

Análisis de la inundabilidad producida por torrentes y escorrentías en el entorno urbano de Alginet y su desagüe a La Albufera

Enrique Campos, Martín Rodríguez, Silvia Cordero, Sonsoles González, Amparo Moreno, Lorena Martínez, Vicente Bertolín, Luis Altarejos, Pablo Pérez, Elena Martínez

CHJ, Inclam, Intercontrol, CPS, Tragsatec

EnriqueVicente.Campos@chj.es, martin.rodriguez@inclam.com, silvia.cordero@inclam.com,
sonsoles.gonzalez@inclam.com, amoreno@intercontrol.es, ybertolin@intercontrol.es,
l.martinez@cpsingenieros.net, altarejos@cpsingenieros.net, pperez8@tragsa.es,
elena.martinez@inclam.com

1 Resumen

Las inundaciones en Alginet (Valencia) son un problema recurrente en el que se ha trabajado desde antaño por las distintas Administraciones competentes. Solo con un vistazo a la zona se identifican varias obras hidráulicas de defensa clásicas (encauzamiento, cortas), obras singulares para resolver problemas locales y una cierta ordenación urbana que se refleja en la planta del suelo consolidado y en la disposición y tipología de las viviendas. Sin embargo ha sido necesario un tercer análisis de diagnóstico para determinar las soluciones óptimas de mitigación del riesgo. En este análisis se detecta el origen del mismo y se cuantifica con la máxima precisión posible el problema derivado de las inundaciones con la aplicación de nuevos modelos matemáticos y empleo de cartografía LiDAR que mejoren la precisión del cálculo actualizando la caracterización territorial al considerar los nuevos desarrollos urbanos e infraestructuras. Con este análisis de la situación actual se han podido plantear soluciones en conjunto.

2 Introducción y objeto del estudio

Alginet se ubica en las estribaciones de la sierra de la Falaguera extendiéndose hasta los marjales ribereños de La Albufera de Valencia. El casco urbano se sitúa en la confluencia de 3 barrancos (El Señor, El Agua y Forca) y además recibe la aportación de las escorrentías de la sierra y de los flujos desbordados del barranco de la Belenguera. La carretera A-7 funciona como borde de 2 problemas distintos, aguas arriba el descrito, en el casco urbano, agravado por los problemas que el remanso del agua producido en la infraestructura deriva a las áreas de crecimiento urbano. Aguas abajo de la A-7, las pendientes son prácticamente nulas hasta llegar a los arrozales colindantes con el lago.



Figura 1 Ortofotografía de la zona de estudio

El término municipal se ha visto afectado en el pasado reciente por varios episodios de inundaciones, más o menos importantes, como las inundaciones de noviembre de 1987, octubre de 1991 y octubre de 2000. En concreto la población de Alginet ha sufrido una serie de inundaciones originadas por el desbordamiento de pequeños barrancos.

Las causas generales que motivan la problemática existente en el término municipal de Alginet en relación con las inundaciones son las siguientes:

- Cauces con capacidad de desagüe insuficiente.
- Escasa pendiente de los tramos finales de los barrancos.
- Efecto “presa” de las infraestructuras viarias por insuficiencia de las obras de drenaje transversal.
- Desarrollo urbanístico inadecuado en algunas zonas del municipio.

En las fotografías siguientes, realizadas durante las lluvias del 29 de septiembre de 2009, se pueden apreciar los problemas descritos anteriormente en algunos puntos destacables de Alginet. La precipitación registrada en las estaciones pluviométricas en el entorno de Alginet en esta fecha es inferior a 25 años de periodo de retorno.



Figura 2 Barranco del Señor. Calle Pintor Velázquez. Barranco de la Forca. Núcleo urbano de Alginet. Obras drenaje A-7. Confluencia Barrancos Señor y Forca.

El objetivo del estudio es la redacción del proyecto de construcción de las obras hidráulicas necesarias para mejorar los problemas de inundabilidad de Alginet.

