

Caracterización de una red hídrica fuertemente alterada: el caso del arroyo de El Partido

Huelin Rueda, P., Mintegui Aguirre, J.A. *, Robredo Sánchez, J.C.

*Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental. ETS Ingeniería Montes, Forestales y Medio Natural.
Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid*

*e-mail: juanangel.mintegui@upm.es

Resumen

En el ámbito de la hidrología fluvial y los eventos torrenciales que ocurren en los cauces, hay situaciones en las que la simple caracterización de la red hídrica no es obvia. Este es el caso del arroyo del Partido y la gran llanura de sedimentación sobre la que se asienta. La primera alteración del régimen hidráulico natural del lugar se llevó a cabo en 1981, con la construcción de un encauzamiento que provocó un gran desequilibrio sedimentario y serias alteraciones geomorfológicas en las décadas siguientes; tanto en la aldea de El Rocío como en el Parque Nacional de Doñana. Estudios realizados en el lugar, pusieron de manifiesto que el comportamiento original de la red hídrica comprendía la participación de otro cauce aledaño en los momentos de avenida, que hacía imprescindible su incorporación en un proyecto de restauración que se llevó a cabo en 2006. La observación de relevamientos del terreno de estudios precedentes y la experiencia en el lugar, junto con la inclusión más recientemente de herramientas informáticas de manejo de información detallada del terreno, a partir de tecnología LIDAR y la simulación hidráulica en 2D con software especializado (IBER); ha permitido realizar la caracterización de la red hídrica más completa hasta el momento de este paraje geomorfológicamente complejo. Ello se ha obtenido, no solamente para la situación restaurada presente, sino también para los momentos anteriores al encauzamiento y a los periodos entre éste y las obras de restauración.

Palabras clave: Arroyo, avenida torrencial, encauzamiento, restauración, simulación 2D.

1. Introducción

Las alteraciones antrópicas de los cauces fluviales han sido una constante a lo largo de la historia con el propósito de conseguir el mejor aprovechamiento del agua, ganar terreno para emplazamientos humanos y usos agrícolas, o evitar los efectos no deseados de la dinámica fluvial como inundaciones y erosiones. Generalmente estas actuaciones consiguen sus objetivos principales, pero de ellas derivan en ocasiones procesos geodinámicos adversos, los cuales no estaban considerados con anterioridad. Este es el caso del arroyo de El Partido.

El arroyo del Partido se encuentra situado en el sureste de la Provincia de Huelva y desagua junto a la aldea de El Rocío en la marisma del Parque Nacional de Doñana (en adelante P.N. de Doñana) (*Fig. 1* y *Fig. 2*). Hasta 1981 este arroyo presentaba una morfología muy peculiar llamada caño en la cual los caudales base de su cuenca de 215 km² drenaban con un régimen cuasi uniforme por su sección de 2 m de profundidad y 10 m de ancho (Urdiales Alonso, 1996; Mintegui *et al.*, 2003) sobre una llanura de 33 km² que funcionalmente se comportaba como un gran cono de sedimentación. En las inmediaciones, el arroyo de la Parrilla drenaba así mismo las

