

7 ESTUDIO HIDRÁULICO

Tal como se ha comentado, los objetivos de estos estudios consisten en la delimitación del Dominio Público y las zonas de protección de los cauces públicos (Zona de Servidumbre, Zona de Policía y Zona de Flujo Preferente), así como la llanura de inundabilidad para un periodo de retorno de 500 años.

Por lo tanto, se han estudiado los periodos de retorno asociados a la Máxima Crecida Ordinaria (MCO), de donde se obtienen el DPH, la Zona de Servidumbre y la de Policía, 100, de donde se obtiene la ZFP y 500 años, siendo éste el más desfavorable y que sirve como condición limitante para la colocación de placas solares, de modo que no sean éstas un impedimento al flujo, tal como se verá en el siguiente capítulo.

7.1. Descripción del estudio

Para los estudios hidráulicos se ha utilizado el software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), del US Army Corps of Engineers. Se han implementado 3 modelos de cálculo bidimensionales, uno por cada uno de los periodos de retorno estudiados (5, 100 y 500 años).

En estos modelos se ha seguido un proceso similar, el cual se describe a continuación:

1. Modelización del terreno
2. Modelización de la rugosidad (coeficientes de Manning)
3. Generación de la geometría o malla de cálculo
 - a. Generación de la malla general
 - b. Discretización de la malla mediante líneas de rotura en zonas concretas (cauces, gavias, etc)
 - c. Modelización de las entradas y salidas del modelo
4. Introducción de las condiciones de las entradas y salidas del modelo
 - a. Introducción de los hidrogramas como condiciones de entrada del modelo
 - b. Condiciones de salida modelizadas como calado normal, mediante la pendiente característica a la salida del modelo
5. Introducción de los parámetros de simulación
 - a. Tiempo de simulación
 - b. Periodos de resultados
 - c. Pasos de cálculo mediante la condición de Courant
 - d. Condiciones de parada del modelo con tolerancias y número máximo de iteraciones

7.2. Contornos de simulación

Los contornos de las simulaciones realizadas se han delimitado teniendo en cuenta una distancia prudencial con respecto a la zona de interés, de modo que la simulación pueda estabilizarse.

A continuación, se adjuntan tres imágenes (Ilustración 7.1 a Ilustración 7.3) en las que se pueden ver los contornos de simulación asociados a cada una de las alternativas.

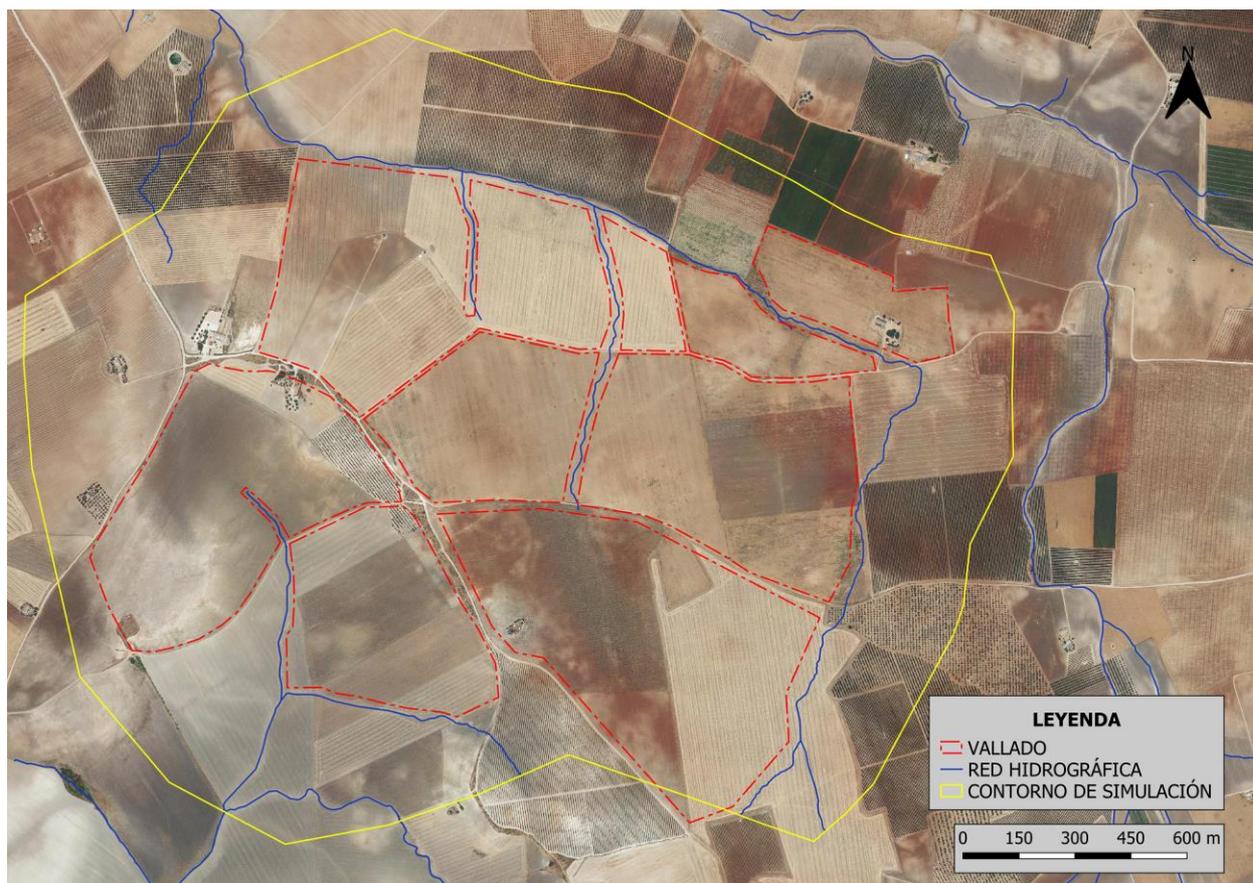


Ilustración 7.1. Contorno de simulación de la alternativa 1

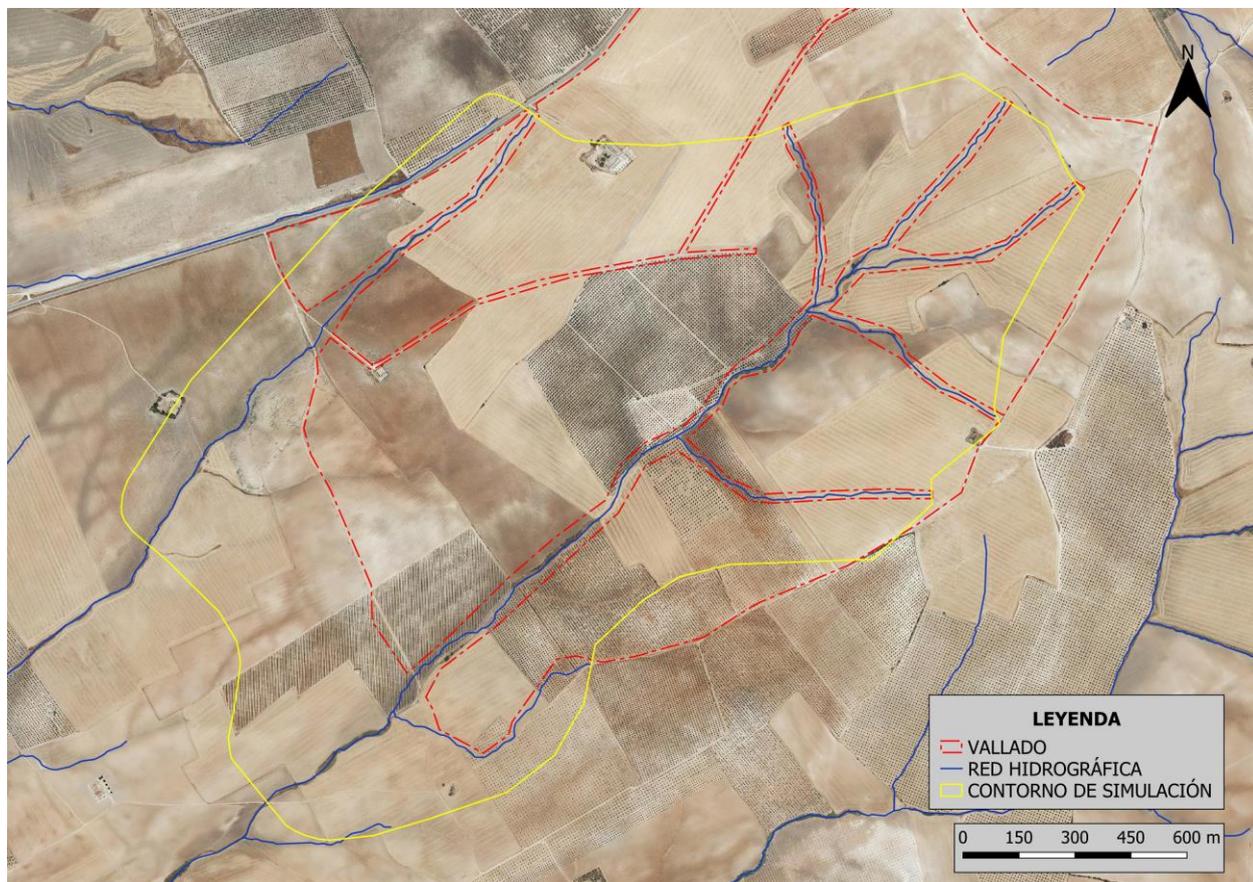


Ilustración 7.2. Contorno de simulación de la alternativa 2

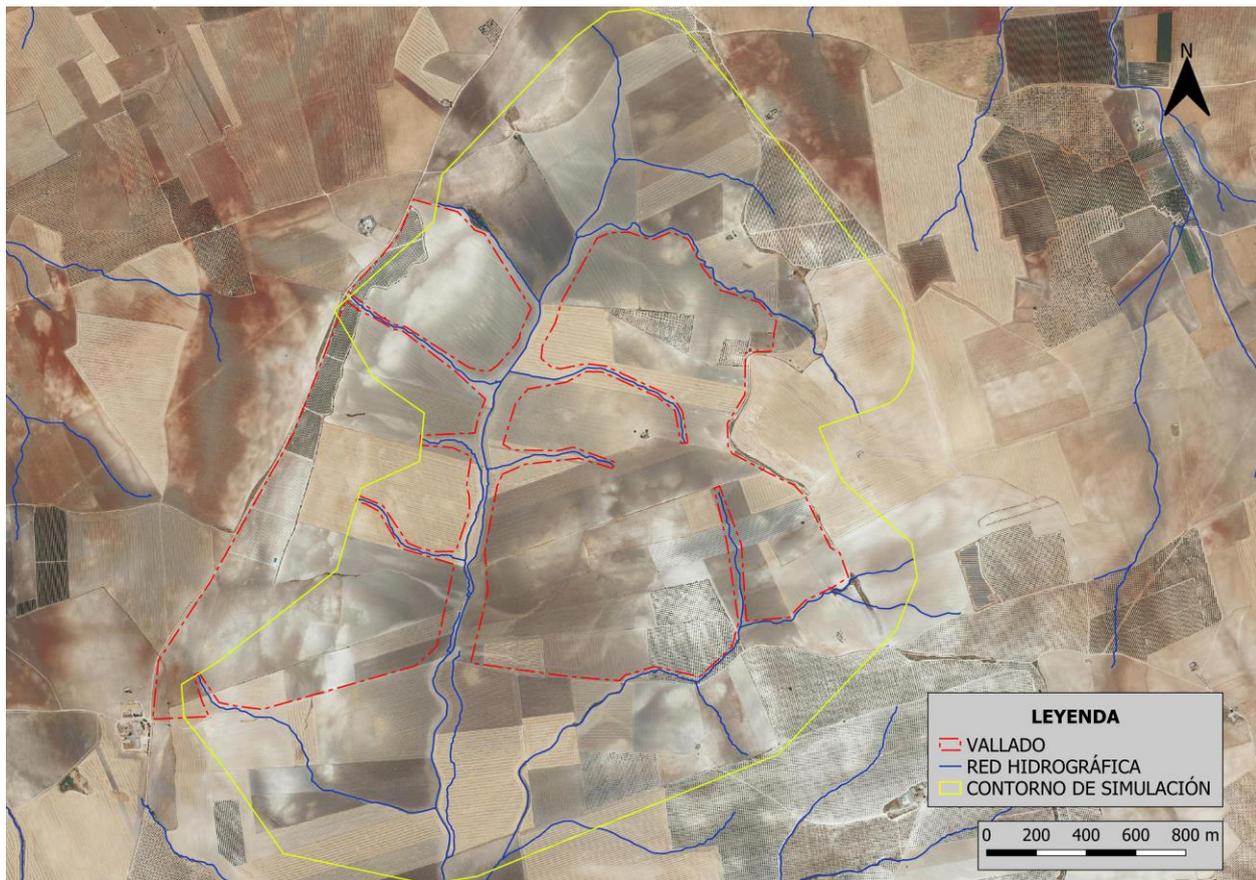


Ilustración 7.3. Contorno de simulación de la alternativa 3

7.3. Cartografía

Para el estudio hidráulico se ha utilizado el LIDAR de 1ª Cobertura disponible en el Centro de Descarga del Centro Nacional de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional del Ministerio de Fomento del Gobierno de España, con un paso de malla de 0.5 x 0.5 metros. Se adjunta una imagen (Ilustración 7.4) del LIDAR utilizado para la zona de estudio.