Los objetivos parciales son la elaboración de: Estudio hidrológico, Estudio hidráulico, Estudio de aporte de sedimento a la Albufera, Análisis de riesgos, Estudio Medioambiental y Propuestas de medidas y desarrollo de las medidas correspondientes a obras hidráulicas a nivel de proyecto.

Por último los objetivos específicos del estudio que se presenta en esta comunicación son la determinación de caudales y caracterización de flujos de los barrancos que atraviesan el entorno de Alginet hasta desembocadura para identificar los problemas de inundabilidad, valorar sus riesgos y plantear medidas cuya implementación consiga reducir los daños potenciales en caso de inundación.

3 Datos

Los datos de partida son los siguientes:

- Modelos digitales del terreno, de elevaciones y del terreno con edificios. Tamaño de malla 1mx1m (datos LiDAR PNOA), 5mx5m (PNOA) y ortofotografía digital
- Cobertura de usos del suelo (Corine Land Cover, 5 niveles)
- Cobertura de precipitaciones por periodos de retorno
- Hietograma
- Modelo hidrológico HMS construido hasta el paso por la A-7
- Croquis de puentes y estructuras

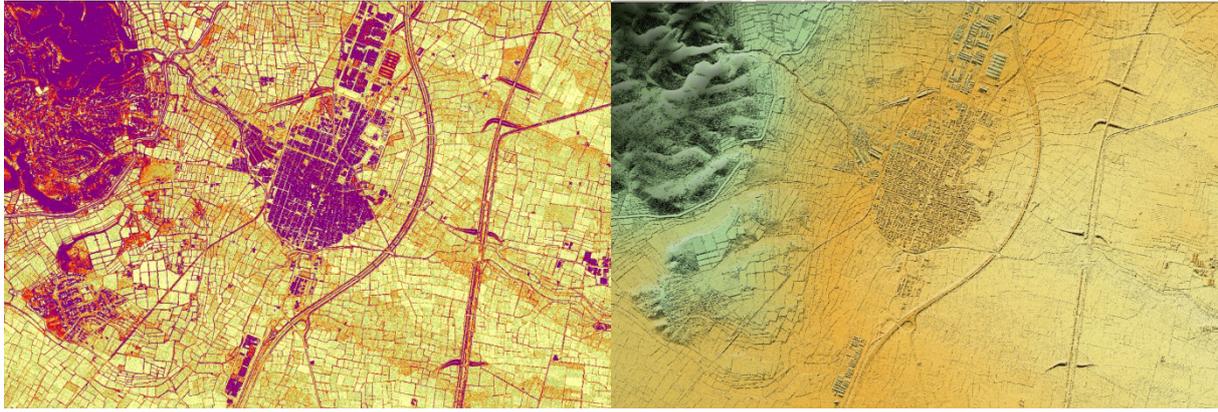


Figura 3 Ráster de pendientes y MDT con edificios

4 Procedimientos metodológicos

La caracterización de la dinámica fluvial en una zona urbana y plana es compleja. Tras un análisis del área y de los antecedentes, los condicionantes y criterios para el cálculo de la hidrología y de la hidráulica fueron los siguientes:

- Estos estudios no son el objetivo en si mismos sino identificar la peligrosidad de las riadas que sufre Alginet, identificar y valorar los riesgos, plantear medidas de mitigación y proyectar algunas de las soluciones estructurales. La especial disposición territorial del casco urbano, infraestructuras y explotaciones agrarias frente al drenaje territorial hacen necesaria una modelización conjunta para cumplir la finalidad del contrato.
- Hasta la cota por la que discurre el Canal Júcar Turia los cauces se encuentran definidos, aguas abajo de esta infraestructura y hasta a la A-7 hay tramos definidos, el entorno urbano encauzado y algunos tramos explanados para aprovechamiento agrícola. Esto dificulta el cálculo de caudales de aportación utilizando un modelo hidrológico semiagregado siendo necesario la utilización de modelos distribuidos.
- La distribución de flujos dentro del casco urbano, el análisis de escorrentías y del gran remanso provocado por las distintas obras de paso de la A-7 requerían una modelación hidráulica bidimensional.
- Aguas abajo de la A7 hasta llegar a la entrada del parque de La Albufera la zona es plana, sin cauces definidos ni apreciables en un área que supone la mitad de la cuenca. Para la definición de los caudales y simulación de los flujos de las escorrentías propias y de los que entran por las obras de drenaje de la autovía es necesario utilizar un modelo hidrológico distribuido y un modelo hidráulico bidimensional que calcule simultáneamente ambos procesos.