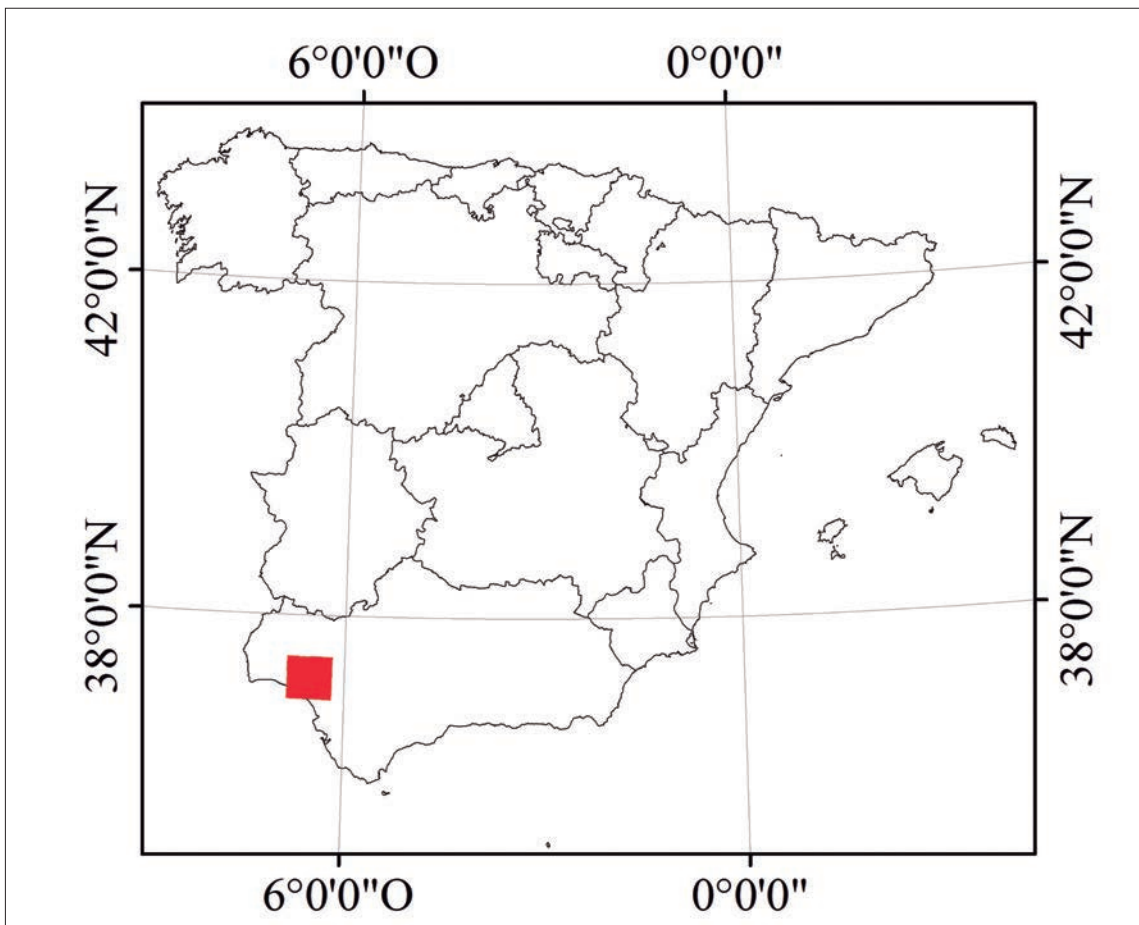


Figura 1. Localización de la región de estudio.

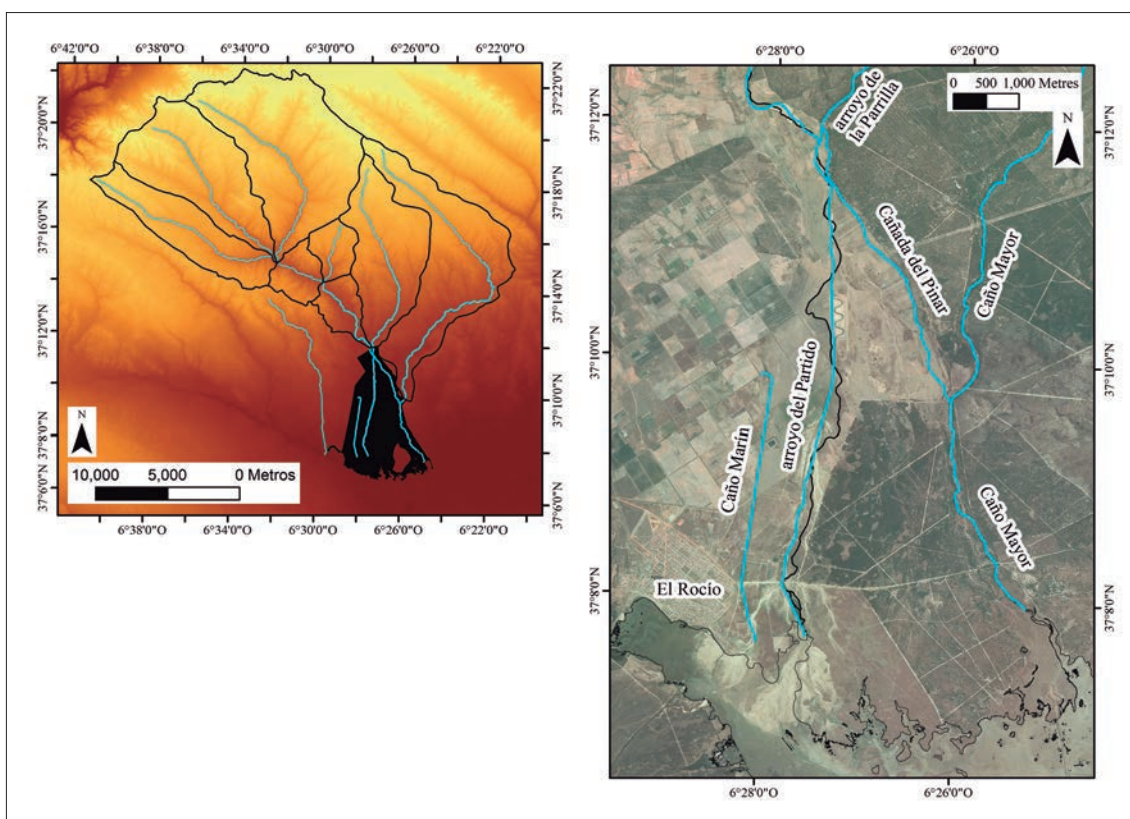


Figura 2. Cuencas vertientes a la llanura de inundación con la superficie de estudio (en negro) y red hídrica local en detalle.

aguas provenientes de su propia cuenca vertiente de 50 km². Con motivo del plan Almonte-Marismas el arroyo del Partido se encauzó con unos muros cajeros de arena separados 50 metros haciendo circular por él los caudales de ambas cuencas vertientes.

