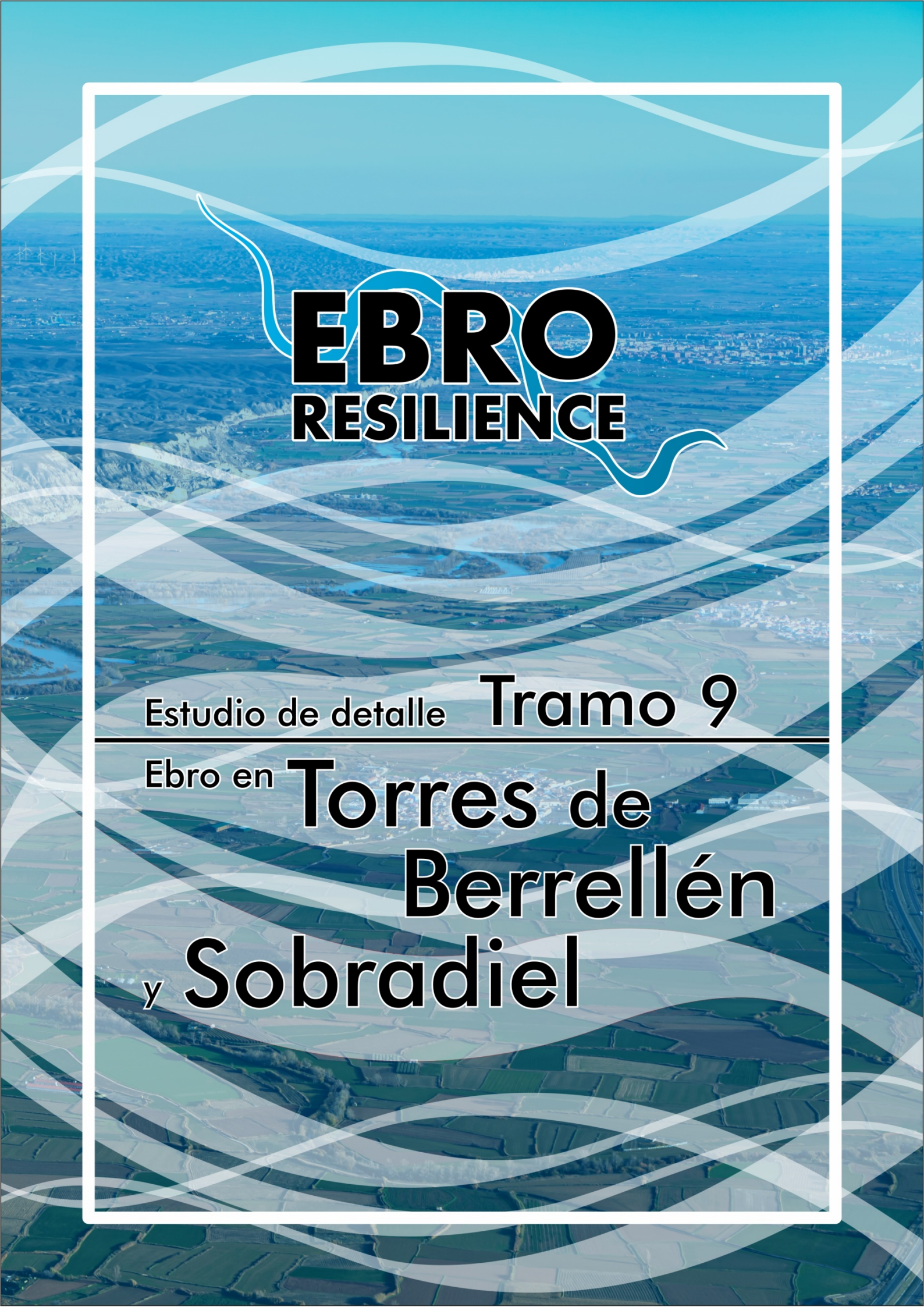




EBRO **RESILIENCE**

Estudio de detalle **Tramo 9**

Ebro en **Torres de
Berrellén
y Sobradriel**

1. ANTECEDENTES.....	3
2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	10
3. TRABAJOS REALIZADOS	11
3.1. Modelo digital del terreno (MDT)	11
3.2. Modelo hidráulico.....	13
4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.....	15
5. CONCLUSIÓN.....	18
6. ¿Y AHORA QUÉ?	18

1. ANTECEDENTES

El tramo del río Ebro entre el puente de la carretera A-126 sobre el río Ebro, en Alagón, y el inicio del término municipal de Utebo se configura como una gran llanura aluvial¹ que ha recibido gratamente los fértiles sedimentos de los ríos Ebro y Jalón.

El río Ebro en este tramo tiene tendencia a divagar hacia el norte, encajándose contra el escarpe yesífero² (figura 1), dejando en su margen derecho una sucesión de terrazas escalonadas.



Figura 1. Río Ebro dirigiéndose hacia el escarpe yesífero al comienzo del tramo estudiado (Eduardo Berian Luna).

Las localidades del ámbito se distribuyen en estas terrazas fluviales³, siendo aquellas que se sitúan en las terrazas inferiores y de conformación más reciente⁴, Torres de Berrellén y Sobradiel, las que sufren un mayor riesgo de inundación. Los núcleos urbanos de Alagón, La Joyosa, Pinseque y Casetas se ubican en terrazas superiores y, por ello, con una menor probabilidad de inundación.

En su lucha contra el escarpe, el Ebro ha provocado desprendimientos y encontrado zonas más duras que le hacen retirarse hacia la terraza, generando meandros de diverso tamaño que quedan confinados contra el escarpe, a menudo accesibles únicamente con medios acuáticos. Estos meandros, situados en margen izquierda, han sufrido modificaciones en tamaño y forma con el paso del tiempo y las sucesivas avenidas y sus variaciones han tenido el correspondiente reflejo en las formas de la orilla opuesta (figura 2).

¹ Formada por sedimentos de un río.

² Compuesto por rocas que contienen yeso.

³ Conformadas por el paso de un río.

⁴ Término expresado en tiempos geológicos y no en escala humana.