Con estos condicionantes contrastados con los resultados obtenidos a partir de un modelo hidrológico construido con HMS y MDT de 5m y varios modelos hidráulicos HECRAS con MDT de 1m se concluyó que para la buena consecución de objetivos, es decir, para el diagnóstico de la situación actual, era necesario aplicar un modelo distribuido para el cálculo de caudales salvo aguas arriba del canal Júcar Turia ya que hasta esta infraestructura los caudales se concentran en los barrancos permitiendo la hipótesis de modelo semidistribuido. Para el cálculo hidráulico la mejor opción era un modelo bidimensional. El programa empleado puede realizar simultáneamente el cálculo hidrológico distribuido y el hidráulico bidimensional. El programa empleado es el GUAD 2D desarrollado por la Cátedra de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Zaragoza e Inclam, S.A.

Una vez elegido el método, hay que tener en cuenta que la superficie del ámbito de trabajo es 156 km², esto es 330.169.000 celdas, por lo tanto es no posible trabajar con un único modelo siendo necesario dividir el área. Esta fragmentación se efectúa teniendo en cuenta el área, entidad de los barrancos, número de obras de drenaje y la precisión que se desea conseguir. Se construyeron varios modelos asegurando la independencia hidráulica de unos con otros y modelando las áreas de borde en los todos los modelos para evitar problemas de condición de contorno. En el entorno urbano se ha realizado un modelo específico, anidando el de detalle a otro general de mayor superficie. Es decir, hay modelos consecutivos desde aguas arriba a aguas abajo con un área de solape generosa para evitar los problemas de la condición de contorno y modelos de detalle a mayor precisión anidados en otro de ámbito mayor.

4.1 Hidrología

El módulo hidrológico calcula la escorrentía superficial por celda con el método del hidrograma unitario del S.C.S., por lo tanto es necesario disponer de una caracterización de la precipitación y una función de pérdidas del área a modelar. La primera se realiza a partir del hietograma y la segunda se define mediante el número de curva (NC) y la abstracción inicial. A partir de la escorrentía neta, el modulo hidrológico del Guad-2D calcula, en cada celda, la escorrentía acumulada.

La precipitación introducida en el modelo se calculó a partir de los ajustes de la series de datos de los pluviómetros ubicados en la cuenca y en el área de cobertura. Con el análisis de frecuencias se ha determinado el ráster de precipitación en el ámbito de estudio correspondiente a 25, 100 y 500 años. El hietograma empleado es el de bloques alternantes. Para el número de curva se realizó una reclasificación de la cobertura de usos del suelo del SIGPAC. No existe ninguna estación de aforo en la cuenca.

4.2 Hidráulica

Con el modulo hidráulico se simula la translación del aporte de flujos introducidos como condición de contorno de entrada al punto de desagüe de la cuenca conjuntamente con la escorrentía acumulada por celda determinada con el cálculo hidrológico. El modelo hidráulico, sobre una malla de cálculo no estructurada, resuelve las ecuaciones de Saint Venant por algoritmos numéricos en volúmenes finitos en cada paso de tiempo y aplicando los métodos progresivo y Godunov que aportan estabilidad al sistema.