Durante los eventos de avenida en la situación original, el caño del Partido desbordaba por encima de los 4-10 m³·s⁻¹, protegiendo así su morfología y expandiendo sus caudales por una gran llanura de inundación. Tras el encauzamiento los caudales habituales de más de 100 m³·s⁻¹ fueron socavando el lecho del canal artificial hasta 2 m debido al aumento de la velocidad y el calado en su interior. El transporte aguas abajo y la deposición de los sedimentos erosionados a lo largo de los más de 7 km de encauzamientos comenzaron a formar en 1982 un nuevo cono de sedimentación sobre la marisma del P.N. de Doñana (Mintegui Aguirre y Robredo Sánchez, 2000).

Ante el desarrollo de este cono de sedimentación con elevación de su cota de lecho y la progresiva derivación de los caudales torrenciales hacia el núcleo urbano de El Rocío, se proyectó un sistema de control de avenidas ejecutado en 2006 para revertir el régimen hídrico del paraje (Saura *et al.*, 2001).

El sistema de control de avenidas del arroyo del Partido consiste en cuatro elementos principales: dos diques transversales al flujo, una llanura de inundación y un vertedero que la divide. El primer dique (dique 1) está emplazado al norte del arro-

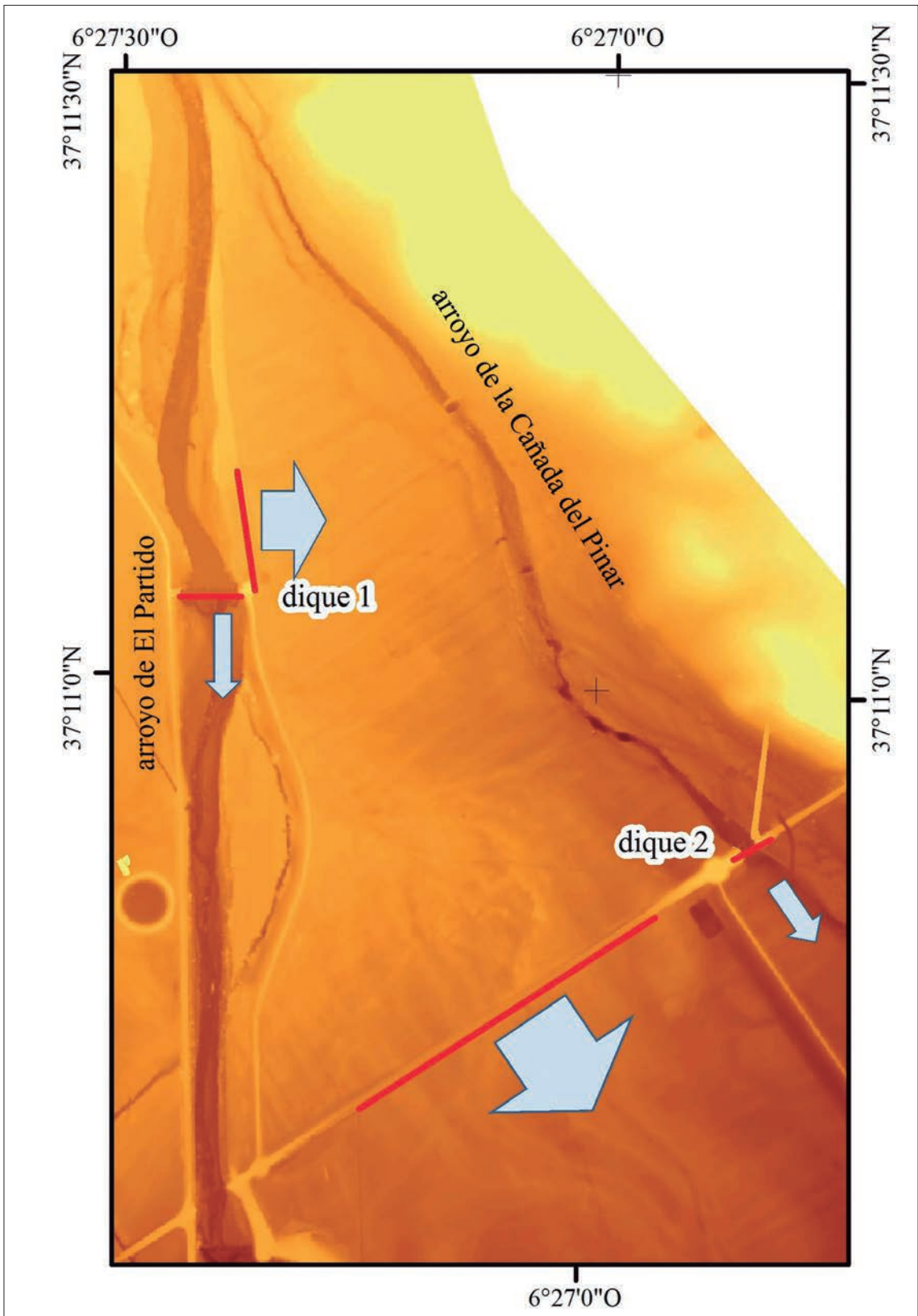


Figura 3. Posicionamiento de los elementos del sistema de control de avenidas del arroyo del Partido.

yo de El Partido. Sus principales funciones son la de evitar la erosión remontante y derivar la mayor parte del volumen de avenida por su margen izquierdo hacia la llanura de inundación. Ésta ha sido recuperada para procurar la laminación y la pérdida de energía de los flujos de avenida y está dividida en dos superficies de 57 y 227 ha. El segundo dique (dique 2) tiene como función principal controlar la lámina de inundación sobre la parte norte de la llanura. Por su parte, el camino asfaltado que divide la llanura de inundación recuperada está construida para actuar como vertedero en los momentos en los que el agua embalsada aguas arriba supere su cota (*Fig. 3*).