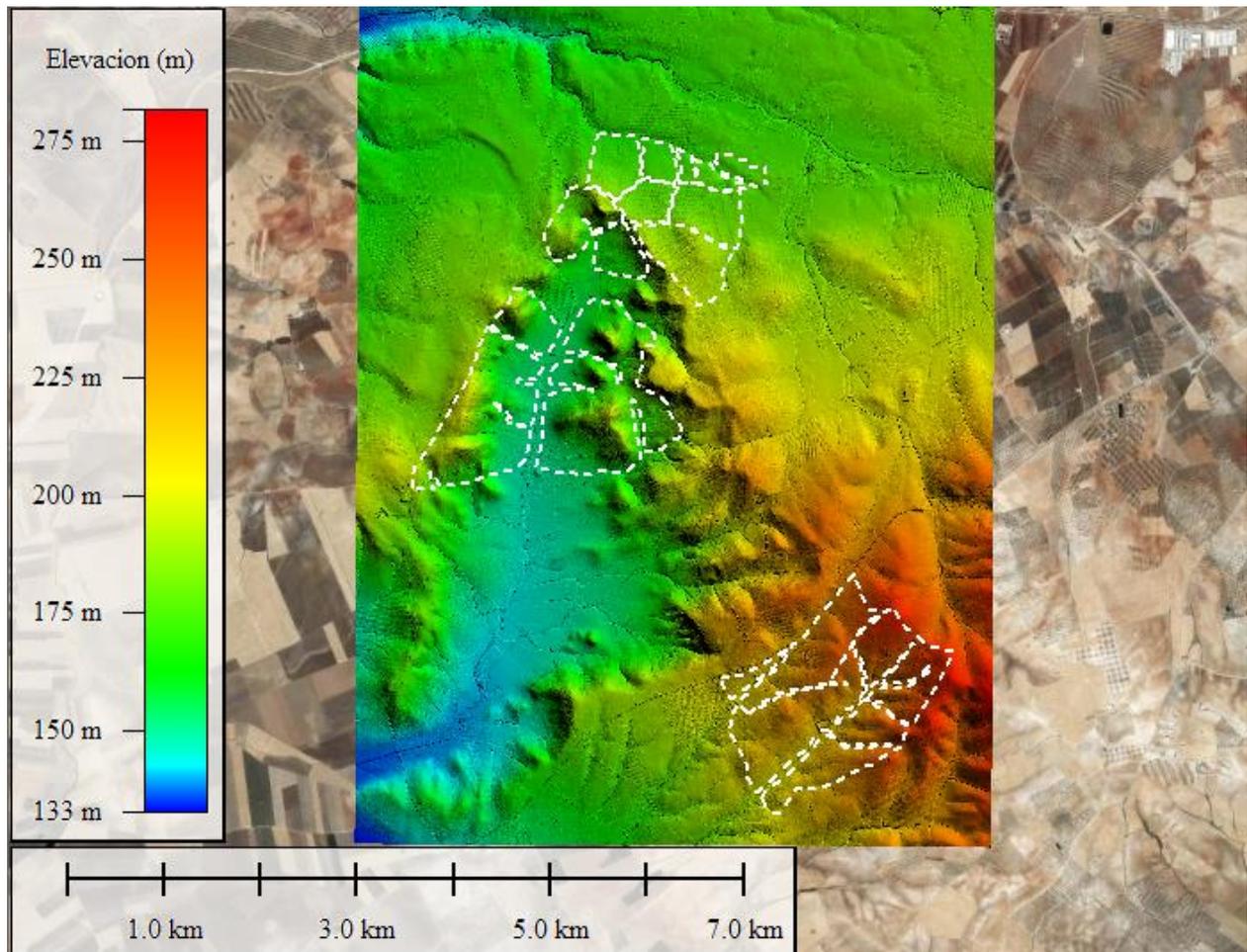


Ilustración 7.4. LIDAR de 1ª Cobertura en la zona de estudio

7.4. Rugosidad

En este subapartado se muestran los usos de suelo de cada una de las alternativas. A cada uno de estos usos de suelo se le asocia un valor de la rugosidad de Manning, cuya ecuación se ha utilizado para el cálculo de las pérdidas por rozamiento en el modelo. Los datos de usos de suelo se han obtenido de la información publicada en el Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE) del año 2013, perteneciente al Instituto Geográfico Nacional (IGN).

A continuación, se muestran una imágenes (Ilustración 7.5 a Ilustración 7.7) con los valores de la rugosidad de cada una de las alternativas de implantación.

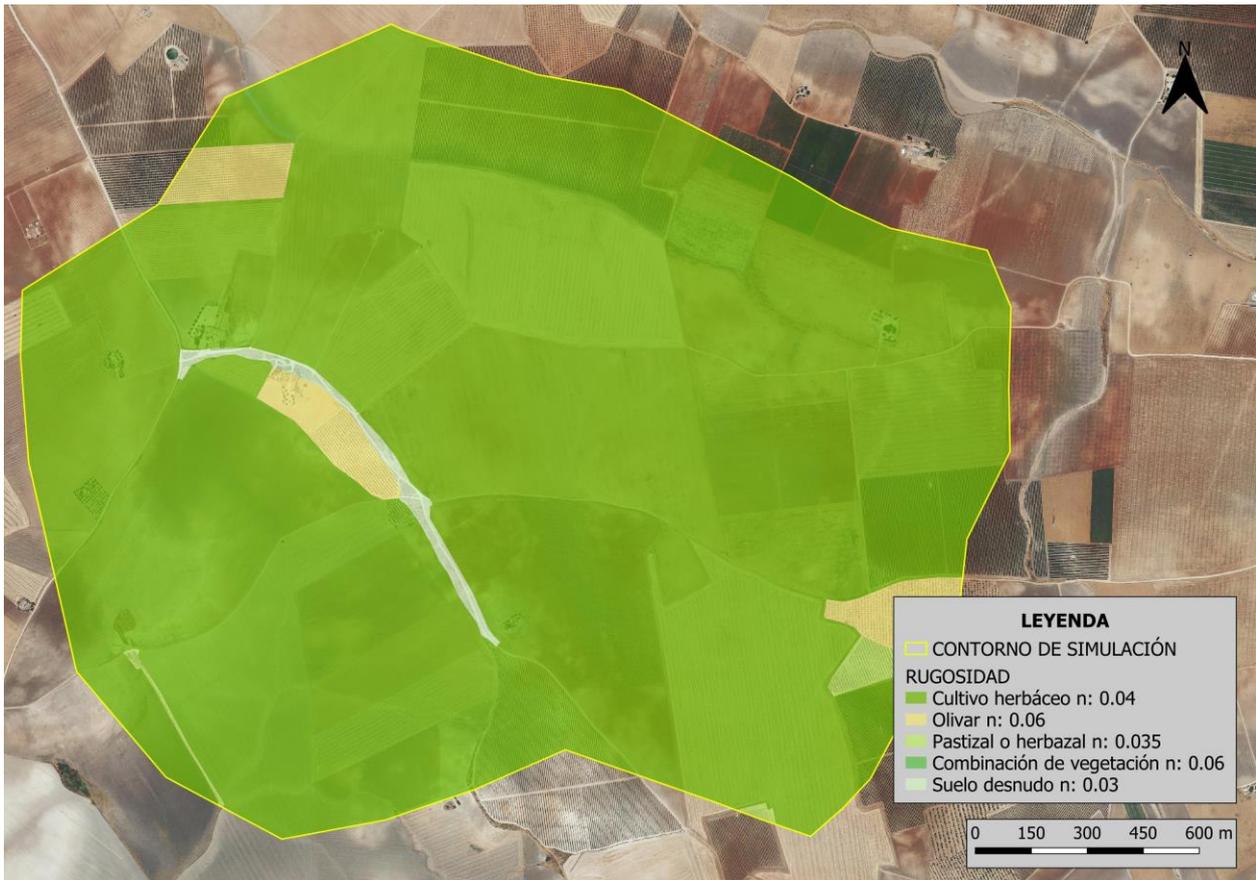


Ilustración 7.5. Coeficiente de rugosidad de Manning y usos de suelo de la alternativa 1

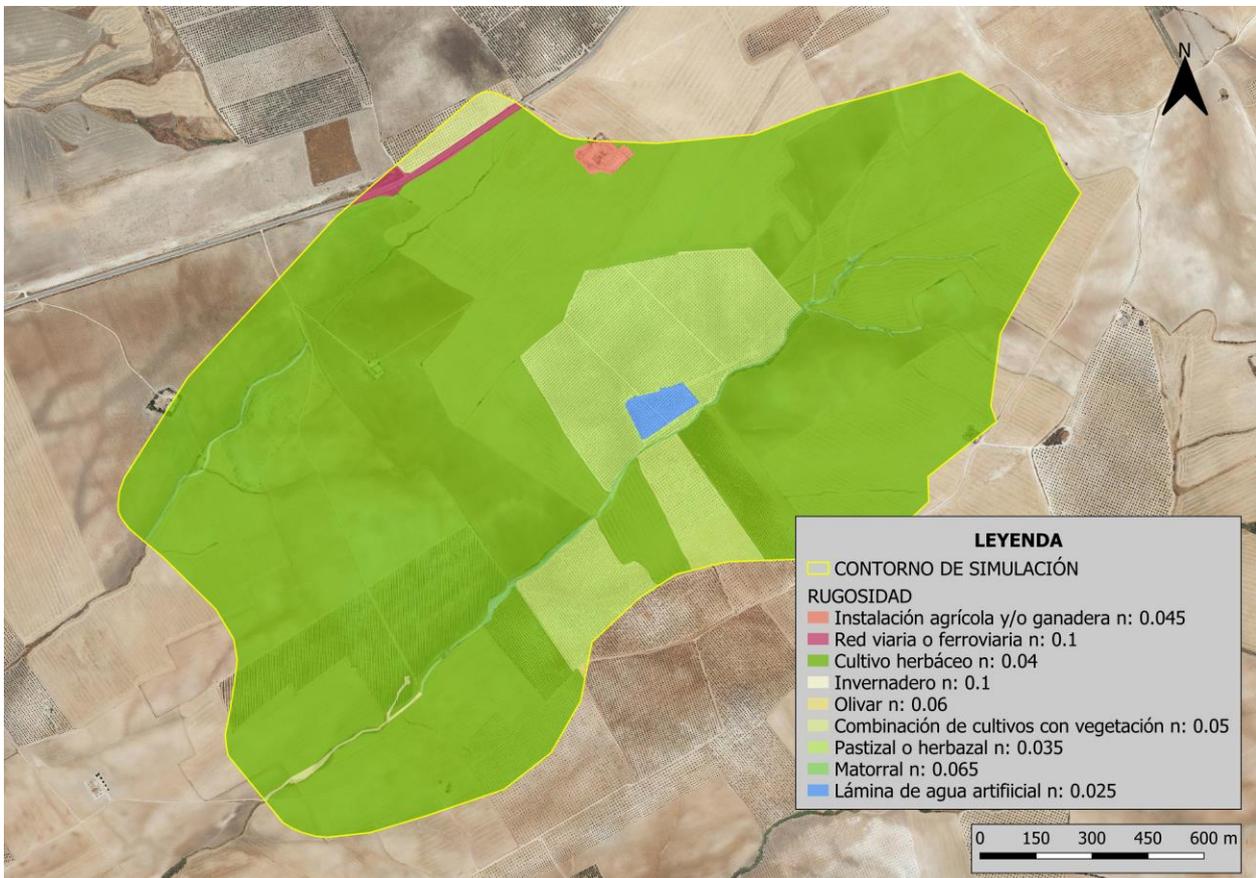


Ilustración 7.6. Coeficiente de rugosidad de Manning y usos de suelo de la alternativa 2

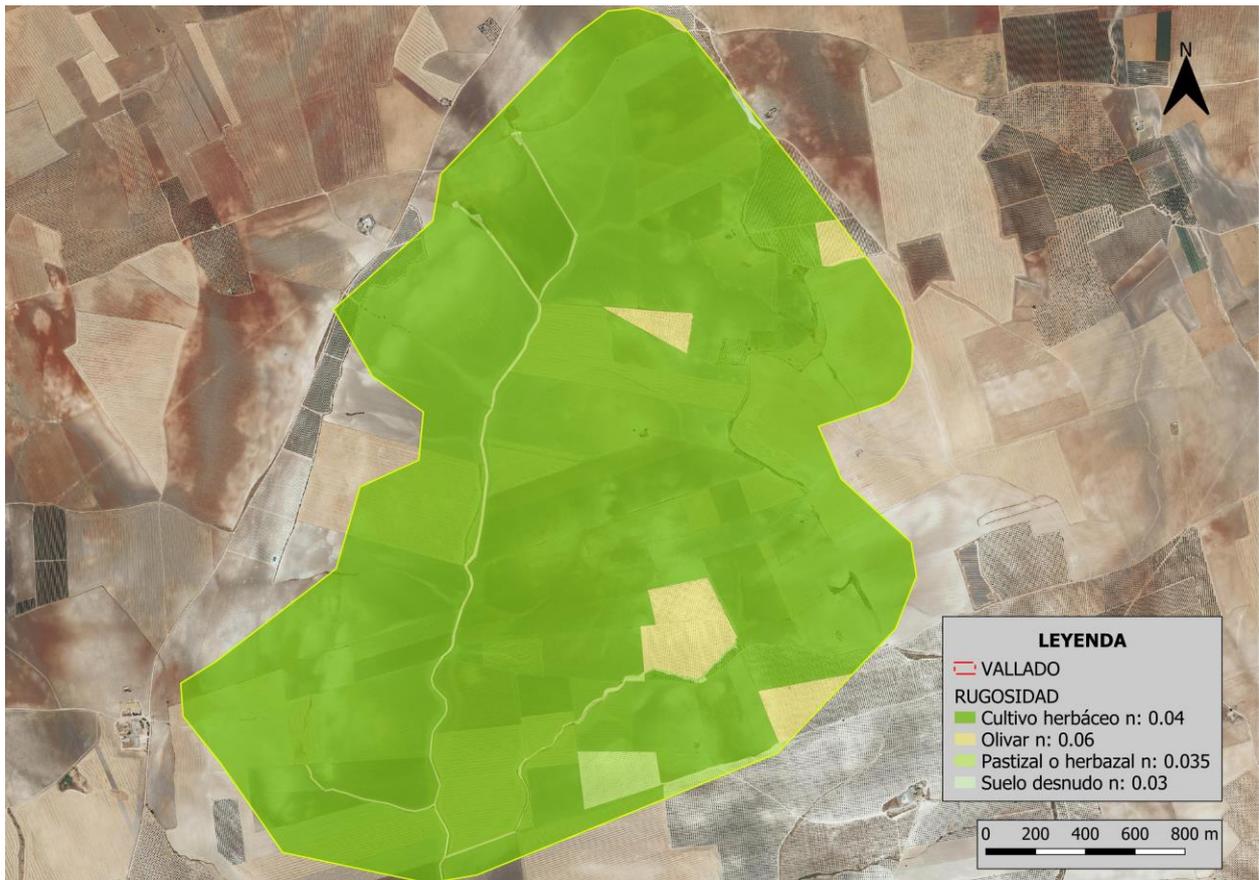


Ilustración 7.7. Coeficiente de rugosidad de Manning y usos de suelo de la alternativa 3

7.5. Condiciones de los modelos hidráulicos

En este subapartado se explican las condiciones de los modelos implementados. Se distinguen entre condiciones iniciales y condiciones de contorno de entradas y de salidas.

Como condición inicial se ha considerado un calado nulo en todo el contorno de simulación para las tres alternativas.

Las condiciones de entrada y salida sí varían para cada una de las alternativas.

Las condiciones de entrada se colocan en los puntos de entrada de flujo al modelo, es decir, una entrada para cada una de las cuencas de las que se ha obtenido un hidrograma de cálculo.

Mientras que las salidas se colocan en los puntos en los que sale flujo del modelo, es decir, en los puntos bajos del modelo. Como condición de salida se ha supuesto una salida a calado normal o de flujo permanente.