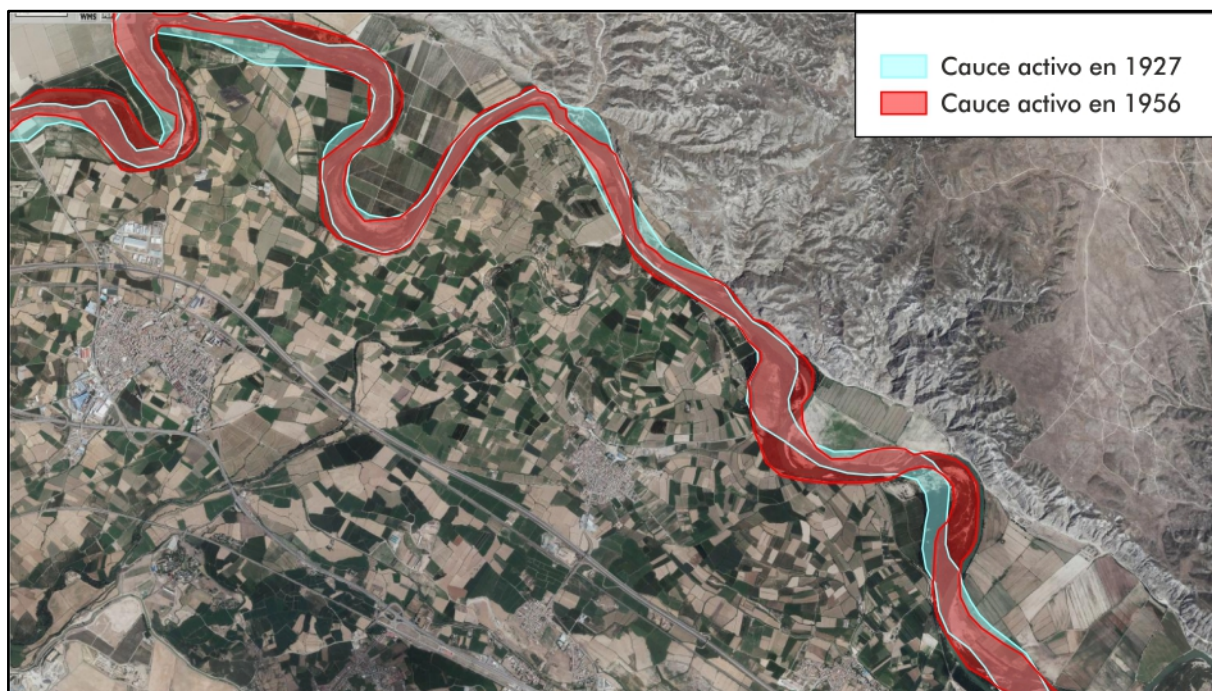


Figura 2. Evolución del cauce del río Ebro entre 1927 y la actualidad (elaboración propia).

Con el comienzo de la construcción de las obras de defensa frente a inundaciones, realizadas durante las décadas de 1960 a 1990 del siglo pasado (principalmente diques⁵ de defensa, espigones⁶ y escolleras⁷), comienza una pugna entre los propietarios de las tierras situadas en ambas márgenes del río para fijar y estabilizar sus orillas y evitar el desplazamiento del río hacia las fincas de cultivo.

El éxito de estos trabajos ha sido escaso, pues solo se ha conseguido defender las fincas ante crecidas pequeñas (inferiores a la máxima crecida ordinaria⁸) y, como peaje, ambas márgenes se han arrogado un acusado “efecto dique⁹” que impide que las aguas desbordadas retornen al cauce principal, aumentando los daños.

En avenidas importantes, el río rompe las defensas de ambas orillas. Como la margen izquierda está dominada por el escarpe, las aguas desbordan hacia las terrazas inferiores de la margen derecha. El alcance de la superficie inundada depende de los caudales circulantes por el río, de la duración temporal del episodio y del tramo de defensa en el que se produzca el fallo,

⁵ Estructura conformada con tierra, en forma de terraplén, cuya dimensión predominante es la longitudinal y que protegen del desbordamiento frontal. Localmente conocidos como motas.

⁶ Estructura que se construye en la orilla de un río o en la costa del mar, que sobresale perpendicular a la misma y cuya función es defender las orillas o modificar la corriente.

⁷ Estructura conformada por bloques de piedra de gran tamaño.

⁸ La máxima crecida ordinaria es el promedio de las avenidas máximas anuales para un periodo mínimo de diez años.

⁹ El efecto o paradoja del dique se produce cuando estas estructuras son sobrepasadas por las aguas desbordadas e impiden que las aguas retornen al cauce principal, obteniendo un resultado contrario al perseguido.

pero al tratarse de una llanura sensiblemente plana es habitual que, en cualquier caso, las aguas ocupen una gran extensión (ver figura 3).

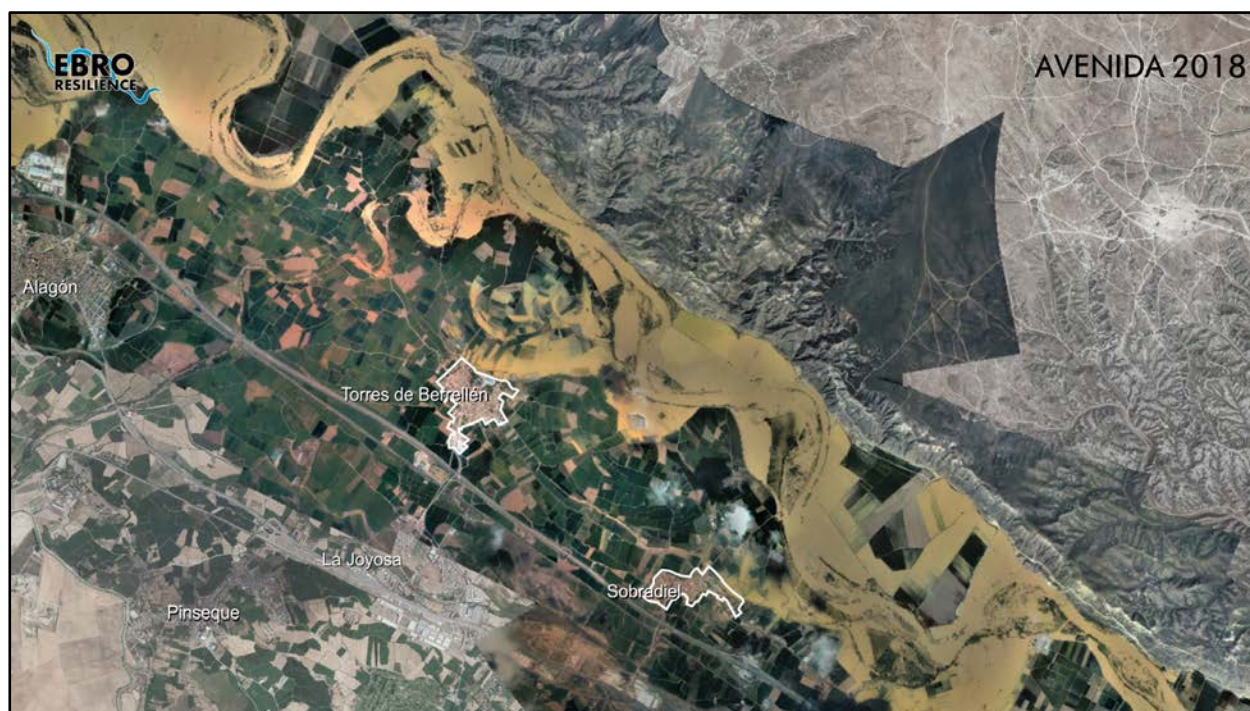


Figura 3. Fotografía aérea de la avenida de abril de 2018 en el ámbito de estudio (vuelo MAPAMA).