A cada modelo hay que definirle:

- las condiciones de contorno de entrada, todas curvas $Q(t)$ y las condiciones de salida, que en su mayoría han sido curvas $Q(h)$ salvo la salida a La Albufera y al mar por las golas donde la condición de contorno introducida ha sido una cota
- las condiciones de contorno internas que en su totalidad han sido puentes.
- condición inicial en seco salvo en el área correspondiente a La Albufera y al mar donde se ha introducido un grid con el nivel inicial coincidente con una pequeña franja de agua en la zona de la Albufera y en el mar. La cota de agua considerada en la Albufera es de 49.5 m y para la franja que da al mar de 50 m, ya que se hicieron varias pruebas, con distintas cotas, para simular correctamente la salida de agua del Lago. La existencia de Golas para el control de salidas y de entradas a la Albufera ha hecho necesaria considerar cotas de mareas menores a la cota de la marea viva equinoccial sumada a la altura de ola significante que habitualmente se considera como salida al mar.

4.3 Características de los modelos

En total se han construido 3 modelos para el diagnóstico de la situación actual, 3 para la cuantificación de la inundación una vez implementadas las medidas estructurales, 1 para la delimitación del DPH y otros 2 para la ZFP. En esta comunicación solo se describen los modelos de diagnóstico de la situación actual, es decir 3 modelos que caracterizan una superficie de 156 km², 47 condiciones de entrada, 15 condiciones de salida y 130 puentes. La siguiente imagen muestra el ámbito de cada modelo.

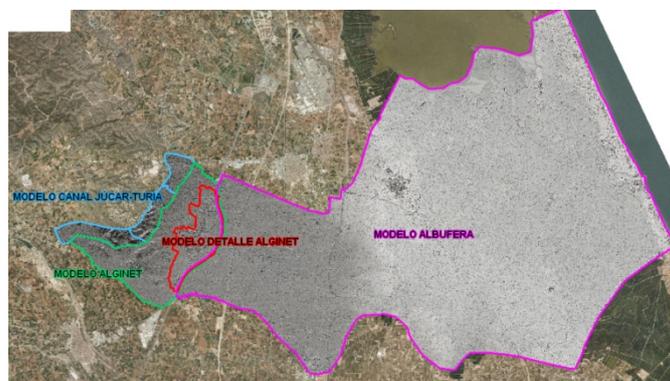


Figura 4 Modelos

La tabla resumen se muestra a continuación, donde C:E. es condición de entrada, C.S. es condición de salida y C.I. es condición inicial.

Tabla 1 Características principales de los modelos

Modelo	Tramo estudiado	Nº celdas	Nº triángulos	Área total (km2)	Lluvia	Nº C.E	Nº puentes	Nº C.S	C.I.	T simul (h)
Canal Júcar-Turia	Tramo Canal Júcar-Turia desde el barranco de Belenguera al norte hasta el barranco del Agua al suroeste	9.110.329	2.464.458	4,22	SIN	12	12	10	Inicio seco en	18
Alginet	Desde el Canal Júcar-Turia hasta la carretera A-7. Incluye el núcleo urbano de Alginet	2.020.320	640.922	12,92	CON/SIN	9	27	3	Inicio seco en	24
Detalle núcleo Alginet	Zona de detalle del núcleo de Alginet hasta la carretera A7	2.100.170	836.373	4,32	CON	21	52	3	Inicio seco en	24
Albufera	Desde la carretera A7 hasta La Albufera y el mar	2.673.845	512.556	138,40	CON/SIN	26	66	2	Grid de agua en La Albufera y mar	48

En el modelo Canal Júcar Turia los hidrogramas introducidos como condición de entrada se calcularon previamente con el modelo HEC-HMS y con los mismos datos de partida: mismos rásters de precipitación, hietograma, ráster de número de curva y método del hidrograma unitario del SCS.

5 Resultados

Se han caracterizado en extensión, calado y velocidad las avenidas correspondientes a los periodo de retorno de 25, 100 y 500 años. Las siguientes imágenes ilustran los resultados obtenidos.