Los diferentes trabajos y estudios realizados en el arroyo del Partido han carecido de una buena y exhaustiva caracterización de la red hídrica del lugar, y en especial en momentos de avenidas torrenciales, lo que ha redundado en errores de apreciación en el funcionamiento del sistema. Este trabajo pretende aportar conocimiento sobre la multitud de pequeños desagües o caños que han entrado en funcionamiento durante los diferentes estadios que ha presentado la llanura sobre la que discurre el arroyo del Partido. También se detallará el peso específico que tienen los cauces principales en el reparto de los caudales de avenida en el lugar.

2. Material y métodos

A partir de información del terreno obtenida con tecnología LIDAR aerotransportada con resolución 1x1 m se dispone de una buena información topográfica, importante para la simulación hidráulica (Gonzalo Aranoa, 2011), a partir de la cual se han configurado los cuatro estados más representativos de la historia reciente del arroyo de El Partido. Los puntos de inflexión que separan las situaciones son las dos alteraciones antrópicas más significativas, siendo el encauzamiento de principios de los años 80 y las acciones de restauración del sistema de drenaje en 2006.

La primera situación morfológica (situación A) representa el terreno anterior al encauzamiento, y se considera a su morfología la anterior a cualquier modificación humana importante. En ella aparece el arroyo del Partido con su sección original de caño (Mintegui y Robredo, 1999) y está ausente el nuevo cono de sedimentación junto a la aldea de El Rocío. La configuración original del terreno está obtenida tras la identificación, y posterior eliminación o reproducción según el caso, de los elementos morfológicos presentes en el terreno que alteran el comportamiento hidráulico de las avenidas, ya sean de origen natural o artificial. Ello contempló la eliminación de carreteras y caminos, motas, socavaciones en cauces, el cono de sedimentación, drenajes agrícolas, etc. La implementación más importante fue el cauce del arroyo del Partido en su morfología original según geometrías obtenidas de vestigios en campo y fotografías aéreas. La segunda situación morfológica (situación B) muestra el arroyo del Partido recién encauzado y con su diseño original de proyecto. La tercera situación morfológica (situación C) representa el estado tras el paso de 25 años de avenidas torrenciales e inmediatamente anterior a la ejecución de la restauración, en la que se observa como elementos principales el encauzamiento socavado y la presencia aguas abajo del nuevo cono de sedimentación sobre la marisma del P.N. de Do-

ña. En la cuarta situación morfológica (situación D) se han incorporado las principales obras de regulación de caudales de avenida (dique 1 y dique 2). En la Fig. 4 se muestra un detalle de las diferentes morfologías de cauce comentadas.

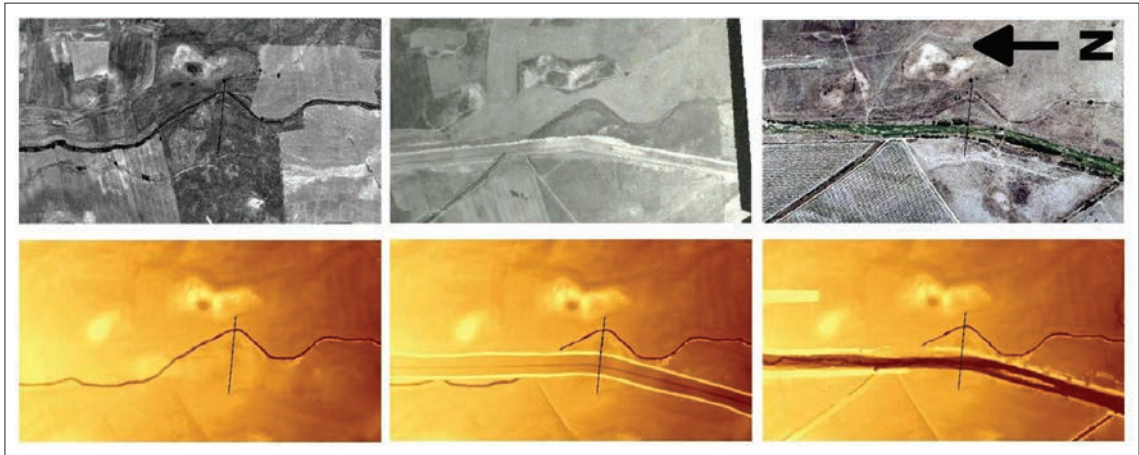


Figura 4. Detalle representativo de la morfología del arroyo del Partido en los diferentes estados representativos. Izquierda, situación A (anterior a 1981). Centro, situación B (inmediatamente posterior a 1981). Derecha, situaciones C y D (inmediatamente anterior y posterior a 2006 respectivamente).