A continuación, se pueden ver unas imágenes (Ilustración 7.8 a Ilustración 7.10) en las que se aprecian las condiciones de contorno de cada uno de los modelos generados.

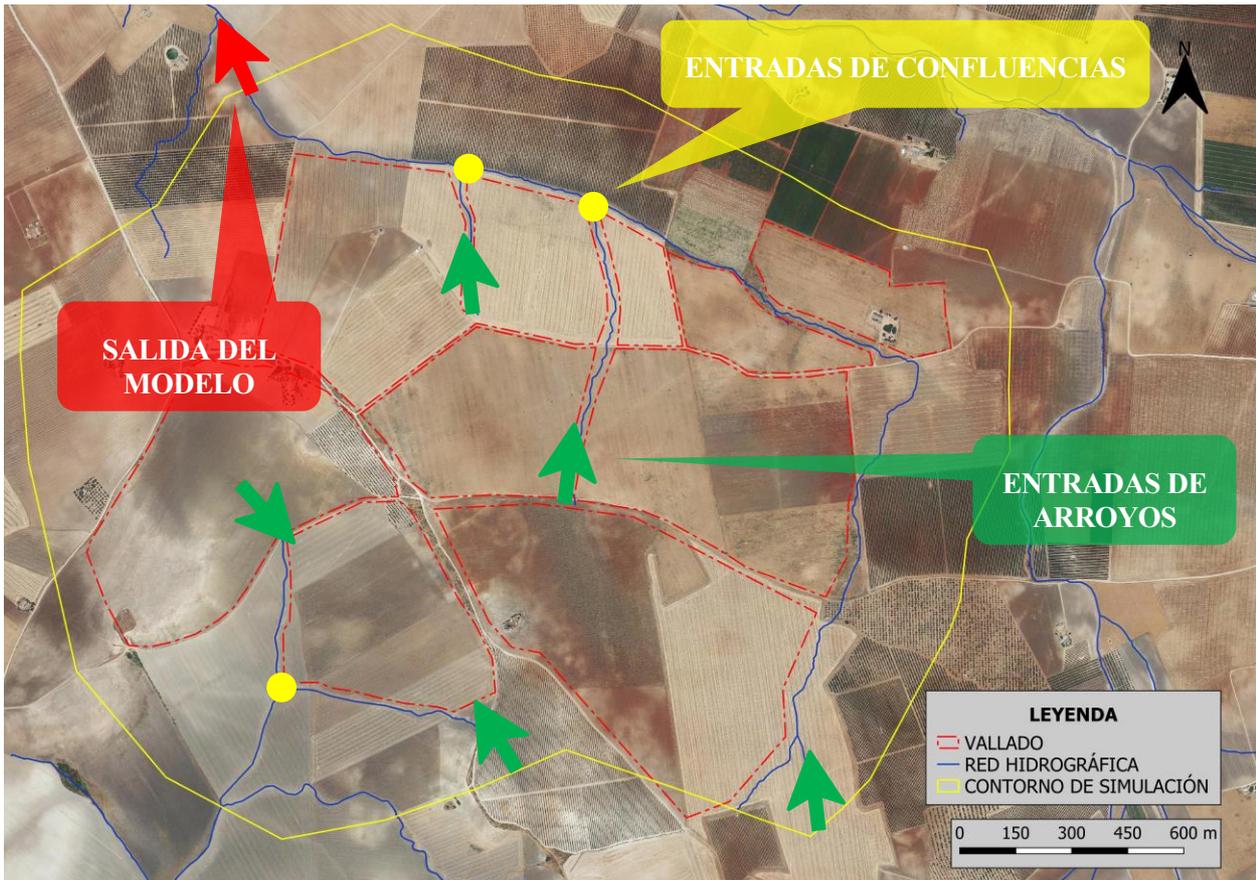


Ilustración 7.8. Condiciones de contorno para la alternativa 1

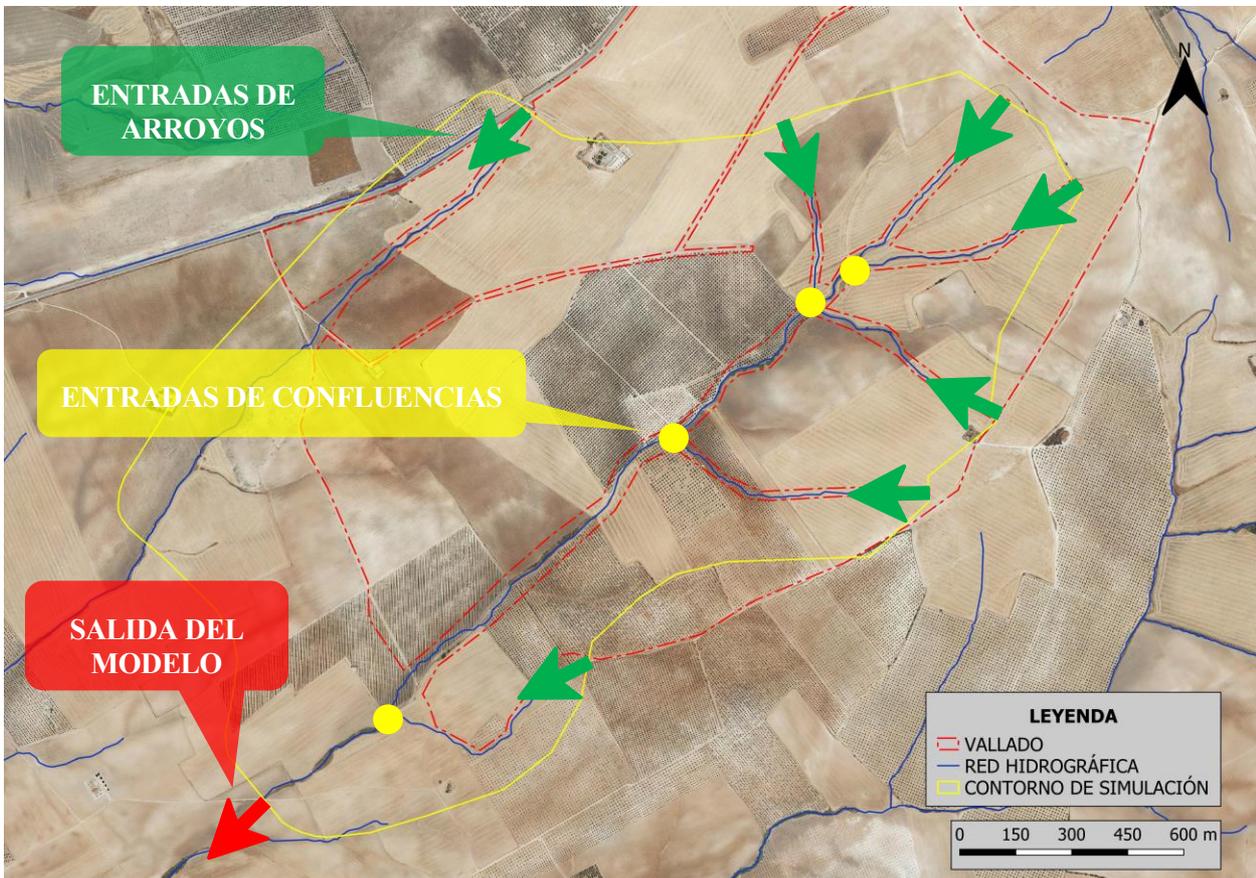


Ilustración 7.9. Condiciones de contorno para la alternativa 2

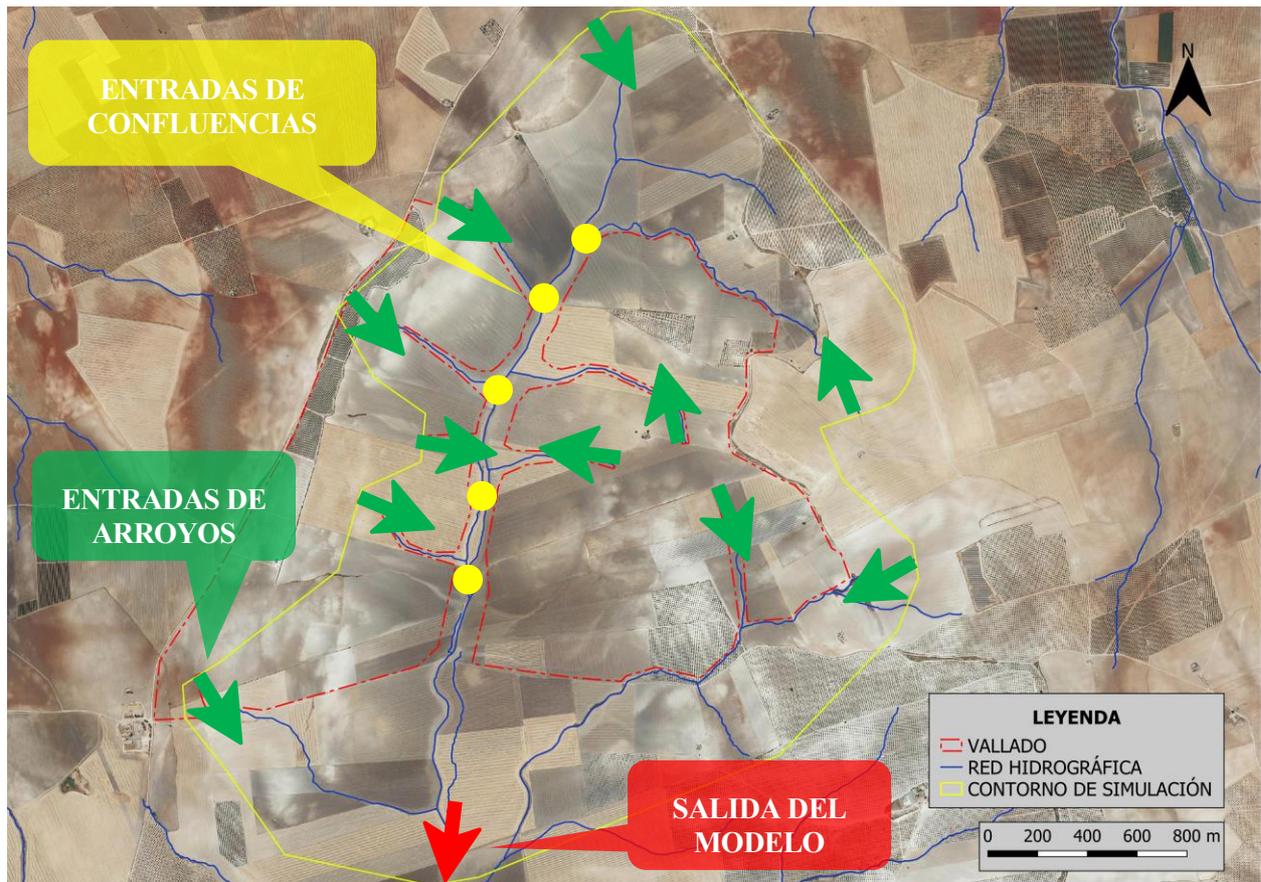


Ilustración 7.10. Condiciones de contorno para la alternativa 3

7.6. Parámetros de las simulaciones

En este subapartado se detallan los parámetros introducidos en las simulaciones de cada una de las alternativas.

En primer lugar, se explican los parámetros referentes a las mallas utilizadas. Todas las mallas se han generado de tamaño de 20 x 20 metros, siendo refinadas en algunas zonas asociadas a cauces, caminos, etc. a tamaños de 5 metros, con la intención de mejorar el cálculo en estas zonas de interés, así como de orientar las celdas en el sentido del flujo del agua. Las celdas tienen formas cuadradas, ajustándose en los contornos y en la transición con las zonas refinadas con formas irregulares de hasta 8 lados. A continuación, se adjuntan unas imágenes (Ilustración 7.11 a Ilustración 7.13) en las que se ven las mallas implementadas para cada una de las alternativas.

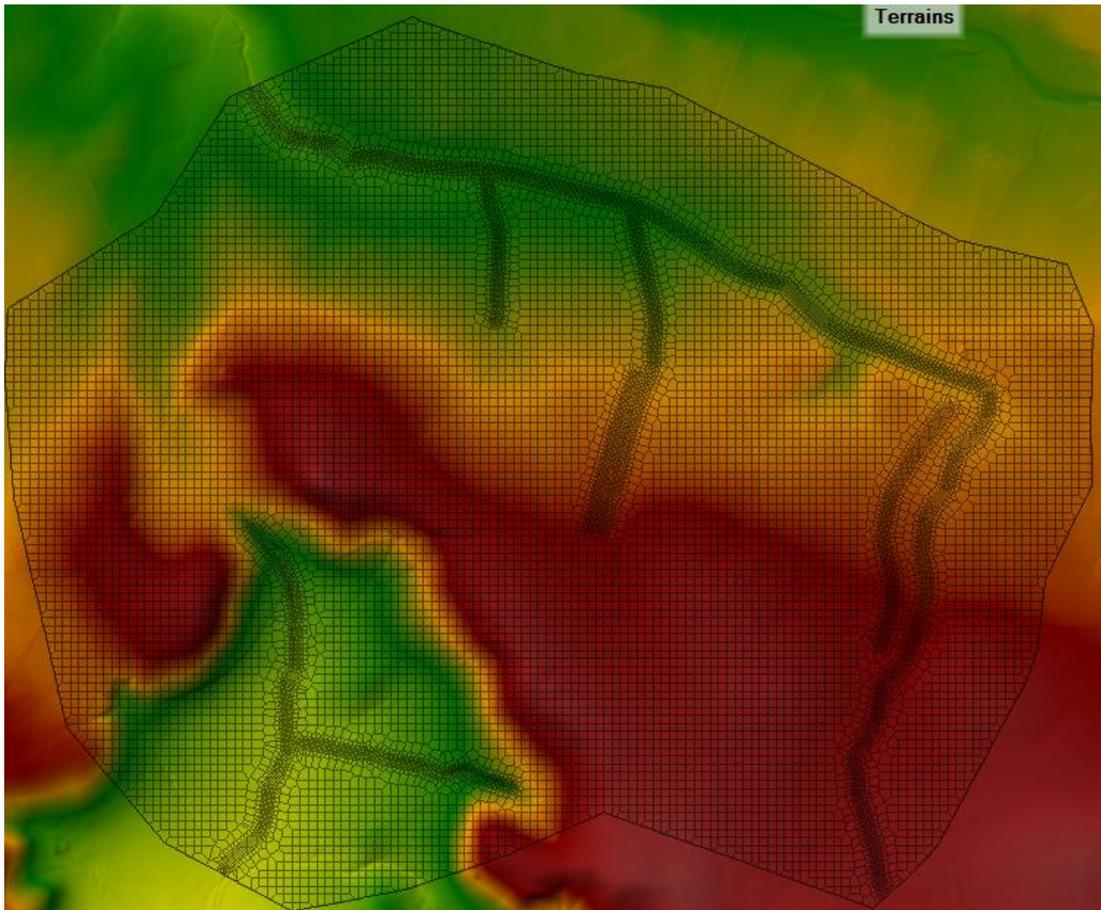


Ilustración 7.11. Malla de cálculo para la alternativa 1

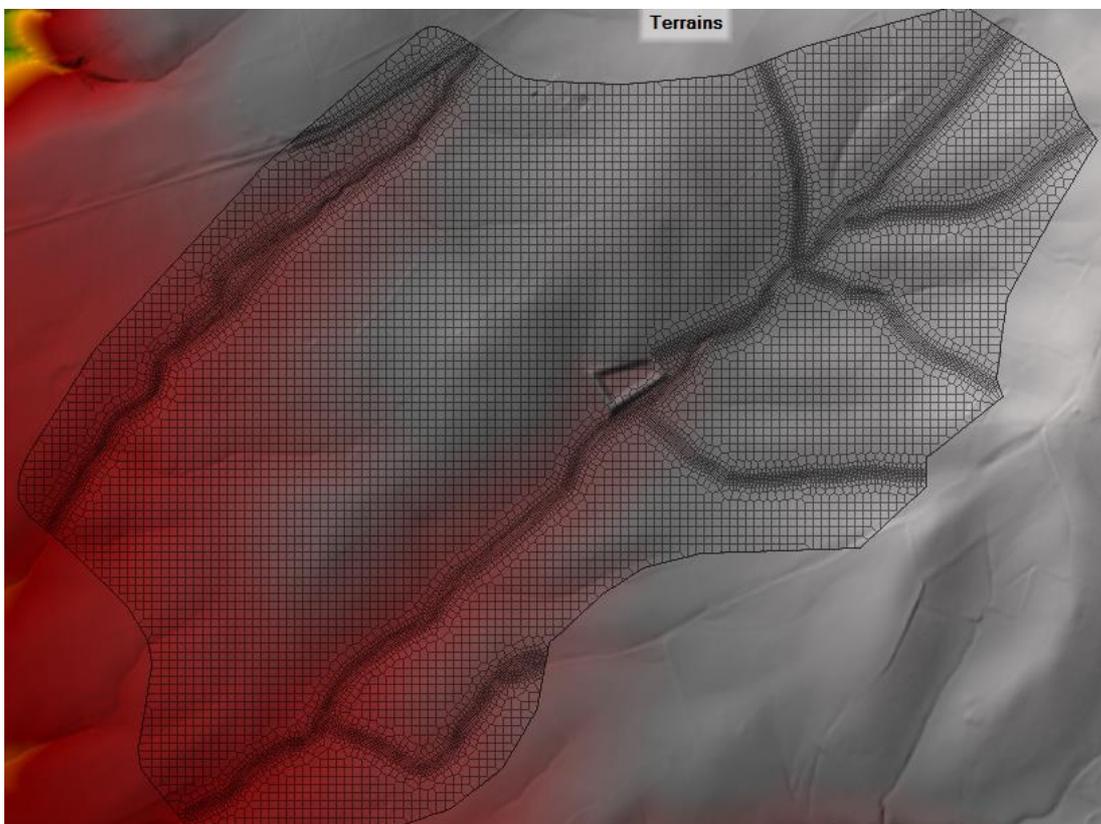


Ilustración 7.12. Malla de cálculo para la alternativa 2

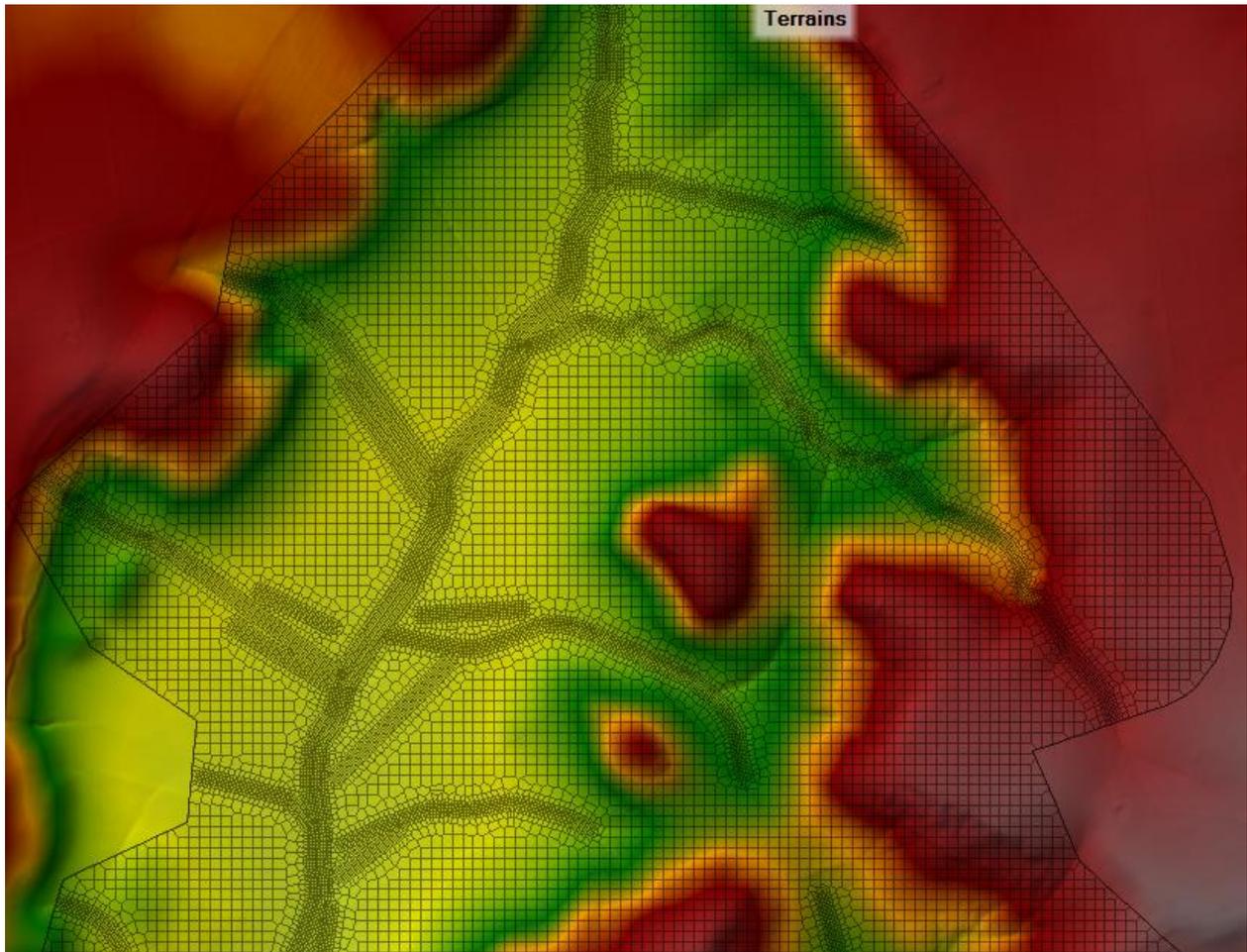


Ilustración 7.13. Malla de cálculo para la alternativa 3

El tamaño de las celdas condiciona el parámetro de tiempo utilizado en el modelo a través de la fórmula de Courant:

$$C = \frac{\Delta t \cdot v}{\Delta x} \approx 1$$

Donde,

- $C \rightarrow$ número de Courant
- $\Delta t \rightarrow$ paso temporal de cálculo (s)
- $\Delta x \rightarrow$ tamaño mínimo de celda (m)
- $v \rightarrow$ velocidad de onda de avenida (m/s)

El paso temporal se ajusta en cada iteración según esta condición, teniendo en cuenta un valor mínimo del número de Courant de 0.45 y un máximo de 1. El paso temporal se ha considerado variable entre un valor mínimo de 0.06 y un máximo de 0.32 s. Se han obtenido resultados en intervalos de 30 segundos.

La fórmula de cálculo por la que se rige el programa es la de Saint-Venant. En cada instante el programa calcula el error de la simulación, imponiendo dos condiciones de parada del cálculo:

- Tolerancia del error de 0.05
- Número máximo de iteraciones de 30

7.7. Resultados de los modelos hidráulicos

En este último subapartado se adjuntan los resultados obtenidos en cada uno de los modelos hidráulicos correspondientes a cada una de las alternativas. Se adjuntan resultados de calados y velocidades para los tres periodos de retorno simulados, 5, 100 y 500 años. Para más detalle se adjuntan los planos correspondientes en el *Anexo C. Planos*.

7.7.1 Alternativa 1

A continuación, se adjuntan y analizan los resultados obtenidos para la primera de las alternativas.

7.7.1.1 Periodo de retorno de 5 años

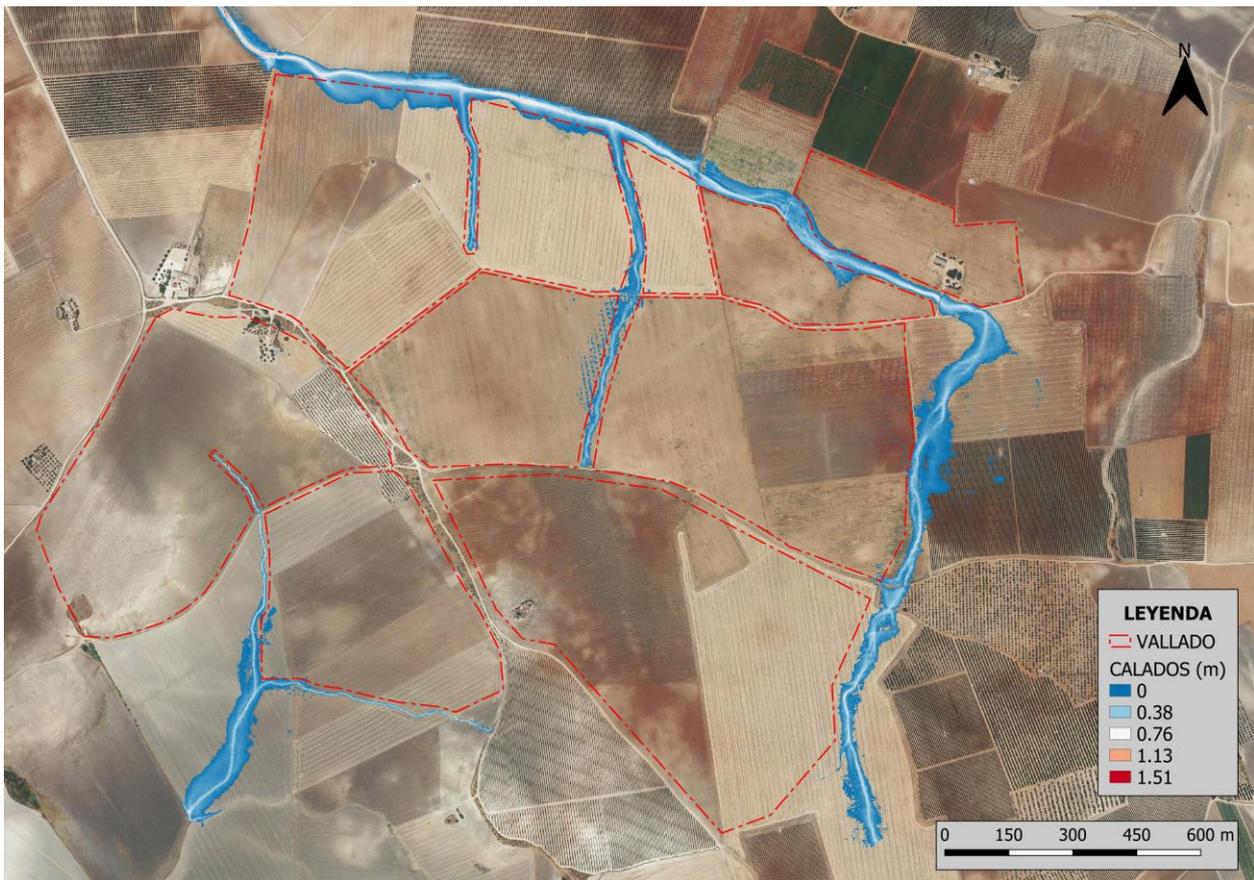


Ilustración 7.14. Mapa de calados máximos (TR 5 años)

En la zona de estudio se dan unos calados máximos de 1.51 metros en el entorno de la salida norte del modelo, es decir, la del arroyo Innominado 1. En este cauce los calados son algo mayores que en el resto de los cauces de menor envergadura, en los que los calados medios van de los 20 a los 70 cm aproximadamente. Los valores máximos de calados se dan en la zona central de los cauces, siendo menores en el resto de la llanura existente.

Se observa que las mayores afecciones se sitúan en los cauces de los arroyos Innominados 1, a lo largo de todo el contorno de la planta en su zona norte y este, y 2 y 3, los cuales discurren por la mitad de las parcelas de estudio, aunque también tienen influencia el resto de los arroyos estudiados.

Se pueden apreciar algunas manchas sin continuidad en algunas zonas, las cuales se consideran residuos del modelo hidráulico y no reflejan el comportamiento real del flujo del agua.