1.1. Alagón, La Joyosa, Pinseque y Casetas

Las localidades de Alagón, La Joyosa y Pinseque se sitúan en la margen derecha del Ebro. Como se ha comentado anteriormente se ubican sobre terrazas fluviales más antiguas, a una cota¹⁰ que impide que las aguas desbordadas alcancen estos núcleos urbanos (figura 4) incluso para avenidas de periodo de retorno¹¹ elevado (por encima de 500 años, según los estudios del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables).

¹⁰Altura sobre el nivel del mar en Alicante.

¹¹Promedio del tiempo que tarda en producirse una avenida de caudal similar

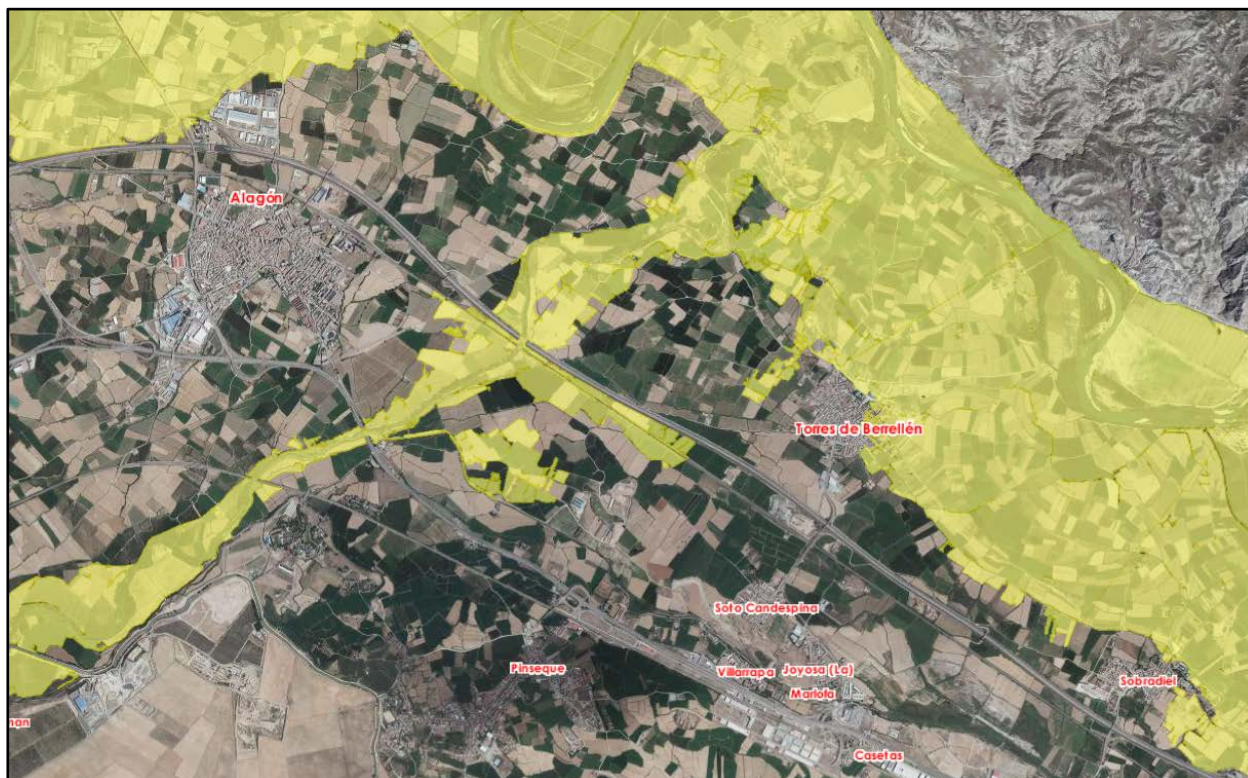


Figura 4. Inundación para una avenida de periodo de retorno de 500 años. Incluye la inundación procedente del río Jalón (segundo ciclo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables).

1.2. Torres de Berrellén

La población de Torres de Berrellén se sitúa sobre un cambio de terraza aluvial, de manera que la mayor parte del pueblo se asienta sobre la terraza superior y la zona noreste se ubica sobre la terraza inferior, descendiendo paulatinamente desde la cota 215 m.s.n.m.¹² a la 211 m.s.n.m. aproximadamente. En avenidas importantes, la zona baja de la localidad es susceptible de ser alcanzada por las aguas desbordadas.

Además, la configuración topográfica del terreno refleja que un antiguo meandro del río circuló próximo a la zona baja del núcleo urbano. Por ello, las aguas desbordadas confluyen en esta zona, al ser la más baja de la terraza, con independencia de que el desbordamiento se produzca aguas arriba o abajo de la población.

¹² Metros sobre el nivel del mar en Alicante.



Figura 5. Torres de Berrellén durante la avenida de abril de 2018 (Vuelo MAPAMA).

Tras las importantes avenidas de 2015 y 2018, se acometieron trabajos de protección del núcleo urbano, mediante el recrecimiento y nivelación de dos caminos que conforman el perímetro de seguridad del núcleo urbano (figura 6).

