

# Estudio de inundabilidad del río Gaznata a su paso por la localidad del Herradón, Ávila

2009

## **Autores:**

Alonso Gorbeña, Gonzalo  
Blanco Blanco, Delia  
Vives Zanón, Joaquín

## **Tutor:**

Espejo Almodóvar, Fernando



## INDICE

### 1. INTRODUCCIÓN

- 1.1.El concepto de riesgo natural
- 1.2.Las inundaciones como riesgo natural
- 1.3.Las Inundaciones y el Riesgo por Inundaciones
- 1.4.Tipos y Orígenes de las inundaciones
- 1.5.El Riesgo por Avenidas e Inundaciones en España
- 1.6.Impactos de las Avenidas e Inundaciones
- 1.7.Importancia socio-económica de las inundaciones
- 1.8.Actuaciones Humanas que Contribuyen a Agravar el Riesgo

### 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO

### 3. DESCRIPCIÓN DEL ESPACIO

- 3.1.Situación geográfica
- 3.2.Contexto geológico
  - 3.2.1. Contexto geomorfológico de la garganta del arroyo de la Gaznata:
- 3.3.Vegetación
- 3.4.Usos del suelo
- 3.5.Contexto climático

### 4. ANTECEDENTES

- 4.1.España.
- 4.2.Castilla y León



#### 4.3.Ávila

### 5. LEGISLACIÓN APLICABLE

#### 5.1.Normativa europea

#### 5.2.Legislación estatal

##### 5.2.1. Legislación Estatal sobre Gestión de Agua

##### 5.2.2. Legislación estatal sobre Régimen del Suelo

#### 5.3.Legislación Autonómica sobre Gestión del Suelo, Urbanismo y Ordenación Territorial

#### 5.4.Otras Normativas de Interés

### 6. METODOLOGÍA

#### 6.1.Métodos de análisis de la peligrosidad de inundaciones

#### 6.2.Preproceso

#### 6.3.Métodos hidrológicos

##### 6.3.1. Obtención de las precipitaciones máximas diarias

##### 6.3.2. Determinación del hietograma de tormenta para cada período de retorno

##### 6.3.3. Cálculo de los hidrogramas de avenidas(modelización hidrológica de los caudales de crecida)

#### 6.4.Modelo hidráulico

##### 6.4.1. Preproceso. Creación de las secciones transversales

##### 6.4.2. Modelización del flujo con HEC-RAS

### 7. RESULTADOS

### 8. CONCLUSIONES

### 9. BIBLIOGRAFIA



## 1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, los daños por inundaciones se estiman en 800 millones de euros anuales, para hacer frente a éste fenómeno natural, el Ministerio de Medio Ambiente pone una modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico que incluye una nueva definición del dominio público hidráulico y pone en marcha el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

El enfoque tradicional al abordar este riesgo ha sido el de plantear soluciones estructurales. Sin embargo, éstas medidas han resultado insuficientes en determinados casos, además de producir impactos ambientales significativos. Por ello, en la situación actual del país, resulta necesario profundizar en las medidas de gestión del riesgo y la planificación de los usos del suelo como instrumentos fundamentales para mejorar la protección de la población. Para cubrir esta necesidad, el Ministerio de Medio Ambiente se está creando del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

Las inundaciones constituyen en nuestro país el fenómeno natural que con mayor frecuencia se manifiesta dando lugar a situaciones de grave riesgo colectivo o catástrofe, a las que se refiere la Ley 2/1985, de 21 de enero, de Protección Civil.

Los efectos destructivos que las inundaciones originan en extensas áreas del territorio, hacen que, ante esa eventualidad, para la protección de personas y bienes, resulte necesario el empleo coordinado de medios y recursos pertenecientes a las distintas Administraciones Públicas, así como, a menudo, de particulares.

Se tendrán en cuenta conceptos tales como el riesgo natural asociado a la zona de estudio, donde se nos presentan componentes como la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. Factores claves que suponen un riesgo natural para las personas y sus bienes en el territorio a estudiar.

### 1.1. El concepto de riesgo natural

Los procesos naturales ligados a la dinámica terrestre, mediante las acciones que desarrollan o los productos que generan, pueden llegar a interferir con las actividades humanas, suponiendo esta situación potencial un riesgo natural para las personas o sus bienes (elementos en riesgo). El riesgo tiene, por tanto, tres componentes (UNESCO, 1972):

- Peligrosidad, capacidad intrínseca del proceso natural para producir daños.
- Exposición, grado de muestra o presentación de los elementos en riesgo.
- Vulnerabilidad, fragilidad intrínseca de los elementos en riesgo.

La materialización del riesgo constituye una catástrofe natural cuando supone una destrucción de bienes o disminución de su valor, lesiones (físicas o psicológicas) a personas, o pérdida de vidas humanas. Para paliar las consecuencias de las catástrofes naturales existen tres grandes conjuntos de medidas:

- Predictivas, enfocadas a la determinación espacio-temporal previa, esto es, definir cuándo, dónde y con qué características se producirá el fenómeno



- Preventivas, que buscan la disminución de daños actuando sobre la exposición (no estructurales) y/o la vulnerabilidad (estructurales)
- Correctivas, dirigidas a devolver a la situación original los elementos siniestrados.

La definición estadística de riesgo (R) se basa en la probabilidad de que el evento catastrófico ocurra al menos una vez en n años. Si consideramos una magnitud susceptible de causar una catástrofe (p.e. un caudal), y llamamos p a la probabilidad de que un valor de esa magnitud no sea superado en un año, dicha probabilidad de que sea sobrepasado en n años (suponiendo que la ocurrencia en cada año es un suceso independiente) podría expresarse como (Ferrer 1993):

$$R = 1 - p^n$$

o en función del periodo de retorno (T):

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

El suceso complementario  $[(1 - 1/T)^n]$ , o probabilidad de que no sea superado en n años, recibe el nombre de garantía (G).

## 1.2. Las inundaciones como riesgo natural

Los riesgos naturales se clasifican según diferentes criterios, siendo habitual distinguir entre ellos: riesgos biológicos (plagas y epidemias), riesgos cósmicos (exógenos a la Tierra), riesgos meteorológicos-climáticos (asociados a la dinámica atmosférica) y riesgos geológicos; dentro de estos últimos se encuentran los riesgos hidrológicos, íntimamente asociados a los climáticos, y cuyo máximo exponente es el riesgo de inundación.

Según se hace constar en el apartado 1.3 de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil (M.J.I., 1995), una inundación consiste en la sumersión temporal bajo lámina de agua de terrenos normalmente secos, como consecuencia de una precipitación "*in situ*", una avenida o crecida, o la inadecuada gestión de obras hidráulicas.

Cuando una zona es susceptible de ser inundada se dice que tiene asociada una peligrosidad o, en este caso, un factor de inundabilidad: probabilidad temporal de ocurrencia del fenómeno; ésta suele expresarse mediante el período estadístico de retorno (T, en años), inverso de la probabilidad de que en un año se presente una inundación superior a un valor dado (M.J.I., 1995).

## 1.3. Las Inundaciones y el Riesgo por Inundaciones

Una inundación según el Diccionario de la Real Academia Española, es la acción y efecto de inundar, esto es, cubrir los terrenos y a veces poblaciones.

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones (MJI, 1995), define como la sumersión temporal de terrenos normalmente secos, como consecuencia de la aportación inusual y más o menos repentina de una cantidad de agua superior a la que es habitual en una zona determinada.



La Agencia Federal de Gestión de Emergencias de los EE.UU. (FEMA) cuantifica incluso la superficie anegable para que se considere inundación: una condición general y temporal de inundación completa o parcial de dos o más acres (0,81 ha) de terrenos normalmente secos o de dos o más propiedades, es decir, un exceso de agua (o barro) sobre terrenos normalmente secos.

Por su parte, la nueva Directiva Europea de Inundaciones (2007/60/EC) define inundación como el “anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos por agua” (artículo 2.1).

A pesar de la indefinición de términos como “normalmente secos” o “no están normalmente cubiertos por el agua”, en lo que todo el mundo está de acuerdo, es en el carácter excepcional de las inundaciones desde el punto de vista de las actividades humanas cotidianas, pero de su carácter consustancial desde el punto de vista de la dinámica natural (Camarasa 2002); incluso desde tiempos remotos, las primeras civilizaciones ligadas a los valles fértiles (Eúfrates, Tigris, Nilo, Ganges) eran conscientes y utilizaban aspectos beneficiosos de las inundaciones, principalmente para la fertilización natural de los campos agrícolas.

Se entiende, por tanto, como riesgo de inundación a la situación potencial de pérdida o daño de personas, bienes materiales o servicios, como consecuencia del anegamiento de sectores normalmente secos por inundaciones a las que se asocia una severidad (intensidad y magnitud) y frecuencia o probabilidad de ocurrencia, determinadas.

La Directiva Europea de Inundaciones lo define como la “combinación de la probabilidad de que se produzca una inundación y de las posibles consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a una inundación” (artículo 2.2).

## 1.4. Tipos y Orígenes de las inundaciones

Las inundaciones naturales (eliminando las generadas por causas exclusivamente humanas, como las fugas y roturas en conducciones o almacenamientos) son básicamente de dos tipos:

- Terrestres (en el sentido de “tierra adentro” o “inland”), en las que aguas dulces anegan territorios del interior de los continentes
- Litorales o costeras, en las que las aguas marinas o lacustres-palustres invaden los sectores limítrofes con el dominio terrestre.

Entre ambos tipos existen diferentes combinaciones y situaciones intermedias. Por lo tanto, dada la diversidad de fenomenología, es más correcto hablar en plural de este tipo de riesgo, es decir, de riesgo de inundaciones.

El origen de las inundaciones terrestres suele ser dual: o bien el desbordamiento de corrientes fluviales (ríos, arroyos, torrentes, etc.); o bien el encharcamiento de zonas llanas o endorreicas sin vinculación con la red fluvial, tanto por acumulación de la precipitación sin que circule sobre la superficie terrestre (precipitación “in situ”, sobrealimentación de un lago), como de origen hidrogeológico asociado a urgencias o elevación de la superficie freática sobre la superficie del terreno.

En el primer caso, el aumento de caudal por encima de la capacidad del cauce para desalojarlo, conlleva el desbordamiento y la ocupación de las márgenes. Estos aumentos de caudal se pueden producir durante crecidas y/o avenidas, diferentes en cuanto a las causas que generan los aumentos de caudal: mientras que las crecidas se relacionan con precipitaciones generalizadas y de larga



duración (frontales) o fusión progresiva de mantos nivales y deshielo glaciario; las avenidas pueden originarse tras precipitaciones intensas concentradas (orográficas y/o consecutivas), roturas de represamientos naturales (lagos, lagunas y presas de castores) o artificiales (puentes obstruidos, embalses), inadecuado funcionamiento o rotura de obras hidráulicas (azudes, presas de embalse, balsas, depósitos, diques artificiales) o, por fusión repentina de nieve o hielo inducida por actividad volcánica.

Otras causas de inundaciones terrestres con menor incidencia son la formación y aumento de nivel en lagos originados por represamientos causados por movimientos de ladera o avances glaciares; y el aumento del nivel freático por encima de la superficie topográfica como consecuencia de descargas de acuíferos, como ocurre en las depresiones kársticas.

Además de todas estas posibles causas directas, que actúan como factores desencadenantes de las inundaciones terrestres, existen otros factores condicionantes, que potencian o intensifican estos fenómenos. Básicamente son parámetros topográficos, como la pendiente de la cuenca hidrográfica y de las corrientes fluviales, o el tamaño y la forma de la cuenca; el tipo de suelo, su geometría y la cubierta vegetal del terreno. En igualdad de otras condiciones desencadenantes (lluvias), las mayores inundaciones se dan en pequeñas cuencas de montaña, con formas redondeadas, altas pendientes, suelos delgados e impermeables y ausencia de vegetación. De la misma manera, actuaciones como la urbanización o deforestación de amplios sectores de las cuencas contribuyen al aumento de los caudales circulantes.

Por lo que respecta a las inundaciones litorales o costeras, las causas pueden relacionarse con aumentos del nivel del agua de mares y lagos durante tormentas y temporales, fenómenos ciclónicos atípicos, fuertes variaciones mareales y barométricas, o como consecuencia de tsunamis. Estas inundaciones suelen afectar, como es lógico, a sectores costeros con escaso relieve, como deltas, bahías, rías y estuarios, marismas y playas, islas-barrera, etc. un caso paradigmático de este tipo de inundaciones son los anegamientos periódicos de algunas plazas y calles. En ocasiones, estos fenómenos costeros se producen combinados, ayudados o acelerados por el hundimiento progresivo de estas zonas costeras, bien de forma natural o artificial.

Por último, muchas inundaciones en zonas litorales son una combinación o sucesión de orígenes terrestres y costeros, de forma que los ríos, con altos caudales circulantes en situación de crecida, no pueden desembocar con normalidad al mar o lago, por encontrarse éste con altos niveles como consecuencia de temporales o mareas vivas en situación de pleamar. En estas circunstancias se agravan las situaciones de inundación también por las dificultades para desaguar el alcantarillado urbano, cuyos sumideros pueden convertirse en auténticas surgencias.

## **1.5. El Riesgo por Avenidas e Inundaciones en España**

Prácticamente todo el territorio español se encuentra sometido a riesgo de inundaciones, aunque en distinto grado y diferentes modalidades. Los estudios de síntesis del CTEI, basados en las inundaciones históricas, permitieron delimitar unos 1300 puntos conflictivos. Además se identificó más de un millar de zonas de riesgo, de las cuales sólo un 6,5% corresponden a nivel máximo. Simplificando la diversidad, pero a título orientativo para la delimitación de “regiones-riesgo”, existen cuatro grandes zonas en riesgo en España:

- 1.- Zonas en riesgo por inundaciones asociadas a avenidas relámpago o súbitas en la vertiente mediterránea; se trata de los cauces de corrientes efímeras costeras (ramblas o rieras) o permanentes y sus márgenes, que en situaciones de precipitaciones muy intensas durante el otoño, producen el anegamiento de núcleos de población y terrenos agrícolas.



2.- Zonas en riesgo por inundaciones asociadas a avenidas torrenciales en los sistemas montañosos; se trata de los cauces de torrentes, torrenteras, barrancos y arroyos, y sus márgenes y conos, que en situaciones de precipitaciones intensas durante los meses estivales, producen el anegamiento de núcleos de población. Afectan a las laderas y piedemontes de los principales sistemas montañosos peninsulares e insulares.

3.- Zonas en riesgo por inundaciones asociadas a crecidas en los tramos medios y bajos de los grandes ríos peninsulares; se trata de los cauces de ríos y las llanuras de inundación asociadas, que en situaciones de precipitaciones prolongadas o fusión de cobertura nival producen el anegamiento de núcleos de población y de terrenos agrícolas.

4.- Zonas en riesgo por inundaciones asociadas a zonas llanas y endorreicas en los sectores centrales de las grandes cuencas; se trata de planicies y zonas pantanosas, que en situaciones de precipitaciones intensas y/o prolongadas, acumulan “in situ” las lluvias, y que superan la capacidad de infiltración y drenaje, anegando núcleos de población y terrenos agrícolas.

En menor medida están representadas en España otras modalidades de inundación, que producen situaciones de riesgo en sectores más concretos y con carácter excepcional, como por ejemplo las inundaciones costeras y litorales o las asociadas al ascenso de la superficie freática.

Evidentemente existen multitud de situaciones intermedias o mixtas, y zonas afectadas por dos o más de los tipos anteriormente sintetizados. Una de las más comunes es la interferencia de corrientes fluviales en situación de crecida y/o avenida que inundan las márgenes en la desembocadura por coincidencia con situaciones de dinámica litoral o costera desfavorable.

Los diferentes análisis de peligrosidad y los correspondientes mapas que de ellos deriven, tendrán en cuenta esta complejidad y variedad tipológica del fenómeno de las inundaciones en España, adaptando los métodos y técnicas de análisis y representación a las particularidades de las inundaciones esperables en cada zona de riesgo. Por ello, se darán indicaciones específicas para las zonas de peligrosidad según el tipo de inundación o ámbito en el que se produce.

## **1.6. Impactos de las Avenidas e Inundaciones**

El primer y más consustancial daño de la inundación es el propio anegamiento por agua y su profundidad en zonas normalmente secas, lo que conlleva humectación de suelos, con la consiguiente pérdida de capacidad portante de los terrenos, y de las estructuras y edificaciones construidas en ellos, pudiendo afectar a su cimentación y estabilidad estructural; o la pérdida de determinados cultivos y vegetación por quedar sumergidos y apartados del oxígeno atmosférico. Además, las instalaciones de servicios y vías de comunicación pueden quedar sumergidas, con el consiguiente riesgo de rotura o interrupción del servicio. También la inmersión de buena parte de los bienes materiales, como electrodomésticos, vehículos de motor y mobiliario doméstico, produce su deterioro o daño irreparable, con las consiguientes pérdidas económicas. En este sentido, existen una serie de valores umbral de profundidad de lámina de agua a partir de los cuales se incrementan significativamente los daños; como los 0,8 m, cifra promedio sobre la que se inundan los enseres ubicados sobre mesas, encimeras y estantes. En el caso de las instalaciones y mercancías tóxicas y peligrosas el daño es susceptible de agravarse porque puede producirse una difusión y dispersión de los contaminantes en la corriente. Profundidades más elevadas y, sobre todo, cambios bruscos en la misma pueden suponer igualmente un peligro para la integridad física de seres humanos y animales, fundamentalmente para aquellas personas que por su corta edad, su longevidad, o diferentes enfermedades y discapacidades, tienen alta vulnerabilidad.



Es importante, igualmente, considerar el tiempo de permanencia de la lámina de agua, ya que exposiciones o anegamientos prolongados pueden agravar los efectos antes mencionados, como la pérdida de cultivos o la disgregación de cimentaciones; mientras que rápidas desecaciones pueden reducir los daños significativamente, ya que además minimiza la decantación de materiales finos en el lecho. En inundaciones costeras y litorales, el anegamiento de zonas continentales por aguas marinas produce la salinización de los suelos y de los acuíferos en los que se infiltran.

En segundo lugar, un efecto de la inundación susceptible de causar daños es la velocidad de la corriente, que en ocasiones puede, por impacto directo o indirecto, derribar y arrastrar enseres y personas. Con velocidades superiores a un metro por segundo y con cierto calado, se considera suficiente para arrastrar a una persona; menores velocidades se precisan aún para desplazar en flotación vehículos y otros enseres. Especialmente peligrosos son los cambios bruscos de velocidad, como los que se producen en resaltos hidráulicos, en los que la liberación de energía es tal que los enseres y personas quedan atrapados con enormes dificultades para ser recuperados o rescatados. Durante las inundaciones, sobre todo en avenidas torrenciales, las velocidades pueden superar incluso los 4 ó 6 m/s, valores con los cuales se arrastran objetos voluminosos y pesados, e incluso se crean remolinos y peligrosos fenómenos de succión del aire por efecto Venturi y sobrepresiones por cavitación.

En tercer lugar, la fuerza o energía de la corriente puede erosionar el lecho y las márgenes del cauce, produciendo socavación de infraestructuras e inestabilidad de laderas, que desencadene movimientos de material, con los consiguientes daños asociados, que pueden afectar tanto a personas y bienes como a infraestructuras.

Un cuarto efecto susceptible de causar daños es la carga sólida arrastrada por el agua, ya sea en suspensión en el seno del fluido, ya sea como carga de fondo o en flotación. Los materiales transportados pueden producir daños a las personas por impacto, generando traumatismos y abrasiones de diversa consideración, e incluso la muerte por politraumatismo; algo semejante ocurre sobre los bienes materiales y construcciones. Estos materiales detríticos o restos vegetales producen diferentes efectos hidráulicos en la corriente, como aumentar su densidad y viscosidad, y disminuir su velocidad, con el consiguiente incremento en la altura de la lámina de agua. En casos extremos, la carga sólida elevada puede convertir la corriente en un auténtico río de fango o de derrubios, con alta peligrosidad. De la misma forma, el transporte de elementos en flotación dificulta el flujo y paso por estrechamientos, incitando su colapso y rotura.

Esta carga sólida transportada, cuando finalmente se deposita en zonas de menor energía, puede también causar daños por aterramiento, ya que además de cubrir y enterrar bienes materiales, puede obstruirse o bloquear infraestructuras de abastecimiento, transporte o saneamiento, inutilizar electrodomésticos con filtros o rejillas, mermar los recursos pesqueros, etc.

Otros efectos susceptibles de causar daños, aunque con menor extensión espacial e incidencia son:

- Fenómenos de sufusión en las márgenes y riberas: tras la inundación, el agua que empapa y satura estas márgenes, retorna por flujo sub-superficial al cauce, produciendo arrastres de elementos finos que generan pequeñas galerías y conductos subterráneos, cuyo hundimiento o colapso puede producir daños.
- Fenómenos de expansividad de arcillas o rocas salinas, cuando en las zonas anegadas existen este tipo de materiales, con el consiguiente cambio en la configuración del terreno por hinchamiento.



- Fenómenos de reactivación cárstica, por desobstrucción durante la inundación de conductos rellenos, o por la creación de nuevos conductos o galerías, o colapsos del techo de éstos.

## 1.7. Importancia socio-económica de las inundaciones

De la multitud de modalidades que presenta la interferencia entre la actividad antrópica y los procesos naturales, sin duda alguna es la inundación bajo lámina de agua el fenómeno que mayor repercusión supone para la Sociedad a escala mundial, tanto desde el punto de vista de pérdida de vidas humanas como por sus consecuencias económicas.

Durante el periodo 1900-1976, unas 1.287.650 personas perdieron la vida por inundaciones en todo el mundo, cifra que supone el 28 % de los muertos en catástrofes naturales, tan sólo superada por las víctimas de terremotos. Aun más, el número de damnificados (heridos y sin hogar a causa de la inundación) en ese periodo ascendió a 175 millones de personas, lo que supone un 75 % del total, seguido a enorme distancia por los damnificados en terremotos (12 %).

Conscientes de la necesidad de abordar esta problemática, diversos organismos internacionales acordaron declarar la década 1990-2000 como Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales.

Nuestro país no es una excepción, adquiriendo las inundaciones un papel incluso más relevante porcentualmente ante la actual atenuación de otros procesos naturales (volcánicos, sísmicos, etc.) menos activos que en otras regiones del Planeta. Las estadísticas elaboradas al respecto (Ayala, 1996) así lo ponen de manifiesto: las pérdidas económicas por peligros y calamidades naturales en España durante el periodo 1990-95 ascendieron a unos 911.460 MP, lo que supone unos 151.910 MP anuales (0,23 % del PIB); dentro de esta última cifra, las inundaciones han producido unas pérdidas medias anuales de 24.383 MP (periodo 1977-95), sólo superadas por la cuantía debida a efectos meteorológicos diversos (sequías, heladas y pedriscos). En lo que respecta al número de víctimas, puede estimarse una media anual de 20 muertes por efecto de las inundaciones para el periodo 1990-1996; cantidad únicamente superada por las 38 muertes medias producidas por los temporales marítimos (alta mar), y que debe ser revisada a la luz de catástrofes como la acontecidas en el barranco de Arás en agosto de 1996 (87 víctimas) y en Badajoz el 6 de noviembre de 1997 (22 fallecidos). Ayala (1999) estima en 20 muertes y 35.000 millones de pesetas las pérdidas medias anuales debidas a las inundaciones.

Pero además las perspectivas tampoco son nada halagüeñas a juzgar por las previsiones reflejadas en las evaluaciones de pérdidas futuras. Ayala y Elízaga (1987) dirigieron un estudio enfocado a la evaluación orientativa de las posibles pérdidas económicas debidas a riesgos geológicos en España para un horizonte de treinta años (1986-2016). Aunque se considera obsoleto en su parte económica (Ayala, 1999), es útil en la localización espacial y el análisis cualitativo. Las pérdidas totales calculadas para el periodo considerado ascienden a 8,1 y 4,9 BP respectivamente, 0,68 y 1,13 % de la Renta Nacional.

Así pues, las inundaciones son un riesgo importante en pérdidas económicas previstas. En vidas humanas, las pérdidas potenciales en los próximos 30 años para todos los riesgos (entre 500 y 1000 personas), corresponden prácticamente en su totalidad a los efectos de las inundaciones.

Si nos restringimos al ámbito geográfico que abarca la CHT, que participa de las CC.AA. de Castilla y León, Madrid y Castilla-La Mancha, las estimaciones realizadas de pérdidas por inundación ascienden a 14.877, 3.857 y 19.700 MP respectivamente, para el periodo 1986-2016; si se considera un crecimiento anual de los costes del 2 % se transforman en 20.117, 5.216 y 26.640



MP. Cifras a todas luces infravaloradas, ya que tan sólo durante las inundaciones de diciembre 96-enero 97 y diciembre de 1997 ya se han visto ampliamente sobrepasadas.

Durante la década de 1980 se creó la Comisión Técnica de Emergencia por Inundaciones (CTEI), a la que pertenecen entre otros organismos las Direcciones Generales de Protección Civil y de Obras Hidráulicas, y el Centro de Estudios Hidrográficos. Al grupo segundo de esta Comisión se le encargó la "elaboración del estudio de actuaciones y medidas de carácter preventivo a corto, medio y largo plazo para corregir los efectos de inundaciones potenciales en función de los riesgos establecidos y conocidos en cada momento". Estos estudios e informes vieron la luz ese mismo año bajo los títulos: *Inundaciones históricas y mapa de riesgos potenciales*, *Las inundaciones en España. Informe General y Metodología para la prevención y reducción de daños ocasionados por las inundaciones*.

Desde que en el año 1983 se iniciaron los estudios e informes generales y hasta 1985, se catalogaron 1336 puntos negros con riesgo de inundación en las diez cuencas hidrográficas españolas; las posibles correcciones en estas zonas precisarían una inversión total cifrada en unos 200.000 MP.

## **1.8. Actuaciones Humanas que Contribuyen a Agravar el Riesgo**

Las actuaciones humanas que contribuyen a agravar las situaciones de riesgo de inundaciones podrían agruparse en tres grandes conjuntos, según conlleven un aumento o incremento de alguno de los factores del riesgo, esto es, la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad.

Entre las actuaciones que contribuyen a aumentar la peligrosidad, incrementando los caudales, los calados y velocidades de circulación de los mismos; modificando los tiempos característicos a situaciones más peligrosas; o aumentando la carga sólida transportada, se encuentran:

- Deforestación y cambios en la cubierta vegetal, disminuyendo la interceptación y por lo tanto aumentando la precipitación efectiva.
- Impermeabilización de los suelos de amplios sectores de la cuenca, bien por cubrir la superficie con elementos impermeables, o por compactación del suelo.
- Apertura de taludes, desmontes y superficies de suelos o rocas descubiertas, en obras y actividades agrícolas-forestales, que contribuyen al aumento de la carga sólida y disminuyen la capacidad de infiltración del suelo.
- Inadecuado diseño y gestión de intervenciones en el cauce y la llanura inundable, como canalizaciones, diques artificiales o cortas de meandros, que trasladan el peligro a otras zonas o lo posponen.



## 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO

Uno de los objetivos del estudio, es delimitar las zonas inundables del municipio, con el fin de ordenar adecuadamente las zonas susceptibles de desarrollo, sistemas generales, etc.

Las inundaciones asociadas a grandes avenidas producen daños económicos y ponen en riesgo la seguridad de las personas en zonas urbanas. Es objeto del presente estudio delimitar las zonas inundables en el entorno del río Gaznata, con el fin de proponer en el futuro las medidas correctoras para proteger a la población afectada y limitar sus consecuencias.

Es indudable la relevancia social que suscita este tipo de coyunturas. Por otro lado, no hay que olvidar, que el subconsciente colectivo es muy débil y tiende a enterrar rápidamente sucesos indeseables como son las inundaciones, volviendo a ocupar extensiones propias de los ríos cuando “las aguas vuelven a su cauce”.

Bajo este prisma, que sin duda cae de lleno en la gestión de los recursos a nivel de cuenca, y por ende en la gestión del territorio, hemos creído conveniente profundizar un poco más en el estudio del estado actual del arte en esta materia y de las metodologías utilizadas en su análisis

Para ello hemos seleccionado un entorno en la cuenca del Tajo que suscitó muchos estudios en los albores del 2000, por la dificultad intrínseca de prever la ocurrencia del evento extremo que acaeció en la cuenca del arroyo de la Gaznata, aguas arriba del embalse del Burguillo, y que provocó serios daños en el municipio del Herradón, en la provincia de Ávila.

El estudio a realizar consiste en la recopilación de datos de partida (pluviométricos, topográficos, hidrológicos, etc.) necesarios para la elaboración del estudio hidrológico necesario para definir los caudales de diseño correspondientes a las avenidas asociadas a un periodo de retorno.

Con los caudales de diseño se calculan las láminas de agua en el cauce y las llanuras de inundación provocada por la correspondiente avenida.



### 3. DESCRIPCIÓN DEL ESPACIO

#### 3.1. Situación geográfica

El pueblo está al S. E de Ávila capital y a 21 Km. De esta y en la antigua carretera "Ávila-Toledo" pasado el puerto de "El Boquerón".

Está atravesado por el río Gaznata; el cual nace en la fuente del Cuadrón y a el cual depositan sus aguas algunos afluentes: Arrollo de Grajera, de Gaznatilla, de Garceluño etc. Desemboca en el Alberche a la altura del pantano el Burguillo.



Figura 1. Cuenca del río Gaznata

El pueblo está situado en el valle de la Gaznata, entre dos murallones de piedra y al descender del puerto de las Pilas, por donde pasaba el antiguo camino real.

#### 3.2. Contexto geológico

La provincia de Ávila está constituida por un sector montañoso, con litologías resistentes metamórficas y plutónicas, que forman parte del Sistema Central, y otro de llano, de sedimentación arcillosa y arenosa, con escasa resistencia y de edad terciaria y cuaternaria.



El primero es un territorio donde la compartimentación morfo-estructural es enormemente compleja y variada, pues la mayor parte de las unidades de relieve tienen su origen en los movimientos de bloques de un zócalo rígido, arrasado previamente por la erosión. El segundo tiene gran extensión superficial (se prolonga ampliamente por las provincias de Salamanca, Valladolid y Segovia), pero la diferenciación morfo-estructural apenas existe, al menos en la provincia de Ávila, dados los caracteres litológicos y la ausencia de movimientos tectónicos posteriores a la sedimentación.

Es un espacio de campiñas, cuya subdivisión ha de basarse en otros elementos naturales, entre los que se encuentran los morfológicos, relacionados con la disección o acumulación fluvial y la acción eólica.

El Sistema Central es una unidad montañosa que ocupa el 80 por ciento de la superficie provincial y cuya disposición del relieve está en función de las grandes líneas de fractura que han dado lugar a las sierras y a las fosas, estas últimas aprovechadas por la red fluvial.

De sur a norte, este sistema se articula en una serie de alineaciones claramente individualizadas, cuya altitud disminuye de sur a norte, y de diferente evolución morfológica, según sea su pendiente, altitud y orientación.

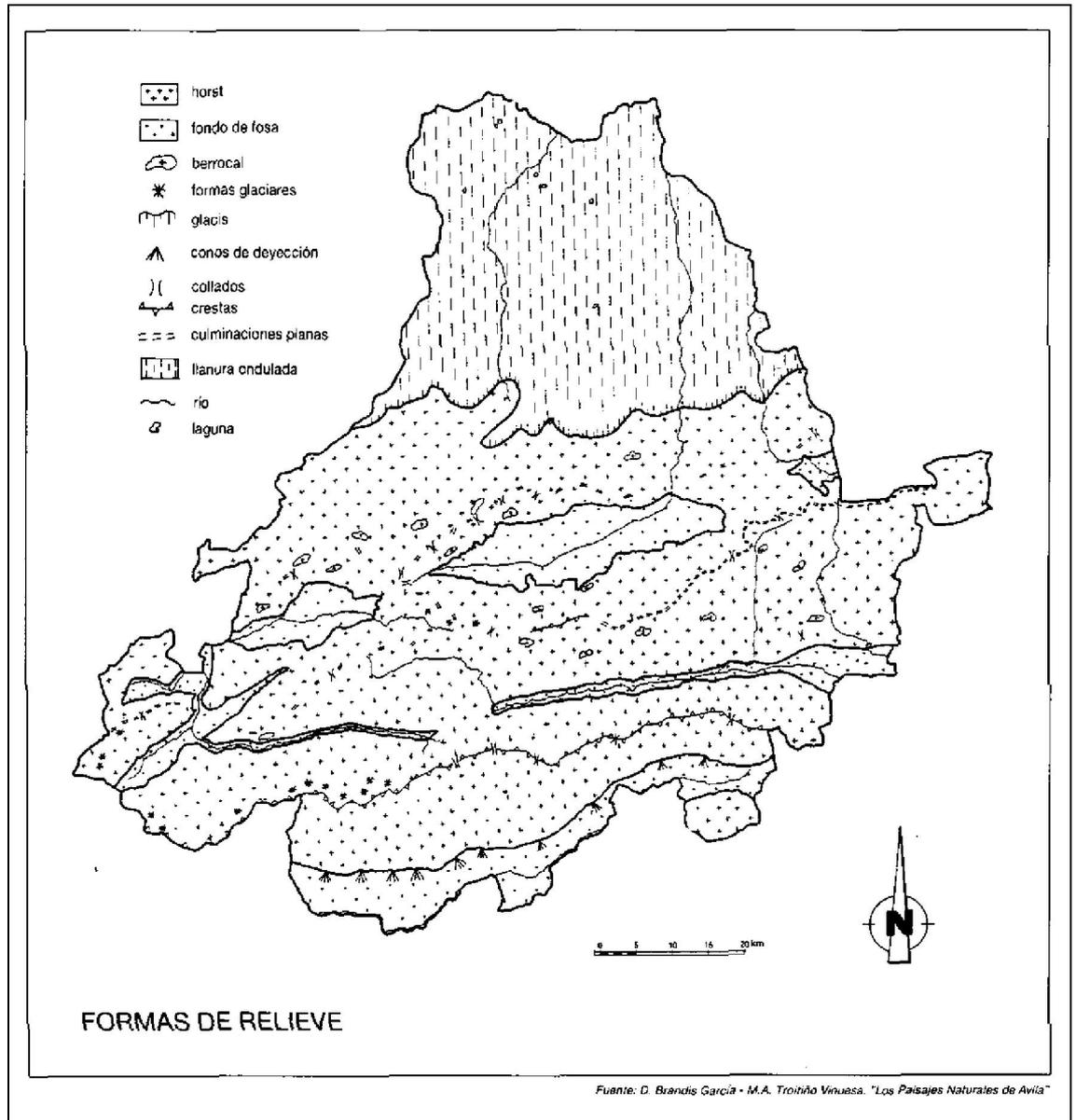
La Sierra de Gredos constituye la alineación más meridional y de mayor altitud. Longitudinalmente aparece delimitada por las fosas del Tiétar y Tormes-Alberche, y por el oeste la fosa del Aravalle, que la separa de la sierra de Béjar, y por el este por otra fosa transversal, aprovechada por el Alberche, que dibuja un gran codo en su trayectoria hacia el Tajo y que la separa de la Sierra de Guadarrama.

Esta alineación sigue la característica orientación del Sistema Central, aumentando de altitud de este a oeste (Cerro Guisando, a 1.320 m, el Cabezo, a 2.188 m, la Mira, a 2.348 m y el Almanzor, a 2.592 m). Esta sierra presenta una gran disimetría entre sus dos vertientes, debida a la diferencia de nivel de las dos fosas que la limitan (la del Tiétar, a 300-500 m y la del Tormes - Alberche, a 1.000-1.300 m), y a su orientación. También aparecen diferencias entre el sector oriental y el occidental, cuyo límite situamos en la fosa del Puerto del Pico, debido a la menor altitud del sector oriental.

La vertiente meridional aparece afectada por una intensa acción erosiva de carácter torrencial, favorecida por el fuerte desnivel entre las cumbres y el valle. El Tiétar discurre por su fondo, yendo encajado, prácticamente, durante todo su recorrido, salvo en el sector central, donde crea terrazas.

La vertiente septentrional ha tenido una evolución morfológica diferente, debido a su orientación y menor desnivel, dando una topografía más suave, y donde se ha originado una erosión de tipo 'glaciar' que ha remodelado las formas preexistentes. El Tormes y el Alberche han aprovechado la fosa que limita esta sierra por el norte y van encajados en los materiales paleozoicos sin presentar fondo plano, por lo que no dan lugar a una unidad independiente, ya que la Sierra de Gredos y las Parameras llegan hasta el propio río. Las Parameras son la segunda gran alineación montañosa, delimitada al sur por la fosa Tormes-Alberche, y la del Adaja por el norte. Se extiende desde el contacto con la Sierra de Guadarrama; por el este, hasta el codo que describe el Tormes en su trayectoria hacia, el Duero. Fallas transversales individualizan distintos bloques dentro de esta alineación con diferente evolución morfológica, según su orientación y altitud.

En conjunto, Las Parameras presentan menor altitud que la Sierra de Gredos y aumenta de altura de este a oeste (Sierra de Malagón, con 1.624 m; Cuerda de Polvisos, con 1.428 m; Sierra de la Paramera, con 2.146 m; Sierra de los Baldíos, con 2.136 m y la Serrota, que es el sector de mayor altitud, con 2.294 m), para después disminuir en el sector más occidental (Sierra de Villafranca, Sierra de Piedrahita y Sierra de los Castillejos, con 1.386 metros).



**Figura 2**

La evolución morfológica ha diferenciado ambas vertientes, especialmente en el sector oriental, donde la erosión remontante del Alberche y sus afluentes han mordido profundamente las laderas meridionales, mientras que la septentrional muestra un descenso más suave hacia el Adaja.