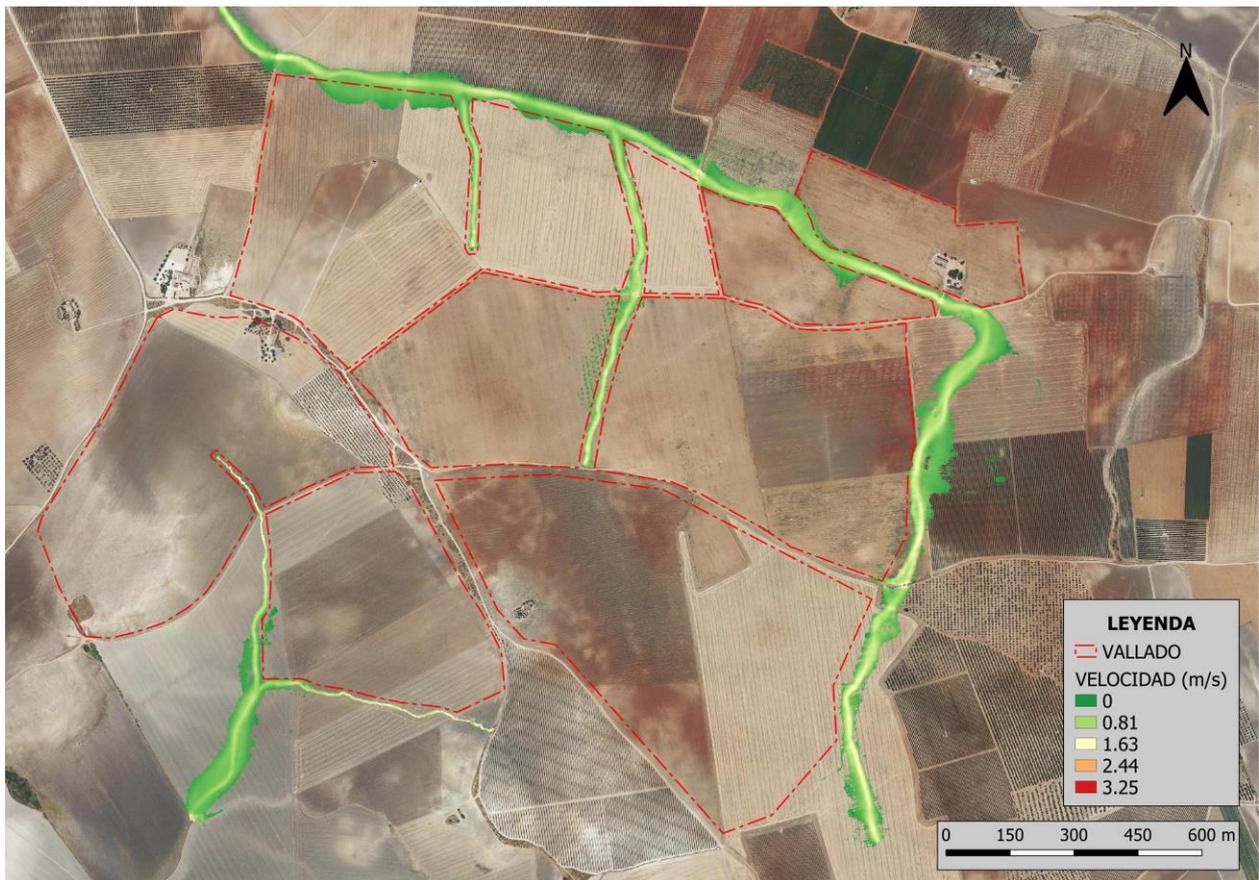


Ilustración 7.15. Mapa de velocidades máximas (TR 5 años)

Se observa que la velocidad máxima es de 3.25 m/s, la cual se da de manera puntual en la salida sur del modelo, es decir, la correspondiente al arroyo de la Albina. Los valores medios de velocidad en la zona de estudio van desde 0.7 a 1.7 m/s, dándose los valores máximos de velocidad en el centro de los cauces.

7.7.1.2 Periodo de retorno de 100 años

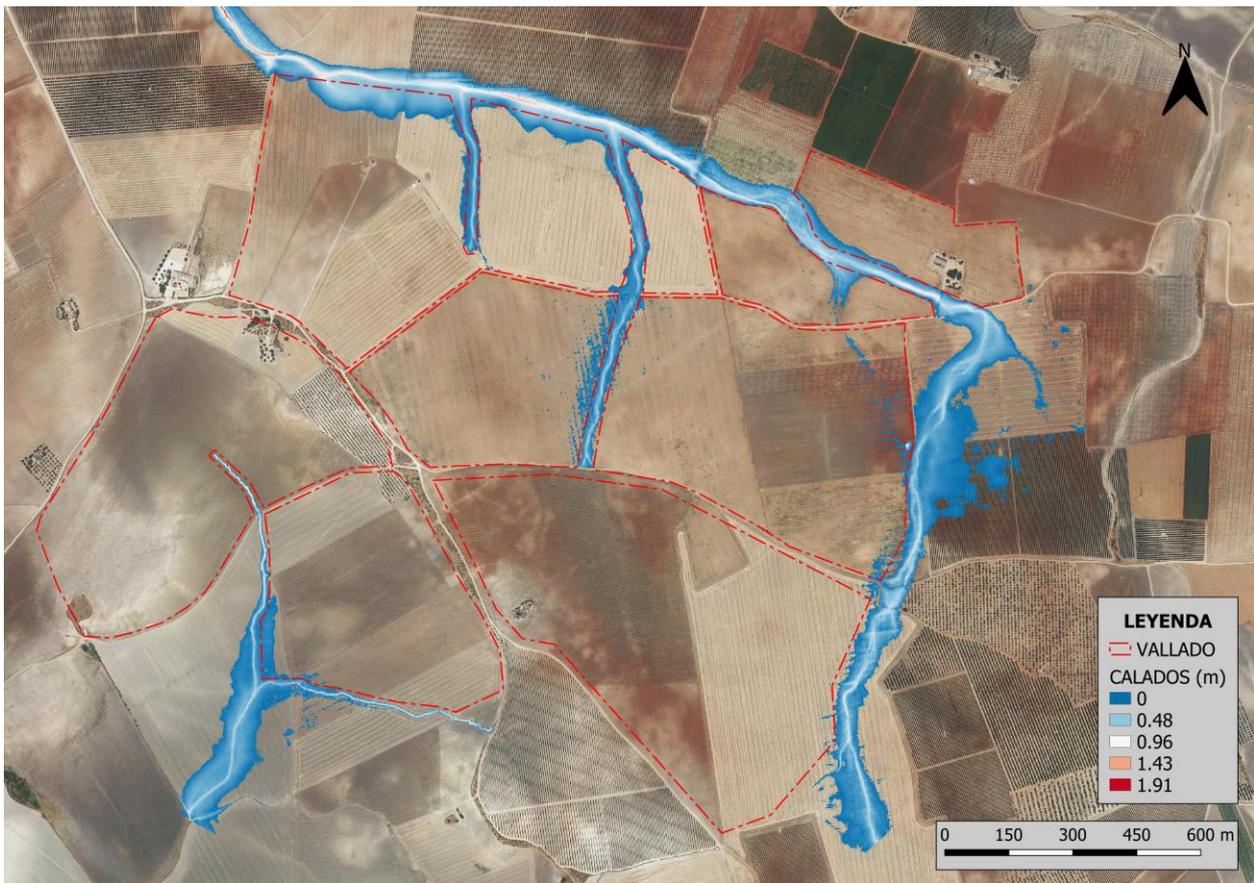


Ilustración 7.16. Mapa de calados máximos (TR 100 años)

En la zona de estudio se dan unos calados máximos de 1.91 metros en el entorno de la salida norte del modelo, es decir, la del arroyo Innominado 1. En este cauce los calados son algo mayores que en el resto de los cauces de menor envergadura, en los que los calados medios van de los 0.3 a 1 m aproximadamente. Los valores máximos de calados se dan en la zona central de los cauces, siendo menores en el resto de la llanura existente.

Se observa que las mayores afecciones se sitúan en los cauces de los arroyos Innominados 1, a lo largo de todo el contorno de la planta en su zona norte y este, y 2 y 3, los cuales discurren por la mitad de las parcelas de estudio, aunque también tienen influencia el resto de los arroyos estudiados.

Se pueden apreciar algunas manchas sin continuidad en algunas zonas, las cuales se consideran residuos del modelo hidráulico y no reflejan el comportamiento real del flujo del agua.

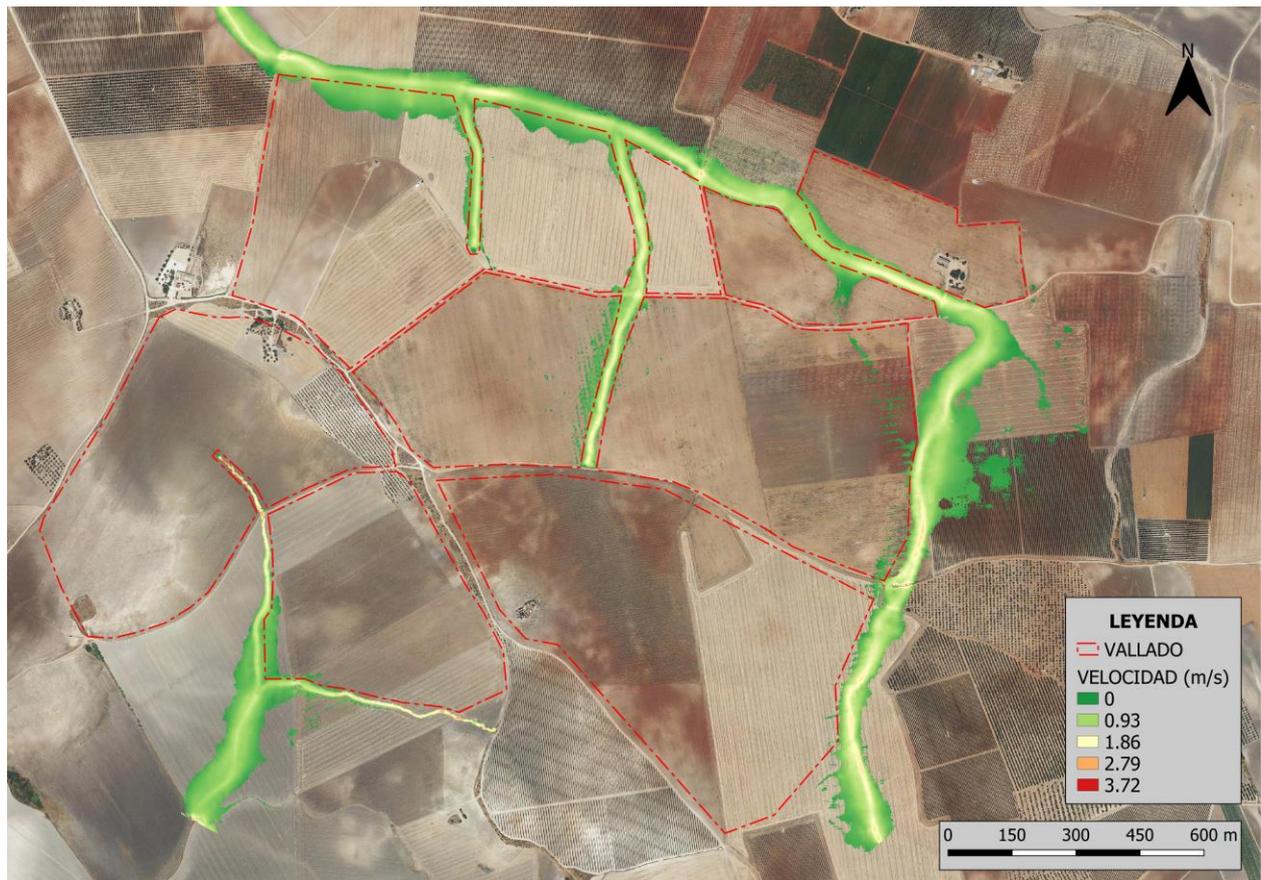


Ilustración 7.17. Mapa de velocidades máximas (TR 100 años)

Se observa que la velocidad máxima es de 3.72 m/s, la cual se da de manera puntual en la salida sur del modelo, es decir, la correspondiente al arroyo de la Albina. También se observan valores altos de velocidad en el entorno de la entrada de caudal del arroyo de la Albina, con valores de velocidad superiores a los 3 m/s. Los valores medios de velocidad en la zona de estudio van desde 0.9 a 2 m/s, dándose los valores máximos de velocidad en el centro de los cauces.

7.7.1.3 Periodo de retorno de 500 años

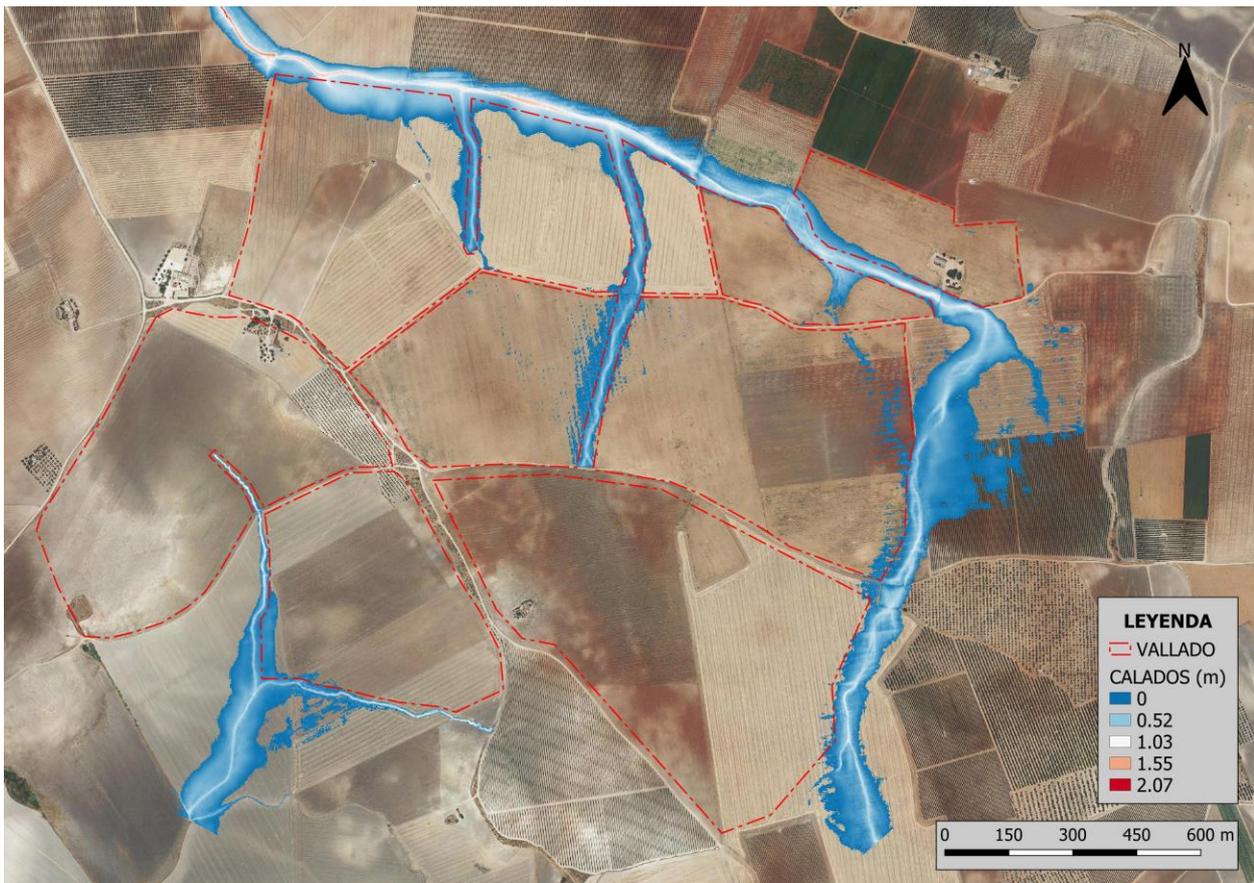


Ilustración 7.18. Mapa de calados máximos (TR 500 años)

En la zona de estudio se dan unos calados máximos de 2.07 metros en el entorno de la salida norte del modelo, es decir, la del arroyo Innominado 1. En este cauce los calados son algo mayores que en el resto de los cauces de menor envergadura, en los que los calados medios van de los 0.4 a 1.2 m aproximadamente. Los valores máximos de calados se dan en la zona central de los cauces, siendo menores en el resto de la llanura existente.