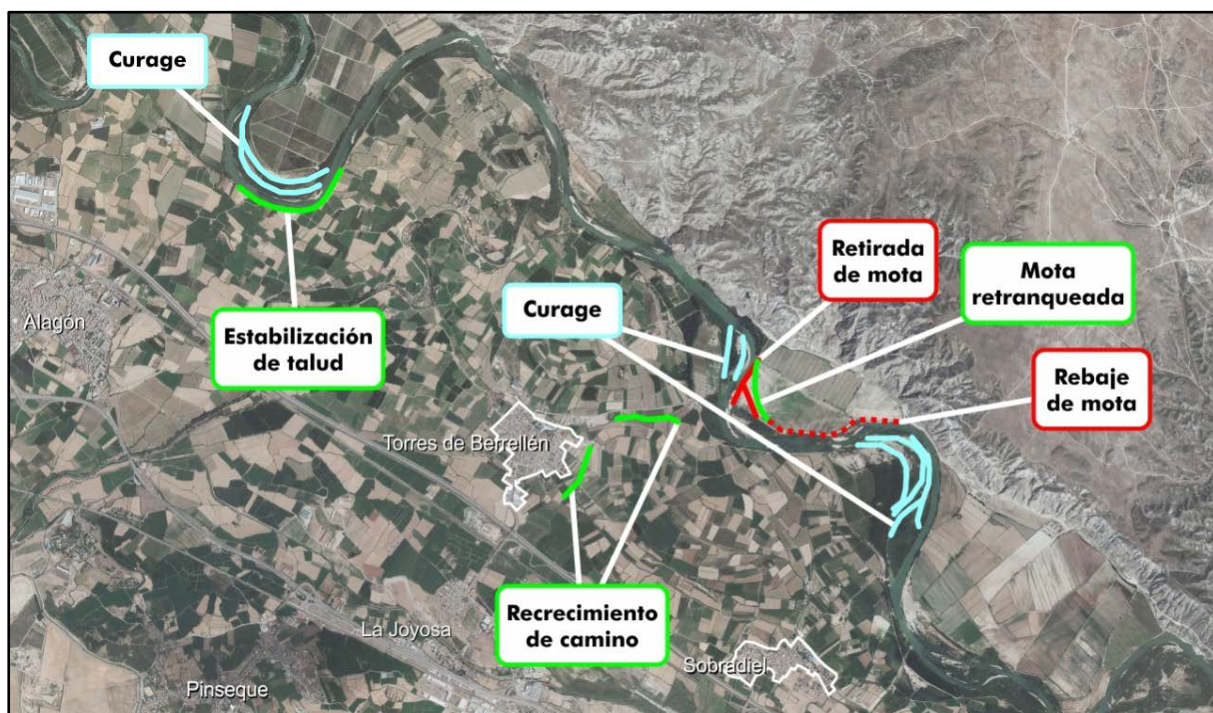


Figura 6. Actuaciones realizadas tras las avenidas de 2015 y 2018 en el entorno de Torres de Berrellén (Confederación Hidrográfica del Ebro).

En la finca de Ebroso, que ocupa el meandro de la margen opuesta a la población se realizaron diversos retranqueos y rebajes en las defensas existentes. También se han acometido trabajos de permeabilización (curage) de varios sotos situados en la orilla derecha e izquierda del río. Finalmente, se suavizó y estabilizó el talud de la zona de Pleidora (figura 6).

Actualmente y a pesar de las intervenciones realizadas, la población de Torres de Berrellén es vulnerable para avenidas de un periodo de retorno de 25 años, de acuerdo a los estudios hidráulicos realizados.

1.3. Sobradriel

La situación de Sobradriel es similar a la de Torres. La zona urbana linda con una terraza más baja que tiende a acumular las aguas desbordadas. En este caso, la localidad está protegida de desbordamientos provenientes desde aguas arriba por un camino con una acequia adosada que se encuentran elevados por encima del terreno.



Figura 7. Sobradriel durante la avenida de abril de 2018 (Vuelo MAPAMA).

Tras la avenidas de 2015 y 2018 se mejoró la fluencia general del tramo mediante la realización de varios retranqueos y rebajes en las defensas del meandro de Soto Candespina, ubicado en la margen opuesta a la localidad. También se han permeabilizado (técnica del curage) sendos sotos en la ribera izquierda y derecha. Finalmente, en 2019 se realizó el recrecimiento del camino perimetral al escorredero, con el fin de evitar que, en caso de crecida, las aguas que remonten por el mismo puedan desbordar hacia la localidad (figura 8).

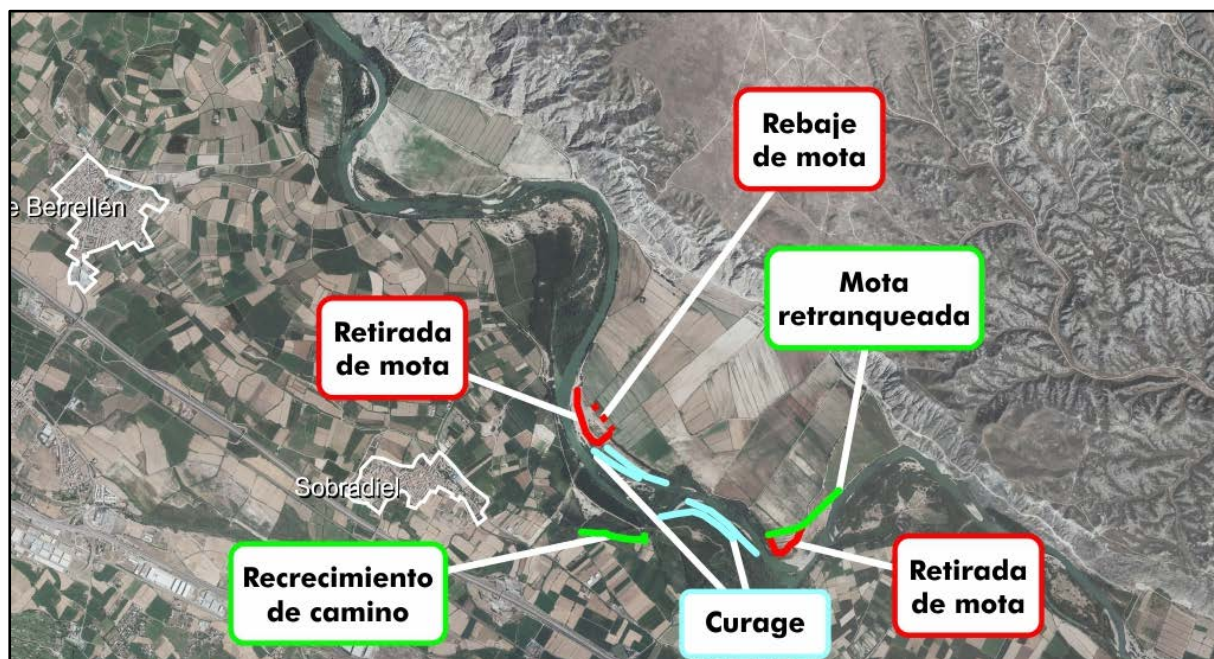


Figura 8. Actuaciones realizadas tras las avenidas de 2015 y 2018 en el entorno de Sobradriel (Confederación Hidrográfica del Ebro).

En estos momentos la localidad de Sobradriel es vulnerable para avenidas de un periodo de retorno de 25 años, de acuerdo a los estudios hidráulicos realizados.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

En el ámbito de la Estrategia Ebro Resilience, se están estudiando un total de 260 kilómetros de longitud del río Ebro, divididos en 15 tramos.