Se ha ejecutado una simulación hidráulica en 2D configurada en el software IBER v1.9 incorporando dos hidrogramas de características diferentes. El denominado AV1 corresponde a una avenida de caudal punta $105 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y consta de un solo pico de avenida. El denominado AV2 es una avenida con tres picos de avenida que sobrepasan los $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ cuyo pico central y más importante alcanza los $258 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Estas magnitudes de evento se determinaron como eventos factibles y representativos en base al estudio de las avenidas torrenciales acontecidas en el arroyo del Partido en el periodo 1995-2010 (Hydrologic Engineering Center, 2001; Mao, 2004). También se incorporan caudales al modelo a través del caño Mayor entrando a mitad de llanura por el este.

La combinación de las cuatro situaciones bajo las dos avenidas conforman 8 diferentes escenarios que cubren de forma suficientemente amplia la dinámica de las avenidas torrenciales en el lugar (*Tab. 1*).

Tabla 1. Relación de escenarios y tiempo de ejecución de la simulación.

Escenario	Mdt base	Magnitud de hidrograma	T _{simulado} (h)	T _{cálculo} /T _{simulado}
Escenario 1	situación A	AV1	21.5	3.12
Escenario 2	situación B	AV1	21.5	1.34
Escenario 3	situación C	AV1	21.5	2.23
Escenario 4	situación D	AV1	21.5	2.53
Escenario 5	situación A	AV2	16.2	7.51
Escenario 6	situación B	AV2	16.2	3.14
Escenario 7	situación C	AV2	16.2	5.14
Escenario 8	situación D	AV2	16.2	4.55

La simulación hidrodinámica ha utilizado triángulos como elementos fundamentales de cálculo con entre 3 y 500 m de lado para evitar simplificar las formas del terreno que en la zona de estudio son tenues pero funcionalmente importantes. La simulación se ha ejecutado cada 600 s y analizado cada 1800 s en las dos avenidas.

3. Resultados

Los resultados de inundación de la simulación son satisfactorios en contraste con los eventos observados en campo en el año hidrológico 2009-2010 y con las formas características definidas por la humedad del suelo en años anteriores a 1981.

La *Fig. 5* muestra la inundación máxima en los ocho escenarios de estudio y constituye por sí misma el elemento gráfico más importante dentro de los resultados de este documento. En la *Tabla 2* se muestra un resumen de los resultados numéricos.

La superficie inundada en los escenarios 1 y 5 fue avanzada en Huelin *et al.* (2014) y la descripción de los cauces naturales quedó suficientemente detallada, aunque en esta ocasión se han ajustado los caudales tanto al régimen variable como al volumen más cercano a la realidad fluvial presente. La máxima inundación en el escenario 1 es de 600 ha, ascendiendo a 1154 ha con AV2 en el escenario 5. Los caudales punta que atraviesan una sección a la entrada del arroyo de la Cañada del Pinar ascienden a $61 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para AV1 y $113 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para AV2. Mientras que para el cauce que drena hacia el caño Marín son de 30 y $139 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ respectivamente. El caño de El Partido aporta unos modestos $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a la marisma, mientras que el caño Mayor contribuye con hasta $171 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de caudal punta.

El escenario 2 se caracteriza por la ausencia de caudales en el arroyo de la Cañada del Pinar y en los cauces secundarios de la zona centro y oeste de estudio a excepción del interior del encauzamiento del arroyo de El Partido. Según se aumenta el caudal de avenida en el escenario 6, se reactiva la circulación en el arroyo de la Cañada del Pinar, caño Marín y cauces en la zona central por desbordamientos en secciones intermedias del encauzamiento. Las superficies máximas de inundación son de 241 ha (con gran aportación del caño Mayor) y 709 ha respectivamente. Los caudales punta en la desembocadura del canal artificial son de $103 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para AV1 y de $164 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para AV2. En ambos casos el tiempo de propagación de la onda de avenida en el interior del canal es muy reducido, de menos de una hora. Los caudales punta del arroyo de la Cañada del Pinar alcanzan los $44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y la salida a la marisma del caño Mayor $89 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

El escenario 3 muestra una superficie máxima de inundación de 345 ha, mientras que en el escenario 7 es de 871 ha. En el primero de ellos la superficie inundada no excede del propio encauzamiento del arroyo del Partido en la primera mitad de su recorrido. A partir de ese punto, la influencia de la presencia del nuevo cono de sedimentación es importante y se presentan multitud de áreas de inundación y cauces que rodean su perímetro. De ellos, la circulación hacia el oeste, hacia