Se observa que las mayores afecciones se sitúan en los cauces de los arroyos Innominados 1, a lo largo de todo el contorno de la planta en su zona norte y este, y 2 y 3, los cuales discurren por la mitad de las parcelas de estudio, aunque también tienen influencia el resto de los arroyos estudiados.

Se pueden apreciar algunas manchas sin continuidad en algunas zonas, las cuales se consideran residuos del modelo hidráulico y no reflejan el comportamiento real del flujo del agua.

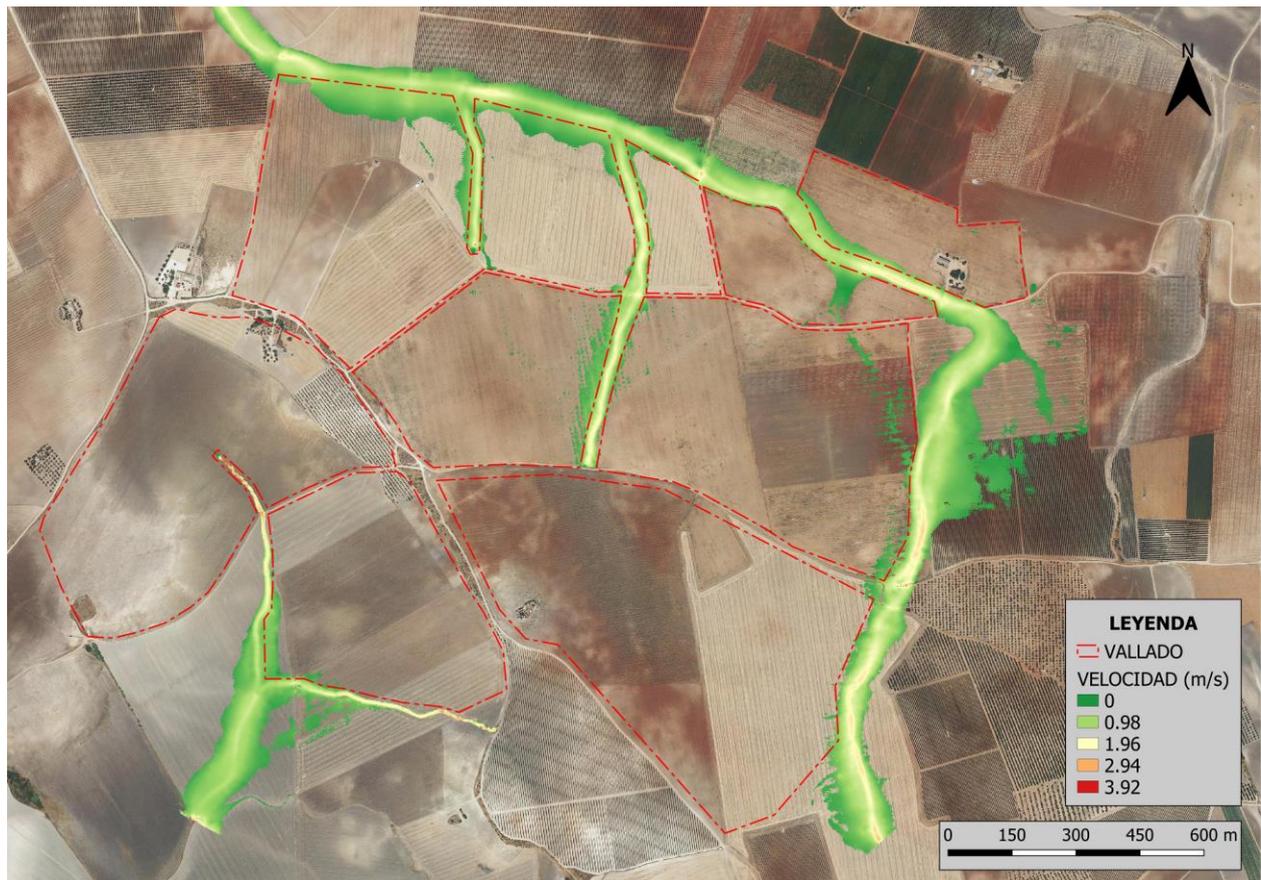


Ilustración 7.19. Mapa de velocidades máximas (TR 500 años)

Se observa que la velocidad máxima es de 3.92 m/s, la cual se da de manera puntual en la salida sur del modelo, es decir, la correspondiente al arroyo de la Albina. También se observan valores altos de velocidad en el entorno de la entrada de caudal del arroyo de la Albina, con valores de velocidad de casi 3.5 m/s. Los valores medios de velocidad en la zona de estudio van desde 1.05 a 2.2 m/s, dándose los valores máximos de velocidad en el centro de los cauces.

7.7.2 Alternativa 2

A continuación, se adjuntan y analizan los resultados obtenidos para la segunda de las alternativas.

7.7.2.1 Periodo de retorno de 5 años

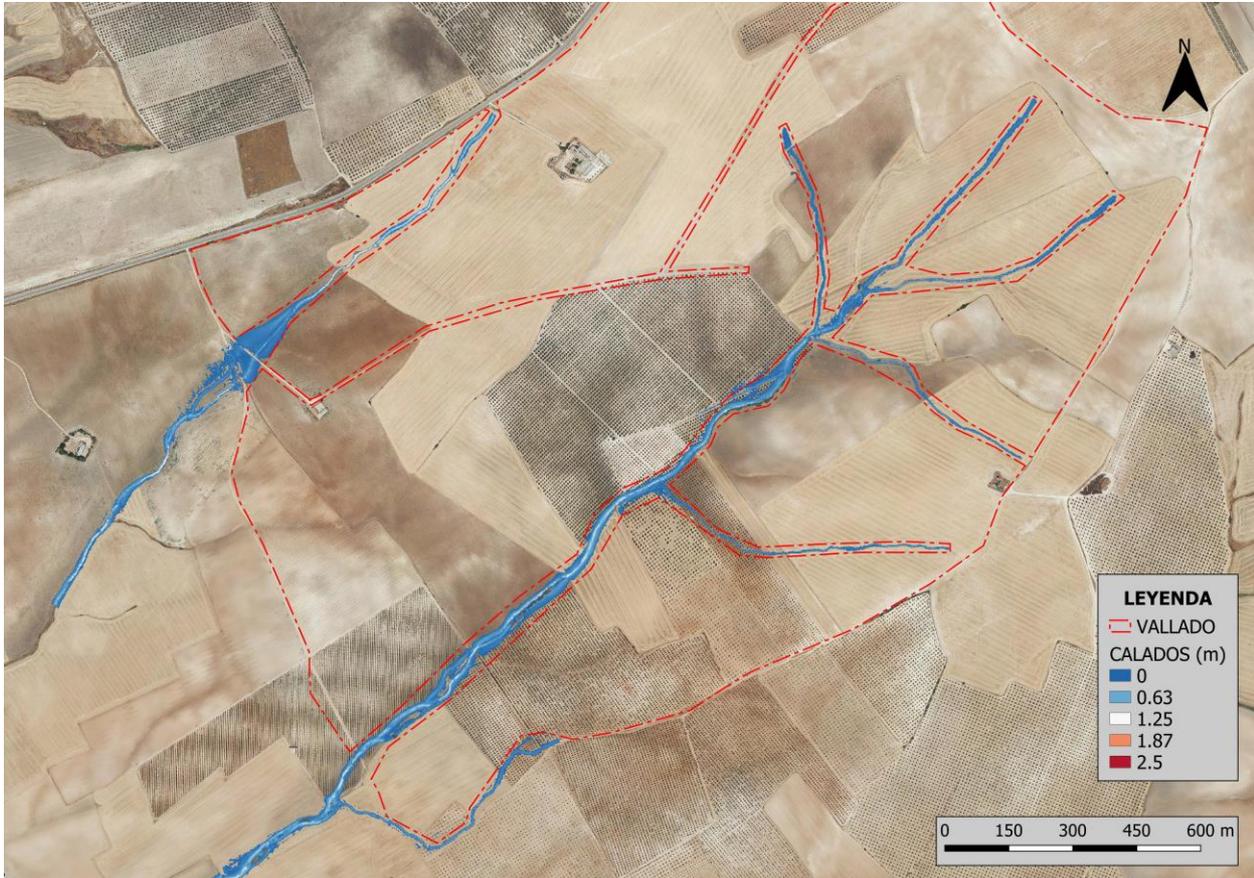


Ilustración 7.20. Mapa de calados máximos (TR 5 años)

En la zona de estudio se dan unos calados máximos, de manera puntual, de 2.5 metros en la parte ancha del arroyo Innominado 20, asociados a un estrechamiento del flujo del agua en la zona debido a la orografía del terreno utilizado en el modelo.

Los valores máximos en los cauces que componen el arroyo de Barcarrota se sitúan en torno a los 1.2 metros, dándose estos en la zona central del cauce.

Se observa que existen grandes afecciones a las parcelas de estudio, ya que la mayoría de los cauces discurren por la zona central.



Ilustración 7.21. Mapa de velocidades máximas (TR 5 años)

Se observa que la velocidad máxima es de 3.77 m/s, la cual se da de manera puntual en un estrechamiento en la parte central del arroyo Innominado 20. Mientras que en el entorno del arroyo de Barcarrota estos valores máximos son de 2.7 m/s aproximadamente, en la zona próxima a la salida del modelo. Estos valores máximos de velocidad se dan siempre en el centro de los cauces.

7.7.2.2 Periodo de retorno de 100 años

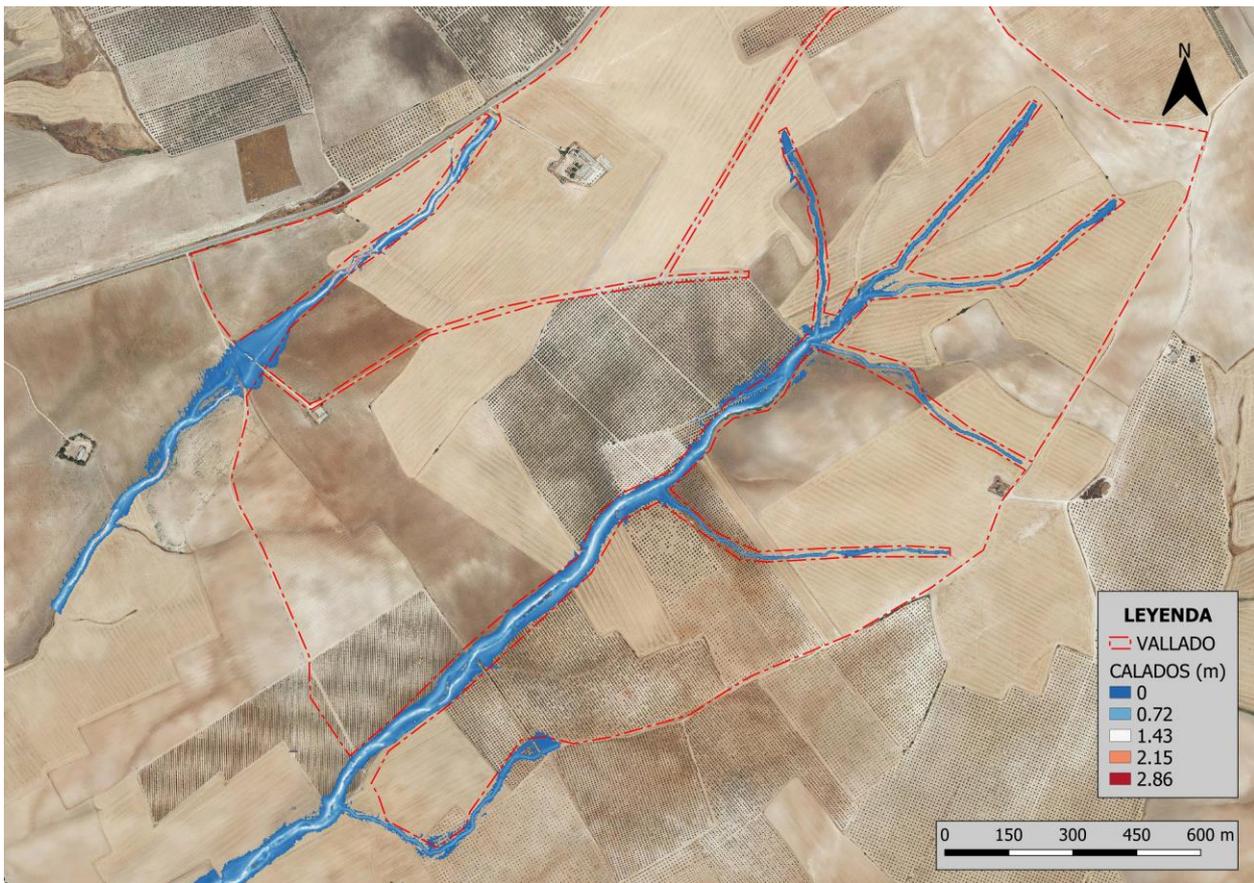


Ilustración 7.22. Mapa de calados máximos (TR 100 años)

En la zona de estudio se dan unos calados máximos, de manera puntual, de 2.86 metros en la parte ancha del arroyo Innominado 20, asociados a un estrechamiento del flujo del agua en la zona debido a la orografía del terreno utilizado en el modelo.

Los valores máximos en los cauces que componen el arroyo de Barcarrota se sitúan en torno a los 1.5 metros, dándose estos en la zona central del cauce.

Se observa que existen grandes afecciones a las parcelas de estudio, ya que la mayoría de los cauces discurren por la zona central.



Ilustración 7.23. Mapa de velocidades máximas (TR 100 años)

Se observa que la velocidad máxima es de 4.03 m/s, la cual se da de manera puntual en un estrechamiento en el entorno de la salida del arroyo Innominado 20. Mientras que en el entorno del arroyo de Barcarrota estos valores máximos son de 3.5 m/s aproximadamente, en la zona próxima a la salida del modelo. Estos valores máximos de velocidad se dan siempre en el centro de los cauces.