El tramo 9 se centra en las localidades de Torres de Berrellén y Sobradriel, al estar las zonas urbanas de Alagón, La Joyosa, Pinseque y Casetas fuera de la zona inundable. El tramo estudiado abarca desde aguas arriba del puente de la carretera A-126 sobre el río Ebro, en Alagón, y el inicio del término municipal de Utebo, con una longitud aproximada de 25 km.

De acuerdo con los planteamientos de la Estrategia Ebro Resilience, los objetivos específicos del estudio realizado han sido:

- Evaluar el nivel de protección de las zonas urbanas de Torres de Berrellén y Sobradriel para avenidas de periodo de retorno de 25 años.
- Proponer actuaciones para evitar su inundación, en el caso de que se produzcan.
- Reducir el riesgo de inundación en zonas no urbanas, disminuyendo la velocidad de circulación de las aguas y/o la altura que alcanzan las inundaciones sobre los campos.

3. TRABAJOS REALIZADOS

Para la elaboración del estudio se han realizado una serie de trabajos técnicos con las últimas tecnologías disponibles que han permitido evaluar la situación actual del tramo respecto a los objetivos planteados. Una vez evaluada la situación actual se han estudiado distintas alternativas de actuación, de forma individual y combinada, seleccionando aquellas que han producido los efectos deseados y descartando las menos favorables o contraproducentes.

3.1. Modelo digital del terreno (MDT)

Para comenzar el estudio, se realiza un modelo digital del terreno¹³ (denominado MDT) que reproduzca la situación actual. Es importante que este MDT reproduzca fielmente los condicionantes del tramo de río en análisis, para ello se han realizado los trabajos enumerados a continuación.

Primeramente se reproduce a gran escala el terreno, utilizando topografía LIDAR¹⁴ que consiste en la realización de un escáner del terreno mediante el uso de medios aéreos (normalmente para grandes superficies se utiliza una avioneta, pero es común el uso de drones).

Seguidamente se obtiene la topografía de los elementos más importantes para el estudio como son: la coronación de los diques, muros, espigones, puentes, drenajes, cauces de alivio, perímetros de seguridad, etc. Este trabajo ha sido realizado mediante métodos clásicos de topografía, aumentando la precisión de los datos en estos elementos clave.

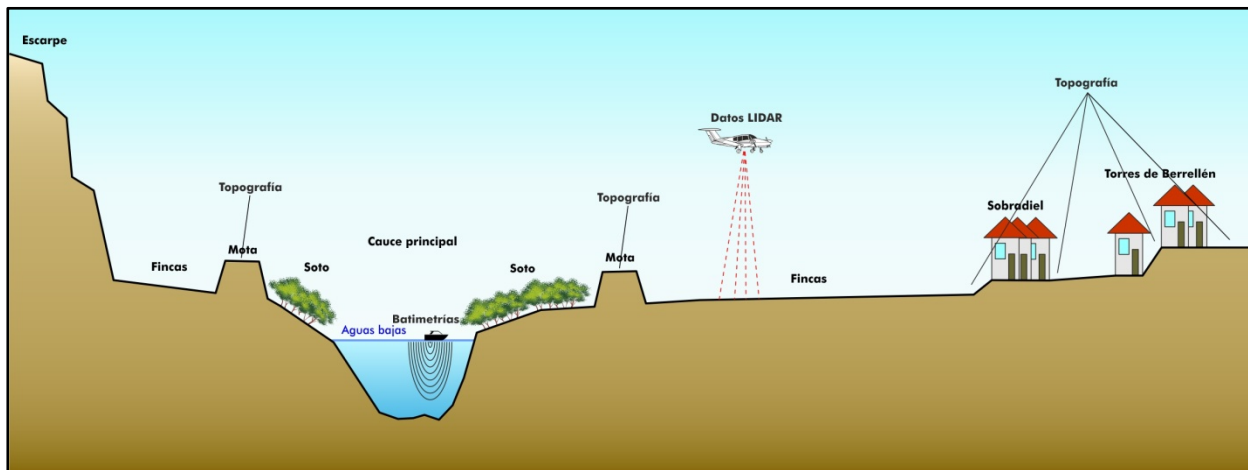


Figura 9. Esquema de la toma de datos realizada (elaboración propia).

Los métodos anteriores tienen el inconveniente de que no son capaces de obtener datos del terreno que se encuentra debajo del agua. Este ha sido el principal inconveniente que se han encontrado estudios de inundación realizados con anterioridad. Actualmente existe tecnología

¹³El equivalente a una maqueta del terreno pero en un entorno digital.

¹⁴Acrónimo del inglés Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging.

que permite obtener la topografía del lecho del río de manera continua. Como novedad para estos estudios realizados en el marco de la Estrategia Ebro Resilience, se han utilizado medios acuáticos dotados de un sonar¹⁵ para la toma de datos batimétricos¹⁶ del lecho del cauce, incorporando estos datos al estudio.

Los datos obtenidos se combinan para la elaboración del modelo digital del terreno.

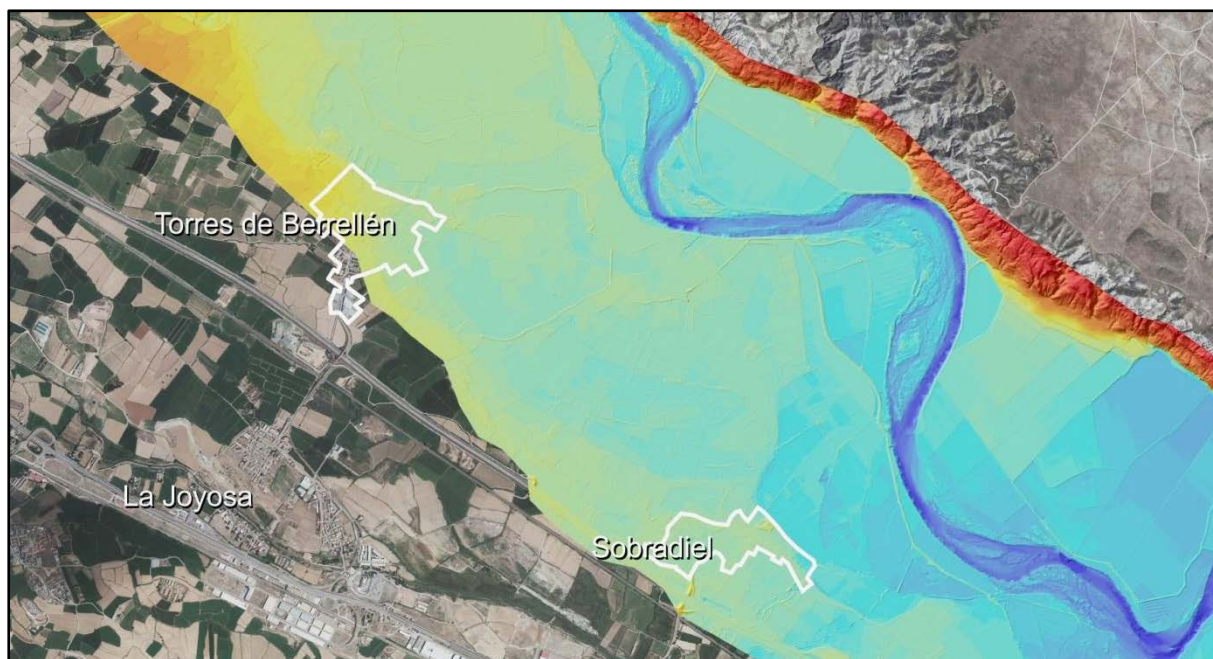


Figura 10. Fragmento del modelo digital del terreno. Colores rojizos indican las zonas más elevadas y los tonos azules las zonas más profundas (elaboración propia).