También merecen destacarse los fenómenos glaciares que se han desarrollado en la Serrota, aunque con menor importancia que en Gredos. Al norte de las Parameras y aprovechando la fosa que las separa de la Sierra de Ávila, tres ríos de características similares (Voltoya, Adaja, Corneja), han dado valles de fondo plano, relativamente amplios, que aparecen individualizados con respecto a sus vertientes; tanto por su topografía plana como por el predominio de materiales sedimentarios terciarios y cuaternarios.

La Sierra de Axila forma el eslabón más septentrional y el de menor altitud del Sistema Central. Es una sierra de culminaciones planas en la que incluso existen lagunas endorreicas, como la de Taëña. Destaca del conjunto la Sierra de Ojos Albos, que constituye un "horst" satélite que



marca el límite oriental. Por el oeste y a partir del Cerro de Mingorría, la altitud va descendiendo hasta enlazar con la penillanura salmantina. Esta sierra entra en contacto, por el norte, con la cuenca sedimentaria, mediante un glacis suavemente inclinado.

La Cuenca Sedimentaria forma el borde meridional de la cuenca del Duero, ocupando el sector más septentrional de la provincia. Constituye una unidad homogénea que viene definida por una topografía plana tan sólo accidentada, ligeramente, por valles fluviales que en algunos sectores se encajan en las arenas.

### **3.2.1. Contexto geomorfológico de la garganta del arroyo de la Gaznata:**

La garganta del Gaznata se sitúa a lo largo de un valle lineal asociado a una importante banda de fracturación cortical tardihercínica, la falla El Herradón-Casillas, con más de 30 km de desarrollo en dirección prácticamente norte-sur. Esta fractura, con movimientos relativos verticales limitados (y movimientos en dirección mal documentados) durante la orogenia alpina, y sus sistemas conjugados compartimentan la superficie poligénica de paramera, condicionando el encajamiento de la red de drenaje.

La superficie de paramera culminante (a cota entre 1400 y 1500 msnm) actúa como divisoria plana entre las cabeceras fluviales, y sólo destacan en ella relieves residuales lineales asociados a la presencia de diques y filones de rocas de menor erodibilidad, relieves graníticos de tipo berrocal y tors aislados, y mantos de meteorización, fundamentalmente en las zonas alejadas de la red de drenaje o en sectores afectados por intensa fracturación tardihercínica. Precisamente en las zonas de confluencia de dos o más fracturas y sus bandas de trituración asociadas se sitúan vaguadas o vagonadas con rellenos de tipo aluvial-coluvial, donde se localizan manantiales que sirven de nacimiento a muchos de los arroyos. Estos arroyos inician un encajamiento importante cuando llegan al escarpe principal de uno de los valles principales.

La incisión de los principales cauces a favor de las bandas de trituración y meteorización asociadas a dichos sistemas de fracturas generó una red de patrón ortogonal, que en su encajamiento iba exhumando laderas asociadas a fracturas y replanos escalonados sobre los bloques. La disposición final recuerda un graben, aunque la diferencia de cotas entre los replanos no está motivada por desnivelación tectónica de los bloques, sino por encajamiento fluvial y desmantelamiento diferencial de mantos de meteorización.

El fondo de las gargantas principales está ocupado por una estrecha llanura de inundación, por la que discurre el canal actual, de patrón rectilíneo. A esta llanura llegan desde los escarpes de ladera materiales movilizados por fenómenos gravitacionales y periglaciares, que se combinan con los aluviones de arrastre del propio canal, generando una morfología de tipo terraza. Los afluentes laterales del arroyo de la Gaznata, al llegar a la llanura de la garganta, forman conos de deyección elongados aguas abajo. Tan sólo en localizaciones puntuales, donde el valle de la Gaznata se ensancha en confluencias con tributarios, existen depósitos aluviales elevados respecto a la llanura, a modo de incipientes sistemas de terrazas, cuyos depósitos precedentes del canal principal.

### **3.3. Vegetación**

Del mismo modo que existen diferencias muy acusadas, tanto climáticas como edafológicas entre las dos grandes unidades, Sistema Central-Cuenca Sedimentaria, debido principalmente – a que la montaña provoca profundas alteraciones en la climatología, que repercuten en la vegetación, pues a medida que aumenta' la altitud se van reduciendo las especies termófilas de la base y son



suplantadas por otras más aptas al frío y, en general, observándose alteraciones en respuesta a todo tipo de hecho climático (pluviosidad, insolación...), van a existir dos dominios claramente diferenciados.

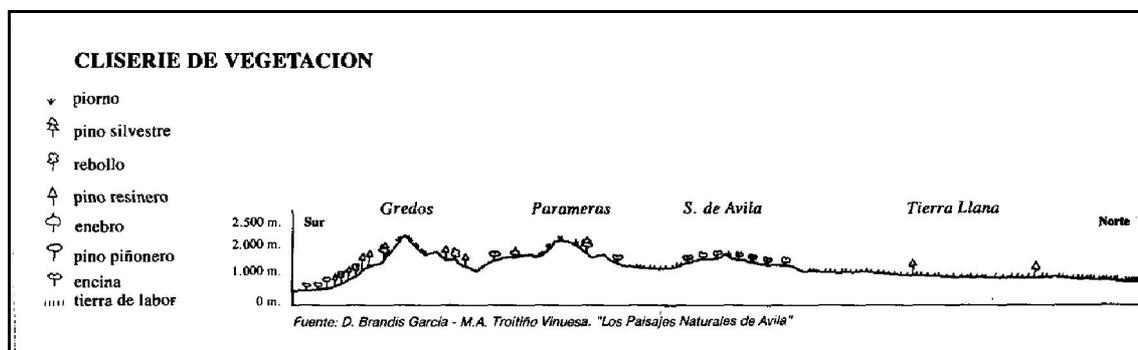


Figura 3

El Sistema Central cae dentro del dominio de la alianza quercion pyrenaicae, determinado por un clima de montaña. Sin embargo, esta vegetación clímax de rebollo aparece bastante degradada por la acción del hombre, que lo ha sustituido en amplios sectores por otras especies, principalmente por el pino de repoblación.

El relieve del Sistema Central presenta situaciones de solana y de umbría, por estar constituido por una serie de sierras y fosas que determináis al mismo tiempo el escalonamiento de la vegetación conforme varía la temperatura con la altura. Por estar situado este sistema entre las dos mesetas, participará en el piso basal de la especie característica de ésta: la encina (*Quercus ilex*), así como también, por causa de la altitud, contará con los pastos alpinos de las cumbres. Las diferencias de vegetación se deberán principalmente al factor orientación (solana-umbría) y al de altitud.

Por ello en la vertiente meridional las especies pueden ascender más arriba que las mismas formaciones en las umbrías. Por ello en las partes bajas, existirá la encina (*Quercus ilex*), y el pino piñonero (*Pinus pinea*), a media ladera será el rebollo (*Quercus pyrenaica*) y el pino resinero (*Pinus pinaster*) la vegetación predominante, para dar paso, ya en las partes altas, al pino silvestre (*Pinus sylvestris*), más adecuado a las temperaturas bajas. El último piso será el ocupado por el piorno (*Cytisus purgans*) y los pastos alpinos.

En la vertiente septentrional la especie predominante será la del pino silvestre que, debido a las repoblaciones, tiene una superficie mayor que la que en realidad le corresponde. Por ello se encuentra a partir de los 1.300 m, aunque por debajo de los 1.600 m el óptimo de vegetación debería corresponder al bosque caducifolio. En los tramos superiores, entre los 1.800 y los 2.400 m, se sitúa el matorral climácico de Gredos, esto es, el piorno. La formación última que se encuentra es la del prado alpinizado.

En la Cuenca Sedimentaria dominará la alianza *Quercion ilicis*, alianza mediterránea, pero a la que le faltan las especies más térmicas y típicamente mediterráneas. Sin embargo, en nuestra provincia, ni la encina ni sus acompañantes estarán presentes, ya que han desaparecido por completo debido a que el hombre ha suplantado todas las especies vegetales de este sector por una intensa ocupación agraria.

**Piso basal:** Encinares de la cuenca del Duero, encinares carpetanos y encinares luso-extremeños. Los primeros ocupan el ámbito sedimentario de la cuenca del Duero, adaptados a precipitaciones de 245-675 l / m<sup>2</sup> / año, con valores de temperaturas medias entre 10,9° C y 14° C,



es decir, un clima mesotérmico, deficitario durante el verano y parte del otoño y primavera, sobre substratos eutrofos, ricos en carbonato y pH básico, desarrollados sobre sedimentos miocénicos.

Estos encinares tienen una estructura en tres estratos: el superior forma una cobertura continua que cierra el bosque y deja en penumbra los estratos inferiores, compuestos por matorrales de carrasca y otros arbustos que dominan un estrato herbáceo de escasa densidad. La degradación de estos bosques ha llevado a la apertura de gran número de ellos, lo que ha significado la pérdida de especies adaptadas a la penumbra y la entrada de especies heliófilas de los pastos y matorrales contiguos. Cuando existen, lo más frecuente son los matorrales arbolados, las dehesas o los rodales de encinar aislados entre campos cerealistas.



**Figura 4. Cabecera del río Gaznata**

Los encinares carpetanos aparecen asociados con enebro (*Juniperus oxycedrus*) y colonizan los suelos ácidos que se desarrollan sobre las rocas cristalinas del Sistema Central, compuestos por un estrato arbóreo que tiende a cerrarse, otro inferior de entinares y enebros jóvenes y ciertos arbustos acompañantes, como el torvisco, lentisquilla, aladierno, etc., más un estrato herbáceo poco abundante en especies y recubrimiento. Se adapta a unas condiciones climáticas de inviernos fríos y déficit importante de agua en verano, con valores de precipitación entre 250 y 1.100 l/m<sup>2</sup>/año y temperaturas medias anuales entre 10<sup>o</sup>3° C y 14° C, muy parecida a la de los primeros entinares, pero con tasas de precipitación superiores a un 50%.

Los suelos, en las formaciones próximas a la clímax, son tierras pardas meridionales, pero habitualmente están degradadas, lo mismo que las formaciones vegetales de sustitución que se asientan sobre ellos. Catenalmente, este encinar queda limitado entre los 1.100-1.200 m, aunque de modo excepcional pueden encontrarse encinas aisladas a mayores altitudes. En la provincia de



Ávila estas formaciones se encuentran, preferentemente, en el límite norte del Sistema Central y en el sector suroriental de la provincia, en el área próxima a Cebreros-El Tiemblo.

En cada uno de estos lugares aparece en la actualidad una vegetación natural propia, condicionada por los diferentes matices ambientales que los definen y la específica explotación antrópica que han sufrido durante siglos.

En los territorios próximos a la ciudad de Ávila, situados cerca del límite altitudinal superior de este piso basal, la vegetación arbórea ha sido masivamente destruida por un pastoreo trashumante, a lo que se asocian labores de desbrozamiento e incendio de matorrales, así como tala de árboles para conseguir las extensiones de pastizal adecuadas para una cabaña ganadera de gran número de cabezas, especialmente durante el siglo XVI.

También aparecen formaciones arboladas de entinares adherados en ciertos lugares, como los valles encajados del Adaja y Voltoya o las áreas más occidentales, sobre un territorio constituido por rocas graníticas poco alteradas, que dan un relieve de abundantes cambios de pendiente y gran cantidad de afloramientos rocosos sanos.

Los matorrales que sustituyen el encinar una vez que este ha sido destruido o que constituyen su sotobosque, son retamares de retama negra con lastonares y bercedas que pasan a cantuesaltomillares en las áreas más degradadas y pedregosas. Cualquier elevación altitudinal tiene como consecuencia la aparición de robledales, que suelen estar también muy degradados, sustituidos por facies de matorral fisonómicamente muy semejantes a los propios del piso del encinar

En el sector suroriental de la provincia el encinar también está muy destruido, conservado sólo en pequeñas parcelas aisladas en pendientes fuertes y suelos pedregosos que indican su carácter original, apareciendo solamente en aquellos lugares que no pueden ser utilizados para otro tipo de explotación. En una gran mayoría de los casos, el encinar ha sido sustituido por bosques de pino pinaster que se adaptan con, facilidad a los suelos arenosos formados sobre las abundantes alteristas que recubren los materiales graníticos. Estos pinares, a los que a veces acompañan también el pino piñonero (*Pinus pinea*), tienen recubrimientos muy notables en una región situada al sur de Las Navas del Marqués-Navalperal de Pinares y se prolongan hasta la depresión del Tiemblo-Cebreros, introduciéndose también por el valle del Alberche, en los alrededores del pantano de El Burguillo. En el sotobosque de estos pinares, situados a altitudes inferiores a 1000 m. la retama negra abunda poco y es más frecuente encontrar jarales de *Cistus ladanifer* y romerales, acompañados en ocasiones por *Genista hirsuta*, que marca ya el paso al piso basaj propio del valle del Tiétar.

Los encinares luso-extremeños están situados en el área de menor altitud del sector cristalino de la provincia de Ávila, con menos de 500 m, en donde se dan unas temperaturas medias anuales entre 12,5° y 16,5° C y precipitaciones que oscilan entre 400 y 700 m, que permiten el desarrollo de encinares con paralillos silvestres, acebuches, jazmines de monte, madroños, etc., acompañados de otras especies silicícolas termófilas, como la cornicabra, que son sustituidos por jarales con aliaga, en los que también abundan romero y alguna especie de brezo. Estas formaciones aprovechan la calidad de los suelos profundos del valle del Tiétar y la benignidad de sus laderas, orientadas al mediodía en un ambiente climático regional de elevada pluviosidad, que hacia los 600 m. de altitud son sustituidas por otras propias del piso montano.

El territorio del encinar está fuertemente antropizado y son numerosos los cultivos de regadío y frutales, sobre los suelos más profundos, así como el del olivo o la vid en los más soleados o arenosos, que se mezclan con frecuencia con castaños o pinares de pino pinaster o silvestre, más extendidos en cotas superiores



Figura 5

**Piso montano Iberoatlántico.** En este piso dominan los robledales de *Q. pyrenaica*, que forman bosques densos sobre suelos profundos de pH neutro y gran valor nutritivo, que se adaptan a las áreas montañosas y de mayor elevación en una franja de precipitaciones abundantes, condicionadas por el aumento de la altitud, con temperaturas medias inferiores a las del encinar, pero siempre por encima de los 5° C.

El efecto de barrera a las altitudes en las que se desarrolla es tan importante que apenas se aprecia un déficit estival de lluvias, por lo que pueden aparecer estos bosques caducifolios de tendencia atlántica, aunque algo modificados con relación a los que se dan las zonas más septentrionales, de influencia oceánica. .

El territorio donde se extiende el robledal viene a recibir dos veces y media más lluvia que el encinar, y la temperatura media óptima está entre los 8,5° y 110 C, desde los 1100 m a los 1600-1700 m de altitud, subiendo a mayor cota en el área occidental.



Existen dos tipos de robledal. El primero, de marcado carácter continental, aparece en el área oriental del piso montano: El segundo, con un matiz atlántico, en el occidental. Los robledales orientales son los más destruidos, sustituidos por pino silvestre en los pinares llanos de la Sierra de Malagón o en las cumbres que limitan por el sur el valle del Alberche, que suceden en altura a los de pino pinaster. En el resto del área que ocupan potencialmente han sido sustituidos masivamente por matorral de retamas con Genista cinerea, a la que con frecuencia acompañan el piorno y pastizales relativamente productivos.

Sobre suelos profundos, las fresnedas y pastizales de siega, con espinales y genista florida en áreas marginales improductivas, completan el mosaico vegetal característico de este piso, en el que se localiza una gran parte de la actividad agraria y ganadera, así como numerosos «núcleos de población».

Los robledales occidentales están mejor conservados, con parcelas que aumentan de tamaño hacia el límite provincial, en diversos grados de evolución arbustiva, arborescente o arbórea, indicando el uso forestal al que son sometidos, con talas periódicas a mata rasa. En las laderas meridionales de Gredos los robles son sustituidos por castaños o pinares de Pino pinaster, con matorrales de Genista multiflora y Genista striata, acompañados también en las mayores alturas por piorno (*Cytisus purgaos*).

**Piso oromediterráneo.**- Está representado por matorrales de *Cytisus purgans* y *Juniperus communis* en el área oriental y *Cytisus purgaos* con *Echinopartum barnadesii* en el occidental, con altitudes que, en el primer caso, van desde los 1.700 a los 2.100 m, con temperaturas sensiblemente iguales para los dos tipos de piornales, pero precipitaciones mayores en el segundo caso que en el primero (670-3.200 l / m<sup>2</sup> / año y 1.120-2.750 l / m<sup>2</sup> / año, respectivamente).

En ambos el piorno ocupa del 50% al 100% del espacio y se caracterizan por la gran pobreza de especies, que cuando son de naturaleza arbustiva adoptan portes achaparrados y en forma de bola, como modo de adaptación al viento y al paso de la cobertura nival del invierno.

Los caracteres sexomorfos de las especies que los constituyen son una consecuencia de la adaptación a la gran sequedad estival que han de soportar, que unida a una elevada evapotranspiración, provoca una baja humedad relativa. Hacia las mayores altitudes, donde el matorral ya no puede desarrollarse o donde éste ha sido destruido, aparecen los pastizales propios del piso oromediterráneo cespitoso o criomediterráneo, que soporta las condiciones climáticas más duras de todo el sector montañoso, no sólo por las bajas temperaturas invernales, sino también por la sequedad estival, la fuerza del viento y la escasa capacidad protectora de la cubierta nival.

Estos pastizales tienen una estructura abierta, con especies herbáceas adaptadas a las migraciones del suelo de poco valor pero presentes, incluso, en topografías horizontales, muy típicas del medio de alta montaña mediterránea, donde por las características climáticas la nieve puede fundir en el curso de un invierno y dejar desprotegidos al suelo y vegetación, que se ven expuestos a unas temperaturas muy bajas, que también actúan en un suelo que se hiela con rapidez por estar empapado en el agua del deshielo.

Las especies vegetales se defienden de estas condiciones creciendo agrupadas en cepellones paralelos a la pendiente, que frenan la tendencia a la migración del suelo, o formando anillos alrededor de los núcleos del suelo que se hielan con más intensidad.

Los umbrales térmicos calculados son 3'70 C a 5° C como temperatura media anual y precipitaciones entre 1.383-2.635 l / m<sup>2</sup> / año. Generalmente el pastizal tiene un único estrato, con la *Festuca indigesta* como principal representante, que crece en cepellones entre los que arraigan las otras especies acompañantes. Estos céspedes comparten el espacio de las altas cumbres con otras comunidades herbáceas adaptadas a ecotopos precisos, como los cervunales, sobre suelos



húmedos, las comunidades de gleras, o la propia de los trampales áreas turbosas, que aparecen en las áreas de menor pendiente de las cubetas glaciares de los circos y artesas glaciares.

Así pues, la vegetación de la provincia de Ávila varía considerablemente desde las campiñas de la cuenca del Duero a las cumbres del Almanzor y se organiza en varios pisos altitudinales, que tienen variaciones más o menos profundas de este a oeste, con límites teóricos a veces diferentes a los reales, a causa de la plasticidad de ciertas especies' características y del intrincado relieve, que permite numerosas lobulaciones de los límites teóricos, por la exposición a los vientos dominantes, el valor de las pendientes o los efectos de solana y umbría.

La actividad humana también ha influido en el estado actual de la vegetación natural, provocando la deforestación de territorios actualmente cubiertos por matorral o pastizal, la conversión en campos de labor de otros y el crecimiento de especies forestales que no siempre son las climáticas.

El roble, que por- la altitud media de los relieves de esta provincia debería ocupar una gran extensión en ella, apenas existe en la actualidad y con frecuencia aparecen en su lugar, o mezclados con ellos, castaños o pinares cuya autoctonía en el área de Gredos aún está siendo discutida.

### **3.4. Usos del suelo**

Aparecen ligados de forma evidente a la naturaleza de los materiales que le sirven de soporte, a la topografía y a las condiciones climáticas.

Teniendo en cuenta estos hechos, podemos distinguir en la provincia dos grandes dominios edafológicos que corresponden al Sistema Central y a la Cuenca Sedimentaria.

En el Sistema Central la altitud, la topografía de montaña y las, condiciones climáticas han dificultado la evolución de los suelos y, debido a ello, predominan los poco desarrollados y, por tanto, de escasa calidad agronómica. Causa directa también de este estado de los suelos ha sido la acción erosiva, favorecida por la pendiente y la ausencia de vegetación, potenciada con frecuencia por la acción del hombre.

Aparecen seis tipos de suelos característicos: litosuelos, tierras pardas meridionales, tierras pardas húmedas, pardas degradadas, de césped alpino y suelos aluviales.

Los litosuelos son suelos muy mal desarrollados, sobre los que no se puede dar ningún tipo de actividad agraria ni tampoco una cubierta vegetal arbórea. Ocupan importantes superficies en la Sierra de Gredos, las Parameras –ya que se localizan sobre un substrato de granito o gneis-, en zonas de topografía accidentada, de fuertes pendientes y bajas temperaturas.

Las tierras pardas meridionales son aptas para la vegetación de pinar o encinar y, debido a su pobreza en humus, no son muy aconsejables para los cultivos. Se extienden por zonas de altitud media y de topografía no muy accidentada, así, en la Sierra de Ávila, sectores de las Parameras y partes bajas del valle del Tiétar.

Las tierras pardas húmedas son suelos de profundidad variable y de distinto grado de desarrollo, según la altitud, pendiente y orientación, pero generalmente son aptos para la vegetación de pinos, rebollos e incluso para la actividad agraria, ya que su contenido en humus es elevado y su poder de retención de humedad es bueno. Se extiende por zonas dependientes medias, principalmente en Grados y las Parameras.

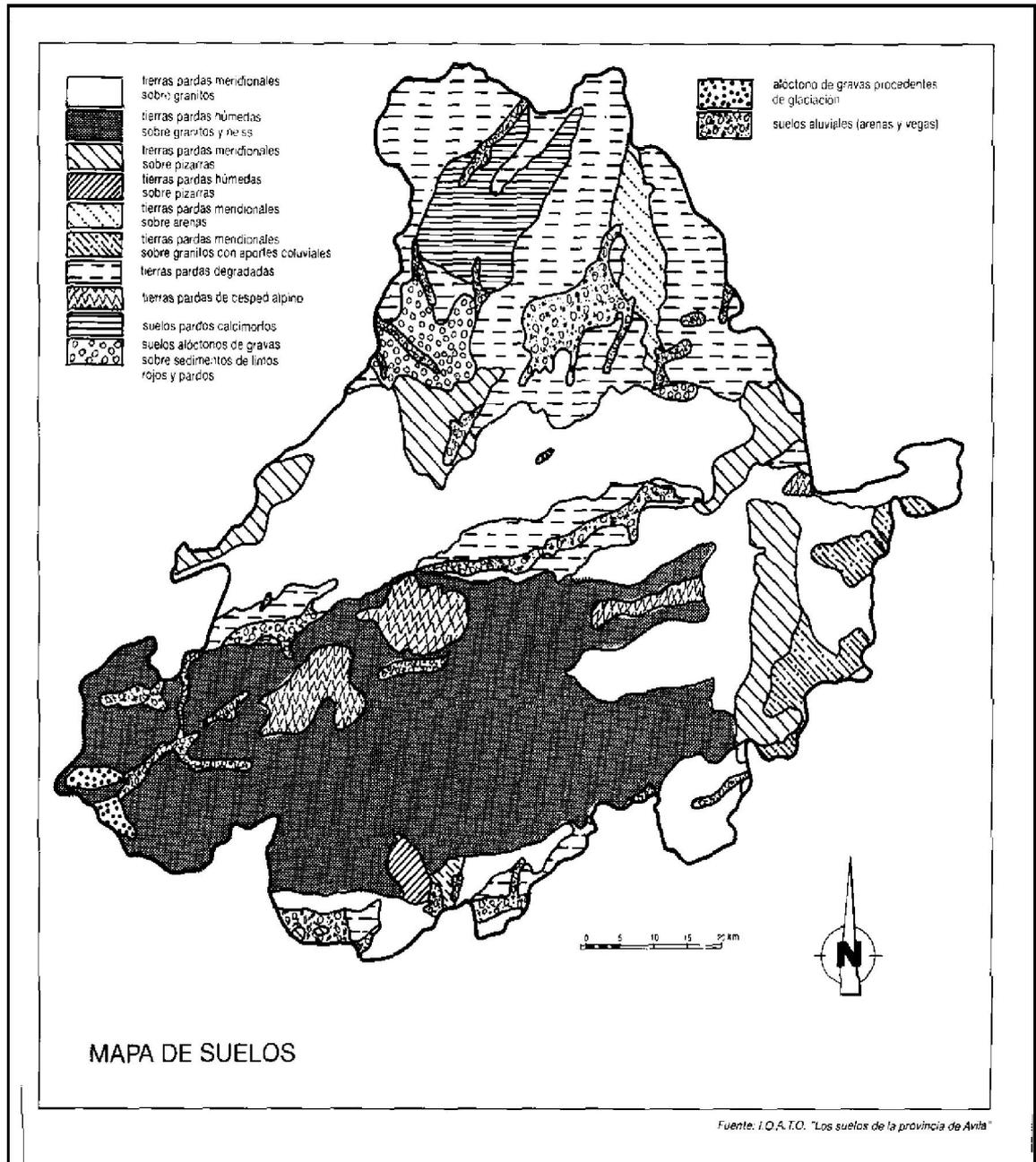


Figura 6

Las tierras pardas de césped alpino van asociadas a afloramientos rocosos en las partes más frías. Ocupan, también, topografías planas por encima de los 1.700 m y son, en general, suelos poco profundos que sirven, exclusivamente, para el desarrollo de los pastizales. Aparecen, principalmente, en las partes altas de Gredos, en la Serrota...

Las tierras pardas degradadas son pobres en humus y fuertemente erosionables, desarrolladas en un clima más cálido y lluvioso que el actual, pero que sirven perfectamente para la actividad agraria, como lo demuestra el que aparezcan en los valles del Adaja, Comeja, Tiétar y en el Campo Azálvaro.



**Figura 7. Río Gaznata**

Los suelos aluviales ocupan superficies escasas, ya que dependen de la naturaleza de los aportes fluviales y los ríos de la provincia van frecuentemente encajados, salvo algunos sectores del Tiétar, una gran mancha en el valle del Adaja, en el valle del Corneja, en el Becedillas, Aravalle y en la depresión del Barco, pero nunca en estos sectores, salvo en el Adaja, su superficie es grande para que permita una rica actividad agraria.

En la Cuenca Sedimentaria la menor altitud, la topografía plana y la diferente naturaleza del substrato se han determinado la formación de unos tipos de suelos cuya estructura difiere de los del Sistema Central, predominando tres tipos de suelo -que, aunque tienen la misma nomenclatura, difieren en su estructura interna.

Las tierras pardas degradadas son suelos aptos para la actividad agraria, pero fácilmente erosionables, dada la ausencia de vegetación en todo este sector de la provincia. Ocupan importantes superficies en el Campo de Pajares, Tierra de Arévalo y La Moraña.

Los suelos pardos calcimorfos ocupan poca superficie, de poco contenido de materia orgánica, que retienen bien la humedad, por lo que su encharcamiento es fácil. Se extienden a lo largo del río Zapardiel y en una mancha pequeña al este de Arévalo.

Los suelos aluviales se extienden por las márgenes del Adaja y sus afluentes, y su composición depende de la naturaleza de los sedimentos.



### 3.5. Contexto climático

En el dominio climático aparecen sendas diferencias entre las dos grandes unidades que entran a formar parte de la provincia. Son la altitud y la orientación los dos factores fundamentales que condicionan el clima de la provincia.

En términos generales, al tener el Sistema Central una altitud superior a los 1.000 metros, llegando incluso a los 2.592 en el Alto Gredos, las circunstancias climáticas varían sensiblemente a causa de la influencia que ejerce el factor altitud, dando lugar a una baja temperatura media, una abundancia de precipitaciones y una mayor niviosidad e innivación.

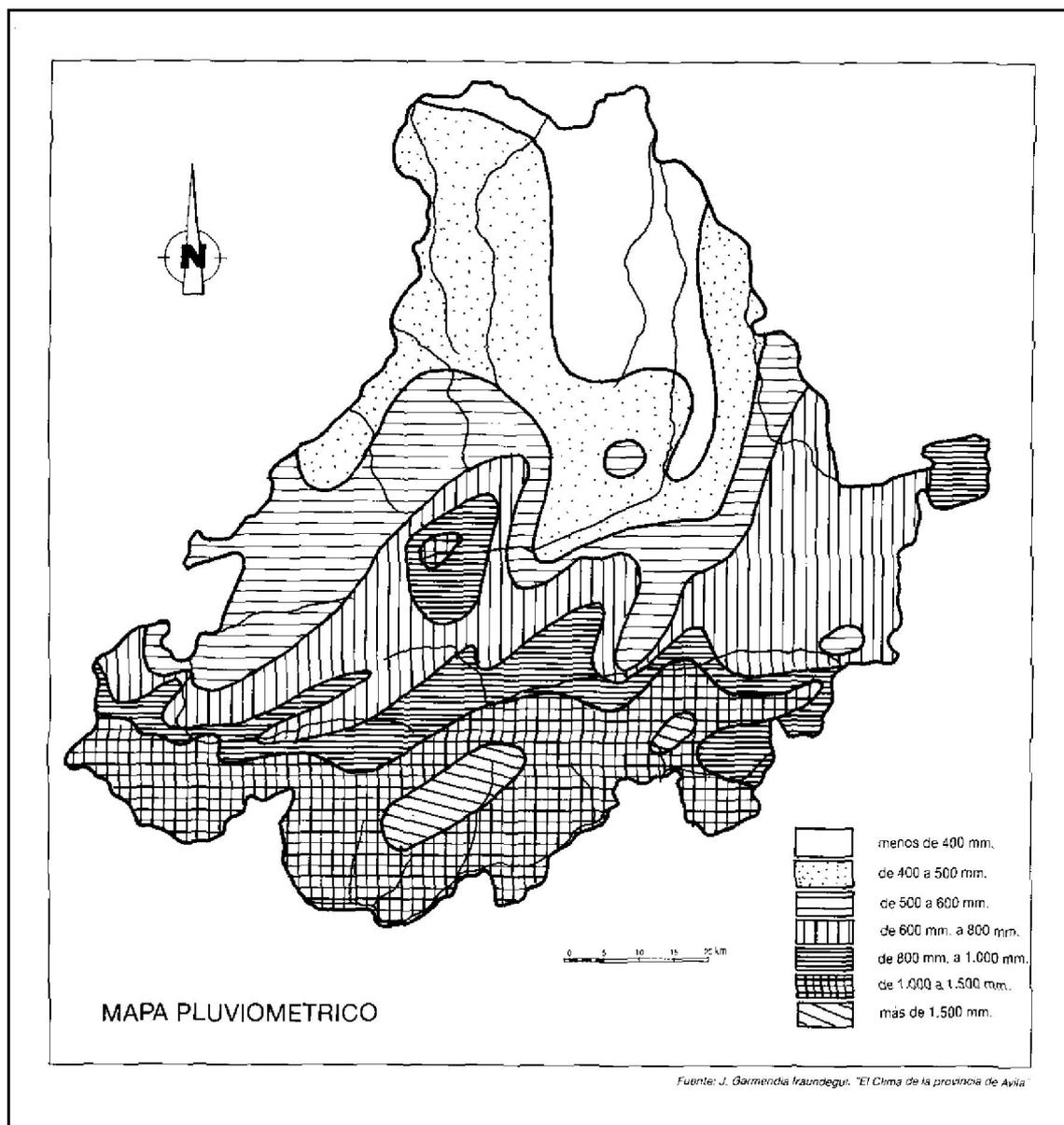


Figura 8

Por el contrario, la Cuenca Sedimentaria, al tener menos altitud (800 metros), y unas condiciones físicas que caen dentro del marco de la Meseta Septentrional, condicionada esencialmente por el aislamiento que le produce el estar rodeada de montañas, tendrá un régimen



climático marcado por una temperatura baja, extremada en invierno y fresca en verano, con precipitaciones escasas.

En el Sistema Central es donde se producen los cambios climáticos más acusados, pues las diferencias de altitud 22 afectan decisivamente a las temperaturas y a la pluviosidad.

Asimismo, la diferente orientación de las vertientes y la profundidad o amplitud de los valles contribuyen a la formación de numerosos climas locales. Dentro del conjunto del Sistema Central hay que distinguir principalmente dos tipos de clima diferentes: el de la vertiente meridional del Sistema y el de las sierras.

La vertiente meridional del Sistema forma parte del valle del Tíetar y se caracteriza por un tipo de clima húmedo -templado, sin aridez y libre de heladas desde el mes de mayo a octubre.

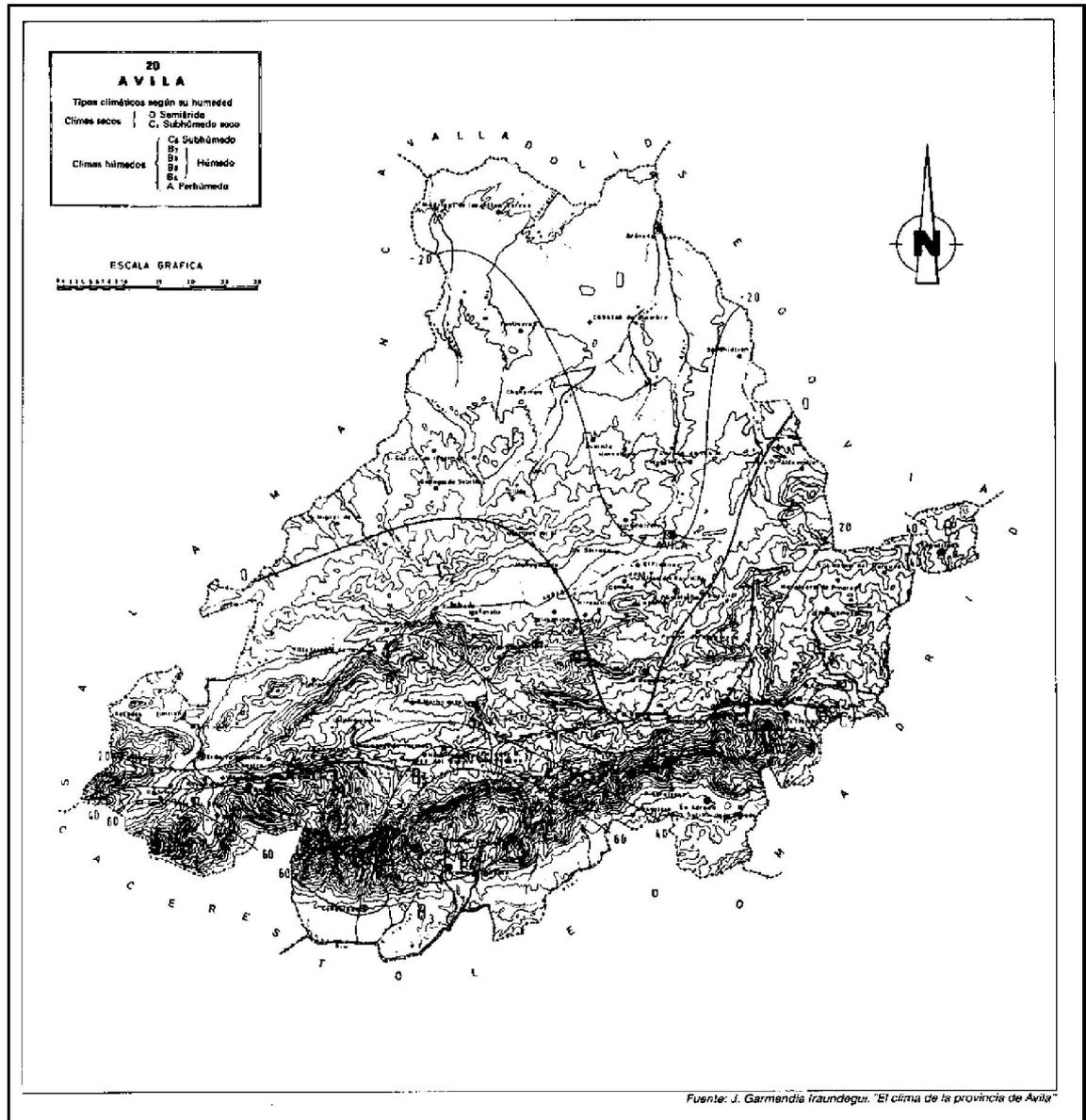


Figura 9

Así, temperaturas medias anuales de 15'5° se tienen en Arenas de San Pedro, que está a 620 m de altitud, y 14'4° en La Adrada, a 720 m. Las precipitaciones son las máximas de la provincia,



debido a que esta vertiente está abierta a la depresión del Tajo y expuesta a los vientos del SW, por lo que en Arenas de San Pedro se registran 1.647'4 mm de precipitación media anual y en La Adrada son 975'2 mm los obtenidos.

El clima de la región montañosa es de tipo húmedo -templado y sin aridez. Con el aumento de altitud disminuyen las temperaturas y por ello se obtiene en Bohoyo, a 1.142 m de altitud una temperatura media anual de 10'8°; y en Peguerinos, a 1.340 metros, se registran 8'3°. Se observa también una disminución en las precipitaciones conforme nos alejamos hacia el norte, debido al descenso de altitud, encontrando en toda la Sierra de Grados una precipitación media anual de 1.000 a 1.500 mm. Así, en Gil García, a 1.500 m, se registran 1.255 mm y en Serranillos, a 1.235 m, se obtienen 1.425 mm.

El resto del Sistema Central que queda dentro de la provincia recoge una precipitación media anual de 500 a 1.000 mm, teniendo en Burgohondo, a 850 m, una precipitación de 508 mm y en Mures, con 1.065 m de altitud, se registran 845'7 mm de precipitación media anual. Hay ausencia de heladas en los meses de junio a septiembre.