7.7.2.3 Período de retorno de 500 años

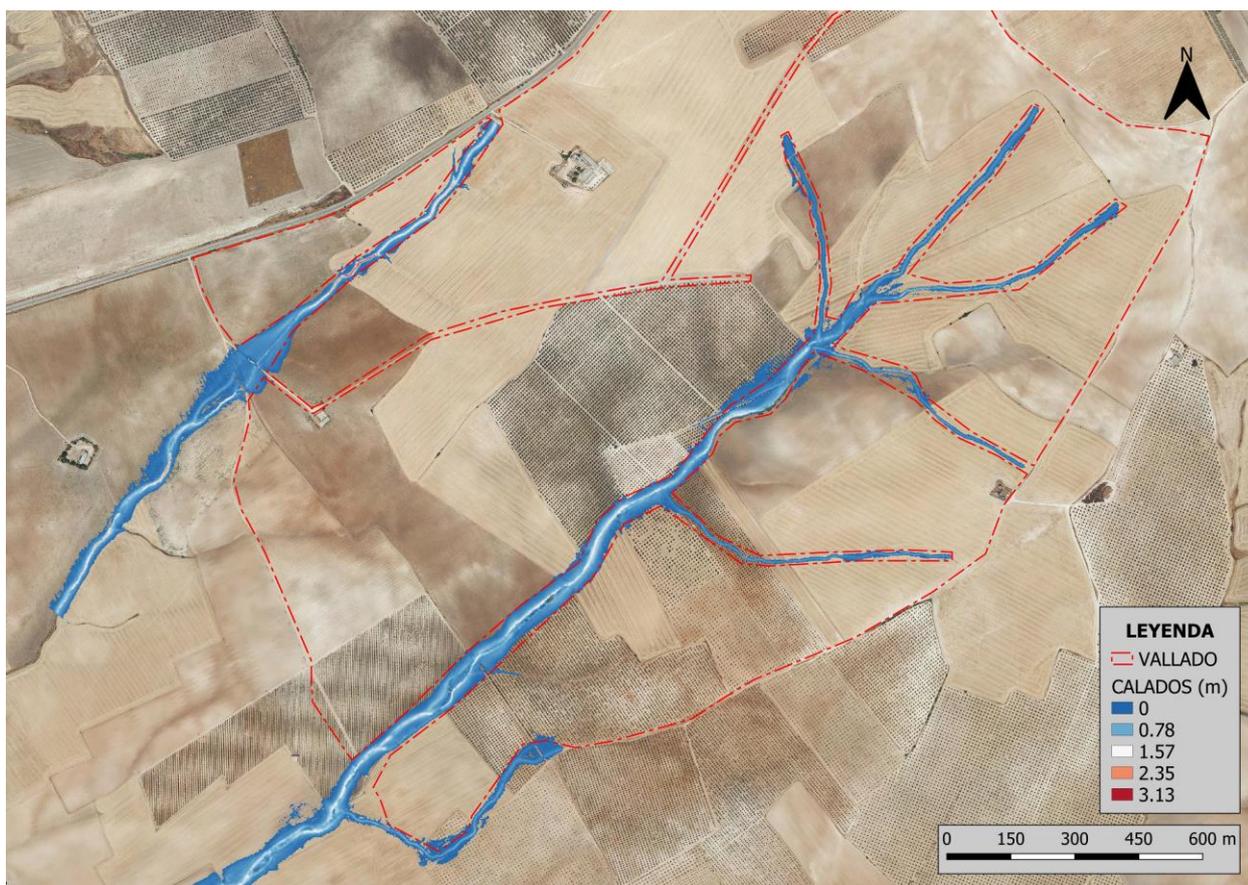


Ilustración 7.24. Mapa de calados máximos (TR 500 años)

En la zona de estudio se dan unos calados máximos, de manera puntual, de 3.13 metros en la parte ancha del arroyo Innominado 20, asociados a un estrechamiento del flujo del agua en la zona debido a la orografía del terreno utilizado en el modelo.

Los valores máximos en los cauces que componen el arroyo de Barcarrota se sitúan en torno a los 1.7 metros, dándose estos en la zona central del cauce.

Se observa que existen grandes afecciones a las parcelas de estudio, ya que la mayoría de los cauces discurren por la zona central.



Ilustración 7.25. Mapa de velocidades máximas (TR 500 años)

Se observa que la velocidad máxima es de 4.48 m/s, la cual se da de manera puntual en un estrechamiento en el entorno de la salida del arroyo Innominado 20. Mientras que en el entorno del arroyo de Barcarrota estos valores máximos son de 3.8 m/s aproximadamente, en la zona próxima a la salida del modelo. Estos valores máximos de velocidad se dan siempre en el centro de los cauces.

7.7.3 Alternativa 3

A continuación, se adjuntan y analizan los resultados obtenidos para la tercera de las alternativas.

7.7.3.1 Periodo de retorno de 5 años

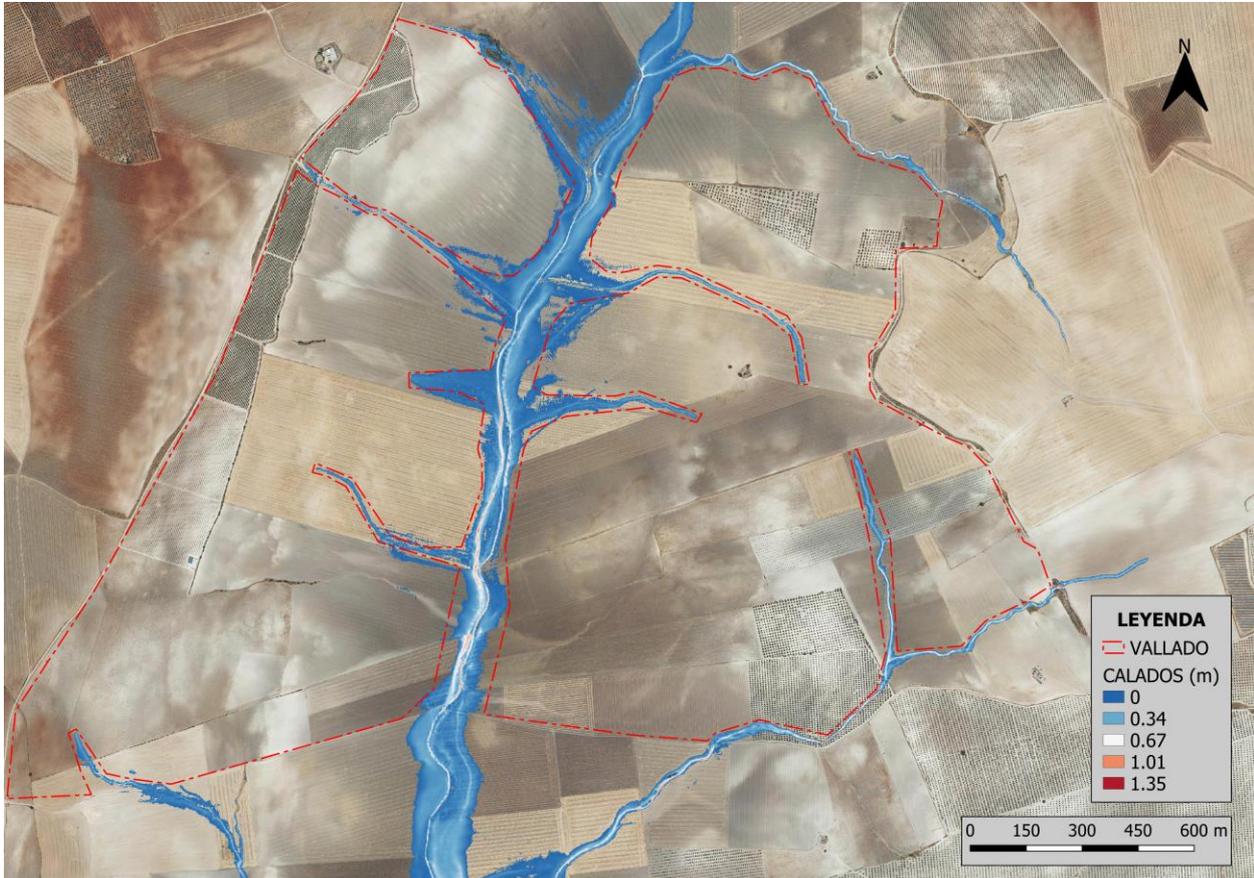


Ilustración 7.26. Mapa de calados máximos (TR 5 años)

En la zona de estudio se dan unos calados máximos, de manera puntual, de 1.35 metros en la parte central del arroyo Innominado 14. Los calados máximos se dan en el centro de los cauces con valores máximos medios en torno a 0.9 metros.

Se observa que existen grandes afecciones a las parcelas de estudio, ya que la mayoría de los cauces discurren por la zona central.

Además, se presenta una llanura de inundabilidad en algunas zonas muy dispersa o sin continuidad, debido al terreno utilizado, ya que no se recoge bien la geometría del cauce de estudio en cuestión.

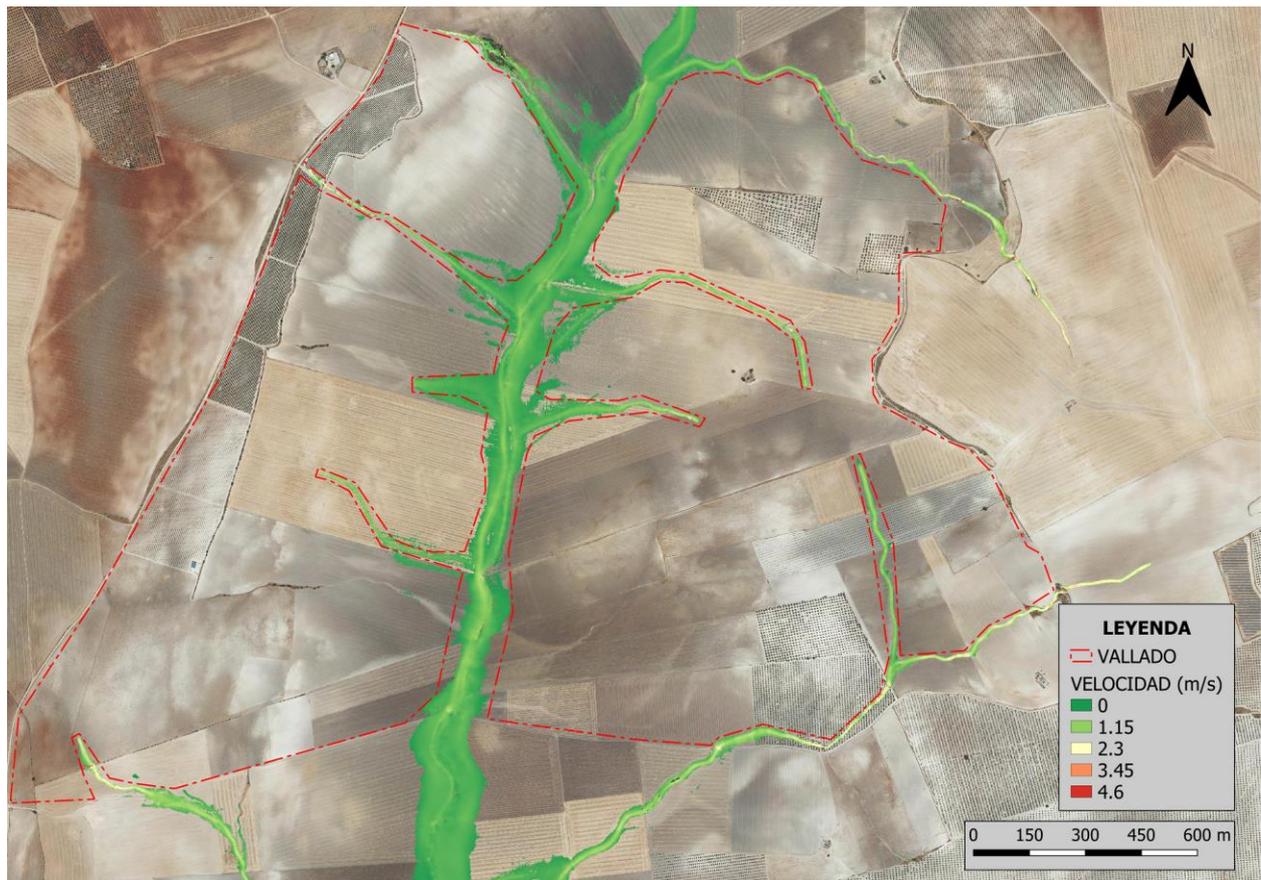


Ilustración 7.27. Mapa de velocidades máximas (TR 5 años)

Se observa que la velocidad máxima es de 4.6 m/s, la cual se da de manera puntual en un estrechamiento en una zona cercana a la entrada del arroyo Innominado 14. En el arroyo de la Albina se da un valor de velocidad máxima medio de aproximadamente 1.5 m/s, excepto en la zona de la entrada de caudal, que son mayores, debido a que se hace más estrecho el cauce en esta zona. Mientras que en el resto de los cauces se dan unos valores en torno a los 3 m/s. Estos valores máximos de velocidad se dan siempre en el centro de los cauces.

7.7.3.2 Periodo de retorno de 100 años

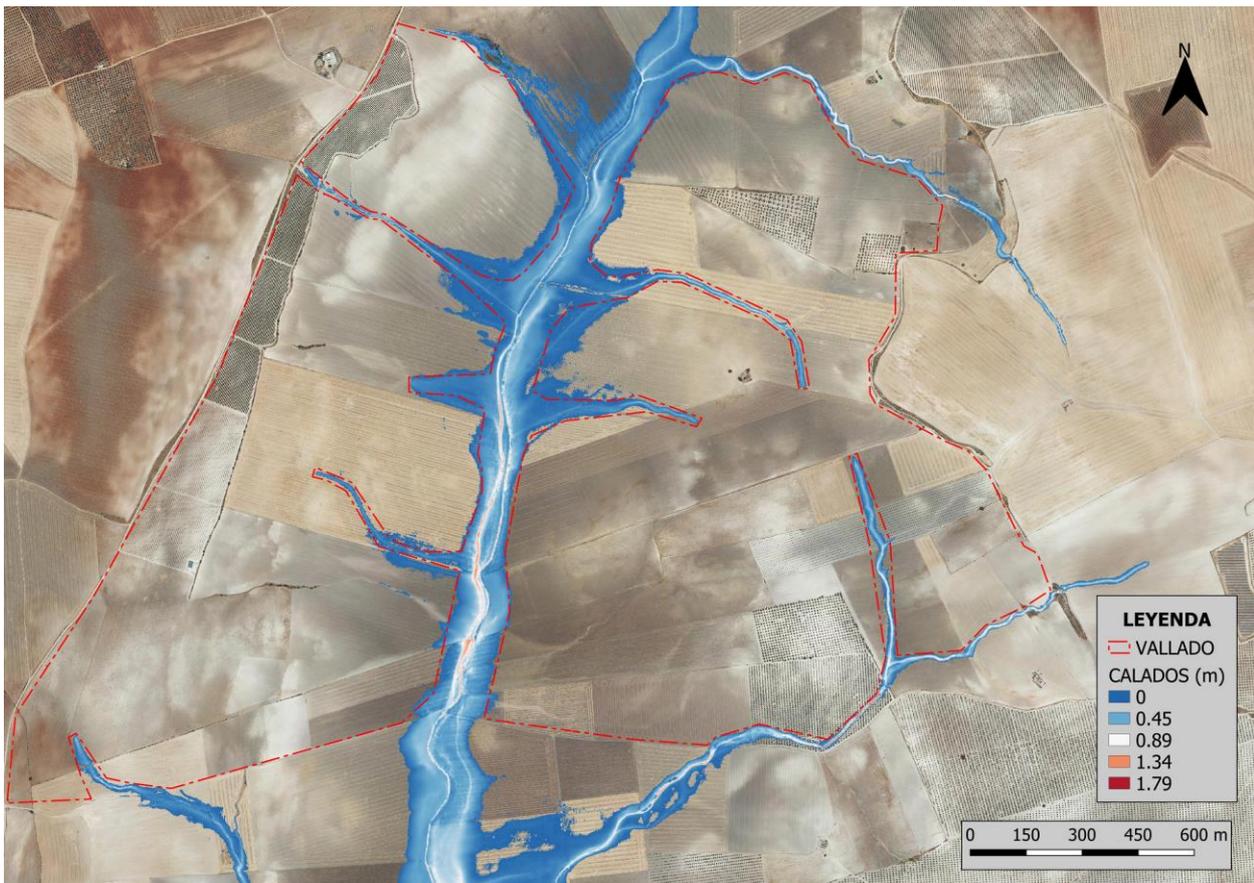


Ilustración 7.28. Mapa de calados máximos (TR 100 años)

En la zona de estudio se dan unos calados máximos, de manera puntual, de 1.79 metros en la parte central del arroyo Innominado 14. Los calados máximos se dan en el centro de los cauces con valores máximos medios en torno a 1.4 metros.