El análisis del MDT ha corroborado que, en el caso de las dos poblaciones, existen terrenos a cota más baja contiguos a sus cascos urbanos. Por ello, las aguas desbordadas confluyen hacia estas zonas, al ser las más profundas de la terraza, con independencia de que el desbordamiento se produzca aguas arriba o abajo de la población.

Esta circunstancia dificulta la gestión de la inundación en el tramo. Los diques de defensa frente a inundaciones son estructuras fungibles por definición. Al estar conformados por materiales térreos, cuando son sobrepasados por las aguas, estas erosionan su trasdós¹⁷ (figura 11). La erosión evoluciona hacia la parte interior del dique y suele originar el colapso de la estructura.

Adicionalmente a lo anterior, los diques, de forma general, son estructuras construidas en varias fases, con los materiales disponibles en el entorno en el momento de la construcción

¹⁵ Elemento que obtiene la profundidad del fondo del mar o un río mediante la emisión de sonidos y la medición de su reflexión.

¹⁶ Topografía realizada debajo del agua.

¹⁷ Talud no expuesto a las aguas.

(sedimentos del propio río, vaciados y desmontes próximos, escombros, etc.), sin cimentar, apoyadas sobre materiales filtrantes y sin un control adecuado en la calidad de su ejecución. Asimismo, se ubican en un entorno natural, donde existen animales que anidan en su interior y plantas que enraízan en sus taludes.

En consecuencia, una mota o dique puede fallar durante una crecida sin necesidad de llegar a ser sobrepasada por las aguas.



Figura 11. Dique de defensa siendo desbordado y erosionado en su trasdós (Confederación Hidrográfica del Ebro).

De cara al análisis de los modelos hidráulicos hay que considerar que existe un frente lineal de 8 km de diques, cuyo desbordamiento o colapso va a dirigir las aguas hacia alguno de los dos núcleos urbanos.

3.2. Modelo hidráulico

El siguiente paso del estudio es el análisis de los episodios de inundación. Para realizar este trabajo se utilizan modelos hidráulicos, que consisten en una herramienta informática que aplica sobre el MDT un caudal determinado y reproduce los efectos de la inundación¹⁸.

Estas herramientas informáticas necesitan de un proceso denominado calibración para ajustar los resultados obtenidos a las características del tramo en estudio. En este caso, se han

¹⁸El equivalente a verter agua en la maqueta.

utilizando las fotos aéreas de la avenida de abril de 2018 y de diciembre de 2019, consiguiendo una buena calibración.

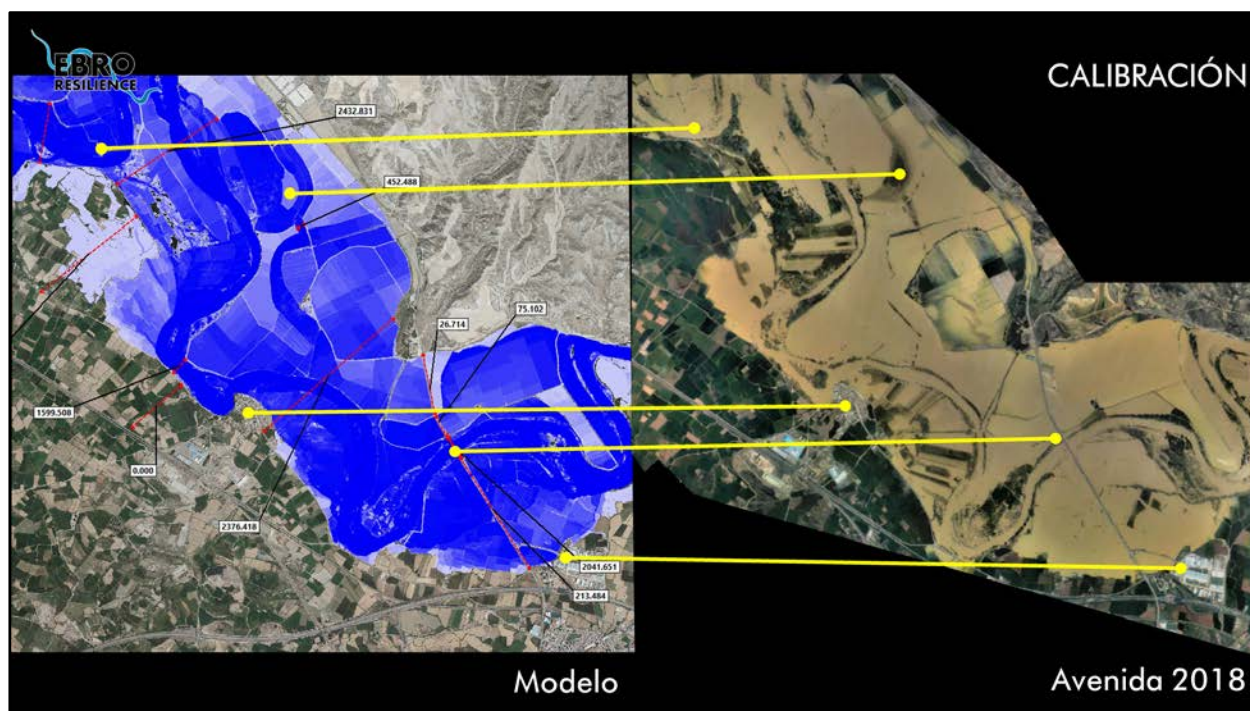


Figura 12. Ejemplo de calibración de un modelo hidráulico con la avenida de 2018 (elaboración propia).

Una vez configurado y calibrado el modelo hidráulico se reproduce la avenida objetivo, en este caso la correspondiente a un periodo de retorno de 25 años, que en este tramo equivale a un caudal de $2.600 \text{ m}^3/\text{s}$, y se analizan los efectos producidos.