En la Cuenca Sedimentaria las temperaturas son, en general, bajas, tanto en invierno como en verano, debido a las condiciones generales de la meseta septentrional, ya antes apuntadas, observándose unos inviernos muy-extremados y unos veranos cortos y relativamente frescos, ya que la altitud modera el rigor de las temperaturas. Así, en Ávila, a 1.148 metros de altitud, la temperatura media anual es de 10'6° y en Arévalo, - a 820 m, es de 11'5°.

Las precipitaciones son muy escasas, no llegando la media anual a los 400 mm, por lo que en Ávila se registran 360 mm y en Arévalo 388 mm. Este bajo índice es debido al hecho de estar toda la Meseta Septentrional rodeada de montañas que impiden la llegada de los vientos húmedos. El verano soporta una acusada aridez estival, ya que cae dentro del radio de acción de las masas de aire tropical, mientras que el invierno está influido por el área de circulación anticiclónica que da lugar a un largo periodo de frío intenso, con un mínimo secundario de precipitaciones. Se observa también una fuerte irradiación nocturna y acusadas oscilaciones diurnas.



## 4. ANTECEDENTES

### 4.1. España.

No existen en España sistemas de vigilancia y alerta específica y únicamente enfocados a la predicción de inundaciones. Sí que existen diversos sistemas de información hidrológica o hidrometeorológica (SAIH) y meteorológicos (SIVIM, PREVIMET y el Plan Nacional de Avisos Meteorológicos), que pueden utilizarse (con matizaciones y limitaciones espacio-temporales) para la vigilancia y alerta de inundaciones.

El SAIH, acrónimo de **Sistema Automático de Información Hidrológica**, es un complejo mecanismo de adquisición de información hidrológica y meteorológica (pluviométrica, foronómica, infraestructural...), análisis de la misma y toma de decisiones, que comenzó a implantarse en distintas cuencas hidrográficas a finales de la década de 1980, tras las importantes inundaciones del País Vasco y Valencia. Consiste en una densa red de estaciones y sensores establecidos en las cuencas (pluviómetros y nivómetros), cauces y canales (estaciones de aforo), y embalses (medidores de nivel y de flujo por órganos de desagüe). Toda la información se transmite y centraliza en tiempo real (discretización cincominutal) en el Centro de Proceso de Cuenca (CPC), dependiente de cada Confederación Hidrográfica (Ministerio de Medio Ambiente). Con esta información se estudia la respuesta de cada cuenca o subcuenca a un determinado episodio de precipitación intensa y/o duradera mediante modelos hidrológicos de transformación precipitación-aportación (interfase modular de análisis y cálculo de información hidrológica, IMACHI), que permiten obtener los hidrogramas de crecida esperados y su propagación por los cauces. El primer SAIH se implantó en la Confederación Hidrográfica del Júcar en 1988; posteriormente se ha instalado en las cuencas hidrográficas del Segura, Sur, Ebro, Cataluña, Tajo y Guadalquivir; y se encuentra en fase de implantación en las cuencas del Guadiana, Norte y Duero.

El SIVIM, acrónimo de **Sistema Integrado de Predicción y Vigilancia Meteorológica**, se pone en marcha en 1983 como “la respuesta más eficaz que ofrece la moderna tecnología a la necesidad de detectar con rapidez la formación de sistemas convectivos que generan las lluvias torrenciales”. Integra las actividades de predicción operativa dependientes del Centro Nacional de Predicción, con las de los nuevos departamentos de vigilancia atmosférica creados a tal efecto en espacios regionales de la península Ibérica, los llamados Grupos de Predicción y Vigilancia (GPV). Para la puesta en marcha de este programa, el Instituto Nacional de Meteorología (INM, Ministerio de Medio Ambiente) se integró en los circuitos internacionales de predicción atmosférica, ha venido desarrollando actividades de investigación, e incorporó nuevas tecnologías para la elaboración de los pronósticos: Sistema de Aprovechamiento Integral de Datos de Satélites Meteorológicos (SAIDAS); 15 radares meteorológicos para la red SIRAM; y el modelo de predicción regional HIRLAM (*High Resolution Limited Area Model*).

Los PREVIMET, **Planes de Predicción y Vigilancia Meteorológica**, desarrollan la normativa de coordinación operativa del INM con la Dirección General de Protección Civil, estableciéndose cauces regulares de distribución de las predicciones y avisos a distintos organismos destinatarios (Confederaciones Hidrográficas, Gobiernos Civiles, medios de comunicación...). En 1987 comenzó, en fase experimental, el primer Plan Previmet-Mediterráneo para vigilancia de las lluvias torrenciales otoñales. Los Centros Meteorológicos Zonales, a través de los GPVs, emitían boletines diarios de predicción a corto plazo en los que se establecían distintos grados de alerta (blanca, amarilla y roja).

A partir de 1996, los planes PREVIMET dieron paso al **Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos**, concebido como un sistema de alerta



continua, durante el conjunto del año, para todo el territorio nacional y para cualquier fenómeno meteorológico de rango extraordinario. La base del Plan es la emisión de avisos meteorológicos (boletines) por la posible superación de umbrales de adversidad previamente establecidos, que en el caso de las lluvias acumuladas en una hora se establecen en 15-30 mm (lluvias fuertes) y >30 mm (lluvias muy fuertes).

Por último, los **Planes de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones**, de acuerdo a la Directriz Básica que los regula, deben disponer de sus propias especificaciones de sistemas de previsión y alerta en materia meteorológica e hidrológica. De esta manera, tanto el futuro Plan Nacional, como los Planes Autonómicos homologados (País Vasco, Comunidad Valenciana, Baleares, Andalucía, Galicia y Navarra) o actualmente en fase de homologación o elaboración (Cataluña, Extremadura, Baleares, Castilla y León, Castilla-La Mancha...), deben contener indicaciones sobre la implementación y coordinación de los sistemas de alerta propios o externos (SAIH).

## 4.2. Castilla y León

Aunque en el conjunto de España, Castilla y León no sea una de las regiones más afectadas por las inundaciones, la abundancia de las mismas y la variedad de causas a las que responden hacen que sea uno de los problemas de seguridad civil más importantes en la región.

No obstante, a pesar de la importancia de las inundaciones en la región, existe una carencia importante de estudios que traten de esta temática en profundidad.

Hablamos de una región con una densa y bien desarrollada red hidrográfica, formando parte de ella cuatro cuencas hidrográficas: Norte (actualmente: Miño-Sil y Cantábrico), Duero, Ebro y Tajo.

La configuración geomorfológica de la comunidad castellano-leonesa queda marcada en la presencia de dos singulares conjuntos: espaciosa llanuras con una altitud media y que se disponen de forma gradualmente escalonada hacia el interior y suroeste de la región (700 –1.100 m) y, las potentes regiones montañosas que con frecuencia superan los 2.000 m. y que se esparcen casi de forma continua por las zonas más exteriores.

Esta disposición permite la presencia de fuertes desniveles entre las zonas altas y las llanuras y la existencia de grandes diferencias tanto en el relieve, el clima y lógicamente una red hidrográfica perfectamente adaptada a todos estos elementos.

Zonas donde se produce el paso de las áreas de montaña al interior de la cuenca, llana y abierta, favorece las inundaciones en las franjas de contacto de ambas unidades.

Otras zonas donde existe una importante alternancia de desniveles, con un juego más activo de pendientes, la torrencialidad se incrementa y los ríos adquieren un mayor dinamismo.

Desde el punto de vista climático, esta configuración geomorfológica favorece la gran heterogeneidad en el reparto de las precipitaciones, el cual, se distribuye básicamente en aureolas concéntricas y con fuertes contrastes entre el centro y la periferia. Pese a que de forma media, los índices pluviométricos son bastante moderados (400 – 600 mm.), en las zonas interiores y llanas, en la orla montañosa se dan valores de precipitación muy elevados (1.000 – 1.500 mm.)

*Este hecho no es concluyente desde un punto de vista hidrológico ya que siempre hay que contar con todas las precipitaciones que se registran en una misma cuenca vertiente, puesto que existe una agregación de agua desde la cabecera hacia la desembocadura.*



Una característica importante de la región es la variabilidad en los datos registrados interanualmente. La precipitación de los años húmedos siempre es superior al doble de la de los años secos.

En cuanto a las intensidades diarias, también se observa unos mayores valores en las zonas montañosas, superando incluso los 200 mm./24 h. Por el contrario, en las zonas llanas, estas intensidades no llegan a los 100 mm./24h., siendo lo máximo 50 – 60 mm.

De cualquier manera, estos registros, tanto en cantidad como en frecuencia, no son comparables con los que se dan en la fachada mediterránea, aunque sus efectos sean igualmente perniciosos.

La actividad humana es el último de los factores que intervienen en la dinámica de las inundaciones.

Los cursos fluviales desde siempre han actuado como ejes de asentamiento humano. El desarrollo económico desarrollado a partir de la segunda mitad del siglo XX ha propiciado el aumento de personas y bienes expuestos a las inundaciones, que por propia dinámica natural experimentan los ríos. No obstante, el ser humano desarrolla un segundo papel paralelo al comentado, en cuanto que regula artificialmente la dinámica fluvial de los ríos con el fin de reducir el riesgo por inundación.

### **Dinámica fluvial**

Analizando el registro histórico de las inundaciones en Castilla y León, podemos observar la heterogeneidad tanto en abundancia como en producción. En la secuencia 1959-2001, el período de recurrencia medio para inundaciones es de 2,5 a 3 años. No obstante, se pueden observar períodos en los que se dan inundaciones durante varios años seguidos, otros en los que se dan con un mayor paréntesis o incluso años en los que se producen varios episodios.

Cabe resaltar diferentes períodos históricos en función a la actividad y efectos de las inundaciones:

- Hasta la década de los sesenta, existía una relación causa-efecto inmediato en su producción. Siempre que se diesen episodios de lluvias prolongadas, se producían desbordamientos en muchos puntos de la red de drenaje. Además, no existían sistemas de protección y de vigilancia permanente y la previsión de sucesos extremos apenas existía y no era muy acertada.
- Entre los sesenta y los ochenta, se produce una progresiva reducción de muchas de las inundaciones, debido principalmente, a las inversiones a lo largo de los cauces. No obstante, el riesgo no se reduce tanto al aumentar la exposición a los posibles sucesos. La gran expansión urbana e industrial, falta de planificación y previsión, provoca el aumento del número de personas y bienes expuestos a las inundaciones. Las medidas estructurales llevadas a cabo, conferían seguridad para el asentamiento de poblaciones en las vegas fluviales. Se produce un aumento en la alteración de los procesos que intervienen en la génesis de las inundaciones.
- A partir de los ochenta y hasta nuestros días, se observa una disminución en el número de inundaciones con consecuencias catastróficas. Aunque se siguen produciendo, los efectos derivados de ellas son menores. Es a partir de estos años, cuando se observa un mayor peso de las inundaciones acaecidas en el período estival y por tanto, las debidas a precipitaciones de alta intensidad.



Por otro lado, han proliferado las inundaciones en sitios donde antes, aunque se producían, no producían daños pues sólo afectaban al dominio fluvial.

No obstante, si hubiese que buscar la causa principal de las inundaciones en Castilla y León, esa sería la climática. La producción previa de lluvias, son con mucho el factor que con mayor frecuencia las produce. Desde este punto de vista, podemos caracterizar las inundaciones en función de los tipos de tiempo atmosférico que las producen:

### 1. Lluvias de Temporal

Son aquellas precipitaciones abundantes producidas en un largo período de tiempo, que con cierta frecuencia son responsables de episodios de inundación.

Ocurren durante los meses de invierno, ligadas al paso de situaciones inestables del Frente Polar. Se caracterizan por ser lluvias regulares y de baja o media intensidad horaria. Están controladas en gran parte por los parámetros de su propia cuenca y actualmente muy minimizadas en sus afluentes mayores por el efecto laminador de los embalses de cabecera y no así en los ríos que aún no están regulados.

El paso de estas situaciones frontales pueden dejar de 10 a 15 mm. Diarios de lluvia continuada. El problema de estas situaciones es la continuidad en el tiempo de las lluvias que a veces se prolongan durante semanas, con lo que se llegan a registrar unos volúmenes de precipitación elevados.

Aunque la probabilidad de ocurrencia de estas inundaciones es alta (en algunos ríos de frecuencia cuasi anual), son fácilmente predecibles, con lo que su incidencia sobre la sociedad suele ser menor.

Este tipo de lluvias muchas veces se juntan durante su desarrollo con fenómenos de deshielo que contribuyen de forma importante a aumentar el agua en los cauces, sobre todo si previamente al inicio de las lluvias se han producido densas nevadas en las montañas que delimitan la región.

### 2. Precipitaciones de tormenta

Son las ligadas a tormentas fuertes de verano, responsables de las llamadas inundaciones relámpago o tipo *flash*.

Estas situaciones no se producen únicamente por calor. Se requiere irremediablemente, la presencia en altura de algún elemento de inestabilidad (gota fría, procesos convectivos...).

No siempre dan lugar a descargas importantes. En ocasiones crean más nubosidad y ruido que lluvias o se registran escasos milímetros en una hora. Por ello, las tormentas con fuertes descargas son menos comunes de lo que se puede creer al observar la inestabilidad atmosférica que se crea.

Estas tormentas no suelen generar crecidas en ríos de primer y segundo orden, pero sí es común que se generen en desembocaduras y confluencias de pequeños arroyos. Generan inundaciones más transitorias o discontinuas, con períodos de retorno altos, lo que las hace especialmente peligrosas tanto por el factor sorpresa con que acontecen como por el hecho de dar la sensación de seguridad al hombre y que lleva a ocupar terrenos que acabarán inundándose.



Este tipo de inundación es el acontecido en la zona de estudio de este trabajo. Bien es cierto que incluye algunos matices que se comentan en la sección de antecedentes en el Herradón (Ávila).

### 4.3. Ávila

Durante la tarde-noche del miércoles 1 de Septiembre de 1999 se produjeron intensas precipitaciones de carácter tormentoso en las estribaciones montañosas del sector de transición entre las sierras de Guadarrama y Gredos que afectaron a diversas poblaciones del sureste de la provincia de Ávila.

A consecuencia de estas precipitaciones, varios arroyos de la zona sufrieron avenidas repentinas que aguas abajo produjeron importantes daños humanos y materiales.

Uno de los peores sucesos se registró en el arroyo de la Gaznata (Cuenca del Tajo), el cual atraviesa la localidad del Herradón. Se produjeron una serie de daños que a continuación se pasa a enumerar:

- 4 personas heridas que tuvieron que ser atendidos por contusiones diversas.
- Desmoronamiento de 200 m. del terraplén del ferrocarril Villalba – Ávila, entre los puntos kilométricos 99 y 100. (arroyo de Majada Honda)



Figura 10. Tramo del ferrocarril reparado tras la avenida de 1999



**Figura 11. Obras de reparación del tramo de terraplén del ferrocarril, desmoronado durante la avenida instantánea.**

- Destrucción, anegamiento y aterramiento por parte del arroyo de la Gaznata de numerosas viviendas (30 aprox.) y fincas rústicas en el casco urbano.



**Figura 12. urbano de El Herradón (Ávila), afectado por la inundación asociada a la avenida relámpago, quedando partido en dos sectores separados por el canal arrasado**



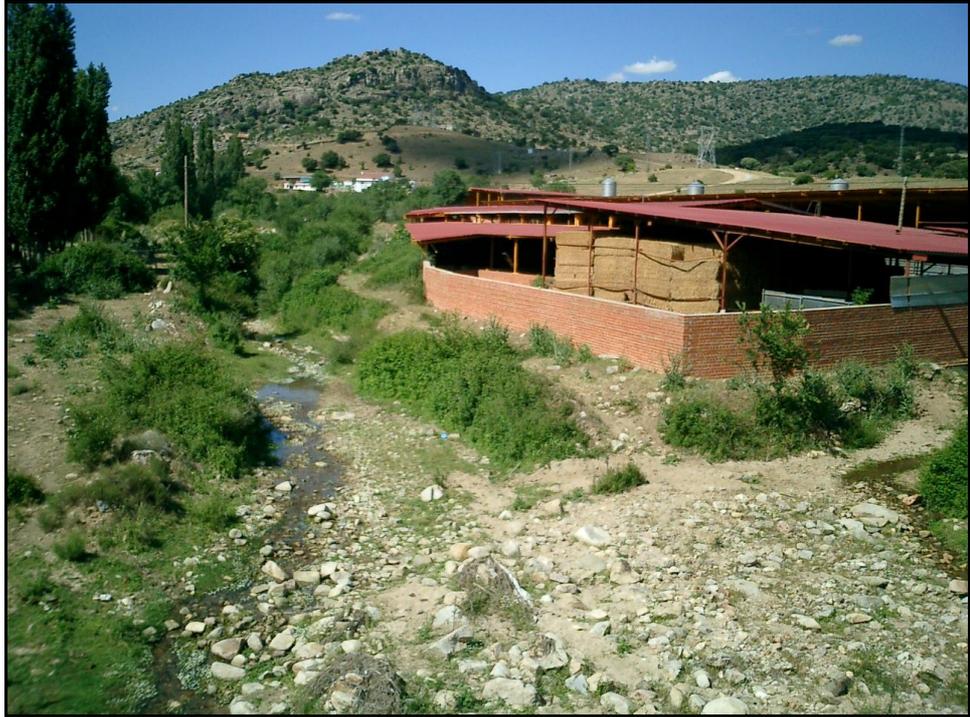
**Figura 13. Edificaciones se vieron afectadas en distinto grado: desde desmoronamiento de la estructura o fachadas**

- Desmantelamiento de tres puentes, calles y viales en el núcleo urbano.
- Daños en las redes de abastecimiento, saneamiento, suministro eléctrico y comunicaciones.



**Figura 14. Dos sectores separados por el canal arrasado**

- Arrastre y destrozos en una veintena de vehículos particulares.
- Destrucción de granjas e instalaciones ganaderas con el arrastre y muerte de más de 300 cabezas de ganado bovino.



**Figura 15. Granja reconstruida, la cual se vio afectada por la avenida**

- Destrucción del puente de los Tres Ojos, en la carretera local AV-503 sobre el arroyo de la Gaznata (entre PKs 112 y 124)
- Destrucción y aterramiento de pequeñas explotaciones hortícolas (patatas, pimientos, cebollas...) de la margen del arroyo de la Gaznata.



**Figura 16. Destrucción de vías de comunicación (puentes)**



- Destrucción en diversos puntos del firme, cunetas y drenaje transversal del camino agrícola entre La Cañada y El Herradón.
- Colmatación y aterramiento del sector de desembocadura del arroyo de la Gaznata al embalse de El Burguillo como consecuencia del depósito de restos arrastrados: la naturaleza fundamentalmente orgánica de los flotantes conllevó una incipiente eutrofización de las aguas que precisó el rápido dragado de este sector.

En la sección de Anexos se presenta una tabla con todos los daños ocurridos en el municipio del Herradón, a consecuencia de la riada del 1 de Septiembre de 1999, obtenida del Catalogo Nacional de Inundaciones Históricas.

Es de mencionar, que según este mismo documento, se alcanzó una altura del agua en el cauce de 4 metros.

### **Episodio meteorológico**

Para obtener información relacionada con los aspectos meteorológicos que causaron estas inundaciones, se ha recurrido a una memoria para optar a doctorado presentada por D. Andrés Díez Herrero y bajo la dirección de D. Javier de Pedraza Gilsanz (Universidad Complutense de Madrid) y bajo el nombre: “GEOMORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA FLUVIAL DEL RÍO ALBERCHE. MODELOS Y S.I.G. PARA LA GESTIÓN DE RIBERAS” (2001)

Según este estudio, durante la tarde del citado día, un centro de bajas presiones relativas (1008 hPa) se sitúa sobre el Sahara y el Atlas. Otro centro, este de altas presiones (1024 hPa), se sitúa sobre las islas Azores e intercala una cuña anticiclónica que ocupa el golfo de Vizcaya y Centroeuropa.

El centro peninsular estuvo afectado durante buena parte del día 1 de Septiembre por una baja presión desprendida, debida al estrangulamiento de una isobara desde la vaguada de elongación sahariana, dando lugar a un embalsamiento de aire frío en altitud.

La situación acontecida se asemejaría a una típica gota fría pero sin llegar a serlo exactamente. Se pueden consultar en la parte de anexos imágenes, del Instituto Nacional de Meteorología, de la situación atmosférica de los días del suceso.

La situación de baja presión se asocia con inestabilidad atmosférica que se relaciona con el desarrollo de una zona de confluencia de pequeñas masas de aire relativamente cálido y húmedo (procedente de la costa) en el centro-oeste peninsular. Estas condiciones favorecen la formación de movimientos convectivos ascendentes de este aire en el seno de la baja desprendida, con un importante gradiente térmico.

Se generan sistemas convectivos a mesoescala (SCMs) de dimensión decakilométrica a hectakilométrica, ubicados sobre el suroeste de Castilla y León y áreas centro-occidentales de Castilla la Mancha. De todos los formados destacan cuatro y se pasa a desarrollar el causante de las precipitaciones que dieron lugar al suceso de El Herradón.

- El SCM-A de la Sierra de Ávila-La Moraña, elongado N-S y con una dimensión de unos 70 x 34 km; el máximo de precipitación ( $> 16 \text{ l/m}^2$ ) se ubica sobre el Valle del Corneja.



Este sistema se desplaza hacia el este a lo largo de la tarde, empujado por vientos de altura y se desmiembran en diversas estructuras convectivas decakilométricas.

Este SCM se divide en dos estructuras convectivas, una de ellas se dirige sin solución de continuidad hacia el este pasando sobre la Cuerda de Polvisos y la sierra de Ojos Albos. Es un núcleo asociado a esta estructura, que se estabilizó sobre el sureste de la provincia de Ávila, al que se vinculan las precipitaciones causantes de la inundación que arrasó el municipio de El Herradón.

Este núcleo se conoce como el “núcleo de La Cañada”.

#### Datos relacionados con el núcleo de La Cañada

Este núcleo presenta una tendencia concéntrica en la distribución de las precipitaciones:

1. Un anillo exterior con intensidades horarias inferiores a 4 mm/h.
2. Un segundo anillo con intensidades entre 4 y 8 mm/h en el cual se incluye el municipio de El Herradón.
3. El tercer anillo con intensidades entre 8 16 mm/h.
4. Finalmente, el núcleo central de apenas 12,5 km<sup>2</sup> y con intensidades superiores a 16 mm/h, el cual sólo comprende la localidad de La Cañada.

Por tanto, las máximas precipitaciones se dieron en las cabeceras de los arroyos Ciervos, Gaznata y Meadero.

El citado estudio recoge las siguientes conclusiones acerca del episodio que devino en las inundaciones del 1 de Septiembre de 2009 en el Herradón:

1. La intensidad máxima de lluvia, del día mencionado, en Ávila fue de 15,6 mm/h y se registró a las 16:55 h.
2. La escasa precipitación posterior se repartió casi por igual a lo largo de las horas de la siguiente manera: 13-18 h. (3,5 mm) y 18-24h (3,8 mm).
3. Se divide la cuenca de El Gaznata en dos subcuencas: Majada Honda y La Herrén de Gracia.
4. Los caudales punta circulantes por el arroyo de Majada Honda (38 m<sup>3</sup>/s) y la Herrén de Gracia (60 m<sup>3</sup>/s) fueron obtenidos a partir de estimaciones midiendo las secciones del cauce y sacando el perímetro mojado, pendiente...hasta sacar el caudal punta.
5. A partir de estos caudales punta, el autor calcula los volúmenes de precipitación necesarios para generarlos, usando el método racional modificado por Témez. La intensidad de la precipitación causante de la avenida arrojó un resultado de 277 mm/h para el arroyo de La Herrén de Gracia (Tc= 0,53 h.) y de 122.52 mm/h para el Majada Honda (Tc= 0,66 h.)
6. La presencia de la carretera CL-505 crea un represamiento improvisado que va a provocar un almacenamiento de la escorrentía generada aguas arriba de la misma (subcuenca de la Gaznata hasta la propia carretera). El volumen que se llega a embalsar hasta la liberación de la misma es de 40.120 m<sup>3</sup>. Este cálculo se realiza mediante la medida in situ de datos geométricos del represamiento.



- Utilizando las intensidades y el volumen de agua embalsada (volumen del hidrograma), se calculó: el caudal punta de la avenida, tras la ruptura del embalse generado por el ferrocarril, con el método racional modificado de Témez: Majada Honda (84,64 m<sup>3</sup>/s) y La Herrén de Gracia (191 m<sup>3</sup>/s) y el tiempo base del hidrograma generado, repartiendo el volumen embalsado entre estos caudales punta, supuesto un hidrograma triangular simétrico: Majada Honda (15,8 min.) y La Herrén de Gracia (6,99 min.).

Este dato evidencia la característica instantaneidad de la crecida típica de las inundaciones tipo *flash*.

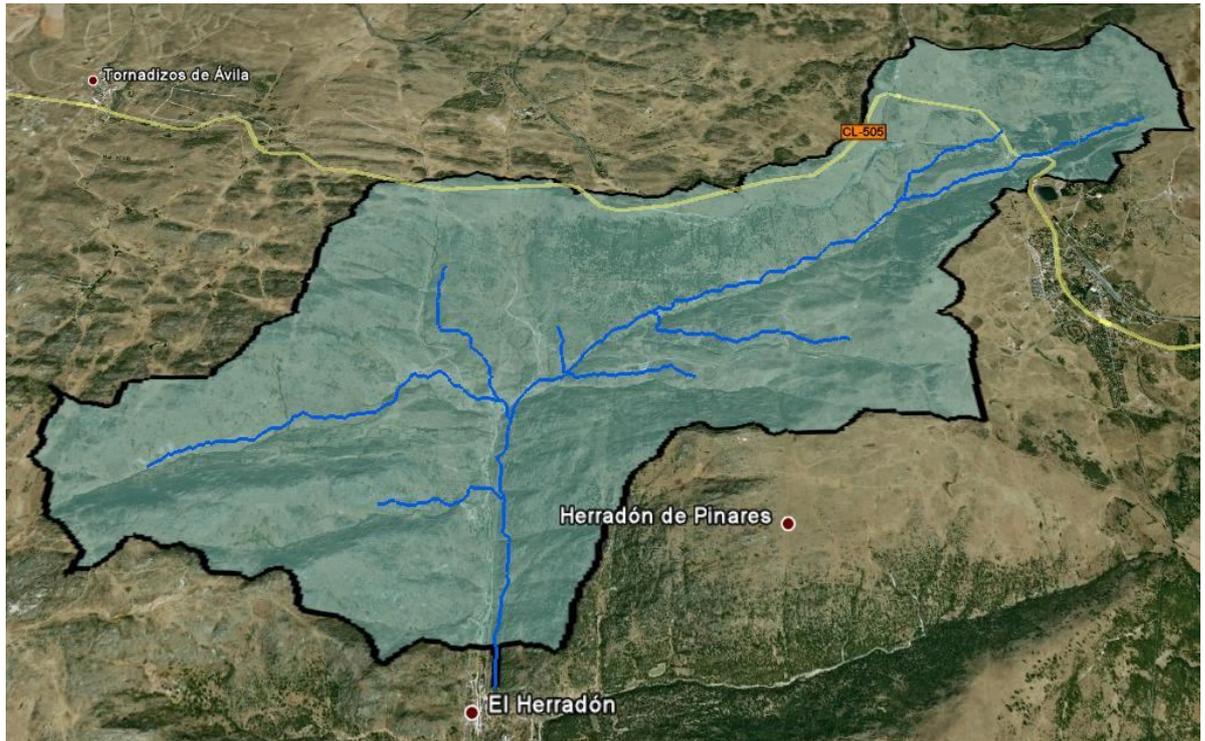


Figura 17 Fuente Google Earth y Elaboración propia



## 5. LEGISLACION APLICABLE

### 5.1. Normativa europea

Entre la escasa normativa europea existente sobre la materia de realización de los mapas de riesgos de inundación, cabe destacar la recién adoptada "Directiva de Inundaciones" ("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", Diario Oficial de la Unión Europea 6.11.2007, L288/27-L288/34). En ella se recogen múltiples referencias a la utilidad y necesidad de elaboración de los mapas de riesgo de inundación (considerando número 12), y se establecen unos requisitos mínimos y plazos para su elaboración para cada demarcación hidrográfica de los Estados Miembros (capítulo III).

También existen menciones a la problemática de las inundaciones en otras legislaciones europeas, y convenios y tratados internacionales (Directiva Marco del Agua, tratados de ríos transfronterizos...), pero siempre referidas a aspectos sobre su gestión y no a la cartografía de su peligrosidad y riesgos asociados.

#### Directiva Marco del Agua

La Directiva marco del agua (DMA) es una norma del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea por la que se establece un marco de actuación comunitario en el ámbito de la política de aguas. En España fue transpuesta al marco legislativo estatal a través de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre de 2000, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social, que modificó el Texto Refundido de la Ley de Aguas.

**Artículo 1.e):** "El objeto de la presente Directiva es establecer un marco para la protección de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas que:...e) contribuya a paliar los efectos de las inundaciones y sequías".

**Artículo 4.3.a)** "Los Estados miembros podrán calificar una masa de agua superficial de artificial o muy modificada, cuando: a) los cambios de las características hidromorfológicas de dicha masa que sean necesarios para alcanzar su buen estado ecológico impliquen considerables repercusiones negativas en la regulación del agua, la protección contra las inundaciones y el drenaje de terrenos".

**Artículo 4.6.:** "El deterioro temporal del estado de las masas de agua no constituirá infracción de las disposiciones de la presente Directiva si se debe a causas naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales o no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, o al resultado de circunstancias derivadas de accidentes que no hayan podido preverse razonablemente cuando se cumplan todas las condiciones siguientes:..."

**Artículo 11.3.l):** "Las "medidas básicas" son los requisitos mínimos que deberán cumplirse y consistirán en:... l) cualesquiera medidas necesarias para prevenir pérdidas significativas de contaminantes procedentes de instalaciones industriales y para prevenir o reducir los efectos de las contaminaciones accidentales, por ejemplo como consecuencia de inundaciones,..."

**Artículo 11.5.:** "Cuando los datos en virtud de actividades de seguimiento u otros datos indiquen que probablemente no se lograrán los objetivos establecidos en el artículo 4 para una masa de agua, el Estado miembro velará porque:... Cuando esas causas resulten de circunstancias debidas a causas



naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales y no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, el Estado miembro...".

**Anexo II 2.4.**) "Examen de la incidencia de los cambios en los niveles de las aguas subterráneas. Los Estados miembros también determinarán las masas de agua subterránea para las que se deberán especificar objetivos inferiores de conformidad con el artículo 4, entre otras razones atendiendo a la consideración de las repercusiones del estado de la masa de agua en:...ii) la regulación hidrológica, protección contra inundaciones y drenaje de tierras;..."

### **Directiva Europea de Evaluación y Gestión de Inundaciones**

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.

Es una Directiva muy reciente. Tiene como principal objetivo reducir el riesgo de estos fenómenos naturales, cubre todo tipo de inundaciones, desde las que afectan a riberas y zonas costeras de la UE, hasta las ocasionadas en medio urbano por la escorrentía o por la saturación de la red de evacuación de aguas.

Los Estados miembros deben proceder no después del 22 de diciembre de 2011 a una evaluación preliminar de los riesgos por cada demarcación o porción de demarcación hidrográfica situada en su territorio. Dicha evaluación ha de incluir, entre otra información, los datos referentes a la ubicación de las cuencas hidrográficas dentro de las demarcaciones, a las inundaciones sufridas en el pasado, a la probabilidad de inundaciones futuras y a las consecuencias que se prevea pueden tener éstas.

Basándose en esa evaluación, los Estados miembros deben clasificar cada cuenca hidrográfica como «zona de riesgo potencial significativo» o como «zona sin riesgo potencial significativo». Tanto la evaluación como la clasificación resultante de ella deben ponerse a disposición del público y han de revisarse, por primera vez no después del 22 de diciembre de 2018 y, subsiguientemente cada seis años.

Los Estados miembros deben cartografiar todas las zonas de riesgo confeccionando mapas que delimiten y clasifiquen esas zonas según su nivel de riesgo (alto, medio o bajo), y que indiquen los daños potenciales que pueda ocasionar una inundación a la población local, a los bienes y al medio ambiente.

Estos mapas, que deben quedar establecidos no después del 22 de diciembre de 2013, tienen que ponerse a disposición del público y han de revisarse cada seis años.

Cada Estado miembro debe elaborar y aplicar a nivel de demarcación hidrográfica un plan de gestión de los riesgos de inundación. Los planes deben fijar un nivel de protección adecuado para cada cuenca hidrográfica, subcuenca o franja litoral, y han de establecer medidas que permitan respetar ese nivel de protección.

Las medidas de gestión deben encaminarse a reducir el riesgo de inundaciones y la amplitud de las consecuencias que puedan tener éstas. Su objetivo ha de ser la prevención, la protección y la preparación, y en su elaboración han de tenerse en cuenta todos los aspectos pertinentes, como la gestión del agua y del suelo, la ordenación del territorio, los usos de la tierra y la protección de la naturaleza.



Los planes de gestión deben contener cierto número de datos (particularmente, el grado de protección que ofrezcan y las medidas que contemplen), así como mapas que representen los riesgos de inundación en presencia. En el caso de los planes posteriores, ha de incluirse una evaluación de los avances realizados desde la aplicación del plan anterior.

Los «mapas de riesgo de inundación» y los «planes de gestión» deben ajustarse a la Directiva marco del agua, especialmente en lo que se refiere a la caracterización de las cuencas hidrográficas y a los planes de gestión de éstas, así como a los procedimientos de consulta y de información al público.

Toda parte interesada tiene derecho a participar de forma adecuada en la elaboración de los planes de gestión. Éstos deben completarse y ponerse a disposición del público no después del 22 de diciembre de 2015, y han de revisarse cada seis años.

## **5.2. Legislación estatal**

### **5.2.1. Legislación Estatal sobre Gestión de Agua**

#### **Ley de Aguas**

La Ley de Aguas (Ley 29/1985), el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986) y el Texto Refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001), definen las zonas inundables, y zonifican y restringen usos en determinadas áreas de las riberas, tales como el cauce (dominio público hidráulico) y las zonas de servidumbre y policía (márgenes).

Las zonas inundables (artículo 11 de la Ley de Aguas y artículo 14.3 del RDPH) quedan delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo periodo estadístico de retorno sea de quinientos años, a menos que el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (ahora Fomento), a propuesta el organismo de cuenca, fije, en expediente concreto, la delimitación que en cada caso resulte más adecuada al comportamiento de la corriente. El Texto Refundido, en su artículo 11.2, dice que los organismos de cuenca darán traslado a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo de los datos y estudios disponibles sobre avenidas, al objeto de que se tengan en cuenta en la planificación del suelo y, en particular, en las autorizaciones de usos que se acuerden en las zonas inundables. Además, en el siguiente apartado (11.3), recoge que el Gobierno, por Real Decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que se estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes. La modificación del RDPH añade que en la delimitación de las zonas inundables se atenderán “estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas”. Dentro de las zonas inundables se distingue la zona de flujo preferente, envolvente de la vía de intenso desagüe y la zona peligrosa para las personas (artículo 9.2 de la modificación del RDPH).

El cauce o álveo es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias (art. 4 de la Ley de Aguas); esta zona es pública y por tanto está prohibido establecer en ella cualquier uso distinto a su evolución natural. La modificación del RDPH añade que “la determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en



cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles”.

Cualquier corriente fluvial discurre por un municipio existen unas bandas de territorio sometidas a restricciones de uso, las riberas o zonas situadas entre el canal (lámina/s de agua) y el borde de lo delimitado como cauce. A partir de esta delimitación del cauce, siempre según la Ley, se establecen en las dos márgenes sendas bandas de extensión métrica: las zonas de servidumbre (5 m) y policía (100 m). Los usos en ambas requieren autorización previa de la Confederación Hidrográfica correspondiente, y las actividades están muy restringidas (artículos 7º y 9º del Reglamento y su modificación).

Se encuentra en marcha una nueva modificación de esta Ley de Aguas que, entre otros aspectos, afecta a la consideración y definición del cauce y la delimitación de las zonas inundables, a propuesta del pleno del Consejo Nacional del Agua.

### **Planes Hidrológicos**

El Texto Refundido de la Ley de Aguas, en su artículo 42.1 epígrafe nº cita, entre los contenidos de los planes hidrológicos de cuenca, la obligatoriedad de comprender los criterios sobre estudios, actuaciones y obras para prevenir y evitar los daños debidos a inundaciones, avenidas y otros fenómenos hidráulicos. La propia Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional, en su artículo 28 dicta normas complementarias para la protección del dominio público hidráulico y actuaciones en zonas inundables, como promover convenios entre el Ministerio de Medio Ambiente y las Administraciones Autonómicas y Locales que tengan por finalidad eliminar las construcciones y demás instalaciones situadas en dominio público hidráulico y en zonas inundables que pudieran implicar un grave riesgo para las personas y los bienes y la protección del mencionado dominio (apartado 28.3).

### **Reglamento del Dominio Público Hidráulico**

#### **Artículo 14.:**

1. Los terrenos que puedan resultar inundados durante las crecidas no ordinarias de los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos conservarán la calificación jurídica y la titularidad dominical que tuvieran.
2. El Gobierno, por Decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes. El Consejo de Gobierno de las Comunidades Autónomas podrá establecer, además, normas complementarias de dicha regulación (Artículo 11 del Texto Refundido).
3. Se consideran zonas inundables las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de quinientos años, a menos que el Ministerio de Medio Ambiente, a propuesta del Organismo de cuenca fije, en expediente concreto, la delimitación que en cada caso resulte más adecuada al comportamiento de la corriente”.

Hay que destacar que este Reglamento cuenta con una reciente modificación:

**Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por RD 849/1986, de 11 de abril (BOE nº 14, de 16/01/08)**



En esta modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico se distinguen dos cuerpos principales, en el primero de los cuales trata sobre los cauces, riberas y márgenes y sobre los lagos, lagunas, embalses y terrenos inundables, respectivamente.

Este aparatado es de singular importancia, pues define y regula las zonas de servidumbre y de policía del Dominio Público Hidráulico. Además, en el artículo 14 se trata sobre las zonas inundables y los estudios de inundabilidad.

Artículo único. Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

## 5.2.2. Legislación estatal sobre Régimen del Suelo

### La antigua "Ley del Suelo"

La denominada Ley del Suelo (Real Decreto-Legislativo 1/1992, de 26 de junio, Texto Refundido de la Ley sobre el Régimen del Suelo y Ordenación Urbana), al igual que su predecesora del año 1976, fija el planeamiento como base del urbanismo. Esta ordenación territorial se plasma en diferentes clases de planes urbanísticos (art. 65) que van desde el Plan Nacional de Ordenación hasta los Planes Generales Municipales, pasando por los Planes Directores Territoriales de Coordinación, con ámbito autonómico; todos ellos estructurados piramidalmente, ya que cada plan debe respetar las determinaciones del inmediatamente anterior.

En lo que se refiere al entorno municipal, los Planes Generales Municipales de Ordenación son un instrumento integral, originario, de carácter operativo y de ámbito municipal o supramunicipal (comarcal); se regulan en los artículos 70 y 71 de la Ley (reproducción literal de los arts. 10.1 y 11 de la Ley del Suelo de 1976); y entre sus objetivos y contenidos está la clasificación del suelo para el establecimiento del régimen jurídico correspondiente. Otras figuras urbanísticas susceptibles de ser utilizadas son las Normas Complementarias y Subsidiarias del Planeamiento (arts. 73-75), Programas de Actuación Urbanística, Planes Parciales, Estudios de Detalle y Planes Especiales. En muchos casos de municipios españoles, la ausencia de planes generales de ordenación se suple con las Normas Subsidiarias de Planeamiento de ámbito municipal, cuyo objetivo principal es la clasificación del suelo en: urbano, apto para urbanizar y no urbanizable.

Precisamente la clasificación del suelo del municipio en áreas de suelo urbano, urbanizable (o en su caso apto para urbanizar) y no urbanizable (o sus equivalentes autonómicos), es el mejor instrumento para disminuir la exposición de los elementos en riesgo (personas y bienes). La calificación se basa en el Título I de la Ley (Régimen urbanístico de la propiedad del suelo), y más en concreto en sus artículos 9 al 12. Dos son las facetas en las que estas calificaciones pueden contribuir a la prevención de riesgos hidrológicos:

1. Preservación de suelo del proceso de desarrollo urbano y establecimiento de medidas de protección (suelo no urbanizable).
2. Definición de la estructura, usos, intensidades y tipologías de desarrollo urbano (suelo urbanizable), o regulación de los usos y de las renovaciones y reformas necesarias (suelo urbano).

El primer punto descarta la urbanización de áreas del término municipal "en razón a su excepcional valor agrícola, forestal o ganadero, de las posibilidades de explotación de sus recursos naturales, de sus valores paisajísticos, históricos o culturales, o para la defensa de la fauna, la flora



o el equilibrio ecológico" (art. 12). Para ello requiere determinaciones (art. 71.3 d) como el establecimiento de medidas y condiciones para la conservación y protección de los elementos naturales (suelo, flora, fauna o paisaje) y de las edificaciones y parajes que así lo aconsejen. Supone una medida muy efectiva de prevención de riesgos en cuanto que evita el establecimiento de los elementos en riesgo, disminuyendo la exposición.

En el segundo de los aspectos, la naturaleza jurídica de los instrumentos de planeamiento otorga potestad administrativa para decidir el emplazamiento de los centros de producción y de residencia del modo conveniente para la mejor distribución de la población (art. 3.2 b); igual ocurre con la densidad de población, porcentaje de ocupación, volumen, forma, número de plantas, clase y destino de los edificios, etc. (art. 3.2 e). Estas determinaciones técnicas pueden complementarse mediante Estudios de Detalle, fundamentalmente para la ordenación de volúmenes (art. 91). Esta medida puede actuar de forma efectiva sobre la vulnerabilidad de los elementos en riesgo, mediante distribuciones y diseños aptos para mitigar daños: viales orientados en dirección a la corriente, edificios con plantas hidrodinámicas, inexistencia de sótanos y depresiones, etc.

A raíz de la sentencia del Tribunal Constitucional de 20-03-97, declarando inconstitucionales y nulos gran parte de los artículos de la Ley del Suelo (Ley 8/90 y RDL 1/92), ante los recursos interpuestos por diversos ejecutivos autonómicos, se creó un vacío legal importante. La sentencia declaró inconstitucionales 200 de los 310 artículos del Texto Refundido, entre ellos muchos de los reguladores del planeamiento anteriormente expuesto (arts. 11, 12, 70, 71, 72, ...). Sólo en Castilla y León esta sentencia afectó a los ayuntamientos de Soria, Palencia y Valladolid, que habían adaptado sus planes generales a esa Ley, y a más de 2.235 municipios de menos de 25.000 habitantes.

La totalidad de las Comunidades Autónomas han asumido en el marco del art. 148.1.3 C.E. competencias exclusivas en materia de ordenación del territorio, urbanismo y vivienda. Así, por obra de la Constitución y de los Estatutos de Autonomía, la competencia sobre la materia urbanismo y vivienda corresponde a las Comunidades Autónomas. En términos absolutos, de ello no deriva que el Estado haya quedado desapoderado de competencia en esta materia, especialmente en lo que hace referencia a la llamada "propiedad urbanística" y a la regulación de las condiciones básicas que garantizan la igualdad de todos los españoles en el ejercicio de los derechos.

### **Ley sobre Régimen del Suelo y Valoraciones**

Con fecha 13 de abril de 1998 se aprobó y sancionó la nueva Ley 6/1998 sobre régimen del suelo y valoraciones, cuyo articulado, integrado en cinco títulos, fue publicado en el B.O.E. número 89 del martes 14 de abril (págs. 12296-12304). Esta Ley deroga la mayor parte del Real Decreto Legislativo 1/1992, de 26 de junio (por el que se aprobó el texto refundido de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana), y los tres primeros artículos de la Ley 7/1997, de 14 de abril, de Medidas Liberalizadoras en materia de Suelo y Colegios Profesionales.

Tal y como recoge la Exposición de Motivos de dicha Ley, se persigue *una mayor flexibilidad en el uso del suelo, eliminando los factores de rigidez y facilitando el aumento de la oferta del suelo; con ello se hará posible que todo el suelo que no ha sido incorporado al proceso urbano, en el que no concurren razones para su preservación, pueda considerarse como susceptible de ser urbanizado. Este último aspecto de acuerdo con el planeamiento y la legislación territorial y sectorial, en razón de sus valores ambientales, paisajísticos, históricos, arqueológicos, científicos o culturales, de su riqueza forestal, ganadera o de otra índole, o de su justificada inadecuación para el desarrollo urbano.*



Por lo que se refiere a la consideración de los riesgos naturales, tan sólo son citados como motivo de declaración de un suelo como no urbanizable en el artículo 9, que reza:

#### **Artículo 9. Suelo no urbanizable.**

Tendrán la condición de suelo no urbanizable, a los efectos de esta Ley, los terrenos en que concurra alguna de las circunstancias siguientes:

1.<sup>a</sup> Que deban incluirse en esta clase por estar sometidos a algún régimen especial de protección incompatible con su transformación de acuerdo con los planes de ordenación territorial o la legislación sectorial, en razón de sus valores paisajísticos, históricos, arqueológicos, científicos, ambientales o culturales, de riesgos naturales acreditados en el planeamiento sectorial, o en función de su sujeción a limitaciones o servidumbres para la protección del dominio público.

2.<sup>a</sup> Que el planeamiento general considere necesario preservar por los valores a que se ha hecho referencia en el punto anterior, por su valor agrícola, forestal, ganadero o por sus riquezas naturales, así como aquéllos otros que se considere inadecuados para un desarrollo urbano.

Como puede comprobarse, por primera vez en la legislación estatal sobre el suelo se consideran posibles restricciones de uso por motivo de los riesgos naturales. Sin embargo, la matización subsiguiente hace inefectiva la medida, puesto que al no encontrarse aún desarrollado un planeamiento sectorial sobre el tema de riesgos (únicamente se está avanzando en las primeras fases del Plan Nacional de Prevención del Riesgo de Inundaciones), se pospone la acreditación de zonas hasta su aprobación.

#### **Los riesgos naturales en la nueva Ley del Suelo**

Actualmente se encuentra vigente, una nueva Ley del Suelo, que contiene algunas referencias de interés sobre los riesgos naturales en general, y las inundaciones en particular:

#### **Artículo 12. Situaciones básicas del suelo.**

2. Está en situación de suelo rural.... el suelo preservado por la ordenación territorial y urbanística de su transformación mediante la urbanización, que deberá incluir, como mínimo, los terrenos... con riesgos naturales o tecnológicos, incluidos los de inundación o de otros accidentes graves, y cuantos otros prevea la legislación de ordenación territorial o urbanística.

#### **Artículo 15. Evaluación y seguimiento de la sostenibilidad del desarrollo urbano.**

2. El informe de sostenibilidad ambiental de los instrumentos de ordenación de actuaciones de urbanizaciones deberá incluir un mapa de riesgos naturales del ámbito objeto de ordenación

### **5.3. Legislación Autonómica sobre Gestión del Suelo, Urbanismo y Ordenación Territorial**

La nueva normativa autonómica en materia de régimen del suelo y ordenación territorial está llamada a jugar un importante papel, complementando y acelerando los procesos de declaración de zonas de sus comunidades que presenten manifiestos riesgos naturales en una fase de la



planificación sectorial previa a la escala municipal. Sirvan a modo de ejemplo las normativas desarrolladas por algunas comunidades autónomas, como:

### **Ley 5/1999, de 8 de abril, de Urbanismo de Castilla y León**

**Artículo 15.- Suelo rústico (apartado c).** “Los terrenos amenazados por riesgos naturales o tecnológicos incompatibles con su urbanización, tales como inundación, erosión, hundimiento...”

## **5.4. Otras Normativas de Interés**

### **Legislación ambiental**

Existen otras muchas figuras legales que afectan a la planificación a nivel municipal en diferentes grados y escalas. Entre ellas sólo merecen destacarse las leyes nacionales y autonómicas de espacios naturales y/o conservación de la naturaleza, ya que en ocasiones imponen restricciones de usos en amplios sectores del territorio que son catalogados como espacios naturales (Parques Nacionales, Parques Regionales, Parques Naturales, Reservas Naturales, Monumentos Naturales, etc.); muchas veces estas restricciones de usos se reflejan en el desarrollo de Planes Rectores de Uso y Gestión o el establecimiento de áreas de protección en torno a estos espacios que abarcan uno o varios municipios. Igualmente la legislación de delimitación y protección de las vías pecuarias (cañadas, cordeles, veredas, etc.) permite establecer dominios públicos cuando éstas discurren por zonas inundables.

Un ejemplo de la legislación ambiental aplicable para prevenir el riesgo de inundación es la Ley 2/2002, de Evaluación de Impacto Ambiental de la Comunidad de Madrid, que recoge:

### **Artículo 28.-Estudio de Impacto Ambiental (Contenido j)**

“Identificación, caracterización y valoración de la generación de riesgos directos o inducidos; deslizamientos, subsidencia, inundación, erosión, incendio...del proyecto o actividad.”

### **Legislación de Protección Civil**

El apartado 6 de la Norma Básica de Protección Civil (Real Decreto 407/1992, de 24 de abril) y la propia Resolución mediante la cual se aprueba la Directriz Básica (MJI, 1995) determina que el riesgo de inundaciones será objeto de Planes Especiales en aquellos ámbitos territoriales que lo requieran. La misma Norma Básica señala, en su apartado 7.2, que los Planes Especiales se elaborarán de acuerdo con las Directrices Básicas relativas a cada riesgo. Asimismo, acuerda que “*serán tenidos en cuenta por los órganos competentes en el proceso de planificación del territorio y de los usos del suelo*”.

El objeto de la presente Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, es establecer los requisitos mínimos que deben cumplir los correspondientes Planes Especiales de Protección Civil, en cuanto a fundamentos, estructura, organización y criterios operativos y de respuesta, para ser homologados e implantados en su correspondiente ámbito territorial, con la finalidad de prever un diseño o modelo nacional mínimo que haga posible, en su caso, una coordinación y actuación de los distintos servicios y Administraciones implicadas.



### **Legislación sectorial de Obras Públicas**

La propia legislación de Fomento y Obras Públicas contiene procedimientos y metodologías normalizados de utilidad para el análisis de la peligrosidad de inundaciones, como es el caso de las sucesivas Instrucciones de drenaje superficial de carreteras que, en sus diferentes versiones (5.2-IC en Orden de 14 de mayo de 1990) y con las variantes del método racional modificado que propone, permiten estimar los caudales generados en pequeñas y medianas cuencas.

### **Legislación sectorial de Turismo**

Incluso existe legislación sectorial de Turismo de interés en la prevención de inundaciones, como el Decreto 125/2004, de 11 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Reglamento de Alojamientos turísticos al aire libre, que cataloga con precisión las zonas en las que se prohíbe instalar campings con respeto a la normativa sectorial y propone, como requisito para la autorización de los mismos, una metodología para la realización de un análisis de riesgos de inundaciones, incendios forestales u otros. Entre otros artículos y anexos, contempla:

#### **Artículo 15. Otras zonas de riesgo para la vida de las personas y sus bienes**

1. Con carácter general, no se podrán ubicar campings en terrenos donde pueda existir riesgo inaceptable, ya sea de origen natural o artificial, para la vida de las personas y sus bienes.



## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Métodos de análisis de la peligrosidad de inundaciones

El análisis del riesgo de inundación, como riesgo natural que es, se basa en la descomposición y estudio de cada uno de los elementos o partes integrantes del mismo, esto es, la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, para posteriormente proceder a integrar los mismos y tener una visión unificada del riesgo.

En nuestro país, al igual que en el resto de Europa, el **análisis de la peligrosidad** (o inundabilidad) se realiza empleando de forma combinada y complementaria una serie de técnicas y procedimientos, que a grandes rasgos pueden agruparse en tres aproximaciones metodológicas: métodos histórico-paleohidrológicos, métodos geológico-geomorfológicos y métodos hidrológico-hidráulicos.

Los **métodos histórico** emplean marcas sobre elementos artificiales (edificaciones, vías de comunicación, obras públicas, etc.), documentación histórica (manuscritos e impresos de archivos, bibliotecas y hemerotecas) y testimonios (orales o audiovisuales) para reconstruir la extensión cubierta o la cota alcanzada por las aguas durante una crecida desencadenada en el periodo histórico. Una aplicación simple de esta metodología consiste en suponer que si el agua alguna vez ha alcanzado ciertos niveles puede alcanzarlos también en un futuro no muy lejano, determinando esta zona como de crecida histórica. Algo más sofisticados son los estudios que trasponen estos niveles a caudales circulantes mediante modelos hidráulicos y les asignan una determinada probabilidad, permitiendo que se introduzcan como datos complementarios en el análisis estadístico de caudales procedentes del registro ordinario.

Los **métodos paleohidrológicos** del registro geológico emplean determinados tipos de depósitos o marcas de las inundaciones anteriores al periodo histórico o de las cuales no se dispone de información histórica, en relación con otros elementos datables mediante técnicas paleontológicas, dendrocronológicas, radiométricas ( $^{14}C$ , OSL, TL, etc.) o arqueológicas. Puede igualmente asignarse una probabilidad de ocurrencia a los caudales resultantes de la modelización hidráulica a partir de esos niveles y velocidades, integrándose de la misma forma en el análisis estadístico de caudales.

Los **métodos geológico-geomorfológicos** emplean la disposición y tipología de las formas del terreno y los depósitos generados durante o tras el evento de avenida. Con ello se pueden delimitar las áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes, y por tanto susceptibles de ser inundadas en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial, su frecuencia cualitativa de inundación. Estas técnicas están cobrando fuerza al ser las únicas que consideran fenómenos naturales difícilmente modelizables con otras técnicas, como la migración del canal o el transporte de sólidos, y tener en cuenta las tendencias evolutivas naturales del sistema fluvial.

Los **métodos hidrológicos e hidráulicos** persiguen, respectivamente, la estimación de los caudales generados en una cuenca o corriente y el cálculo de las velocidades y calados con los que circulará por un determinado tramo fluvial. Los métodos hidrológicos pueden partir de los datos de caudales, aplicando análisis estadístico de los valores máximos; o de los datos de precipitación, mediante modelos hidrometeorológicos de transformación de precipitación-escorrentía basados en fórmulas y métodos como el racional, hidrograma unitario, PMP-PMF, onda cinemática... Los



métodos hidráulicos parten de diferentes hipótesis, simplificaciones o aproximaciones al flujo del agua en la naturaleza (unifásico-bifásico, uni-bi-tridimensional, uniforme-variado, permanente-variable, laminar-turbulento, lento-rápido...) que simplifican las ecuaciones físicas que lo modelizan, cuya resolución permite estimar diferentes parámetros (profundidad, velocidad, energía...), estos métodos son los usados en el presente estudio.

Estos métodos no son excluyentes, sino al contrario, deberían emplearse y aplicarse todos ellos de forma integrada y complementaria para el estudio de la peligrosidad de inundaciones, siempre que sea posible por existir las fuentes de información que necesiten.

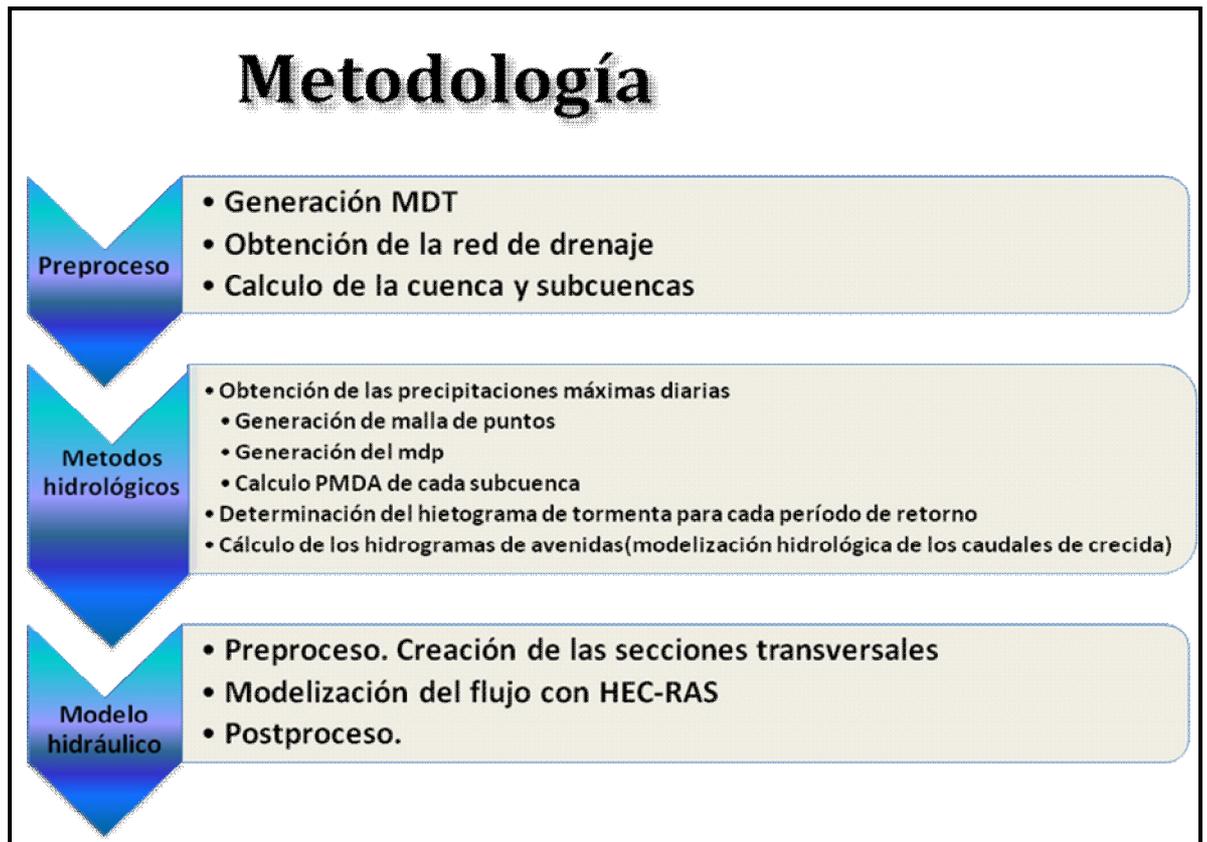


Figura 18. Metodología seguida en el estudio. Elaboración propia.

## 6.2. Preproceso

Esta etapa se lleva a cabo en ArcGIS, se parte de cartografía básica a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional. A partir de las hojas H531 y H532 con los datos de altimetría se ha generado el modelo digital del terreno (figura 18) con un tamaño de celdas de 10x 10 m.

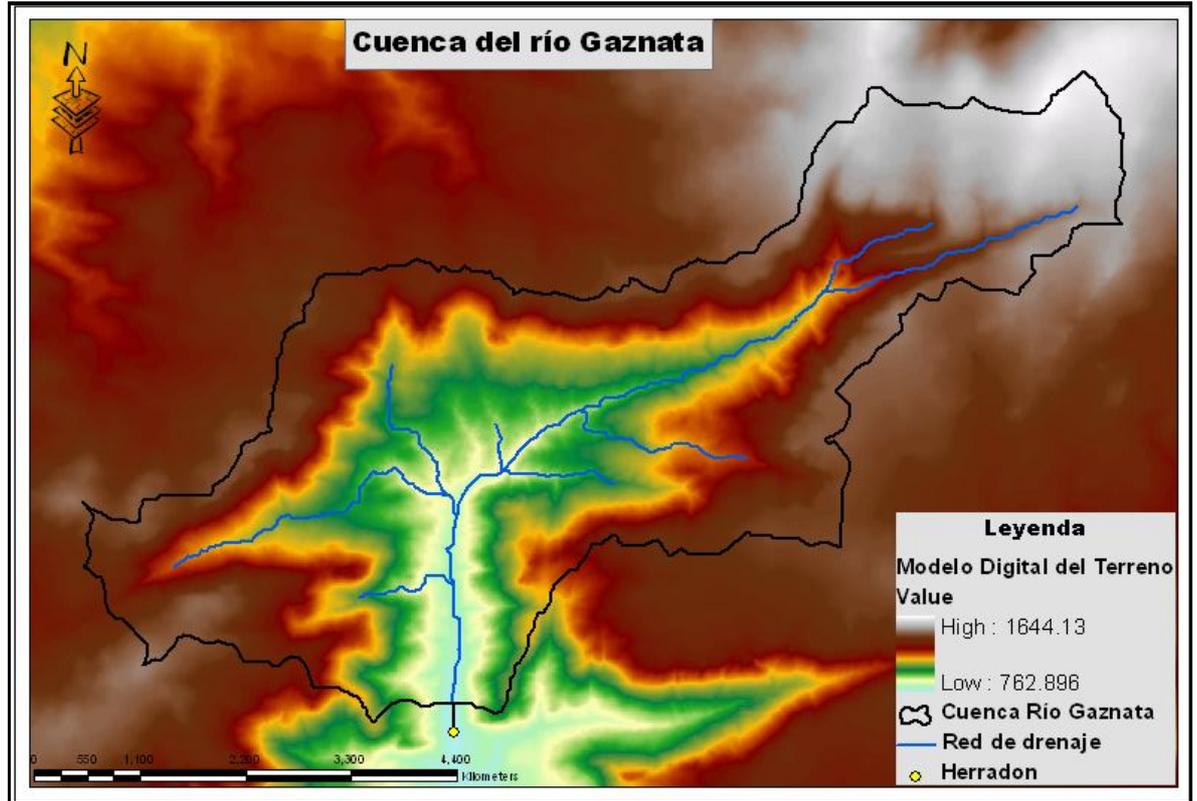


Figura 19. Elaboración propia

Con este MDT, siguiendo varios pasos en el ArcGis, fill, flow dir, flow acc; se crea la red de drenaje representada en la figura anterior. Se lleva a cabo un reclasificación para obtener una Red de drenaje de una cierta importancia, se asigna el valor 0 a celdas con valor entre 0 y 10000, y el valor 1, para celdas con valores mayores de 10000, lo que significa que en esa celda desaguan mas de 10000. El punto de cierre de la cuenca se sitúa en la parte más alta del Herradón, en base a este punto se delimita la cuenca de estudio. La Red de drenaje se subdivide en tramos para posteriormente obtener las diferentes subcuencas. (Figura 19).

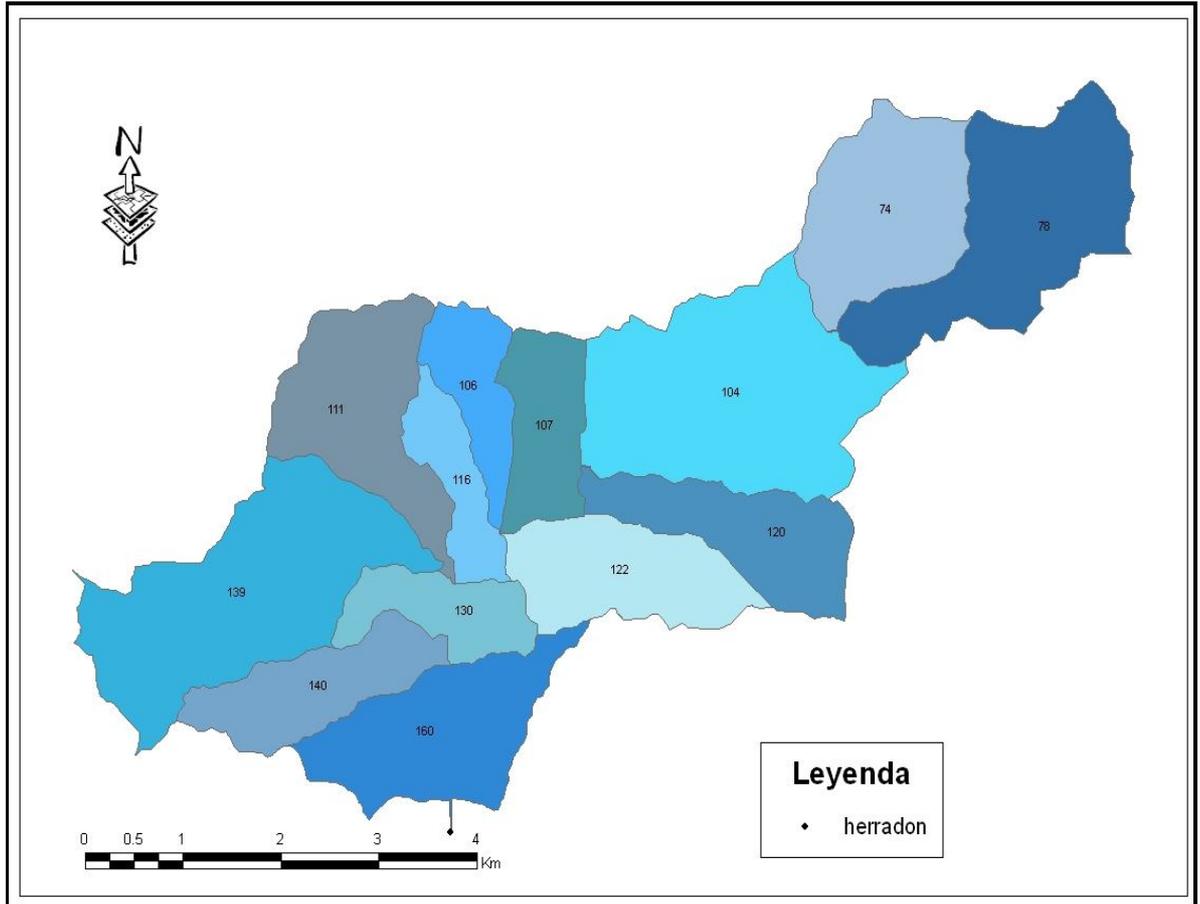


Figura 20. Elaboración propia

. Se han unido dos subcuencas ya que una de ellas tiene una importancia relativamente pequeña y ambas poseen unas características similares. En las tablas se muestra el área de cada subcuenca:

IDENTIFICACIÓN DE CUENCA	ÁREA (Km 2)
74	2,6
78	3,6
104	4,9
106	1,1
107	1,4
111	2,5
116	1
120	2
122	2,1
130	1,2
139	4,6
140	1,7
160	2,6



Ya con las subcuencas delimitadas se pasa al programa ArcView 3.2, ya que con este programa de información geográfica se pueden usar diversas aplicaciones necesarias en este estudio, que con ArcGis no se puede.

### **6.3. Métodos hidrológicos**

Si consideramos que una crecida o avenida fluvial es un episodio con caudales anormalmente altos que registra un punto o tramo de la corriente, en su análisis será básica la caracterización temporal de esos caudales anómalos, esto es, la definición del hidrograma de crecida correspondiente a dicho evento. Dentro de este hidrograma pueden estudiarse sus elementos, componentes o tiempos característicos, en relación con el hidrograma correspondiente y asignarle una probabilidad de ocurrencia.

Existen diversas metodologías para el estudio hidrológico de las crecidas, que abarcan desde la caracterización completa del hidrograma hasta la determinación de tan solo alguno de sus parámetros, como el caudal punta o pico de flujo. Por el objetivo del estudio se pueden diferenciar dos conjuntos de métodos: aquéllos que pretenden analizar una avenida previa o pasada empleando el propio registro directo de caudales; y aquéllos que aspiran a estimar caudales de crecidas futuras o situaciones hipotéticas a partir de datos indirectos de crecidas pasadas o del análisis de datos de precipitación y/o caudal registrados en otras crecidas.

El estudio que se presenta se basa en métodos indirectos (el segundo conjunto de métodos mencionado en el párrafo anterior). Respecto a estos métodos existen dos tendencias en el estudio hidrológico de las crecidas (en opinión de Llanos *et al.* (1995)): una determinista que preconiza el pasado como condicionante del comportamiento presente y futuro, abordando su estudio mediante leyes físicas y relaciones matemáticas; y otra estocástica, que parte del carácter aleatorio del proceso, y propone la aplicación de leyes o funciones analíticas a un conjunto de observaciones previas para predecir futuros valores de la variable. Las técnicas estadísticas o estocásticas, que a su vez agrupan tanto los métodos hidrometeorológicos, como el análisis estadístico de caudales; se han utilizado en este estudio.

#### **6.3.1. Obtención de las precipitaciones máximas diarias**

Una vez obtenida la cuenca a estudiar y la división de la misma en subcuencas viables para la modelación, el siguiente paso es acometer el cálculo de las precipitaciones máximas diarias anuales para cada subcuenca y para diferentes períodos de retorno.

Los períodos de retorno seleccionados para realizar el estudio son los de 25,100 y 500 años. Se han seleccionado estos al ser los más comúnmente demandados por las Confederaciones Hidrográficas para este tipo de estudios.

Para este proceso, se recurre a un trabajo realizado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) en 1999, a raíz de un convenio con la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, con el fin de “obtener un método operativo, que de una manera breve y fiable, nos proporcione un valor de las máximas lluvias diarias en la España peninsular que sirva de base de partida para el cálculo de los caudales a desaguar por los pequeños cauces existentes en las obras de carreteras, supliendo así la ausencia de aforos en los mismos” (Máximas LLuvias Diarias en la España Peninsular, Ministerio de Fomento )



En particular, para la cuenca del Herradón, se va a utilizar el programa informático asociado al propio documento conocido como MAXPLUWIN y su aplicación a Sistemas de Información Geográfica: AQUALIS.

Se trata de un programa ejecutable en entorno Windows, que proporciona para cada punto geográfico de la España peninsular el valor medio de la precipitación diaria máxima anual, el del coeficiente de variación y el de la precipitación diaria máxima correspondiente al período de retorno solicitado.

Es un modelo predictivo regional que asume la existencia de una región homogénea respecto a ciertas características estadísticas. Estos modelos se basan en considerar las características de cada uno de los puntos de registro como una variable dependiente y el resto de las propiedades climáticas o fisiográficas comunes al conjunto de estaciones de la región, como variables explicatorias.

Un modelo clásico dentro de los regionales es la avenida-índice, caso particular de la variable-índice, que considera los estadísticos  $C_s$  y  $C_v$  constantes en la región y asume que la variable resultante del cociente de cada serie por su media sigue la misma distribución de frecuencia en toda la región (Mediero y Jiménez, 2007). El método de avenida-índice es el modelo regional más utilizado a escala nacional en países como Gran Bretaña (NERC, 1975) y el mismo que se sigue en este proceso.

MAXPLU permite realizar los siguientes procesos para cada punto seleccionado:

- Obtención del valor medio de la máxima precipitación diaria anual y del Coeficiente de Variación de las series de precipitaciones máximas diarias regionalizadas.
- Usando los anteriores datos y asumiendo una distribución SQRT-ET max, estimación de la precipitación diaria máxima correspondiente a diferentes períodos de retorno..

Con AQUALIS, el principal proceso que se desea realizar es el siguiente:

- Obtención del valor de la precipitación máxima diaria en cuencas (subcuencas) hidrográficas a partir de la precipitación máxima diaria en puntos proporcionada por MAXPLU de forma previa, siendo éste el fin último por el que se recurre a este programa para el estudio de la cuenca del Herradón

### **Descripción del proceso seguido**

#### **1. Generación de malla de puntos**

Creación de una malla rectangular de puntos de precipitación, la cual, sirve como base para la creación del Modelo Digital de Precipitación. (Figura 20)

La distancia entre los puntos de la malla que se ha seleccionado es de 1km. La elección de esta distancia se ha estimado de forma que se puedan obtener valores representativos (teniendo en cuenta que el área de la cuenca del Herradón es de 31 km<sup>2</sup>).

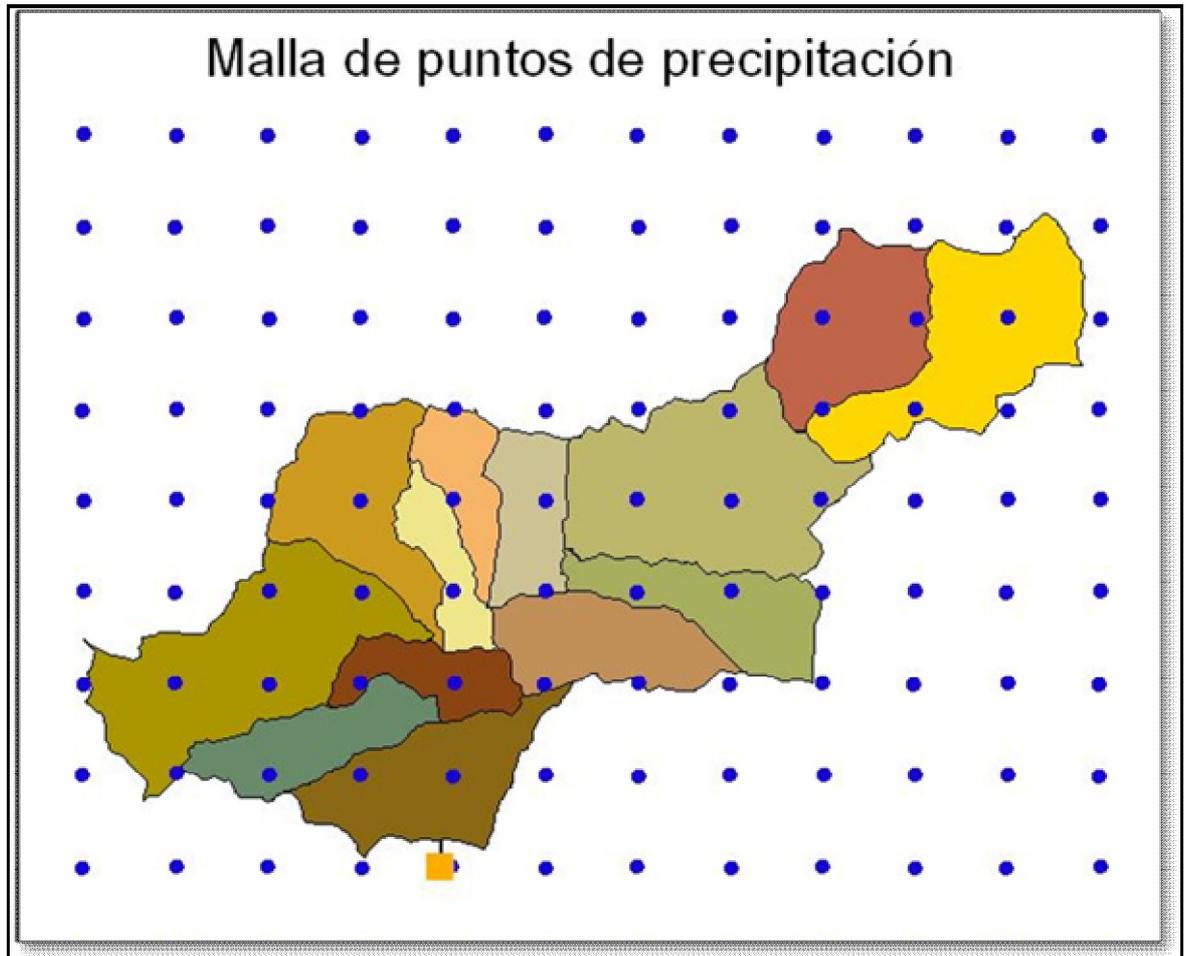


Figura 21. Elaboración propia

## 2. Generación del mdp

El cálculo del MDP (figuras 21, 22 y 23) utiliza como datos de partida los obtenidos en la malla de puntos (figura 20) del punto anterior. Se puede realizar mediante tres métodos de interpolación espacial diferentes: Spline, IDW o Kriging.

Cada celda del grid generado contiene el valor de la precipitación máxima diaria en la zona que determina la propia celda.

El tamaño de celda definirá la mayor o menor precisión del MDP. Teniendo en cuenta que valores pequeños del tamaño de celda producen MDPs de mayor definición aunque el tiempo para su generación es mayor, mientras que valores grandes del tamaño de celda generan MDPs de menor definición, siendo también menor el tiempo de generación.

El tamaño de celda elegido para el MDP de este estudio es de 10 x 10 m. Un tamaño muy exigente, con el fin de obtener los resultados más representativos posibles

El método que se ha utilizado en este estudio para realizar la interpolación espacial es el Kriging. Realiza en primer lugar un estudio de los datos de entrada y después modela los aspectos



estocásticos de la variable a representar. El éxito de aplicar el Kriging como método de interpolación reside en considerar importantes supuestos sobre la naturaleza estadística de la variación.

Durante este proceso debemos indicar el peso, el cual, define el carácter de la interpolación. Dejamos como peso el valor por defecto que ofrece Arc View, 0'1.

También se requiere el número de puntos por región que se utilizan para la aproximación local. El valor elegido es también el que ofrece por defecto el Arc View: 0'12.

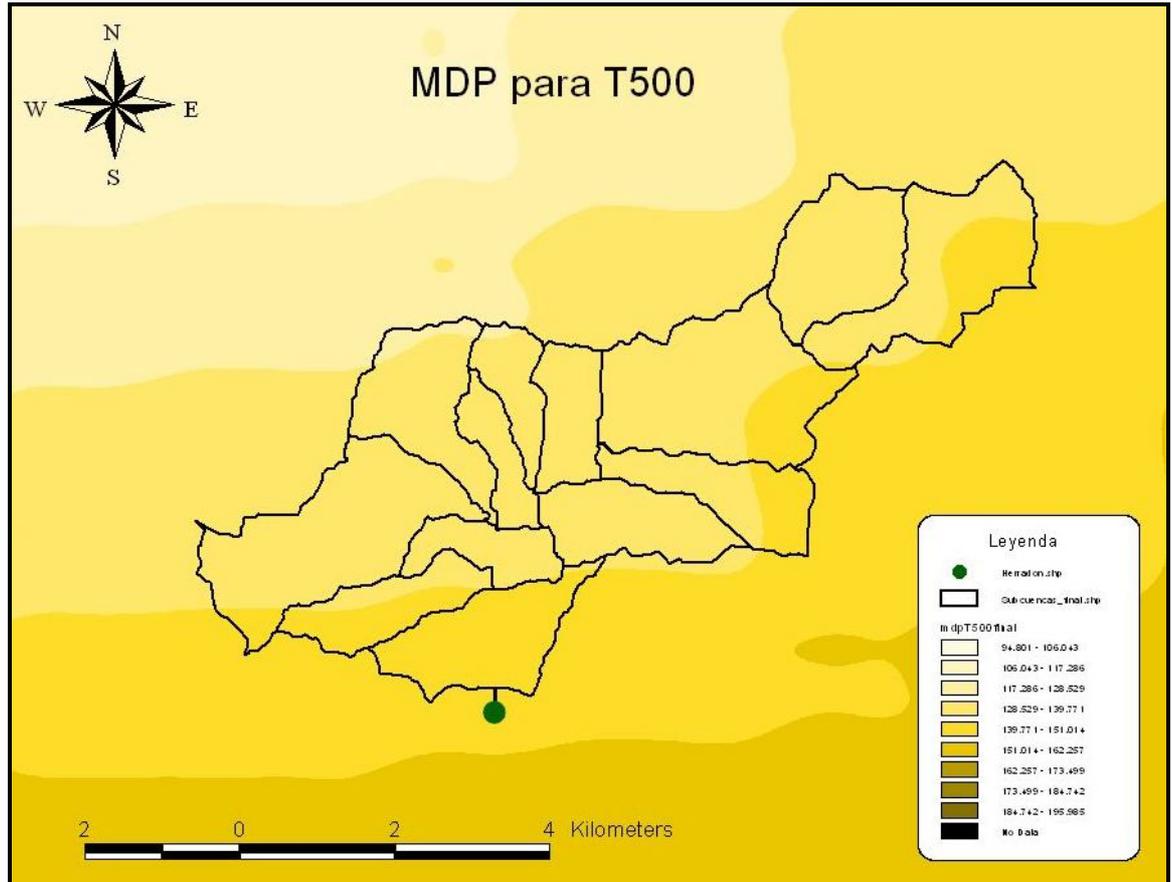


Figura 22. Elaboración propia

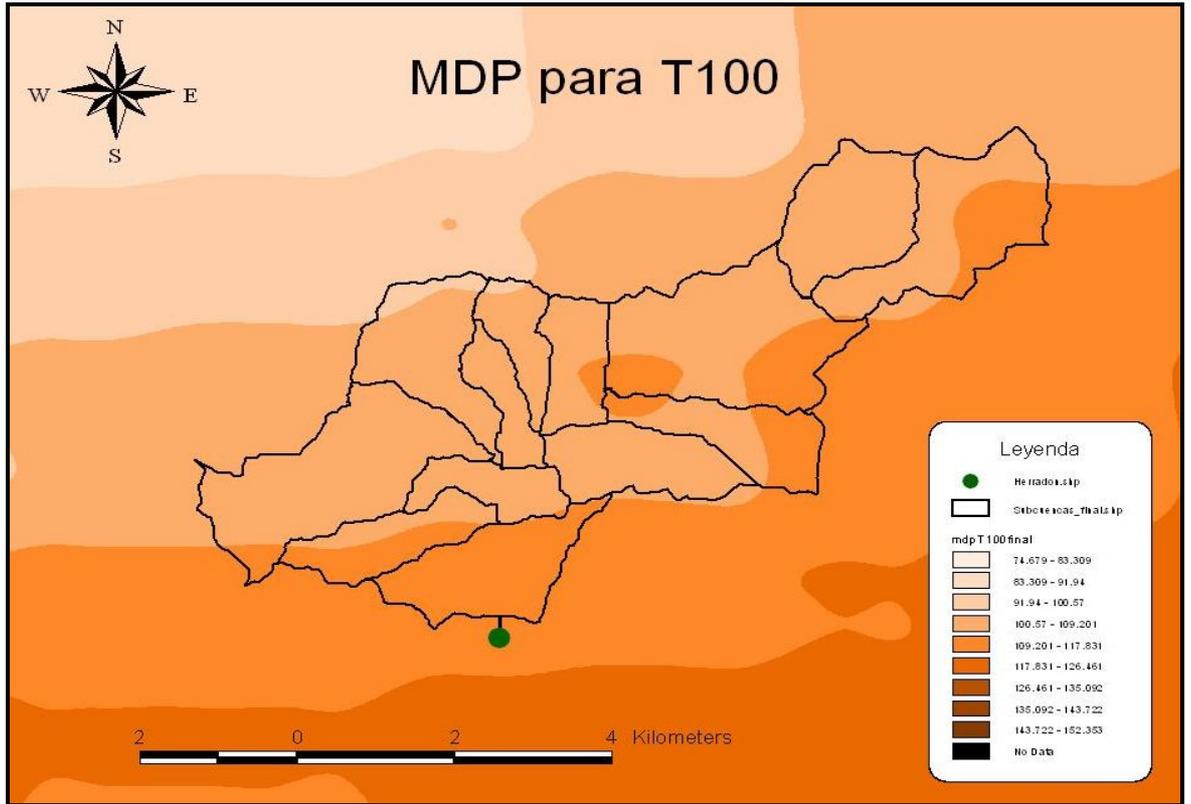


Figura 23. Elaboración propia

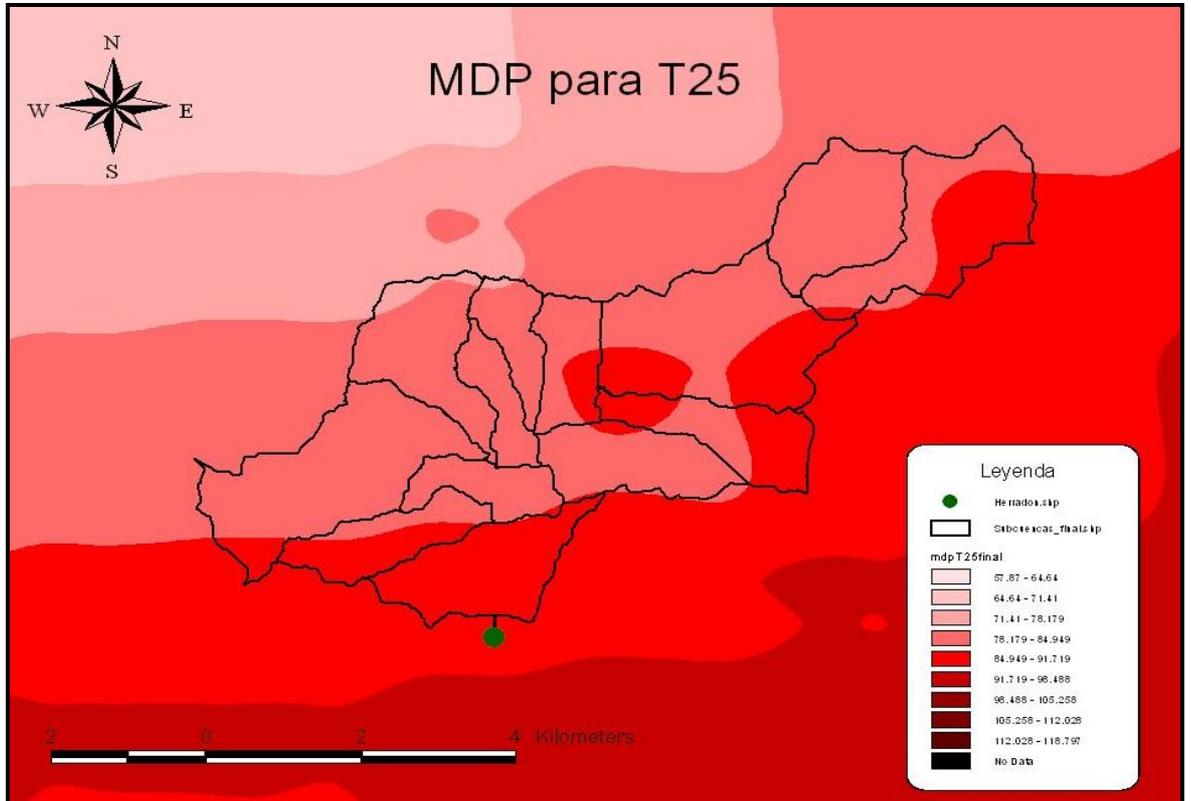


Figura 24. Elaboración propia



### 3. Cálculo PMDA de cada subcuenca

Como último proceso, el programa genera una tabla que contiene el valor de la precipitación máxima diaria para cada cuenca (subcuenca). El cálculo se realiza a partir del MDP. Se obtiene el valor medio de las celdas del MDP, sumando los valores de las celdas dividido por el número total de celdas que están contenidas en cada subcuenca.

Los valores son obtenidos utilizando únicamente como referencia las coordenadas UTM de la cuenca a estudio. La precipitación obtenida ya es la media de la cuenca y proporciona un valor para cada período de retorno seleccionado.

La elección de esta aplicación como método para el cálculo de la PMDA fue tomada en parte por la simplicidad y rapidez de cálculo. Bien es cierto que existen métodos mucho más exhaustivos y precisos, pero éstos, a su vez requieren un cierto tiempo con el cual no se contaba para este estudio. No obstante, la falta de pluviómetros cercanos y la prontitud con la que se requieren los resultados compensan la ligera pérdida en precisión de cálculo de las PMDAs. Esta limitación de precisión no conlleva imprecisión en los resultados finales puesto lo que se pretende es observar cómo responde la cuenca a grandes eventos de períodos de retorno elevados y no un cálculo exhaustivo del riesgo por inundación.

A continuación se expone una tabla con las PMDA para cada subcuenca y período de retorno obtenidas por este método:

IDENTIFICACIÓN DE CUENCA	PMDA (T=25 años) (mm)	PMDA (T=100 años) (mm)	PMDA (T=500 años) (mm)
74	82,3	105,1	134,7
78	84,9	108,3	138,8
104	84,5	108,2	138,3
106	81,5	104,8	134,1
107	84,0	107,9	137,7
111	81,4	104,7	134,1
116	83,0	107,0	137,1
120	85,8	109,8	140,2
122	84,5	108,5	138,2
130	83,2	107,2	137,2
139	82,6	105,9	135,4
140	85,6	109,6	140,7
160	88,4	113,2	145,0



### 6.3.2. Determinación del hietograma de tormenta para cada período de retorno

#### Distribución temporal de la lluvia de cálculo

A continuación se procede al cálculo de los hietogramas de diseño para cada período de retorno, a partir de los datos de precipitaciones máximas obtenidos en el paso anterior.

Para construir el hietograma sintético, se va a utilizar una aplicación informática, la cual, calcula los hietogramas por el método de los bloques alternados, uno de los métodos más utilizados, si no existen datos pluviométricos en intervalos menores a un día.

Se basa en la fórmula del método de Témez (1978) para la construcción de curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF):

$$\frac{It}{Id} = \left( \frac{I1}{Id} \right)^{\frac{28^{0.4} - t^{0.4}}{28^{0.4} - 1}}$$

$I_t$  = Intensidad media correspondiente a la duración “ $t$ ” deseada (mm/h)

$I_d$  = Intensidad media diaria en mm/h. ( $P_d/24$ ).

$P_d$  = Precipitación total diaria correspondiente a un período de retorno (mm)

$I1/I_d$  = Factor de torrencialidad.

$t$  = duración del intervalo a la que se refiere la intensidad (h.)

Esta fórmula es la recomendada por la Dirección General de Carreteras para España.

El procedimiento consiste en la construcción de un hietograma de duración  $T_d$ , como la sucesión de  $N$  bloques de duración  $\Delta t$  ( $T_d = N \cdot \Delta t$ ) tales que, en cada momento, la precipitación corresponda a la máxima precipitación probable dada por la curva IDF

Para la cuenca del Gaznata, como parámetros para la construcción de los hietogramas de tormenta, se seleccionó: 30 minutos como intervalo de discretización de tiempo y 24 horas como duración de la tormenta de diseño. De este modo se obtienen 48 bloques para los que hay que determinar el valor de la intensidad.

El factor de torrencialidad viene dado por la Instrucción de Drenaje de Carreteras en el mapa de isolíneas del Ministerio de Fomento. Se estima para la cuenca del Gaznata un valor de 10.

El proceso que lleva a cabo el programa es el siguiente:

1. En primer lugar se deduce de la curva IDF el valor de la máxima intensidad de precipitación para cada una de las duraciones acumuladas de los intervalos considerados ( $\Delta t, 2\Delta t, \dots, N \Delta t$ ), en nuestro caso 30, 60, ..., 1440 minutos.
2. Se obtiene el volumen máximo de precipitación acumulada como el producto de estas intensidades por la duración considerada ( $V_{30}, V_{60}, \dots, V_{1440}$ ).
3. Se calcula el volumen de agua que corresponderá a cada uno de los 48 bloques o intervalos de 30 minutos del hietograma ( $V_1, V_2, \dots, V_{48}$ ), de manera que en todo momento el volumen



total acumulado sea igual al que se obtuvo de la curva IDF. De esa manera,  $V_1 = V_{30}$ ,  $V_2 = V_{60} - V_{30}$ , ...,  $V_{12} = V_{1440} - V_{1410}$ .

4. Reduciendo estos volúmenes a intensidades ( $I_j = V_j/\Delta t$ ), se tiene la estimación de los valores por bloques.
5. Finalmente, el programa ordena los bloques. Podemos elegir el tipo de hietograma: general, centrado o general media. La elección de la forma del hietograma se basó en la búsqueda de aquel que diese un mayor valor de intensidad máxima. Todo ello con el fin de que prevalezca la seguridad al estimar el suceso más desfavorable posible. El resultado fue la elección de la forma de hietograma general.

El estimar una duración de la tormenta de 24 horas se argumenta como un valor razonable para superficies de cuenca inferiores a 1.000 Km<sup>2</sup> y tiempos de concentración de cuenca inferiores a las 24 horas (siendo éste el caso de las subcuencas a estudio). Otra razón es que es la duración más común a partir de la cual se estima la forma de los hietogramas, habiendo una falta de información acerca de los hietogramas característicos de tormentas cortas.

Los hietogramas obtenidos para cada cuenca y para cada período de retorno pueden ser consultados en la parte de anexos.

### 6.3.3. Cálculo de los hidrogramas de avenidas(modelización hidrológica de los caudales de crecida)

#### Introducción

HMS. Éste es un software desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del US Army Corps of Engineers.

Este programa calcula el hidrograma producido por una cuenca si se le facilitan datos físicos de la cuenca, datos de precipitaciones...

El siguiente paso que se ha de realizar es convertir la precipitación de diseño para cada período de retorno (hietogramas) en caudales que van a circular por el cauce (hidrograma).

Para ello, se va a utilizar el programa de modelización hidrológica de caudales conocido como HEC HMS. Éste es un software desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del US Army Corps of Engineers.

Este programa calcula el hidrograma producido por una cuenca si se le facilitan datos físicos de la cuenca, datos de precipitaciones...

Los datos que necesita el programa para realizar este proceso son los siguientes:

- *Modelo de cuenca:* enumeración de los elementos de la cuenca a estudio y descripción de sus características físicas. Se debe exponer el número de subcuencas que componen la cuenca, la dirección hacia donde drena cada una de ellas y los puntos de unión entre las aportaciones (hidrogramas) de dos o más subcuencas. También se han de colocar los tramos de río en los cuales se realizará la propagación de hidrogramas. (Figura 24)

En definitiva, se trata de realizar una representación digital de la cuenca.

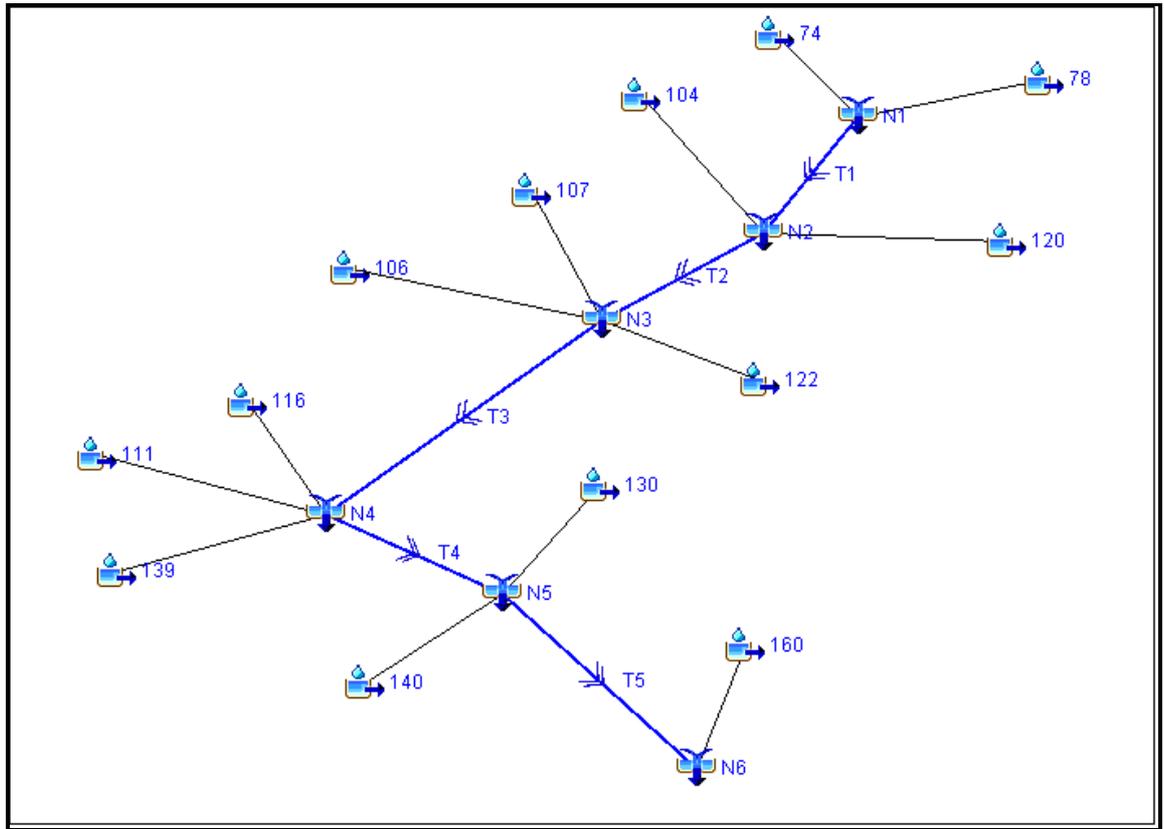


Figura 25 Modelo de cuenca en HMS. Elaboración propia

- *Modelo meteorológico:* consiste en introducir las distribuciones temporales de precipitación (hietogramas) a partir de los cuales el HMS calculará los 2 primeros pasos descritos previamente (cálculo de los hidrogramas de cada cuenca) así como la distribución espacial de cada una (pesos). Los pesos introducidos son todos de valor 1 debido que para cada cuenca existe un hietograma que define la precipitación total sobre la misma.

Se trata de introducir los valores de precipitación para que sirvan como base de partida para realizar el proceso. Se van a crear tres modelos meteorológicos, uno para cada período de retorno, ya que los hietogramas introducidos son diferentes para cada uno

- *Especificaciones de control:* se trata simplemente de indicar cuándo debe comenzar y terminar de computar, así como el intervalo de tiempo de cálculo (intervalo de tiempo entre un cálculo y el siguiente).

Los pasos que realiza el HMS se pueden resumir de la siguiente manera:

- A. Separación de la precipitación neta.** Calcula cuanta, de toda la precipitación caída, va a generar escorrentía directa.
- B. Calculo de la escorrentía directa.** A partir de la precipitación neta, se calcula la escorrentía que genera (caudal).
- C. Suma la escorrentía básica a la directa.** Introducir la escorrentía básica (no generada por la precipitación a estudio) en el hidrograma calculado.



**D. Tránsito de hidrogramas.** Forzar la evolución del hidrograma a medida que discurre a lo largo del cauce.

Para cada uno de estos procesos, el programa ofrece una serie de métodos que el usuario debe elegir previamente.

El programa realiza los cálculos de las tres primeras fases para cada subcuenca y la última la calcula para cada tránsito a lo largo del cauce. Al final suma todos los caudales generados y transitados a lo largo del recorrido y nos proporciona el hidrograma en la salida de la cuenca.

## Proceso y métodos seleccionados en el estudio

### A) Separación de la precipitación neta (*Loss method*):

El método seleccionado para la separación de la lluvia neta es el método del número de curva del SCS. Éste es un modelo desarrollado por el Soil Conservation Service de Estados Unidos durante los años 50, para su aplicación a cuencas agrícolas pequeñas.

Con este método se estima la precipitación efectiva ( $P_e = P - I_a - F_a$ ) a partir de la precipitación total y un parámetro "NC" (número de curva) que influye en la escorrentía de la cuenca y depende del tipo hidrológico del suelo, del uso y manejo del terreno, de la condición superficial del suelo y de la condición de humedad antecedente.

En España, la aplicación del número de curva se ha extendido bajo la variación que se conoce por el parámetro del umbral de escorrentía ( $P_o$ ), que en términos del SCS se corresponde con la abstracción inicial.

En este estudio, el umbral de escorrentía ha sido calculado de forma media para cada subcuenca. La base para el cálculo es el mapa de  $P_o$  elaborado por la Confederación Hidrográfica del Tago. Mediante la aplicación de un SIG se ha estimado los pesos de cada valor del  $P_o$  en cada subcuenca y se ha obtenido un valor medio para cada una.

Sustituyendo en la función producción del SCS, se obtiene la relación entre el  $P_o$  y el número de curva del SCS:

$$P_o = 0,2 * S = 0,2 \left( \frac{25.400}{NC} - 254 \right) = \frac{5080}{NC} - 50,8$$

De esta forma se realiza la conversión del  $P_o$  calculado hacia el número de curva necesario para el método elegido en el programa informático.



IDENTIFICACIÓN DE CUENCA	NÚMERO DE CURVA	UMBRAL DE ESCORRENTÍA (mm)
74	74,2	17,7
78	66,5	25,6
104	66,3	25,8
106	77,8	14,5
107	71,2	20,5
111	78,1	14,3
116	75,6	16,4
120	68,0	23,9
122	74,6	17,3
130	78,4	14,0
139	78,1	14,3
140	78,0	14,3
160	78,4	14,0

El umbral de escorrentía está influenciado por el grado de humedad del terreno antes de la tormenta. Cuanta mayor sea la humedad previa, menos cantidad de precipitación hace falta para generar escorrentía (valores más bajos de  $P_0$ ). Se estima un grado de humedad máximo con el fin de centrarse en el caso más desfavorable (mayor probabilidad de inundación).

Es por ello que el umbral de escorrentía se ha redondeado a la baja para cada subcuenca.

A continuación se muestra un ejemplo del resultado de este proceso obtenido mediante el programa. Se observa el hietograma inicial y la subdivisión en hietograma neto. En la parte de abajo se observa el hidrograma generado por la subcuenca (cálculo de escorrentía directa- paso 2) (figura 25)

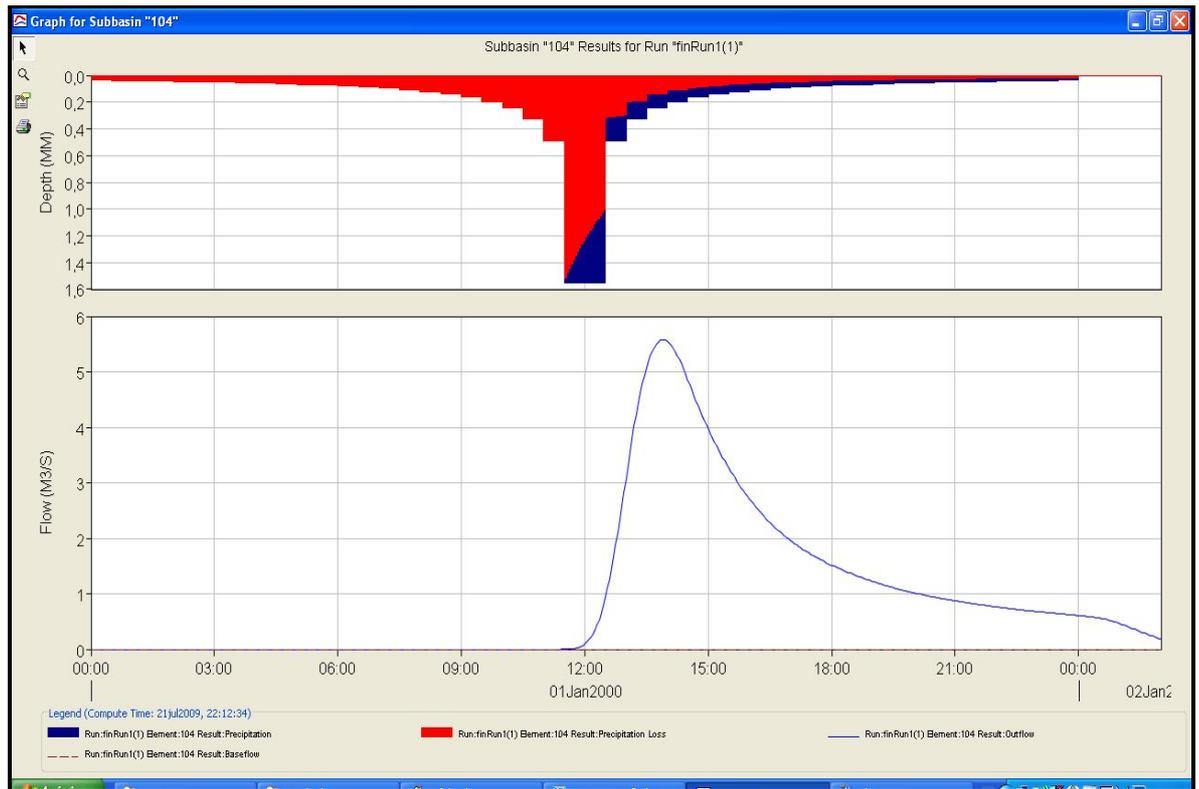


Figura 26. Elaboración propia

## B) Cálculo de escorrentía directa (*Transform method*):

La forma que se ha elegido para transformar la precipitación neta en caudal circulante por el cauce es la del “hidrograma unitario adimensional” del SCS.

La razón de la elección de este método es que el hidrograma adimensional se ha obtenido del análisis de pequeñas cuencas rurales, asemejándose a las características de la cuenca del Gaznata. Sólo se requiere como parámetro de cálculo el tiempo de desfase de punta (tlag) a partir del cual se obtiene el tiempo de punta (tp) y el caudal punta (Qp) del hidrograma.

También, es considerado un método más preciso que el racional para obtener el hidrograma de avenida, siendo este dato importante para la obtención de resultados precisos y representativos.

Este método se basa en la obtención de un hidrograma tipo para cada cuenca, conociendo el hidrograma unitario generado por una tormenta corta (entre 1/3 y 1/5 del Tc). A partir de éste, se puede adaptar a cualquier evento de precipitación por descomposición de él mismo en intervalos de duración “D”.

El hidrograma unitario se define como el generado por la escorrentía superficial resultante de una lluvia neta de 1 mm repartida uniformemente sobre una cuenca determinada y con una distribución constante a lo largo de un determinado intervalo de tiempo (mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones, Instituto Geológico y Minero Español)

El método del Hidrograma unitario parte de presuponer tres principios como ciertos:



- 1) *Constancia del tiempo de base.* Lluvias de igual duración producen hidrogramas con el mismo tiempo de base.
- 2) *Principio de proporcionalidad.* Dos aguaceros de intensidad uniforme y misma duración, con volúmenes diferentes, producen caudales proporcionales a los volúmenes.
- 3) *Principio de superposición.* Diferentes hidrogramas unitarios generan uno resultante suma de todos ellos.

Los pasos que se han de seguir para lograr el hidrograma de avenida son:

- 1) Discretización del hietograma neto en duraciones determinadas previamente. Ese intervalo de discretización lo hemos establecido como 30 minutos.
- 2) Cálculo de los hidrogramas unitarios de cada intervalo de tiempo aplicando el segundo principio.
- 3) Sumar los hidrogramas unitarios de cada intervalo, aplicando el tercer principio.

Hay tener en consideración que el hidrograma obtenido es en régimen natural, no obstante, las extracciones realizadas sobre este arroyo son nulas de forma que se puede considerar que el hidrograma obtenido es el que realmente se va a desarrollar mediante este tipo de sucesos climáticos.

#### **C) Suma la escorrentía básica a la directa**

Para el presente estudio, no se ha tenido en cuenta la escorrentía básica puesto que el caudal medio del río Gaznata en condiciones normales no es relevante y por tanto no goza de importancia ante los grandes caudales que se manejan con las precipitaciones de diseño.

#### **D) Tránsito de hidrogramas (routing)**

Los hidrogramas generados en cada subcuenca, se unen y se propagan a través del cauce mediante el método empírico de Muskingum, para finalmente generar el hidrograma de avenida en la localidad del Herradón.

Este método se basa en la ecuación de continuidad de flujo, debiendo introducir dos variables empíricas: un coeficiente de proporcionalidad “K” y otro de ponderación “X”.

El coeficiente de proporcionalidad “K” representa el tiempo de recorrido del hidrograma o de la onda de crecida.

“X” representa la laminación del tramo. Varía entre valor 0 que se corresponde con la laminación máxima, propia de un embalse y 0,5 como la menor laminación.

El valor de “X” seleccionado es de 0,3 para todos los tramos y la elección del mismo se debe al común uso del mismo, para cuencas similares a la del Gaznata.

Los de “K” se van calculando a partir de la obtención, para cada tramo, de la velocidad media según la fórmula de Manning.

El proceso para la obtención de los valores de “k” es un tanteo de la siguiente forma:

- 1) Suponer un valor de K para el primer tramo.
- 2)



- 3) Obtener el caudal ya laminado al final de ese tramo mediante HMS.
- 4) A partir de ese caudal se obtiene la velocidad media, mediante la fórmula de Manning
- 5) Con esa velocidad y la longitud del cauce del tramo se calcula la celeridad y luego la K
- 6) Ahora se han de comparar los dos valores de K. En función de la diferencia entre ellos se vuelve al paso 1 y se intenta con otro valor.
- 7) Se repite el proceso hasta que los dos valores se asemejen lo más posible.

Este es un método de estimación por tanteo que parte de calcular la K de dos formas diferentes y suponiendo que tienen que coincidir.

*\* La celeridad de la onda se relaciona empíricamente con la velocidad real de circulación del agua  $v_{media}$  mediante una expresión del tipo:*

$$c = k * v_{media}$$

*en la que la constante de proporcionalidad varía según la geometría del cauce:*

*$k=1,67$  para cauce rectangular*

*$k=1,44$  para cauce parabólico*

*$k=1,33$  para cauce triangular (siendo esta la constante de proporcionalidad elegida para el cauce de los tramos)*

*Posteriormente la celeridad se relaciona con la constante "K" de Muskingum de la siguiente forma:*

$$K = \frac{L_{tramo}}{c}$$

*Siendo "L" la longitud de cada tramo en metros y la "c" la celeridad en metros / segundo.*

A continuación se muestra un ejemplo del proceso de propagación en un tramo del modelo realizado en el estudio. Se observa en línea discontinua el hidrograma entrante en el tramo y en línea continua el hidrograma una vez propagado a lo largo del cauce. Se puede observar la escasa laminación que se produce debido a la reducida longitud del tramo y la inexistencia de diferencias importantes en la sección del cauce, que pudiese dar lugar a una laminación de importancia: (figura 26)

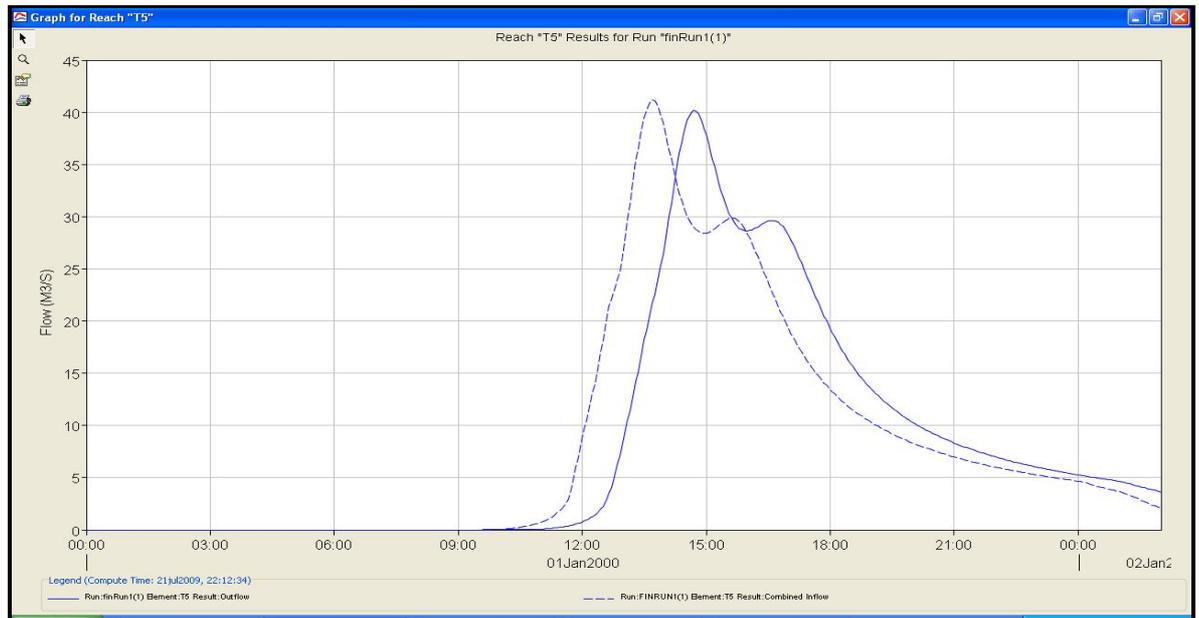


Figura 27. Elaboración propia

## 6.4. MODELO HIDRÁULICO

A partir de los caudales de cálculo obtenidos para los distintos periodos de retorno considerados, se procede a determinar las zonas inundables para el tramo de río Gaznata en estudio.

La simulación se realiza mediante modelos hidráulicos, cuyos resultados se representan sobre mapas topográficos. Para esta modelización se utiliza el programa HEC-RAS, del US Army Corps of Engineers, HEC-GeoRas y posteriormente ArcView para representar los resultados.

Los criterios de cálculo son los siguientes:

- Se considera la hipótesis de flujo en lámina libre, no existen tramos cubiertos o zonas susceptibles de entrar en carga.
- Se considera el flujo como unidimensional, es decir, que la influencia de los flujos con componente transversal al eje fluvial no sea suficientemente grande para desvirtuar los resultados.
- Se considera el cauce como fijo, despreciándose los cambios de cauce durante la avenida en estudio, sin que los mismos puedan desvirtuar la geometría inicial de cálculo.

Para los cálculos hidráulicos se obtienen perfiles transversales del arroyo de la Gaznata, a partir de la cartografía existente y la topografía de detalle realizada. La separación entre las secciones transversales es variable, como máximo de 20 metros.



**Figura 28. Canalización del río a su paso por el Herradón**

#### **6.4.1. Preproceso. Creación de las secciones transversales**

Para generar el archivo de importación para HEC-RAS que contiene información geométrica de las secciones transversales a lo largo del tramo de río en estudio es necesario un Modelo Digital del Terreno, ya calculado anteriormente (figura 18)

Se utiliza una extensión para ArcView llamada HEC-GeoRAS, con la cual se crea un archivo para importar a HEC-RAS datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río, secciones transversales, etc.

Los pasos básicos son:

- Dibujar el cauce, stream centerline,
- Dibujar las líneas que definen los márgenes del tramo de río, Banks.
- Dibujar las zonas por donde preveamos que circulará el flujo de agua, flowpaths.
- Dibujar las secciones transversales, xsCutLines,. Estas deben ser perpendiculares al eje principal del río . Hay que tener en cuenta que las secciones no se pueden cortar y su



longitud debe alcanzar al menos ambas líneas exteriores de flujo (flowpath). Estas secciones tienen distancias variables entre ellas, dependiendo de las características

Con estas secciones definidas se extraerán los datos de la geometría de las secciones transversales a partir del TIN: figura siguiente

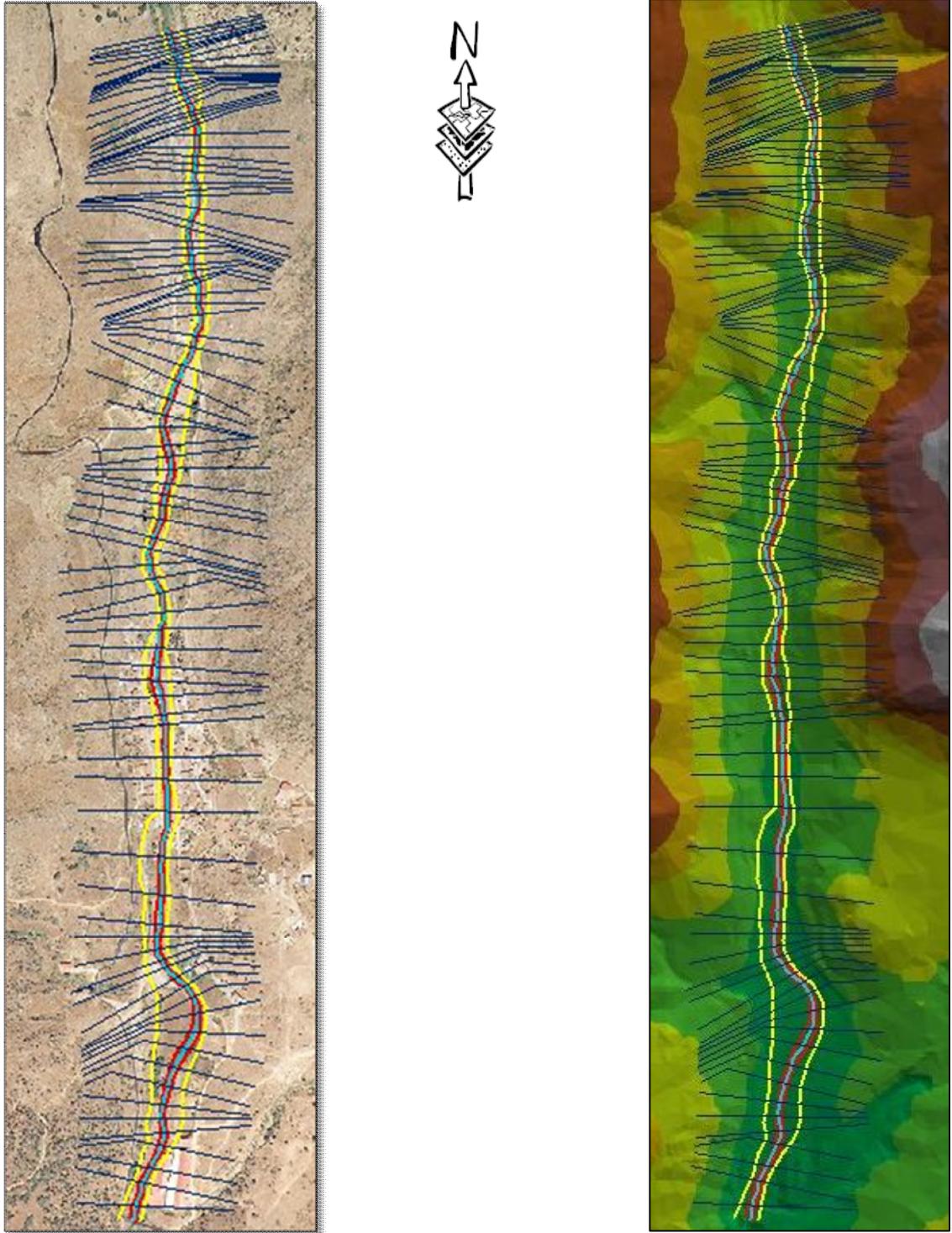


Figura X: elaboración propia



### 6.4.2. Modelización del flujo con HEC-RAS

El fichero creado en SIG es importado al HEC-RAS, estos datos podrán ser modificados con las herramientas de edición que posee este programa.

En los anejos se pueden ver las secciones transversales importadas de arcgis. A continuación se muestran los datos geométricos y el perfil longitudinal del río con la ejecución del modelo, antes de la simulación.

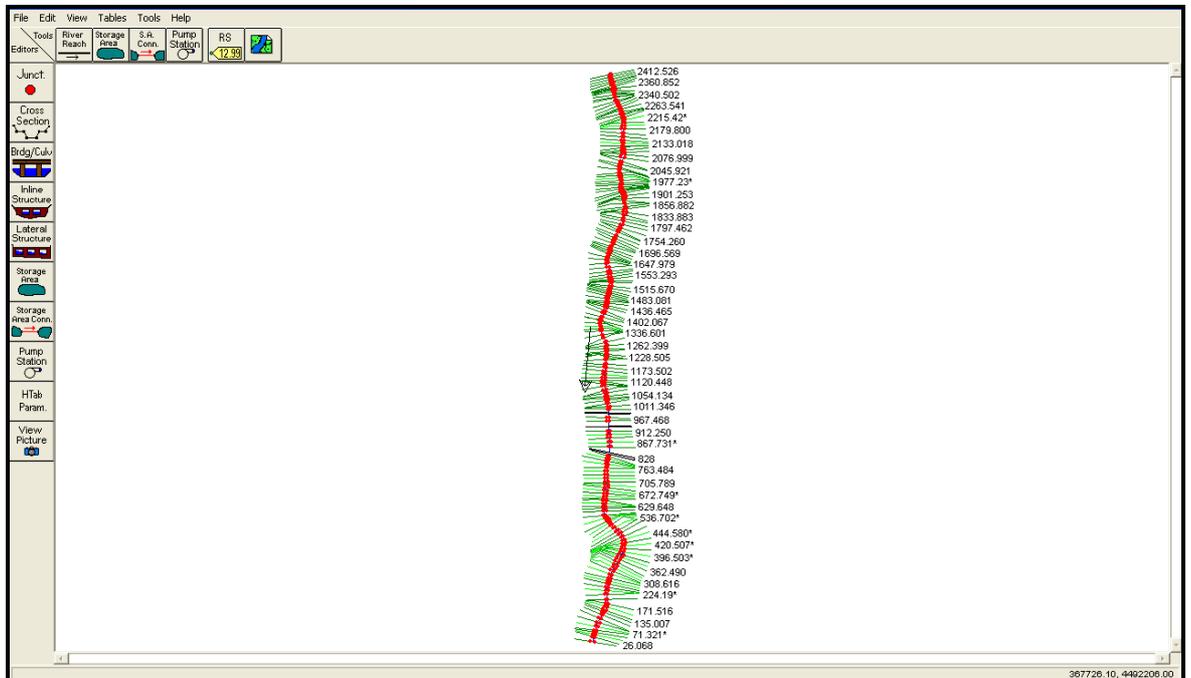
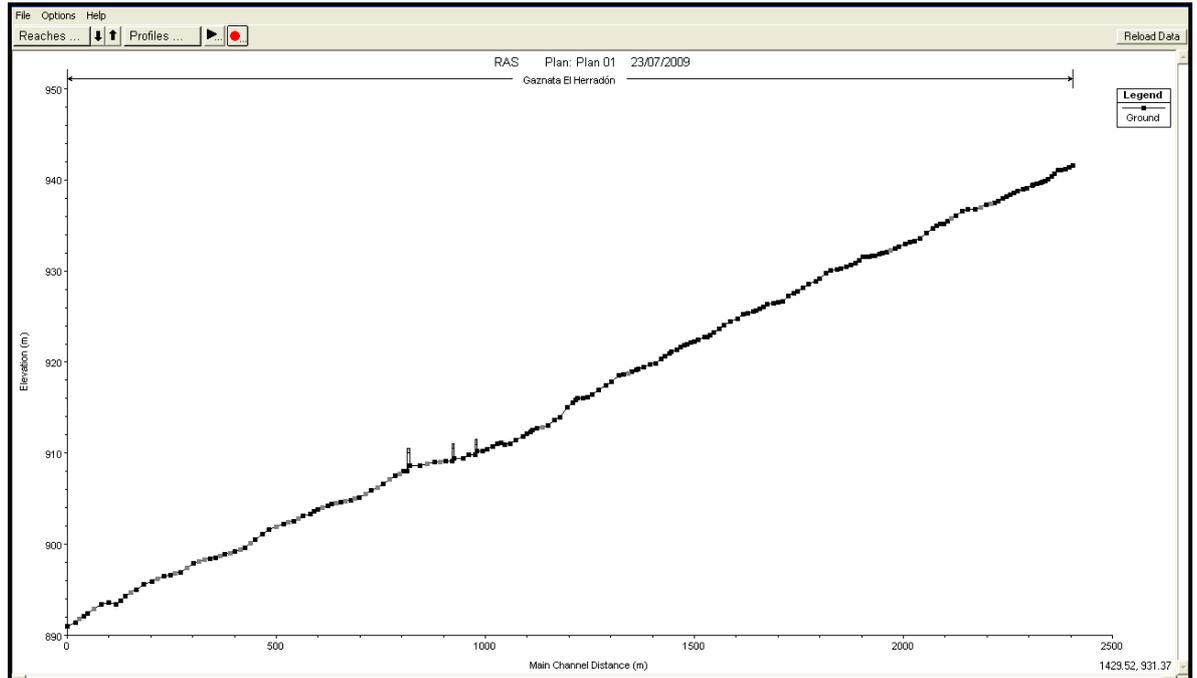


Figura 29. Datos geométricos en HEC-RAS. Elaboración propia.



**Figura 30. Perfil longitudinal del río**

La modelización, como se ya se ha comentado, se realiza para los periodos de retorno de 25, 100 y 500 años.

El siguiente paso es la determinación de los valores del coeficiente de Manning, tanto para el cauce como para las márgenes izquierda y derecha. En este caso se han tomado valores de 0,04 para ambas márgenes y 0,035 para el cauce. En la zona canalizada se toman valores de Manning de 0.03 y 0.015 para los márgenes y el cauce, respectivamente.

Hay que tener en cuenta varias modificaciones del cauce que posee el tramo de estudio, e introducirlas en el programa para que sean tomadas en cuenta en la modelización. Existe una canalización del cauce a su paso por el Herradón, para el cual se modifican los valores de manning, como ya hemos comentado. En este tramo también son importantes tres puentes en la zona canalizada que unen la zona este y oeste del pueblo, ya que el río lo atraviesa por el centro. Estos puentes también se introducen en la modelización.

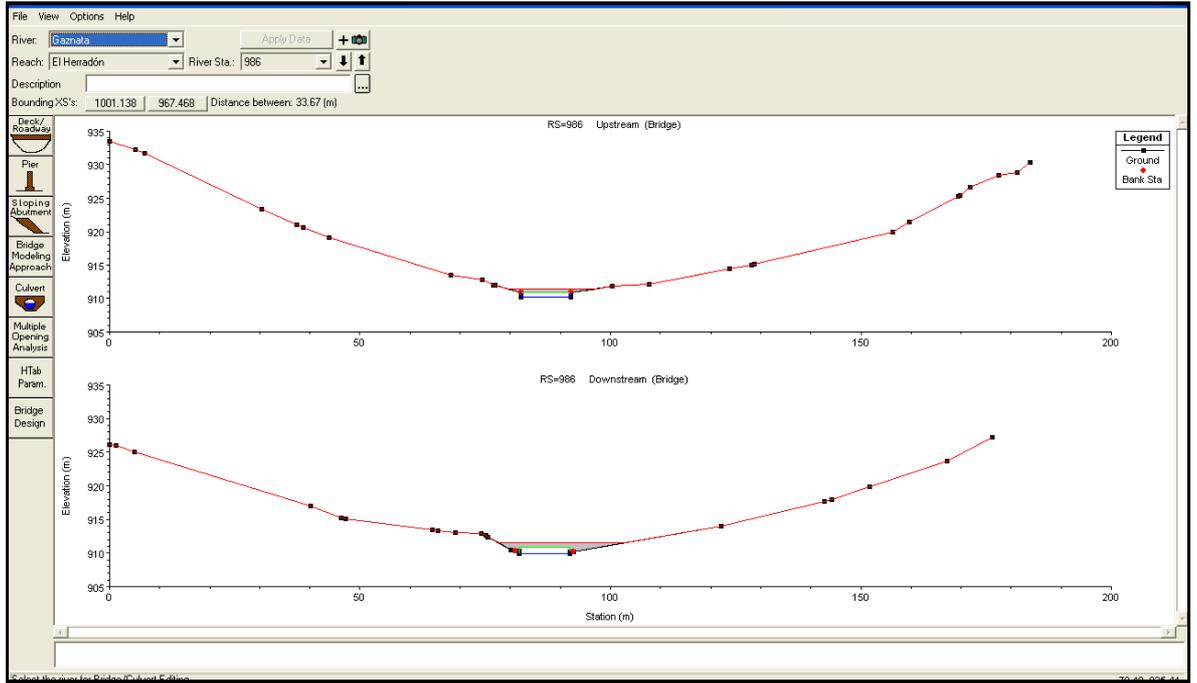


Figura 31. Perfiles puente. Elaboración propia.

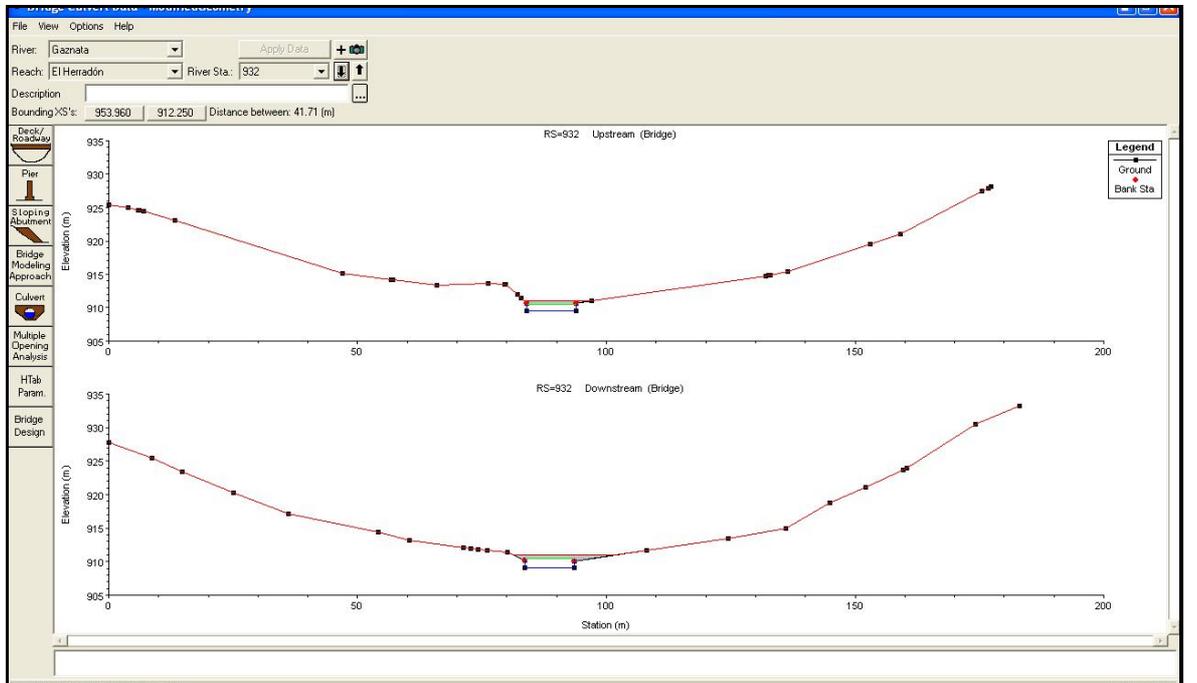


Figura 32. Perfiles puente. Elaboración propia

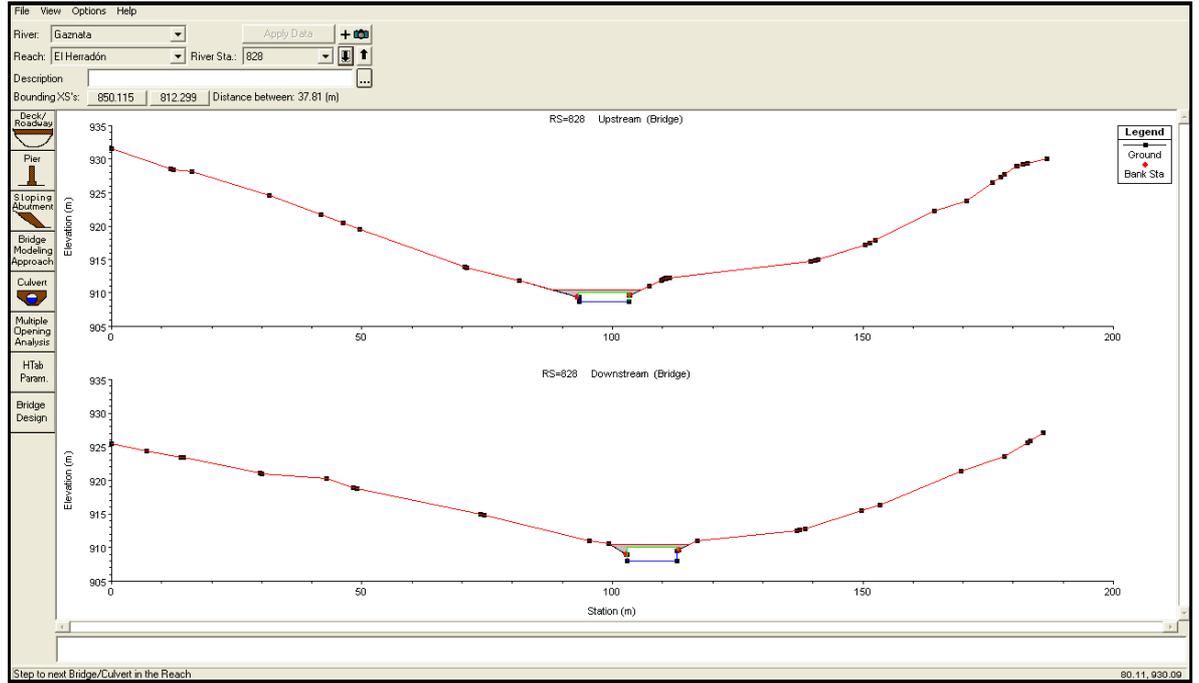
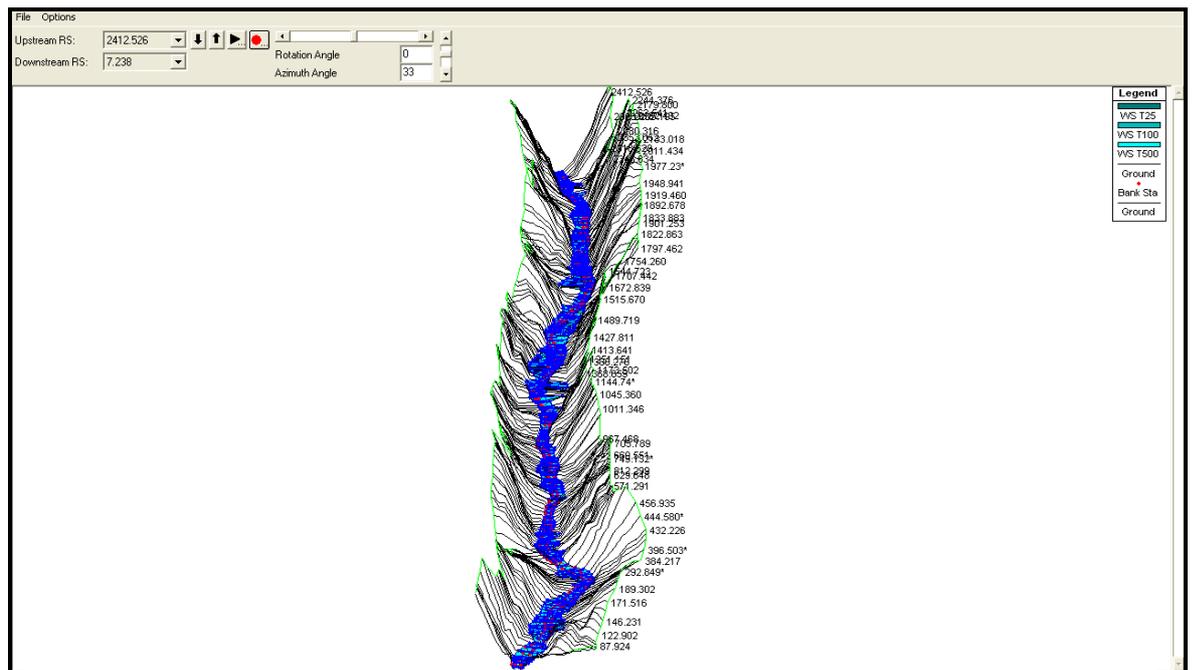


Figura 33. Perfiles puente. Elaboración propia

La condición de contorno empleada en el presente estudio es la de calado normal, para lo que hay que introducir datos de pendiente del cauce. Adecuada para situaciones donde el flujo se aproxime al uniforme. Exige introducir la pendiente del tramo de influencia. Estas son de 0,03 aguas arriba y 0,02 agua abajo.

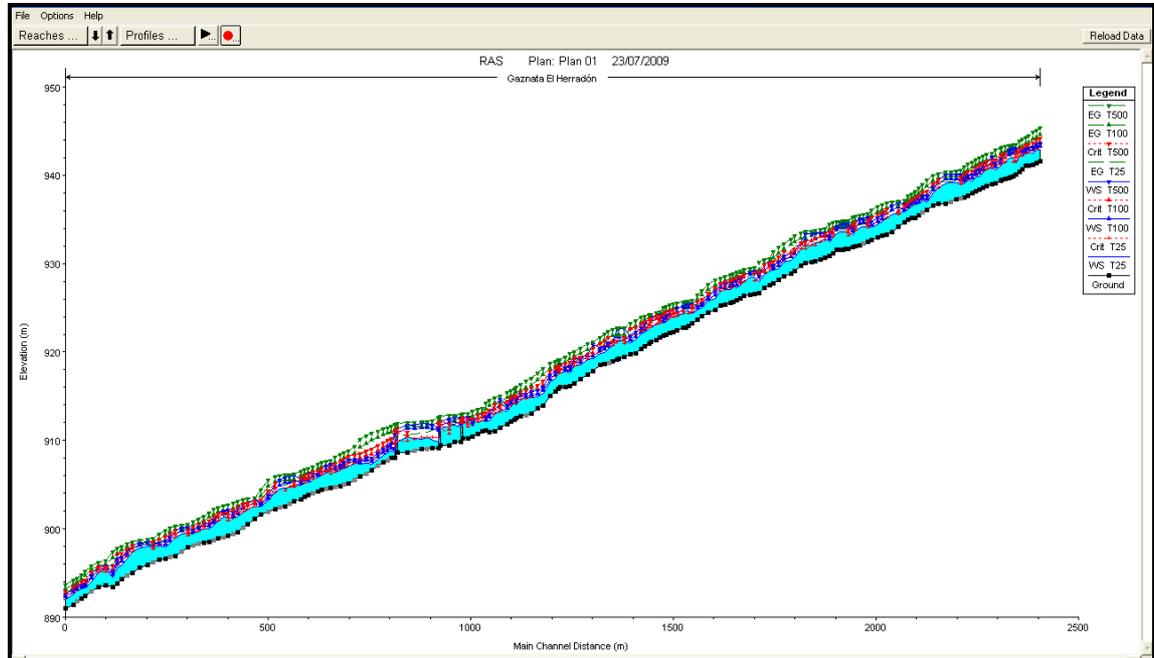
Finalmente, se corre el modelo. Para ello, y una vez llevados a cabo todos los pasos descritos con anterioridad, sólo es necesario determinar el tipo de régimen bajo el que se va a simular. En el caso de estudio se realiza bajo régimen mixto. (Figura 33)





**Figura 34. Simulación en RAS. Elaboración propia**

En el anejo se puede consultar los perfiles longitudinales del tramo de río para cada uno de los periodos de retorno. A continuación se muestra se muestra el perfil obtenido. (Figura 34)



**Figura 35. Perfil longitudinal del tramo. Elaboración propia**

Con las salidas del modelo se genera un archivo de exportación a ArcView.

### 6.4.3. Postproceso.

Con los datos importados del RAS, se pueden visualizar las manchas de inundación, para los diferentes periodos de retorno, georreferenciados. Figura 42.

También se genera un grid de profundidades de la lámina de agua, los cuales se encuentran en los anejos. En los anejos también se adjuntan las manchas de inundación para cada periodo.

Con estas manchas, y con información acerca del calado y las velocidades se puede analizar el riesgo que se produciría en la zona, ya que este está asociado tanto a calados como a velocidades, superior a 1 m o superior a 1m/s se puede afirmar que existe riesgo, al igual que si la multiplicación de los dos es 0.5 m<sup>2</sup>/s.



## 7. RESULTADOS

Tras el uso de los SIG y en particular el Arc Map, la cuenca resultante es la siguiente:

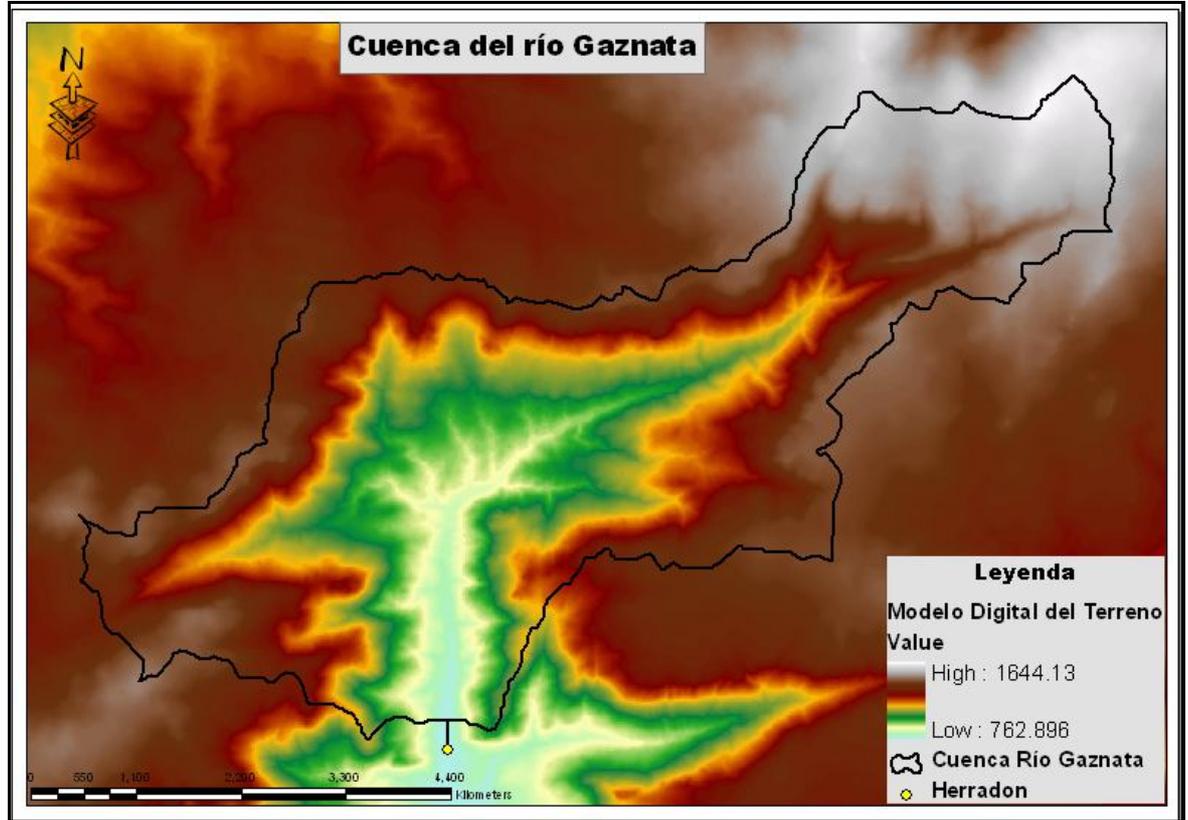


Figura 36. Modelo digital del terreno. Elaboración propia

Las capas intermedias, usadas u obtenidas durante el proceso, se pueden consultar en la sección anexos.

Posteriormente, se calculan las áreas de cada una y mediante la utilización de fórmulas se obtiene el tiempo de concentración para cada una de ellas.

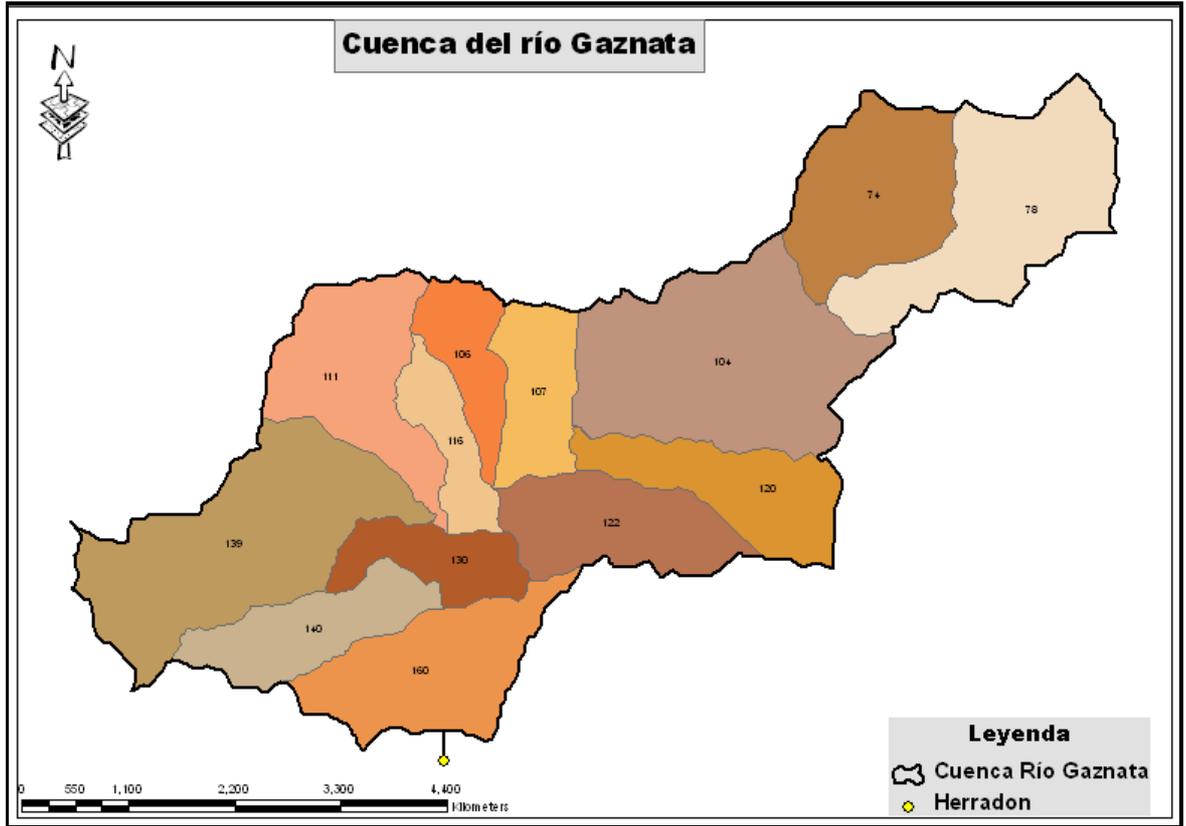


Figura 37. Subcuencas. Elaboración propia



<b>IDENTIFICACIÓN DE CUENCA</b>	<b>ÁREA (Km 2)</b>	<b>Tc (horas)</b>	<b>Tc (minutos)</b>
74	2,6	0.64	38.4
78	3,6	1.10	65.4
104	4,9	1.27	76.3
106	1,1	0.30	18.2
107	1,4	0.61	36.7
111	2,5	0.88	53.0
116	1	0.48	28.1
120	2	0.83	49.6
122	2,1	0.59	35.7
130	1,2	0.49	29.5
139	4,6	1.32	79.3
140	1,7	0.50	30.4
160	2,6	0.83	49.7

Las precipitaciones máximas diarias anuales obtenidas para cada cuenca, mediante el AQUALIS, se exponen en la siguiente tabla, para cada período de retorno:



<b>IDENTIFICACIÓN DE CUENCA</b>	<b>PMDA (T=25 años) (mm)</b>	<b>PMDA (T=100 años) (mm)</b>	<b>PMDA (T=500 años) (mm)</b>
<b>74</b>	82,3	105,1	134,7
<b>78</b>	84,9	108,3	138,8
<b>104</b>	84,5	108,2	138,3
<b>106</b>	81,5	104,8	134,1
<b>107</b>	84,0	107,9	137,7
<b>111</b>	81,4	104,7	134,1
<b>116</b>	83,0	107,0	137,1
<b>120</b>	85,8	109,8	140,2
<b>122</b>	84,5	108,5	138,2
<b>130</b>	83,2	107,2	137,2
<b>139</b>	82,6	105,9	135,4
<b>140</b>	85,6	109,6	140,7
<b>160</b>	88,4	113,2	145,0

También se calcularon los umbrales de escorrentía para cada subcuenca. La base para el cálculo es un mapa elaborado por Monserrat Ferrer para el desarrollo de una tesis doctoral. Dicho mapa, para la España peninsular, puede ser consultado en la sección anexos.

Mediante la aplicación de un SIG se ha estimado los pesos de cada valor del Po en cada subcuenca y se ha obtenido un valor medio para cada una.

Una vez obtenido el Po medio para cada subcuenca, se calculó el Número de Curva correspondiente mediante formulación explicada en la parte de metodología.

El resultado se expone en la siguiente tabla:



<b>IDENTIFICACIÓN DE CUENCA</b>	<b>NÚMERO DE CURVA</b>	<b>UMBRAL DE ESCORRENTÍA (mm)</b>
<b>74</b>	74,2	17,7
<b>78</b>	66,5	25,6
<b>104</b>	66,3	25,8
<b>106</b>	77,8	14,5
<b>107</b>	71,2	20,5
<b>111</b>	78,1	14,3
<b>116</b>	75,6	16,4
<b>120</b>	68,0	23,9
<b>122</b>	74,6	17,3
<b>130</b>	78,4	14,0
<b>139</b>	78,1	14,3
<b>140</b>	78,0	14,3
<b>160</b>	78,4	14,0

Las tablas para la obtención del umbral medio de cada cuenca, se pueden consultar en la parte de los anexos.

El siguiente paso consiste en transformar estas precipitaciones en hietogramas, con el fin de obtener las intensidades para cada discretización del tiempo elegido.

El método y programa usado para ello, se conocen con el mismo nombre. Éste es el “bloques alternados” y los hietogramas resultantes, para cada cuenca y período de retorno, son los siguientes:

*\*Los valores que aparecen en el interior de las tablas, son intensidades de precipitación en mm/h.*



Es ahora cuando se desarrollo el proceso para la obtención del hidrograma de avenida a la entrada del municipio del Herradón.

Como aclaración, el modelo se hace correr a partir de las 00:00 del 1 de Enero del 2000 y finaliza el 2 de Enero a las 02:00. Es por ello que el caudal de desagüe al finalizar el modelo aún mantiene valores elevados.

El punto de cierre se corresponde con el nudo 6. Es el hidrograma en este punto, el que nos va a servir para la modelización de los caudales de avenida mediante HEC-RAS. En particular es el valor del caudal punta del nudo 6 el que utilizaremos.

El modelo de cuenca diseñado es el siguiente:

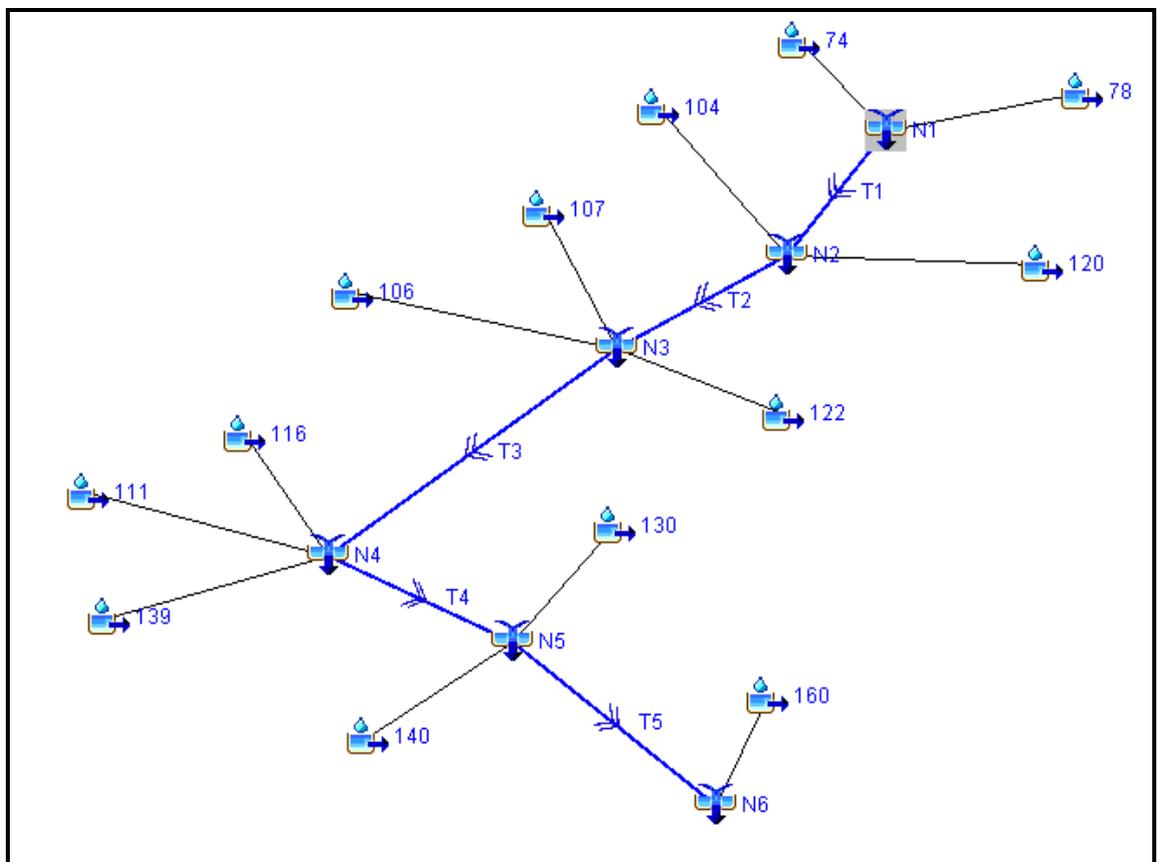


Figura 38. Elaboración propia

Tanto los hidrogramas generados por cada subcuenca, la suma de ellos en los nudos y la propagación de los mismos a través de los cauces pueden observarse en la parte de anexos.