Figura 5 Periodo de retorno de 100 años (calados)



Figura 6 Resultados para $t=25$, 100 y 500 años (calados)



Figura 7 Periodo de retorno de 100 años (velocidades)



Figura 8 Resultados para $t=25$, 100 y 500 años (velocidades)

Para analizar los resultados obtenidos se han seleccionado 55 puntos significativos o de control para los que se han determinado los parámetros hidráulicos de nivel de agua, velocidad y calado correspondientes a los 3 caudales simulados. La elección de estos puntos de control se ha realizado atendiendo a criterios de peligrosidad, puntos negros detectados, confluencia de barrancos u obras de paso importantes.

A continuación se analizan y describen algunas de las características destacables del funcionamiento actual, y que solo es posible determinar con la metodología empleada.

Como se puede observar en las figuras de calados y velocidades el casco urbano de Alginet se encuentra en la confluencia de los principales barrancos, luego está ubicado en una zona inundable, agravada por la falta de drenaje de las infraestructuras y falta de capacidad de los barrancos en el entorno urbano, pero además la precipitación in situ es la responsable en gran medida de los daños. El problema en el casco urbano no solo está en el calado sino también en la velocidad. Para la zona aguas abajo de la A-7, existe una vía de drenaje preferente en dirección aproximadamente oeste – este por el paleocauce del barranco de Alginet. Además se distinguen redes de drenaje independientes de ésta en la misma dirección, principalmente al norte. Aguas abajo de la autopista AP-7, ya en el Parque Natural de La Albufera, los flujos drenan a través de la compleja red de acequias dirigiéndose hacia La Albufera con velocidades muy bajas, desbordados y con comportamiento bidimensional. Se observa el efecto de las infraestructuras lineales existentes como obstáculos al flujo en mayor o menor medida.

El barranco del Agua discurre en las proximidades del núcleo urbano de Alginet por el sur, llegando al entorno del núcleo de Alginet desbordado. El polígono al sur de Alginet (denominado polígono sur) se ubica en zona de desbordamiento del barranco e incidencia de flujos. En la imagen siguiente se puede ver para periodo de retorno de 100 años el reparto de los caudales en la zona y los calados (que se puede decir se encuentran entre 0.5 m y 1 m, en general en el entorno del polígono industrial). También se puede ver la zona de la confluencia del barranco del Agua con el barranco del Señor, aguas arriba de la antigua carretera N-340. Este es un punto con desbordamientos, incluso por encima de la carretera para periodo de retorno 100 años.

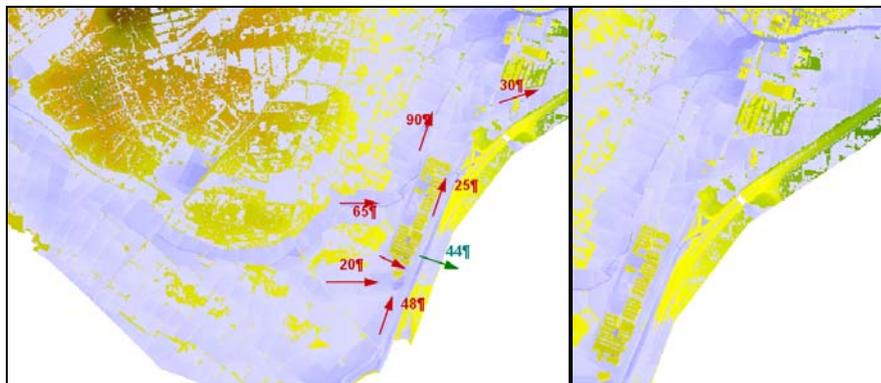


Figura 9 Barranco del Agua. Sur Alginet. Calados $T = 100$ años.

El barranco del Señor presenta desbordamientos en la zona del badén de la calle Pintor Velázquez. Además, la línea de ferrocarril Valencia – Villanueva de Castellón supone un obstáculo al flujo y tiene un drenaje insuficiente con lo que se produce un aumento de los calados en una zona de acumulación de volúmenes de escorrentía alcanzando calados superiores a los 2 m para periodo de retorno 100 años. En la figura siguiente se muestra el resultado de calados en la zona del cruce del barranco del Señor con la línea de ferrocarril.



