

**DINÁMICA MORFOLÓGICA DE UN SISTEMA FLUVIAL SEMIÁRIDO SOMETIDO A
ACTUACIONES DIRECTAS Y CAMBIOS DE USOS DEL SUELO. EL CASO DE LA
RAMBLA DE LA CARRASQUILLA (MURCIA, ESPAÑA).**

Pedro Pérez Cutillas *, Carmelo Conesa García ** y Alba Nicolás Torres ***

* Departamento de Geografía, Facultad de Letras. Universidad de Murcia, (pedrope@um.es)

** Departamento de Geografía, Facultad de Letras. Universidad de Murcia, (cconesa@um.es)

*** Facultad de Letras. Universidad de Murcia, (alba.nicolas1@um.es)

RESUMEN

En la actualidad es difícil encontrar un sistema fluvial que conserve enteramente su dinámica natural, alterada por el hombre, que ha demostrado tener una alta capacidad para modificar dicha dinámica fluvial. La intensificación de sus acciones en cauces, riberas y llanos de inundación, dentro del ámbito mediterráneo español, ha acarreado en las últimas décadas graves consecuencias ambientales. En el caso de muchos de los sistemas fluviales efímeros de la costa murciana, como el de la Rambla de la Carrasquilla, aquí estudiado, resulta especialmente difícil mantener su equilibrio natural, ya que las actuaciones del hombre tienden a incrementar los efectos hidrogeomorfológicos producidos durante las avenidas. En el presente trabajo se analizan las principales alteraciones provocadas por acciones directas o indirectas en el cauce de la Rambla de la Carrasquilla y en su llano de inundación. Este análisis se realiza mediante la identificación de tramos diferenciados a partir de criterios básicamente geomorfológicos, aportando a modo de conclusión una breve valoración de la calidad hidromorfológica de la citada rambla.

Palabras clave: (Dinámica natural, sistemas fluviales efímeros, alteraciones de la dinámica hidrogeomorfológica).

ABSTRACT

At present it is difficult to find fluvial systems which entirely preserve the natural dynamics, humans have been shown to have a high capacity to alter that dynamic. Increasing the activities in rivers, riverbanks and floodplains within the Mediterranean area, has led in recent decades serious environmental consequences. Many of the ephemeral river systems of the Murcia coast, such as La Rambla de la Carrasquilla, is particularly difficult to maintain its natural balance, due to human actions tend to increase hydrogeomorphological effects during floods. In this paper the main changes caused by direct or indirect activities in the bed of the Rambla and their flood plain are analyzed. The analysis is performed by identifying different sections from basically geomorphological criteria, providing a brief assessment of the hydromorphological quality of La Rambla de la Carrasquilla.

Key words: (Natural dynamics, ephemeral fluvial systems, hydrogeomorphological dynamic alterations).

INTRODUCCIÓN

El agua de escorrentía es, junto con la actividad geológica interna, el factor que más influye en la evolución del relieve (Catalán Lafuente, 1987). Cuando discurren de forma torrencial, las aguas fluviales son capaces de desarrollar un enorme potencial erosivo y producir cambios morfológicos de primera magnitud. En el Sureste español es frecuente este tipo de escorrentía, debido a las condiciones ambientales que reinan en dicha región: precipitaciones escasas, muy irregulares e intensas, fuertes aguaceros que suceden a largos períodos de sequía, escasa cubierta vegetal y acusadas pendientes impuestas por las Cordilleras Béticas. Se trata, en definitiva, de corrientes efímeras de alta energía y corta duración, conocidas con el nombre de avenidas, que a menudo terminan desbordando el cauce principal (flash floods). Para la prevención y mitigación de estas avenidas se ha incrementado, desde el último tercio del siglo XX, el número de proyectos de restauración forestal y corrección hidrológica. Tales actuaciones tienen como finalidad reducir la erosión de los cursos altos de cabecera, ralentizar la velocidad de la corriente, favorecer la infiltración de agua en el suelo y disminuir la magnitud de los caudales punta. Como consecuencia se producen una serie de ajustes morfológicos que afectan globalmente a los sistemas fluviales y que guardan estrecha relación con variaciones en la geometría hidráulica del cauce, los procesos de erosión y sedimentación, y los flujos sedimentarios (carga de fondo y en suspensión) (Conesa García y García Lorenzo, 2007).

La peligrosidad de los sucesos hidrológicos extremos y la fuerte tradición agraria de la región ha hecho que muchas de las obras hidráulicas realizadas en los dos últimos siglos tengan aquí una doble función: de defensa contra inundaciones y de regulación de caudales para el riego. La propia infraestructura de regadío, integrada por azarbes, acequias y canales, se ha venido utilizando simultáneamente para la distribución del agua y para su contención y laminación. Los embalses construidos en la Cuenca del Segura durante los siglos XIX y XX desempeñan de forma clara ambas funciones, modificando profundamente la dinámica y morfología de los espacios fluviales a los que afectan. Más recientemente recibe un gran impulso la construcción de diques longitudinales orientados a la protección de los núcleos de población frente a las inundaciones, así como encauzamientos de largos tramos fluviales, como el del río Segura entre La Contraparada (Alcantarilla) y su desembocadura en Guardamar, completado en 1981. En todos estos casos, prima el objetivo de reducir de forma significativa la probabilidad de desbordamientos y defender así a las poblaciones y

bienes frente a las grandes crecidas. En cambio, apenas se contemplan los problemas que pueden causar la alteración de las condiciones naturales de los ríos y la progresiva artificialización del paisaje fluvial. En esta etapa, las sucesivas innovaciones tecnológicas en materia ingenieril conllevan al diseño de nuevos dispositivos hidráulicos y la utilización de nuevos materiales. Proliferan las obras de acondicionamiento y actuación directa sobre el espacio fluvial, tanto en ríos como en cauces efímeros (localmente conocidos como ramblas). Ya en las últimas décadas, coincidiendo con un momento de reivindicación de la protección del medio ambiente y la calidad de vida, empiezan a aparecer las primeras voces que reclaman el establecimiento de una nueva política de actuación a partir de la sustitución de los dispositivos hidráulicos convencionales por otros más respetuosos con los ecosistemas fluviales. Ello obliga a idear medidas de protección contra inundaciones que sean compatibles con otras destinadas a la recuperación del estado más natural posible de los cursos fluviales (Roset Pagés et al., 1999).

Los efectos de estas medidas de actuación en cuencas y cauces de la vertiente mediterránea española se dejan sentir especialmente en forma de ajustes morfológicos dentro de sus espacios fluviales. Según consta en el documento de Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente y la Universidad Politécnica de Madrid (González del Tánago, 2007), estos ajustes, asociados a cambios también significativos del régimen hidrológico, son resultado tanto de impactos directos en el cauce como de presiones indirectas sobre la cuenca o el propio sistema fluvial aguas arriba. Tales cambios morfológicos pueden ser provocados por procesos de desnaturalización hidrológica, que afectan parcial o globalmente a la cuenca o al curso de agua (modificaciones en el volumen, régimen de aguas, magnitud y frecuencia de avenidas, entre otros). A ellos se suman también los efectos causados por la alteración de los flujos sedimentarios y la reducción del carácter funcional de la llanura de inundación como consecuencia de intervenciones que rompen la continuidad longitudinal y transversal del espacio fluvial.

Muchos estudios destacan la influencia de los cambios de usos del suelo y de las prácticas agrícolas en la alteración de las condiciones de escorrentía superficial (Ludwing, 1992; De Roo et al., 1995). En concreto, abundan las referencias a las ventajas que ofrecen las terrazas de cultivo y determinadas técnicas para la implantación, conservación y mejora de la cubierta vegetal natural en relación con la protección del suelo frente a la erosión hídrica (Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1992; Belmonte Serrato et al. 1998; Paz González y Taboada Castro, 1998; Romero

Díaz, 2007). Por el contrario, son más escasos los trabajos sobre la efectividad de las obras de corrección hidrológica y de control de la erosión. En particular, los referidos a la efectividad geomorfológica de los diques de retención de sedimentos tienen generalmente un carácter local y suelen tratar sobre los efectos producidos aguas arriba y abajo de dichas estructuras más que sobre los ajustes morfológicos e hidrológicos del todo el sistema fluvial (García Ruiz et al., 1985; Martínez Castroviejo et al., 1990; Brandt, 2000; Romero Díaz, 2007). Estudios más recientes llevados a cabo en la vertiente mediterránea española, y particularmente en el Sureste Peninsular, han puesto de manifiesto que son muchos y variados los efectos morfológicos producidos por estas obras, llegando en ocasiones incluso a poner en peligro su propia estabilidad (Conesa García y Perez Cutillas, 2014).

Desde que en 1992 Pulido Bosch analizara el impacto ambiental de los diques de retención en la vertiente sur de Sierra de Gador (Almería), han proliferado, dentro de dicho ámbito mediterráneo, los trabajos sobre las funciones de los diques transversales y sus posibles repercusiones en los sistemas fluviales a los que afectan (Boix-Fayos et al., 2007; Conesa García et al., 2007; Conesa García y García Lorenzo, 2009; Bombino et al., 2014; Zema et al., 2014). Por parte de la Administración Hidráulica española también ha habido en los últimos años un cierto interés por este tipo de temas que ha desembocado en la puesta en marcha de determinadas iniciativas de restauración fluvial. En relación con el área de estudio puede citarse, por ejemplo, el “Proyecto de mejora ambiental de la rambla de la Carrasquilla”, adjudicado a AYESA por la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS-AYESA, 2010), dentro del marco de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos en la Demarcación Hidrográfica del Segura.

El principal objetivo del presente trabajo consiste en estudiar los efectos morfológicos provocados por diversas actuaciones humanas en la rambla de la Carrasquilla. Éste es un curso de agua efímero desarrollado bajo condiciones semiáridas que desde hace varias décadas ha sufrido cambios muy significativos en los usos del suelo de la cuenca vertiente y una intensa intervención directa sobre su cauce y lecho de inundación. En una primera parte de este artículo se describen los aspectos funcionales de las obras de drenaje transversales y de protección contra posibles desbordamientos y la erosión de los márgenes. La efectividad global de las actuaciones no depende, en este caso, sólo de la utilidad de las estructuras instaladas en el cauce, sino también de múltiples factores referidos a la cuenca. Estos factores hacen alusión por un lado a las condiciones ambientales de la misma y a las

características geomorfológicas del curso; y por otro, al tipo de obra (diseño, estructura y materiales empleados) en relación con la corriente y con la utilidad deseada. Finalmente, se examinan los efectos geomorfológicos que tienen las diversas actuaciones llevadas a cabo en cada uno de los tramos y su importancia relativa dentro del curso fluvial, lo que permite un análisis de las repercusiones que se originan en estos sistemas fluviales semiáridos cuando se ven sometidos a una fuerte presión antrópica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio de la rambla se han diferenciado tres tramos basándose en criterios de homogeneidad morfológica, y en los tipos de actuaciones y estructuras que afectan al cauce y a su lecho de inundación. La delimitación de estos tramos coincide a su vez con vías de comunicación distantes unas de otras, que cortan el curso de agua en estos tres segmentos. El estudio realizado se centra en la descripción y funcionalidad que tienen las obras y actuaciones ubicadas en el espacio fluvial de la rambla, así como en la identificación de los distintos tipos de alteración morfológica asociados a cada obra y actuación. La identificación de estas alteraciones se ha llevado a cabo según la “Estrategia Nacional de Restauración de Ríos” (González del Tánago, 2007), documento que identifica tanto las alteraciones que obedecen a actuaciones estrictamente directas, como las actuaciones en las que intervienen actuaciones directas e indirectas (Tabla 1).

Además se ha tenido en cuenta la influencia de los cambios en los usos del suelo, como actuaciones indirectas, responsables de alteraciones del sistema fluvial (deforestación, reforestación, degradación de suelos, cambios de cultivos). Con el objetivo de facilitar la descripción de los procesos geomorfológicos observados se ha estructurado el análisis del cauce en tres tramos (tramo superior o de cabecera, tramo medio y tramo inferior). Para referenciar en el texto las diferentes intervenciones llevadas a cabo, éstas se han enumerado consecutivamente, precedidas del código ‘US’ cuando se trata de usos del suelo que afectan la dinámica fluvial; y de la letra ‘E’ en el caso de las estructuras. Como estructuras más comunes, reconocidas a lo largo del cauce, figuran traviesas (ET), puentes (EP), escolleras (EE), muros (EM) y alcantarillas (EA). Además cabe señalar dos importantes actuaciones directas: el levantamiento de un dique o mota de tierra longitudinal (M) en el tramo medio y la construcción de un vado (V) en el tramo inferior.

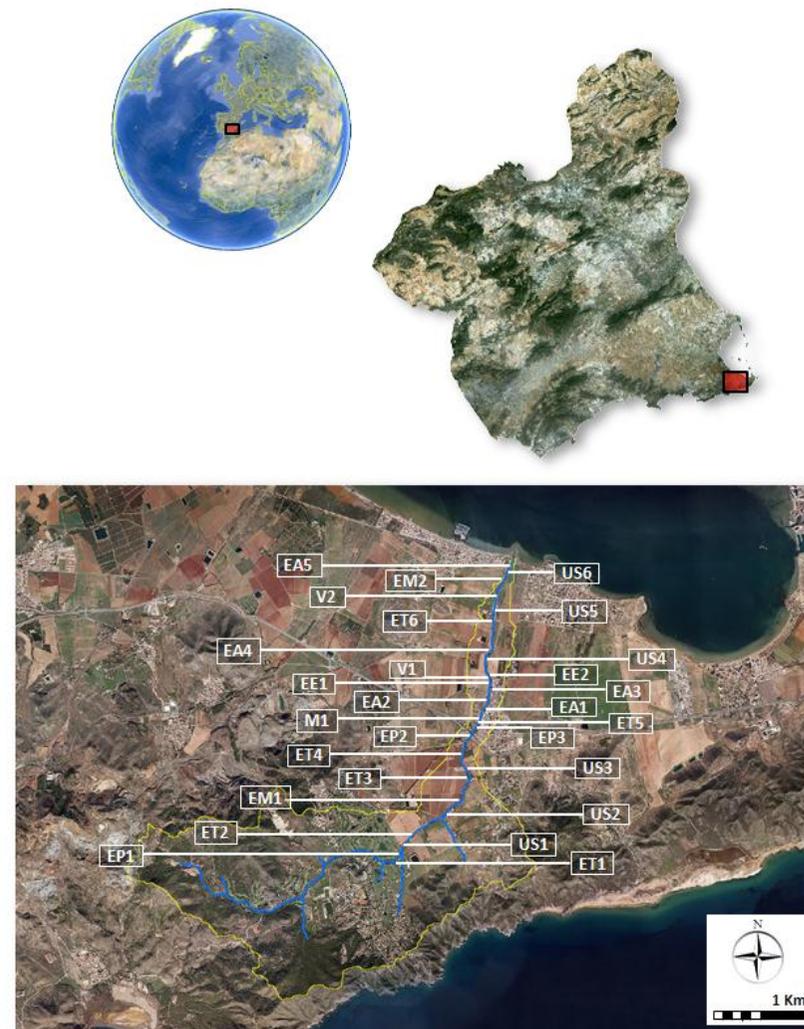
Tabla 1. Tipos de alteraciones geomorfológicas observadas en los espacios fluviales. Fuente: Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, Estrategia Nacional de Restauración de Ríos (2007).

Alteración	Tipo de actuación
Alteración sobre la forma del cauce	Directa
Alteración sobre el fondo del lecho y la dinámica longitudinal	Directa
Alteración sobre las márgenes y la dinámica lateral	Directa
Alteración por deterioro de las riberas	Directa
Alteración por desnaturalización hidrológica	Directa e indirecta
Alteración por limitación de flujos sedimentarios	Directa e indirecta
Alteración por reducción en la funcionalidad de la llanura de inundación	Directa e indirecta
Alteración por deforestación	Indirecta
Alteración por reforestación	Indirecta
Alteración por degradación	Indirecta
Alteración por cambios de cultivos	Indirecta

Área de Estudio

La cuenca vertiente de la rambla de la Carrasquilla ocupa parte de la superficie de los municipios de Cartagena y de La Unión, en la comarca suroriental de la Región de Murcia (España). Las coordenadas UTM del Huso 30 N en el Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989 (ETRS89) sitúan el inicio de su curso en el punto X: 694369; Y: 4162540, y su extremo final de desembocadura en la localización X: 696388; y: 4169139 (Figura 1). Este paisaje pertenece a un ambiente semiárido, frágil y complejo, caracterizado por una escasa precipitación media anual (300 mm), un régimen pluviométrico irregular, lluvias torrenciales, largos periodos secos, fuerte insolación, elevada evaporación (ETP media anual superior a 800 mm), balance hídrico deficitario, escasez de vegetación natural y cursos de agua efímeros (Conesa García, 1990); en definitiva, un medio particularmente vulnerable a los procesos de erosión hídrica y a las alteraciones promovidas por la acción humana. La escasez de agua limita el desarrollo de una cubierta vegetal protectora frente a la erosión, en tanto que el carácter torrencial de las lluvias y las corrientes efímeras aumentan de forma

Figura 1. Área de localización. Descripción de los tramos y codificación de las actuaciones y estructuras analizadas.



considerable el potencial erosivo en la zona (Conesa García, 1989). La cuenca vierte sus aguas directamente al mar, formando en su desembocadura un pequeño delta en el Mar Menor. En dicha área confluyen dos vías pecuarias: la Colada del Mar Menor y la Colada de la Carrasquilla. Cuenta con una superficie vertiente de 28,46 km² y un perímetro de 25,3 km, de lo que se infiere un índice de compactidad de 1,33. Sus usos del suelo son básicamente cultivos de regadío (38%), matorral (19%), terreno improductivo (20%) y coníferas (15%) y espacio urbano (8%) (CHS-AYESA, 2010). El espacio urbano (8 % restante) corresponde al núcleo de Los Belones, localizado en el tramo medio de la cuenca, y a la reciente urbanización de Atamaría, desarrollada en la zona de cabecera, en torno a La Manga Club de Golf. Hasta el año 1.972 el caserío de Atamaría se hallaba diseminado en una zona agrícola y minera. A partir de esa fecha, la construcción de un gran complejo de golf (367 ha), convertido actualmente en uno de los resort más importantes de Europa, y la decadencia de la agricultura de secano y la minería, le han llevado a convertirse en un área deportiva y residencial de primer orden. A ella pertenece la urbanización de Las Lomas Village, que todavía hoy está creciendo. El aumento de la superficie edificada en estos terrenos anteriormente ocupados por matorrales y cultivos ha supuesto un incremento del coeficiente de escorrentía y una menor disponibilidad de sedimentos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de las actuaciones: características y funciones

Para la interpretación de los efectos de las alteraciones morfológicas generadas en el cauce se presenta la tabla 2 que muestra el resumen de la correspondencia entre códigos e intervenciones descritas en el punto anterior.

Tramo alto de cabecera. Este tramo se halla profundamente modificado debido a la construcción de diversos tipos de estructuras en el entorno fluvial y, sobre todo, a los intensos cambios recientes que han experimentado los usos del suelo en la zona de cabecera. Estas actuaciones han desempeñado un papel muy importante en la actividad geomorfológica de la rambla, ya que modifican las características del régimen hidráulico de las avenidas en los tramos inferiores. La construcción de un campo de golf, así como las acciones de dragado y limpieza del cauce, la instalación de puentes con drenaje insuficiente, el revestimiento de los márgenes con muros de

protección y las parcelas de cultivos bajo plástico adyacentes a la rambla, componen el conjunto de estructuras y actuaciones más representativas dentro de este tramo.

El Campo de Golf La Manga Club, que se comenzó a construir en 1972, constituye la actuación más importante en la zona de cabecera (US1) (Figura 2). Sus instalaciones ocupan gran parte del área de recepción de las aguas pluviales en dicha zona. Dedicadas a usos turísticos, de ocio, de recreo y deportivos, han supuesto desde su construcción un fuerte incremento de la superficie impermeable, y con ello, un aumento significativo del coeficiente de escorrentía. En su recorrido por el Campo de Golf la rambla de la Carrasquilla es salvada por una serie de puentes de hormigón y piedra seca con un único vano de desagüe (EP1), de dimensiones no siempre suficientes para evacuar las aguas de escorrentía. Los cultivos bajo plástico jalonan todo el llano izquierdo de la rambla a lo largo del tramo. Se trata de distintos tipos de cultivos de porte bajo (hortalizas principalmente) que ocupan gran extensión (US2 y US3). Tanto los terrenos compactados que forman la densa red de caminos del Campo de Golf, como los sistemas de cultivo en acolchado y bajo plástico que ocupan parte de la llanura de inundación y de las superficies de glacis disecadas por la red fluvial han incrementado de forma sustancial las tasas de escorrentía en las últimas décadas.

Por último, cabe señalar la influencia, aunque local, que ejerce el muro de protección del margen derecho (EM2) sobre los flujos sedimentarios que circulan por el cauce en época de avenidas. Éste forma un muro de revestimiento, con obra de mampostería, y tiene como finalidad mantener la estabilidad del citado margen, pero impide la incorporación de sedimentos a la corriente a lo largo de la zona protegida.

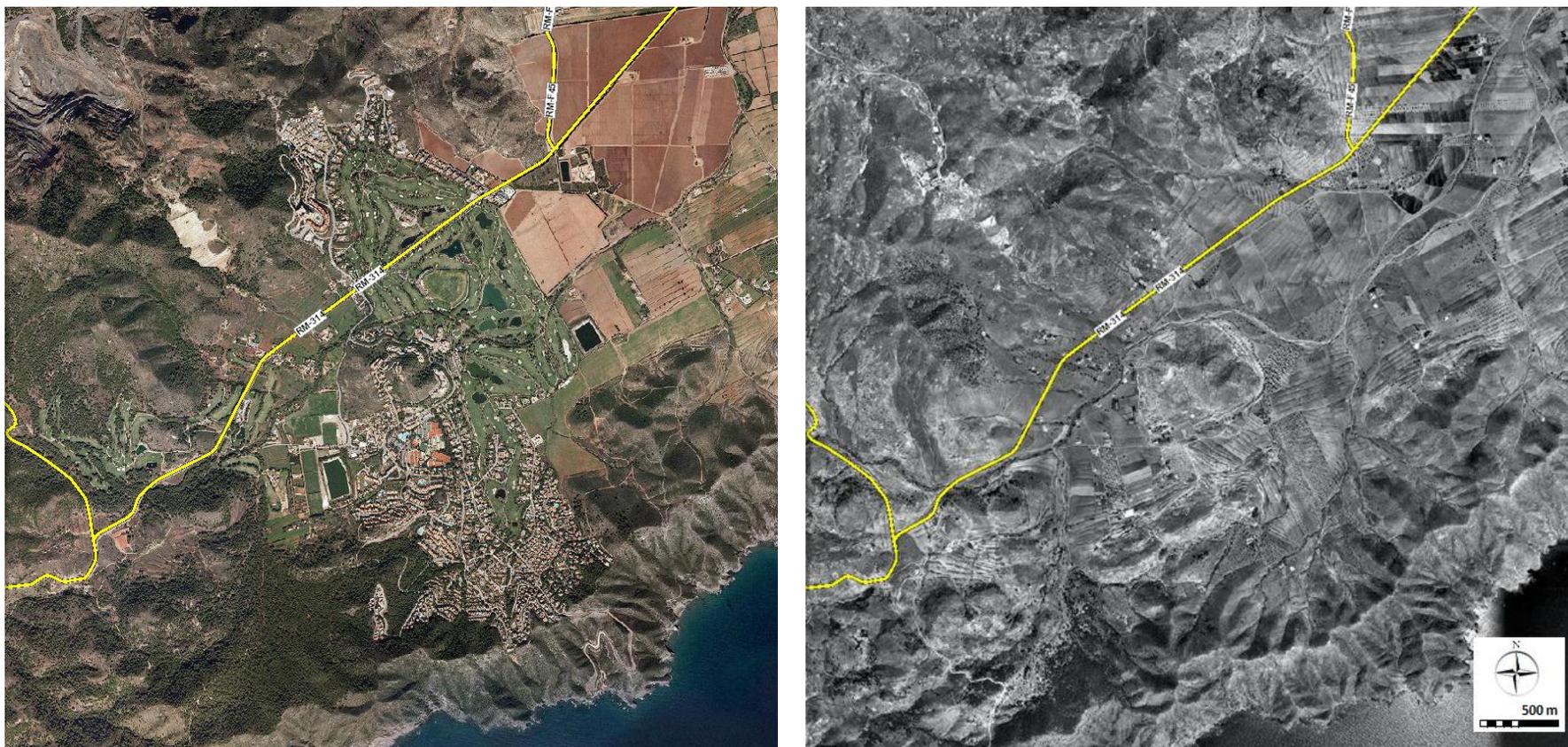
Tramo medio. Éste es el tramo con mayor número y tipos de intervenciones de toda la rambla. En conjunto, se han contabilizado doce actuaciones, nueve directas sobre el propio cauce y tres indirectas, relativas a cambios de usos agrícolas del suelo. Entre las estructuras predominan las alcantarillas de desagüe superficial. Los puentes son más escasos, pero, a pesar de su mayor capacidad hidráulica, implican ajustes morfológicos también importantes. La primera estructura transversal que atraviesa la rambla de la Carrasquilla en este tramo aguas arriba es el puente de la autovía de La Manga RM-12 (EP2). Éste tiene una anchura de 15 m y se compone de tres vanos con dos alineaciones de columnas de 2,5 m de altura. Los márgenes bajo el puente están protegidos por escolleras de piedra seca dispuestos en escalones, que ofrecen gran resistencia a la erosión producida por las aguas de avenida.

Tabla 2. Descripción de las actuaciones indirectas (A) y estructuras (E).

Tramo	Estructura	Descripción
Alto	ET1	Travesía de gaviones con vegetación (0,65 m de altura)
	US1	Campo de Golf La Manga Club
	ET2	Travesía de gaviones con escollera lateral, en mal estado (2 m de altura)
	EP1	Puentes de hormigón y piedra seca con un único vano de desagüe
	US2 y US3	Distintos tipos de cultivos de porte bajo en antiguos llanos de inundación
	ET3	Travesía de gaviones, en buen estado (1 m de altura)
	EM1	Muro de protección del lecho derecho de inundación
	ET4	Travesía de gaviones con escollera lateral, en mal estado (1 m de altura)
Medio	EP2	Puente de la autovía de la Manga RM-12
	EP3	Puente de acceso al núcleo de Los Belones sobre la rambla de la Carrasquilla, solera de hormigón
	ET5	Travesía de gaviones con escollera de protección (1 m de altura)
	M1	Margen derecho de la rambla recrecido mediante una mota de tierra
	EA1, EA2 y EA3	Alcantarillas tipo caja que actúan como clapetas devolviendo al cauce de la rambla las aguas recolectadas en el lecho de inundación
	V1	Vado de la carretera local de acceso oeste a Los Belones (4 m de desnivel)
	EE1	Escollera lateral formada por roca y hormigón
	EE2	Escollera en el margen derecho de la rambla para protección de terreno agrícola
	US4	Superficie agrícola bajo plástico en glacis y lecho de inundación de la rambla de la Carrasquilla
	EA4	Doble alcantarillado construido en el fondo de la rambla de la Carrasquilla
	ET6	Travesía de gaviones con escollera, en mal estado (0,5 m de altura)
US5	Cultivos arbóreos en el lecho de inundación izquierdo de la rambla de la Carrasquilla	
Bajo	V2	Vado de la carretera local RM-F54 con tubos de desagüe
	EM2	Muro de protección con estructura de mampostería situada en el margen izquierdo de la rambla de la Carrasquilla
	US6	Cultivos intensivos de plantaciones de regadío de limoneros situados en el lecho de inundación izquierdo de la rambla de la Carrasquilla
	EA5	Alcantarilla caja con desagüe de un solo tubo situado en el margen derecho del cauce

[Fuente: Elaboración propia]

Figura 2. Transformación del área de cabecera de la rambla por la construcción del Complejo de Golf La Manga Club. Imagen derecha, año 1956 vuelo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), imagen izquierda, año 2009 vuelo del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).



[Fuente: Elaboración propia]

Aguas abajo cruza la rambla otro puente, dotado de tres vanos y dos pilastras, que sirve de acceso al núcleo de Los Belones (EP3). Las pilastras están protegidas mediante una plataforma de cimentación con hormigón armado, que se prolonga hasta la salida de dicha estructura. Este tipo de solera, que habitualmente es utilizada para la disipación de energía del agua al pie de estructuras con resalto hidráulico (Sainz Borda et al., 1987; Almazán Garate y Palomino Monzón, 2000), tiende a favorecer aquí el desarrollo de formas de erosión local y progresiva.

A continuación, el margen derecho aparece recrecido mediante una mota de tierra larga y continua (M1), sobre la que discurre una carretera y que separa el cauce principal de la rambla respecto del llano de inundación adyacente a dicho margen. La valla instalada como elemento protector para los viandantes puede obstaculizar ligeramente el flujo lateral de desbordamiento. A lo largo de este tramo existen tres alcantarillados caja de desagüe único (EA1, EA2 y EA3), localizados a lo largo del margen izquierdo de la rambla frente a la mota de tierra, y su construcción se basa en una estructura de hormigón protegida a su vez con piedra seca en su perímetro de salida. En cuanto a su funcionalidad, estas estructuras de drenaje permiten evacuar, en época de avenidas, el agua proveniente del tramo alto de la cuenca o del propio llano de inundación circundante que quedó aguas arriba parcialmente desconectado del cauce principal.

A poca distancia de estas estructuras ha sido construida una escollera de roca y hormigón (EE1), escollera que, tras servir de protección a una vía de comunicación, se prolonga a modo de revestimiento por el fondo del cauce. Esta obra impide la erosión local del lecho en la zona protegida, pero contribuye a acelerar los procesos de incisión inmediatamente aguas abajo. A dicho efecto se suma el producido por una brusca reducción de la carga sedimentaria por causa de la disposición transversal de la carretera, que actúa como dique de retención. Sucede a ésta otra escollera (EE2), situada aguas abajo en el margen derecho de la rambla, adyacente a una amplia zona de cultivos. En el llano de inundación opuesto predominan los cultivos bajo plástico (US4), que constituyen un importante factor generador de escorrentía superficial, imprime una mayor velocidad a la corriente e incrementa aguas abajo el caudal punta de avenida.

En la parte final del tramo medio merece destacar la construcción de un doble alcantarillado en el fondo del lecho de la rambla (EA4), que permite evacuar

parte de las aguas de avenida para su posterior aprovechamiento en el riego de las parcelas colindantes. Por último, el lecho de inundación izquierdo se halla ocupado por cultivos arbóreos cercados por un vallado (US5), que pueden ejercer de obstáculo a la corriente en caso de avenidas extremas.

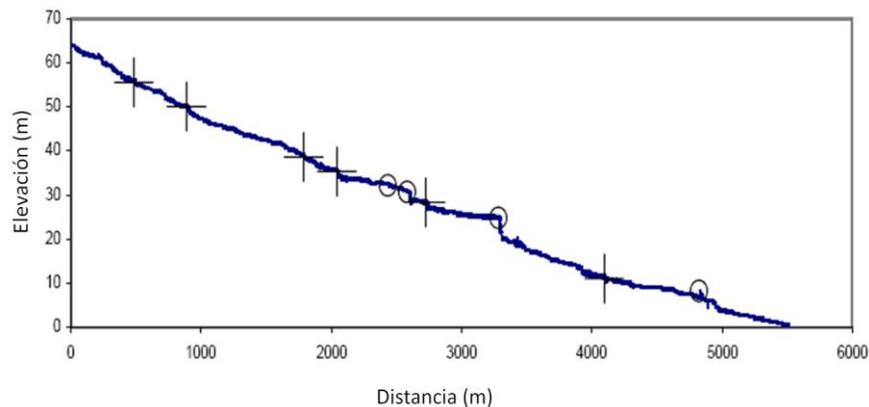
Tramo bajo. Es el tramo más corto y apenas cuenta cuatro tipos de intervenciones, entre obras y cambios de usos del suelo; y, sin embargo, presenta un alto grado de alteración morfológica, ya que a sus efectos se añaden los desencadenados por las modificaciones impuestas en los tramos superiores. La primera de estas actuaciones la constituye el sistema de drenaje de la carretera RM-F54 situada en la parte inicial del tramo. Se trata de un alcantarillado (V2) compuesto por cinco tubos de un metro de diámetro y un cuenco de amortiguación con pequeño resalto hidráulico débil, que ha generado un leve cambio de base en el lecho. A la salida de esta obra, aparece un muro de protección con estructura de mampostería (EM2), que permite mantener la estabilidad del margen izquierdo del cauce e impide la erosión de las tierras de riego circundantes (US6). Y por último, una alcantarilla en caja (EA5), permite la salida de la corriente aguas abajo derivándola hacia los terrenos de cultivo para terminar finalmente circulando, a modo de aguas residuales, por un canal de desagüe situado paralelamente a la rambla.

Alteraciones morfológicas del cauce asociadas a actuaciones directas y cambios en los usos del suelo

Modificación del perfil longitudinal de la rambla. La rambla de la Carrasquilla, como la mayoría de las ramblas de la vertiente mediterránea española, tiene un perfil longitudinal relativamente recto, al contrario que los cursos de agua permanentes, cuyo perfil es más bien cóncavo. La pendiente regular constante de dicho perfil está en parte relacionada con la gran permeabilidad que suele presentar el lecho de estos cursos efímeros. A ello contribuye el predominio de material detrítico grueso y los procesos de acorazamiento del lecho. No obstante, el extraordinario dinamismo de las formas del lecho asociado a avenidas extremas tipo flash-floods confiere a éstas un comportamiento geomorfológico imprevisible, especialmente activo. Para controlar la erosión del lecho se han construido diversas traviesas, pero tales estructuras constituyen una intervención dura de fijación local del lecho (Figura 3), que ha terminado por producir una notable alteración morfológica, con formas de acreción sedimentaria aguas arriba y pozas o remansos aguas abajo.

Los cambios más bruscos observados en todo el perfil se deben a los vados de carreteras que atraviesan la rambla en su tramo bajo. En concreto, el vado de la carretera local de acceso oeste al núcleo de Los Belones presenta una parte enrasada con la cota del lecho aguas arriba y un salto de 4 m aguas abajo. Estos pasos de carretera sobre el cauce han actuado durante muchos años como barreras transversales a los flujos sedimentarios hasta quedar totalmente colmatados. Durante dicho proceso de relleno, la corriente que desborda la rasante de la carretera ha ido excavando inmediatamente aguas abajo una gran poza cuya erosión se extiende en dirección a la desembocadura, estableciendo un nuevo perfil de equilibrio en este tramo. El vado inferior, con tubos de desagüe (tajeas), localizado cerca de la desembocadura, todavía no ha sido colmatado, de modo que su nivel de coronación sigue estando por encima de la cota actual del lecho. Además de estas variaciones, se observan otras irregularidades morfológicas puntuales en el perfil (puntos salientes, tramos de fondo plano, etc.), que no parecen ser efecto de obra alguna, sino de controles geológicos estructurales locales.

Figura 3. Perfil longitudinal de la rambla de Carrasquilla, con indicación de las traviesas (cruces) y los puentes y vados (círculos).



[Fuente: Elaboración propia]

Cambio del modelo de cauce. El cauce de la rambla de la Carrasquilla ha sufrido durante las últimas décadas un importante cambio morfológico en planta, pasando de un modelo mixto trenzado y poco sinuoso con barras aluviales alternas a un modelo de cauce único algo más encajado (Figuras 4, 5 y 6). En la fotografía aérea del vuelo USDA 1956 se distingue un corredor fluvial de escasa sinuosidad y gran anchura, con abundante material aluvial de fondo. Los depósitos del lecho aparecen configurados aquí en forma de barras alternas, puntuales y oblicuas, bien desarrolladas en torno a los márgenes convexos interiores. Localmente, en los tramos de cauce más ancho, los depósitos se hallan entrelazados, probablemente por ser éstos los sectores con mayor pérdida de carga hidráulica y con más alta concentración de sedimentos gruesos.

A medida que ha ido aumentando la presión antrópica sobre la cuenca y el propio sistema fluvial, el modelo de cauce ha experimentado ajustes morfológicos cada vez más significativos. Con cambios de usos del suelo tan palpables como los producidos en la zona de cabecera y en los llanos de inundación, y con las duras actuaciones estructurales ya descritas, realizadas en el cauce, la incisión del lecho se ha convertido en un proceso dominante de la dinámica morfológica de esta rambla (Conesa García y Pérez Cutillas, 2014). Prácticamente en todo su recorrido se observan síntomas de erosión lineal y encajamiento que apenas han sido amortiguados por los efectos de las traviesas. En particular, abundan los tramos de cauce donde el material aluvial superficial del fondo ha sido desmantelado, permitiendo así el excavado del sustrato limo-arcilloso subyacente.

Alteraciones morfológicas dominantes en cada tramo fluvial

Tramo alto: de un modelo de cauce trenzado a un incremento de los procesos de incisión. En este tramo se pueden constatar cinco tipos de alteraciones morfológicas. En primer lugar, la alteración morfológica del cauce por cambios en los usos del suelo y actuaciones directas producida por la actuación US1. La construcción del Complejo de golf constituye el principal factor de alteración de la dinámica natural de la rambla. El aumento de la superficie de suelo sellado (impermeabilizado) por edificaciones y zonas pavimentadas, la roturación de amplias superficies de vegetación

Figura 4. Tramo medio y bajo, comprendido entre la intersección de la rambla con la autovía de la Manga RM-12 (junto a Los Belones) y el Mar Menor. (a) Fotografía aérea de 1956 (USDA). (b) imagen 2009 (PNOA). Los recuadros I y II enmarcan los sectores detallados en las figuras 5 y 6 respectivamente.

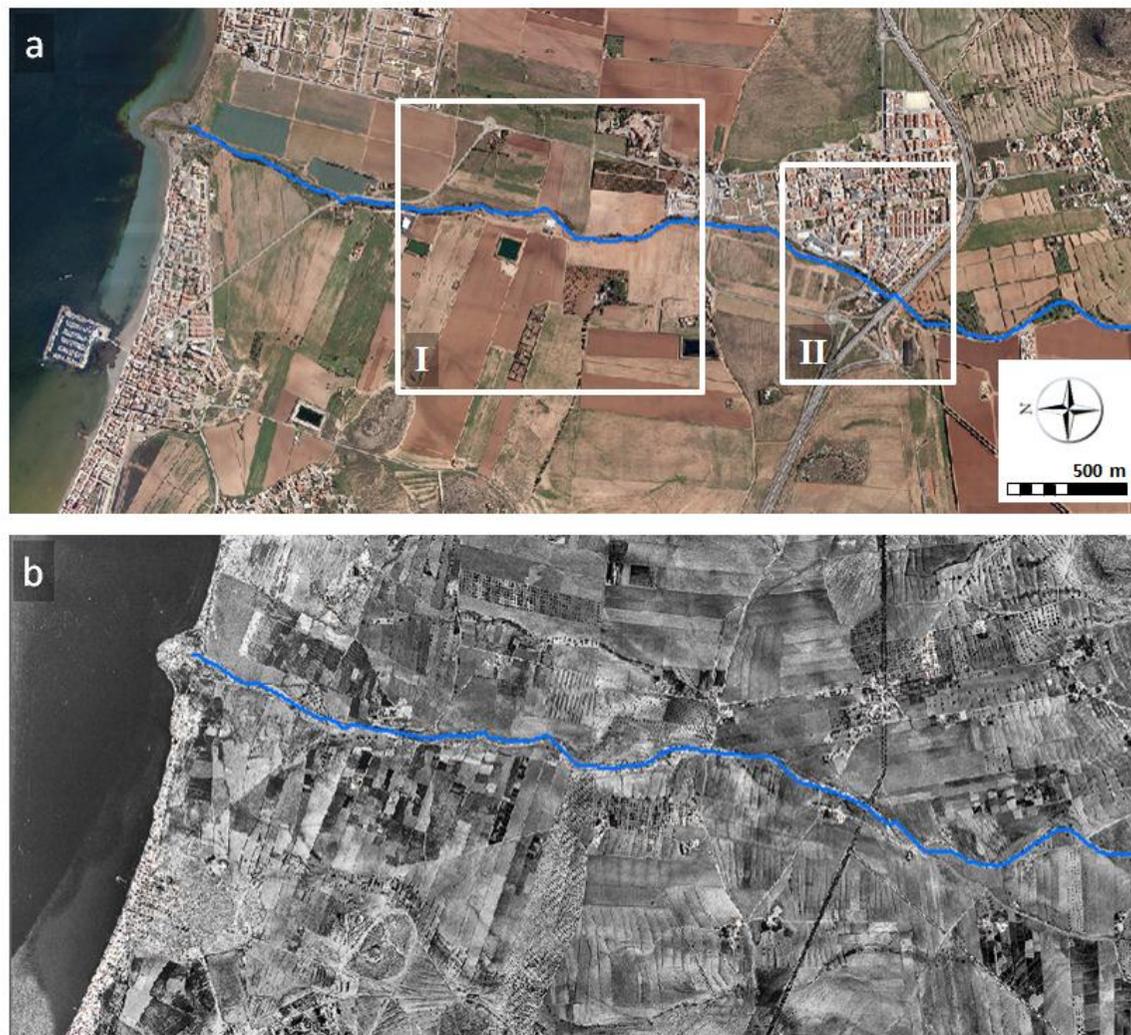
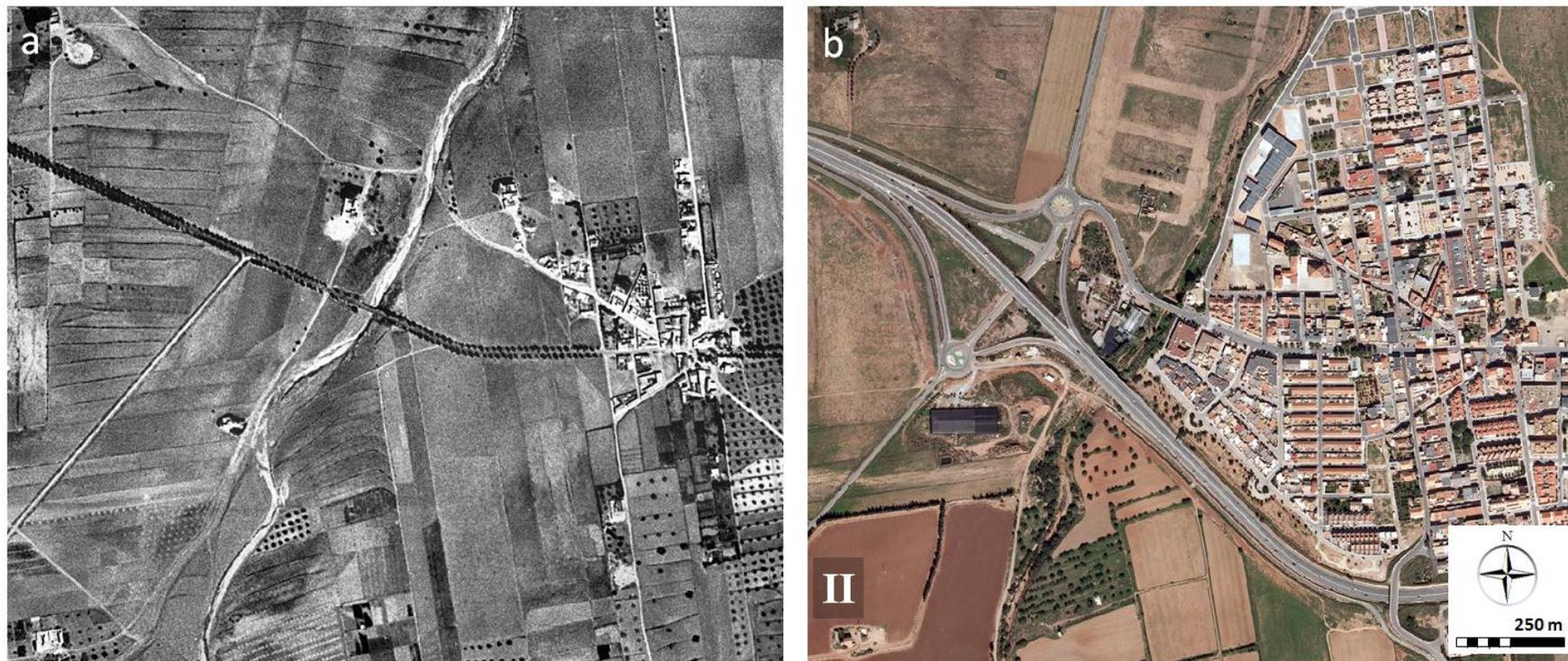


Figura 5. (a) Fotografía aérea de 1956 (USDA), que representa un tramo algo sinuoso con presencia de barras alternas o ligeramente trenzadas. (b) Imagen 2009 (PNOA), donde el mismo tramo se muestra un cauce más definido y estrecho.



Figura 6. Tramo junto a Los Belones: (a) Lecho sin vegetación y con abundante material aluvial (Fotografía aérea de 1956, USDA). (b) Cauce más entallado con densa vegetación arbustiva y arbórea en los márgenes (Imagen de 2009, PNOA).



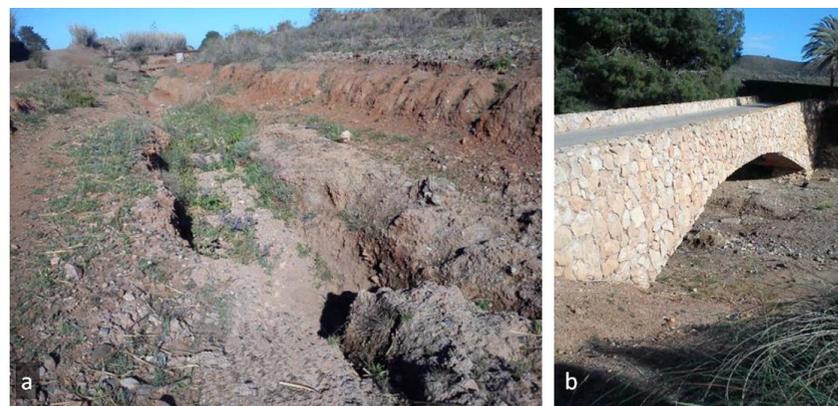
[Fuente: Elaboración propia]

natural, junto con los dragados y las extracciones de áridos llevadas a cabo durante el período de construcción del citado complejo, son las acciones que han generado los cambios geomorfológicos más palpables. A ellas se debe, aguas abajo, una importante reducción de la carga sedimentaria de la corriente, así como el incremento de los caudales punta, la alteración de la secuencia resalte-pozas y de los mecanismos de transporte de fondo, que acusan el aumento de la velocidad del flujo, y favorecen los procesos de erosión vertical y socavación (Figura 7a).

En segundo lugar, se han constatado efectos de alteración por actuación estrictamente directa sobre el fondo del lecho y la dinámica longitudinal producidos por la infraestructura EP1 (puente de vano único). Esta estructura transversal no sólo rompe la continuidad del cauce, sino que también altera particularmente la dinámica longitudinal y la topografía del lecho incrementando aguas abajo los procesos de incisión. Además esta estructura altera la variación granulométrica gradual de los materiales, los procesos geomorfológicos locales y la colonización vegetal dentro del cauce. A tales efectos geomorfológicos se suman también los procesos de acreción vertical del lecho favorecidos por la escasa capacidad de desagüe de dicho puente (Figura 7b). Con la acumulación de material aluvial a la entrada del vano, puede llegar a producirse un taponamiento total o parcial, que obligue a la corriente a desbordar los márgenes del cauce principal en este punto.

Como consecuencia del efecto combinado de dichas actuaciones, el cauce principal ha experimentado un cierto encajamiento en todo el tramo; incluso un pequeño llano de inundación existente al final del mismo ha perdido gran parte de su actividad geomorfológica. En el caso de la US1, el acondicionamiento del terreno para su utilización como campo de golf y complejo turístico ha aumentado muy considerablemente la superficie impermeable de la zona de cabecera y, por tanto, su coeficiente de escorrentía superficial. Ello ha supuesto, inmediatamente aguas abajo, durante los sucesos de avenidas, un claro incremento de la energía hidráulica, con la consiguiente reactivación de los procesos de erosión vertical (figura 7a) y el rebajamiento de la cota del lecho respecto al llano de inundación. La función de este llano como superficie de laminación del caudal punta ha pasado a ser irrelevante en avenidas ordinarias y tampoco es significativo en sucesos hidrológicos extremos. De esta forma, la energía de la corriente se concentra en el cauce principal y el llano de inundación colindante deja de ser geomorfológicamente activo (se interrumpe el proceso de acreción sedimentaria vertical y lateral).

Figura 7. (a) Aparición de nuevas formas de incisión del lecho debido al aumento de superficie de suelo sellado originado por la construcción del Campo de Golf. (b). Acreción vertical del lecho asociada a actividades de extracción y remoción de materiales con motivo de dicha instalación.



[Fuente: Elaboración propia]

La EP1 invade parte del lecho activo de inundación, restando a éste funcionalidad y ocasionando localmente efectos similares a la actuación US1. Y por último, US2 y US3, que ocupan zonas de glaciares y antiguos lechos de inundación episódica, tienen una menor repercusión sobre la dinámica del flujo en avenidas ordinarias. Debido a su mayor encajamiento, el cauce apenas sufre desbordamientos. La disposición trenzada que éste presentaba a principios del siglo XX ha sido reemplazada por superficies de cultivo terrazadas, demasiado altas como para ser inundadas. Sólo la arroyada procedente de un drenaje lateral secundario se ve afectada por dicho uso agrícola antes de alcanzar el cauce principal, lo que hace aumentar, en este caso, el tiempo de infiltración en el suelo, controlar la escorrentía y frenar el inicio de formas de erosión (Belmonte Serrato y Romero Díaz 1992).

Finalmente, un claro ejemplo de alteración por actuación directa sobre la forma del cauce lo constituyen los efectos producidos por la EM1 en la parte final del tramo alto. Se trata de un espigón de mampostería (Figura 8a) diseñado como

elemento de rectificación y concentración de los flujos de avenida. Su emplazamiento en el margen izquierdo restringe la movilidad del cauce en dicha dirección, de modo que la parte derecha queda más expuesta al drenaje secundario. En concreto, pequeños cauces naturales afluyen por este margen no confinado tras recoger las aguas laminadas a través del llano de inundación. Su nivel de base en el punto de afluencia queda colgado más de un metro por encima del lecho de la rambla, confirmando así la clara tendencia a la incisión del cauce principal en las últimas décadas (Figura 8b).

Figura 8. (a) Rectificación del cauce mediante espigón longitudinal en la margen izquierda. (b) Pequeño tributario de la margen derecha, con nivel de base colgado respecto a la cota del talweg principal.



[Fuente: *Elaboración propia*]

El ajuste morfológico más destacado atribuible a este conjunto de actuaciones es la modificación del modelo de cauce en planta. Sin duda, se ha pasado de un trazado braided (trenzado), promovido por una alta carga sedimentaria, a un único canal de escorrentía concentrada, cuya formación se halla acompañada de otros ajustes también significativos: incremento de la pendiente longitudinal e incisión del lecho, evacuación rápida de los materiales erosionados en el cauce y estabilización de depósitos laterales que adoptan la forma de pequeñas terrazas, aparentemente inactivas.

Tramo medio: interrupción de la continuidad natural lateral y longitudinal del cauce. En el tramo medio se han constatado diversas alteraciones geomorfológicas por causa de actuaciones directas, que han provocado una disminución de la carga sedimentaria, la reducción del grado de funcionalidad de la llanura de inundación, cambios en la dinámica lateral del cauce y en el perfil longitudinal del lecho.

1. Un tipo de actuación directa con especial efecto en los procesos de erosión y transporte fluvial es la construcción de escolleras. En concreto, como estructura EE1 se identifica una escollera 'colocada' que sirve de protección a uno de los márgenes. Su función de revestimiento, unido a la proximidad de una carretera aguas arriba, que actúa como estructura transversal y trampa de sedimentos, impide el suministro local de materiales aguas abajo, haciendo disminuir la carga de sedimentos y favoreciendo los procesos de incisión en el tramo inmediatamente inferior.

2. El impacto morfosedimentario más común a lo largo de este tramo se debe a la supresión total o parcial del carácter funcional de la llanura de inundación. La mayoría de las actuaciones llevadas a cabo aquí (EP2, EP3, M1, EA1, EA2, EA3, EE2, US4 y US5) tienen dicho efecto. En el caso de EP2 son los estribos laterales del puente los que, al prolongarse mediante terraplenes en parte de la llanura de inundación, interrumpe el flujo de las aguas desbordadas en grandes avenidas, obligando a éstas a circular por el cauce principal a mayor velocidad. Aguas abajo el cambio geomorfológico es drástico, ya que el cauce se hace más profundo y estrecho, y los llanos de inundación reciben escasos o nulos aportes sedimentarios. La concentración de la corriente, y el consiguiente aumento de su energía y competencia en el transporte, provocan a la salida del puente un importante lavado superficial de los materiales del lecho, que deja al descubierto los más gruesos. Se inicia aquí un rebajamiento de la cota del lecho, que se extiende aguas abajo por erosión progresiva, hasta provocar el descalzamiento de la siguiente estructura (EP3), particularmente significativo en su parte central. La estructura EP3 consiste en un puente que ocupa también parte de la llanura de inundación y prolonga los efectos morfológicos iniciados en EP2.

La relevación del margen derecho de la rambla mediante la construcción de una mota de tierra (M1), interrumpe la continuidad lateral del cauce principal con la llanura de inundación, dejando a ésta desconectada de los flujos de avenida. Esta mota sirve de defensa contra posibles inundaciones, pero restringe considerablemente

las funciones naturales de la llanura de inundación colindante, en especial las de laminación de caudales-punta y disipación de energía en época de avenidas, y la de sedimentación de materiales finos y nutrientes en dicho espacio. Su construcción no solo ha supuesto un aumento de la peligrosidad aguas abajo o en la margen opuesta, sino también un claro incremento, en caso de rotura, de los daños potenciales en la zona protegida. Los efectos geomorfológicos son muy variados, entre ellos la aparición de formas de erosión, recubiertas o no por depósitos de acreción vertical en el llano de inundación no protegido, el incremento de los procesos de erosión lineal frente al predominio de la erosión lateral de épocas pasadas (Figuras 9a y 9b), asociado a una mayor concentración del flujo, y cambios apreciables en la textura y disposición de los depósitos aluviales. Sin embargo, la llanura de inundación protegida en la margen derecha apenas ha sufrido procesos geomorfológicos, de modo que su superficie se mantiene prácticamente intacta. En el margen no relevado por motas se han instalado una serie de alcantarillas tipo caja (estructuras EA1, EA2 y EA3), que actúan como clapetas para devolver al cauce de la rambla las aguas recolectadas en el lecho de inundación. Su escasa capacidad de drenaje apenas produce cambios morfológicos en el interior del cauce, ni tampoco impide el desbordamiento del margen izquierdo cuando sobrevienen grandes avenidas. Y por último, las superficies de cultivos bajo plástico, en acolchado (actuaciones US4 y US5), también restan funcionalidad, aunque en menor grado, a la llanura de inundación sobre la que se asientan. En este sentido, las estructuras de plástico muestran cierta rugosidad que hacen aumentar el nivel de la corriente bajo condiciones de régimen hidráulico subcrítico y escasa velocidad. En algunos casos, la disposición de pequeños aterrazamientos de cultivos implica un retorno más lento de las aguas de desbordamiento y, por tanto, un incremento del tiempo de permanencia del agua en el suelo y de la infiltración (Belmonte Serrato y Romero Díaz 1992).

3. Cabe mencionar asimismo las alteraciones morfológicas debidas a actuaciones estrictamente directas sobre los márgenes y la dinámica lateral de la rambla (M1, EA1, EA2, EA3 y EE2). Algunas de estas actuaciones van dirigidas a la protección de los márgenes frente a la erosión lateral de la corriente. Este es el caso de la escollera (EE2) colocada en el margen derecho de la rambla para impedir que la erosión progrese en dicha dirección y termine destruyendo los terrenos agrícolas colindantes. Dicha estructura proporciona estabilidad lateral al cauce, pero obliga a reconducir los procesos de erosión hacia los sectores no protegidos aguas abajo, compuestos por materiales granulares de escasa cohesión. En tales sectores se constatan claros síntomas de incisión en el lecho y un ensanchamiento del cauce por

erosión lateral en el margen cóncavo situado a la salida de la escollera. El trazado en planta de este tramo gana estabilidad pero el lecho sufre un excavado local cuyos efectos sobre la pendiente longitudinal del cauce se extienden aguas abajo y arriba en busca de una nueva situación de equilibrio.

El sistema de alcantarillas (EA1, EA2 y EA3) puede considerarse también un tipo de actuación directa sobre la dinámica fluvial lateral, ya que modifica la morfología original del margen al que afectan, a pesar de protegerlo parcialmente mediante revestimientos de mampostería. Este tipo de actuaciones son efectivas ante sucesos hidrológicos menores pero no suelen soportar caudales de avenidas ordinarias en fase de bankfull o cauce lleno (Modrick y Georgakakos, 2014) (Figura 9c).

4. Las alteraciones y ajustes morfológicos del lecho y, por tanto, de su dinámica longitudinal aparecen en muchos casos relacionados con actuaciones directas (EP2, EP3, EE1, EA4). EP2, en concreto, es un puente, cuya estructura rompe en parte la continuidad longitudinal del cauce, afectando a la pendiente del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, los procesos geomorfológicos locales y los patrones de colonización vegetal en taludes próximos. Bajo este puente puede observarse un descalzamiento de los pilares centrales (Figura 9d), sometidos a una mayor concentración del flujo de avenida. A esta incisión del lecho contribuyen, además, las obras realizadas aguas arriba para la rectificación del cauce (EE1). Aguas abajo, estos efectos se suman a la erosión local producida por el puente EP3 (Figura 9e).

La interrupción de la llanura de inundación por el diseño de ambas infraestructuras (EP2 y EP3) restan a ésta gran capacidad de laminación de las aguas de avenida, de modo que la corriente se ve obligada a circular por el cauce principal con mayor altura y profundidad. Como consecuencia se produce un drástico cambio en la geometría hidráulica local y un claro incremento de la erosión lineal inmediatamente aguas abajo. Los efectos de las traviesas (e.g. ET5 y ET6) (Figura 9f) y de los obstáculos puntuales (e.g. EA4) situados en el fondo del cauce son menos significativos, pero también se suman a la modificación del perfil longitudinal de la rambla y de las características texturales de los materiales del lecho.

Tramo bajo: ajustes de los flujos y formas sedimentarios. Este tramo presenta también importantes desajustes morfológicos, muchos de ellos locales y otros globales, como consecuencia de actuaciones directas e indirectas concretas, que afectan parcial o totalmente al lecho y a la dinámica longitudinal del cauce. Un ejemplo

Figura 9. a) Cauce en proceso de incisión con márgenes abruptos colgados que denotan el predominio de la erosión lateral en etapas anteriores. b) Detalle de la fotografía anterior. c) Rebajamiento de la cota del lecho y readaptación de la geometría del cauce bankfull. d) Erosión local aguas abajo del puente de la autovía de la Manga RM-12 evidenciada por el descalce de las pilastras. e) Socavamiento del lecho al pie de la solera de hormigón que sirve de cimentación al puente de acceso al núcleo de Los Belones. f) Efectos morfológicos de las traviesas sobre el lecho.



[Fuente: Elaboración propia]

de este tipo de intervención lo constituye la estructura V2, obra transversal al cauce que rompe la continuidad longitudinal de éste, modificando localmente las formas de erosión y de sedimentación del lecho. A la insuficiente capacidad de drenaje de las alcantarillas se unen, en este caso, los efectos de su taponamiento parcial o total (Figura 10a) producido por los arrastres sólidos en época de avenidas: relleno sedimentario progresivo del cauce y desbordamiento de los márgenes cada vez más frecuente.

Otras estructuras (EM2 y EA5) tienen efectos directos sobre los márgenes del cauce y la dinámica fluvial lateral. Dichas obras tienen como función principal frenar la erosión lateral, estabilizar el cauce e impedir el retroceso de los márgenes. Con ellas se intenta también proteger los terrenos llanos circundantes ocupados generalmente por cítricos a llanura. La disposición, extensión y altura de los muros de revestimiento que forman tales estructuras obligan a concentrar el mayor gasto de energía de las aguas de avenida en torno al propio lecho, promoviendo el desarrollo de procesos de incisión en el tramo protegido (Figura 10b) y trasladando aguas abajo los problemas de erosión lateral.

Tradicionalmente la erosión de los márgenes se ha considerado un riesgo y un problema en los corredores aluviales, aunque no hubiera bienes humanos amenazados (Ollero Ojeda et al., 2011). Ello parece estar relacionado con el empleo generalizado del término “erosión” como sinónimo de “pérdida de terreno”, sin tener en cuenta que el material perdido se moviliza y desplaza hacia otro lugar (Piegay et al., 1997). Hoy día, esta percepción tradicional, de signo negativo, está siendo reconsiderada. Cada vez se valora más el carácter insostenible de muchas protecciones de margen, con los problemas de incisión asociados que provocan y sus importantes costes económicos. Son ya muchos los estudios que resaltan los aspectos positivos de la erosión de los márgenes en la dinámica fluvial, en los ecosistemas, en el aporte de sedimentos y en la auto-restauración de los cauces (Bravard et al., 1999). De hecho, la renaturalización de los cauces con un corredor fluvial ancho y erosionable constituye hoy día una de las soluciones más económicas y seguras (Piegay et al., 2005). No debe olvidarse que la fijación o estabilización de un cauce dinámico supone siempre una pérdida enorme, en ocasiones irreversible, de patrimonio natural.

Las actuaciones indirectas llevadas a cabo en este tramo afectan en menor grado al funcionamiento natural de la rambla y restan influencia sólo parcialmente a su llanura de inundación. Destaca, dentro de este grupo de actuaciones, la ocupación del

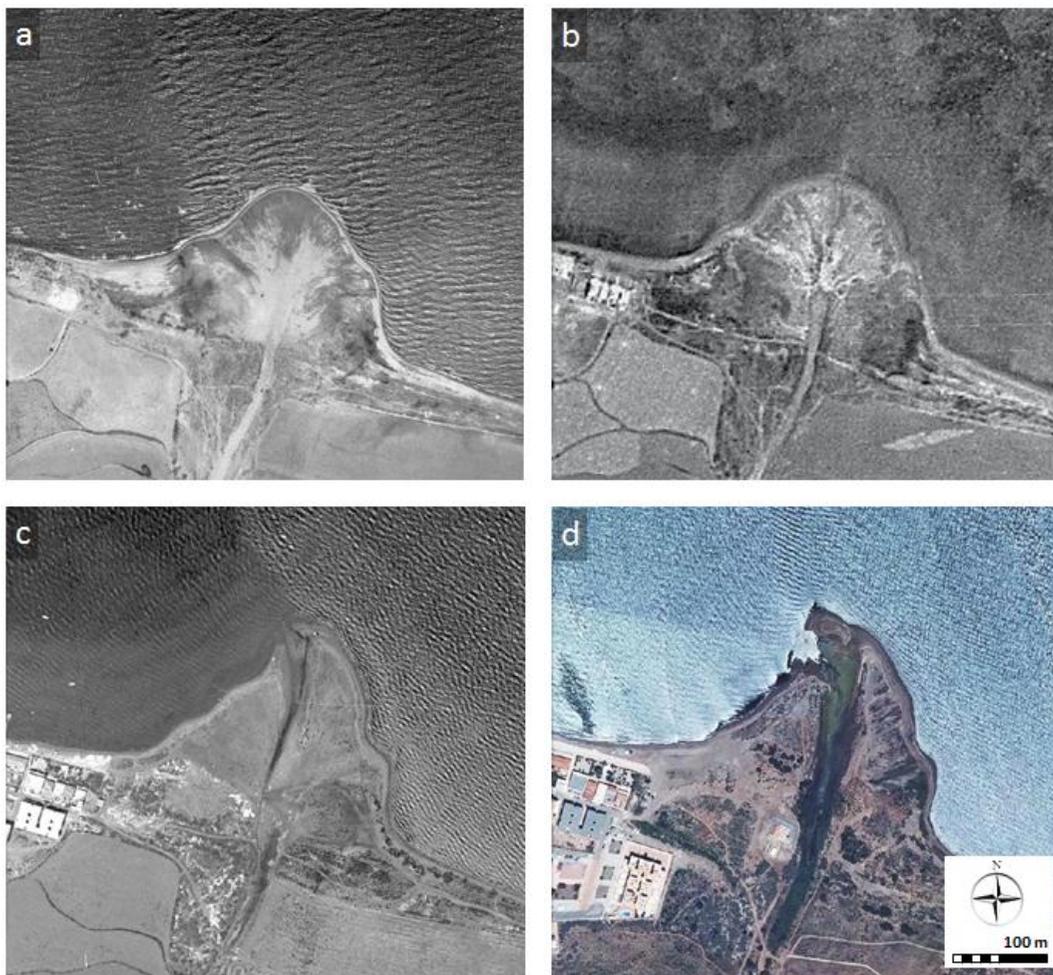
llano izquierdo de inundación por cultivos bajo plástico (US6). Estos cultivos se distribuyen en hileras transversales a la corriente, separadas por pasillos muy espaciados, que, en caso de desbordamiento, reconducen el agua lentamente hacia el cauce. En conjunto, incrementan de forma considerable la rugosidad de la llanura de inundación que ocupan y hacen disminuir en gran medida la velocidad de los flujos de avenida sobre dicha superficie.

Figura 10. a) Taponamiento las alcantarillas de la carretera local RM-F54 por sedimentos y rastrojos transportados en épocas de avenidas. b) Tramo con efectos de erosión asociados a la construcción aguas arriba de un muro de protección.



Aguas abajo, en la desembocadura, la rambla ha formado un delta, cuyas dimensiones, ciertamente apreciables, son un claro indicador de haber transportado una importante carga de sedimentos. En 1928 el delta era mayor que el actual y con una morfología diferente. El color claro del material aluvial y la forma de abanico con derrame en todas direcciones a modo de “cône d’épandage” (que hace pensar de nuevo en materiales gruesos) es muy diferente del delta alargado actual, desarrollado en torno a un cauce más ancho y rectilíneo, cuyos tonos ocres reflejan la presencia de limos y arcillas. Muy probablemente, el posible agotamiento del material aluvial grueso en la rambla, asociado a las múltiples actuaciones directas y cambios de usos del suelo llevados a cabo desde mediados del siglo XX, ha provocado la falta de aportes de partículas de ese tamaño a la formación deltaica. El resultado es un delta en proceso de retrogradación que está cambiando su forma en abanico por la de punta de flecha (Figura 11).

Figura 11. Evolución del delta de la rambla de la Carrasquilla en el Mar Menor. a) Fotografía aérea, Vuelo Ruiz de Alda, 1928. b) Fotografía aérea, Vuelo USDA, 1956. c) Fotografía aérea, Vuelo Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, 1981. d) Imagen PNOA, 2013.



[Fuente: Elaboración propia]

CONCLUSIONES

Tras el análisis de las actuaciones realizadas en la rambla de la Carrasquilla y de sus principales efectos geomorfológicos pueden establecerse las siguientes conclusiones: Se trata de un curso de agua efímero, cuya morfología global y local ha sido intensamente alterada por la acción del hombre. En general, a lo largo de la rambla se constatan veinte intervenciones, a las que corresponden diferentes tipos de alteraciones hidrológicas y geomorfológicas. Una de las alteraciones más comunes y reiterativa, en este sentido, es la pérdida de funcionalidad de la llanura de inundación. Gran parte de los llanos de inundación están ocupados por extensas superficies de cultivos bajo plástico o cultivos de huerta baja y arbórea que incrementan la rugosidad superficial frente a los flujos de avenida. Los alcantarillados caja de desagüe único y los puentes interrumpen parcialmente, a través de sus estribos y terraplenes, las llanuras de inundación episódicas. Existen otro tipo de actuaciones más drásticas que suponen un mayor grado de alteración morfológica, por cuanto afecta al sistema fluvial de forma global. Este es el caso de la instalación del campo del golf, el cual supone un fuerte incremento de la superficie impermeable y, con ello, un aumento significativo de la escorrentía y de la erosión aguas abajo. Al tratarse de una importante y extensa actuación llevada a cabo en la cabecera de la cuenca, sus efectos trascienden a todo el curso de la rambla aguas abajo.

Otro tipo de alteración, responsable de cambios morfológicos muy notorios, viene impuesto por actuaciones estrictamente directas sobre el propio cauce (los márgenes y la dinámica lateral), como es el caso de las limpiezas de vegetación marginales y la instalación de estructuras (viarias e hidráulicas) que afectan al lecho y a la dinámica longitudinal (construcción de puentes a lo largo de la rambla) y otras actuaciones como dragados y extracción de áridos, obras de rectificación del cauce, traviesas y escolleras de protección.

Los flujos sedimentarios y las formas de deposición, así como el ritmo de acreción vertical dentro o fuera del cauce principal ha sufrido también en las últimas décadas una gran alteración. Así lo demuestra el incremento de los procesos erosivos reactivados en el tramo medio-bajo donde en condiciones naturales predominaban los procesos de transporte y sedimentación. Sin duda alguna, la roturación de vegetación natural y su sustitución por superficies de tierra compactadas y cementadas en la zona de cabecera (vertiginoso incremento de terreno sellado por la creciente urbanización

Campo de Golf La Manga) ha supuesto las modificaciones y ajustes morfológicos más acusados y globales de la rambla de la Carrasquilla en época reciente. Cuando se llevan a cabo alteraciones de este nivel, la morfología del cauce se convierte en un indicador de naturalidad de todo el sistema fluvial, de modo que conocer el grado de ajustes y cambios morfológicos producidos a lo largo del mismo puede ser de gran utilidad para evaluar su estado ecológico. El interés del presente trabajo trasciende fuera del ámbito local, ya que las situaciones y ajustes morfológicos aquí estudiados son bastante comunes en los sistemas fluviales semiáridos de la vertiente mediterránea española sometidos a una fuerte presión humana.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMAZÁN GÁRATE, J.L y PALOMINO MONZÓN M.C. (2000): Descripción, medida y análisis del oleaje. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, pp. 71.
- AYESA. (2010): Valoración del Estado Ambiental de la Rambla de la Carrasquilla. Confederación Hidrográfica del Segura.
- BELMONTE SERRATO, F. y ROMERO DÍAZ, A. (1992): "Evaluación de la capacidad e interceptación de la lluvia por la vegetación y su relación con la erosión de los suelos en el Sureste semiárido español". En F. López Bermúdez, C. Conesa García y A. Romero Díaz (Eds.) Estudios de Geomorfología en España. Sociedad Española de Geomorfología. Universidad de Murcia, Murcia 33-43.
- BELMONTE SERRATO, F. y ROMERO DÍAZ, A. (1998): "La cubierta vegetal en las regiones áridas y semiáridas: consecuencias de la interceptación de la lluvia en la protección del suelo y los recursos hídricos". Norba Geográfica, X: 9-22. Monográfico «Hidrología y Erosión de suelos». Universidad de Extremadura.
- BOIX-FAYOS, C., BARBERÁ, G.G., LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. y CASTILLO, V.M. (2007): "Effects of check dams, reforestation and land-use changes on river channel morphology: Case study of the Rogativa catchment (Murcia, Spain)". Geomorphology N° 91, pp. 103-123.

- BOMBINO, G., BOIX-FAYOS, C., GURNELL, A.M., TAMBURINO, V., ZEMA, D.A. y ZIMBONE, S.M. (2014): "Check dam influence on vegetation species diversity in mountain torrents of the Mediterranean environment". *Ecohydrology* N° 7, pp. 678-691.
- BRANDT, S.A. (2000): "Classification of geomorphological effects downstream of dams". *Catena* N° 40, pp. 375-401.
- BRAVARD, J. P., KONDOLF, G. M., y PIÉGAY, H. (1999): *Incised River Channels: Processes, Forms, Engineering and Management*, edited by Darby, S. E., and Simon, A., 303–341, Wiley, Chichester.
- CATALÁN LAFUENTE, J. y CATALÁN ALONSO, J.M (1987): Ríos caracterizados y calidad de sus aguas. *Dihidrox* (Ed.) pp. 19, 20, 37-51.
- CONESA GARCÍA, C. (1990): *El Campo de Cartagena: clima e hidrología de un medio semiárido*. Universidad de Murcia, Ayuntamiento de Cartagena. Murcia, p. 280.
- CONESA GARCÍA, C. y GARCÍA LORENZO, R. (2007): "Erosión y diques de retención en la Cuenca Mediterránea". *Edita Instituto Mediterráneo*. pp. 85-86, 106, 159.
- CONESA-GARCÍA, C., LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. y GARCÍA-LORENZO, R. (2007): "Bed stability variations after check dam construction in torrential channels (South-East Spain)". *Earth Surface Processes and Landforms*, N° 32, pp. 2165-2184.
- CONESA-GARCÍA, C. y GARCÍA-LORENZO, R. (2009): "Effectiveness of check dams in the control of general transitory bed scouring in semiarid catchment areas (South-East Spain)". *Water and Environment Journal*, N° 23, pp. 1-14.
- CONESA GARCÍA, C. y PÉREZ CUTILLAS, P. (2014): "La reciente alteración geomorfológica de los sistemas fluviales mediterráneos en la Península Ibérica. Síntomas y problemas de incisión del cauce". *Revista de Geografía Norte Grande*. N° 59, pp. 25-44.
- DE ROO, A.P.J., WESSELING, C.G., JETTEN, V.G., OFFERMANS, R.J.E YRIISEMA, C.J. (1995): *LISEM, Limburg soil Erosion Model, User Manual*, Dept. of Physical Geography, Utrecht University.
- GARCIA RUIZ, J.M y PUIGDEFABREGAS, J. (1985): "Efectos de la construcción de pequeñas presas en cauces anastomosados del Pirineo Central". *Cuadernos de Investigación Geográfica*, N° 11, pp. 91-102.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. (2007): "Las alteraciones geomorfológicas de los ríos. Estrategia Nacional de Restauración de Ríos". Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Universidad Politécnica de Madrid. pp. 14-25.
- LUDWIG, B. (1992): *Érosion par ruissellement concentre des terres cultivées du nord du Bassin parisien: analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire*. These de doctorat, Université Strasbourg-I. pp. 201.
- MARTINEZ CASTROVIEJO, R., INVAR., M., GOMEZ VILLAR, A. y GARCÍA RUIZ, J.M (1990): "Cambios en el cauce aguas debajo de una presa de retención de sedimentos". *I Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel. pp. 457-468.
- MODRICK, T.M. y GEORGAKAKOS, K.P. (2014): "Regional bankfull geometry relationships for southern California mountain streams and hydrologic applications". *Geomorphology*, N° 221, pp. 242-260
- OLLERO OJEDA, A., IBISATE, A., GONZÁLEZ DE MATAUCO, V., NAVERAC, A., DÍAZ, E., GRANADO, D. y GARCÍA, J. H. (2011): "Ríos Ibéricos +10. Mirando al futuro tras 10 años de DMA. Innovación y libertad fluvial". *VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua*, Talavera de la Reina, 2011, 4-14.
- PAZ GONZÁLEZ, A. y TABOADA CASTRO, M^a. T. (1998): "Avances sobre el estudio de la erosión hídrica". *Jornadas Internacionales sobre Erosión Hídrica*. A Coruña. pp. 20-22
- PIÉGAY, H., CUAZ, M., JAVELLE. E., MANDIER, P. (1997): "Bank erosion management based on geomorphological, ecological and economic criteria on the Galauere River, France". *Regulated Rivers: Research and Management*, N° 13, pp. 433-448.
- PIÉGAY, H., DARBY, S.E., MOSSELMANN, E., SURIAN, N. (2005): "The erodible corridor concept: applicability and limitations for river management". *River Research and Applications*, N° 21, pp. 773- 789.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) (2009): *Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA)*, Administración General del Estado (AGE) y Comunidades Autónomas. Madrid.
- ROMERO DÍAZ, A. (2007): "Diques de corrección hidrológica. Cuenca del Río Quípar (Sureste de España)". *Edita Editum*. Ediciones de la Universidad de Murcia, 2007. pp. 11-21.

ROSET PAGÉS, D., SAURI PUJOL, D. y RIBAS PALOM, A. (1999): “Las obras hidráulicas en los sistemas fluviales de la costa brava: preferencias locales y limitaciones de un modelo convencional de adaptación al riesgo de inundación”. Investigaciones Geográficas, Nº 22, pp. 79-93.

SAINZ BORDA, J.A., LIANO HERRERA, A., REVILLA CORTEZÓN, J. y ASCORBE SALCEDO, A. (1987): “Análisis del resalto hidráulico sumergido en cuenco amortiguador radial convergente”. Revista de Obras Públicas, 1987. pp. 789-794.

SAURI PUJOL, D., RIVAS PALOM, A. y ROSET PAGÉS, D. (1999): “Las obras hidráulicas en los sistemas fluviales de la Costa Brava: preferencias locales y limitaciones de un modelo convencional de adaptación al riesgo de inundación”. Investigaciones geográficas, Nº 22, pp. 81-82.

ZEMA, D.A., BOMBINO, G., BOIX-FAYOS, C., TAMBURINO, V., ZIMBONE, S.M. y FORTUGNO, D. (2014): “Evaluation and modeling of scouring and sedimentation around check dams in a Mediterranean torrent in Calabria, Italy”. Journal of Soil and Water Conservation, Nº 69, pp. 316-329.