A continuación se exponen las tablas resumen de los tres modelos creados (para cada uno de los tres períodos de retorno):



Project: herradon    Simulation Run: finRun1(1)

Start of Run: 01ene2000, 00:00    Basin Model: herradon T25  
 End of Run: 02ene2000, 02:00    Meteorologic Model: T25  
 Compute Time: 17jul2009, 17:22:09    Control Specifications: Control 1

Volume Units:  MM     1000 M3

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
104	4,859	5,6	01ene2000, 13:54	18,22
106	1,097	4,9	01ene2000, 12:33	32,19
107	1,388	3,5	01ene2000, 12:54	24,22
111	2,521	8,8	01ene2000, 12:51	32,59
116	0,991	3,5	01ene2000, 12:45	29,86
120	1,998	4,0	01ene2000, 13:00	21,11
122	2,110	7,4	01ene2000, 12:42	29,39
130	1,196	5,0	01ene2000, 12:39	34,41
139	4,598	13,6	01ene2000, 13:09	33,44
140	1,726	8,1	01ene2000, 12:36	35,54
160	2,591	9,4	01ene2000, 13:00	38,32
74	2,639	8,6	01ene2000, 12:42	27,31
78	3,620	5,2	01ene2000, 13:24	18,75
N1	6,259	11,7	01ene2000, 12:48	22,36
N2	13,116	18,5	01ene2000, 14:00	20,57
N3	17,711	21,7	01ene2000, 14:36	22,53
N4	25,821	38,0	01ene2000, 13:09	25,62
N5	28,743	41,2	01ene2000, 13:42	26,45
N6	31,334	43,3	01ene2000, 14:42	27,10
T1	6,259	11,0	01ene2000, 14:06	22,23
T2	13,116	18,3	01ene2000, 14:36	20,43
T3	17,711	21,6	01ene2000, 15:12	22,37
T4	25,821	37,5	01ene2000, 13:45	25,47
T5	28,743	40,2	01ene2000, 14:42	26,09

**Figura 39. Tabla-resumen. T = 25 años**

El caudal punta en el nudo 6 (punto de cierre de la cuenca del Gaznata) es de 43,3 m<sup>3</sup>/s y se produce a las 15 horas y 12 minutos de comenzar a rodar el modelo, o lo que es lo mismo, del comienzo de la precipitación.

Este será el caudal que se introduzca en el programa de modelización hidráulica, con el fin de observar los efectos en la zona modelizada.



Comparando el caudal en cada tramo con el del nudo inmediatamente anterior, podemos observar el efecto de la laminación en cada tramo.

Project: herradon    Simulation Run: Run2prueba

Start of Run: 01ene2000, 00:00    Basin Model: Herradón T100  
 End of Run: 02ene2000, 02:00    Meteorologic Model: T100  
 Compute Time: 21jul2009, 22:11:30    Control Specifications: Control 1

Volume Units:  MM     1000 M3

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/s)	Time of Peak	Volume (MM)
104	4.859	10.5	01ene2000, 13:48	31.91
106	1.097	7.5	01ene2000, 12:33	50.10
107	1.388	5.9	01ene2000, 12:51	40.14
111	2.521	13.7	01ene2000, 12:48	50.60
116	0.991	5.5	01ene2000, 12:42	47.57
120	1.998	7.2	01ene2000, 12:57	35.91
122	2.110	11.8	01ene2000, 12:42	46.81
130	1.196	7.8	01ene2000, 12:39	53.23
139	4.598	21.2	01ene2000, 13:09	51.53
140	1.726	12.2	01ene2000, 12:33	54.38
160	2.591	14.5	01ene2000, 13:00	58.15
74	2.639	13.8	01ene2000, 12:42	43.50
78	3.620	9.6	01ene2000, 13:18	32.43
N1	6.259	20.3	01ene2000, 12:48	37.09
N2	13.116	32.7	01ene2000, 13:57	34.90
N3	17.711	37.5	01ene2000, 14:33	37.52
N4	25.821	61.4	01ene2000, 13:09	41.51
N5	28.743	66.1	01ene2000, 13:42	42.57
N6	31.334	69.2	01ene2000, 14:39	43.37
T1	6.259	19.1	01ene2000, 14:03	36.90
T2	13.116	32.4	01ene2000, 14:36	34.69
T3	17.711	37.3	01ene2000, 15:09	37.28
T4	25.821	60.8	01ene2000, 13:45	41.29
T5	28.743	64.7	01ene2000, 14:42	42.04

Figura 40. Tabla-resumen. T = 100 años

Al igual que en el modelo anterior, el caudal al que se va a prestar especial atención es el que ofrece el nudo seis. En este caso su valor es de 69,2 m<sup>3</sup>/s y se da a las 14 horas y 39 minutos del comienzo de la precipitación.

Se puede ver, como es lógico, que el caudal ha aumentado al aumentar el período de retorno. En concreto, este aumento es de un 59'8% en comparación con el caudal para 25 años.



Project: herradon    Simulation Run: run3prueba

Start of Run: 01ene2000, 00:00    Basin Model: Herradón T500  
 End of Run: 02ene2000, 02:00    Meteorologic Model: T500  
 Compute Time: 17jul2009, 17:25:06    Control Specifications: Control 1

Volume Units:  MM  1000 M3

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/5)	Time of Peak	Volume (MM)
104	4.859	17.8	01ene2000, 13:42	52.11
106	1.097	10.8	01ene2000, 12:30	74.47
107	1.388	9.3	01ene2000, 12:51	62.41
111	2.521	20.4	01ene2000, 12:48	75.17
116	0.991	8.3	01ene2000, 12:42	71.88
120	1.998	11.7	01ene2000, 12:54	57.34
122	2.110	17.7	01ene2000, 12:39	70.49
130	1.196	11.3	01ene2000, 12:39	78.57
139	4.598	31.5	01ene2000, 13:06	76.24
140	1.726	17.8	01ene2000, 12:33	80.65
160	2.591	21.2	01ene2000, 12:57	85.36
74	2.639	21.1	01ene2000, 12:39	66.70
78	3.620	16.3	01ene2000, 13:15	53.07
N1	6.259	33.0	01ene2000, 12:48	58.82
N2	13.116	53.5	01ene2000, 13:57	55.97
N3	17.711	60.5	01ene2000, 14:30	59.13
N4	25.821	94.1	01ene2000, 13:06	64.00
N5	28.743	100.8	01ene2000, 13:42	65.31
N6	31.334	105.1	01ene2000, 14:39	66.28
T1	6.259	31.2	01ene2000, 14:03	58.54
T2	13.116	53.1	01ene2000, 14:33	55.67
T3	17.711	60.1	01ene2000, 15:06	58.79
T4	25.821	93.3	01ene2000, 13:42	63.67
T5	28.743	98.7	01ene2000, 14:42	64.56

**Figura 41. Tabla-resumen. T = 500 años**

En este caso, el caudal registrado en el nudo seis es de 105'1 m<sup>3</sup>/s. Es considerablemente mayor.

Es un 52% más alto que el de 100 años y 142.7% mayor que el de 25 años



A continuación, se muestran los tres hidrogramas de avenida en el nudo 6 para los diferentes periodos de retorno. Los caudales punta asociados a cada uno son los que se van a introducir en HEC-RAS para la modelización hidráulica.

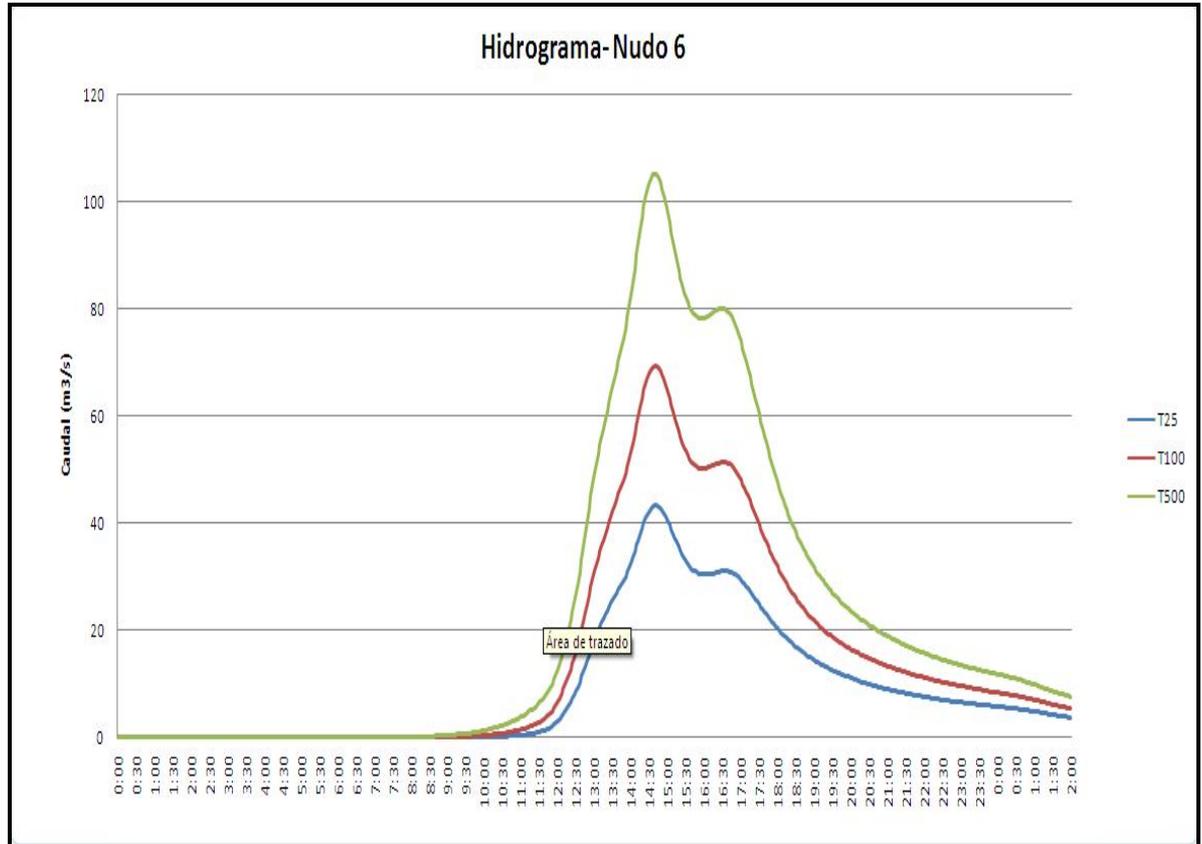


Figura 42. Elaboración propia

### ➤ CAUMAX (CEDEX)

Con el fin de contrastar los resultados de caudales obtenidos mediante HMS, se va a utilizar un programa desarrollado por el CEDEX, para el cálculo de los caudales máximos en la Cuenca del Tajo.

Este programa utiliza el método racional para obtener los caudales máximos. Parte de una base de información en forma de capas. Los valores intermedios como el umbral de escorrentía o la  $C$ , los obtiene el propio programa a partir de la información de las capas y procesando las fórmulas que el programador le ha introducido.

Los resultados obtenidos para los diferentes períodos de retorno se exponen a continuación:

Los resultados para el período de retorno son los siguientes:

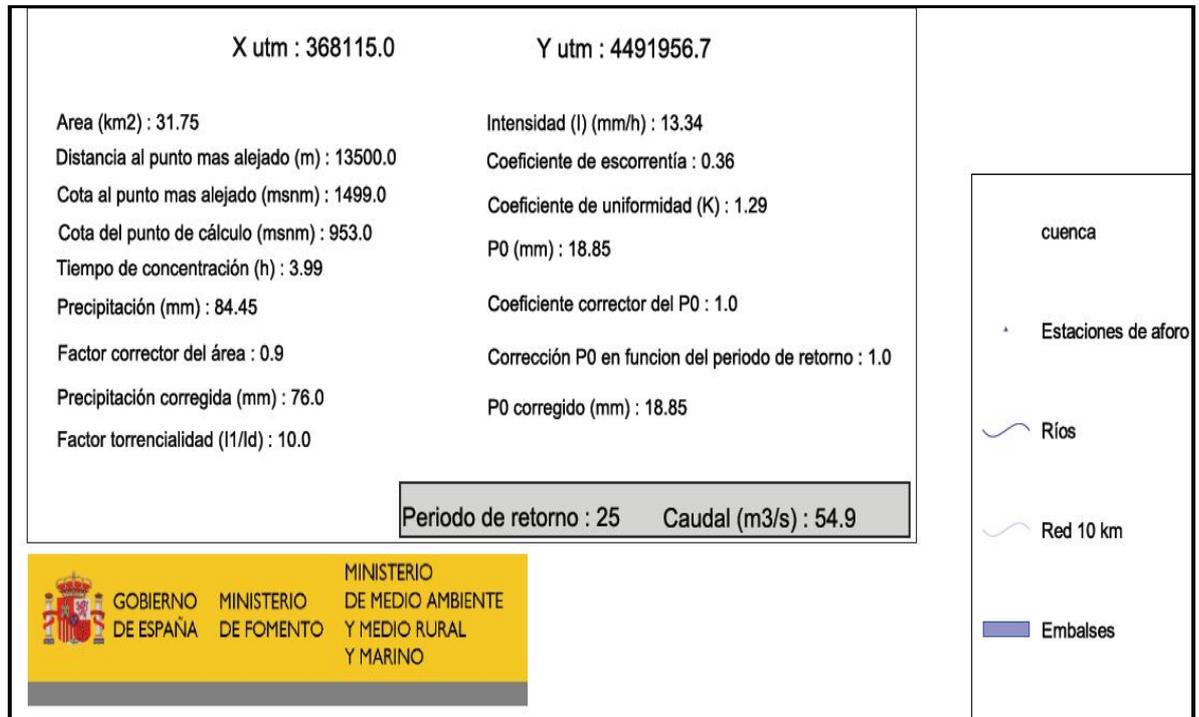


Figura 43. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente.

Para el período de retorno de 100 años, los resultados se exponen en la siguiente tabla:

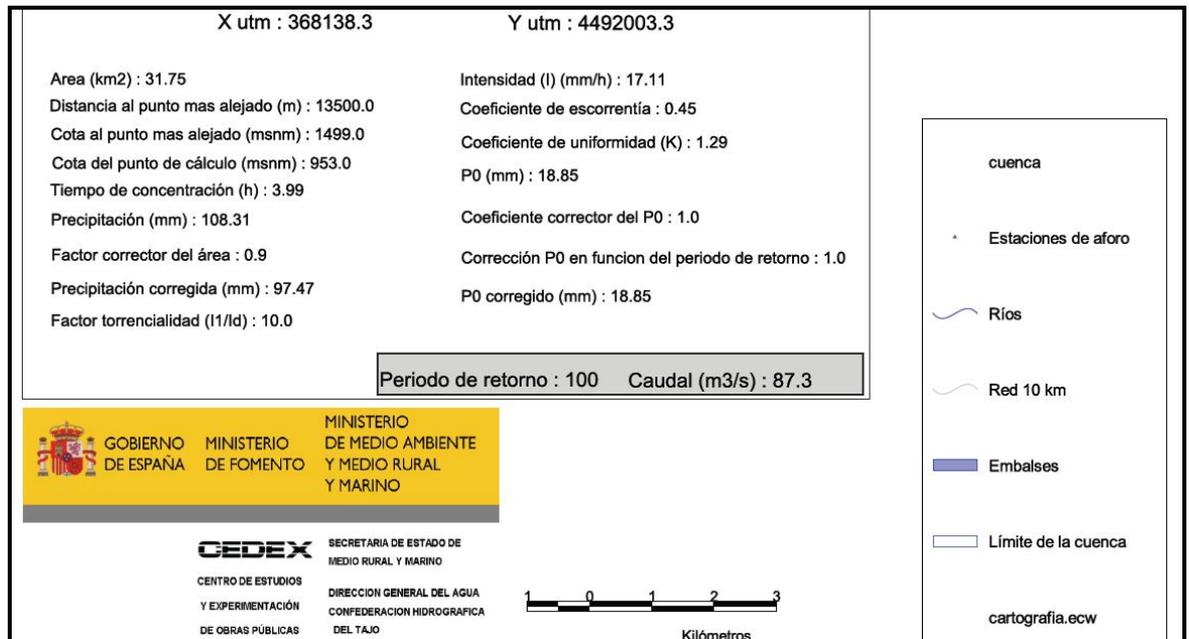
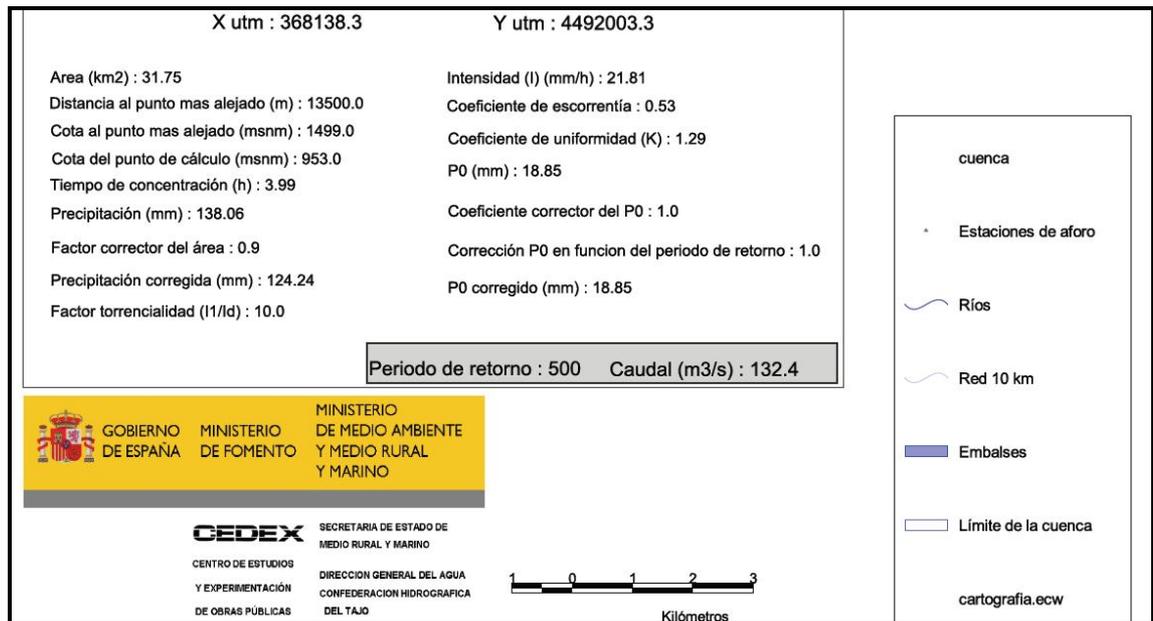


Figura 44. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

Por último, se expone la tabla de resultados para el período de retorno de 500 años:



**Figura 45. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente**

Los únicos valores que se han introducido de forma ajena al programa, son tanto el punto de cierre de la cuenca, como el coeficiente corrector de Po. Este último coeficiente se ha tanteado para que el valor del Po corregido sea cercano a 18, ya que es el valor medio extraído de los valores que se han utilizado para llevar a cabo el método hidrológico.

El resto de valores aportados por el programa, se han mantenido puesto que son semejantes a los que se han manejado por el método usado en el estudio.

Los valores de caudal que aporta el programa Caumax, son relativamente superiores a los calculados en el estudio. Las diferencias se reducen a medida que aumentamos el período de retorno. Las razones para esta diferencia pueden relacionarse con:

- La utilización del método racional da valores que apuntan por arriba.
- El Caumax no tiene en cuenta la variabilidad temporal y espacial de la lluvia, al contrario que el hidrograma unitario.
- No tiene en cuenta la laminación de los hidrogramas a lo largo de los tramos.

Estas son las razones, a juicio de los artífices de este estudio, por las que los valores que nos ofrece este programa son mayores que las obtenidas mediante este estudio. No obstante, los valores no se alejan exageradamente y partiendo de que el programa, según la descripción del mismo, es una aplicación cuyo fin es la estimación de los caudales para contrastar estudios más intensos sobre temas hidrológicos, se puede afirmar que los resultados obtenidos se asemejan a la realidad.

(No olvidar que el desarrollo de este tipo de estudios buscan la aproximación máxima posible a la realidad.



Los resultados obtenidos tras la simulación en HEC-RAS, y tras exportarlos a ArcView, nos dan una idea de las inundaciones que se podrían producir. En las imágenes siguientes se puede observar donde llegaría la masa de agua para los diferentes periodos de retorno. En los anejos se incluyen las imágenes de estas manchas de inundación por separado.

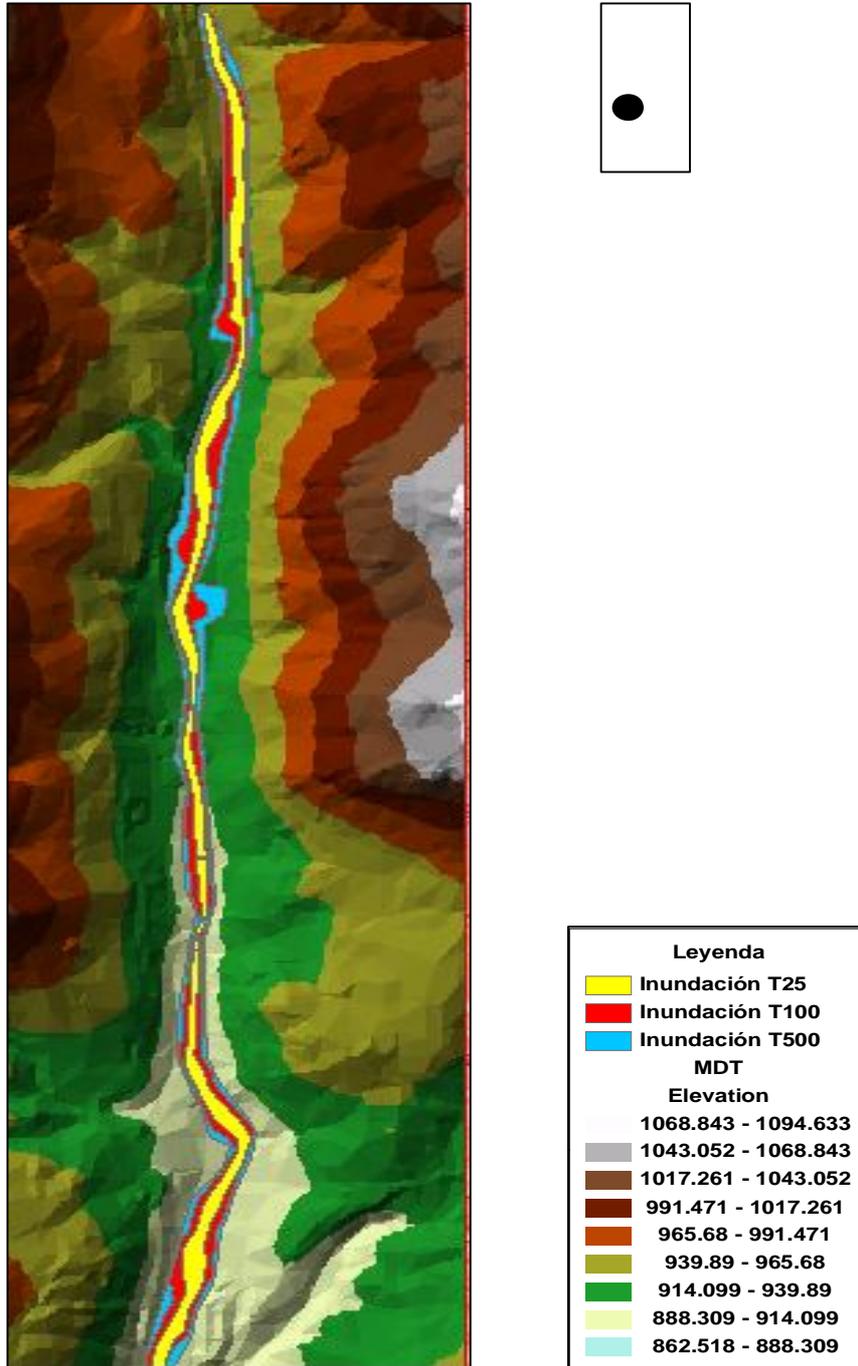


Figura 46. Zonas inundables en el tramo de estudio

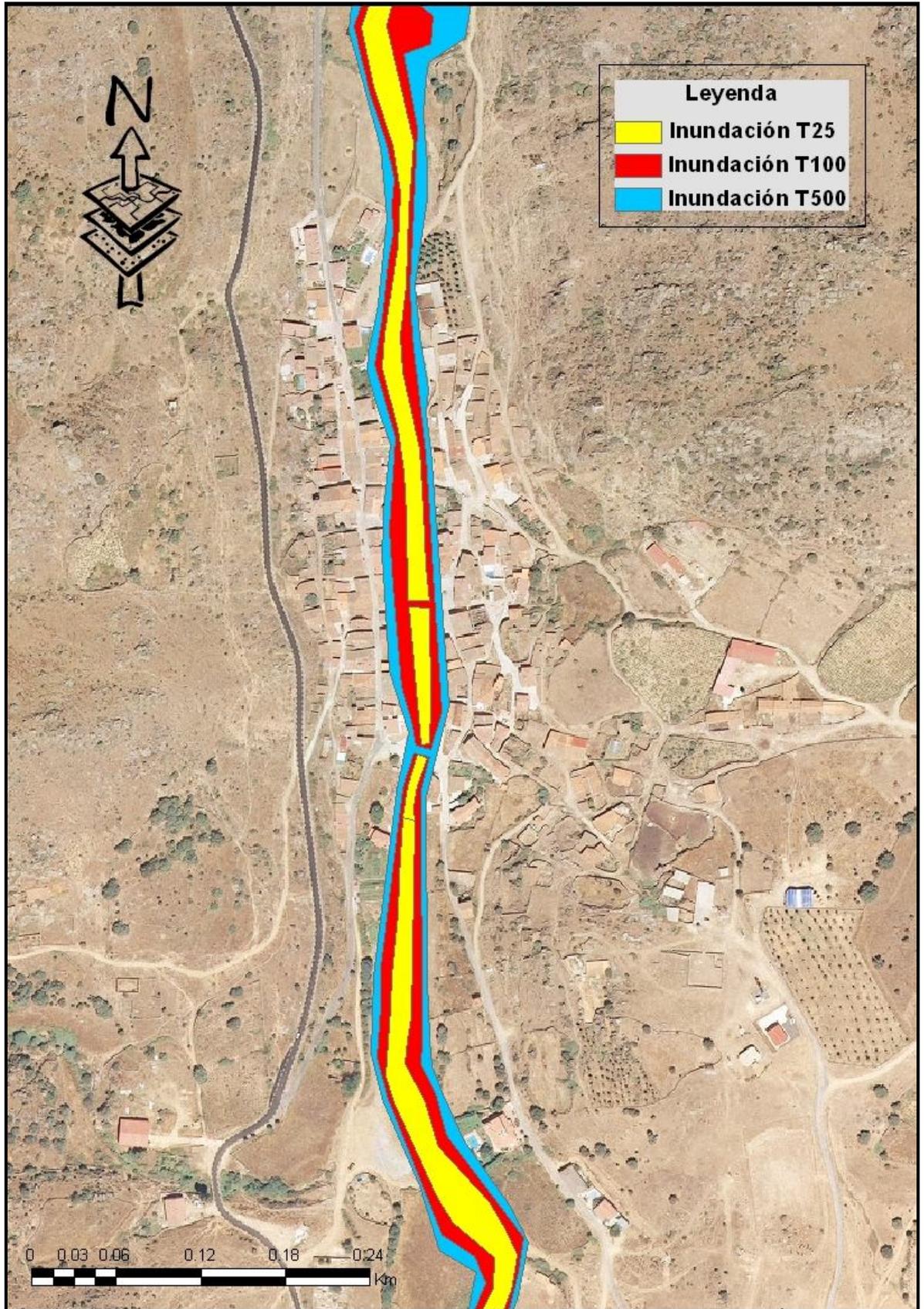


Figura 46. Zonas inundables en el pueblo del Herradón. Elaboración propia.



Como se puede observar en la figura 42, el pueblo del Herradón no se vería muy afectado por la inundación de periodo de retorno 25, pero se ve que la zona inundable con periodo de retorno 500 años se incrementa bastante, y afectaría de forma notables a las infraestructuras de la población. Los tres puentes se verían sobrepasados, y el agua ocuparía parte de las vías y provocaría daños en las edificaciones, con lo que se podría confirmar la existencia de riesgo.

El riesgo está asociado tanto a calados como a velocidades, como ya se ha comentado anteriormente. En el tramo de estudio, tras la simulación, se obtienen unos valores de velocidades superiores a 1 m/s (ver anejos).

También se han analizado los calados, como se puede observar en la figura siguiente.

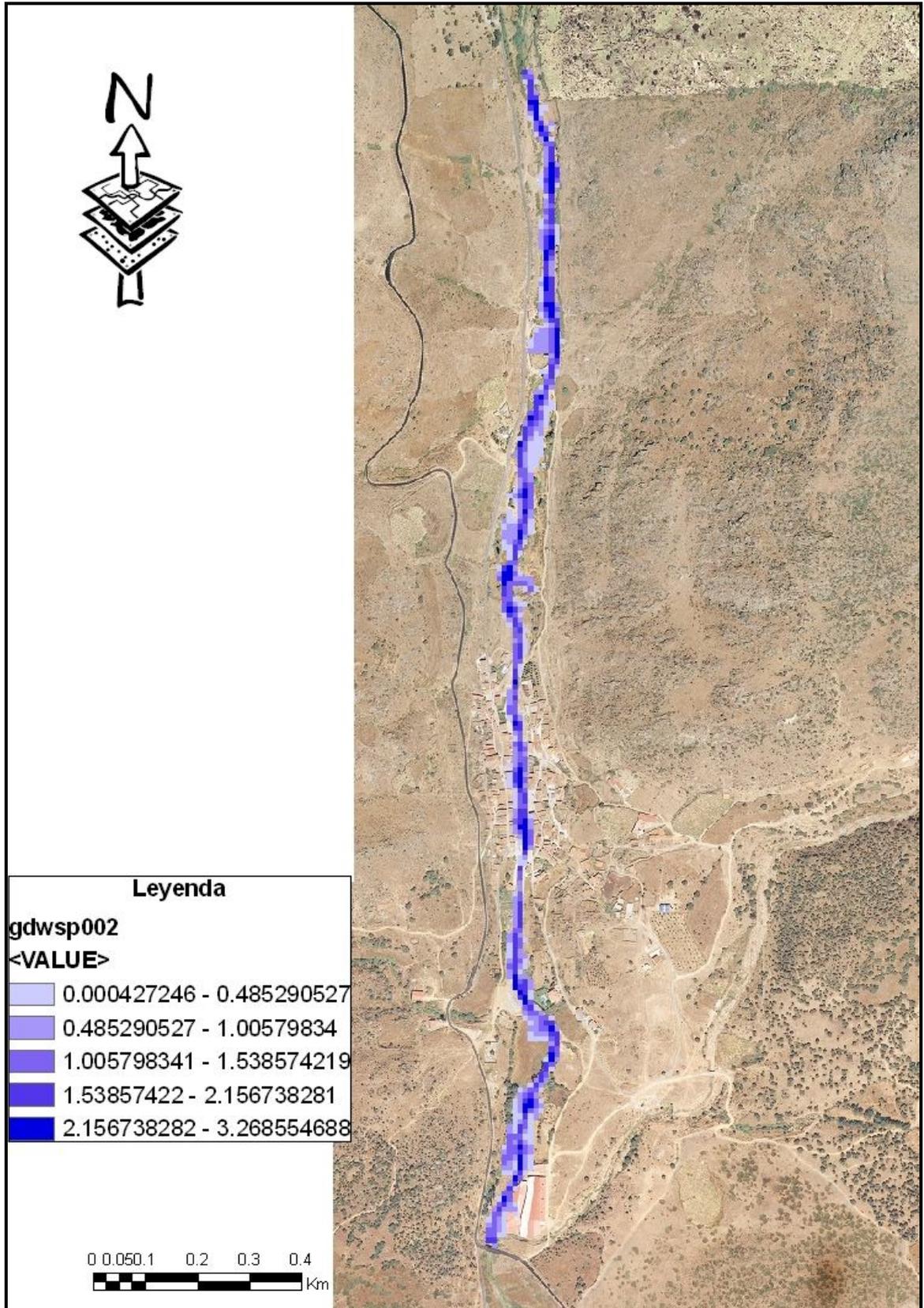


Figura 47. Calados en el tramo del Herradón. Elaboración propia.



## 8. CONCLUSIONES

Se ha estudiado en el presente trabajo el comportamiento hidráulico del arroyo de la Gaznata a su paso por el núcleo urbano del Herradón y a lo largo de la cuenca que lo conforma, analizando los niveles de lámina de agua, velocidades y las llanuras de inundación que pueden producirse para los diferentes periodos de retorno: 25, 100 y 500 años.

El origen del cauce, las características climáticas de la parte alta de la cuenca y la forma de la cuenca, con escasa laminación provocan que los caudales del río a su paso por la localidad del Herradón sean más elevados, en proporción al caudal medio.

En cuanto a las características topográficas del núcleo urbano del cauce, cabe destacar que la llanura de inundación de la margen derecha es prácticamente inexistente hasta aguas abajo del núcleo urbano, debido a la existencia de una ladera de elevada pendiente. De este modo, es la margen izquierda la que se ve afectada por los distintos periodos de retorno.

En el municipio del Herradón, el suelo urbano se encuentra fuera del área de influencia del cauce del río. Existen en las márgenes del cauce alguna instalación de ocio, almacenes, casas, una nave agrícola, además de algunas instalaciones provisionales de las huertas.

Existe un pequeño tramo encauzado en el cauce del río a su paso por el núcleo urbano. En el momento que finaliza el tramo encauzado, el efecto remanso de la lámina de agua aguas abajo, junto con el encajamiento que provoca el talud derecho, origina la rápida inundación de la margen izquierda del río, para prácticamente todos los periodos de retorno.

Cabe destacar que el lecho del río presenta una morfología muy variada, desde el comentado tramo encauzado hasta sus zonas en las que prácticamente el cauce no está delimitado con la llanura de inundación, la capacidad hidráulica del mismo es muy pequeña.

### ➤ RIESGO

A través de este estudio se han definido las zonas inundables que afectan al municipio del Herradón, para distintos periodos de retorno. El alcance del mismo no incluye las posibles obras de protección frente a avenidas que pudieran plantearse en un momento dado en alguno de los tramos o parcelas situadas en el Término Municipal del Herradón.

A través de este estudio se han definido las zonas inundables que afectan al municipio del Herradón, para distintos periodos de retorno. El alcance del mismo no incluye las posibles obras de protección frente a avenidas que pudieran plantearse en un momento dado en alguno de los tramos o parcelas situadas en el Término Municipal del Herradón.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio Florido, J. A. *Plan especial de inundaciones*; máster en Protección Civil y Emergencias (Universidad Politécnica de Valencia).
- Bescos, A. y Camarasa, A. (2000): Elaboración de cartografías de zonas inundables. Aplicación al llano de inundación del río Arga.
- Carlos G. Morales Rodríguez y M<sup>o</sup> Teresa Ortega Villazán. *Las inundaciones en Castilla y León*, Dpto. de Geografía-Universidad de Valladolid.
- *Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas*, Dirección General de Protección Civil y Emergencias
- De Pedraza Gilsanz, J. y Díez Herrero, A. *Geomorfología e hidrología fluvial del río Alberche. Modelos y SIG para la gestión de riberas*.
- Díez Herrero, A. y Pérez Guerrero, J. A. *Los SIGs en el plan de protección civil de ámbito local ante el riesgo de inundaciones de Navaluenga (Ávila, España)*.
- Díez, A y Pedraza, J. (1997): Cálculo hidrometeorológico de caudales de avenida para la subcuenca de El Burguillo.
- Díez, A y Sanz, M.A. (1997): Análisis del riesgo de inundaciones de Navaluenga (Ávila).
- Díez, A. (1999): Utilización de los SIGs en el análisis del riesgo de inundación en el Alto Alberche.
- Díez, A. (2002): Aplicaciones de los sistemas de información geográfica ala análisis del riesgo de inundaciones fluviales.
- Díez-Herrero, A.; Laín-Huerta, L y Llorente-Isidro, M. (2008): Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones.
- Ferrer Julia, M.; Blanco J.; Ramírez J. *Propuesta metodológica para la adaptación del parámetro del número de curva a las nuevas fuentes de datos*. Ministerio de Fomento (1999) - *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*.
- Francés García, F.-*Delimitación del riesgo de inundación a escala regional en la comunidad de Valencia*, (Consejería de obras públicas, urbanismo y transporte-Generalitat Valenciana).
- José Ramón Témez Peláez. *Facetas del cálculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales*, Revista Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil.
- Nanía, Leonardo S. y Molero, E. *Manual básico de Hec-Ras 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1*
- Oscar Calleja Acebes. *Estudio de inundabilidad del río Cardenas en el Municipio de Cárdenas (La Rioja)*,
- Pérez, J. (2003): Metodología para la elaboración de planes de protección civil de ámbito local frente el riesgo de inundaciones.



