

Estudio hidrológico-hidráulico

**NORMAS URBANÍSTICAS MUNICIPALES**

Promotor:

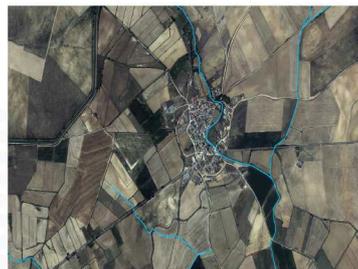
**AYTO. BOADILLA DEL CAMINO (PALENCIA)**

Junio

**2017**

Proyecto:

**ESTUDIO HIDROLÓGICO-  
HIDRÁULICO DEL TÉRMINO  
MUNICIPAL DE BOADILLA DEL  
CAMINO (PALENCIA)**



Edificio CEEI, Aeropuerto de Burgos, of.5  
09007 BURGOS  
Tel-fax: 947 04 74 04  
[www.alberamedioambiente.com](http://www.alberamedioambiente.com)

**ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	6
2.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	6
2.2. FIGURAS DE PROTECCIÓN.....	7
2.3. SITUACIÓN Y CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS.....	8
2.4. GEOLOGÍA Y SUELOS.....	10
2.5. CLIMA .....	12
2.6. VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO .....	14
3. MARCO NORMATIVO .....	15
3.1. COMUNITARIO .....	15
3.2. ESTATAL.....	15
4. INFORMACIÓN DE PARTIDA .....	16
5. ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO .....	17
5.1. ANÁLISIS DE GABINETE.....	17
5.2. ANÁLISIS DE CAMPO .....	22
6. ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS .....	24
6.1. ESTUDIO MEDIANTE ORTOFOTOS HISTÓRICAS.....	24
6.2. SERIES HISTÓRICAS DE INUNDACIONES .....	24
7. ESTUDIO HIDROLÓGICO .....	26
7.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y TIEMPO DE CONCENTRACIÓN .....	26
7.2. INTENSIDADES DE LLUVIA.....	28
7.3. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA .....	30
7.4. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD .....	33
7.5. CÁLCULO DE CAUDALES.....	33
8. ESTUDIO HIDRÁULICO .....	38
8.1. INTRODUCCIÓN.....	38
8.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	38
8.3. MODELO IBER.....	50
8.3.1. INTRODUCCIÓN AL MODELO IBER.....	50
8.3.2. OBJETIVOS Y BASES DEL MODELO .....	50
8.4. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA.....	52
8.4.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE ESTUDIO.....	52

8.4.2. DATOS DE ENTRADA .....	54
8.5. INUNDABILIDAD PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO .....	56
8.5.1. DEFINICIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE CÁLCULO .....	56
8.5.2. AVENIDA DE 5 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO (MÁXIMA CRECIDA ORDINARIA) ....	57
8.5.3. AVENIDA DE 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	59
8.5.4. AVENIDA DE 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	60
8.5.5. ZONA DE FLUJO PREFERENTE .....	62
8.6. INUNDABILIDAD EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE BOADILLA DEL CAMINO .....	62
8.6.1. AVENIDA DE 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	62
8.6.2. AVENIDA DE 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO .....	64
9. HOJA DE FIRMAS.....	67
10. ANEXOS Y PLANOS .....	68

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como objeto principal estimar las líneas de inundación que se pueden producir debido a caudales de períodos de retorno elevados en el arroyo de la Espineda en el término municipal de Boadilla del Camino, en la provincia de Palencia (Castilla y León).

Para ello, se ha llevado a cabo, en primer lugar, un estudio hidrológico de las cuencas de los citados cauces con el objetivo de obtener sus caudales punta correspondientes a los períodos de retorno de 5, 100 y 500 años, a su paso por el término municipal de Boadilla del Camino (Palencia).

A continuación, se muestra una imagen con la situación general del núcleo de población y el mencionado cauce a su paso por el mismo.



**Figura 1.** Ortofoto de la zona de estudio.

Este estudio servirá para realizar la delimitación cartográfica de “zonas de inundación excepcional”, es decir, áreas inundables para avenidas de período de retorno de 100 y 500 años según lo establecido por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (Acuerdo del consejo de ministros por el que se aprueba la directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de inundaciones), asimilables a las “zonas de alta probabilidad de inundación” de la Directiva 2007/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación y a la “zonas de peligrosidad alta” de la Guía Metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España.

Se entenderán como “zonas inundables” las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de 500 años y como “zonas de flujo preferente” aquellas constituidas por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde,

JUNIO 2017

para la avenida de 100 años de período de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, (es decir, donde el calado sea superior a 1 m., la velocidad sea superior a 1 m/s o el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m<sup>2</sup>/s.) según lo establecido en el 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.

Para la delimitación cartográfica de zonas inundables se ha tenido en cuenta, sobre todo, lo expuesto en las siguientes normas y recomendaciones:

- Directiva 2007/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.
- Resolución de 31 de enero de 1995, de la Secretaría de Estado de Interior, por la que se dispone la publicación del acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones.
- 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.
- Guía Metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España. Ministerio de la Vivienda. 2008.



**Figura 2.** Imagen del cauce a su paso por el núcleo urbano.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio está situado en la hoja del Mapa Topográfico Nacional número 236 (Astudillo), más concretamente en el paso del arroyo de la Espineda por la localidad de Boadilla del Camino. Para acceder a la citada población, sólo se puede hacer por la carretera provincial P-432. Se encuentra cercano a Frómista.



Figura 3. Mapa de situación general.

Boadilla del Camino es un municipio de la provincia de Palencia (Castilla y León), en el que coinciden tres singularidades geográficas:

- Tierra de Campos, Boadilla es el límite este de la gran estepa castellana, con sus campos de cereal y sus suaves ondulaciones.
- El Camino de Santiago, desde el siglo X, cuando la frontera cristiano-musulmana se estabilizó en el Duero, los peregrinos fueron abandonando los caminos del Norte para

JUNIO 2017

dirigirse a Santiago por una ruta más llevadera, el camino francés, donde la siguiente localidad es Frómista.

- El Canal de Castilla, iniciado a finales del siglo XVIII, esta obra hidráulica rasga el paisaje de Boadilla del Camino.

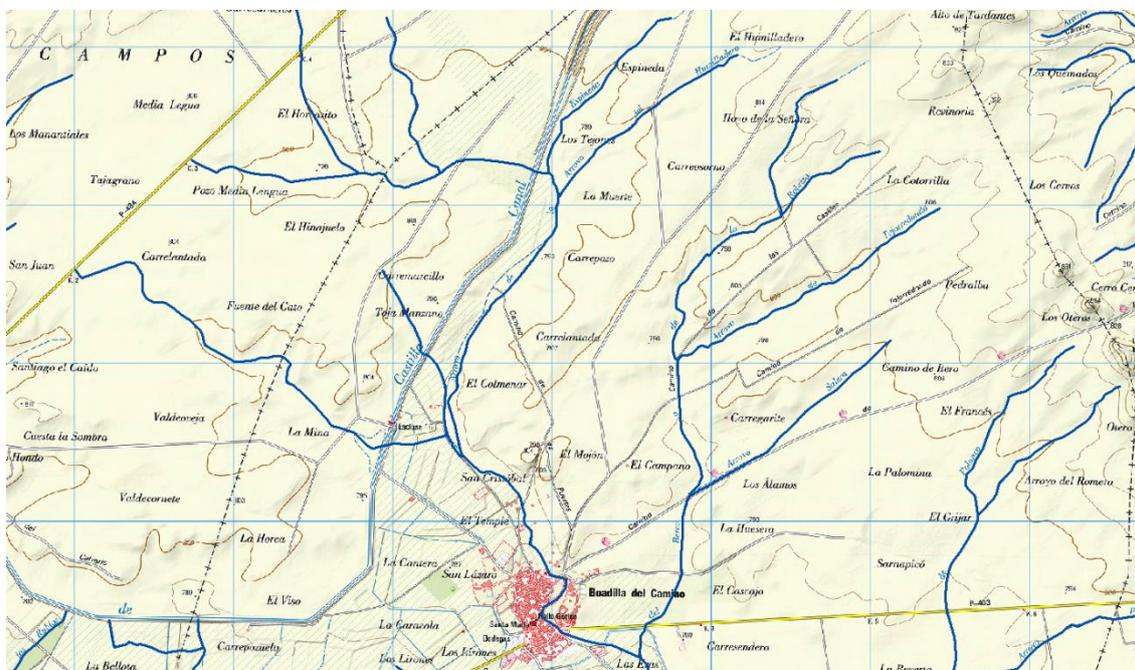


Figura 4. Mapa de situación.

## 2.2. FIGURAS DE PROTECCIÓN

En el municipio de Boadilla del Camino se encuentra una figura de protección, hay un LIC (Lugar de Interés Comunitario), que forma parte del ES0000205, Lagunas del Canal de Castilla. Se encuentra en la zona noroeste del municipio como se puede observar en el siguiente plano.

JUNIO 2017

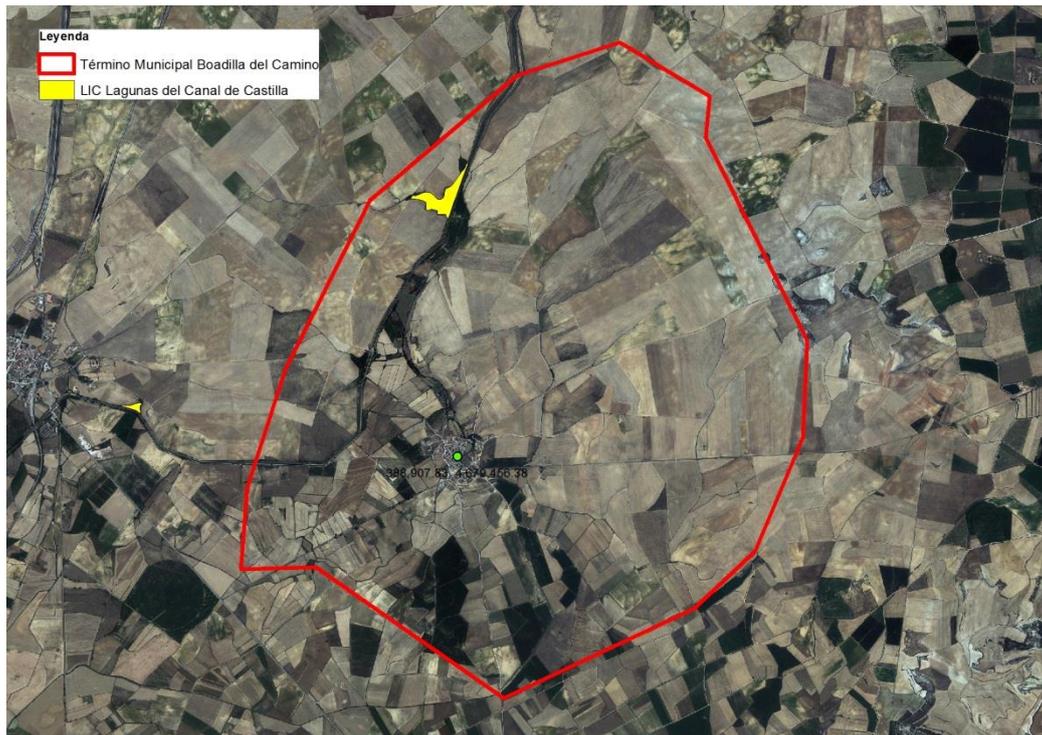


Figura 5. Lugar de Interés Comunitario existente en la zona de estudio.

### 2.3. SITUACIÓN Y CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS

El arroyo de la Espineda se encuentra dentro de la cuenca del Duero. Nace en el término municipal de Boadilla del Camino, y le llegan como afluentes varios arroyos, que están secos la mayor parte del año. Una vez cruzado el núcleo urbano de Boadilla del Camino, unos metros aguas abajo, desemboca en el arroyo del Berco o de la Robriza, el cual desemboca en el río Ucieza, aguas arriba de la localidad de Piña de Campos. El río Ucieza es a su vez afluente del río Carrión, produciéndose su unión aguas arriba de Monzón de Campos. El río Carrión finaliza su recorrido desembocando en el río Pisuerga, poco antes de llegar a la villa de Dueñas, y este río Pisuerga desemboca en el río Duero, cerca de Geria, provincia de Valladolid.

JUNIO 2017

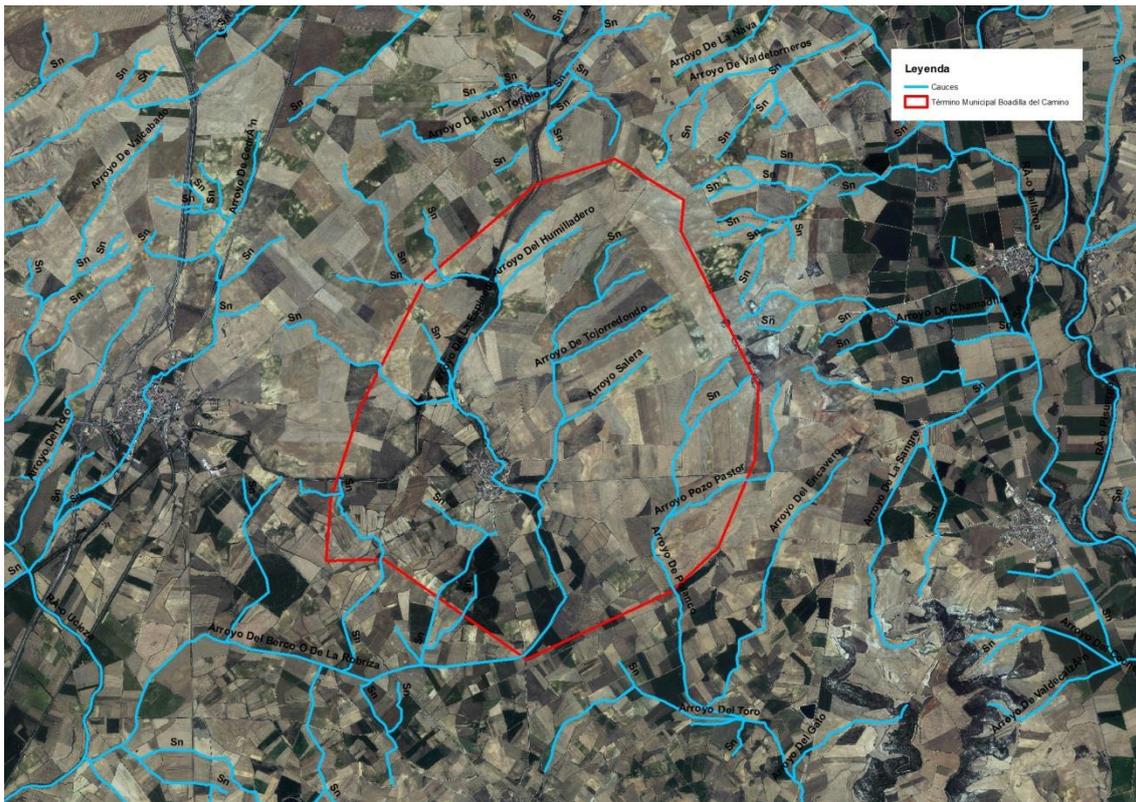


Figura 6. Red hidrográfica de la zona de estudio

El arroyo de la Espineda es un arroyo típico de la Tierra de Campos, que está flanqueado por las tierras cerealistas de esta zona. Es un cauce muy pequeño cuya geometría va variando levemente. Es un arroyo con escasa pendiente por el terreno donde se encuentra, y que en algunas zonas si no hay suficiente agua que fluya o encuentra un mínimo obstáculo va formando pequeñas charcas que retienen el agua. El cauce se encuentra bordeado por una vegetación de ribera muy espesa, que incluso en ocasiones coloniza el interior de cauce, de manera, que hay veces que no se distingue el arroyo si no se está muy próximo a él. Es un arroyo por el que circula escaso o nulo caudal.



Figura 7. Vegetación de ribera que rodea al cauce.

Debido a la importancia del canal de Castilla para la zona de estudio, se hace una breve reseña de esta impresionante obra de ingeniería hidráulica. Se construyó entre mediados del siglo XVIII y el primer tercio del siglo XIX, tenía como objetivo principal servir como vía de comunicación y transporte que solucionase el problema de aislamiento que sufría la meseta castellana, debido a un relieve complicado y una deficiente red viaria. Presenta tres ramales: Ramal Norte, Ramal de Campos y Ramal Sur. El ramal que se encuentra en la zona objeto de este estudio es el Ramal Norte, que consta de 75 km, es el ramal con más desnivel, requirió la construcción de 24 esclusas. Toma sus aguas del Pisuerga, en Alar del Rey, y finaliza en el río Carrión, en Calahorra de Ribas.

## 2.4. GEOLOGÍA Y SUELOS

Esta parte central de la cuenca del Duero, meseta de Castilla y León, está constituida por materiales neógenos, con sólo cubiertas delgadas de depósitos aluviales cuaternarios a lo largo de los principales valles.

La geología del límite municipal de Boadilla del Camino está encuadrada dentro del Terciario Neógeno, y más concretamente en el Mioceno Medio, dentro de la etapa del Vindoboniense inferior. Los materiales dominantes son limos y arcillas arenosas, y en alguna zona también se encuentran arenas y areniscas.

Las características sedimentológicas de este tramo de Tierra de Campos ( $T_{c11}^{Bb}$ ), es que está formado por limos arenosos con zonas de paso a niveles arcillosos y arenosos más netos. En la parte superior son frecuentes las intercalaciones arenosas, lentejones de escaso desarrollo lateral con frecuente estratificación cruzada y transición suave a limos. Las granulometrías son

siempre de tamaños finos, el tamaño medio de las arenas es de 0,10-0,20 mm, mientras que en los limos el tamaño medio es de 0,012-0,015 mm.

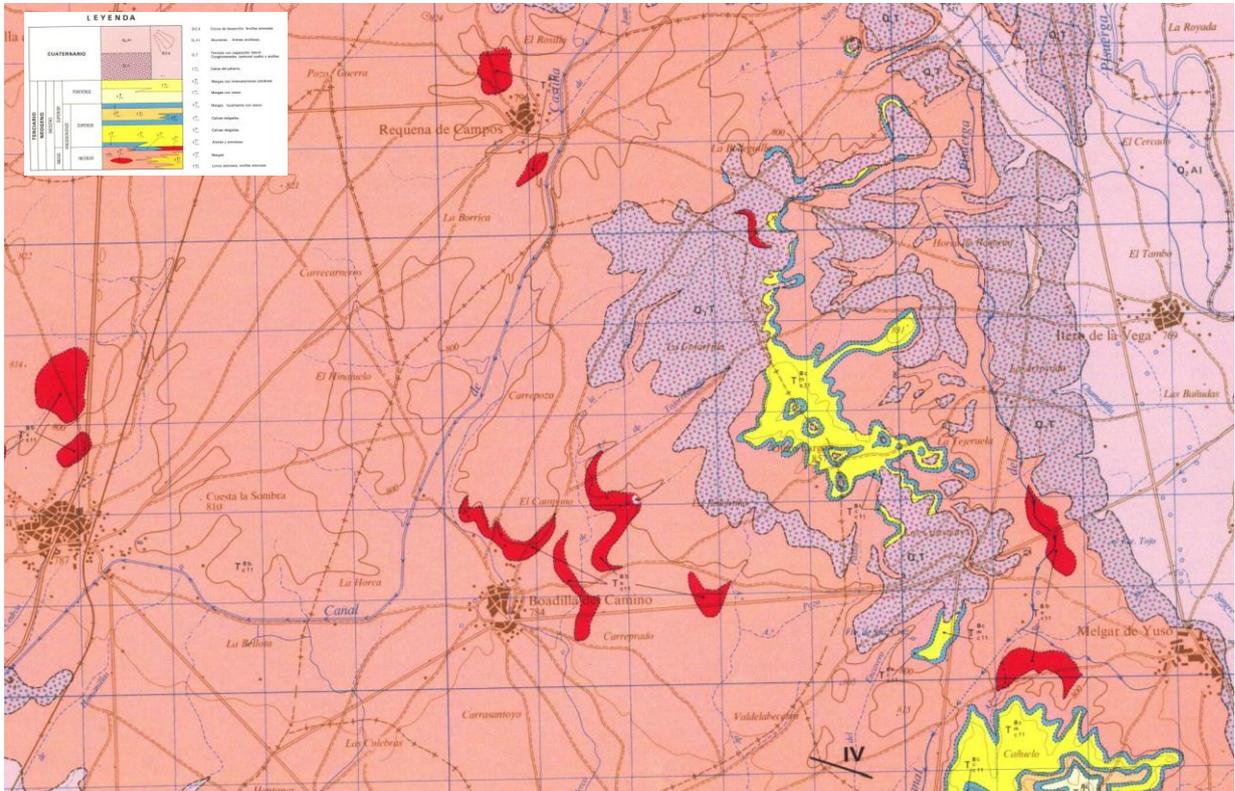


Figura 8. Mapa geológico

Desde el punto de vista edafológico, en esta zona los suelos pertenecen fundamentalmente a los órdenes Entisol, Inceptisol y Alfisol. Según el Mapa de Suelos de España (1:1.000.000), en la zona de estudio se encuentran los siguientes suelos, como puede observarse en la Figura 9:

- Inceptisol xerept, es un suelo poco evolucionado, más que los Entisoles, pero menos que la mayoría de los otros órdenes. Se pueden definir como suelos que presentan baja (o incluso media) evolución. Clase muy heterogénea, de difícil definición. Además, se encuentra dentro del suborden Xerepts, lo que significa que posee un régimen xérico.
- Alfisol xeralf, es un suelo con horizonte diagnóstico argílico saturado.
- Entisol orthent, es un suelo muy poco evolucionado, es el orden de suelos con más baja evolución. Sus propiedades están ampliamente determinadas, heredadas por el material original.

JUNIO 2017

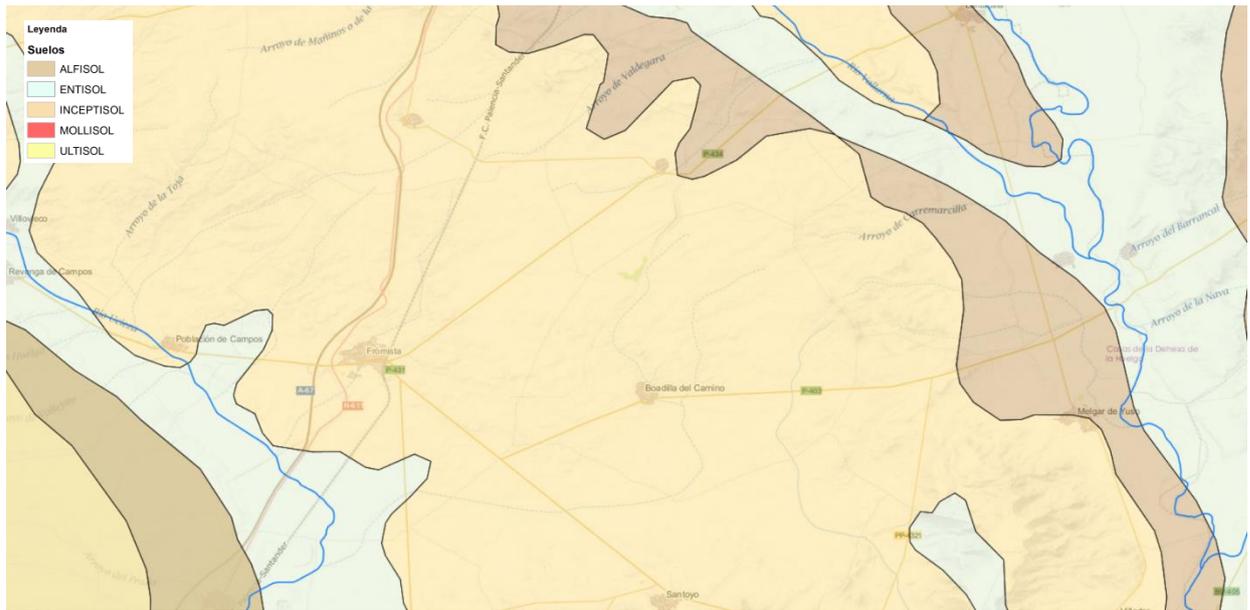


Figura 9. Mapa edafológico.

Desde el punto de vista hidrogeológico, los materiales que afloran no ofrecen gran interés. La caliza de los Páramos, con poca extensión superficial, no permite acumulaciones importantes de agua y los niveles calizos intermedios están, además, asociados a niveles yesíferos.

Las características de la región y su constitución litológica no presentan gran importancia en el aprovechamiento económico de los materiales.

## 2.5. CLIMA

En Boadilla del Camino, el clima es cálido y templado. La precipitación es significativa, con precipitaciones incluso durante el mes más seco. De acuerdo con la clasificación de Köppen y Geiger, el clima en esta zona se clasifica como Csb – Oceánico Mediterráneo (verano suave). Este clima es, muchas veces, de transición entre el Csa (mediterráneo) y el Cfb (oceánico). A diferencia del mediterráneo presenta un verano más suave, pero al contrario que en el oceánico hay estación seca y está en los meses más cálidos.

Se caracteriza porque la temperatura media del más cálido no supera los 22 °C, pero se disminuye a menos de los 10 °C durante cuatro o más meses al año.

La temperatura media anual es aproximadamente de 11.6 °C. La precipitación media anual es de 511 mm.

JUNIO 2017

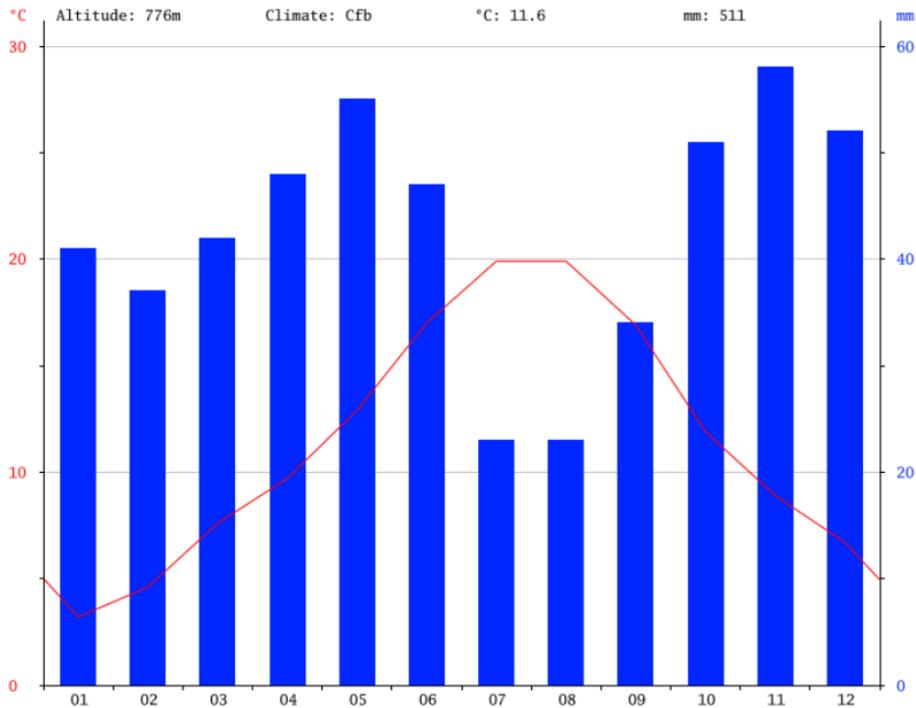


Figura 10. Climodiagrama de Boadilla del Camino.

El mes más seco es Julio con 23 mm. de lluvia, mientras que el mes con las mayores precipitaciones del año es Noviembre con 58 mm de promedio. El mes más caluroso del año es Julio con un promedio de 19.9 °C. El mes más frío del año es Enero con un promedio de 3.2 °C. La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 35 mm. Las temperaturas medias pueden variar durante el año en unos 16.7 °C.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	3.2	4.6	7.6	9.7	12.9	17	19.9	19.9	16.9	11.9	8.9	6.7
Temperatura min. (°C)	-0.5	0.1	3	4.2	7.3	10.6	12.6	13.2	10.6	6.6	4.6	3
Temperatura máx. (°C)	7	9.1	12.2	15.2	18.6	23.5	27.3	26.6	23.3	17.3	13.3	10.4
Temperatura media (°F)	37.8	40.3	45.7	49.5	55.2	62.6	67.8	67.8	62.4	53.4	48.0	44.1
Temperatura min. (°F)	31.1	32.2	37.4	39.6	45.1	51.1	54.7	55.8	51.1	43.9	40.3	37.4
Temperatura máx. (°F)	44.6	48.4	54.0	59.4	65.5	74.3	81.1	79.9	73.9	63.1	55.9	50.7
Precipitación (mm)	41	37	42	48	55	47	23	23	34	51	58	52

Figura 11. Tabla climática de Boadilla del Camino.

## 2.6. VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO

Se presenta la vegetación y los usos del suelo en la zona de estudio según el SIOSE, ya que son los que posteriormente se utilizarán para realizar la simulación hidráulica y los que mayor interés tienen en este estudio.

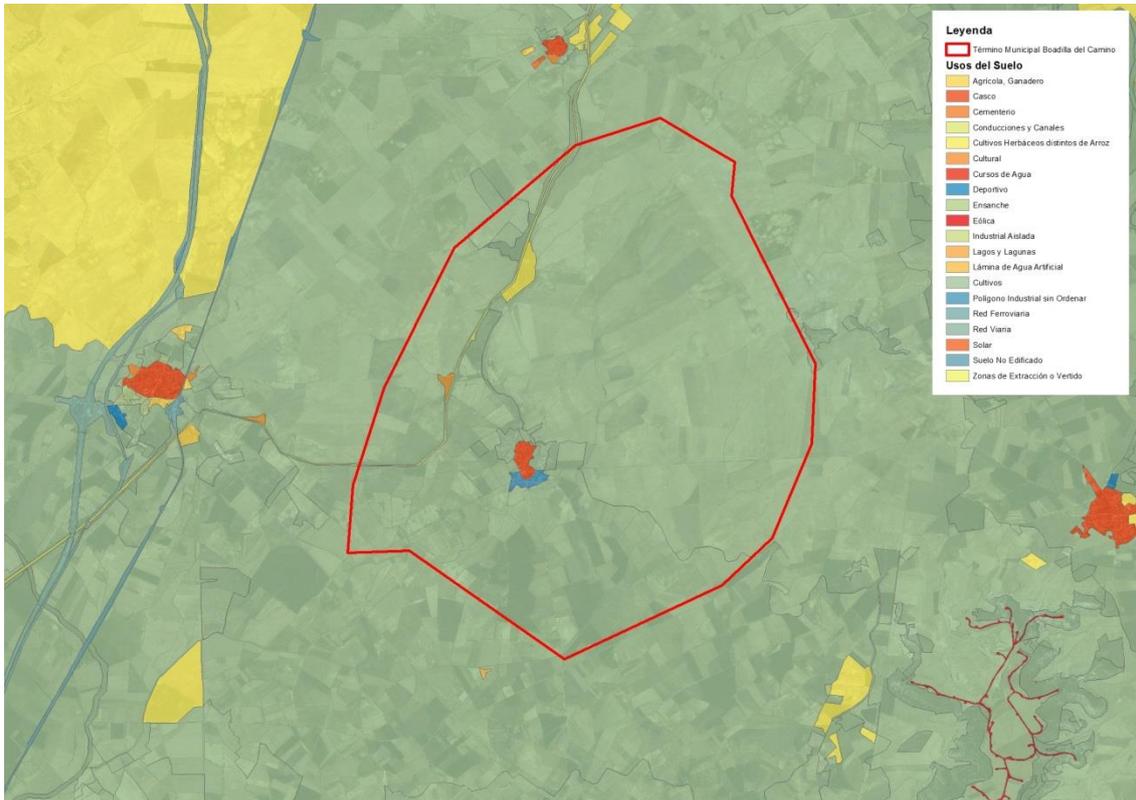


Figura 12. Mapa de usos del suelo según el SIOSE 2011.

### 3. MARCO NORMATIVO

#### 3.1. COMUNITARIO

- Directiva 2007/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.
- Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 85/337/CEE, del Consejo, de 27 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental (DOCE L 175 de 05/07/1985). Modificada por la Directiva 97/11/CE relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el Medio Ambiente.
- Directiva (CE) 01/42 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de junio de 2001, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el Medio Ambiente.
- Directiva (CE) 92/43 de 21/05/1992, de Conservación de hábitats naturales y fauna y flora silvestres (DOCE L 206 de 22/07/1992). Modificada por la Directiva (CE) 97/62 de 27/10/1997 (DOCE L 51 de 21/02/1997).

#### 3.2. ESTATAL

- Orden AAA/2056/2014, de 27 de octubre, por la que se aprueban los modelos oficiales de solicitud de autorización y de declaración de vertido.
- Real Decreto Legislativo 2/2008, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley del suelo.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
- 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.
- Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.
- Resolución de 31 de enero de 1995, de la Secretaría de Estado de Interior, por la que se dispone la publicación del acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones.
- Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.

#### 4. INFORMACIÓN DE PARTIDA

La información con la que se ha contado para realizar el estudio es la siguiente:

- Información topográfica de la zona objeto de estudio en diferentes escalas, descargadas del Instituto Geográfico Nacional (IGN). En concreto, se han utilizado los productos del Modelo Digital del Terreno MDT05/MDT05-LiDAR y el LiDAR (.laz2x2 km).
- Fotografías aéreas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) facilitadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Base de datos SIOSE 2011 a escala 1:25.000, facilitada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Mapa de geología y edafología de España, facilitados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Red hidrológica principal, facilitada por la Confederación Hidrográfica del Duero.
- Informe sobre el avance de las normas urbanísticas municipales de Boadilla del Camino (Palencia), facilitado por la Confederación Hidrográfica del Duero.

## 5. ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO

En este informe se aborda un análisis geomorfológico basado especialmente en el estudio de las evidencias generadas por la circulación de las aguas sobre los terrenos inundables. Estas evidencias geomorfológicas podrían agruparse en función de su mayor o menor durabilidad en el tiempo de la siguiente forma:

- 1) Aquellas que muestran unas características que ponen de manifiesto su origen reciente, tendiendo a desaparecer o a camuflarse a corto plazo, y que en adelante serán denominadas como “evidencias efímeras”.
- 2) Aquellas evidencias que alteran sustancialmente la topografía del terreno y su morfología puede perdurar en la superficie de las zonas inundables durante décadas, formas ligadas a la actuación de procesos erosivos y sedimentarios, denominadas en adelante como “evidencias topográficas”.
- 3) Aquellas que pueden preservarse en el archivo sedimentario del sistema fluvial, abarcando periodos geológicos.

Todas ellas son evidencias indicadoras de la inundabilidad de los terrenos, aunque en este informe nos centremos en las dos primeras, ya que la tercera requeriría de un estudio muy extenso en el tiempo. De hecho, para este informe son más interesantes las dos primeras evidencias ya que se pueden reconocer mediante el modelo digital del terreno (MDT) y trabajos de campo, y además aportan información sobre la inundabilidad más reciente de la zona objeto de estudio.

### 5.1. ANÁLISIS DE GABINETE

El análisis se ha iniciado con el modelo de pendientes obtenido del MDT de la zona de estudio, donde en este caso, no se reconocen claramente los límites del cauce ligados a taludes así como las orillas, hasta unos metros aguas arriba del núcleo urbano de Boadilla del Camino, ya que se confunde con caminos y/o límites de parcelas, debido a que el cauce en algunos tramos presenta unas pendientes muy pequeñas y en algunos casos inapreciables. A partir del núcleo urbano de Boadilla del Camino, se observa más claramente el cauce ya que se encuentra mejor definido por sus dimensiones. Estas apreciaciones se pueden observar en las imágenes inferiores. A partir de donde se observa claramente el límite del cauce se ha representado con una capa en color azul claro, la cual definirá con casi total seguridad el DPH (Dominio Público Hidráulico).

Debido a las dimensiones del cauce y a la topografía de la zona, no se puede comprobar a través del mapa de pendientes que haya habido en la antigüedad otros cauces secundarios de este arroyo o que incluso haya pruebas de alguna inundación o desbordamiento de importancia.

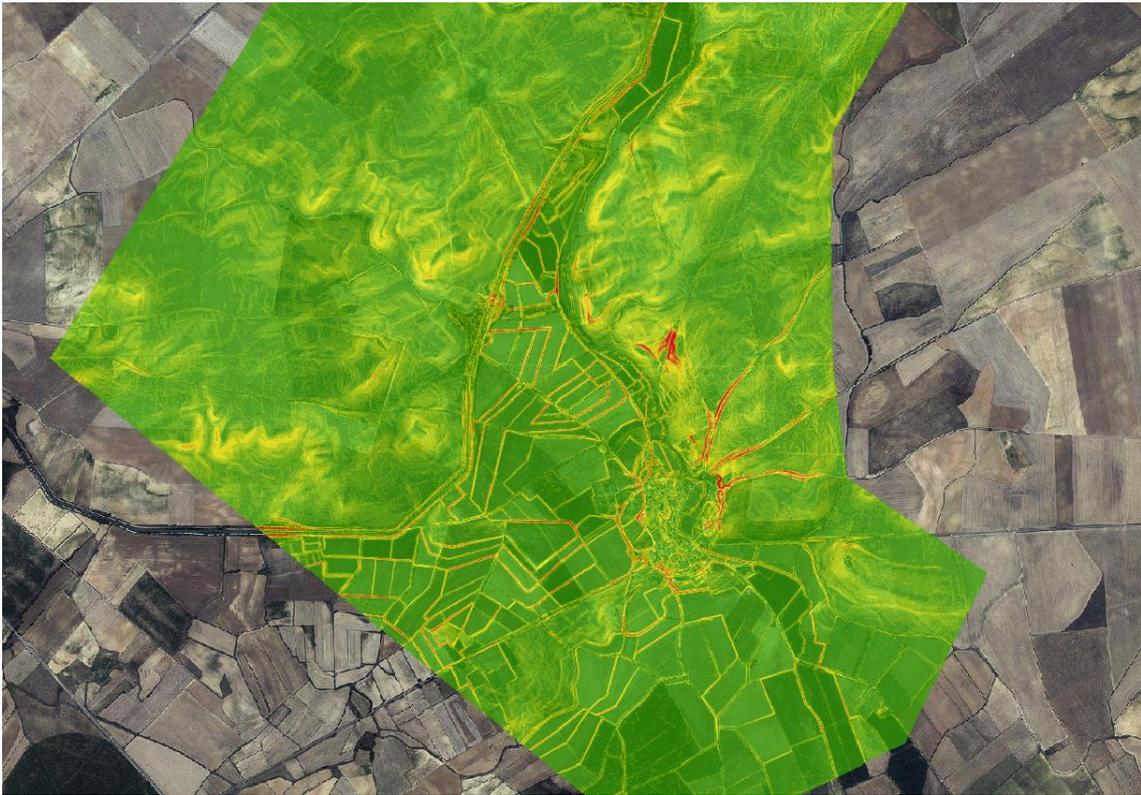


Figura 13. Mapa de pendientes de la zona de estudio obtenido a partir del LiDAR.

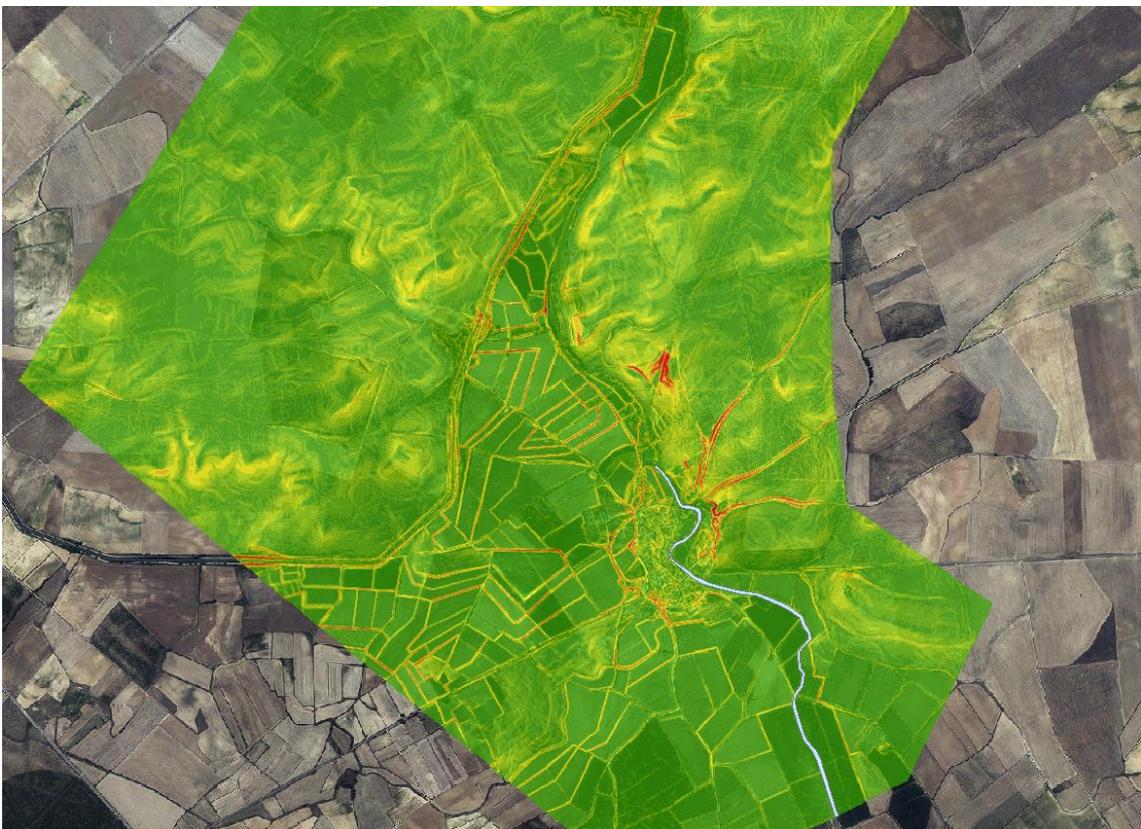


Figura 14. Definición del cauce a partir del mapa de pendientes.

El análisis de gabinete se ha continuado con un análisis de las ortofotos de la zona de estudio que se han podido recopilar. Se han obtenido ortofotos de distintos vuelos:

- Ortofoto Vuelo interministerial 1973-1986.
- Ortofoto Vuelo Nacional 1980-1986.
- Ortofoto Vuelo PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) 2005.
- Ortofoto Vuelo PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) 2011.
- Ortofoto Vuelo PNOA 2014.



**Figura 15.** Ortofoto Vuelo 1973-1986 sin límite del cauce (izquierda), con capa del límite del cauce (derecha).

JUNIO 2017



Figura 16. Ortofoto Vuelo 1980-1986 sin límite del cauce (izquierda), con capa del límite del cauce (derecha).



Figura 17. Ortofoto Vuelo PNOA 2005 sin límite del cauce (izquierda), con capa del límite del cauce (derecha).

JUNIO 2017



Figura 18. Ortofoto Vuelo PNOA 2011 sin límite del cauce (izquierda), con capa del límite del cauce (derecha).



Figura 19. Ortofoto Vuelo PNOA 2014 sin límite del cauce (izquierda), con capa del límite del cauce (derecha).

Como se puede observar en este análisis histórico de diferentes ortofotos, el límite del cauce que se llega a observar no ha variado mucho o casi nada desde el año 1973 hasta la actualidad. Lo que sí se puede observar es que las edificaciones en el núcleo urbano próximas al cauce no han aumentado, respetando los terrenos cercanos al arroyo.

## 5.2. ANÁLISIS DE CAMPO

Mediante una visita de campo se intenta validar todo lo analizado anteriormente en gabinete, principalmente los límites del cauce histórico. Por ello, en la visita de campo se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Reconocimiento morfológico en el terreno de los límites del cauce histórico.
- Reconocimiento de evidencias de actividad fluvial reciente y reiterada (evidencias efímeras y topográficas).
- Terrenos con vegetación de ribera.

En la visita de campo se comprobó que el límite del cauce del arroyo obtenido en el análisis de gabinete se corresponde con la realidad.



**Figura 20.** Tramo donde se pueden comprobar las pequeñas dimensiones del cauce.

En la visita de campo también se pudo comprobar que el cauce antes de llegar al núcleo urbano presenta tramos donde no se encuentra muy bien definido, ya que lo cruzan caminos y a veces se confunde con los límites de alguna parcela. Como se ha comentado anteriormente, en algunos tramos el cauce casi no tiene pendiente y es inapreciable. Antes de llegar al núcleo urbano el cauce natural es interrumpido por varias obras de paso, que actúan a modo de "cuello

JUNIO 2017

de botella”, lo que puede provocar que el agua se estanque en algunas zonas con caudales bajos. Una vez que llega a la localidad de Boadilla del Camino, el cauce ya se encuentra bien definido.



**Figura 21.** Una de las obras de de paso existentes en el arroyo antes de llegar al núcleo urbano.

La vegetación de ribera que acompaña al cauce hasta llegar al núcleo urbano es muy frondosa y espesa, haciendo incluso que desaparezca el cauce en algunos tramos. Una vez que alcanza la localidad, la vegetación de las orillas es más clara, aunque es verdad que hay mucha vegetación en el interior del cauce, incluso en el tramo urbano.

Tampoco se ha obtenido ninguna evidencia de inundaciones y/o desbordamientos.

## **6. ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS**

Este estudio se plantea, principalmente, en dos apartados:

- 1) Estudio evolutivo del medio fluvial mediante fotografías aéreas históricas. Este análisis intenta identificar las zonas más activas e inundables de la zona de estudio observado en diferentes fotografías aéreas disponibles.
- 2) Reconstrucción de series históricas de inundaciones. Este análisis intenta aumentar la precisión en la zonificación del área inundable al incorporar información basada en eventos reales, y a su vez es muy útil para la calibración de las simulaciones hidráulicas dentro del cálculo hidráulico de este informe.

### **6.1. ESTUDIO MEDIANTE ORTOFOTOS HISTÓRICAS**

En el apartado 5.1 de este informe, se ha realizado un análisis de las ortofotos que se han podido recopilar de la zona de estudio, pero como se puede observar en ellas, no se ha podido identificar ninguna zona, ni ningún signo de posibles inundaciones ocurridas en esta zona, por lo que con este análisis no se puede obtener ninguna conclusión en referencia a las inundaciones históricas.

### **6.2. SERIES HISTÓRICAS DE INUNDACIONES**

Se ha realizado una amplia búsqueda en diferentes webs y anuarios (base de datos de aforos del CEDEX, información de Confederación Hidrográfica del Duero, imágenes o vídeos en Internet, etc.) para intentar encontrar datos e información en referencia a posibles inundaciones sufridas en esta zona, sobre todo, en el tramo de estudio, pero no se ha encontrado nada, ya que no existe ningún punto de aforo en este tramo, ni existen datos históricos.

En referencia a las inundaciones, la única información que se ha podido obtener ha sido la aportada por la gente más anciana de la localidad de Boadilla del Camino, que nos ha comentado, que desde que ellos recuerdan y por lo que les habían dicho sus antepasados el pueblo nunca se había inundado, sólo en alguna rara ocasión había llegado a inundarse la fuente que hay junto al cauce, aguas abajo de un albergue de peregrinos, la que servía de abrevadero para los animales, y que incluso los caudales circulantes por el arroyo nunca habían inundado, ni sobrepasado el primer puente existente, en la entrada al núcleo urbano, y que dicho puente como se indica en un hito junto a él, fue construido en 1.917.

JUNIO 2017



**Figura 22.** Primer puente e hito donde indica la fecha de su construcción.



**Figura 23.** Zona de la fuente donde en alguna ocasión se producen pequeños desbordamientos.

## 7. ESTUDIO HIDROLÓGICO

Dado el objetivo del trabajo, que es el cálculo de caudales punta, y teniendo en cuenta también que las cuencas tienen el tamaño apropiado, para la realización del estudio, se han calculado los caudales máximos mediante el Método Racional Modificado propuesto por Témez en 1991.

Según la fórmula racional, dado un aguacero ideal de duración indefinida y con intensidad de lluvia constante, el caudal en el punto de desagüe de la cuenca irá aumentando hasta alcanzar el estado de equilibrio, momento en el que la intensidad de salida de agua de la cuenca se iguala con la de entrada. En ese instante el caudal se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q = K * \frac{C * I * A}{3,6}$$

Donde:

- Q: caudal en m<sup>3</sup>/s
- K: coeficiente de uniformidad
- C: coeficiente de escorrentía
- I: intensidad de lluvia en mm/h
- A: superficie de la cuenca en km<sup>2</sup>

Suponiendo un aguacero de duración indefinida, sería suficiente un determinado tiempo T<sub>c</sub> para alcanzar un máximo igual al caudal de equilibrio. Así, el cálculo de los caudales punta por el método racional se reduce al de los valores extremos de intensidad de precipitación en los intervalos de duración T<sub>c</sub> (tiempo de concentración) y al valor del coeficiente de escorrentía que puede esperarse en esos intervalos.

La formulación propuesta por Témez permite extender su campo de aplicación hasta valores del tiempo de concentración comprendidos entre 0,25 y 24 horas. Permite además tener en cuenta el efecto de no uniformidad de las lluvias en toda la cuenca y la variación del coeficiente de escorrentía en función de la intensidad de precipitación.

Para el presente trabajo se ha aplicado la fórmula racional a la cuenca del arroyo de la Espineda hasta el punto de salida del núcleo urbano de Boadilla del Camino. A continuación, se describen los cálculos realizados para cada apartado.

### 7.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

En primer lugar, se han delimitado la cuenca hidrográfica del arroyo de la Espineda desde su cabecera hasta su punto de salida de la población de Boadilla del Camino, para poder aplicar la fórmula racional.

En la siguiente imagen se puede observar la cuenca natural del arroyo de la Espineda:

JUNIO 2017

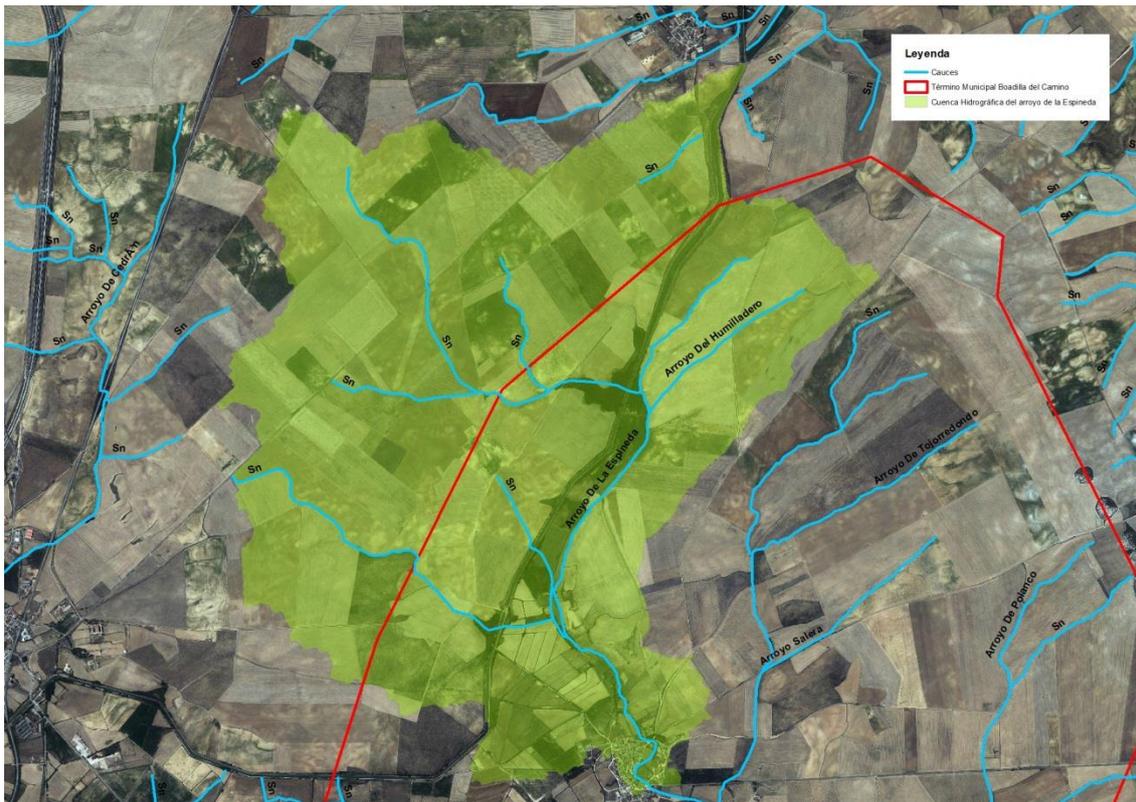


Figura 24. Cuenca natural del arroyo de la Espineda.

Conviene recordar que se toma como punto final de la cuenca en estudio la salida del núcleo urbano de Boadilla del Camino para poder obtener los datos de caudales del lado de la seguridad.

Dentro de las características físicas de la cuenca, un parámetro de especial relevancia y que será de utilidad más adelante es el tiempo de concentración, que se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre.

Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado (aquél desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida), y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante, a la vez que máximo.

Su expresión de cálculo es la siguiente:

$$T_c = 0,3 * \left( \frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0,76}$$

Donde:

- L, es la longitud del cauce principal en km
- J, la pendiente media de del mismo en tanto por uno.

En el caso de las cuencas de estudio, los resultados son los siguientes:

Tabla 1. Tiempos de concentración de la cuenca.

Cuenca	Cota máx (m)	Cota mín (m)	L (km)	J	Tc (horas)
Arroyo Espineda	820	781,6	9,500	0,004	4,731

## 7.2. INTENSIDADES DE LLUVIA

La intensidad de lluvia se calcula a partir de la expresión

$$I = \left(\frac{P_d}{24}\right) * \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\frac{28^{0,1-t^{0,1}}}{28^{0,1}-1}}$$

Donde:

- Pd: precipitación total diaria correspondiente a un período de retorno, en mm.
- I: intensidad horaria de precipitación correspondiente a dicho período de retorno, en mm/h.
- I1/I<sub>d</sub>: parámetro característico del lugar. En este caso, su valor es de 10.

Dado que ya se han calculado los respectivos tiempos de concentración, para completar el cálculo del caudal únicamente resta determinar la precipitación correspondiente a cada período de retorno en cada cuenca. Para ello, se ha empleado la metodología descrita en la publicación “*Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*”, del Ministerio de Fomento, en el que se realiza un análisis regionalizado de las precipitaciones máximas mediante el uso de la función de distribución SQRT-Max.

Aunque para un estudio de inundabilidad sólo harían falta los caudales para los periodos de retorno de 100 y 500 años, en este caso como lo solicita la Confederación Hidrográfica del Duero, también se considera el caudal para la máxima crecida ordinaria. Según los cálculos, para este cauce la máxima crecida ordinaria sería para un periodo de retorno entre 3,5-4 años, pero para estar del lado de la seguridad se considerará el caudal para el periodo de retorno de 5 años.

A continuación, se muestra una imagen de la zona de estudio en el mapa de la citada publicación:

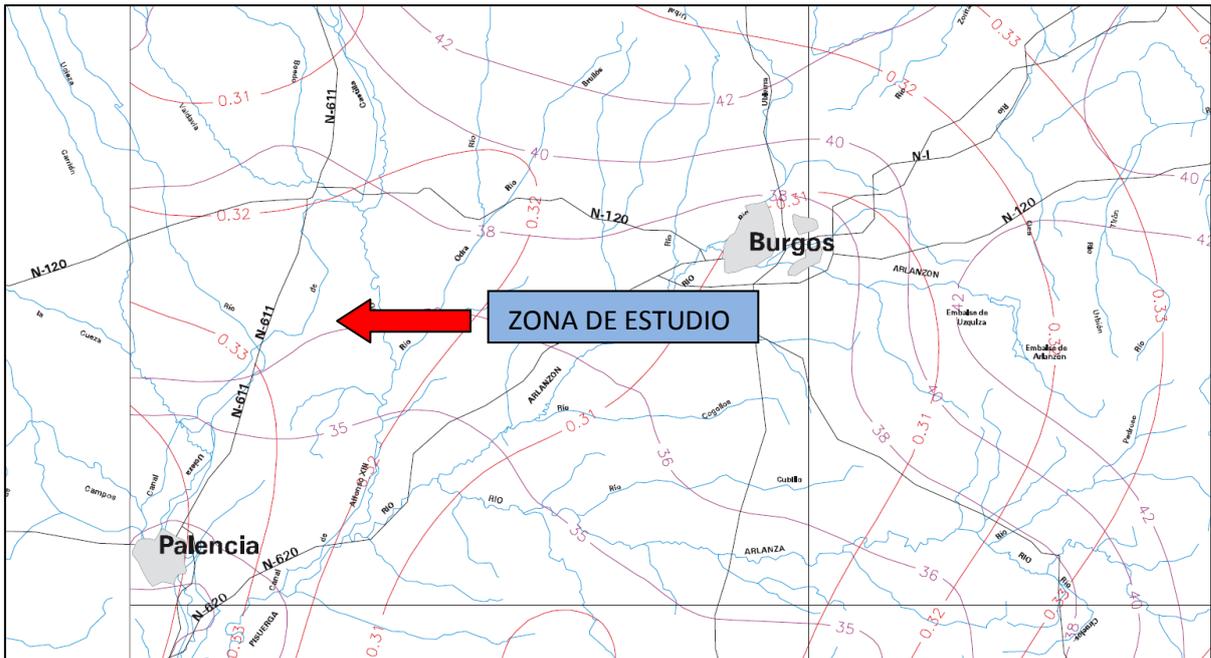


Figura 25. Mapa de la zona de estudio de la publicación "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular".

Así pues, siguiendo los pasos marcados por la metodología, las precipitaciones obtenidas para la cuenca en estudio son las siguientes:

Tabla 2. Precipitaciones máximas diarias obtenidas para la cuenca.

	T5	T100	T500
P24 (mm/día)	43,27	75,53	95,87

A continuación, se muestra una tabla resumen con los cálculos realizados para obtener la intensidad media de precipitación:

Tabla 3. Intensidades en la cuenca.

Cuenca	T	I <sub>1</sub> /I <sub>d</sub>	PMax24	I
Arroyo Espineda	5	10	43,27	6,773
	100	10	75,53	11,823
	500	10	95,87	15,006

### 7.3. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía marca el grado de infiltración del agua de lluvia por parte del suelo, y por lo tanto refleja el caudal de agua circulante por la superficie del terreno en forma de escorrentía, es decir, define el concepto de lluvia neta.

Su fórmula viene dada por la siguiente expresión:

$$C = \frac{\left(\frac{P}{P_0} - 1\right) \left(\frac{P}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P}{P_0} + 11\right)^2}$$

Donde:

- P: es la precipitación máxima diaria para el periodo de retorno considerado.
- P0: es el umbral de escorrentía que determina la lluvia neta.

Por lo tanto, en primer lugar hay que calcular el parámetro P0, para lo cual se emplean las siguientes tablas basadas en los usos de suelo de la región, la pendiente y el grupo de suelo en función de su capacidad de infiltración (clasificación basada en la textura del suelo).

Las tablas son las siguientes:

**Tabla 4.** Números de las curvas de escorrentía para los complejos hidrológicos "suelo-cubierta". Condición II.  
Fuente: U.S. Soil Conservation Service.

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS	GRUPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	>3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	<3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	>3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	<3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	>3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	<3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	>3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	<3	R/N	30	19	13	8
Rotación de cultivos densos	>3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	<3	R/N	47	25	16	13
Praderas	>3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	*	33	18	13
		Muy buena	*	41	22	15
	<3	Pobre	58	25	12	7
		Media	*	35	17	10
		Buena	*	*	22	14
		Muy buena	*	*	25	16
Plantaciones regulares aprovechamiento forestal	>3	Pobre	62	26	15	10
		Media	*	34	19	14

JUNIO 2017

	<3	Buena	*	42	22	15	
		Pobre	*	34	19	14	
		Media	*	42	22	15	
		Buena	*	50	25	16	
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.)		Muy clara		40	17	8	5
		Clara		60	24	14	10
		Media	*	34	22	16	
		Espesa	*	47	31	23	
		Muy espesa	*	65	43	33	

1. N: denota cultivo según las curvas de nivel.

R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente.

2. Las zonas abancaladas se incluirán entre las de pendiente menor del 3%.

**Tabla 5:** Tablas para la estimación inicial del umbral de escorrentía Po (mm).

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE (%)	UMBRAL DE ESCORRENTÍA (mm)
Rocas permeables	>3	3
	<3	5
Rocas impermeables	>3	2
	<3	4
Firmes granulares sin pavimento		2
Adoquinados		1,5
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1

**Tabla 6.** Tabla de la clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía.

GRUPO	INFILTRACION	POTENCIA	TEXTURA	DRENAJE
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo)	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el grupo D

Dentro de los diferentes usos del suelo que existen en ambas cuencas, se han elegido los suelos de peores características hidrológicas para estar del lado de la seguridad.

De esta manera, una vez realizado el estudio de los usos de suelo y pendientes de la zona de trabajo se obtienen los siguientes valores de P0 para la cuenca objeto de estudio. A continuación, se muestra una tabla resumen con los cálculos realizados para obtener el coeficiente de escorrentía de la cuenca:

**Tabla 7.** Valores de los coeficientes de escorrentía.

Cuenca	T	Po	P	P/Po	C
Arroyo Espineda	5	10,1	43,27	4,284	0,384
	100	10,1	75,53	7,478	0,578
	500	10,1	95,87	9,492	0,657

#### 7.4. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

El coeficiente de uniformidad se calcula a partir de la fórmula:

$$K = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14}$$

En la que Tc es el tiempo de concentración en horas.

Los valores por cuencas son los siguientes:

**Tabla 8.** Tablas para la estimación inicial del umbral de escorrentía Po (mm).

Cuenca	K
Arroyo Espineda	1,333

#### 7.5. CÁLCULO DE CAUDALES

Una vez calculados todos los parámetros necesarios, únicamente hay que aplicar la fórmula racional, y se obtienen los caudales máximos en la sección de salida de la cuenca objeto de estudio para cada período de retorno:

Tabla 9. Caudales máximos para la cuenca.

Cuenca	T	K	A (km <sup>2</sup> )	C	I (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Arroyo Espineda	5	1,333	15,20	0,384	6,733	14,591
	100	1,333	15,20	0,578	11,823	38,392
	500	1,333	15,20	0,657	15,006	55,372

Se comparan estos caudales con los obtenidos para la misma cuenca y el mismo punto en la aplicación desarrollada por el CEDEX denominada CAUMAX, y se comprueba, como se puede observar en la imagen inferior que son similares.

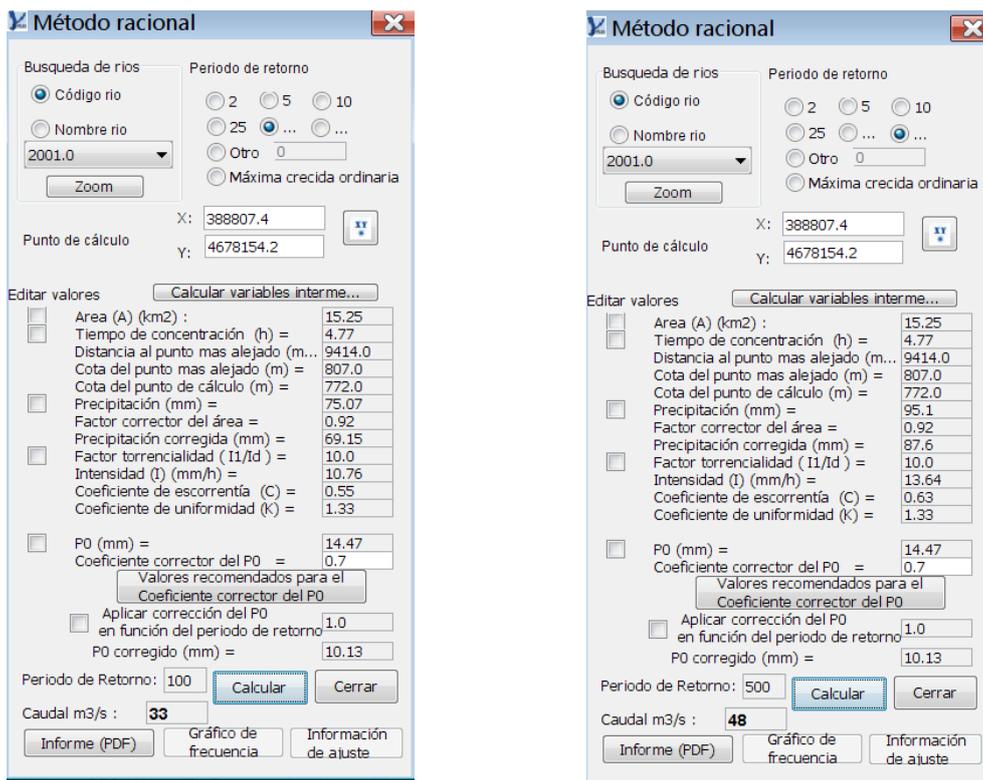


Figura 26. Caudales máximos para la cuenca de estudio obtenidos mediante la aplicación CAUMAX.

Se puede comprobar que los caudales máximos calculados en este estudio son algo superiores a los de CAUMAX, debido a que se han calculado las diferentes variables del lado de la seguridad, por lo que es normal que sean algo mayores.

Una vez analizados estos caudales y realizado el trabajo y las visitas de campo, se comprueba que estos caudales para dichos periodos de retorno no pueden producirse en la realidad, ya que como se analiza en el apartado **8.2 Descripción de la zona de estudio**, existe una barrera permanente que es el canal de Castilla y que impide que toda la cuenca vertiente natural desagüe esos caudales en el arroyo de la Espineda a su paso por el núcleo urbano, ya que aguas arriba del canal de Castilla se produce un taponamiento debido a las obras de paso existentes para los pequeños cauces existentes en esa zona de la cuenca.

Por lo que aplicando el funcionamiento hidrológico lógico de la cuenca según se encuentra actualmente, desde hace muchos años, concretamente desde mediados del siglo XVIII o primer tercio del siglo XIX, se calcularán los caudales máximos para la cuenca vertiente (Figura 27) al arroyo de la Espineda en la margen izquierda del canal de Castilla, y a los cuales se les añadirán los caudales máximos que dejan pasar las obras de paso que cruzan el canal de Castilla transversalmente para poder desaguar los pequeños cauces que se encuentran a la derecha del canal de Castilla. Estas obras de paso son culverts de pequeñas dimensiones que permiten el paso de un caudal máximo calculado de  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , estando del lado de la seguridad, y en la cuenca objeto de estudio se han localizado dos obras de paso.



Figura 27. Cuenca del arroyo de la Espineda.

Realizando los mismos cálculos hidrológicos anteriores, pero para esta cuenca más pequeña, los caudales máximos son los siguientes:

Tabla 10. Tiempos de concentración de la cuenca.

Cuenca	Cota máx (m)	Cota mín (m)	L (km)	J	Tc (horas)
Arroyo Espineda	817	781,6	5,500	0,006	2,859

Tabla 11. Precipitaciones máximas diarias obtenidas para la cuenca.

	T5	T100	T500
P24 (mm/día)	43,27	75,53	95,87

Tabla 12. Intensidades en la cuenca.

Cuenca	T	$I_1/I_d$	PMax24	I
Arroyo Espineda	5	10	43,27	9,460
	100	10	75,53	16,513
	500	10	95,87	20,959

Tabla 13. Valores de los coeficientes de escorrentía.

Cuenca	T	Po	P	P/Po	C
Arroyo Espineda	5	10,1	43,27	4,284	0,384
	100	10,1	75,53	7,478	0,578
	500	10,1	95,87	9,492	0,657

Tabla 14. Tablas para la estimación inicial del umbral de escorrentía Po (mm).

Cuenca	K
--------	---

JUNIO 2017

Arroyo Espineda	1,210
-----------------	-------

Tabla 15. Caudales máximos para cada cuenca y periodo de retorno.

Cuenca	T	K	A (km <sup>2</sup> )	C	I (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Arroyo Espineda	5	1,210	4,850	0,384	7,3120	5,916
	100	1,210	4,850	0,578	16,513	15,565
	500	1,210	4,850	0,657	20,959	22,450

Por lo tanto, sumando a estos caudales los caudales de las obras de paso, es decir, un total de 3 m<sup>3</sup>/s, los caudales definitivos de cálculo para este estudio son los siguientes:

Tabla 16. Caudales para los diferentes cursos de agua.

CUENCA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
	T-5	T-100	T-500
Arroyo de la Espineda	8,916	18,565	25,450

Se consideran como definitivos estos caudales máximos para cada periodo de retorno asociado, y son los caudales que se utilizarán en las simulaciones hidráulicas.

## 8. ESTUDIO HIDRÁULICO

### 8.1. INTRODUCCIÓN

Se expone a continuación el estudio hidráulico realizado para el arroyo de la Espineda aguas abajo de su paso por el núcleo urbano de Boadilla del Camino con el objeto de determinar la distribución de caudales en la zona para los periodos de retorno de T=5, 100 y 500 años. El conocimiento de dicha distribución de caudales sirve como base para determinar las láminas de inundación de dichos cauces.

Los caudales introducidos en el modelo hidráulico están definidos por los caudales del arroyo de la Espineda a su paso por la localidad de Boadilla del Camino. Estos caudales han sido determinados en el estudio hidrológico comentado en el apartado anterior de este informe.

La zona estudiada ha sido la comprendida en las inmediaciones de la población de Boadilla del Camino, concretamente desde unos 300 metros aguas arriba antes de la entrada en el núcleo urbano siguiendo el cauce del arroyo de la Espineda; y aproximadamente unos 100 metros aguas abajo de la salida del pueblo.

Se han considerado estas distancias como los límites de la zona de simulación hidráulica, ya que tras varios análisis previos se ha comprobado que el flujo de agua llega estabilizado a la zona objeto de estudio, sin que las condiciones de contorno de entrada y salida de los flujos tengan influencia en esa zona de estudio. De hecho, se ha ampliado algo más la zona de simulación hidráulica para estar del lado de la seguridad.

A priori, el estudio hidráulico de esta zona, parece que no va a presentar mucha complejidad, ya que se trata de un pequeño cauce que no presenta caudales permanentes durante todo el año y sin que parezca que presenten grandes llanuras de inundación. El único inconveniente que se podría plantear sería que sus encauzamientos no tuvieran suficiente capacidad para desaguar en buenas condiciones y que algunas edificaciones del núcleo urbano estuvieran demasiado cerca del cauce.

Debido a ciertas características que presenta la zona de estudio, se considera que un modelo hidráulico unidimensional, tipo HEC-RAS, no podría representar con fiabilidad y precisión el comportamiento hidráulico de esta zona, ya que este modelo presenta ciertas limitaciones. Por lo que se ha considerado necesario, abordar el estudio hidráulico de la zona mediante un modelo que permita el análisis bidimensional. Por ello, para este estudio se ha empleado el modelo IBER, que además nos permite analizar con mayor precisión las velocidades.

### 8.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para este estudio se ha realizado un amplio trabajo de campo durante varias visitas a la zona de estudio. En este trabajo de campo se ha recorrido el arroyo de la Espineda desde su nacimiento hasta aguas abajo de la localidad de Boadilla del Camino, así como se han visitado también algunos de sus afluentes y el canal de Castilla que puede modificar el comportamiento hidrológico de la zona de estudio.

Como se puede observar en la Figura 27, el arroyo de la Espineda nace a la izquierda del canal de Castilla, pero su cuenca natural se extiende más allá de dicho canal hacia la margen derecha del mismo. Es cierto, que el canal de Castilla presenta ciertas obras de paso tipo culvert para que algunos cauces no se vean confinados, interrumpiendo su dinámica fluvial, y puedan llegar a formar pequeñas lagunas o charcas.



**Figura 28.** Canal de Castilla en la zona de estudio.



**Figura 29.** Canal de Castilla, donde se puede observar que hay un hito que señala una obra de paso, y encima de este hito se distingue un pequeño cauce que forma parte de la cuenca natural del arroyo de la Espineda.

JUNIO 2017

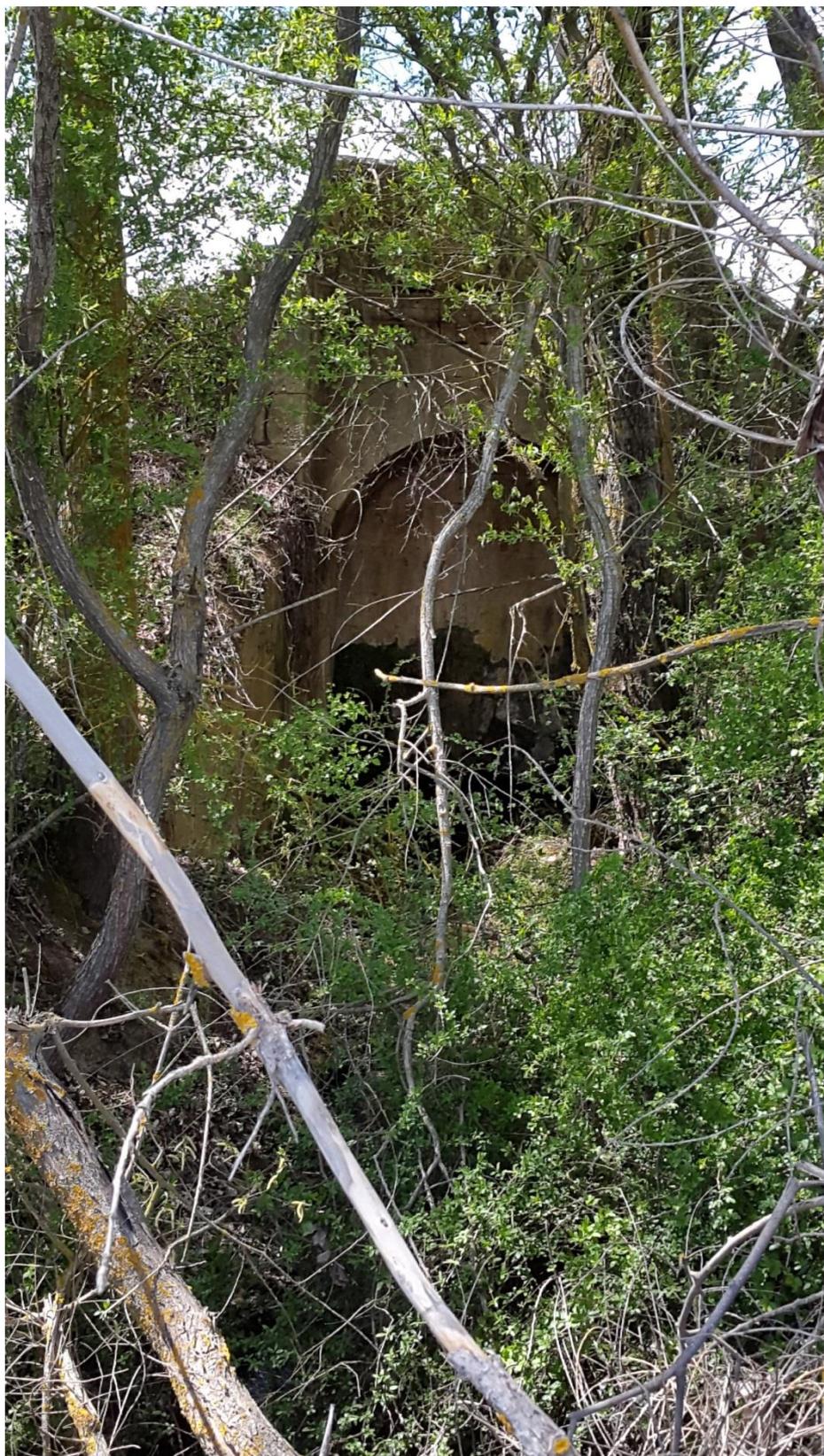


Figura 30. Obra de paso debajo del hito indicado en la imagen anterior.

Estas obras de paso, en el caso de la cuenca objeto de estudio, no permiten pasar todo el caudal por debajo del canal de Castilla, en el caso de una avenida extraordinaria, por lo que van desaguando poco a poco. Como se pudo observar en las visitas de campo, hay dos obras de paso en la cuenca objeto de este estudio y de pequeñas dimensiones, además de que se encuentran bastante deterioradas como se puede observar en la imagen inferior. Como se pudo medir en campo las estructuras, actualmente no llegan a dimensiones de 0,5 x 0,5, pero para estar del lado de la seguridad, en el cálculo hidráulico se supondrá que desaguan 1,5 m<sup>3</sup>/s para cada obra de paso que hay en esta cuenca.



**Figura 31.** Obra de paso por debajo del canal de Castilla.



**Figura 32.** Cauce aguas abajo de la obra de paso.

El arroyo de la Espineda, como se ha indicado anteriormente, nace a la izquierda del canal de Castilla, como se puede observar en la siguiente imagen, rodeado por vegetación de ribera frondosa y discurre libremente, interrumpido ocasionalmente por alguna pequeña obra de paso.

Es un cauce con una pendiente muy pequeña y con escaso o nulo caudal durante gran parte del año, y que va acumulando caudal según se acerca a Boadilla del Camino, por los pequeños afluentes que se encuentra a su paso. En muchas zonas, el cauce no se puede distinguir por la vegetación tan frondosa y enmarañada que crece en sus márgenes, y en muchos casos también en el interior de su cauce. En las siguientes imágenes, se puede comprobar el tipo de cauce hasta llegar a Boadilla del Camino.



**Figura 33.** Al final de la imagen se puede comprobar, aproximadamente, el nacimiento del arroyo de la Espineda.



**Figura 34.** Tramo en la parte alta del arroyo de la Espineda completamente seco.

JUNIO 2017



**Figura 35.** Vegetación de ribera del arroyo de la Espineda.



**Figura 36.** Vegetación de ribera del arroyo de la Espineda.

JUNIO 2017



**Figura 37.** Arroyo de la Espineda en su tramo medio.



**Figura 38.** Arroyo de la Espineda en su tramo medio.

Antes de la entrada del arroyo de la Espineda al núcleo urbano de Boadilla del Monte, hay un lavadero, y aguas abajo a poca distancia un puente construido en el año 1917, que justo este año se cumple el primer centenario de su construcción. Este puente, a pesar de sus dimensiones, evacúa todo el caudal que lleva el arroyo, y por los testimonios recabados en el pueblo de la gente más anciana, nunca se ha inundado ese puente desde su construcción. En su primera parte en el entorno del núcleo urbano, el cauce está rodeado por tierras de cultivo, para luego formar un meandro cercano a uno de los albergues de peregrinos del pueblo, punto donde se encuentra una obra de paso de mayores dimensiones que la primera, y llegar a la parte más baja del pueblo, en la que hay una fuente, donde antiguamente recargaban agua y servía de abrevadero a los animales destinados al trabajo en el campo. En este punto, por lo que se pudo observar y según datos de la gente del pueblo, es donde en alguna ocasión se ha producido algún pequeño desbordamiento, debido a que la fuente está casi a la misma altura del cauce. Posteriormente, el arroyo continúa su cauce hasta atravesar dos puentes más, de mayores dimensiones que el primero, y abandonar el núcleo urbano.



**Figura 39.** Lavadero en el arroyo de la Espineda antes de entrar en el núcleo urbano.

JUNIO 2017



**Figura 40.** Puente sobre el arroyo de la Espineda aguas abajo del lavadero y justo antes de entrar en el núcleo urbano.



**Figura 41.** Cauce aguas abajo del primer puente.

JUNIO 2017



**Figura 42.** Obra de paso a la altura de uno de los albergues de los peregrinos.



**Figura 43.** Cauce a la altura de la fuente que se ha inundado en alguna ocasión.

JUNIO 2017



**Figura 44.** Cauce aguas abajo de la zona de la fuente.



**Figura 45.** Puente cercano a la salida del cauce del núcleo urbano.

JUNIO 2017



**Figura 46.** Último puente en el núcleo urbano sobre el arroyo de la Espineda.



**Figura 47.** Cauce aguas abajo del núcleo urbano.

### 8.3. MODELO IBER

#### 8.3.1. INTRODUCCIÓN AL MODELO IBER

Iber es un modelo matemático bidimensional para la simulación de flujos en ríos y estuarios promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX en el marco de un Convenio de Colaboración suscrito entre el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y la Dirección General del Agua, y desarrollado en colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC), el Grupo FLUMEN (Universidad Politécnica de Cataluña, UPC, y de la Universidad de Barcelona, UB) y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE (vinculado a la Universidad Politécnica de Cataluña, UPC).

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos, y el flujo de marea en estuarios.

El modelo Iber consta actualmente de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla de volúmenes finitos formada por elementos triangulares y/o cuadriláteros.

Iber es un software gratuito que se puede descargar de Internet, así como sus manuales y diversa información sobre el programa. En este caso, se utiliza la última versión existente hasta la fecha, Iber versión 2.3.

#### 8.3.2. OBJETIVOS Y BASES DEL MODELO

El modelo Iber consta actualmente de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros. En el módulo hidrodinámico, que constituye la base de Iber, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ecuaciones de St. Venant 2D). El módulo de turbulencia permite incluir las tensiones turbulentas en el cálculo hidrodinámico, pudiéndose utilizar para ello diferentes modelos de turbulencia para aguas someras con diferente grado de complejidad. En la versión actual se incluyen un modelo parabólico, un modelo de longitud de mezcla y un modelo  $k-\epsilon$ . El módulo de transporte de sedimentos resuelve las ecuaciones de transporte de fondo y transporte turbulento en suspensión, calculando a partir del balance de masa de sedimento la evolución de la cota de fondo.

En este caso, debido al estudio que se nos pide, se ha utilizado sólo el módulo hidrodinámico, porque es el necesario para analizar la inundabilidad en dicha zona.

Un cálculo con el modelo Iber requiere tres procesos básicos:

JUNIO 2017

- Pre-proceso
- Cálculo
- Post-proceso
- 

Estos tres procesos son realizados con los siguientes pasos:

- Crear o importar una geometría de la zona de estudio.
- Asignar una serie de parámetros de entrada (rugosidad del fondo, modelo de turbulencia, sedimentos, etc.).
- Asignar condiciones de contorno e iniciales.
- Asignar opciones generales de cálculo (tiempo de cálculo, parámetros del esquema numérico, activación de módulos adicionales).
- Construir una malla de cálculo.
- Lanzar el cálculo.
- Visualización y análisis de resultados

Las distintas posibilidades de visualización e interpretación de resultados implementadas en Iber son:

1. Variables geométricas:
  - a. Cota del terreno
2. Variables hidráulicas:
  - a. Calado
  - b. Velocidad
  - c. Caudal específico
  - d. Número de Froude
  - e. Cota de la lámina de agua
  - f. Coeficiente de rugosidad de Manning
3. Variables hidrológicas:
  - a. Intensidad de precipitación
  - b. Tasa de infiltración
4. Variables de riesgo:
  - a. Riesgo
  - b. Tiempo de mojado
5. Mapas de máximos
  - a. Calado
  - b. Velocidad
  - c. Caudal específico
  - d. Cota del agua

Mapas de riesgo: en el estudio se incorporan mapas de riesgo, de manera, que los resultados no se visualizan como variables hidráulicas, sino según el criterio de riesgo asociado a una

inundación según el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Este criterio clasifica una inundación en un punto como riesgo elevado, riesgo moderado o sin riesgo, según el valor del calado, de la velocidad, y el producto de ambos, como se puede observar en el siguiente cuadro:

**Tabla 17.** Criterios de clasificación de los diferentes riesgos asociados.

Riesgo	Criterio
Elevado	$v > 1m/s$ o $y > 1m$ o $vy > 0.5m^2/s$
Moderado	$v > 0.4m/s$ o $y > 0.4m$ o $vy > 0.08m^2/s$
Sin riesgo	en caso contrario

En este informe, no se explica en detalle la formulación matemática y otras bases teóricas del modelo, porque no se consideran objeto de este estudio.

## 8.4. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA

### 8.4.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE ESTUDIO

El análisis de inundabilidad de un territorio debe apoyarse en una cartografía actualizada que se adecue a sus objetivos. En este caso, se ha contado con la información topográfica de la zona más reciente que existe y con mayor precisión. Son ficheros LIDAR de los vuelos LIDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Estos vuelos son una nube de puntos que definen la superficie (incluyendo vegetación y edificaciones), obtenido mediante sensores LiDAR con una densidad media de 0,5 pts./m<sup>2</sup>, es decir, densidad de un punto cada 2 metros cuadrados.

Estos archivos han sido tratados con la herramienta informática LASTools para poder depurar la información que interesaba para este estudio hidráulico. En este caso, se ha filtrado información de los datos del terreno y de edificios, no teniéndose en cuenta la información de la vegetación.

Tras depurar y refinar la información, se ha obtenido un MDT (modelo digital del terreno) de la zona con información precisa, pero al comprobar las secciones y el perfil longitudinal del cauce, se comprueba que el MDT tiene mucho "ruido", seguramente por la vegetación existente en el cauce y los edificios no están bien representados, como se puede observar en la Figura 39. Por lo que este MDT se implementó con datos y secciones obtenidas en campo, mejorando notablemente como se puede observar en la Figura 40.

Este MDT ya filtrado y depurado se ha tratado convenientemente para poder introducir sus datos topográficos en el modelo hidráulico bidimensional IBER.

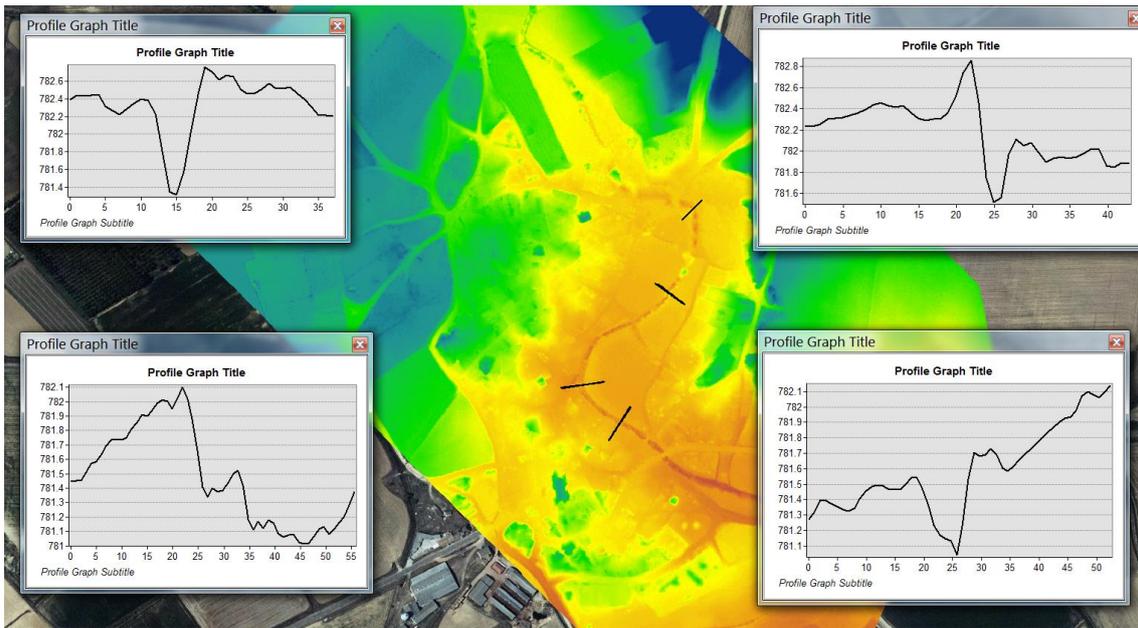


Figura 48. Ráster preliminar de la zona de estudio.

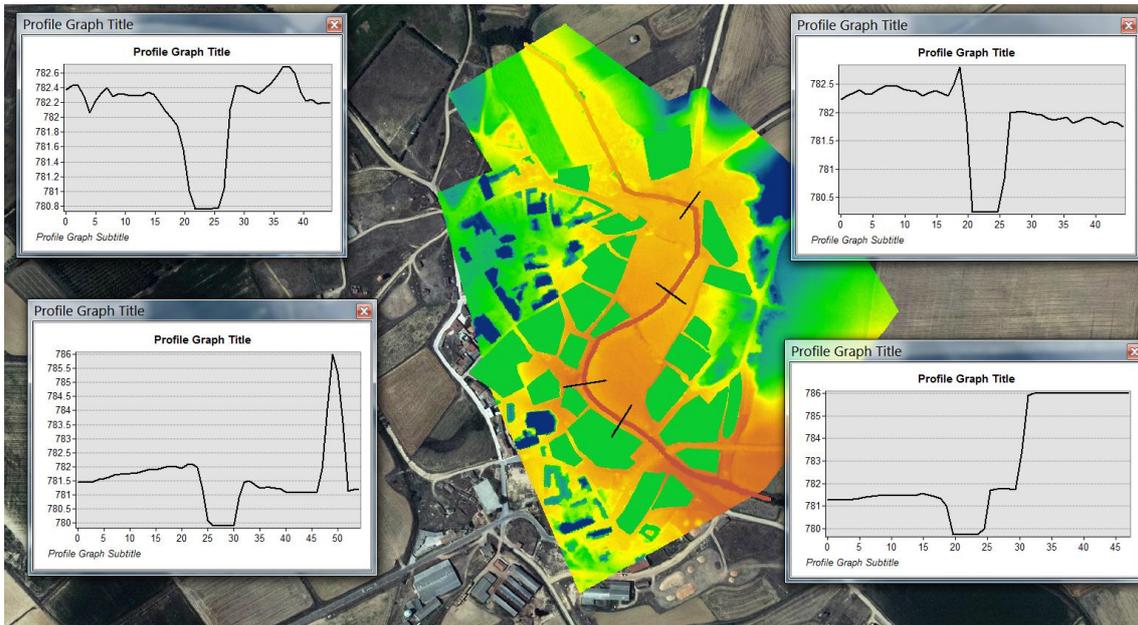


Figura 49. Ráster mejorado de la zona de estudio.

Se probaron diferentes geometrías en Iber, y se decidió usar aquella que suministraba valores más precisos y fiables, aunque su coste computacional haya sido bastante más elevado. Para las simulaciones finales, se ha usado el raster de 1 x 1 metros que en Iber nos ha proporcionado una malla con información cada metro como mínimo.

#### 8.4.2. DATOS DE ENTRADA

Para realizar una correcta simulación, hay que introducir los datos iniciales del modelo según la información más fiable que se disponga, como se ha hecho en este caso. Además, para estar del lado de la seguridad, se ha alargado el tramo de estudio, tanto aguas arriba como aguas abajo de la zona de estudio, para que las condiciones de contorno no tengan influencia en los resultados finales.

Como condiciones de contorno, se han asignado, en primer lugar, las condiciones de entrada que son los caudales hallados en el apartado 7 del presente documento, para un periodo de retorno de 5, 100 y 500 años.

**Tabla 18.** Caudales para los diferentes cursos de agua.

CUENCA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
	T-5	T-100	T-500
<b>Arroyo de la Espineda</b>	8,916	18,565	25,450

Por otro lado, se ha introducido la condición de salida, en este caso, se le ha asignado como condición del flujo crítico/supercrítico, ya que no se contaba con otro tipo de datos, como podrían haber sido curva de gasto, niveles asociados a caudales o una condición tipo vertedero. Se ha comprobado mediante simulaciones preliminares, que asignándole nivel crítico en la salida, el flujo llega estabilizado a la zona objeto de estudio, de manera, que esta condición de contorno no presenta ninguna influencia sobre esa zona, y además es la condición más adecuada para estas simulaciones.

Como condición inicial, se considera calado cero para todo el tramo en estudio, es decir, que la simulación comienza sin que haya ningún flujo de agua, con el modelo seco, como normalmente se hace para este tipo de estudios.

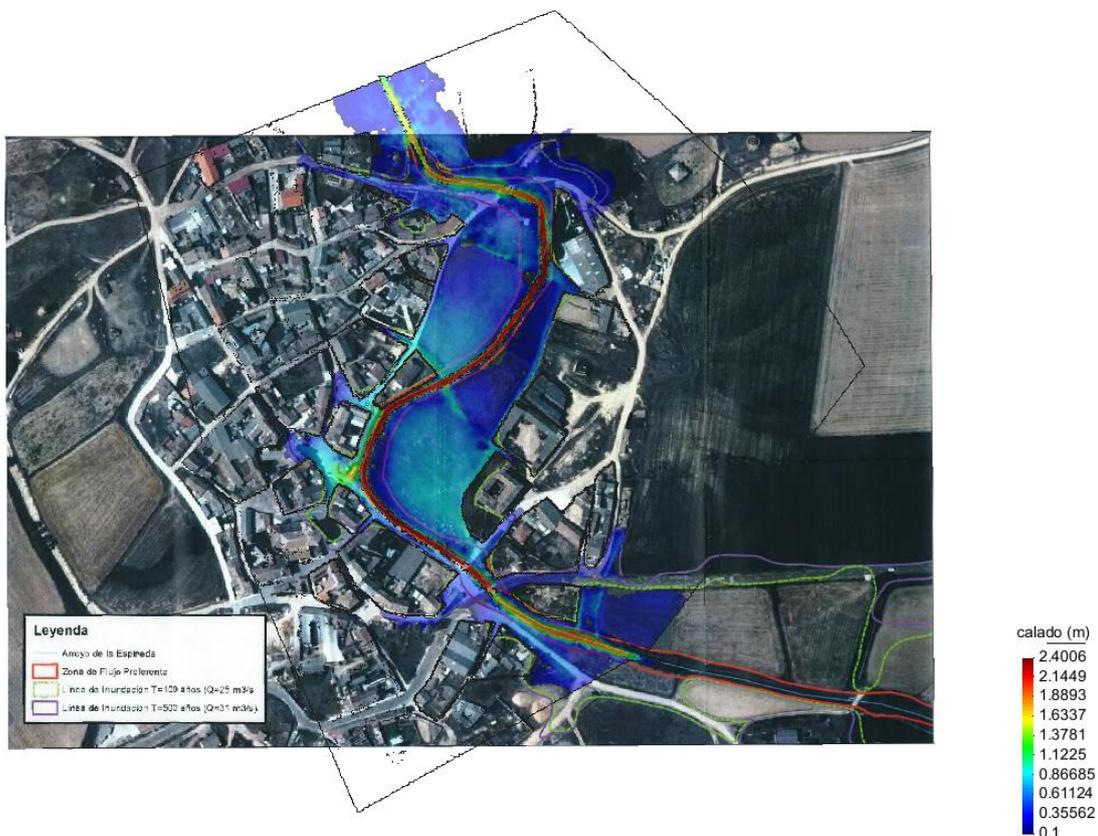
Como dato de entrada, también es muy importante la rugosidad, que en este caso, se introduce como coeficientes de rugosidad de Manning. Estos coeficientes se han obtenido a partir de la información más reciente existente en el SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España), que es un mapa de ocupación del suelo en España a escala 1:25.000. En primer lugar, se pensaba utilizar la información del Corine Land Cover, que es un proyecto europeo con una base de datos de ocupación del suelo en España a escala 1:100.000, pero la información de usos del suelo que se reflejaba en la zona de estudio presentaba menos precisión y estaba menos actualizada, por lo que después de analizar ambas informaciones se optó por la información del SIOSE, ya que era más precisa para esta zona de estudio.

Esta información ha sido contrastada y, en algunos casos, editada para cambiar algún polígono aunque sin mayor importancia para este estudio, comparándolo con las ortofotos más recientes de la zona de estudio. A continuación, se presenta un cuadro con los usos del suelo de la zona, y sus correspondientes números de Manning:

**Tabla 19.** Cuadro de los usos del suelo y sus correspondientes n de Manning.

Usos del Suelo	n de Manning
Cauces	0,04
Pradera	0,05
Residencial	0,15

Para llegar a ajustar bien estos números de Manning, se ha calibrado el modelo con los caudales ( $Q_{100}=25 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $Q_{500}=31 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y las superficies de inundación que ha calculado la Confederación Hidrográfica del Duero en el **“Informe sobre el avance de las normas urbanísticas municipales de Boadilla del Camino (Palencia)” (Agosto, 2016)**. Después de probar diferentes valores de los números de Manning, se puede observar que las superficies de inundación son similares, por no decir iguales, en las modelizaciones realizadas con la Confederación Hidrográfica del Duero y en el modelo desarrollado en este estudio para los mismos caudales, por lo que se considera que los coeficientes están muy bien ajustados, y así servirá para modelizar los caudales de este estudio.

**Figura 50.** Imagen donde se puede comparar los resultados con las superficies de inundación de la CH del Duero.

Se destaca que durante el trabajo se han visualizado y analizado varias estructuras hidráulicas existentes en los cauces. Debido a la influencia que pudieran tener estas estructuras en el funcionamiento hidrodinámico del cauce, se han introducido en las simulaciones para estar del lado de la seguridad.



**Figura 51.** Distribución de rugosidades en la zona urbana del modelo.

El tiempo de simulación ha sido mayor que el necesario para que el caudal de entrada sea igual al de salida, aproximadamente 3.000 segundos. De esta manera, se estudia la situación más desfavorable posible.

Los resultados obtenidos mediante Iber pueden ser analizados directamente en Iber o pueden ser exportados a distintos software de GIS, obteniéndose superficies de inundación, calados, velocidades, mapas de riesgo, etc., para diferentes periodos de retorno.

## 8.5. INUNDABILIDAD PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

### 8.5.1. DEFINICIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE CÁLCULO

Se ha realizado la simulación hidráulica de la zona de estudio para las avenidas de periodo de retorno de 5, 100 y 500 años para evaluar los posibles problemas de inundación existentes. La

JUNIO 2017

zona de estudio, como se ha explicado anteriormente, se ha representado como se encuentra en la actualidad.

El funcionamiento hidráulico en esta zona es muy sencillo. El arroyo de la Espineda discurre en sentido norte-sur, hasta unos 300 metros aguas arriba de su entrada en el núcleo urbano, donde gira en dirección sureste hasta atravesar la localidad de Boadilla del Camino.

A priori, como se pudo comprobar en la visita de campo y según los análisis que se han ido realizando, el principal problema de este cauce serán sus pequeñas dimensiones, si bien es verdad que no soporta caudales muy altos, por lo que el arroyo no tendrá problemas hasta que lleguen caudales altos, que normalmente no se producen en esta zona, que provoquen su desbordamiento e inunden las zonas cercanas, aunque tampoco se alcanzarán calados muy elevados fuera del cauce, excepto en algunas zonas que pueda haber pequeñas vaguadas o depresiones.

Se podría producir algún problema mayor por la no limpieza y mantenimiento del cauce, sobre todo en el núcleo urbano, y seguramente pueda haber alguna inundación en las proximidades de los puentes y las obras de paso, ya que estos pueden actuar provocando un efecto “cuello de botella”, sobre todo el primer puente, que fue construido en 1917. Y seguramente, también se inunde la zona de la fuente, ya que se encuentra a una cota muy baja, muy próxima al cauce.

#### **8.5.2. AVENIDA DE 5 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO (MÁXIMA CRECIDA ORDINARIA)**

En las siguientes figuras, se muestran respectivamente los calados máximos y las velocidades que se producen en la zona objeto de estudio en la situación actual para la avenida de 5 años de periodo de retorno.

JUNIO 2017

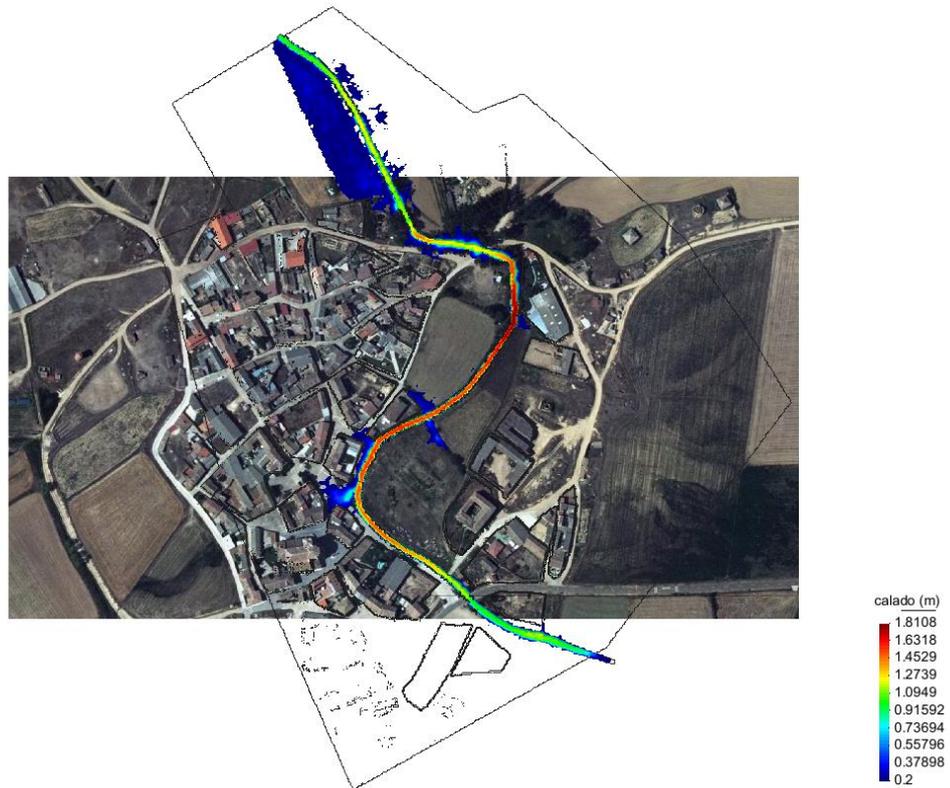


Figura 52. Calados máximos (en m.) para la avenida de 5 años.

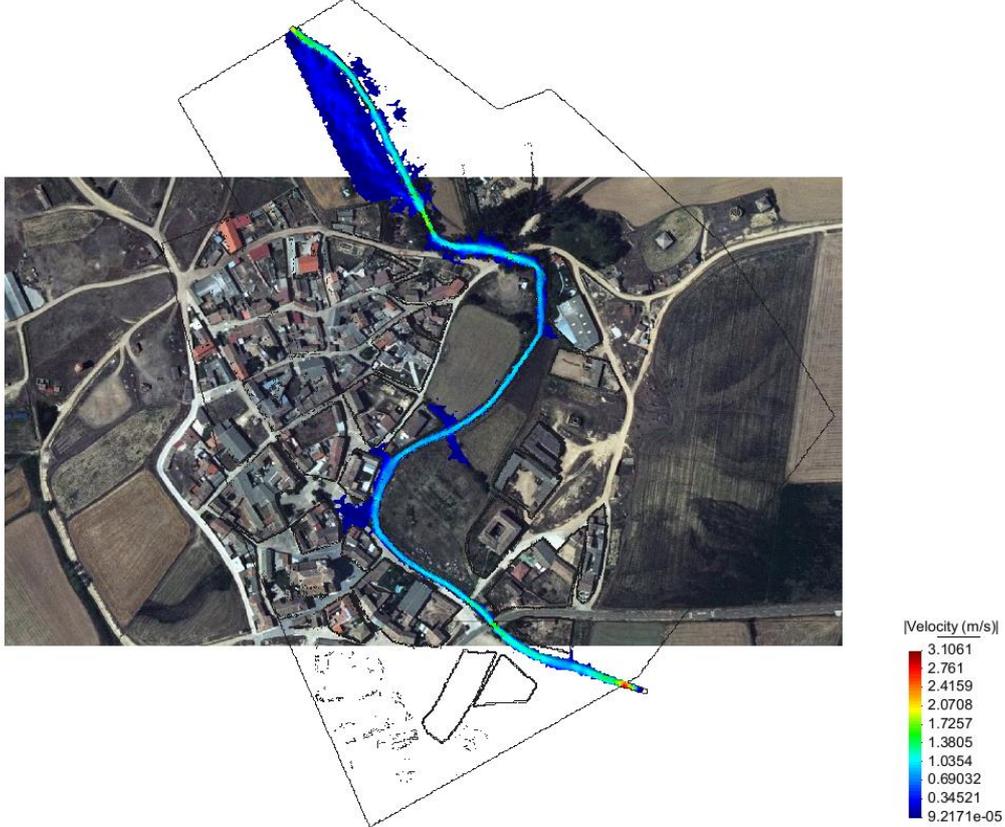


Figura 53. Velocidades máximas (en m/s) para la avenida de 5 años.

Como se puede observar, para este caudal del periodo de retorno de 5 años, ya se produce algún pequeño desbordamiento, sobre todo a la altura del primer puente y en la siguiente obra de paso, y aguas abajo en la zona de la fuente que está a una cota muy baja.

### 8.5.3. AVENIDA DE 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO

En las siguientes figuras, se muestran respectivamente los calados máximos y las velocidades que se producen en la zona objeto de estudio en la situación actual para la avenida de 100 años de periodo de retorno.

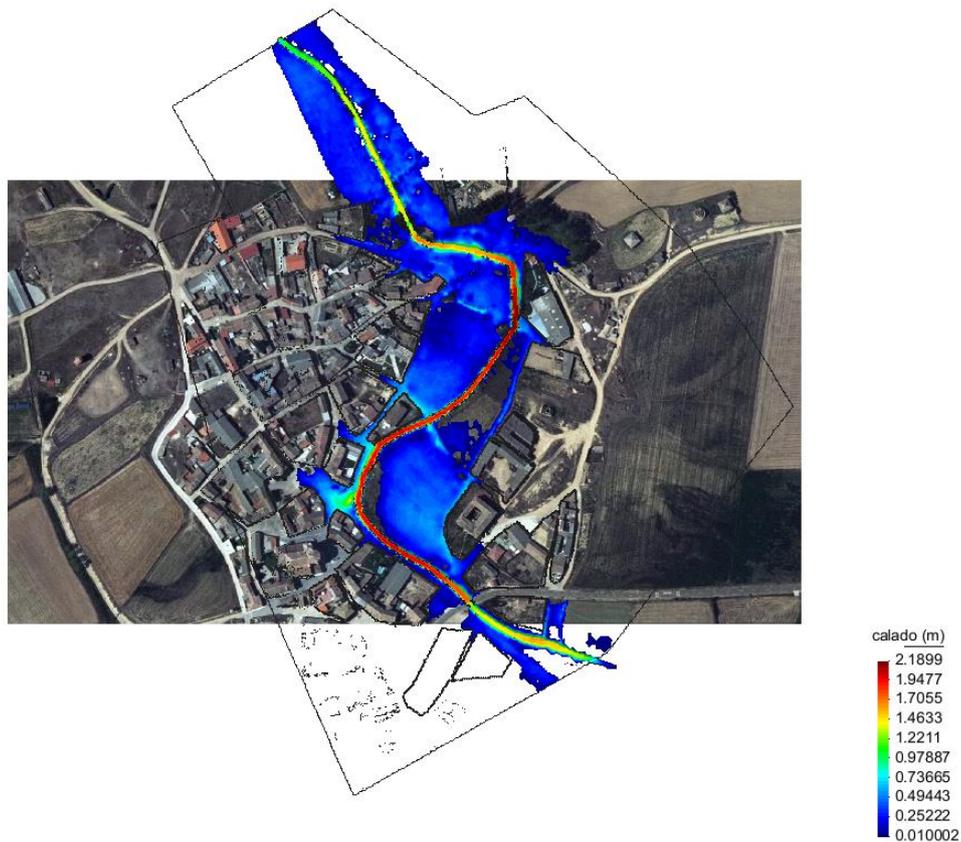
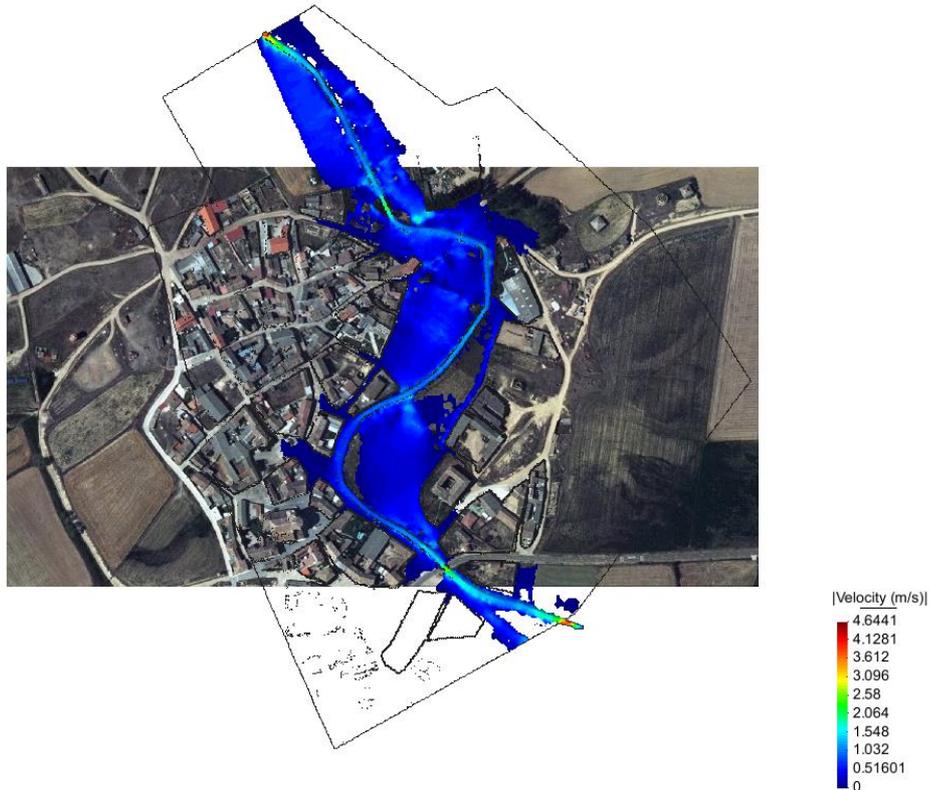


Figura 54. Calados máximos (en m.) para la avenida de 100 años.

JUNIO 2017



**Figura 55.** Velocidades máximas (en m/s) para la avenida de 100 años.

Como se puede observar en las figuras anteriores, para este caudal del periodo de retorno de 100 años, al tratarse de caudales extraordinariamente altos, provoca desbordamientos e inundaciones más importantes, aunque no con calados muy elevados, excepto en la zona de la fuente y sus proximidades.

#### 8.5.4. AVENIDA DE 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO

En las siguientes figuras, se muestran respectivamente los calados máximos y las velocidades que se producen en la zona objeto de estudio en la situación actual para la avenida de 500 años de periodo de retorno.

JUNIO 2017

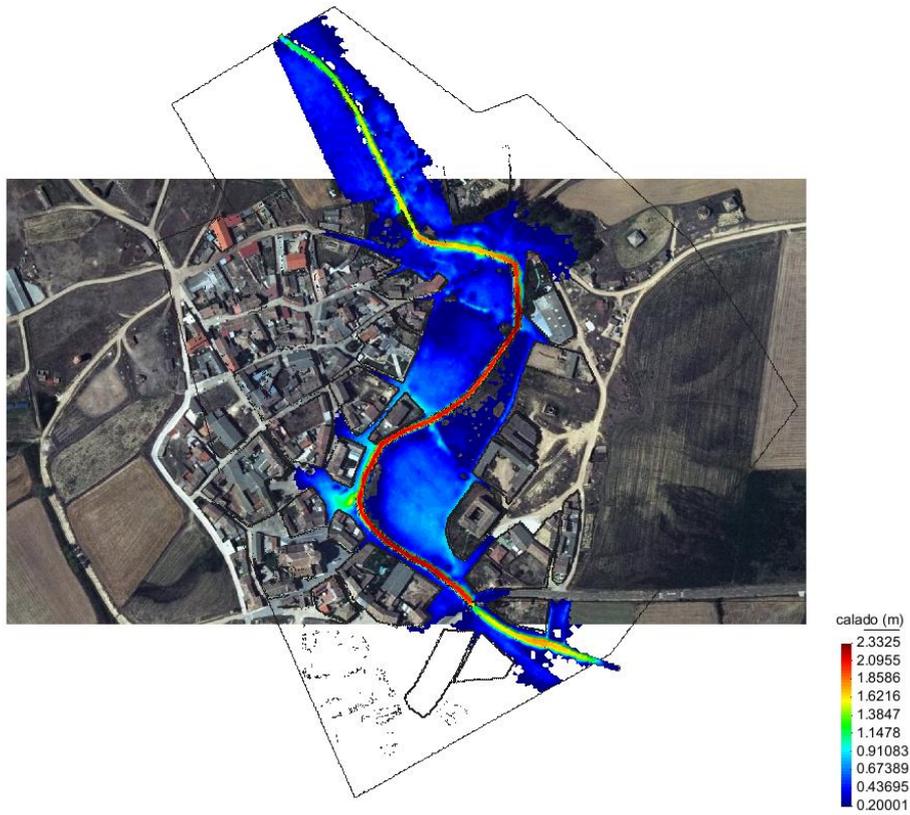


Figura 56. Calados máximos (en m.) para la avenida de 500 años.

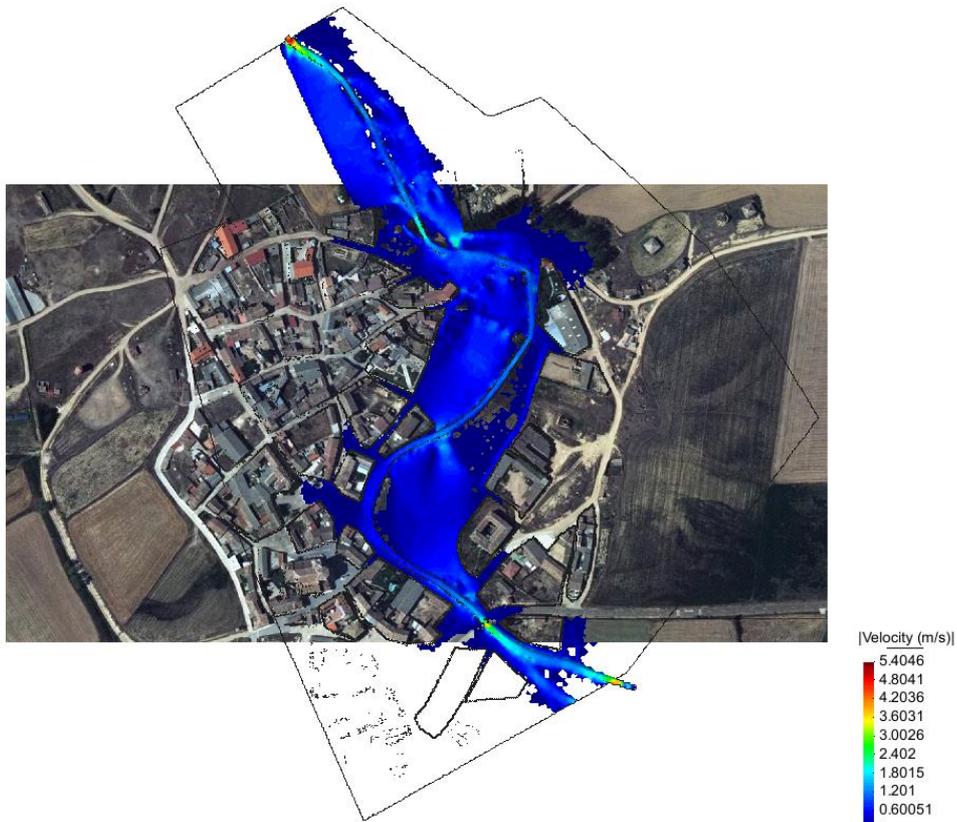


Figura 57. Velocidades máximas (en m/s) para la avenida de 500 años.

Como se puede observar en las figuras anteriores, para este caudal del periodo de retorno de 500 años, al igual que en el anterior caudal de 100 años de periodo de retorno, el cauce no soporta caudales tan elevados, debido a sus dimensiones y provoca importantes inundaciones y desbordamientos, siendo las mismas zonas de inundación que en el caso anterior, pero alcanzando calados más elevados.

Estos planos se presentan en los anexos en tamaño A-3 y convenientemente clasificados por intervalos para que se puedan visualizar y analizar más detalladamente.

#### **8.5.5. ZONA DE FLUJO PREFERENTE**

Se ha analizado y realizado los cálculos para la zona de flujo preferente, obteniendo los mismos resultados que los aportados por la Confederación Hidrográfica del Duero en el **“Informe sobre el avance de las normas urbanísticas municipales de Boadilla del Camino (Palencia)” (Agosto, 2016)**, por lo que se considera buena dicha zona de flujo preferente.

### **8.6. INUNDABILIDAD EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE BOADILLA DEL CAMINO**

Aprovechando todo el trabajo de campo y todos los análisis efectuados, se ha realizado también el estudio de inundabilidad del arroyo de la Espineda para todo el término municipal de Boadilla del Camino. Dichas simulaciones se han realizado con el MDT 5x5 de dicho término municipal, y el LiDAR 1x1 de las simulaciones hidráulicas realizadas anteriormente para el tramo urbano. Se han realizado las simulaciones para las avenidas de periodo de retorno de 100 y 500 años para evaluar los posibles problemas de inundación existentes. La zona de estudio del término municipal se ha representado como se encuentra en la actualidad.

#### **8.6.1. AVENIDA DE 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO**

En las siguientes figuras, se muestran respectivamente los calados máximos y las velocidades que se producen en la zona objeto de estudio en la situación actual para la avenida de 100 años de periodo de retorno.

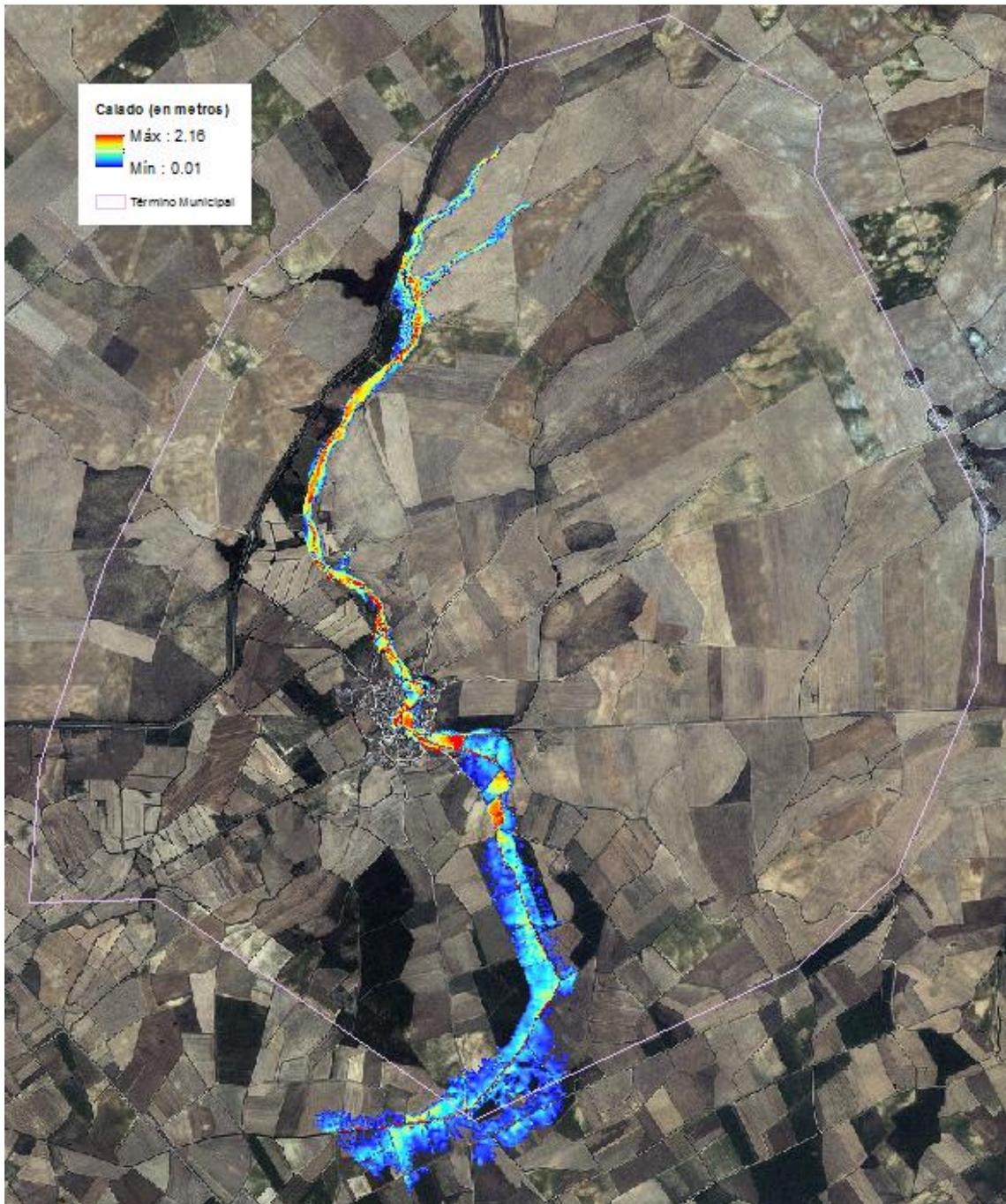


Figura 58. Calados máximos (en m.) para la avenida de 100 años.

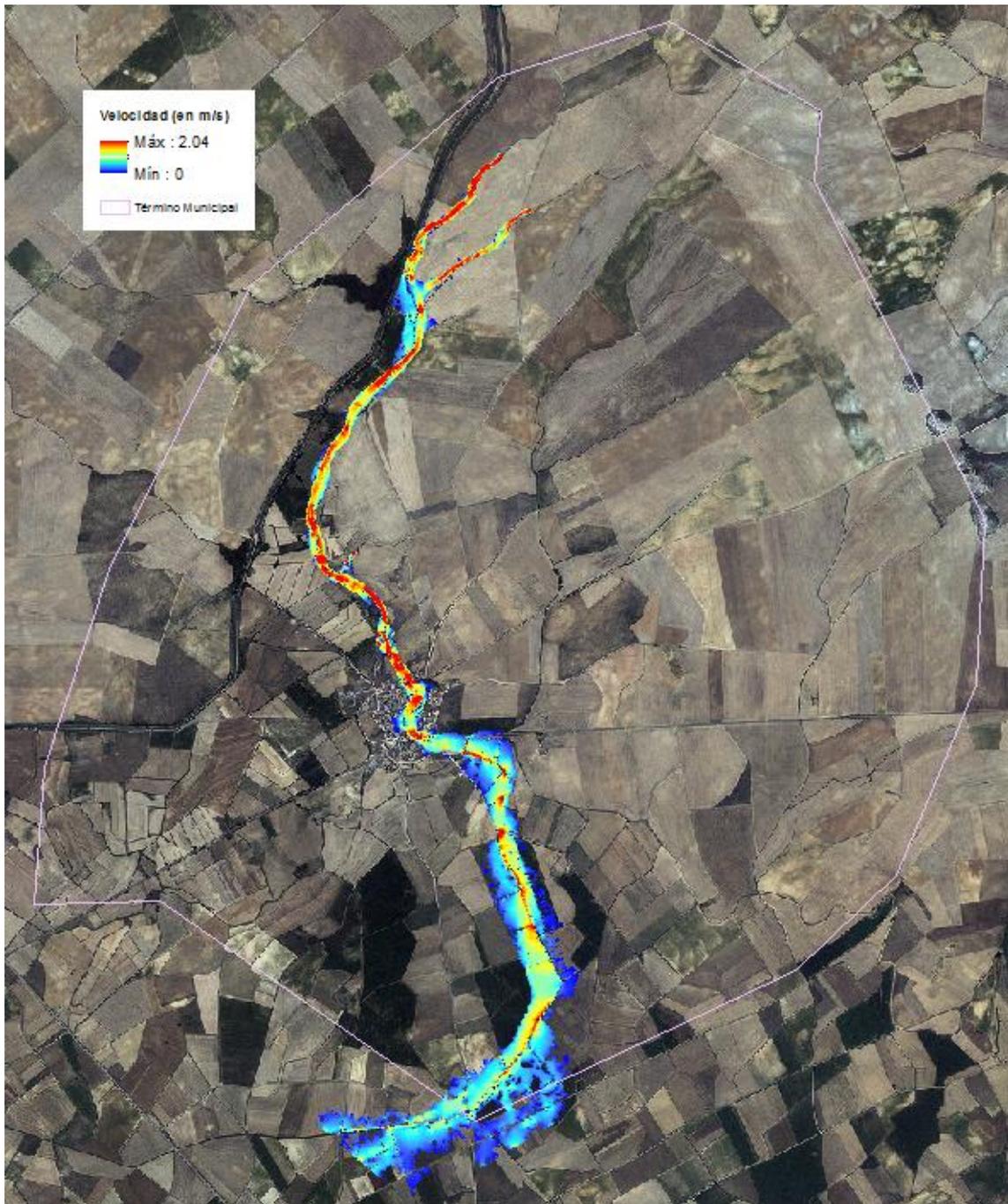


Figura 59. Velocidades máximas (en m/s) para la avenida de 100 años.

### 8.6.2. AVENIDA DE 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO

En las siguientes figuras, se muestran respectivamente los calados máximos y las velocidades que se producen en la zona objeto de estudio en la situación actual para la avenida de 500 años de periodo de retorno.

JUNIO 2017

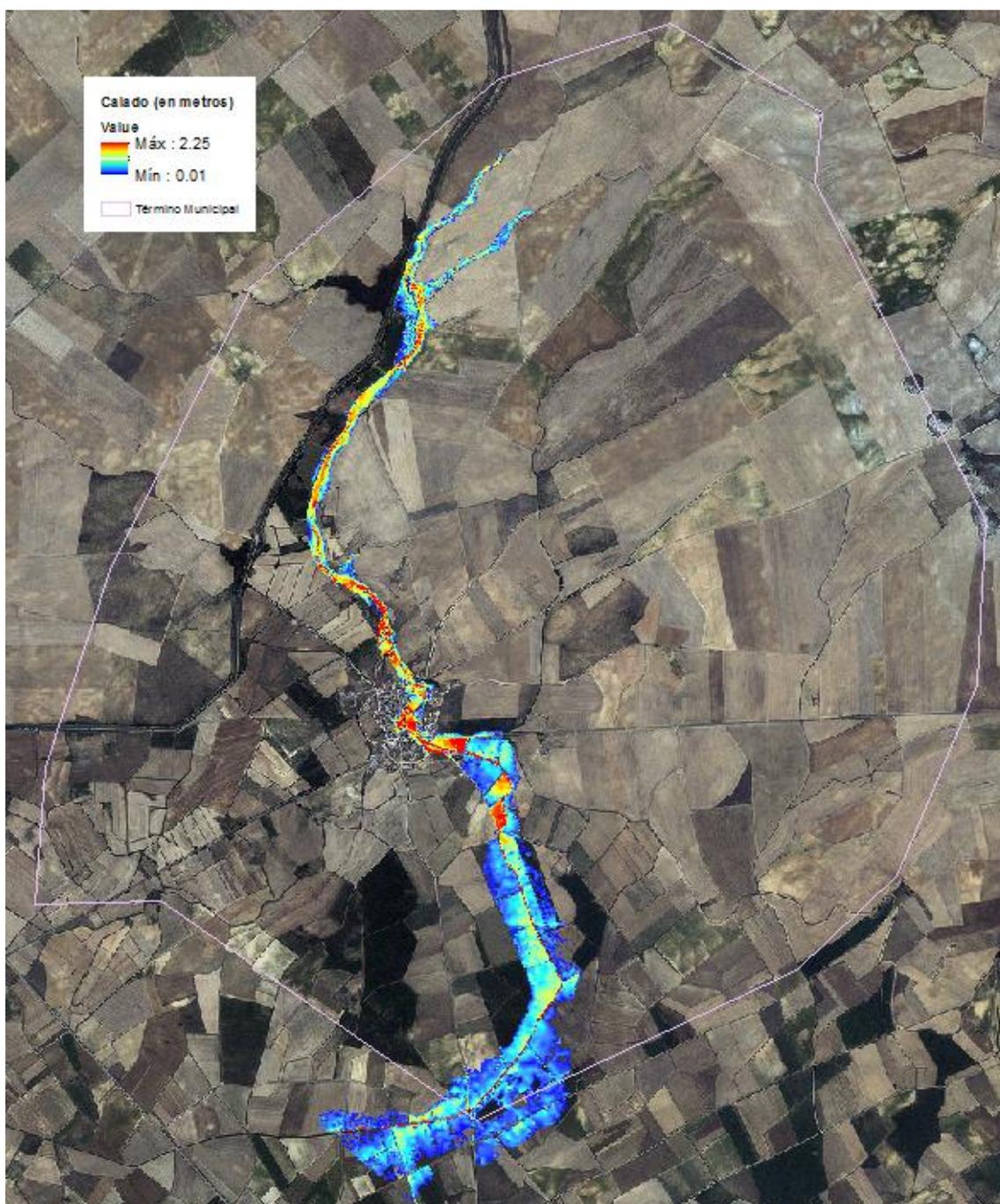


Figura 60. Calados máximos (en m.) para la avenida de 500 años.

JUNIO 2017

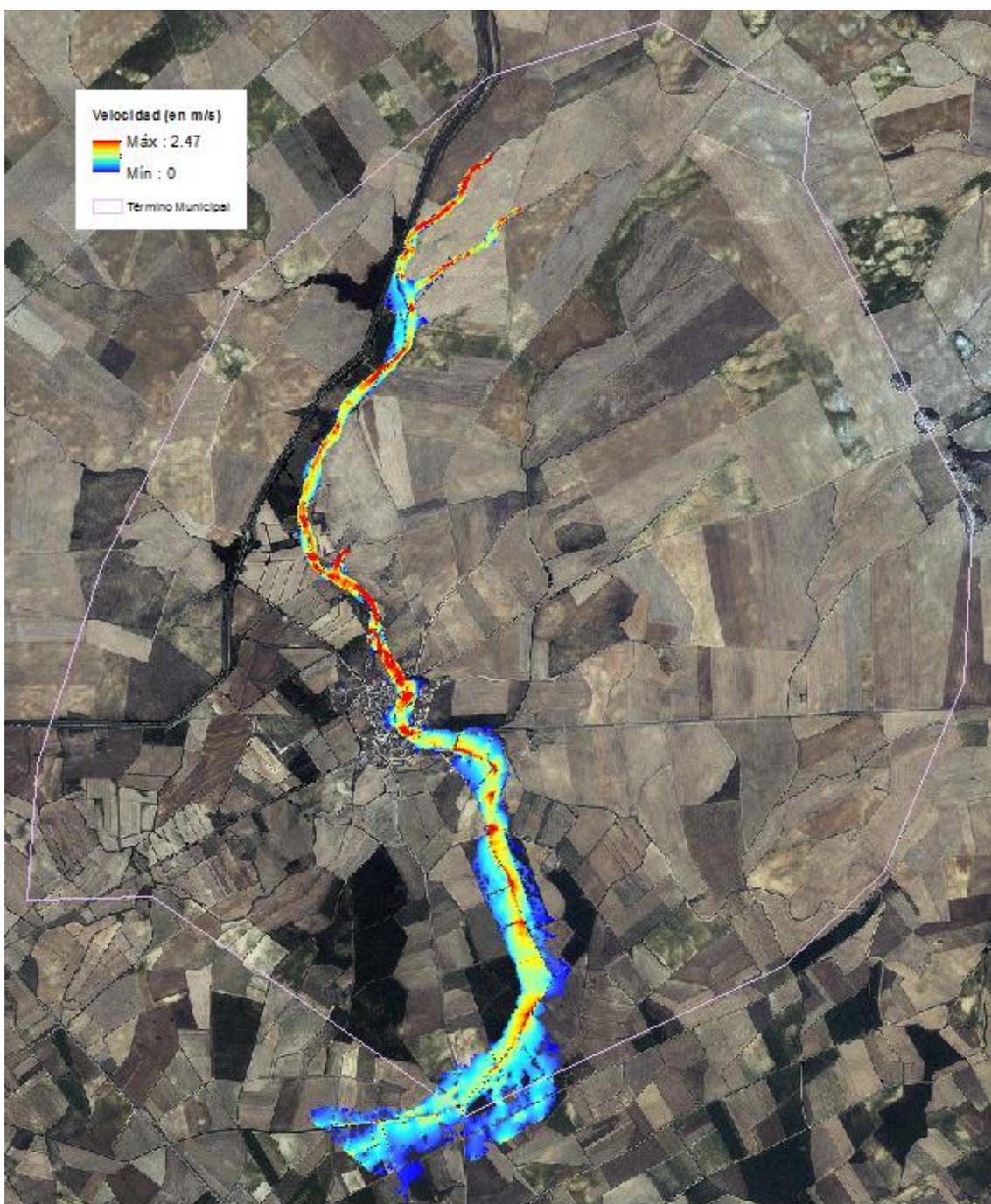


Figura 61. Velocidades máximas (en m/s) para la avenida de 500 años.

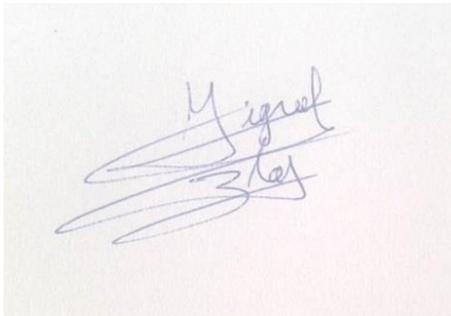
Estos planos se presentan en los anexos en tamaño A-3 y convenientemente clasificados por intervalos para que se puedan visualizar y analizar más detalladamente.

JUNIO 2017

## 9. HOJA DE FIRMAS

El presente documento ha sido elaborado por el abajo firmante, que posee la titulación, capacidad y experiencia suficientes para realizar estudios hidrológicos-hidráulicos.

En Burgos, a 23 de junio de 2017

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored background. The signature is written in a cursive style and appears to read 'Miguel de Blas'.

Miguel de Blas Moncalvillo

Ingeniero de Montes

Número de Colegiado: 5238

D.N.I.: 50872769-N

JUNIO 2017

## **10. ANEXOS Y PLANOS**

(En siguientes páginas)

388800

389200



**Calado (en metros)**

- 0.01 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 2.21

4679800

4679800

4679600

4679600

4679400

4679400

4679200

4679200



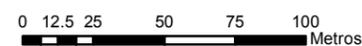
ALBERA MEDIO AMBIENTE S.L.

SISTEMA DE COORDENADAS:

**ETRS 1989  
U.T.M. ZONA 30N**

ESCALA:

**A3:1/2.500**



FECHA:

**JUNIO 2017**

MAPA:

**Plano de la avenida de  
100 años de periodo de retorno**

AUTOR:

**Miguel de Blas Moncalvillo  
Ingeniero de Montes  
Colegiado Nº 5238**

388800

389200

388800

389200



**Velocidad (en m/s)**

- 0 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 4.62

4679800

4679800

4679600

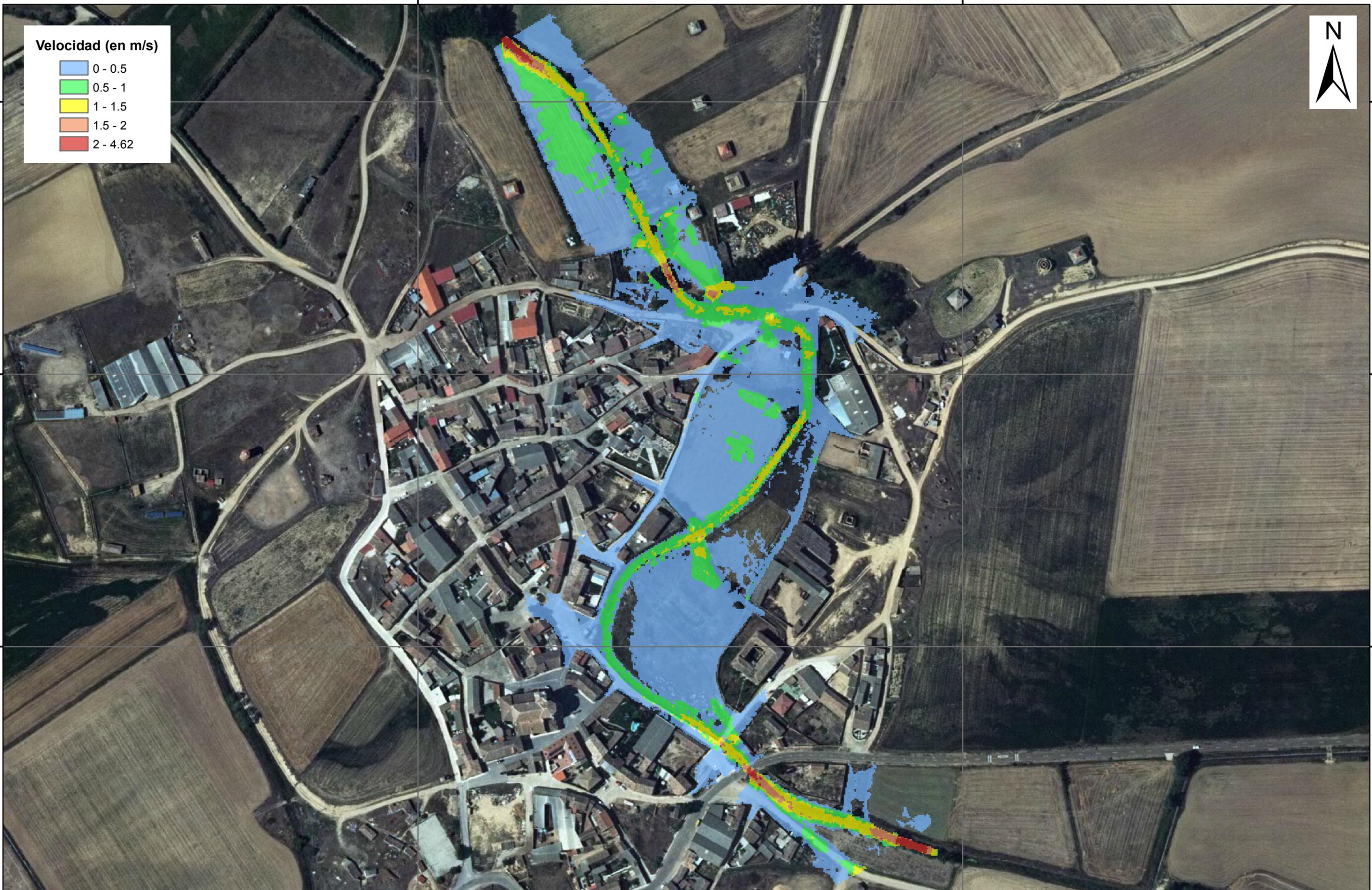
4679600

4679400

4679400

4679200

4679200



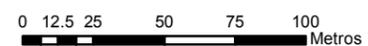
ALBERA MEDIO AMBIENTE S.L.

SISTEMA DE COORDENADAS:

**ETRS 1989  
U.T.M. ZONA 30N**

ESCALA:

**A3:1/2.500**



FECHA:

**JUNIO 2017**

MAPA:

**Plano de la avenida de  
100 años de periodo de retorno**

AUTOR:

**Miguel de Blas Moncalvillo  
Ingeniero de Montes  
Colegiado N° 5238**

388800

389200

388800

389200



**Calado (en metros)**

- 0.01 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 2.35

4679800

4679800

4679600

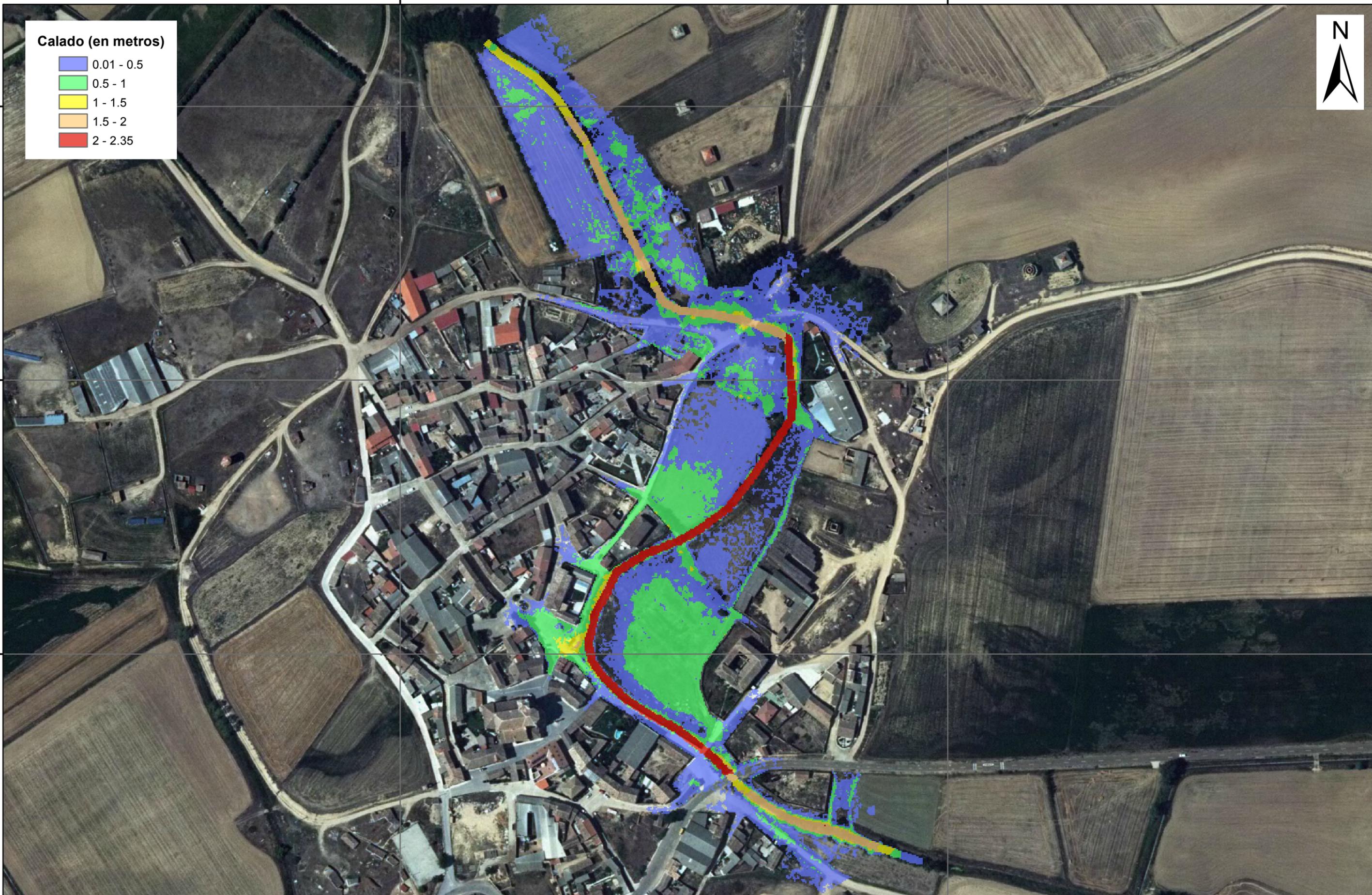
4679600

4679400

4679400

4679200

4679200



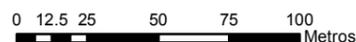
ALBERA MEDIO AMBIENTE S.L.

SISTEMA DE COORDENADAS:

**ETRS 1989  
U.T.M. ZONA 30N**

ESCALA:

**A3:1/2.500**



FECHA:

**JUNIO 2017**

MAPA:

**Plano de la avenida de  
500 años de periodo de retorno**

AUTOR:

**Miguel de Blas Moncalvillo  
Ingeniero de Montes  
Colegiado N° 5238**

388800

389200

388800

389200



**Velocidad (en m/s)**

- 0 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 5.40

4679800

4679800

4679600

4679600

4679400

4679400

4679200

4679200



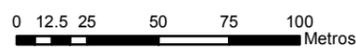
ALBERA MEDIO AMBIENTE S.L.

SISTEMA DE COORDENADAS:

**ETRS 1989  
U.T.M. ZONA 30N**

ESCALA:

**A3:1/2.500**



FECHA:

**JUNIO 2017**

MAPA:

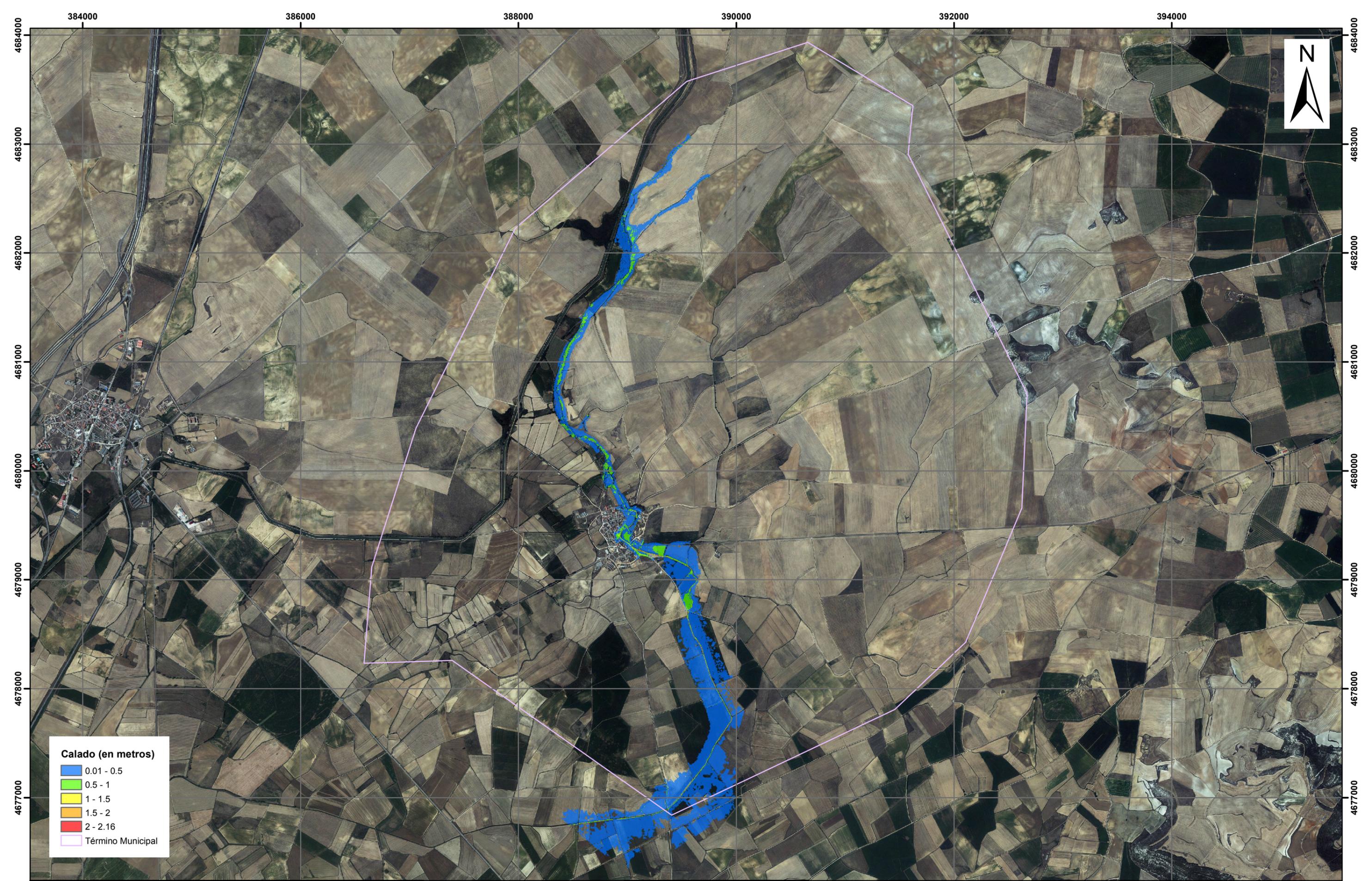
**Plano de la avenida de  
500 años de periodo de retorno**

AUTOR:

**Miguel de Blas Moncalvillo  
Ingeniero de Montes  
Colegiado N° 5238**

388800

389200



**Calado (en metros)**

- 0.01 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 2.16
- Término Municipal



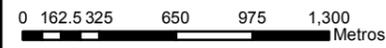
ALBERA MEDIO AMBIENTE S.L.

SISTEMA DE COORDENADAS:

**ETRS 1989  
U.T.M. ZONA 30N**

ESCALA:

**A3:1/30.000**



FECHA:

**JUNIO 2017**

MAPA:

**Plano de la avenida de  
100 años de periodo de retorno**

AUTOR:

**Miguel de Blas Moncalvillo  
Ingeniero de Montes  
Colegiado N° 5238**

4676000

4676000

384000

386000

388000

390000

392000

394000

4684000

4683000

4682000

4681000

4680000

4679000

4678000

4677000

4684000

4683000

4682000

4681000

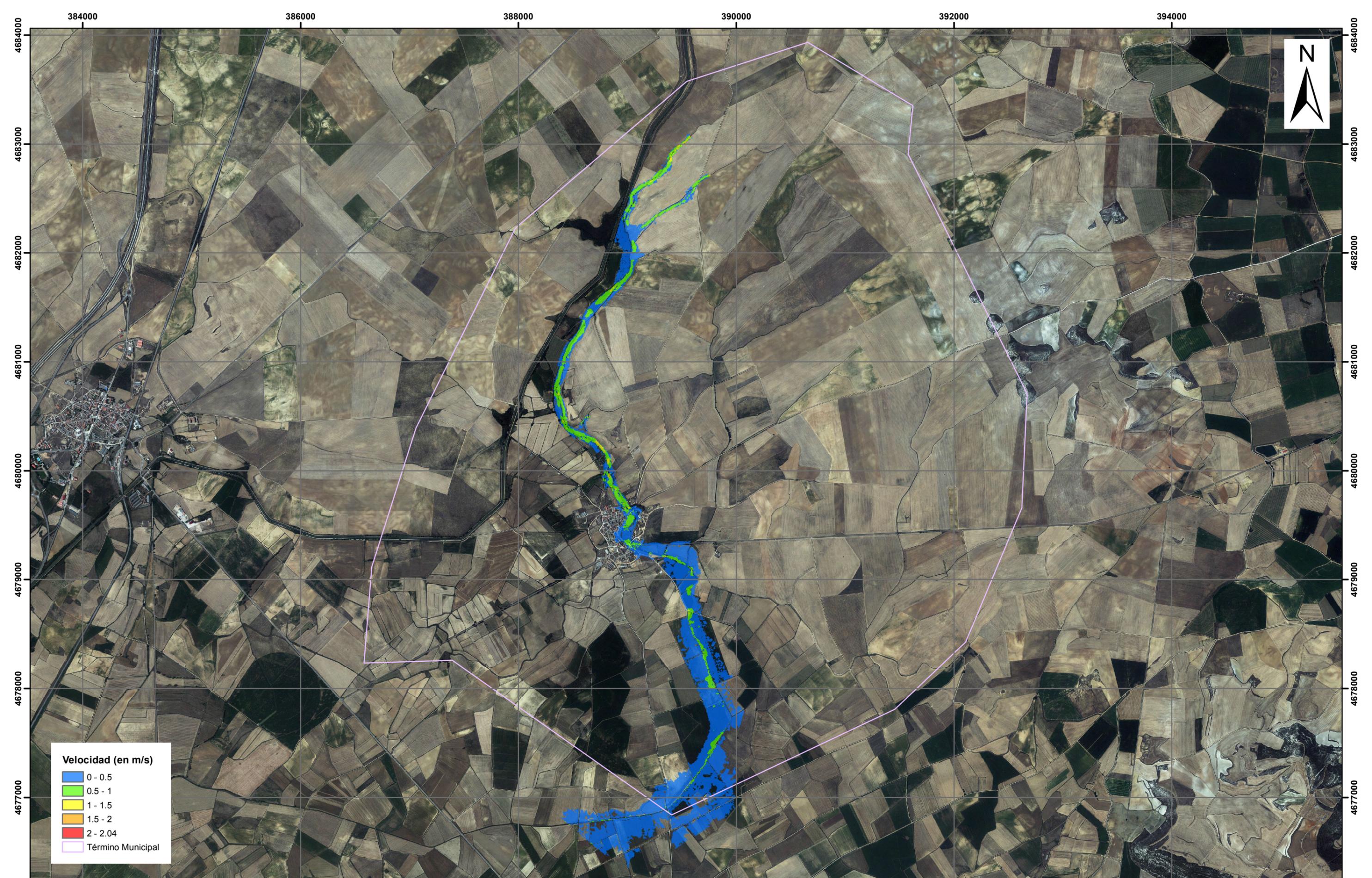
4680000

4679000

4678000

4677000

4676000



**Velocidad (en m/s)**

- 0 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 2.04
- Término Municipal



ALBERA MEDIO AMBIENTE S.L.

SISTEMA DE COORDENADAS:  
**ETRS 1989**  
**U.T.M. ZONA 30N**

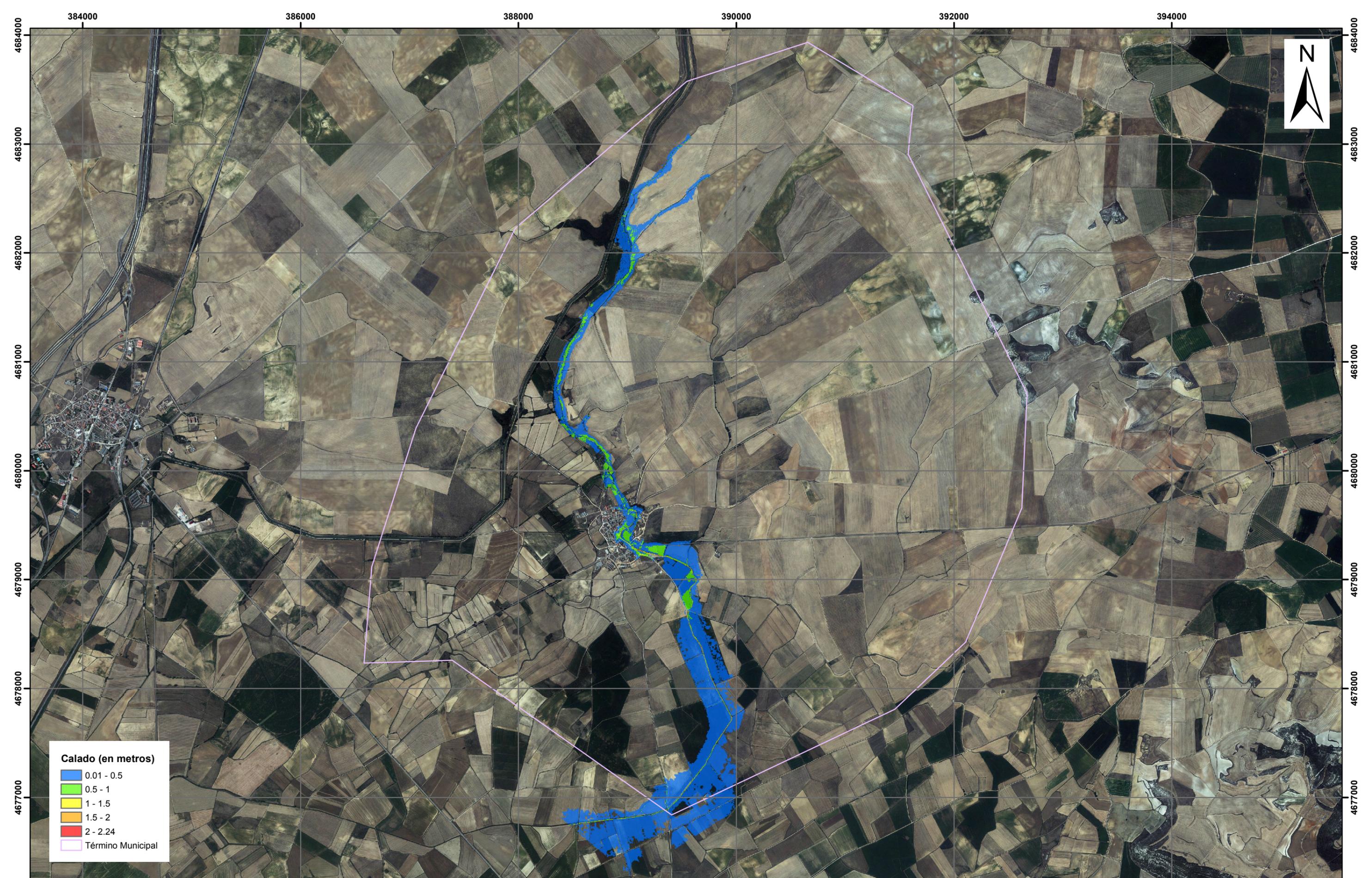
ESCALA:  
**A3:1/30.000**  
 0 162.5 325 650 975 1,300  
 Metros

FECHA:  
**JUNIO 2017**

MAPA:  
**Plano de la avenida de  
 100 años de periodo de retorno**

AUTOR:  
**Miguel de Blas Moncalvillo**  
 Ingeniero de Montes  
 Colegiado N° 5238

384000 386000 388000 390000 392000 394000



**Calado (en metros)**

- 0.01 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 2.24
- Término Municipal



ALBERA MEDIO AMBIENTE S.L.

SISTEMA DE COORDENADAS:  
**ETRS 1989**  
**U.T.M. ZONA 30N**

ESCALA:  
**A3:1/30.000**

0 162.5 325 650 975 1,300 Metros

FECHA:  
**JUNIO 2017**

MAPA:  
**Plano de la avenida de  
 500 años de periodo de retorno**

AUTOR:  
**Miguel de Blas Moncalvillo**  
 Ingeniero de Montes  
 Colegiado N° 5238



**Velocidad (en m/s)**

- 0 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 2.47
- Término Municipal



ALBERA MEDIO AMBIENTE S.L.

SISTEMA DE COORDENADAS:  
**ETRS 1989**  
**U.T.M. ZONA 30N**

ESCALA:  
**A3:1/30.000**

0 162.5 325 650 975 1,300 Metros

FECHA:  
**JUNIO 2017**

MAPA:  
**Plano de la avenida de  
 500 años de periodo de retorno**

AUTOR:  
**Miguel de Blas Moncalvillo**  
 Ingeniero de Montes  
 Colegiado N° 5238