Respecto a los problemas que puedan originar los posibles desbordamientos hay que tener en cuenta que el modelo hidráulico considera el terreno rígido, es decir, las motas no colapsan en ningún momento aunque sean desbordadas. Para compensar esta circunstancia, la punta de la avenida en la simulación se prolongará en el tiempo, consiguiendo efectos análogos a los producidos en un suceso real.

4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

En el análisis de la simulación de la avenida objetivo ($2.600 \text{ m}^3/\text{s}$ en este tramo) se detecta un primer desbordamiento aguas abajo del puente de la carretera A-126 por margen derecha, que queda contenido en la zona de Pleidora al ser una terraza elevada 7 metros por encima de la zona inundada.

Seguidamente hay un segundo desbordamiento por margen derecha que queda contenido por las acequias elevadas que discurren a la derecha del río Jalón. La garantía de esta contención queda supeditada a la resistencia estructural de las acequias.

Aguas abajo de la desembocadura del Jalón, en la defensa frontal a la población de Torres de Berrellén se producen tres desbordamientos que terminan alcanzando a la población. El primero, temporalmente hablando, se origina en la zona de El Plano, situada aguas abajo (flechas azul marino en la figura 13). Las aguas desbordadas se dirigen hacia aguas arriba, en dirección oeste, y terminan alcanzando la zona urbana de Torres de Berrellén. El segundo punto de desbordamiento es la mota frontal a la localidad (flechas amarillas en la figura 13). En este caso el relieve es menos propicio y la inundación llega más lentamente a la zona urbana. Finalmente, las acequias del Jalón son rebasadas y el desbordamiento producido aguas arriba se suma al frontal y alcanza la población por su lado norte (flechas rojas en la figura 13).

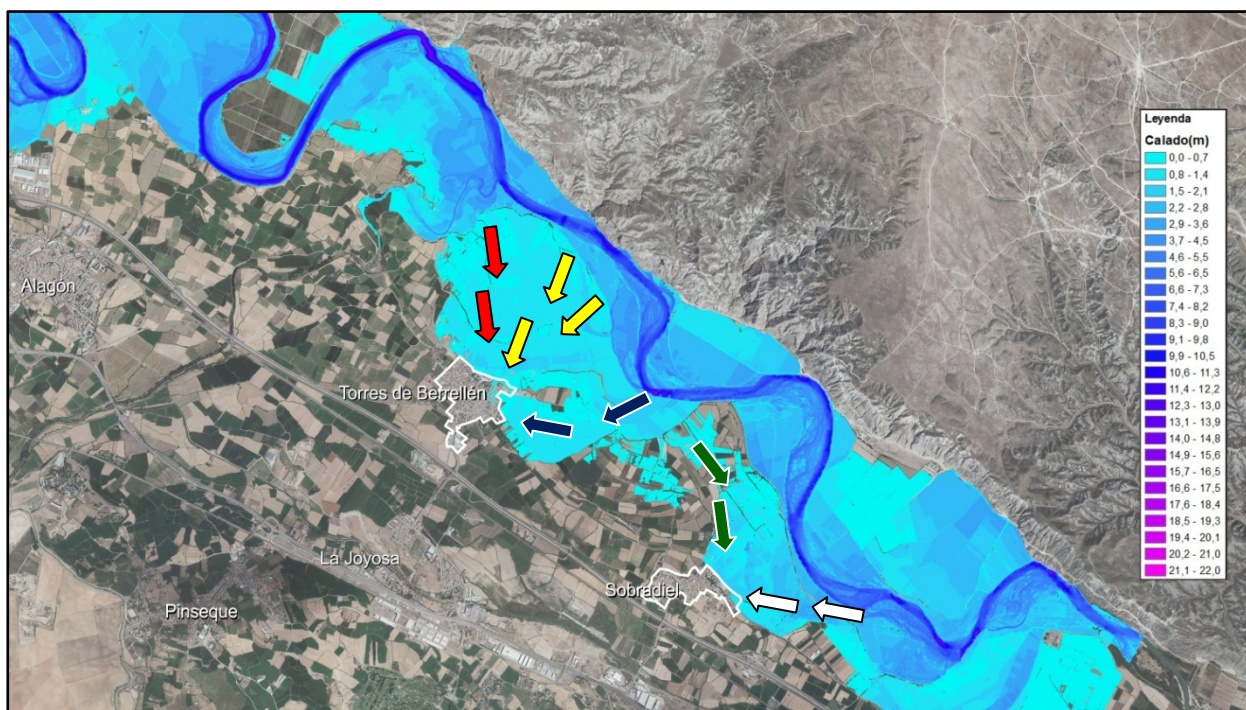


Figura 13. Resultados del modelo hidráulico para la avenida de estudio (elaboración propia).

En el caso de Sobradriel, se produce un primer desbordamiento aguas abajo de la localidad, en la zona de desembocadura del escorredero. Las aguas se dirigen en sentido oeste, a través

de las terrazas más profundas, hasta la localidad, rodeándola por su lado noreste (flechas blancas en la figura 13). En la zona norte, el desbordamiento que se produce inicialmente (flechas azul marino en la figura 13) queda contenido en su camino a Sobradiel por el camino y la acequia próximos a la ermita de San Antonio. No obstante, para caudales del entorno de los $2.600 \text{ m}^3/\text{s}$, en el límite de la avenida objetivo, se produce el desbordamiento de ambos y las aguas terminan llegando a la población (flechas verdes en la figura 13).

Una vez constatadas con los datos obtenidos las problemáticas determinadas de antemano, se procede a la simulación de varias alternativas con distintas actuaciones. Para cada alternativa estudiada se procede a la modificación del MDT, incorporando las hipotéticas actuaciones a acometer, y se vuelve a reproducir la avenida objetivo sobre ese terreno modificado, comparando los resultados obtenidos con los anteriores y evaluando si se consigue la mejora esperada. Si no es así, esa propuesta se desestima. Las actuaciones que sí se muestran favorables a los objetivos perseguidos se simulan también de forma combinada, para comprobar si su efecto integrado es más favorable, neutro o las propuestas se anulan entre sí.

En este tramo se han planteado alternativas dirigidas a reducir los puntos de desbordamiento o la cantidad de agua desbordada. Primeramente se han estudiado actuaciones encaminadas a eliminar los estrechamientos que producen las defensas situadas en la orilla derecha. Después se ha estudiado la eliminación total de las defensas que protegen los meandros cultivados pegados al escarpe, en la orilla izquierda.