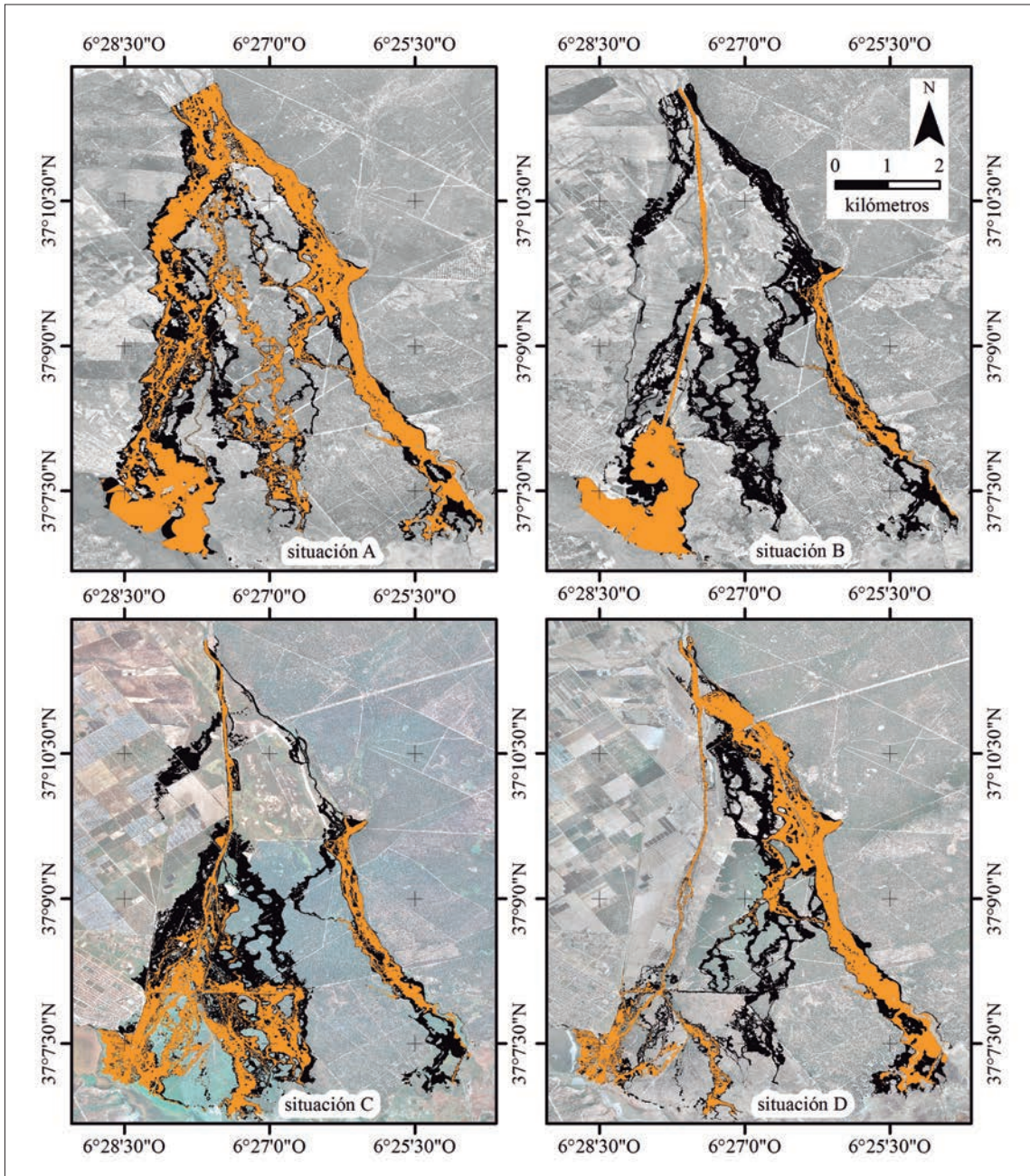


Figura 5. Superficies máximas de inundación para los ocho escenarios. AV2 en negro y AV1 en naranja superpuesta a la anterior.

la aldea de El Rocío, alcanza un caudal punta de $56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para AV1 y de $113 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para AV2. Mientras que cuenta con valores máximos de 21 y $113 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en su desagüe al este del nuevo cono de sedimentación. El aumento de caudal no reactiva de forma importante los principales cauces al norte del área de estudio.

El escenario 4 muestra una inundación máxima de 345 ha, aumentando hasta las 710 ha con el mayor de los hidrogramas en el escenario 8. Con AV1 destaca la

inundación al norte de la recuperada llanura de inundación, que aporta gran cantidad de caudales a través del arroyo de la Cañada del Pinar al caño Mayor. Se produce una bifurcación característica de los caudales que alcanzan el puente Ajolí en tres cauces que se mantienen con AV2. En este escenario 8 se activan vías de desagüe en la zona sur de la llanura de inundación recuperada, así como en el área central sur entre el nuevo cono de sedimentación y el caño Mayor, pero en este caso por aportes desde el noreste. En cuanto a los caudales punta que atraviesan las secciones características destacan los $62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ que atraviesan la sección compuesta por el camino-vertedero y el dique 2 para el escenario 4, que aumenta hasta los $203 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en el escenario 8. En la sección del puente Ajolí son 30 y $55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para cada avenida y junto al muro de protección de la aldea de El Rocío son 25 y $45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ respectivamente. El caño Mayor desagua $69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para AV1 y $233 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para AV2.

Tabla 2. Relación de resultados en los diferentes escenarios.