- Sánchez San Román J.- *Hidrología superficial (III): Relación Precipitación-Escorrentía*, Dpto. Geología-Universidad de Salamanca.
  - Sánchez San Román J.- *Manual elemental HEC-HMS*, Dpto. Geología-Universidad de Salamanca.
  - Tejero de la Cuesta, J. M. (1988): *Análisis del medio físico de Ávila. Delimitación de unidades y estructura territorial.*
  - Triviño Pérez, A. y Ortiz Rojas, S. *Metodología para la modelización distribuida de la escorrentía superficial y la delimitación de zonas inundables en ramblas y ríos-rambla mediterráneos.*
- 
- Cartografía básica:
    - Topográfica (analógica en papel o digital): Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Centro Geográfico del Ejército (CGE) para escalas menores a 1:25.000 y 1:10.000 respectivamente.
- 
- Cartografía temática:
    - Mapas de precipitaciones máximas diarias: medias y Cv (DGC, 1999), IDF (MAXIN-AQUALIS; Sala y Carrero, 2005 y 2006; Muñoz Martínez, 2002).
    - Mapa de umbrales de escorrentía (Po) de España (1x1 km): CEDEX (Ferrer, 2003)
    - Mapas de caudales máximos de las corrientes fluviales españolas: Dirección General del Agua (antiguo MMA) y CEDEX (Jiménez, 2007).
- 
- Fotografías e imágenes satelitales:
    - Ortofotografías y ortofotomapas: SIGPAC (antiguo MAPA y CC.AA.), PNOA (IGN Y CC.AA.), Google Maps, Google Earth, Yahoo Maps, NASA World Wind e institutos y servicios cartográficos de comunidades autónomas, diputaciones y ayuntamientos.
- 
- Datos hidrológicos:
    - Inundaciones históricas: Comisión Técnica de Emergencia por Inundaciones (CTEI, 1985), Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH, DGPC; Pascual y Bustamante, 2008), encuestas, marcas y placas, hemerotecas, archivos históricos, historias y crónicas locales, informes ICONA y Guardia Civil...

**Estudio de inundabilidad del arroyo de la  
Gaznata a su paso por la localidad del  
Herradón, Ávila**

**2009**

Alonso Gorbeña, Gonzalo

Blanco Blanco, Delia

Vives Zanón, Joaquín

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO**
- 3. ANTECEDENTES**
  - 3.1. ESPAÑA**
  - 3.2. CASTILLA LEÓN Y ÁVILA**
  - 3.3. RIADA DE 1999**
- 4. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO**
  - 4.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA**
  - 4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO**
  - 4.3. VEGETACIÓN**
  - 4.4. USOS DEL SUELO**
  - 4.5. CONTEXTO CLIMÁTICO**
- 5. LEGISLACIÓN APLICABLE**
  - 5.1. NORMATIVA EUROPEA**
  - 5.2. LEGISLACIÓN ESTATAL**
  - 5.3. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA**
  - 5.4. OTRAS NORMATIVAS DE INTERÉS**
- 6. METODOLOGÍA**
  - 6.1. MODELO HIDROLÓGICO**
  - 6.2. MODELO HIDRÁULICO**
- 7. CONCLUSIONES**

## 1 INTRODUCCIÓN

En nuestro país, los daños por inundaciones se estiman en 800 millones de euros anuales, la explotación de las riberas y la ocupación irregular de éstas provocan cuantiosas pérdidas, se hace inevitable por tanto, una gestión más eficiente del recurso. Las administraciones en su conjunto abordan esta problemática desde múltiples ópticas. Para hacer frente a éste fenómeno natural, entre otros, el Ministerio de Medio Ambiente dispuso el pasado año una modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico que databa del año 1986, incluyendo una nueva definición del dominio público hidráulico, así mismo ha puesto en marcha Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

El enfoque tradicional al abordar este riesgo ha sido el de plantear soluciones estructurales. Sin embargo, éstas medidas han resultado insuficientes en determinados casos, además de producir impactos ambientales significativos. Por ello, en la situación actual del país, resulta necesario profundizar en las medidas de gestión del riesgo y la planificación de los usos del suelo como instrumentos fundamentales para mejorar la protección de la población. Para cubrir esta necesidad, el Ministerio de Medio Ambiente está creando del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

Las inundaciones constituyen en nuestro país el fenómeno natural que con mayor frecuencia se manifiesta dando lugar a situaciones de grave riesgo colectivo o catástrofe, a las que se refiere la Ley 2/1985, de 21 de enero, de Protección Civil.

Los efectos destructivos que las inundaciones originan en extensas áreas del territorio, hacen que, ante esa eventualidad, para la protección de personas y bienes, resulte necesario el empleo coordinado de medios y recursos pertenecientes a las distintas Administraciones Públicas, así como, a menudo, de particulares.

Se tendrán en cuenta conceptos tales como el riesgo natural asociado a la zona de estudio, donde se nos presentan componentes como la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. Factores claves que suponen un riesgo natural para las personas y sus bienes en el territorio a estudiar.

Los riesgos naturales se clasifican según diferentes criterios, siendo habitual distinguir entre ellos: riesgos biológicos, cósmicos, meteorológicos, climáticos y geológicos. Dentro de estos se encuentran los riesgos hidrológicos, cuyo máximo exponente es el riesgo de inundación. Estas inundaciones son básicamente de dos tipos: terrestres, en las que aguas dulces anegan territorios del interior de los continentes; y litorales o costeras, en las que las aguas marinas o lacustres-palustres invaden los sectores limítrofes con el dominio terrestre; entre ambos tipos existen diferentes combinaciones y situaciones intermedias. Por lo tanto, dada la diversidad de fenomenología, es más correcto hablar en plural de este tipo de riesgo, es decir, de riesgo de inundaciones.

El primer y más consustancial daño de la inundación es el propio anegamiento por agua y su profundidad en zonas normalmente secas, lo que conlleva humectación de suelos, con la consiguiente pérdida de capacidad portante de los terrenos, y de las estructuras y edificaciones construidas en ellos, pudiendo afectar a su cimentación y estabilidad estructural; o la pérdida de determinados cultivos y vegetación por quedar sumergidos y apartados del oxígeno atmosférico. Además, las instalaciones de servicios y vías de comunicación pueden quedar sumergidas, con el consiguiente riesgo de rotura o interrupción del servicio. También la inmersión de buena parte de los bienes materiales, como electrodomésticos, vehículos de motor y mobiliario doméstico, produce su deterioro o daño irreparable, con las consiguientes pérdidas económicas.

Entre las actuaciones que contribuyen a aumentar la peligrosidad, incrementando los caudales, los calados y velocidades de circulación de los mismos; modificando los tiempos característicos a situaciones más peligrosas; o aumentando la carga sólida transportada, se encuentran:

- Deforestación y cambios en la cubierta vegetal.
- Impermeabilización de los suelos de amplios sectores de la cuenca.
- Apertura de taludes, desmontes y superficies de suelos o rocas descubiertas.
- Inadecuado diseño y gestión de intervenciones en el cauce y la llanura inundable.

## 2 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO

Es indudable la relevancia social que suscitan este tipo de coyunturas. Por otro lado, no hay que olvidar, que el subconsciente colectivo es muy débil y tiende a enterrar rápidamente sucesos indeseables como son las inundaciones, volviendo a ocupar extensiones propias de los ríos cuando “las aguas vuelven a su cauce”.

Bajo este prisma, que sin duda cae de lleno en la gestión de los recursos a nivel de cuenca, y por ende en la gestión del territorio, hemos creído conveniente profundizar un poco más en el estudio del estado actual del arte en esta materia y de las metodologías utilizadas en su análisis

Para ello hemos seleccionado un entorno en la cuenca del Tajo que suscitó muchos estudios en los albores del 2000, por la dificultad intrínseca de prever la ocurrencia del evento extremo que acaeció en la cuenca del arroyo de la Gaznata, aguas arriba del embalse del Burguillo, y que provocó serios daños en el municipio del Herradón, en la provincia de Ávila.

## 3 ANTECEDENTES

### 3.1 España

No existen en España sistemas de vigilancia y alerta específica y únicamente enfocados a la predicción de inundaciones. Sí que existen diversos sistemas de información hidrológica o hidrometeorológica (SAIH) y meteorológicos (SIVIM, PREVIMET y el Plan Nacional de Avisos Meteorológicos), que pueden utilizarse para la vigilancia y alerta de inundaciones.

El SAIH, acrónimo de **Sistema Automático de Información Hidrológica**, es un complejo mecanismo de adquisición de información hidrológica y meteorológica, análisis de la misma y toma de decisiones, que comenzó a implantarse en distintas cuencas hidrográficas a finales de la década de 1980, tras las importantes inundaciones del País Vasco y Valencia.

El SIVIM, acrónimo de **Sistema Integrado de Predicción y Vigilancia Meteorológica**, se pone en marcha en 1983 como “la respuesta más eficaz que ofrece la moderna tecnología a la necesidad de detectar con rapidez la formación de sistemas convectivos que generan las lluvias torrenciales”. Integra las actividades de predicción operativa dependientes del Centro Nacional de Predicción, con las de los nuevos departamentos de vigilancia atmosférica creados a tal efecto en espacios regionales de la península Ibérica, los llamados Grupos de Predicción y Vigilancia (GPV).

Los PREVIMET, **Planes de Predicción y Vigilancia Meteorológica**, desarrollan la normativa de coordinación operativa del INM con la Dirección General de Protección Civil, estableciéndose cauces regulares de distribución de las predicciones y avisos a distintos organismos destinatarios.

---

A partir de 1996, los planes PREVIMET dieron paso al **Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos**, concebido como un sistema de alerta continua, durante el conjunto del año, para todo el territorio nacional y para cualquier fenómeno meteorológico de rango extraordinario.

Por último, los **Planes de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones**, de acuerdo a la Directriz Básica que los regula, deben disponer de sus propias especificaciones de sistemas de previsión y alerta en materia meteorológica e hidrológica.

DIRE es una iniciativa que pretende recopilar toda la documentación disponible sobre inundaciones, avenidas, riadas y sus riesgos asociados en España.

Con esta documentación se elaborará una base de datos informatizada que permita su acceso mediante un sistema gestor de bases de datos estándar (tipo MS Access o similar), con georreferenciación de los documentos (sobre SIG), por lo que las búsquedas y consultas se podrán hacer tanto temáticamente por campos de la BD (tipo de documento, fecha, autores...) como por su componente espacial (comunidad autónoma, provincia, comarca, municipio, paraje, coordenadas...).

Como paso inicial, hasta que se consiga recopilar un volumen crítico de información como para ser posteriormente introducido en el gestor de bases de datos y el SIG, se trata de un simple listado de texto de referencias bibliográficas (en formatos no homogéneos de referencia, según aparecían citadas en las fuentes).

### 3.2 Castilla León y Ávila

Aunque en el conjunto de España, Castilla y León no sea una de las regiones más afectadas por las inundaciones, la abundancia de las mismas y la variedad de causas a las que responden hacen que sea uno de los problemas de seguridad civil más importantes en la región.

Hablamos de una región con una densa y bien desarrollada red hidrográfica, formando parte de ella cuatro cuencas hidrográficas: Norte, Duero, Ebro y Tajo.

La configuración geomorfológica de la comunidad castellano-leonesa queda marcada en la presencia de dos singulares conjuntos: espaciosas llanuras con una altitud media y que se disponen de forma gradualmente escalonada hacia el interior y suroeste de la región (700 –1.100 m) y, las potentes regiones montañosas que con frecuencia superan los 2.000 m. y que se esparcen casi de forma continua por las zonas más exteriores.

Esta disposición permite la presencia de fuertes desniveles entre las zonas altas y las llanuras y la existencia de grandes diferencias tanto en el relieve, el clima y lógicamente una red hidrográfica perfectamente adaptada a todos estos elementos.

Otras zonas donde existe una importante alternancia de desniveles, con un juego más activo de pendientes, la torrencialidad se incrementa y los ríos adquieren un mayor dinamismo.

Desde el punto de vista climático, esta configuración geomorfológica favorece la gran heterogeneidad en el reparto de las precipitaciones, el cual, se distribuye básicamente en aureolas concéntricas y con fuertes contrastes entre el centro y la periferia. Pese a que de forma media, los índices pluviométricos son bastante moderados (400 – 600 mm.) en las zonas interiores y llanas, en la orla montañosa se dan valores de precipitación muy elevados (1.000 – 1.500 mm).

### 3.3 Riada de 1999

Durante la tarde-noche del miércoles 1 de Septiembre de 1999 se produjeron intensas precipitaciones de carácter tormentoso en las estribaciones montañosas del sector de transición entre las sierras de Guadarrama y Gredos que afectaron a diversas poblaciones del sureste de la provincia de Ávila.

A consecuencia de estas precipitaciones, varios arroyos de la zona sufrieron avenidas repentinas que aguas abajo produjeron importantes daños humanos y materiales.

Uno de los peores sucesos se registró en el arroyo de la Gaznata, el cual atraviesa la localidad del Herradón. Se produjeron una serie de daños que pasamos a enumerar:

- 4 personas heridas que tuvieron que ser atendidos por contusiones diversas.
- Desmoronamiento de 200 m. del terraplén del ferrocarril Villalba – Ávila, entre los puntos kilométricos 99 y 100.
- Destrucción, anegamiento y aterramiento por parte del arroyo de la Gaznata de numerosas viviendas (30 aprox.) y fincas rústicas en el casco urbano.
- Desmantelamiento de tres puentes, calles y viales en el núcleo urbano.
- Daños en las redes de abastecimiento, saneamiento, suministro eléctrico y comunicaciones.
- Arrastre y destrozos en una veintena de vehículos particulares.
- Destrucción de granjas e instalaciones ganaderas con el arrastre y muerte de más de 300 cabezas de ganado bovino.
- Destrucción del puente de los Tres Ojos, en la carretera local AV-503 sobre el arroyo de la Gaznata.
- Destrucción y aterramiento de pequeñas explotaciones hortícolas de la margen del arroyo de la Gaznata.
- Destrucción en diversos puntos del firme, cunetas y drenaje transversal del camino agrícola entre La Cañada y El Herradón.
- Colmatación y aterramiento del sector de desembocadura del arroyo de la Gaznata al embalse de El Burguillo como consecuencia del depósito de restos arrastrados: la naturaleza fundamentalmente orgánica de los flotantes conllevó una incipiente eutrofización de las aguas que precisó el rápido dragado de este sector.

## 4 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO

### 4.1 Situación geográfica

El pueblo está al S. E de Ávila capital y a 21 Km. De esta y en la antigua carretera "Ávila-Toledo" pasado el puerto de "El Boquerón".

Está atravesado por el arroyo de la Gaznata; el cual nace en la fuente del Cuadrón y a el cual depositan sus aguas algunos afluentes: Arrollo de Grajera, de Gaznatilla, de Garceluño etc. Desemboca en el Alberche a la altura del pantano el Burguillo.

El pueblo está situado en el valle de la Gaznata, entre dos murallones de piedra y al descender del puerto de las Pilas, por donde pasaba el antiguo camino real.

## 4.2 Contexto geológico

La provincia de Ávila está constituida por un sector montañoso, con litologías resistentes metamórficas y plutónicas, que forman parte del Sistema Central, y otro de llano, de sedimentación arcillosa y arenosa, con escasa resistencia y de edad terciaria y cuaternaria.

El primero es un territorio donde la compartimentación morfo-estructural es enormemente compleja y variada, pues la mayor parte de las unidades de relieve tienen su origen en los movimientos de bloques de un zócalo rígido, arrasado previamente por la erosión. El segundo tiene gran extensión superficial, pero la diferenciación morfo-estructural apenas existe, al menos en la provincia de Ávila, dados los caracteres litológicos y la ausencia de movimientos tectónicos posteriores a la sedimentación.

La garganta del Gaznata se sitúa a lo largo de un valle lineal asociado a una importante banda de fracturación cortical tardihercínica, la falla El Herradón-Casillas, con más de 30 km de desarrollo en dirección prácticamente norte-sur. Esta fractura, con movimientos relativos verticales limitados (y movimientos en dirección mal documentados) durante la orogenia alpina, y sus sistemas conjugados compartimentan la superficie poligénica de paramera, condicionando el encajamiento de la red de drenaje.

El fondo de las gargantas principales está ocupado por una estrecha llanura de inundación, por la que discurre el canal actual, de patrón rectilíneo. A esta llanura llegan desde los escarpes de ladera materiales movilizados por fenómenos gravitacionales y periglaciares, que se combinan con los aluviones de arrastre del propio canal, generando una morfología de tipo terraza. Los afluentes laterales del arroyo de la Gaznata, al llegar a la llanura de la garganta, forman conos de deyección elongados aguas abajo. Tan sólo en localizaciones puntuales, donde el valle de la Gaznata se ensancha en confluencias con tributarios, existen depósitos aluviales elevados respecto a la llanura, a modo de incipientes sistemas de terrazas, cuyos depósitos precedentes del canal principal.

## 4.3 Vegetación

Del mismo modo que existen diferencias muy acusadas, tanto climáticas como edafológicas entre las dos grandes unidades, Sistema Central-Cuenca Sedimentaria, debido principalmente – a que la montaña provoca profundas alteraciones en la climatología, que repercuten en la vegetación, pues a medida que aumenta la altitud se van reduciendo las especies termófilas de la base y son suplantadas por otras más aptas al frío y, en general, observándose alteraciones en respuesta a todo tipo de hecho climático (pluviosidad, insolación...), van a existir dos dominios claramente diferenciados.

Así pues, la vegetación de la provincia de Ávila varía considerablemente desde las campiñas de la cuenca del Duero a las cumbres del Almanzor y se organiza en varios pisos altitudinales, que tienen variaciones más o menos profundas de este a oeste, con límites teóricos a veces diferentes a los reales, a causa de la plasticidad de ciertas especies características y del intrincado relieve, que permite numerosas lobulaciones de los límites teóricos, por la exposición a los vientos dominantes, el valor de las pendientes o los efectos de solana y umbría.

La actividad humana también ha influido en el estado actual de la vegetación natural, provocando la deforestación de territorios actualmente cubiertos por matorral o pastizal, la

conversión en campos de labor de otros y el crecimiento de especies forestales que no siempre son las climáticas.

#### 4.4 Usos del suelo

Aparecen ligados de forma evidente a la naturaleza de los materiales que le sirven de soporte, a la topografía y a las condiciones climáticas.

Teniendo en cuenta estos hechos, podemos distinguir en la provincia dos grandes dominios edafológicos que corresponden al Sistema Central y a la Cuenca Sedimentaria.

En el Sistema Central la altitud, la topografía de montaña y las condiciones climáticas han dificultado la evolución de los suelos y, debido a ello, predominan los poco desarrollados y, por tanto, de escasa calidad agronómica. Causa directa también de este estado de los suelos ha sido la acción erosiva, favorecida por la pendiente y la ausencia de vegetación, potenciada con frecuencia por la acción del hombre.

Aparecen seis tipos de suelos característicos: litosuelos, tierras pardas meridionales, tierras pardas húmedas, pardas degradadas, de césped alpino y suelos aluviales.

#### 4.5 Contexto climático

En el dominio climático aparecen sendas diferencias entre las dos grandes unidades que entran a formar parte de la provincia. Son la altitud y la orientación los dos factores fundamentales que condicionan el clima de la provincia.

En términos generales, al tener el Sistema Central una altitud superior a los 1.000 metros, llegando incluso a los 2.592 en el Alto Gredos, las circunstancias climáticas varían sensiblemente a causa de la influencia que ejerce el factor altitud, dando lugar a una baja temperatura media, una abundancia de precipitaciones y una mayor niviosidad e innivación.

Por el contrario, la Cuenca Sedimentaria, al tener menos altitud (800 metros), y unas condiciones físicas que caen dentro del marco de la Meseta Septentrional, condicionada esencialmente por el aislamiento que le produce el estar rodeada de montañas, tendrá un régimen climático marcado por una temperatura baja, extremada en invierno y fresca en verano, con precipitaciones escasas.

Asimismo, la diferente orientación de las vertientes y la profundidad o amplitud de los valles contribuyen a la formación de numerosos climas locales. Dentro del conjunto del Sistema Central hay que distinguir principalmente dos tipos de clima diferentes: el de la vertiente meridional del Sistema y el de las sierras.

Las precipitaciones son muy escasas, no llegando la media anual a los 400 mm, por lo que en Ávila se registran 360 mm y en Arévalo 388 mm. Este bajo índice es debido al hecho de estar toda la Meseta Septentrional rodeada de montañas que impiden la llegada de los vientos húmedos. El verano soporta una acusada aridez estival, ya que cae dentro del radio de acción de las masas de aire tropical, mientras que el invierno está influido por el área de circulación anticiclónica que da lugar a un largo periodo de frío intenso, con un mínimo secundario de precipitaciones. Se observa también una fuerte irradiación nocturna y acusadas oscilaciones diurnas.

---

## 5 LEGISLACIÓN APLICABLE

### 5.1 Normativa europea

Entre la escasa normativa europea existente sobre la materia de realización de los mapas de riesgos de inundación, cabe destacar la recién adoptada “Directiva de Inundaciones” (“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”, Diario Oficial de la Unión Europea 6.11.2007, L288/27-L288/34). En ella se recogen múltiples referencias a la utilidad y necesidad de elaboración de los mapas de riesgo de inundación (considerando número 12), y se establecen unos requisitos mínimos y plazos para su elaboración para cada demarcación hidrográfica de los Estados Miembros (capítulo III).

También existen menciones a la problemática de las inundaciones en otras legislaciones europeas, y convenios y tratados internacionales (Directiva Marco del Agua, tratados de ríos transfronterizos...), pero siempre referidas a aspectos sobre su gestión y no a la cartografía de su peligrosidad y riesgos asociados.

#### **Directiva Marco del Agua**

La Directiva marco del agua es una norma del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea por la que se establece un marco de actuación comunitario en el ámbito de la política de aguas. En España fue transpuesta al marco legislativo estatal a través de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre de 2000, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social, que modificó el Texto Refundido de la Ley de Aguas.

#### **Directiva Europea de Evaluación y Gestión de Inundaciones**

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.

Es una Directiva muy reciente. Tiene como principal objetivo reducir el riesgo de estos fenómenos naturales, cubre todo tipo de inundaciones, desde las que afectan a riberas y zonas costeras de la UE, hasta las ocasionadas en medio urbano por la escorrentía o por la saturación de la red de evacuación de aguas.

### 5.2 Legislación estatal

#### 5.2.1 Legislación estatal sobre gestión de agua

#### **Ley de Aguas**

La Ley de Aguas (Ley 29/1985), el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986) y el Texto Refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001), definen las zonas inundables, y zonifican y restringen usos en determinadas áreas de las riberas, tales como el cauce y las zonas de servidumbre y policía.

#### **Planes Hidrológicos**

El Texto Refundido de la Ley de Aguas, en su artículo 42.1 epígrafe n° cita, entre los contenidos de los planes hidrológicos de cuenca, la obligatoriedad de comprender los criterios sobre estudios, actuaciones y obras para prevenir y evitar los daños debidos a inundaciones,

---

avenidas y otros fenómenos hidráulicos. La propia Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional, en su artículo 28 dicta normas complementarias para la protección del dominio público hidráulico y actuaciones en zonas inundables, como promover convenios entre el Ministerio de Medio Ambiente y las Administraciones Autonómicas y Locales que tengan por finalidad eliminar las construcciones y demás instalaciones situadas en dominio público hidráulico y en zonas inundables que pudieran implicar un grave riesgo para las personas y los bienes y la protección del mencionado dominio.

### **Reglamento del Dominio Público Hidráulico**

Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por RD 849/1986, de 11 de abril (BOE nº 14, de 16/01/08)

## **5.2.2 Legislación estatal sobre régimen del suelo**

### **La antigua "Ley del Suelo"**

La denominada Ley del Suelo (Real Decreto-Legislativo 1/1992, de 26 de junio, Texto Refundido de la Ley sobre el Régimen del Suelo y Ordenación Urbana), al igual que su predecesora del año 1976, fija el planeamiento como base del urbanismo. Esta ordenación territorial se plasma en diferentes clases de planes urbanísticos que van desde el Plan Nacional de Ordenación hasta los Planes Generales Municipales, pasando por los Planes Directores Territoriales de Coordinación, con ámbito autonómico; todos ellos estructurados piramidalmente, ya que cada plan debe respetar las determinaciones del inmediatamente anterior.

### **Ley sobre Régimen del Suelo y Valoraciones**

Con fecha 13 de abril de 1998 se aprobó y sancionó la nueva Ley 6/1998 sobre régimen del suelo y valoraciones, cuyo articulado, integrado en cinco títulos, fue publicado en el B.O.E. número 89 del martes 14 de abril. Esta Ley deroga la mayor parte del Real Decreto Legislativo 1/1992, de 26 de junio y los tres primeros artículos de la Ley 7/1997, de 14 de abril, de Medidas Liberalizadoras en materia de Suelo y Colegios Profesionales.

## **5.3 Legislación autonómica sobre gestión del suelo, urbanismo y ordenación territorial**

La nueva normativa autonómica en materia de régimen del suelo y ordenación territorial está llamada a jugar un importante papel, complementando y acelerando los procesos de declaración de zonas de sus comunidades que presenten manifiestos riesgos naturales en una fase de la planificación sectorial previa a la escala municipal. Sirvan a modo de ejemplo las normativas desarrolladas por algunas comunidades autónomas, como:

### **Ley 5/1999, de 8 de abril, de Urbanismo de Castilla y León**

## 5.4 Otras normativas de interés

### Legislación ambiental

Un ejemplo de la legislación ambiental aplicable para prevenir el riesgo de inundación es la Ley 2/2002, de Evaluación de Impacto Ambiental de la Comunidad de Madrid.

### Legislación de Protección Civil

El apartado 6 de la Norma Básica de Protección Civil (Real Decreto 407/1992, de 24 de abril) y la propia Resolución mediante la cual se aprueba la Directriz Básica (MJI, 1995) determina que el riesgo de inundaciones será objeto de Planes Especiales en aquellos ámbitos territoriales que lo requieran.

### Legislación sectorial de Obras Públicas

La propia legislación de Fomento y Obras Públicas contiene procedimientos y metodologías normalizados de utilidad para el análisis de la peligrosidad de inundaciones, como es el caso de las sucesivas Instrucciones de drenaje superficial de carreteras que, en sus diferentes versiones (5.2-IC en Orden de 14 de mayo de 1990) y con las variantes del método racional modificado que propone, permiten estimar los caudales generados en pequeñas y medianas cuencas.

### Legislación sectorial de Turismo

Existe legislación sectorial de Turismo de interés en la prevención de inundaciones, como el Decreto 125/2004, de 11 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Reglamento de Alojamientos turísticos al aire libre, que cataloga con precisión las zonas en las que se prohíbe instalar campings con respeto a la normativa sectorial y propone, como requisito para la autorización de los mismos, una metodología para la realización de un análisis de riesgos de inundaciones, incendios forestales u otros.

## 6 METODOLOGÍA

Si consideramos que una crecida o avenida fluvial es un episodio con caudales anormalmente altos que registra un punto o tramo de la corriente, en su análisis será básica la caracterización temporal de esos caudales anómalos, esto es, la definición del hidrograma de crecida correspondiente a dicho evento. Dentro de este hidrograma pueden estudiarse sus elementos, componentes o tiempos característicos, en relación con el hidrograma correspondiente y asignarle una probabilidad de ocurrencia.

Existen diversas metodologías para el estudio hidrológico de las crecidas, que abarcan desde la caracterización completa del hidrograma hasta la determinación de tan solo alguno de sus parámetros, como el caudal punta o pico de flujo. Por el objetivo del estudio se pueden diferenciar dos conjuntos de métodos: aquéllos que pretenden analizar una avenida previa o pasada empleando el propio registro directo de caudales; y aquéllos que aspiran a estimar caudales de crecidas futuras o situaciones hipotéticas a partir de datos indirectos de crecidas pasadas o del análisis de datos de precipitación y/o caudal registrados en otras crecidas.

El estudio que se presenta se basa en métodos indirectos (el segundo conjunto de métodos mencionado en el párrafo anterior). Respecto a estos métodos existen dos tendencias en el estudio hidrológico de las crecidas (en opinión de Llanos *et al.* (1995)): una determinista que preconiza el pasado como condicionante del comportamiento presente y futuro, abordando su estudio mediante leyes físicas y relaciones matemáticas; y otra estocástica, que parte del carácter aleatorio del proceso, y propone la aplicación de leyes o funciones analíticas a un conjunto de observaciones previas para predecir futuros valores de la variable.

## 6.1 Modelo hidrológico

Una vez delimitada la cuenca hidrológica que va a aportar a nuestro cauce principal, con la ayuda de un SIG, se procede a estimar tanto la cantidad como la distribución temporal de las lluvias de tormenta para diferentes períodos de retorno.

La estimación del volumen de precipitación para cada período de retorno es realizada mediante una aplicación informática, desarrollada por el CEDEX, que proporciona la precipitación máxima, diaria, anual (PMDA) para cada subcuenca. Esta aplicación se conoce como MAXPLU y su extensión para el Arc View es conocida como AQUALIS. Los valores son obtenidos utilizando únicamente como referencia las coordenadas UTM de la cuenca a estudio. La precipitación obtenida ya es la media de la cuenca y proporciona un valor para cada período de retorno seleccionado.

La elección de esta aplicación como método para el cálculo de la PMDA fue tomada en parte por la simplicidad y rapidez de cálculo. Bien es cierto que existen métodos mucho más exhaustivos y precisos, pero éstos, a su vez requieren un cierto tiempo con el cual no se contaba para este estudio. No obstante, la falta de pluviómetros cercanos y la prontitud con la que se requieren los resultados compensan la ligera pérdida en precisión de cálculo de las PMDAs. Esta limitación de precisión no conlleva imprecisión en los resultados finales puesto lo que se pretende es observar cómo responde la cuenca a grandes eventos de períodos de retorno elevados y no un cálculo exhaustivo del riesgo por inundación.

Una vez obtenidas las PMDAs de cada subcuenca para cada período de retorno, se procede a extraer la distribución temporal de cada precipitación de tormenta calculada (hietogramas). El método elegido para ello es el de bloques alternados, uno de los métodos más utilizados, si no existen datos pluviométricos en intervalos menores a un día.

Para el desarrollo de este paso, se ha utilizado una aplicación informática llamada Bloques Alternados, que utiliza como base de cálculo la fórmula de Témez (1978) para la construcción de curvas de intensidad, duración y frecuencia (curvas IDF).

El procedimiento consiste en la construcción de un hietograma de duración  $T_d$ , como la sucesión de  $N$  bloques de duración  $\Delta t$  ( $T_d = N \cdot \Delta t$ ) tales que, en cada momento, la precipitación corresponda a la máxima precipitación probable dada por la curva IDF.

Para la cuenca del Gaznata, como parámetros para la construcción de los hietogramas de tormenta, se seleccionó: 30 minutos como intervalo de tiempo del hietograma y 24 horas como duración de la tormenta de diseño.

El siguiente paso es la modelización hidrológica de los caudales de crecida generados. La herramienta informática utilizada en este paso es un programa desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del US Army Corps of Engineers, conocido como HEC HMS.

---

Este programa calcula el hidrograma producido por una cuenca si se le facilitan datos físicos de la cuenca, datos de precipitaciones...

Los pasos que realiza el HMS se pueden resumir de la siguiente manera:

- A. **Separación de la precipitación neta.** Calcula cuanta, de toda la precipitación caída, va a generar escorrentía directa.
- B. **Calculo de la escorrentía directa.** A partir de la precipitación neta, se calcula la escorrentía que genera (caudal).
- C. **Suma la escorrentía básica a la directa.** Introducir la escorrentía básica (no generada por la precipitación a estudio) en el hidrograma calculado.
- D. **Tránsito de hidrogramas.** Forzar la evolución del hidrograma a medida que discurre a lo largo del cauce.

Para cada uno de estos pasos, el programa facilita una serie de métodos que el modelador debe seleccionar. Los métodos que se han elegido para este estudio son los siguientes:

- a) Para la separación de la precipitación neta se ha utilizado el método del SCS del Número de Curva. Éste, tiene en cuenta la cantidad de precipitación que se necesita para que comienza la escorrentía en una determinada zona. Este Número de curva se relaciona con el umbral de escorrentía ( $P_0$ ) que a su vez es función de factores físicos del terreno como la pendiente, la vegetación o el uso del suelo, así como el grado de humedad del terreno en el momento de la precipitación. Como medida de precaución, se ha considerado que la humedad del suelo previa a la tormenta es máxima, con el fin de situarse en las peores o más peligrosas condiciones posibles.
- b) Para el cálculo del caudal generado por escorrentía directa, se va a utilizar el método del SCS del hidrograma unitario. Este método se basa en la obtención de un hidrograma tipo para cada cuenca, conociendo el hidrograma unitario (la escorrentía superficial resultante de una lluvia neta de 1 mm. repartida uniformemente sobre una cuenca determinada y con una distribución constante a lo largo de un determinado intervalo de tiempo) generado por una tormenta corta. A partir de éste, se puede adaptar a cualquier evento de precipitación por descomposición de él mismo en intervalos de duración "D".
- c) Para el presente estudio, no se ha tenido en cuenta el caudal base puesto que el caudal medio del arroyo de la Gaznata en condiciones normales no es relevante y por tanto no goza de relevancia ante los grandes caudales que se manejan con las precipitaciones a estudio.
- d) Los hidrogramas generados en cada subcuenca, se unen y se propagan a través del cauce mediante el método empírico de Muskingum, para finalmente generar el hidrograma de avenida en la localidad del Herradón.  
Este método se basa en la ecuación de continuidad de flujo, debiendo introducir dos variables empíricas: un coeficiente de proporcionalidad "K" y otro de ponderación "X". El coeficiente de proporcionalidad "K" representa el tiempo de recorrido del hidrograma o de la onda de crecida.  
"X" representa la laminación del tramo. Varía entre valor 0 que se corresponde con la laminación máxima, propia de un embalse y 0,5 como la menor laminación.

Lo que se ha conseguido en este primer paso es la simulación del proceso hidrológico. Desde la generación de las precipitaciones (cálculo de las PMDAs y diseño de los hietogramas) hasta la generación de los caudales de avenida que llegan a la localidad de el Herradón (HMS).

## 6.2 Modelo hidráulico

A partir de los caudales de cálculo obtenidos para los distintos periodos de retorno considerados, se procede a calcular las llanuras de inundación, cotas de lámina de agua, velocidades, etc, para el cauce original y para el encauzamiento proyectado.

Se utiliza el programa HEC-RAS, del US Army Corps of Engineers, a partir de la topografía existente y obtenida en los distintos trabajos de campo.

Los criterios de cálculo son los siguientes:

- Se considera la hipótesis de flujo en lámina libre, no existen tramos cubiertos o zonas susceptibles de entrar en carga.
- Se considera el flujo como unidimensional, es decir, que la influencia de los flujos con componente transversal al eje fluvial no sea suficientemente grande para desvirtuar los resultados.
- Se considera el cauce como fijo, despreciándose los cambios de cauce durante la avenida en estudio, sin que los mismos puedan desvirtuar la geometría inicial de cálculo.

Para los cálculos hidráulicos se obtienen perfiles transversales del arroyo de la Gaznata, a partir de la cartografía existente y la topografía de detalle realizada. La separación de los perfiles es variable, como máximo de 20 metros en la zona que afecta al Plan General, en una determinada longitud del cauce.

A continuación se presentan los resultados en planta, en forma de manchas de inundación para los distintos periodos de retorno, así como las líneas de lámina y energía en perfiles longitudinales y transversales, en la zona que afecta al nuevo planeamiento urbanístico del Herradón.

## 7 CONCLUSIONES

Se ha estudiado en el presente trabajo el comportamiento hidráulico del arroyo de la Gaznata a su paso por el núcleo urbano del Herradón y a lo largo de la cuenca que lo conforma, analizando los niveles de lámina de agua, velocidades y las llanuras de inundación que pueden producirse para los diferentes periodos de retorno: 25, 100 y 500 años.

En cuanto a las características topográficas del núcleo urbano del cauce, cabe destacar que la llanura de inundación de la margen derecha es prácticamente inexistente hasta aguas abajo del núcleo urbano, debido a la existencia de una ladera de elevada pendiente. De este modo, es la margen izquierda la que se ve afectada por los distintos periodos de retorno.

En el municipio del Herradón, el suelo urbano se encuentra fuera del área de influencia del cauce del río. Existen en las márgenes del cauce alguna instalación de ocio, almacenes, casas, una nave agrícola, además de algunas instalaciones provisionales de las huertas.

Existe un pequeño tramo encauzado en el cauce del río a su paso por el núcleo urbano. En el momento que finaliza el tramo encauzado, el efecto remanso de la lámina de agua aguas abajo,

junto con el encajamiento que provoca el talud derecho, origina la rápida inundación de la margen izquierda del río, para prácticamente todos los periodos de retorno.

Cabe destacar que el lecho del río presenta una morfología muy variada, desde el comentado tramo encauzado hasta sus zonas en las que prácticamente el cauce no está delimitado con la llanura de inundación, la capacidad hidráulica del mismo es muy pequeña.

A través de este estudio se han definido las zonas inundables que afectan al municipio del Herradón, para distintos periodos de retorno. El alcance del mismo no incluye las posibles obras de protección frente a avenidas que pudieran plantearse en un momento dado en alguno de los tramos o parcelas situadas en el Término Municipal del Herradón.