Ninguna de estas alternativas consigue evitar que las aguas alcancen la población de Torres de Berrellén. Por ello se plantea una alternativa adicional que consiste en completar el actual perímetro de seguridad rodeando la población por sus frentes norte y este.

En el caso de Sobradiel, el desbordamiento que termina alcanzando la zona urbana se puede evitar para los caudales objetivo mediante el retranqueo de la mota situada aguas abajo del desbordamiento, en el paraje de El Carrizal, y que sobre-eleva la altura de la lámina de agua, provocando el rebosamiento de la defensa. No obstante, la seguridad de la población estaría supeditada a la integridad estructural de las defensas, las cuales están situadas a gran distancia de la zona urbana, lo que dificulta su inspección durante los episodios de crecida y puede ocasionar problemas de seguridad de los operarios que realicen estas inspecciones, al no tener garantizado un camino de retorno. Por ello, se ha considerado también la construcción de un perímetro de seguridad que delimite la población por su zona norte y este.

Finalmente, la alternativa que se ha mostrado como más eficiente en las simulaciones es una combinación de intervenciones de la siguiente manera (figura 14):

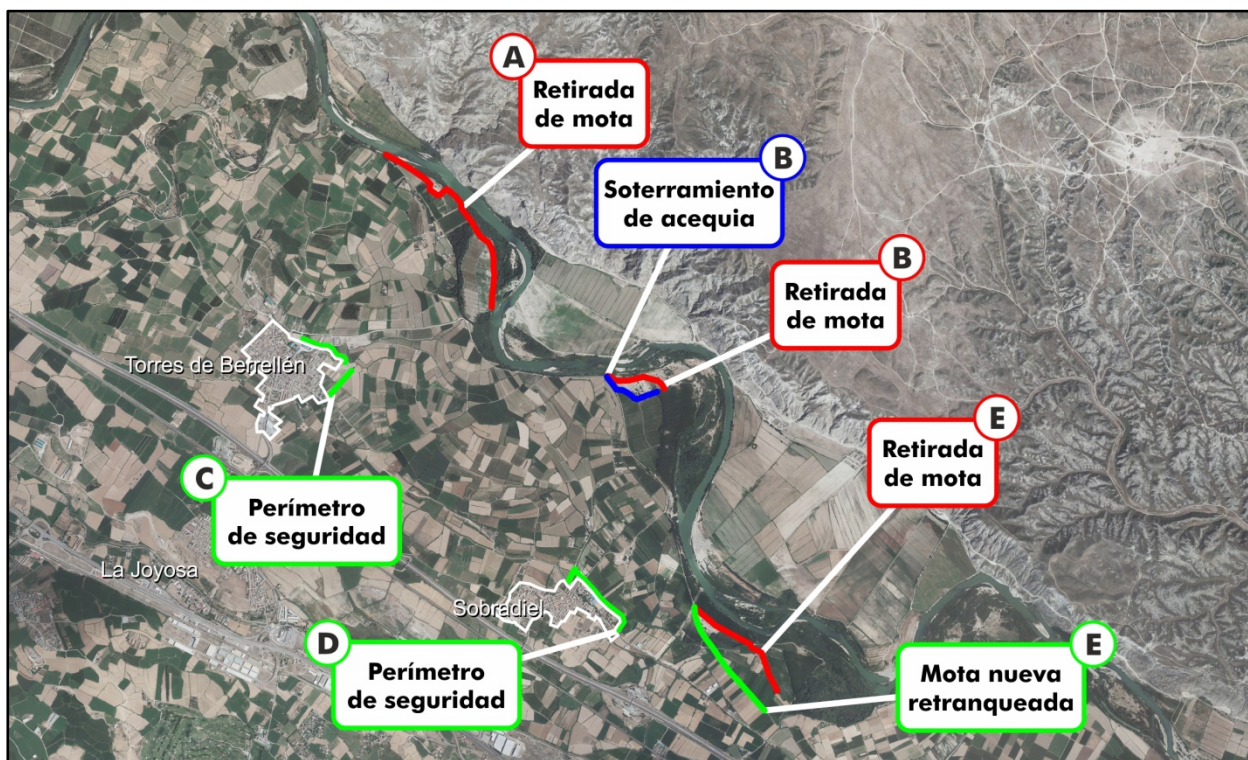


Figura 14. Alternativa seleccionada (elaboración propia).

- A. Eliminación del estrechamiento que se produce frente a la localidad de Torres de Berrellén mediante la retirada de la mota de defensa de la chopera.
- B. Eliminación del estrechamiento que produce la mota de defensa y la acequia de riego de la chopera de la mejana del Tambor. Se propone la retirada de la mota y el soterramiento de la acequia.
- C. Ampliación del actual perímetro de seguridad de Torres de Berrellén rodeando la población por sus frentes norte y este.
- D. Construcción de un perímetro de seguridad para la zona urbana de Sobradriel por su lado noreste.
- E. Eliminación del estrechamiento que deriva las aguas hacia Sobradriel mediante la retirada de la mota de defensa de la zona de El Carrizal y su construcción retranqueada al borde la terraza superior.

5. CONCLUSIÓN

Con la alternativa seleccionada como más eficiente se conseguiría evitar la inundación de los núcleos urbanos de Torres de Berrellén y Sobradriel para avenidas con un periodo de retorno de 25 años, alcanzando los objetivos planteados en la Estrategia Ebro Resilience.

Adicionalmente a lo anterior, con la mejora en la fluencia de las aguas que se lograría, para la avenida de 10 años de periodo de retorno 96 ha de parcelas agrícolas que ahora se inundan se dejarían de inundar (un 14% de las fincas del tramo) y la altura de las aguas sobre los campos disminuiría en un 81% de las fincas del tramo en estudio. De esta manera un 95% de las parcelas agrícolas en estudio verían mejoradas sus condiciones de inundación.

El estudio tiene nivel de anteproyecto, estando determinado para seleccionar las alternativas más adecuadas y permitir realizar la evaluación ambiental de las soluciones propuestas. La definición de las dimensiones exactas de las actuaciones a ejecutar y sus detalles debe realizarse en el correspondiente proyecto constructivo.

La ejecución de estas actuaciones deberá llevar asociado un seguimiento de su evolución que permita comprobar que los objetivos perseguidos se consiguen.

6. ¿Y AHORA QUÉ?

Una vez concluido el estudio de detalle del tramo se realizarán encuentros participativos abiertos al público para conocer la opinión de la población.

Seguidamente se realizarán los correspondientes ajustes a la propuesta, si fuese necesario, y comenzará la tramitación ambiental de las intervenciones.

Finalmente, se redactarán los proyectos constructivos y cada Administración pondrá en marcha, en el ámbito de sus competencias, las actuaciones para una mejor gestión del riesgo de inundación del tramo que corresponda.