa. Agradezco a mi encargado, Rubén y a todo mi equipo de trabajo de batimetría por aquellos seis meses de trabajo, los cuales fueron el inicio del proyecto. A mi tutor, Ramón, quien no dudó en aceptar tutorizarme en cuanto escuchó la idea, y siempre me ha dado una salida las veces que me he atascado en algún paso. Siento que a veces no he estado lo suficientemente mentalizado y eso ha retrasado la entrega, pero ha merecido la pena al ver el resultado final. En casa, he tenido a la voz detrás de mi cabeza que para las buenas y para las malas siempre me ha animado a ponerme una hora más, gracias por todo, Melba. Por último a todos mis compañeros del grado, los que están y los que se fueron, no ha sido fácil, sobre todo los últimos años, pero por fin lo logré.

## 10. Bibliografía

*Plan especial frente a inundaciones* (2020), Generalitat Valenciana.

[https://www.eldiario.es/opinion/tribuna-abierta/causas-soluciones-inundaciones\\_129\\_1476292.html](https://www.eldiario.es/opinion/tribuna-abierta/causas-soluciones-inundaciones_129_1476292.html)

<https://tasagronomos.com/valoracion-tasacion-precio-monte-forestal/>

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

de la Riva, J.(2015) *Análisis espacial y representación geográfica* Ed. UZ-AGE.

Conesa, C.(2011) *Trazados de baja y alta sinuosidad en ríos españoles* Ed. UM.

Gallego, D.(2019) *Método de Taylor y Schwarz para el cálculo de la pendiente* Ed. ESPE.

## 11. Anexos y cartografía

### ANEXOS

Plano de localización.....	ANEXO I
Plano de riesgo de inundación por origen fluvial.....	ANEXO II
Plano de riesgo de inundación por accidente de presa .....	ANEXO III
Plano de la mancha de agua .....	ANEXO IV
Plano del uso del suelo.....	ANEXO V
Plano de Litología .....	ANEXO VI
Imagen aclaratoria del MDE.....	ANEXO VII
Imagen aclaratoria del MDE FINAL.....	ANEXO VIII