Figura 10 Barranco del Señor. Cruce ferrocarril Valencia – Villanueva de Castellón. Calados $T = 100$ años.

El Barranco de la Belenguera, que discurre al norte del núcleo urbano de Alginet, presenta desbordamientos para periodo de retorno incluso de 25 años. Para 100 años de periodo de retorno se desbordan aproximadamente 40 m³/s hacia el sur, al polígono industrial al norte de Alginet, que se encuentra junto al barranco de la Belenguera, y dirigiéndose también, en parte al propio casco urbano. En la figura siguiente se muestra a nivel cualitativo el resultado de calados en la zona para periodo de retorno 100 años y el hidrograma en la sección señalada, correspondiente a flujos desbordados hacia el sur.

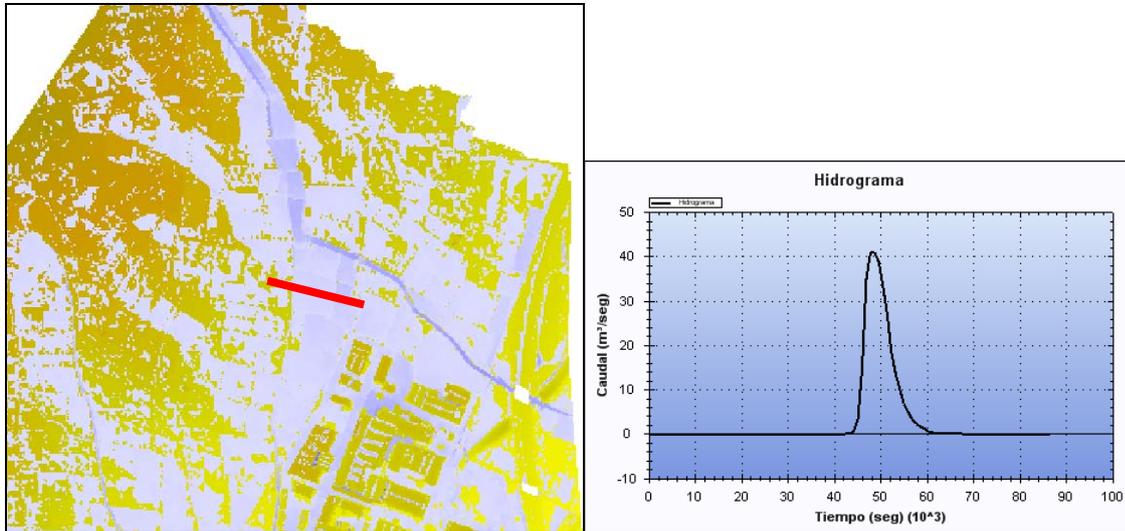


Figura 11 Barranco Belenguera. Calados e hidrograma desbordamiento $T = 100$ años.

En los barrancos Forca y Señor, se destaca también el paso bajo la A-7, que se constata es insuficiente. Entre el casco urbano de Alginet y la A-7 se produce una zona inundable con velocidades muy bajas de drenaje y elevados calados. En parte esto es debido a los desbordamientos de los barrancos Forca y Señor, a las escorrentías por la propia lluvia en la zona y las procedentes del casco urbano, incluso a los flujos desbordados procedentes del barranco de la Belenguera que se dirigen hacia el sur y se concentran en la zona más baja. Esta zona baja, que se ha señalado en la figura, se localiza al norte del paso de los barranco Forca y Señor bajo la A-7, en el camino de Trullas, por donde éste cruza la A-7, por lo que implica un punto bajo en cualquier caso con acumulaciones, cuando menos de las escorrentías de la zona, que drenan a través del paso del camino bajo la autovía.



Figura 12 Barrancos Forca y Señor y zona embalsada aguas arriba A-7. $T = 100$ años.

Así mismo se ha delimitado, siguiendo los criterios del Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, la zona donde se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes para la avenida de 100 años de periodo de retorno. Es decir, cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios: a) Que el calado sea superior a 1 m., b) Que la velocidad sea superior a 1 m/s, c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s. Como se puede apreciar en la figura hay zonas donde los problemas están derivados por la velocidad, otras por el calado y otras por ambas. Esta discriminación es importante tanto para la buena aplicación de las medidas de gestión como para las estructurales.

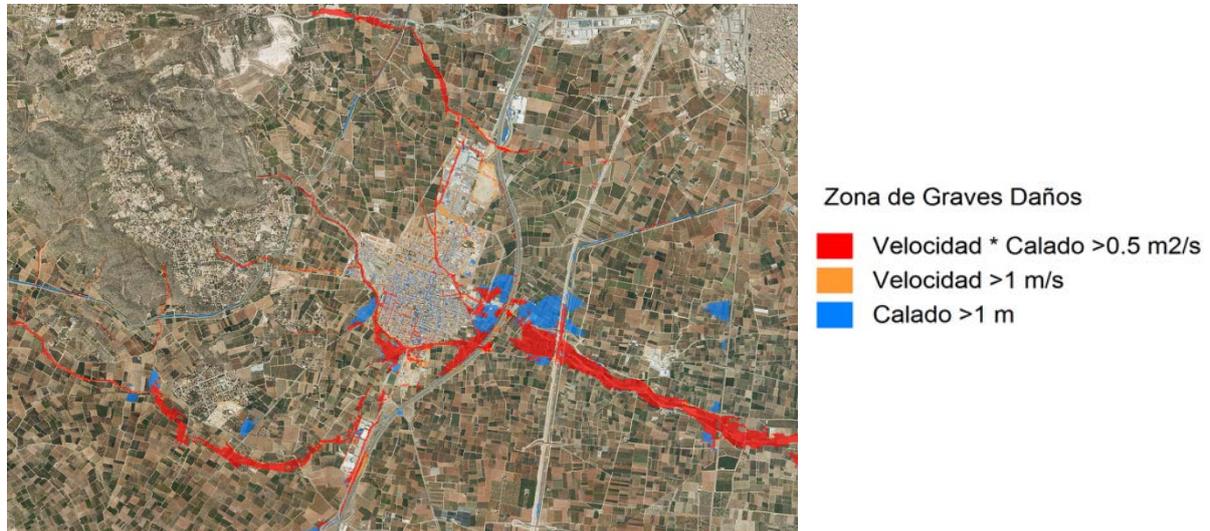


Figura 13 Graves Daños

Para poder conocer la incidencia de la lluvia en la zona de estudio, se han comparado los modelos:

- Modelo Alginet con lluvia
- Modelo Alginet sin lluvia

Ambos se han modelado con los mismos parámetros de cálculo (terreno, fricciones, puentes, condiciones de contorno, etc.). Una vez realizado los cálculos, se ha realizado una comparativa de los resultados obtenidos para la avenida de 500 años de periodo de retorno. De esta forma se ha podido cuantificar los incrementos de calados debidos a la lluvia y, por ende, localizar las zonas conflictivas del núcleo urbano debidas a la escorrentía superficial, y así plantear una solución acorde al origen del daño.

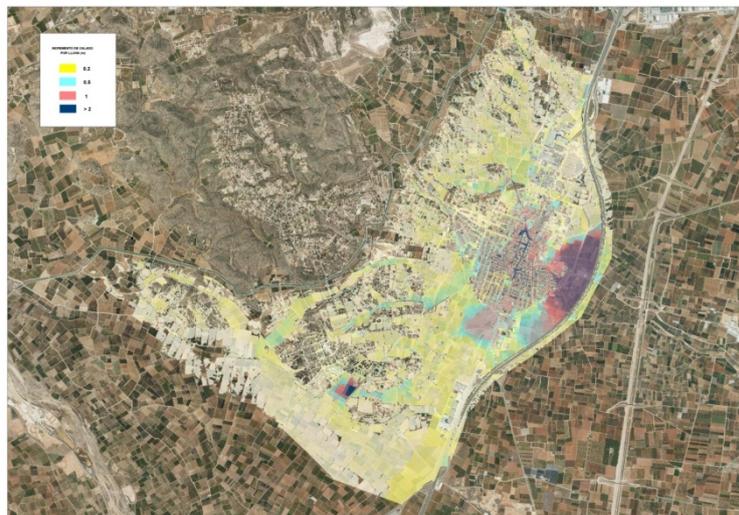


Figura 14 Diferencia de calados entre ambos modelos (T=500 años).

6 Consideraciones finales

Gracias a este cálculo se ha podido analizar los flujos que producen daños en el entorno de Alginet, identificar las zonas donde los barrancos desbordan y donde están recibiendo agua en el entorno urbano (agua de la escorrentía de la lluvia o de otros flujos desbordados), las capacidades de las obras de drenaje, analizar las velocidades e identificar las distintas ramificaciones del flujo, los hidrogramas de las distintas escorrentías, análisis de la circulación del agua por las calles de la zona urbana y valoración del grado de afección de cada uno de los elementos territoriales para la estimación de daños e identificación de qué fase del fenómeno (desbordamiento de cauces o lluvia) causa los daños.

Los tiempos de cálculo han sido elevadísimos, sin embargo la simplificación con modelos hidrológicos agregados, en los que la delimitación de cuencas fue un problema a pesar de la cartografía de precisión o la imposibilidad de calcular la laminación de caudales debida a la falta de capacidad de drenaje, no es una simplificación viable. Del mismo modo al intentar modelar los barrancos con HEC-RAS se consideraron válidas 7 colecciones distintas de secciones, todas con resultados correctos y radicalmente diferentes. La imposibilidad de elegir la válida radica en que la solución al problema, en este caso, está en un modelo bidimensional.

7 Referencias bibliográficas

DIRECTIVA 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a la EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS DE INUNDACIÓN.

REAL DECRETO 9/2008, de 11 de enero por el que se modifica el REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

REAL DECRETO 903/2010, de 9 de julio, DE EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS DE INUNDACIÓN.

VEN TE CHOW, Hidráulica de Canales abiertos, 1994

US ARMY CORPS OF ENGINEERS, HYDROLOGIC, Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual, March 2000

US ARMY CORPS OF ENGINEERS, HEC RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, November 2002

PLAN DE ACCIÓN TERRITORIAL DE CARÁCTER SECTORIAL SOBRE PREVENCIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA COMUNIDAD VALENCIANA (PATRICOVA), Generalitat Valenciana, 2002.

PROYECTO DE ACTUACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS DE INUNDACIONES EN LOS BARRANCOS MENORES AFLUENTES A LA ALBUFERA (VALENCIA). BARRANCOS DE ALGINET, Confederación Hidrográfica del Júcar, octubre 1995.

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD POR EFECTO DE AVENIDAS. ALGINET (VALENCIA), del Ayuntamiento de Alginet, junio 2000.

JUAN P. MARTÍN VIDE, Ingeniería de ríos, 2007.

ESTUDIO DE DIMENSIONAMIENTO DE ACTUACIONES ESTRUCTURALES DE DEFENSA Y ZONIFICACIÓN DE LA LLANURA DE INUNDACIÓN DEL RÍO JÚCAR. Tomo I: Estudio hidrológico e hidráulico. Clave CEDEX 42-400-1-068. Abril 2006.

JUAN ANGEL MINTEGUI, RICARDO GARCÍA-DÍAZ, JOSÉ CARLOS ROBREDO, La caracterización del movimiento del agua en laderas, como instrumento de zonificación de los usos del suelo en cuencas de montaña, 2002.