Escenario	Superficie máxima inundada	Q_{p-in} max Cañada del Pinar	Q_{p-in} max caño Marín	Q_{p-out} max Partido	Q_{p-out} max caño Mayor	Q_p hacia El Rocío	Q_p max camino-dique2
1	600 ha	$61 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	-	-	-	-
2	241 ha	$0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$103 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	-	-	-
3	345 ha	-	-	-	-	$56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	-
4	345 ha	-	-	-	$69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
5	1154 ha	$113 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$139 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$171 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	-	-
6	709 ha	$44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	-	$164 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$89 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	-	-
7	871 ha	-	-	-	-	$113 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	-
8	710 ha	-	-	-	$233 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$203 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

4. Discusión

La inundación para la menor de las avenidas simuladas en la situación original muestra ya la importante activación de las zonas que drenan al caño Marín. Pero más significativo es aún comprobar que el aumento del caudal de avenida no supone un aumento de la superficie inundada del eje Pinar-Mayor, sino que el flujo utiliza los espacios entre la variedad de pequeños caños en el centro y oeste del área de estudio. La repartición de caudales asimismo muestran que un 58 % del caudal punta de entrada drena por el eje oriental dejando un 29 % al eje occidental (hacia el caño Marín). El aumento de caudal total hace que estos porcentajes de reparto varíen y los caudales punta simulados sean un 45 y 55 % respectivamente para los cauces principales. Esto denota que los flujos de avenida en el lugar en la configuración del terreno sin alterar muestran preferencia de drenaje hacia el caño Mayor, el cual pierde importancia con el aumento de caudales en favor del caño Marín. El caño Marín se convierte en el principal desagüe de las avenidas para caudales punta elevados. Al

disminuir la inundación en el lugar con la recesión de la avenida, se vuelve a una preferencia por la circulación por el eje Pinar-Mayor. El volumen desaguado por el caño de El Partido con su sección original es anecdótico y no interviene de forma remarcable en la dinámica de inundaciones de esta gran llanura o gran cono de sedimentación.

Con el encauzamiento recién construido los caudales punta menores de $197 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ son transportados en el interior del mismo y la aparición de desbordamientos se dan por encima de ese valor. La inundación máxima se reduce un 60 % para AV1 y un 40 % para AV2 respecto los dos escenarios sin antropizar, por lo que la concentración de los caudales circulantes es notoria. La condición de lecho fijo del modelo hidrodinámico no simula el transporte de sedimentos durante las avenidas que se dieron en aquellos años. Por lo tanto, es posible que tras las primeras avenidas de caudales pequeños el encauzamiento se socavase para los siguientes eventos, o por otro lado, que vertidos sobre los muros de encauzamiento provocasen la apertura de brechas en ellos provocando mayores flujos hacia el exterior del canal que los representados en este estudio. Los desbordamientos para la mayor de las avenidas son puntuales en el entorno del pico del hidrograma y recuperan cauces principales (al norte) y secundarios (zona centro y sur) desconectados de la red hídrica con el encauzamiento. El caudal punta que llega a la marisma con AV1 es un 98 % el caudal de entrada aguas arriba. Este valor desciende hasta el 64 % del caudal punta de entrada para AV2, pero es un 37 % mayor que el caudal punta del caso con AV1.

La socavación del encauzamiento y presencia del nuevo cono de sedimentación reducen la superficie de inundación un 43 % respecto a la situación original. Esta aparente recuperación que se produce con la socavación del cauce a partir de la reducción del 60 % de la misma AV1 con el encauzamiento recién construido no es una recuperación del régimen torrencial del arroyo, puesto que en este momento el área cercana a la aldea de El Rocío se convierte en una zona de actividad geotorrencial que aún no se encuentra en equilibrio. Lo mismo para AV2 donde la pérdida de la superficie máxima de inundación con el cauce socavado es del 25 %. Menor que el 40 % visto anteriormente pero que hace llegar mayores caudales y con un tiempo de propagación menor al entorno de la aldea. Se debe tener presente entonces las implicaciones de movimiento de sedimentos que esta apreciación de recuperación de la superficie inundada puede conllevar. Los caudales que derivan hacia ambos lados del nuevo cono de sedimentación se reparten de forma que el 53 % del caudal punta de entrada se dirige hacia el muro de protección de la aldea de El Rocío, que gracias a los más numerosos desbordamientos desciende hasta el 42 % para la mayor de las avenidas, lo que supone un 102 % más en el total que en el primer caso.

Una vez implementadas en el modelo las medidas de restauración del régimen hídrico del arroyo del Partido, la pérdida de superficie respecto a la situación denominada original es del mismo orden que la situación anterior a la restauración. Esto no supone una ausencia de efecto de las medidas, porque las inundaciones se han desplazado al eje del arroyo de la Cañada del Pinar y caño Mayor. Por su parte, las inundaciones hacia El Rocío se limitan al interior del cauce del Partido socavado y los caños en el nuevo cono de sedimentación. Los caudales que llegan al entorno del