Se observa que existen grandes afecciones a las parcelas de estudio, ya que la mayoría de los cauces discurren por la zona central.

Además, se presenta una llanura de inundabilidad en algunas zonas muy dispersa o sin continuidad, debido al terreno utilizado, ya que no se recoge bien la geometría del cauce de estudio en cuestión.

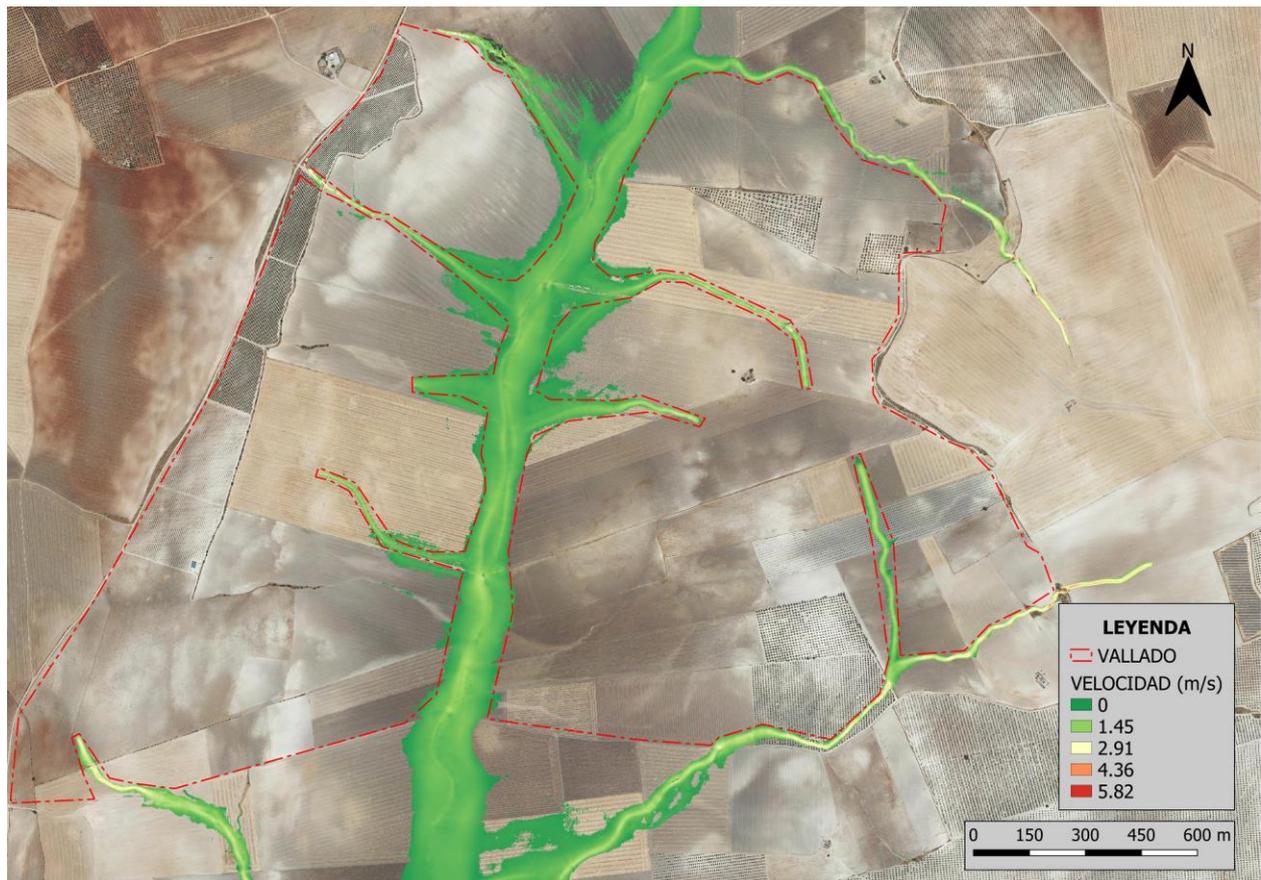


Ilustración 7.29. Mapa de velocidades máximas (TR 100 años)

Se observa que la velocidad máxima es de 5.82 m/s, la cual se da de manera puntual en un estrechamiento en una zona cercana a la entrada del arroyo Innominado 14. En el arroyo de la Albina se da un valor de velocidad máxima medio de aproximadamente 2 m/s, excepto en la zona de la entrada de caudal, que son mayores debido a que se hace más estrecho el cauce en esta zona. Mientras que en el resto de los cauces se dan unos valores en torno a los 4.2 m/s. Estos valores máximos de velocidad se dan siempre en el centro de los cauces.

7.7.3.3 Periodo de retorno de 500 años

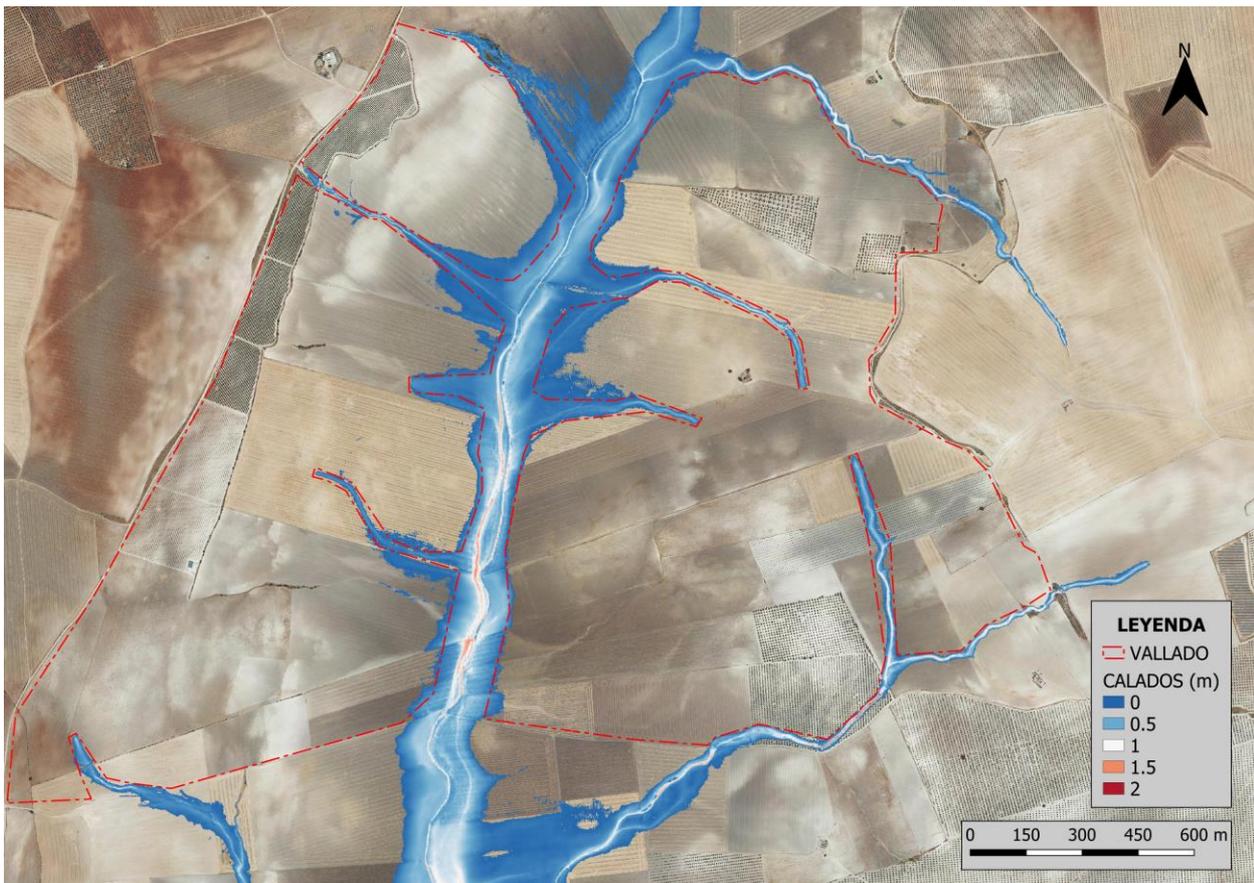


Ilustración 7.30. Mapa de calados máximos (TR 500 años)

En la zona de estudio se dan unos calados máximos, de manera puntual, de 2 metros en la parte central del arroyo Innominado 14. Los calados máximos se dan en el centro de los cauces con valores máximos medios en torno a 1.5 metros.

Se observa que existen grandes afecciones a las parcelas de estudio, ya que la mayoría de los cauces discurren por la zona central.

Además, se presenta una llanura de inundabilidad en algunas zonas muy dispersa o sin continuidad, debido al terreno utilizado, ya que no se recoge bien la geometría del cauce de estudio en cuestión.

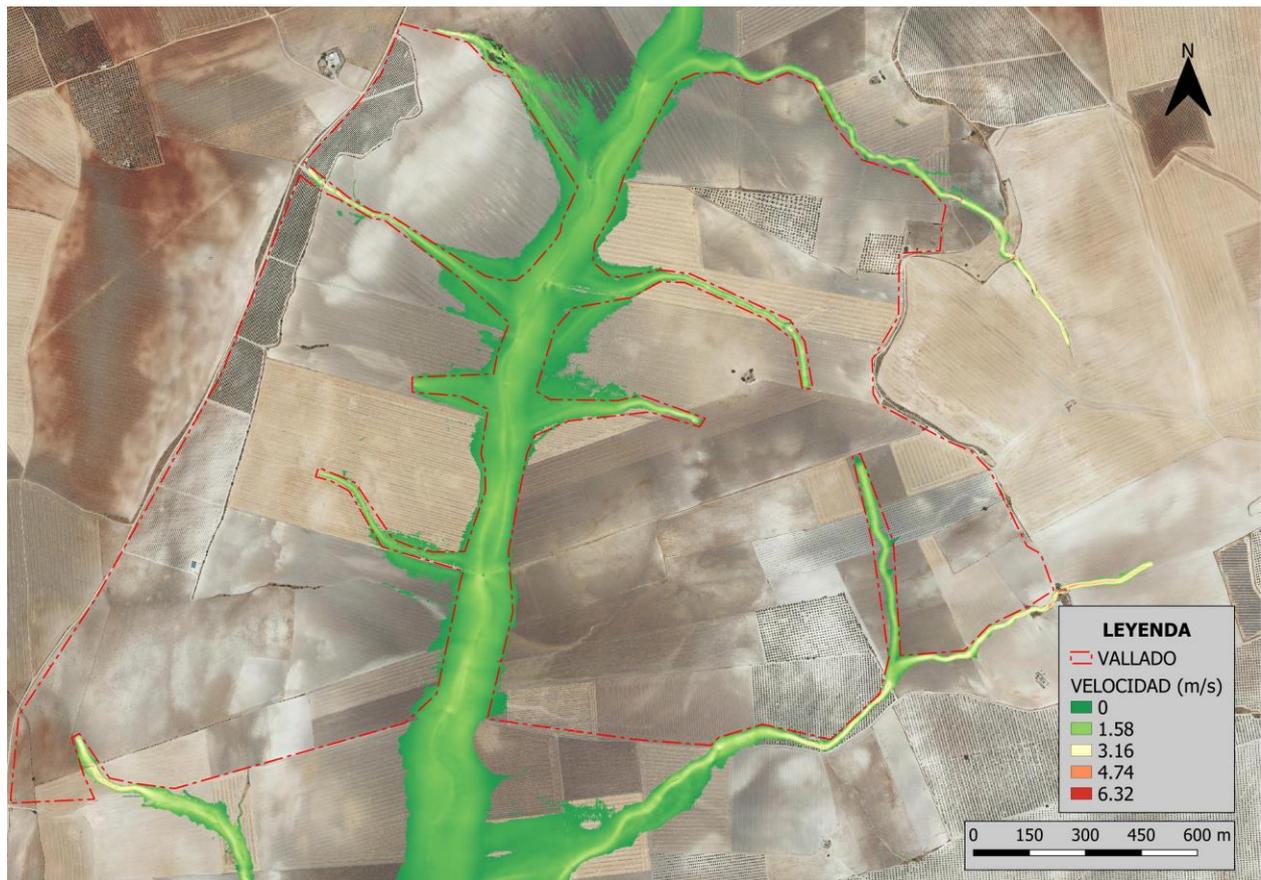


Ilustración 7.31. Mapa de velocidades máximas (TR 500 años)

Se observa que la velocidad máxima es de 6.32 m/s, la cual se da de manera puntual en un estrechamiento en una zona cercana a la entrada del arroyo Innominado 14. En el arroyo de la Albina se da un valor de velocidad máxima medio de aproximadamente 2.2 m/s, excepto en la zona de la entrada de caudal, que son mayores debido a que se hace más estrecho el cauce en esta zona. Mientras que en el resto de los cauces se dan unos valores en torno a los 4.7 m/s. Estos valores máximos de velocidad se dan siempre en el centro de los cauces.