puede Ajolí con AV1 son del orden del 29 % los de entrada, por lo que suplen la función del eje oeste caño Marín en la situación original. Para esta avenida menor los caudales que pasan por el dique 2 y sobre el camino asfaltado son similares a los de la situación original, pero recoge hasta el 80 % del caudal punta de la avenida entrante para AV2. El aumento a la salida del caño Mayor en la marisma del P.N. de Doñana es un 36 % mayor que en la situación original. Esto marca una gran diferencia con los caudales circulantes en la situación anterior a las alteraciones antrópicas y han sido la principal preocupación a la hora de diseñar el reparto de caudales en el proyecto de restauración. La decisión de actuación llevada a cabo protege al cauce del arroyo del Partido de la dinámica geotorrencial de las mayores avenidas, así como es la mejor opción para hacer circular grandes caudales aguas abajo sin esperar grandes alteraciones en la morfología. Esta afirmación se fundamenta en la morfología del caño Mayor, que está conformado por un cauce de varios cientos de metros de ancho con caños entrelazados y provisto con vegetación, características de los estados de madurez de la evolución de cauces encajados (Thorne, 1999; Huelin et al., 2012).

5. Conclusiones

La extensión de la red hídrica del antiguo cono de sedimentación del arroyo del Partido en momentos de avenida es más extensa de lo que se pensaba hasta el momento y este trabajo las define en detalle en las cuatro morfologías más representativas de las últimas décadas.

En avenidas ordinarias el principal cauce era el arroyo de la Cañada del Pinar, cediendo este puesto durante las avenidas extraordinarias a las áreas inundables al oeste que drenan al caño Marín. El arroyo del Partido durante las avenidas tenía un papel residual.

Los caudales desbordados de los cauces principales en todos los escenarios tienden a recuperar las antiguas vías de desagüe del sistema, excepto en el entorno del nuevo cono de sedimentación, que ha creado un nuevo patrón de inundaciones que afecta a la seguridad de la aldea de El Rocío. La restauración ha solventado en parte este problema de seguridad geotorrencial de la población.

La configuración de modelos hidráulicos en 2D aportan gran conocimiento a la hora de proyectar obras que afectan redes hídricas complejas como las presentadas en este estudio. Ello permite definir mejor el ámbito territorial y las características fluviales de los cauces, así como mostrar aproximaciones a las alternativas de actuación planteadas.

6. Bibliografía

Gonzalo Aranoa, C. de, 2011. *Propuesta metodológica de modelación hidrometeorológica e hidrodinámica enfocada a la ordenación del riesto de inundación: aplicación a la*

- cuenca del rio Pejibaya (Costa Rica)*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Huelin Rueda, P., Robredo Sánchez, J.C., Mintegui Aguirre, J.A., Gonzalo Aranoa, C. de, García Viñas, J.I., 2012. Variaciones morfológicas durante el periodo 1982-2010 en el cono de sedimentación del arroyo del Partido, tributario a la marisma del Parque Nacional de Doñana, in: Proceedings de La 7ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Presented at the Asamblea hispano portuguesa de geodesia y geofísica, J. Zurutuza, San Sebastián, pp. 521–525.
- Huelin Rueda, P., Robredo Sánchez, J.C., Mintegui Aguirre, J.A., 2014. Geomorphological analysis and evolution of an altered floodplain drainage system. The case of the Partido Stream (Spain). *Catena* 118, 136–146. doi:10.1016/j.catena.2014.02.008
- Hydrologic Engineering Center, 2001. HEC-HMS 2.1.3, Hydrologic Modelling System.
- Mao, L., 2004. *Analisi comparative del trasporto solido di corsi torrentizi in diversi ambiti geografici*. Tesis Doctoral. University of Padova. (in italian).
- Mintegui, J.A., Robredo, J.C., 1999. *Formación del cono de sedimentación de un curso torrencial: Análisis del arroyo del Partido (Huelva)*, in: Libro Homenaje a D. Ángel Ramos Fernández. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Academia de Ingeniería de España y ETS Ingenieros de Montes UPM, pp. 1555–1567.
- Mintegui Aguirre, J.A., Robredo Sánchez, J.C., 2000. Sedimentation cone formation in a gentle-slope torrential channel. Analysis of the El Partido stream in the Parque Nacional de Doñana area. In: Dynamics of Water and Sediments in Mountain Basins, Quaderni di Idronomia Montana.
- Mintegui, J.A., Robredo, J.C., Sendra, P.J., 2003. *Avenidas torrenciales en el arroyo del Partido y su incidencia en la marisma del Parque Nacional de Doñana*. Serie Técnica. Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- Saura, J., Bayán, B., Casas, J., Ruiz de Larramendi, A., Urdiales Alonso, C., 2001. *Documento marco para el desarrollo del Proyecto Doñana 2005, Regeneración hídrica de las cuencas y cauces vertientes a las marismas del Parque Nacional de Doñana*. Ministerio de Medio Ambiente pp 201.
- Thorne, C.R., 1999. *Bank Processes and Channel Evolution in the Incised Rivers of North-Central Mississippi*, in: Darby, S.E., Simon, A. (Eds.), *Incised River Channels. Processes, Forms, Engineering and Management*. J. Wiley, Chichester; New York.
- Urdiales Alonso, C., 1996. *Cambios recientes en el tramo final del arroyo del Partido, Parque Nacional de Doñana*. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente.