



TESIS DOCTORAL

Dinámica hidromorfológica y  
evolución reciente (1956-2016) en la  
cuenca del arroyo de El Partido,  
Huelva, SW de España

Álvaro Lama Sánchez

Septiembre de 2020





TESIS DOCTORAL

Dinámica hidrogeomorfológica y  
evolución reciente (1956-2016) en la  
cuenca del arroyo de El Partido,  
Huelva, SW de España

Álvaro Lama Sánchez

Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional

Universidad de Sevilla

Septiembre de 2020



Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional  
Universidad de Sevilla



Tesis realizada en el Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional de la Facultad de Geografía e Historia de la Universidad de Sevilla presentada por Álvaro Lama Sánchez para optar al Grado de Doctor en Geografía (Geografía Física)

El Doctorando:

Álvaro Lama Sánchez

El Director:

Dr. César Borja Barrera  
Universidad de Sevilla

El Director:

Dr. Francisco Borja Barrera  
Universidad de Huelva

Sevilla, septiembre de 2020



*A mis padres*





## *AGRADECIMIENTOS*

Un trabajo de investigación de esta tipología no lo suele hacer un investigador solo, sino que se apoya en un grupo de personas -profesionales de la temática o no- que te van acompañando a lo largo del prolongado camino, en mi caso.

Una vez llegado a este punto, no puedo sino dar las gracias antes que a nadie a los dos directores de esta Tesis, el Dr. César Borja Barrera y el Dr. Francisco Borja Barrera, por el apoyo, la sapiencia, la confianza y la ayuda constante que me han ofrecido a lo largo de mi trayectoria profesional. Espero que su dedicación, trabajo, tesón y buen hacer hayan calado en mí. Además, quisiera reconocer con estas palabras la asistencia mostrada por ambos en estos últimos meses en los que la pandemia del COVID-19 alteró nuestros estilos de vida y afectó a personas queridas.

Al Dr. Fernando Díaz del Olmo mostrarle mi reconocimiento por sus consejos, ayudas y reflexiones a lo largo de todos estos años.

Gracias a todos y cada uno de los miembros del grupo de investigación Cuaternario y Geomorfología así como del Grupo de Trabajo Estudios Tropicales y Cooperación al Desarrollo, especialmente al Dr. Rafael Cámara Artigas, al Dr. José Manuel Recio Espejo y al Dr. José Antonio Caro Gómez.

A la Dra. Miriam Fernández Núñez, la Dra. Pilar Díaz Cuevas y a D. Juan Luis Muriel (D.E.P.) les agradezco su acompañamiento en las salidas de campo en los inicios de este trabajo de investigación. Mi reconocimiento también al resto de “zuleros” de los departamentos de Geografía de la Universidad de Sevilla.

También me gustaría dejar constancia de mi gratitud a todos los compañeros del Centro de Estudios Universitarios Cardenal Spínola CEU, especialmente a los miembros del equipo directivo –Dra. Beatriz Hoster, Dr. Mauricio Carrillo y Dr. José Eduardo Vílchez-, a los componentes del área de Ciencias Sociales –Dr. Fernando Gabardón y Dña. María José Carmona- y a la responsable de Prácticas y TFM del MAES –Dña. María Dolores Nieto Gómez-.

Por supuesto agradeceré siempre el apoyo y ánimo mostrado por mi familia: a mi compañera de vida, Marta, muchas gracias por todo; a los tres tesoros

que revolucionan mi existencia, Álvaro, Irene y Natalia, os quiero. Reconocimiento inmenso a mis padres, Manuel y Pepi, por el esfuerzo y sacrificio que hicieron para que sus hijos tuvieran la oportunidad de estudiar. A mis hermanos y demás familiares, gracias por estar siempre. Amigos, siempre sentí vuestras palabras de aliento para finalizar este trabajo.

Por último, a todas y cada una de las personas que de algún u otro modo han contribuido a la finalización de esta Tesis, mi más profundo agradecimiento.

¡¡Muchas gracias a todos por todo!!

## ÍNDICE

RESUMEN	17
ABSTRACT	19

## I PARTE. PLANTEAMIENTO GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	25
1.1. PLANTEAMIENTO GENERAL	25
1.2. ANTECEDENTES	29
1.2.1. El proyecto Doñana 2005	29
1.2.2. El proyecto <i>Seguimiento de las obras de recuperación hídrica de la marisma del Parque Nacional de Doñana, efectuadas dentro del proyecto Doñana 2005</i>	36
1.2.3. El Proyecto <i>Análisis de riesgos geomorfológicos y evaluación de procesos de erosión en la cuenca de El Partido</i>	37
1.3. ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTO Y OPORTUNIDAD	40
2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL DE REFERENCIA	47
2.1. EL SISTEMA FLUVIAL	47
2.1.1. La aproximación hidrogeomorfológica	47
a) Noción de sistema fluvial	47
b) Sistema morfogenético fluvial	49
c) Cuenca como sistema	51
d) El sistema de laderas	54
e) Caracterización morfométrica de las cuencas fluviales	59
2.1.2. Cuenca y red de drenaje	60
a) Forma de la red de drenaje	60
b) Sistema de canales	62
b.1) Según la forma del dispositivo en planta	62
b.2) Según el tipo de lecho	64
b.3) Según la forma/sección del canal	66

c) Evolución de la red drenaje	70
2.1.3. Dinámica hidrogeomorfológica	71
a) La componente hidrológica	71
b) Hidráulica del flujo: relación entre transporte y carga sedimentaria	76
c) Acciones básicas de una corriente fluvial	78
d) Formas y depósitos fluviales	81
d.1) Formas y depósitos menores	82
d.2) Formas y depósitos mayores	86
e) Sistema canal-orilla-llanura aluvial o ribera fluvial	90
2.1.4. La aproximación escalar (espacio-temporal): regionalización ecológica	93
2.1.5. La conectividad fluvial	97
2.1.6. Funciones de los ríos	101
2.1.7. Servicios ecosistémicos de los sistemas fluviales	103
2.2. RESTAURACIÓN FLUVIAL	104
2.2.1. Bases conceptuales y principios de la restauración ecológica	104
a) Concepto de ecosistema	104
b) Restauración ecológica	107
2.2.2. La restauración ecológica de sistemas fluviales	110
a) Bases de la restauración fluvial	110
b) Objetivos de la restauración fluvial	113
c) Restauración fluvial	115
d) Principios que deben regir la restauración	121
e) La desarticulación geomorfológica de los sistemas fluviales	122
f) Acciones a implementar	124
<b>3. OBJETIVOS</b>	129
3.1. OBJETIVO GENERAL	129
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	129
<b>4. METODOLOGÍA, FUENTES Y TÉCNICAS</b>	133
4.1. METODOLOGÍA	133
4.1.1. Fundamentos metodológicos	133

4.1.2. Desarrollo metodológico	135
<b>4.2. FUENTES Y TÉCNICAS</b>	<b>136</b>
4.2.1. Revisión bibliográfica	136
4.2.2. Análisis de documentación cartográfica	136
a) Cartografía histórica	137
b) Cartografía básica	137
c) Cartografía geológica	139
d) Cartografía de usos y coberturas del suelo	139
e) Otra información ambiental	140
f) Definición del modelo digital del terreno	140
4.2.3. Fotointerpretación de fotografías aéreas y ortofotos	141
a) Fotografías aéreas	141
b) Ortofotografías aéreas	141
4.2.4. Trabajo de campo	143
4.2.5. Tratamiento de datos y elaboraciones	143
<b>5. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL ARROYO DE EL PARTIDO</b>	<b>147</b>
5.1. LOCALIZACIÓN Y REGIONALIZACIÓN ECOLÓGICA	147
5.2. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO	153
5.2.1. Rasgos climáticos	153
5.2.2. Contexto geológico	155
5.2.3. El sistema de laderas	156
a) Características topográficas	156
b) Marco litológico	160
c) Rasgos edáficos	162
5.2.4. Análisis hidrográfico	162
5.3. EL ARROYO DE EL PARTIDO EN EL CONTEXTO DE LAS CUENCAS MENORES DEL SECTOR NW DE LA MARISMA	164
5.4. ÁMBITO DE ESTUDIO	166

## II PARTE. RESULTADOS: LA COMPONENTE ANTRÓPICA E HIDROGEOMORFOLÓGICA DEL SISTEMA FLUVIAL

<b>6. ELEMENTOS DE PRESIÓN ANTRÓPICA</b>	175
6.1. ANÁLISIS DE LAS TRANSFORMACIONES DE LOS USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DEL ARROYO DE EL PARTIDO Y SU ENTORNO	175
6.1.1. Los usos del suelo de la cuenca de El Partido en el contexto de las <i>cuencas menores</i>	175
6.1.2. Caracterización general de los usos del suelo en la cuenca de El Partido	181
6.1.3. Evolución de la cobertura de usos del suelo en la cuenca de El Partido	191
6.2. CARACTERIZACIÓN DE IMPACTOS EN LA RED FLUVIAL	198
<b>7. CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA HIDRO-GEOMORFOLÓGICA</b>	203
7.1. CARACTERIZACIÓN MORFOHIDROGRÁFICA	203
7.1.1. Cambios en la cuenca hidrográfica y la red de drenaje	203
a) Caracterización de la cuenca hidrográfica	203
b) Análisis de la red de drenaje	204
7.1.2. Análisis morfométrico	210
a) Conceptos básicos en morfometría fluvial	213
b) Aplicación de variables morfométricas al caso del arroyo de El Partido	216
7.2. DINÁMICA Y EVOLUCIÓN HIDROGEOMORFOLÓGICA	227
7.2.1. Tramo 1. Cárcava Alto	229
7.2.2. Tramo 2. Calancha Alto	236

7.2.3. Tramo 3. Colmenar Alto	237
7.2.4. Tramo 4. Cárcava Medio	248
7.2.5. Tramo 5. Calancha Urbano	255
7.2.6. Tramo 6. Cárcava Medio-Bajo	258
7.2.7. Tramo 7. Colmenar Medio/Bajo - Calancha Bajo	262
7.2.8. Tramo 8. Cárcava Bajo	269
7.2.9. Tramo 9. Cárcava Bajo, Colmenar Bajo y Santa María Alto	276
7.2.10. Tramo 10. Santa María bajo	284
7.2.11. Tramo 11. La Palmosa	289
7.2.12. Tramo 12. Valdeconejos	295
7.2.13. Tramo 13. Parrilla	297
7.2.14. Síntesis hidrogeomorfológica	303

### **III PARTE. CONSIDERACIONES FINALES**

<b>8. DIAGNÓSTICO Y ZONIFICACIÓN</b>	<b>313</b>
8.1. ASPECTOS BÁSICOS	313
8.2. DIAGNÓSTICO A NIVEL DE CUENCA	315
8.3. DIAGNÓSTICO A NIVEL DE CAUCE	322
8.4. ZONIFICACIÓN DE MODELOS DIAGNÓSTICOS	325
8.4.1. Zonificación a nivel de cuenca	325
8.4.2. Zonificación a nivel de cauce	325
a) Modelo 1: Cabeceras erosivas con canales colmatados	327
b) Modelo 2: Canales colmatados y depósitos de sobrecauce	328
c) Modelo 3: Canales expandidos con paredes verticalizadas	329
d) Modelo 4: Llanura aluvial incidida	330
e) Modelo 5: Cañadas en ámbito forestal	331

f) Modelo 6: Arroyada subsuperficial	332
g) Modelo 7: Cauce artificial	333
8.5. VALORACIÓN INTEGRAL	333
<b>9. HACIA UNA GESTIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA DE EL PARTIDO</b>	339
<b>10. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES</b>	347
10.1. SÍNTESIS	347
10.1.1. Transformaciones de los usos del suelo	348
10.1.2. Respuesta hidrogeomorfológica del sistema fluvial	351
10.2. CONCLUSIONES	354
<b>11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	359
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	377
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	378
<b>ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS</b>	382



## RESUMEN

Los efectos de la presión antrópica sobre los socioecosistemas fluviales han acarreado un importante deterioro de buena parte de las funciones que los ríos y riberas desarrollan en la naturaleza y, consecuentemente, de los servicios ecosistémicos que éstos proporcionan a la sociedad. Como resultado de esta situación, y a pesar del relevante esfuerzo realizado durante las últimas décadas en el campo de la restauración ecológica, la recuperación completa de la funcionalidad de los ecosistemas fluviales es, hoy por hoy, un deseo más que una realidad. En esta línea, la mayor parte de los proyectos de restauración fluvial implementados en las últimas décadas han estado centrados principalmente en la componente biológica de estos ecosistemas. Tan sólo en los últimos años algunas investigaciones recientes han empezado a considerar la dinámica hidrogeomorfológica como un elemento clave en el que basar cualquier actuación de restauración fluvial.

La presente investigación se centra, precisamente, en el estudio del funcionamiento hidrogeomorfológico de la cuenca del arroyo de El Partido, una de las conocidas como cuenca menores vertientes a Doñana, que desembocan en el sector noroeste de las Marismas del Guadalquivir a la altura de la aldea del Rocío (SE de la provincia de Huelva, España). El arroyo de El Partido constituye un pequeño colector con un marcado comportamiento torrencial que drena una cuenca con una superficie de 318 km<sup>2</sup> en la que predominan principalmente las actividades agropecuarias y forestales.

Los cambios de usos del suelo y el aumento de la presión antrópica acaecidos en la cuenca en las últimas décadas han generado graves perturbaciones en el funcionamiento hidrogeomorfológico del sistema, generando importantes desajustes estructurales y funcionales, que han tenido como consecuencia más llamativa, el desarrollado un abanico aluvial en su desembocadura de grandes dimensiones, que ha aterrado parte de la marisma alta del Guadalquivir en su sector NW.

En este trabajo se establece un diagnóstico del funcionamiento hidrogeomorfológico de la cuenca del arroyo de El Partido, basado en un análisis integral a nivel general (cuenca), y de detalle (sistema canal-orilla-

llanura aluvial), que ha permitido el establecimiento de una serie de recomendaciones que favorezcan la gestión integral y la recuperación ambiental del sistema fluvial del arroyo de El Partido.

## ABSTRACT

The effects of anthropic pressure on socioecosystem systems have led to a great deterioration of a significant part of the functions that rivers and banks perform in nature and consequently the ecoservices they provide to society. Due to this situation and despite the significant effort made in the last decades in the field of ecological restoration, the full recovery of the functionality of fluvial ecosystems is at the moment more a desire than a reality. Most projects of fluvial restoration implemented in the last decades have focused mainly on the biological component of these ecosystems. Only in recent years, some investigations have started to consider the hydrogeomorphological dynamics as a key element on which to base any fluvial restoration action.

This research focuses on the study of the hydrogeomorphological function of the basin of the Partido stream, one of the known as minor basins in Doñana's slopes which mouths in the northwest sector of Guadalquivir's marshes at the height of the village El Rocío (SE of the province of Huelva, Spain). The Partido stream constitutes a small collector with a strong torrential behavior that drains a basin with an area of 318 km<sup>2</sup> in which agricultural and forest activities predominate.

The changes in the use of the land and the increase of anthropic pressure occurred in the basin in the last decades have provoked severe disruptions in the hydrogeomorphological functioning of the system, creating significant structural and functional mismatches that have had as the most striking consequence the development of an alluvial fan of large dimensions in its mouth that has buried part of the upper marsh of the Guadalquivir in its NW sector.

In this work a diagnosis of the hydrogeomorphological functioning of the basin of the Partido stream is established based on a comprehensive analysis on a general level (basin) and on a detailed level ( canal-shore-alluvial plain system) that has allowed the establishment of a set of management guidelines aimed for the environmental recovery of the fluvial system of the Partido stream.



**I PARTE**

**PLANTEAMIENTO GENERAL**





# 1. Introducción





# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. PLANTEAMIENTO GENERAL

Los efectos de los cambios de los usos del suelo sobre el funcionamiento de los sistemas naturales son objeto de estudio de multitud de investigadores, así como motivo de preocupación de un sinnúmero de programas internacionales de planificación y gestión desde hace décadas (*e.g.* Meyer y Turner, 1998; Lambin *et al.*, 2001; De Fries *et al.*, 2004, Foley *et al.*, 2005; Lambin & Meyfroidt, 2010). Esta respuesta científica parece ser menor (o, al menos, diferente)<sup>1</sup> cuando dichos sistemas naturales se conciben como *socioecosistemas* (Berkes y Folke 1998). Los efectos de la acción antrópica sobre los ecosistemas son especialmente visibles en el caso de los medios fluviales, afectados muy a menudo por un manejo agrícola intensivo que acaba con la vegetación natural en cuencas y orillas, por un uso hidroeléctrico que fragmenta el flujo y abate la conectividad de los paisajes, por vertidos urbanos e industriales que deterioran la calidad de las aguas, etc. (Costa *et al.*, 2003). No en vano, junto con los medios litorales, las vegas fluviales son desde hace décadas los ámbitos preferidos para la ocupación y el desarrollo territorial de una inmensa mayoría de la población mundial.

Sin embargo, el deterioro de los sistemas fluviales asociados a la actividad económica no sólo es imputable a las etapas más recientes de nuestra historia (Petts, 1989), sino que puede aplicarse igualmente a la fase pre-industrial de la Humanidad, durante la cual las prácticas mineras, agropecuarias y forestales indujeron asimismo cambios importantes en el funcionamiento de este tipo de ecosistemas acuáticos (Brookes, 1994; Knighton, 1998). La alteración registrada por los sistemas fluviales durante siglos, ya fuera de forma directa, mediante la utilización de sus cauces como desagües o como vías de comunicación, ya fuera indirectamente, a través de un inadecuado manejo de la cubierta vegetal y las formaciones superficiales de sus cuencas vertientes y sus cauces, ha acarreado una importante merma (cuando no la completa desaparición) de muchas de las funciones que los ríos y riberas

---

<sup>1</sup> A. Velázquez, G. Bocco y C. Siebe. (2014). "Cambio de uso del suelo" en: Red Temática de CONACYT sobre Medio Ambiente y Sustentabilidad. Compilada por M. Maass y M. Equihua.

desarrollan en la naturaleza y, consecuentemente, de los ecoservicios que proporcionan, o pueden proporcionar, a la sociedad (Vidal y Suárez, 2010; Magdaleno, 2013; Gaitán-Cremaschi, *et al.*, 2016).

Como consecuencia de todo ello, en los últimos tiempos han proliferado a nivel mundial múltiples iniciativas encaminadas a recuperar la funcionalidad de los sistemas fluviales, estando, en concreto en el caso de Europa, directamente condicionadas por la aprobación de la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE (Weiß *et al.*, 2008). Sin embargo, a pesar del amplio esfuerzo realizado durante las últimas décadas en el campo de la restauración ecológica, la recuperación completa de la funcionalidad de los ecosistemas fluviales es, hoy por hoy, un deseo más que algo alcanzable satisfactoriamente (Dufour y Piégay, 2009; Ollero, 2011). No obstante, existen algunas actuaciones (por lo general fruto de algún tipo de alarma social frente a un determinado riesgo natural, o directamente como consecuencia de una catástrofe ecológica...) en las que se ha conseguido trabajar a fondo en la praxis de la restauración, superando así las típicas intervenciones parciales encaminadas a solventar algún desajuste puntual del sistema de drenaje. Un ejemplo de lo anterior puede encontrarse en la experiencia andaluza de la restauración ecológica del río Guadiamar (último gran afluente del Guadalquivir por su margen derecha) y la zona de Entremuros, llevada a cabo hace unos veinte años tras la rotura de la balsa de residuos contaminantes de las minas de Aznalcóllar, en la provincia de Sevilla (Montes *et al.*, 2003; Montes y Carrascal, 2008).

El aumento de la preocupación de científicos y gestores por el mal estado ecológico de los ríos y riberas durante las últimas décadas es algo incuestionable (González del Tánago y García de Jalón, 2007), como tampoco cabe ignorar el interés y el empeño puestos en la mejora de esta situación por parte de grupos ecologistas y ONG's de todo el mundo. Como prueba de ello se calcula que la producción científica relativa a esta materia se ha multiplicado por más de treinta veces desde principios de los noventa hasta 2010 (Vidal y Suárez, 2010), siguiéndose en esta misma tendencia desde entonces. Fruto de ello, desde finales de los años ochenta y, sobre todo, durante la década de los noventa proliferaron diversos métodos, índices y protocolos destinados a la evaluación del *estatus ecológico* de los sistemas fluviales, algunos de los cuales siguen usándose a día de hoy. Buena parte de

estas técnicas de auscultación de los sistemas fluviales proceden de Estados Unidos, caracterizándose desafortunadamente por mostrar un marcado sesgo hacia la componente biológica de los mismos (e.g. Plafkin *et al.*, 1989; Barbour *et al.*, 1999). En el ámbito europeo han sido diversos los métodos de este tipo destinados a dar cumplimiento a los requisitos impuestos por la citada Directiva Marco del Agua. Entre ellos destacan el método *RHS* (*River Habitat Survey*), aplicado principalmente en Reino Unido (Raven *et al.*, 1998), o el *SEQ-Physique*, desarrollado sobre todo en Francia (Agences de l'Eau & Ministère de l'Environnement, 1998). En el caso de España han sido igualmente variadas las iniciativas llevadas a cabo en este sentido (Munné *et al.*, 1998; 2003 y 2006; Pardo *et al.*, 2002; Jáimez, *et al.*, 2002; González del Tánago *et al.*, 2006), siendo sólo las más recientes de ellas las que empiezan a considerar el aparato hidrogeomorfológico entre los ejes centrales de sus propuestas de estudio (Ollero *et al.*, 2008; 2009).

La presente tesis doctoral insiste precisamente en esta línea argumental, abundando en aquellos planteamientos que ayudan a priorizar la componente hidrogeomorfológica de los sistemas fluviales (Ollero y Romeo, 2007; Ollero *et al.*, 2011), especialmente en relación con la puesta en valor de su restauración ecológica (Adam *et al.*, 2007). Se trata pues, de una parte, de poner de manifiesto la importancia del papel que juega el cuadro hidrogeomorfológico en el funcionamiento general del ecosistema fluvial (Brierley y Fryirs, 2005), haciendo ver cómo la capacidad de regulación de éste depende en gran medida de aquél; y, de otra, de argumentar que, sin un adecuado diagnóstico de dicha componente, o sea, sin una correcta caracterización de sus patologías y una identificación precisa de sus causas, tanto directas como indirectas, cualquier proyecto de restauración puede convertirse en un ejercicio retórico e ineficaz (Borja *et al.*, 2015). De igual modo, consideramos que un enfoque hidrogeomorfológico es el que mejor permite desplegar un enfoque *integral*, siendo particularmente válido en lo que se refiere a la puesta a punto de estrategias de restauración de carácter preventivo, esto es: de cara a implementar procedimientos metodológicos orientados a determinar y actuar sobre el origen de los desajustes del sistema fluvial, a desarrollar protocolos que permitan, en última instancia, intervenir más sobre las causas que sobre los efectos del deterioro del ecosistema.

Desde este punto de vista, se entiende —y de ello pretendemos dejar constancia en el presente trabajo— que los cauces fluviales y sus depósitos correlativos, junto con los sistemas de orillas y llanuras aluviales (incluyendo su modelado, sus sedimentos y sus suelos hidromorfos asociados), etc., constituyen la parte principal de componente natural de un socioecosistema de mayor escala que concierne al conjunto de la cuenca vertiente (Pole, 2002; Borja *et al.*, 2008; García-Ruiz, 2015). Tal perspectiva hace que la afección antrópica sobre cuencas y llanuras aluviales se revele como uno de los factores que más repercuten en la dinámica actual de los socioecosistemas fluviales (WWF, 2015), por encima incluso —aunque, lógicamente, interactuando con ellos— de los efectos del cambio climático inducido, como así se ha puesto de manifiesto en la reciente *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio* llevada a cabo tanto para España como para Andalucía (Vidal y Suárez, 2010; 2011).

Los cambios de usos del suelo en las cuencas inducen, en efecto, modificaciones prácticamente inmediatas en la morfodinámica fluvial, alterando así no sólo la capacidad del sistema natural para disipar la energía de las crecidas, reducir la erosión y mantener la calidad del agua, sino también su nivel de eficacia a la hora de filtrar y fijar la carga sedimentaria y facilitar el desarrollo de las llanuras aluviales, o de ayudar a la retención de los flujos y la recarga del acuífero, o de favorecer el desarrollo de los suelos hídricos y la vegetación higrofitica, etc. (Prichard *et al.*, 1993); por no hablar del incremento inusitado de los niveles de lavado de nutrientes, que terminan finalmente en las cuencas oceánicas (Caraco, 1995). Bajo estas circunstancias, los cambios de usos del suelo de una determinada cuenca se convierten en excelentes indicadores, muy útiles tanto en la estimación y la ponderación de las causas que provocan la alteración en el funcionamiento del sistema fluvial, como en lo que se refiere al establecimiento de directrices en el campo de la restauración preventiva.

La presente Tesis Doctoral se centra, pues, en el estudio del funcionamiento hidrogeomorfológico de la cuenca del arroyo de El Partido, una de las conocidas como *cuenca menores* vertientes a Doñana que desembocan en el arco noroeste de las Marismas del Guadalquivir, en el entorno de la aldea del Rocío (SE de la provincia de Huelva, España). El arroyo de El Partido constituye un pequeño colector con un marcado comportamiento torrencial

(Mintegui *et al.*, 2003), localizado en un contexto climático del tipo mediterráneo subhúmedo, que drena una cuenca con una superficie de 318 km<sup>2</sup>, de una longitud máxima de 30 km, en la que predominan las actividades agropecuarias y forestales (Fig. 1).

Los cambios de usos del suelo y el aumento de la presión antrópica acaecidos sobre la cuenca y el cauce de El Partido durante las últimas décadas han generado un importante arrastre de sedimentos, así como todo tipo de perturbaciones en su funcionamiento hidrogeomorfológico. A causa de ello se ha desarrollado un notable cono aluvial que ha aterrado una importante porción de la marisma alta del Guadalquivir en su sector NW, al tiempo, que ha incrementado sensiblemente el riesgo de inundación en la aldea de El Rocío, ya que los sedimentos acumulados obstaculizan en gran medida el desalojo de las aguas aportadas por el arroyo Madre de las Rocinas.

Gran parte de los resultados obtenidos en el presente trabajo proceden de la ejecución del proyecto de investigación *Análisis de riesgos geomorfológicos y evaluación de procesos de erosión en la cuenca del arroyo de El Partido*. Dicho proyecto fue financiado por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir dentro del Programa de Regeneración Hídrica del Parque Nacional de Doñana conocido como “Doñana 2005” (Ministerio de Medio Ambiente). En él intervinieron tanto del Dr. Francisco Borja Barrera (Universidad de Huelva), encargado de la coordinación del mismo, como el Dr. César Borja Barrera (Universidad de Sevilla) y el propio autor de la presente tesis.

## 1.2. ANTECEDENTES

### 1.2.1. El proyecto *Doñana 2005*

Tras la rotura de la balsa de residuos de la mina de Aznalcóllar y el posterior desastre ecológico consecuencia de la riada de lodos tóxicos ocurrido a finales del mes de abril de 1998<sup>2</sup>, el Patronato del Parque Nacional de

---

<sup>2</sup> Una completa síntesis de todo lo ocurrido en torno al vertido tóxico de las minas de Aznalcóllar y la construcción del Corredor Verde del Guadiamar puede encontrarse en *La Restauración ecológica del río Guadiamar y el proyecto Corredor Verde. Historia de un paisaje emergente*, obra colectiva editada en 2008 por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

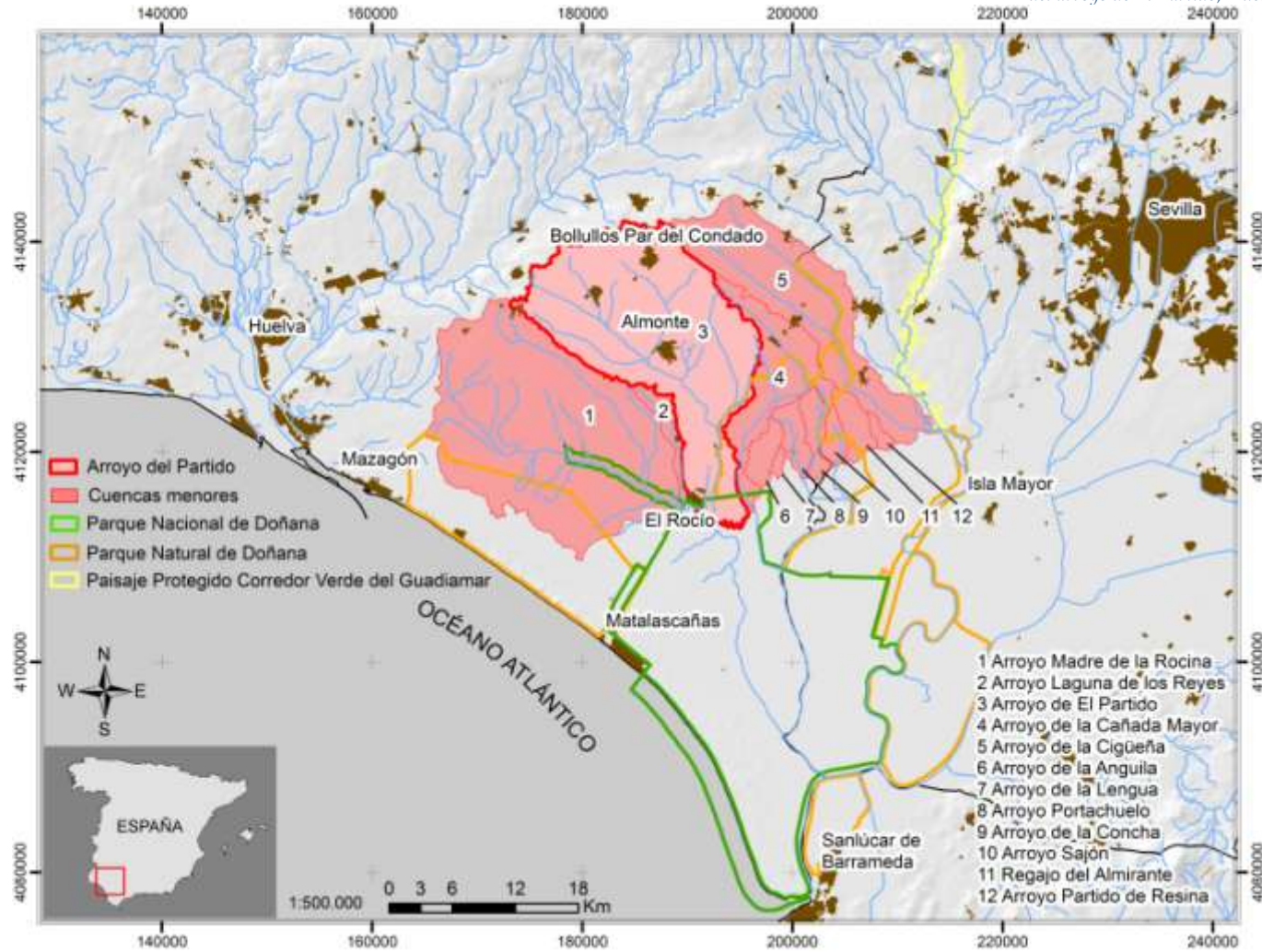


Figura 1. Localización de la cuenca hidrográfica del arroyo de El Partido y del resto de *cuencas menores* que drenan el sector NW de la marisma del Guadalquivir, en el SE de la provincia de Huelva.

Doñana, reunido de urgencia en sesión extraordinaria, decidió elevar al Consejo de Ministros varias peticiones entre las que se encontraba la necesidad de evaluar la situación sobrevenida en el Guadiamar y las perspectivas de cara al establecimiento de un plan de regeneración hídrica de la marisma de Doñana. La respuesta del Ministerio de Medio Ambiente fue inmediata adoptando una serie de medidas urgentes en relación con el accidente minero, entre las que se encontraba la elaboración de un Plan de regeneración hídrica de las cuencas y cauces vertientes a las marismas del Parque Nacional de Doñana que, como hemos indicado, sería posteriormente conocido como *Proyecto Doñana 2005*.

En estos primeros momentos de puesta de marcha del proyecto se comienza a trabajar con varios documentos provisionales que, tras la celebración de la *1ª Reunión Internacional sobre la Regeneración Hídrica de Humedales* celebrada en Huelva en 1999, terminan por concretarse y definirse en el Documento Marco para el desarrollo del Proyecto Doñana 2005, publicado en 2001, y en cuyo subtítulo reza *Regeneración hídrica de las cuencas y cauces vertientes a las marismas del Parque Nacional de Doñana*, como prueba de la ampliación de miras que supuso el debate científico llevado a cabo en la conocida como *Casa Colón* de Huelva.

Los objetivos especificados en este *Documento Marco* fueron los siguientes:

- Conseguir restaurar las aportaciones de agua a la marisma en cantidad y calidad para restablecer el funcionamiento tradicional de la misma, a la vez que recuperar la funcionalidad de los ríos, arroyos y caños que vierten a ella.
- Mantener la permeabilidad entre la marisma y el estuario del río Guadalquivir.
- Instaurar un plan de seguimiento y control, así como, establecer un plan de investigación y una línea de difusión y divulgación.
- Evitar de forma temporal la entrada de aguas contaminadas procedentes del río Guadiamar dentro de la marisma.

- Integración con el proyecto Corredor Verde y otros proyectos y actuaciones en desarrollo.

La implementación del Proyecto recayó en la figura del Coordinador General, quien se haría asesorar posteriormente por una Comisión Científica compuesta por una serie de profesionales de reconocido prestigio.

En términos operativos, el Proyecto Doñana 2005 contemplaba, según se recoge en el citado *Documento Marco*, el desarrollo de once *Actuaciones* concretas (Bayán *et al.*, 2001), organizadas a modo de *fichas* individualizadas, gestionadas prácticamente de modo independiente las unas de las otras según su propio proyecto de obra y sus procedimientos y plazos, al menos en las ocho primeras. Las tres últimas se concibieron de forma diferente dado que no se trataban de obras propiamente dichas. En su totalidad, las actuaciones previstas fueron:

- *Actuación 1*: Restauración de los arroyos Soto Chico y Soto Grande y del arroyo de la Laguna de los Reyes. Con ella se pretende la recuperación de la funcionalidad natural de los arroyos para evitar los problemas de erosión de las cabeceras y la consiguiente entrada de arenas en la marisma.
- *Actuación 2*: Depuración de las aguas residuales de El Rocío. Se trata de eliminar la carga contaminante de las aguas urbanas de la aldea que con anterioridad se vertían directamente a la marisma.
- *Actuación 3*: Restauración del arroyo de El Partido. El objetivo final de la actuación persigue frenar el avance del cono aluvial formado en su desembocadura en el sector noroeste de la marisma mediante la recuperación de la dinámica hidráulica del arroyo.
- *Actuación 4*: Restauración de la Marisma Gallega. Persigue la eliminación del antiguo sistema de drenes y la restauración del sistema de caños y arroyos naturales facilitando al mismo tiempo la conexión entre el Parque Nacional y el Parque Natural de Doñana.



- *Actuación 5:* Recuperación del Caño Guadiamar. Recuperación de los aportes de los arroyos de la Cigüeña, Sajón, Almirante y Juncosilla a través del Caño Guadiamar.
- *Actuación 6:* Recuperación del Caño Travieso. Pretende devolver la funcionalidad hidrológica del Caño Travieso desde la Vuelta de la Arena hasta el Lucio de los Ánsares así como la restauración de la finca de Caracoles.
- *Actuación 7:* Recuperación del Brazo de la Torre. Se trata de restaurar la funcionalidad de carácter fluvio-mareal del Brazo de la Torre hasta su conexión con el Caño Travieso a la altura de la Vuelta de la Arena.
- *Actuación 8:* Control y permeabilización de la marisma frente al río, al Brazo de la Torre y a Entremuros. Consiste en la construcción de un muro continuación de la Montaña del Río para evitar la entrada de elementos contaminantes procedentes de las primeras riadas del Guadiamar tras el vertido tóxico de Aznalcóllar.
- *Actuación 9:* Seguimiento y evaluación. Consistente en la realización de una serie de estudios destinados a ampliar el conocimiento sobre los ecosistemas del Parque Nacional de Doñana antes de la implantación del Proyecto así como la implementación de un plan de seguimiento de las actuaciones.
- *Actuación 10:* Investigación asociada al Proyecto. Implantación de un programa de investigación destinada a ampliar y mejorar el conocimiento científico del Parque Nacional.
- *Actuación 11:* Difusión y divulgación. Pretende dar a conocer los objetivos del proyecto y sus resultados en la medida en que éstos vayan produciéndose, así como fomentar y establecer mecanismos para favorecer la participación ciudadana.

Como se ha indicado, la investigación se consideró como una más de las *Actuaciones* (la nº 10), teniendo como objetivo final *permitir que las actuaciones del Proyecto Doñana 2005 contribuyan a mejorar el conocimiento científico del*

*Parque Nacional y posibilitar una evaluación científica de todo el plan.* Se trataba pues de una investigación que se hacía a posteriori de la ejecución de las obras correspondientes a las actuaciones y no, al contrario, una investigación a priori que diera cobertura científica al diseño de las obras.

En total, el Programa de Investigación correspondiente a la *Actuación 10* comprendía un total de 17 líneas de trabajo principales, las cuales se podrían agrupar en cuatro grandes áreas temáticas (Tabla 1): contaminación (3 proyectos), caracterización ambiental y funcional (3 proyectos), agua (5 proyectos) y flora y fauna (6 proyectos).

<i>Investigador Responsable</i>	<i>Proyecto Investigación</i>
Manuela Ferreras	Macroinvertebrados acuáticos cursos de agua que vierte en la zona norte de Doñana
Julia Toja	Estudio limnológico de la laguna formada en El Rocío por el delta del arroyo de El Partido
Juan I. Caballero García de Vinuesa	Estudio de la situación actual y seguimiento de los parámetros fundamentales de contaminación de las aguas que vierten a las Marismas del Parque Nacional de Doñana desde la perspectiva de una Agricultura Sostenible del Entorno
Dr. Juan López Barea	Seguimiento de la contaminación y sus efectos biológicos mediante biomarcadores moleculares
Miguel Delibes de Castro	Caracterización funcional de la marisma de Doñana y su entorno: análisis retrospectivo y proyección de los efectos del Proyecto Doñana 2005
Andy J. Green	Ecología de restauración de la fauna y flora en la finca de Caracoles. Subproyecto 3. El zooplancton como modelo del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, y estructura y papel funcional de las aves
Fernando Hiraldo Cano	Plan integrado de evaluación ambiental (vegetación, fauna y paisaje) del proyecto Doñana 2005
Juan Ángel Mintegui Aguirre	Seguimiento de las obras de recuperación hídrica de la marisma del Parque Nacional de Doñana, efectuadas dentro del proyecto Doñana 2005
Carlos Montes	Evaluación de los ecosistemas de la marisma de Doñana en el marco del proyecto Doñana 2005
Sacramento Moreno Garrido	Distribución micro-espacial de las poblaciones de conejo en la zona de influencia del Arroyo de El Partido para mitigar posibles efectos indeseados de la Actuación nº 3 del Proyecto Doñana 2005

Luís Santamaría	Ecología de restauración de la fauna y flora en la finca de Caracoles. Subproyecto 2. Estados de equilibrio alternativos en los humedales de la marisma: variación espacio-temporal y efecto de la diversidad espacial
Dr. Carlos Fernández Delgado	Plan de seguimiento para el estudio y evolución de las comunidades de macroinvertebrados estuáricos y peces afectados por las actuaciones del Proyecto Doñana 2005
Francisco Cabrera Capitán	Estado actual de conocimientos sobre contaminación por metales pesados, fertilizantes y plaguicidas en aire, agua, suelo, sedimentos y seres vivos de las cuencas vertientes a Doñana y Marismas del Guadalquivir (primera parte)
Francisco Borja Barrera	Análisis de riesgos geomorfológicos y evaluación de procesos de erosión en la cuenca de El Partido
J. Dolz	Estudio hidrodinámico de la Marisma de Doñana
Eloy M. Castellanos Verdugo y Carlos J. Luque Palomo	Ecología de restauración de la vegetación en la finca de Caracoles, integrada en un marco de gestión adaptativa. Dinámica de la vegetación acuática y terrestre. (Actuación nº 6 del Proyecto Doñana 2005).FASE 1ª: Procesos de colonización y factores que los regulan. Dinámica del banco de semillas
Marisol Manzano Arellano	Seguimiento del impacto de las actuaciones 1 y 3 del programa Doñana 2005 sobre la relación del acuífero con la red hídrica superficial (acuífero-arroyos y acuífero-lagunas)
Pablo García Murillo	Flora y vegetación acuáticas. Estudio de la recuperación de la flora y vegetación naturales en zonas alteradas o modificadas en el Parque Nacional de Doñana y su entorno

Tabla 1. Relación de los Proyectos de Investigación asociados a las actuaciones del Proyecto Doñana 2005. Señalados en amarillo aquellos proyectos que tienen una relación directa con la Actuación nº 3, concerniente al arroyo de El Partido.

El catálogo de actuaciones previstas en el Programa era, como se ha comentado en párrafos anteriores, además de amplio, muy ambicioso en sus objetivos. La realidad, vista a día de hoy, es ciertamente desconcertante. No todas las Actuaciones se ejecutaron en su totalidad y, de las que lo hicieron, muchas no alcanzaron el éxito deseado; otras, en cambio, están aún sin concluir, habiéndose rediseñado algunas de ellas; varias se paralizaron definitivamente, descartadas por completo o a la espera de los pertinentes estudios científicos previos que permitieran generar con total garantía el consiguiente proyecto de obras.

En la actualidad aún siguen llevándose a cabo intervenciones por parte de la administración como la recientemente publicada en el BOE relativa a la Resolución de 16 de julio de 2020, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula informe de impacto ambiental del proyecto "Restauración hidrogeomorfológica y naturalización del tramo final del Arroyo de El Partido para favorecer la recarga natural del acuífero Almonte-Marismas (Huelva)". Esta actuación tiene como objeto principal *"controlar los procesos de erosión, transporte y sedimentación en la cuenca de esta masa de agua que permitan frenar el avance del cono de deyección sobre las marismas de Doñana"*.

Como hemos señalado con anterioridad, la *Actuación 3: Restauración del arroyo de El Partido*, tenía como objetivo final *frenar el avance del cono aluvial formado en su desembocadura en el sector noroeste de la marisma mediante la recuperación de la dinámica hidráulica del arroyo*. Con este fin se implementaron dos proyectos de investigación liderados por dos investigadores de reconocido prestigio (ver Tabla 1), los cuales diferían, como veremos a continuación, no sólo en la consideración del área de estudio, sino particularmente en su enfoque.

### **1.2.2. El proyecto *Seguimiento de las obras de recuperación hídrica de la marisma del Parque Nacional de Doñana, efectuadas dentro del proyecto Doñana 2005***

En el marco de la Actuación nº 3 del *Doñana 2005*, el Dr. J.A. Mintegui, de la Universidad Politécnica de Madrid, junto con su equipo, fue el responsable del proyecto titulado *Seguimiento de las obras de recuperación hídrica de la marisma del Parque Nacional de Doñana, efectuadas dentro del proyecto Doñana 2005*. En el seno de este proyecto se ejecutaron obras de control de los caudales de avenida del tramo final de El Partido, en concreto del trayecto que va desde el puente de la Casa de La Matanza (Camino de El Rocío a Hinojos desde A-483) hasta su desembocadura en las marismas. Con dichas obras se pretendía revertir la situación creada a partir 1981, tras la canalización de los últimos kilómetros del cauce de El Partido llevada a cabo dentro del denominado como: Plan de Transformación de la Zona Regable de Almonte-Marismas (Sector II). Este desagüe artificial terminó trasladando el "cono de deyección" natural de El Partido desde su emplazamiento

original —el entorno del puente de La Matanza, en la zona conocida como los *Derramaderos*—, hasta el borde de las marismas de Doñana, justo por debajo del puente de El Ajolí.

La intervención del equipo de la Politécnica de Madrid —orientada, como se ha indicado, a reubicar en su sitio el primitivo “cono de sedimentación” de El Partido— comportó, por un lado, el desmantelamiento del muro izquierdo del antiguo encauzamiento y la remodelación del trazado de los cauces de los arroyos de El Partido y La Parrilla, que volvieron a ser desconectados el uno del otro, discurriendo a partir de este momento cada cual por una margen de la llanura aluvial, como así hacían con anterioridad a la década de los ochenta; y, por otro lado, la construcción al menos de un “dique director” transversal a la corriente que, situado próximo al puente de la Casa de La Matanza, laminaría la corriente y aminoraría el efecto de los “procesos de erosión remontante aguas arriba del mismo”. A ello se uniría una serie de motas de disposición variada, con el fin de extender los flujos de crecidas y propiciar la sedimentación de la carga sedimentaria que las avenidas venían aportando a las marismas.

La cuenca del arroyo de El Partido en su conjunto nunca formó parte del objeto de estudio del proyecto dirigido por el Dr. Mintegui. Ni fue, en consecuencia, objeto de ningún tipo de propuesta de manejo, al margen de considerar casi de manera inopinada que sería preciso abordar su restauración, de modo que pudiera favorecerse la consolidación de “las medidas aplicadas en el cauce [de su tramo final] y asegurar su futura estabilidad” (Mintegui, 2005).

### **1.2.3. El Proyecto *Análisis de riesgos geomorfológicos y evaluación de procesos de erosión en la cuenca de El Partido***

Por su parte, el Dr. Francisco Borja, de la Universidad de Huelva (en cuyo equipo se integraron tanto el Dr. César Borja como el autor de la presente tesis doctoral), fue el encargado de diseñar y coordinar la investigación titulada *Análisis de riesgos geomorfológicos y evaluación de procesos de erosión en la cuenca de El Partido*. A diferencia del soslayo con que se abordó la cuenca vertiente del arroyo de El Partido en el proyecto de la Politécnica de Madrid,

en la investigación de la Onubense la cuenca fue la noción espacial de referencia. No obstante, por razones de complementariedad entre ambos proyectos, en esta segunda investigación no se incluyó el tramo de la cuenca afectado por la canalización de 1981, es decir, desde la Casa de La Matanza hasta el borde de las marismas.

El proyecto de la Universidad de Huelva se programó para ser desarrollado en dos anualidades. Sin embargo, problemas de índole administrativa y de financiación impidieron completar su segunda etapa. Esta situación se mantiene así a día de hoy, sin que se haya podido implementar ni la monitorización y ni el seguimiento de procesos de erosión mediante el adecuado instrumental de campo. Sí se alcanzaron, por el contrario, los objetivos previstos para las fases de documentación, caracterización y diagnóstico contempladas en la primera de las anualidades.

El área de estudio propuesta inicialmente cubrió una serie de espacios representativos de la cuenca, en concreto éstas afectaron a los siguientes colectores:

- Arroyo de El Partido: desde su confluencia con el arroyo de La Parrilla hasta el paraje denominado la Morera situado 12 km aguas arriba del primer punto.
- Arroyo de La Parrilla: el tramo de 4,5 km desde su confluencia con el arroyo de El Partido hacia aguas arriba.
- Arroyo de Valdeconejos: tramo de 1 km desde su confluencia con el arroyo de La Parrilla hacia aguas arriba.
- Arroyo del Algarrobo: tramo de 1,5 km desde su confluencia con el arroyo de La Parrilla hacia aguas arriba.
- Arroyo de Moriana: tramo de 2 km desde su confluencia con el arroyo de El Partido hacia aguas arriba.

- Arroyo de Rioseco: en su totalidad continuando por el arroyo Cárcava hasta su confluencia con el arroyo de las Juntas, con una longitud total de 13 km.
- Arroyo de Calancha: en su totalidad, con una longitud de 15 km.
- Arroyo de Colmenar: en su totalidad con una longitud de 9 km.

A partir de esta propuesta de áreas representativas, el proyecto planteó un análisis territorial de carácter integral, necesario para comprender el funcionamiento de sistema hidrogeomorfológico en su totalidad y poder, de este modo, identificar patologías y proponer acciones encaminadas a revertir los problemas de funcionamiento, intentando atajar sus causas y no sus consecuencias: la formación de un cono aluvial de unos 4 millones de m<sup>3</sup>, el cual se proyecta desde hace décadas hacia el interior de la marisma en las inmediaciones del conocido santuario de El Rocío (Borja y Gómez, 2002; Sendra, *et al.*, 2002; Mintegui *et al.*, 2000 y 2004) (Fig. 2).



Figura 2. Localización del cono aluvial generado por el arroyo de El Partido en el sector NW de las Marismas del Guadalquivir en la conexión de éstas con la Madre de La Rocina, a la altura de la aldea de El Rocío (Almonte, Huelva).

Desde este punto de vista la investigación se planteó a dos niveles: a escala de cuenca, se evaluaron los aspectos relacionados con el funcionamiento de de laderas e interfluvios en su conjunto; mientras que, a escala de tramo, se analizaron los procesos relativos expresamente al cauce en su sentido más amplio, en tanto que *sistema canal / orilla / llanura aluvial*, entendiendo que dichos elementos, junto con los sedimentos asociados en cada caso (barras, *levées*, *slackwater/aggraded floodplain deposits*), la vegetación riparia, etc., constituyen un sistema fuertemente condicionado, en su estructura y funcionamiento, además de por unas condiciones climáticas y litológicas, por el tipo y la intensidad de los usos que el ser humano desarrolla sobre el territorio (Fernández *et al.*, 2007; Fernández, 2010). A partir de este acercamiento integral a la dinámica hidrogeomorfológica del sistema fluvial de El Partido, se plantea el correspondiente *diagnóstico* acerca de sus actuales desajustes y se procede a la determinación de las causas que han conducido a la situación presente (Borja *et al.*, 2008; Borja *et al.*, 2009).

### **1.3. ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTO Y OPORTUNIDAD**

El estado del conocimiento sobre el funcionamiento integral de la cuenca del arroyo de El Partido es, en general, bastante exiguo, siendo pocas las publicaciones científicas volcadas sobre aspectos geomorfológicos, hidrológicos, biológicos, etc. La revisión bibliográfica llevada a cabo evidencia la existencia de publicaciones relacionadas con la actividad de algunos grupos de investigación concretos, que han generado una producción científica de forma sistemática durante las dos últimas décadas, centrada en algunos temas muy concretos, así como algunos otros trabajos de carácter esporádico.

En este sentido, es destacable la investigación desarrollada por el citado equipo de trabajo liderado por el Dr. J. A. Mintegui, de la Universidad Politécnica de Madrid, que, desde los primeros años 2000 y con motivo de la puesta en marcha del Proyecto Doñana 2005, como ya se ha indicado, ha dado a la luz un nutrido grupo de publicaciones acerca del funcionamiento hidrológico del arroyo de El Partido, especialmente en lo que concierne a su tramo inferior y al cono aluvial desarrollado en su desembocadura (Huelín *et al.*, 2012, 2014 y 2015; Mintegui y Robredo, 1999 y 2000; Mintegui *et al.*, 2003,



2004 y 2006; Sendra, 2002; Sendra *et al.*, 2002; Robredo *et al.*, 2010), así como, con su restauración hidrológica (Mintegui, 2015; Mintegui *et al.*, 2010a, 2010b y 2010c). Precursor en esta línea es, sin embargo, el trabajo de Urdiales (1996), que es el primero en alertar sobre la problemática del crecimiento inusitado del mencionado cono aluvial de El Partido.

La componente hidrogeomorfológica y las transformaciones de los usos del suelo en el conjunto de la cuenca del arroyo de El Partido ha sido objeto de investigación por parte del equipo coordinado por el Dr. F. Borja, perteneciente a la Universidad de Huelva, que desde los primeros años 2000, viene trabajando en determinar las causas desencadenantes, a escala de cuenca (evolución climática reciente, dinámica hidrogeomorfológica, impactos antrópicos, etc.), del cono aluvial de El Partido (Gómez y Borja, 2000; Borja y Gómez, 2002; Borja *et al.*, 2006; 2008; Fernández *et al.*, 2008; Borja *et al.*, 2009; Fernández, 2010; Borja *et al.*, 2015).

El resto de la producción científica relacionada con el arroyo de El Partido está vinculada a la componente biológica, en la que destacan los trabajos realizados por el equipo del Dr. F. García Novo, de la Universidad de Sevilla, centrados especialmente en la restauración de la vegetación de riberas (García Novo *et al.*, 2007); así como, alguna otra publicación relacionada con la distribución de poblaciones de conejos (Moreno *et al.*, 2004). También los estudios de calidad del agua han sido objeto de algunas publicaciones (González Quesada *et al.*, 1987; Arambarri *et al.*, 1996; Bravo *et al.*, 2005; Paredes *et al.*, 2019); así como, el análisis de los servicios ecosistémicos (Gaitán-Cremaschi, *et al.*, 2016). Finalmente, con unas perspectivas más territoriales y centradas en la pérdida de suelos por erosión, se contaría con los trabajos de Romero (2019) y Barral (2020).

Así pues, los problemas y desajustes en el funcionamiento del sistema hidrogeomorfológico del arroyo de El Partido siguen, a día de hoy, sin estar resueltos, especialmente en los tramos medio y alto del sistema. Son habituales los problemas relacionados con los desajustes en el funcionamiento hidrogeomorfológico del arroyo todos los inviernos, después de cualquier evento pluviométrico de cierta intensidad. Los problemas relacionados con la aparición de depósitos de desbordamiento, la colmatación de los canales, o los derivados de la erosión de las orillas, son

moneda común, tanto es así, que ha obligado a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir a acometer diversas intervenciones de corrección hidrológica en los últimos años en distintos tramos del sistema fluvial.

En esta misma línea, son habituales las denuncias de ONG's y asociaciones civiles en distintas instancias judiciales, evidenciándose, por una parte, los problemas ambientales generados por el mal funcionamiento hidrogeomorfológico del sistema fluvial del arroyo de El Partido en su cuenca vertiente, y, por otra, y muy especialmente, las funestas consecuencias que de este mal funcionamiento se derivan para el Parque Nacional de Doñana, enclave protegido con las máximas distinciones internacionales. En este sentido, es esclarecedor hacer una visita a la hemeroteca para comprobar cómo los problemas derivados de los desajustes de este sistema fluvial son continuos.

Por otra parte, las obras ejecutadas hasta la fecha en el desarrollo de la Actuación nº 3 del Proyecto Doñana 2005 se han centrado exclusivamente en el tramo final del arroyo, consistiendo fundamentalmente en la construcción de muros de hormigón y motas de reconducción de caudales de crecida. Las actuaciones planeadas en un principio tuvieron que ser rediseñadas en varias ocasiones, pues la localización y las dimensiones de las mismas no se mostraron acordes con la magnitud de los eventos pluviométricos registrados en los últimos años. En los tramos medio y alto, se han llevado a cabo, igualmente, algunas actuaciones de restauración hidrológica, encaminadas a proteger las orillas con escolleras en determinados tramos, como, por ejemplo, en el arroyo de La Cárcava, aguas abajo de Bollullos del Condado. Todas estas actuaciones están encaminadas a intentar solucionar transitoriamente los efectos de los desajustes generales del funcionamiento hidrogeomorfológico del sistema fluvial, y no a revertir el problema en origen.

La presente Tesis Doctoral pretende ahondar en el análisis de las patologías del socioecosistema de la cuenca de El Partido, desarrollando principalmente una perspectiva hidrogeomorfológica de carácter integral a escala de cuenca; se proyecta asimismo elaborar un diagnóstico de las actuales condiciones de funcionamiento del citado sistema y, por último plantear una serie de

directrices de gestión que permita a políticos y gestores plantear actuaciones encaminadas a la recuperación de las funciones y los *ecoservicios* que este tipo de cuencas mediterráneas puede ofrecer a la sociedad.





## 2. Marco teórico y conceptual de referencia



## 2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL DE REFERENCIA

### 2.1. EL SISTEMA FLUVIAL

#### 2.1.1. La aproximación hidrogeomorfológica

##### a) Noción de sistema fluvial

La concepción del funcionamiento de la naturaleza como un sistema operativo a distintas escalas espaciales y temporales es una orientación que en las últimas décadas ha ido ganando relevancia, especialmente, en el campo de las ciencias ambientales, con el fin de integrar e interrelacionar procesos de carácter físico, químico y biológico (Gutiérrez Elorza, 2008). Esta perspectiva sistémica comienza a desarrollarse en la década de los años sesenta del siglo pasado con los trabajos de Stodard (1965) para el caso de la Geografía Física, y los de Chorley (1962) y Tricart (1965) en el campo de la Geomorfología. A estos últimos autores debemos los conceptos de *sistemas de erosión* y *sistemas morfogenéticos*, respectivamente. Años más tarde se aplica esta misma concepción a la investigación en Geomorfología Fluvial, siendo un referente de la misma el trabajo de Schumm (1977), *The fluvial System*.

Son muchos los matices que se han incorporado a la definición de *sistema* dependiendo de la orientación y de los objetivos de los autores que las han establecido. Se puede afirmar, sin riesgo a equivocarse, que un sistema está compuesto por un conjunto de elementos estructurales y funcionales, interrelacionados e interdependientes, que funcionan y se autoregulan de forma solidaria a diferentes escalas espaciales y temporales, evolucionando de forma conjunta a lo largo del tiempo. Según López Bermúdez (1992), los sistemas funcionan, lo que supone la existencia de flujos de materia y energía. Dichos flujos necesitan, a su vez, de la presencia de alguna fuente de energía que, para el caso del planeta Tierra, se sitúa en el Sol.

Existen tres tipos de sistemas: aislados, cerrados y abiertos. En los *sistemas aislados* los intercambios de materia y energía son, teóricamente, inexistentes. Dentro de esta categoría podría considerarse únicamente el sistema solar en su totalidad. Los *sistemas cerrados* son aquellos en los que es posible el

intercambio de energía con otros sistemas, pero no de materia. Son sistemas, igualmente, raros en la naturaleza, considerándose como ejemplo de este tipo, el caso del planeta Tierra en su totalidad. Los más habituales en la naturaleza son los *sistemas abiertos*, en los que se produce un intercambio constante de materia y energía con su entorno.

La cuenca fluvial constituye un magnífico ejemplo de *sistema abierto* de carácter hidro-geomorfológico. Según López Bermúdez (1992), se trata de un sistema abierto de tipo *proceso-respuesta* en el que las entradas en forma de materia (precipitación) y energía (radiación solar) se transforman en respuestas hidrológicas (escorrentía y transporte de sedimentos) y geomorfológicas (modelado) (Fig. 3). Las entradas y salidas de materia y energía del sistema se contrarrestan y se mantienen constantes en un equilibrio dinámico a lo largo del tiempo, lo que facilita su autoregulación.

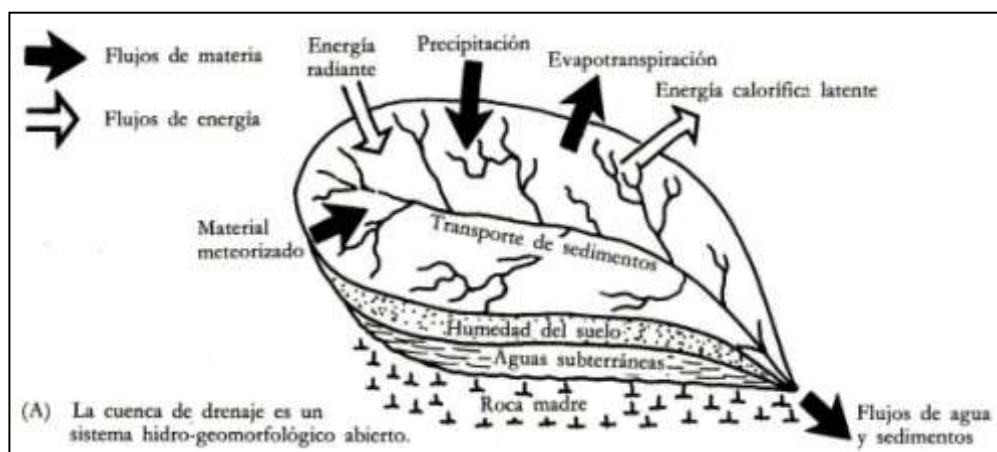


Figura 3. La cuenca hidrográfica como modelo de sistema abierto. Tomado de López Bermúdez (1992).

Los ríos y cursos de agua constituyen sistemas abiertos de carácter hidro-geomorfológico, con una notable complejidad. Son los responsables del modelado de la mayor parte de la superficie terrestre (Hugget, 2003), hasta el punto de que el 68,7% de ésta está drenada directamente por algún río (Gregory y Walling, 1973). Como se ha señalado anteriormente, Schumm (1977) fue uno de los primeros autores en abordar el estudio de los ríos desde una perspectiva sistémica, estableciendo un esquema idealizado del



sistema fluvial en tres zonas según la disposición de la corriente (Fig. 4): zona de producción, de transferencia y de deposición.

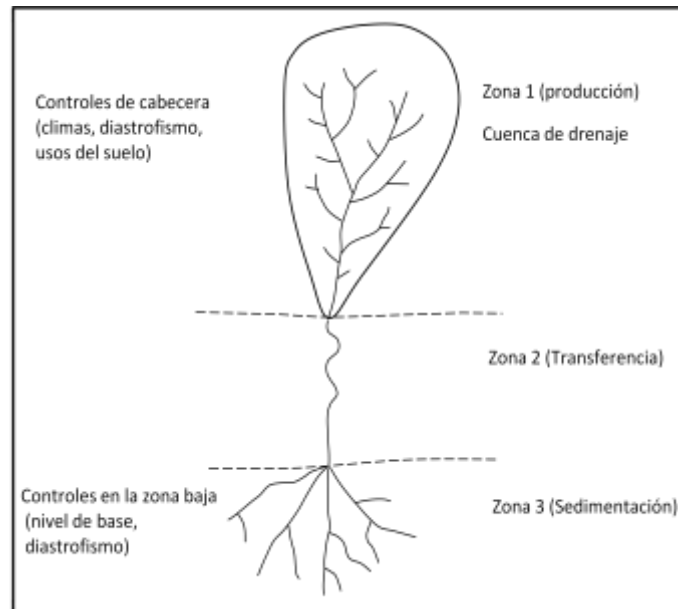


Figura 4. Sistema fluvial idealizado según Schumm (1977).

Desde este punto de vista, los ríos constituyen sistemas en continua búsqueda de un equilibrio, en constante proceso de ajuste entre la energía disponible, las características del flujo, el caudal, la carga sedimentaria, el tipo de lecho... (Chorley y Kennedy, 1971; Piégay y Schumm, 2003), cuya función principal es la de transportar agua, sedimentos y nutrientes, conformando espacios lineales de gran valor ecológico, paisajístico y territorial (Ollero 2007). Los ríos son, así pues, sistemas, los más importantes sistemas bio-hidro-geomorfológicos del planeta.

### b) Sistema morfogenético fluvial

Como sistemas morfogenéticos (Tricart, 1965), los ríos constituyen entidades *azonales*, presentes en cualquier ámbito del planeta bajo diferentes condiciones climáticas (Knighton, 1998). Existen sistemas fluviales en los medios áridos e hiperáridos, fríos, templados, tropicales... Desde esta perspectiva hidrogeomorfológica López Bermúdez (1992) afirma que *los cursos de agua son agentes de erosión y transporte de sedimentos que cada año, y en*

*función de las características medioambientales de las cuencas hidrográficas, transfieren grandes cantidades material sólido desde el interior de los territorios drenados hacia las partes bajas de los mismos y hacia el mar. El sistema morfogénico fluvial presenta una gran variabilidad según se configura sobre la corriente de agua sobre el terreno. Para Pedraza (1996) da igual que conformen flujos de agua encauzados o semiencauzados, con colector sencillo o múltiple, con carácter efímero, estacional o intermitente, ya tengan dinámica propia de alta media o baja energía.*

Los elementos estructurales y funcionales que, por regla general, conforman del sistema morfogénico fluvial son, en primer lugar, la corriente hídrica, que, considerada como el flujo superficial que recoge y evacúa linealmente el agua aportada desde las vertientes, constituye el agente principal. Estas corrientes fluviales se agrupan en conjuntos jerarquizados que conforman las redes de drenaje, las cuales presentan dispositivos espaciales muy diferentes (dendríticas, radiales, lineales, paralelas, rectangulares...) (Howard, 1967; Gregory y Walling, 1973). Dichas redes se encuadran dentro de unidades geomorfológicas básicas denominadas *cuencas hidrográficas* que constituyen unidades naturales que vierten toda el agua que en ellas se acumula sobre un punto concreto (desembocadura). Estas cuencas están compuestas por un sistema de laderas que son las unidades superficiales que enlazan las líneas de máxima altitud que definen las cuencas vertientes (divisorias de aguas), con las líneas de mínima altitud (talwegs), donde se concentra la escorrentía hasta su desembocadura, punto al que se refiere en *nivel de base* de cada cuenca. La energía que alimenta a estos agentes de evacuación es la fuerza de la gravedad, la cual viene determinada por la existencia de la diferencia de altitud entre la cabecera y el nivel de base general, o sea, el nivel del mar. Finalmente, las variaciones en la energía disponible por la escorrentía fluvial generan la aparición de secuencias de agradación-degradación mediante la concatenación de procesos de erosión, transporte y sedimentación (Chorley *et al.*, 1984).

Todos estos elementos del sistema fluvial están controlados por una serie de factores, entre los que cabe señalar (de cara a una mejor contextualización de nuestra investigación en la cuenca de El Partido): la litología, que, dependiendo del grado de resistencia, condiciona cualquier tipo de proceso hidrogeomorfológico, principalmente los responsables de la erosión, tanto

física como química; la estructura geológica, que suele terminar orientando el diseño de los cauces y las redes fluviales; la actividad tectónica y la eustasia, que ejercen su influencia sobre la posición del nivel de base e, indirectamente, sobre el resto de los procesos fluviales (Muñoz Jiménez, 1995); el clima, que constituye un factor determinante en el funcionamiento de los sistemas fluviales, dado que de él depende los aportes de agua que reciben los sistemas fluviales; y, por último, la influencia antrópica que, puesta de manifiesto fundamentalmente mediante la construcción de presas, canalizaciones y encauzamientos, la extracción de caudal y el vertido de residuos..., ha generado una inusitada afección sobre el sistema fluvial que se acrecienta década tras década (Gregory, 2006).

### c) Cuenca como sistema

La mayor parte de la superficie de las tierras emergidas está compuesta por cuencas hidrográficas de todas las formas y tamaños (López Bermúdez, 1992). Las cuencas constituyen, como se ha comentado en el apartado anterior, un elemento clave del sistema fluvial, siendo considerada, desde el punto de vista geomorfológico, como la unidad básica (Chorley, 1969). Esta concepción *sistémica* de las cuencas hidrográficas también ha sido defendida durante décadas en numerosos trabajos (Leopold *et al.*, 1964; Gregory y Wailling, 1973; Schumm, 1977; Morisawa 1985; etc.), en todos ellos se sostiene que se trata de sistemas abiertos, en los que el *input* principal procede de la precipitación. El agua, tras discurrir por las laderas en forma de escorrentía superficial o subsuperficial —y una vez detraído lo que se infiltra o se evapotranspira gracias al concurso de suelos y vegetación—, es concentrada a través de la red de drenaje y conducida, junto a sedimentos y nutrientes, hasta las desembocaduras para alimentar a otras cuencas, a espacios endorreicos o vaciarse directamente en el mar.

El sistema va a ser más efectivo o menos dependiendo de la energía con la que impacte la gota de agua sobre la superficie durante el episodio de precipitación, la resistencia de los materiales para ser erosionados con el impacto de las gotas, y del nivel de recubrimiento de la superficie por la vegetación o cualquier otro elemento. En cualquier caso, constituye un sistema en el que las entradas en forma de energía y materia procedentes de

la radiación solar y las precipitaciones, se transforman en su interior en una respuesta de carácter hidrológico (movilización de caudales líquidos, sedimentos, nutrientes...), y geomorfológico, especialmente, en cuanto al modelado se refiere. En la cuenca tienen lugar toda una serie de interacciones entre procesos físicos, biológicos, y, muy especialmente, sobre todo en las últimas décadas, antrópicos (usos del suelo) que López Bermúdez (1992) ha tratado de sintetizar en la figura 5.

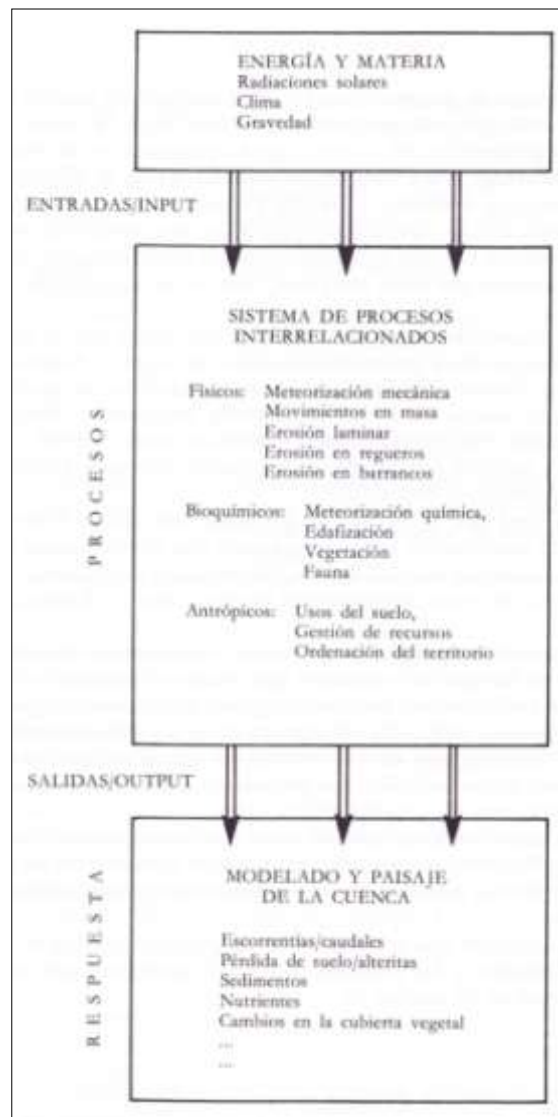


Figura 5. Modelo de sistema proceso-respuesta en la cuenca fluvial (López Bermúdez, 1992).

Desde un punto de vista geomorfológico, los elementos estructurales y funcionales que integran una cuenca considerada quedan resumidos en el esquema de Morisawa (1985) de la figura 6. La combinación en el espacio y en el tiempo de estos elementos van a condicionar y determinar el tipo de descarga hídrica, el régimen hidrológico, los valores de erosión, el tipo y la cantidad de sedimentos..., es decir, el modelado y la dinámica geomorfológica de la cuenca (López Bermúdez, 1992).

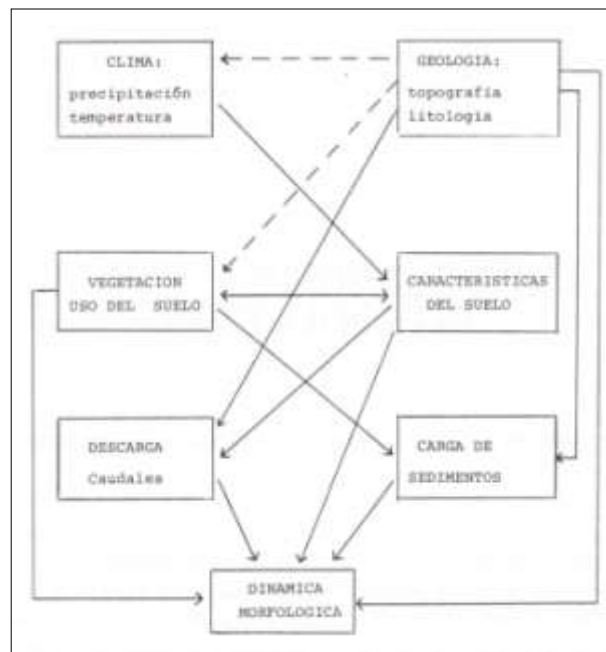


Figura 6. Esquema sintético de los componentes de una cuenca hidrográfica según Morisawa (1985). Tomado de Romero-Díaz (1989).

La cuenca es un territorio específico de la superficie terrestre delimitada de las superficies adyacentes por umbrales o divisorias, en los que se registra un determinado *input* de precipitaciones durante el desarrollo del ciclo hidrológico anual. Tiene, por tanto, una expresión espacial concreta, es decir, un desarrollo territorial específico que se puede diferenciar de las cuencas adyacentes. En este sentido, es necesario hacer una distinción clara del concepto de cuenca hidrológica, en el cual se tienen en consideración también los aportes o las salidas de caudal de forma subterránea (carácter hidrogeológico). Esta cuestión ha sido tradicionalmente una fuente de conflicto a la hora de establecer los caudales que una determinada cuenca es capaz de generar para un periodo de retorno concreto, cuestión clave, por

ejemplo, para la gestión de recursos hídricos o el diseño de todo tipo de infraestructuras.

La cuenca hidrográfica es, igualmente, la unidad básica con la que abordar de una forma integral acciones de gestión, tanto de carácter territorial, como, especialmente, de tipo medioambiental. Su forma y dimensiones responden a límites naturales fácilmente identificables en el territorio por la presencia de las divisorias de aguas.

#### **d) El sistema de laderas**

Las cuencas están compuestas fundamentalmente por laderas, que constituyen la porción de superficie que enlaza las líneas de divisorias de aguas con los talwegs. Conforman sin duda, un elemento fundamental del sistema fluvial, pues en ellas tienen lugar los procesos de concentración de la escorrentía procedente de la precipitación, principal *input* del sistema (Kirkby, 1979).

Las laderas constituyen unidades morfotopográficas con inclinación respecto a la horizontal que presentan una orientación, altura y forma concretas (Calvo Cases, 1987). En este sentido, cualquier porción de la superficie terrestre que posea alguna inclinación puede ser considerada una ladera, por lo que tienen un carácter universal (Young, 1972). En cuanto a las dimensiones, se asume que son reducidas aunque no especificadas. Lo cierto es que se trata de elementos finitos, que pueden ser medidos y que presentan formas muy variadas, tanto en perfil como en planta (Carson y Kirkby, 1972).

Su modelado resulta de la acción de diferentes tipos de procesos geomorfológicos, especialmente, los relacionados con el movimiento de partículas, los movimientos en masa y, sobre todo, los vinculados a la acción de la arroyada (Borja, 1996). El movimiento de partículas (*creep* o reptación) es el responsable de la movilización generalizada de elementos que, comandados por mecanismos diversos (cambios de volumen de la fracción limo-arcillosa bajo el efecto de la variación en el contenido de agua, variaciones provocadas por la dilatación y retracción por efecto de las oscilaciones térmicas, movilizaciones bióticas ejercidas por los animales excavadores de todas las tallas, así como, por las raíces de las plantas, etc.),

afecta a una capa superficial estrecha de las laderas (Tricart, 1965). La reptación provoca la formación de pequeñas acumulaciones detrás de los obstáculos (tocones de árboles, setos, cercas...), y correlativamente un descalce del lado de la parte de abajo de la pendiente. Se pueden apreciar, también, curvamientos de las bases de los árboles, vallas extraplomadas... En definitiva, la reptación da lugar a un modelado generalizado de la ladera, desalojando muy lentamente las zonas altas y medias de las vertientes, es decir, las zonas de ablación y transporte, y acumulando los materiales a sus pies, allí donde la pendiente, factor determinante, disminuye. Por último, hay que indicar que la ratio de acción de este proceso es extremadamente lento, siendo habitual un promedio de varios mm/año, aunque en ocasiones puede llegar a algunos cm/año, medida que constituye el máximo (Selby, 1982).

Los movimientos en masa presentan una gran variedad en cuanto a procesos, mecanismos, morfología, depósitos, etc. (Flageollet, 1989; Crozier, 1986). Se distinguen cinco grandes tipos dentro de los cuales se pueden establecer diferentes categorías en función de sus características (Borja, 1996).

- En primer lugar, los deslizamientos consisten en el desplazamiento de parte de los materiales de la ladera a través de una o más superficies de cizalla, que pueden ser preexistentes o bien desarrollarse durante el evento. Es característico de este tipo de movimientos la concentración de las deformaciones en la zona de rotura, mientras que el resto de la masa movilizada puede conservar en mayor o menor medida su morfología inicial. Dependiendo de la forma de la superficie de rotura se distingue entre deslizamientos traslacionales, cuando es plana, y rotacionales cuando son cóncavas o curvilíneas. Frecuentemente se dan combinaciones de ambas, denominándose en estos casos deslizamientos compuestos (Zaruba y Mencl, 1982).
- Las coladas o flujos, por su parte, engloban a una amplia gama de fenómenos que se caracterizan por la pérdida de las estructuras de los materiales involucrados en el movimiento, por las velocidades de desplazamiento que alcanzan, por el estado de consistencia más o menos viscoso que adquieren los materiales, sobre todo, los de

granulometrías finas, por la forma del depósito al que dan lugar, por su movimiento, generalmente canalizados en *talwegs*, etc.

- Los desprendimientos consisten en un movimiento de caída de una porción del sustrato geológico, en forma de bloques aislados o masivamente que, en gran parte de su trayectoria, desciende por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con el terreno donde se producen saltos, rebotes y rodaduras. Es un movimiento extremadamente rápido y requiere de unas condiciones de relieve muy específicas como son la presencia de cantiles o taludes verticalizados (que posibiliten la caída libre) y con un sistema de diaclasas desarrollado (Rice, 1983).
- Los vuelcos constituyen movimientos de rotación hacia el exterior de una unidad o de un conjunto de bloques alrededor de un eje pivotante situado debajo del centro de gravedad de la masa movilizada. Se desarrolla en condiciones topográficas, igualmente, verticalizadas y con una estructura fracturada, al igual que los desprendimientos.
- Finalmente, la soliflucción comprende aquel movimiento ladera abajo de materiales de granulometrías finas, por lo general arcillosos, que experimentan una deformación, que a veces llega a producir el despegue, aunque éste no es estrictamente necesario. La soliflucción tiene lugar, en tanto en cuanto, se produzcan las condiciones de humedad necesarias en dichos materiales, que posibiliten el rebasamiento del límite de plasticidad de los mismos. Se trata de un proceso con un rango de acción lento, de orden centimétrico a métrico por año.

Son, sin embargo, los procesos relacionados con la escorrentía los que tienen una mayor influencia en el modelado de las laderas (Kirkby, 1979). Se estima, según Knighton (1998) que el 95% del agua que se concentra en la red de drenaje ha pasado por las laderas siguiendo diversos caminos para ello. De modo general se reconocen dos tipos de procesos relacionados con la escorrentía: aquellos que funcionan en la superficie del terreno y los que lo hacen de modo subsuperficial (Borja, 1996). El agua procedente de las



precipitaciones que no es interceptada por la vegetación actúa de diferente manera al entrar en contacto con la superficie del terreno: puede penetrar en él, saturando los suelos y formaciones superficiales, infiltrándose a través del sistema de poros y grietas, o, puede escurrir sobre ella alimentado el drenaje superficial. El agua que no se infiltra puede almacenarse en la superficie en las zonas deprimidas, desde donde también puede entrar a formar parte de las aguas subsuperficiales o subterráneas. El modo de escurrir del agua que no es absorbida por el suelo es variado adquiriendo una forma discontinua, difusa o concentrada (Tricart, 1977).

Así, la arroyada discontinua tiene escasas repercusiones desde el punto de vista geomorfológico, quedando su acción reducida a pequeños hilos de agua que se desarrollan con una longitud de algunos decímetros. Por su parte, un mayor desarrollo, sin embargo, presentan las otras dos modalidades. La arroyada difusa sucede a la discontinua cuando la lluvia es persistente, apareciendo cuando el agua que no es absorbida por el suelo ni la vegetación comienza a escurrir, produciéndose un efecto acumulativo del caudal en el sentido de la pendiente (Coque, 1984). Por último, la arroyada concentrada se caracteriza por la aptitud de los hilos de agua para incidir la superficie del suelo y esculpir talwegs en miniatura. Este hecho es el resultado de la existencia de una competencia suficiente para atacar el material superficial y movilizarlo. La incisión de regueros y surcos más marcados esculpen en las laderas los drenes elementales que tienden a concentrar los hilos de agua por un efecto de eliminación mutua, atrayendo los más activos y desviando hacia ellos los menos desarrollados. De este modo, se pone en marcha un nuevo proceso acumulativo, no sólo hidrológico, sino esencialmente morfogenético, aunque regueros y surcos funcionan de modo esporádico sólo en los momentos de lluvia. Los cauces labrados de este modo permanecen durante el período existente entre dos lluvias con lo que la arroyada puede volver a funcionar en la lluvia siguiente recuperando estos canales de una manera más fácil.

Desde el punto de vista de los efectos morfogenéticos, la arroyada difusa se caracteriza por su nula capacidad para generar incisiones, ejerciendo una especie de arrastre en zonas concretas de las laderas. Si se considera un período de tiempo relativamente amplio, el resultado es un modelado de las laderas caracterizado por un barrido generalizado de toda la superficie de la

misma. Por contra, la arroyada concentrada realiza un modelado localizado, esculpiendo las vertientes, volviendo su topografía cada vez más accidentada y menos uniforme. Dependiendo del tamaño de las incisiones se utilizan distintos términos para su identificación: de menor a mayor capacidad de incisión estarían los regueros, los surcos y, finalmente, las cárcavas (Tricart, 1977).

El flujo subsuperficial de agua, por su parte, recibe el nombre de sufosión o *piping*. Se trata de un tipo de circulación hipodérmica que genera conductos subterráneos. Es preciso que exista una formación superficial porosa dispuesta sobre otra impermeable. Cuando el agua se infiltra y encuentra el nivel impermeable comienza a moverse lateralmente (Tricart, 1981). Donde confluyen estas circunstancias, morfológicamente se desarrollan unos conductos subterráneos o *pipes* próximos a la superficie, que con el tiempo terminan en colapso, provocando hundimientos generalizados a lo largo del sistema de tubos, y generando regueros, surcos y, en ocasiones, cárcavas. Igualmente, allí donde se produce la surgencia del agua suelen aparecer fenómenos de acarcavamiento.

Además de reconocer la importancia de los procesos geomorfológicos en el modelado de las laderas, es igualmente importante tener en consideración los usos y coberturas del suelo existentes en cada cuenca hidrográfica (Ruiz Sinoga y Reyes, 2005). El sistema de laderas de cada cuenca constituye el territorio en el que el ser humano ha venido desarrollando su actividad económica de forma habitual desde los albores de la civilización. La transformación de grandes porciones del territorio para su puesta en cultivo o la tala de grandes extensiones de bosque y matorral para su aprovechamiento, son una constante en cualquier lugar del planeta y en cualquier momento histórico. En el ámbito mediterráneo el aprovechamiento intensivo por parte del hombre es una señal de identidad del propio paisaje, el cual no se entendería en su estado evolutivo actual sin la participación activa y continuada de la acción antrópica, al menos desde hace 6.000-7.000 años. Sin embargo, en las últimas décadas la capacidad del hombre para modificar el medio natural ha aumentado de forma considerable, especialmente desde la segunda mitad del siglo pasado hasta la actualidad, habiéndose generado una notable mecanización de las tareas agrícolas, así como, un avance de los procesos de tecnificación e industrialización del

campo, a la vez que se ha producido un avance de la frontera agrícola en detrimento de los espacios naturales de tipo forestal (bosques, masas de matorral...). Esta transformación en los usos del suelo, basados en una sustitución de espacios con coberturas vegetales naturales, por suelos agrícolas u otros usos más agresivos, tiene importantes repercusiones en el funcionamiento de los sistemas fluviales. Como consecuencia de lo anterior, los procesos de erosión de suelos han experimentado en las últimas décadas un aumento de las tasas sin precedentes conocidos en ninguna parte del mundo, incluida la Península Ibérica (García Ruiz, 2010).

### **e) Caracterización morfométrica de las cuencas fluviales**

La caracterización morfotopográfica de la cuenca hidrográfica persigue dos objetivos fundamentales: por una lado, la descripción morfológica de la cuenca; y, por otro, el análisis de la relación forma-procesos, ambos desde una perspectiva cuantitativa, que permita extrapolar datos a otras cuencas y compararlas entre ellas (Strahler, 1964; Romero y López Bermúdez, 1987; Romero, 1989).

De este modo, la caracterización morfométrica de una cuenca y de su red de drenaje proporciona información sobre las relaciones que se establecen entre las principales características de ésta (geometría del relieve, caracteres litológicos, rasgos estructurales, etc.), y la generación de caudales (Ruiz Sinoga y Murillo, 2005). Las principales variables morfométricas que caracterizan a las cuencas hidrográficas y que permiten su análisis individualizado son de diverso tipo, destacando como fundamentales las siguientes (Lama, 2007): *i*) Geometría: se analizan parámetros como la superficie, el perímetro, la longitud de la cuenca y la razón de circularidad; *ii*) Relieve: se revisan elementos como la altitud máxima, altitud mínima, desnivel, pendiente, razón de relieve y número de rugosidad; *iii*) Topología: se establece el orden y número de cauces; *iv*) Longitud: se identifica la longitud de los cauces, longitud media, longitud total e índice de sinuosidad; y, *v*) Intensidad fluvial: se analiza la densidad de drenaje, así como, el coeficiente de torrencialidad.

Muchos de los parámetros que se tienen en consideración se obtienen directamente sobre una base topográfica (altitud máxima, altitud mínima,

longitud cauces...); otros, por su parte, necesitan cálculos algo más complejos (superficie, pendiente media de la cuenca, pendiente del cauce...); finalmente, otros resultan de la aplicación de fórmulas en las que se relacionan y combinan algunas de las variables simples (índice de circularidad, razón de bifurcación, índice de sinuosidad...) (Senciales, 1999). La aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG) al análisis morfotopográfico de los sistemas fluviales ha automatizado muchas de las tareas que se requieren en este tipo de estudios.

El análisis morfotopográfico constituye una herramienta de gran interés para explicar cambios y tendencias en la dinámica hidrogeomorfológica de las cuencas hidrográficas mediante análisis comparados, especialmente en aquellas de reducidas dimensiones, y que han sufrido una especial transformación antrópica en las últimas décadas (Romero, 1989).

### **2.1.2. Cuenca y red de drenaje**

Las redes de drenaje son, según Senciales (1999), *la manifestación de la escorrentía superficial concentrada y jerarquizada en cauces*. Las redes de drenaje están integradas, como se ha comentado en apartados anteriores, por corrientes fluviales o canales que presentan diferentes modos de implantación territorial, que van desde los dispositivos dendríticos a los radiales, lineales, paralelos, rectangulares... (Howard, 1967; Gregory y Walling, 1973, López Bermúdez, 1992). La caracterización tipológica de los canales es diversa en función de los parámetros que se sutilicen en su definición (Leopold y Wolman, 1957; Rust, 1978; Rosgen, 1996; Brierley y Fryirs, 2005). Así mismo, los patrones regionales de las redes de drenaje y sus relaciones con la estructura subyacente revelan mucho sobre la historia a largo plazo de la evolución de los paisajes (Harvey, 2002; Gutiérrez Elorza, 2008; Elliot, 2010).

#### **a) Forma de la red de drenaje**

Los dispositivos que pueden adoptar las redes de drenaje están condicionados fundamentalmente por la estructura geológica (Morisawa,

1985) y, en un menor grado, con otros elementos como la pendiente, el tipo de suelo, la vegetación... Pueden presentar formas muy diversas, como así lo demuestran las diferentes propuestas de autores como Howard (1967), Gregory y Gualling (1973), Morisawa (1985), López Bermúdez (1992) o Senciales (1999), entre otros muchos.

Según López Bermúdez (1992), las redes pueden agruparse en cuatro grandes tipologías: dendríticas, paralelas, enrejadas y rectangulares. Howard (1967), sin embargo, establece ocho categorías, tal como se recoge en la figura 7. Mientras que Morisawa (1985) define hasta 9 categorías (Tabla 2).

Sin embargo, la relación de tipologías más exhaustiva es la que propone Senciales (1999) en la que llega a definir hasta 14 categorías: dendrítica, subdendrítica, paralela, subparalela, pinnada, rectangular, angulada, enrejada, radial, centripeta, anastomosada, palimpsesto, anárquica y artificial.

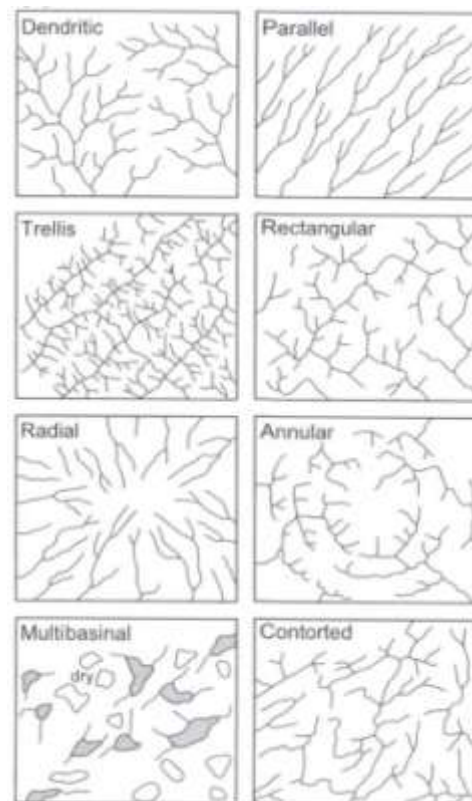


Figura 7. Clasificación morfológica de las redes de drenaje según Howard (1967).

<i>Tipo de red</i>	<i>Características estructurales, litológica y topográficas</i>
Dendrítica	-Sedimentos horizontales o rocas cristalinas homogéneas. -Ausencia de controles estructurales sobre materiales de resistencia uniforme.
Pinnada	-Superficie fácilmente erosionable sobre rocas horizontales homogéneas.
Paralela	-Superficie de pendiente pronunciada, asociada a fracturas y pliegues.
Radial	-Domos, conos volcánicos.
Enrejada o espaldera	-Sedimentos plegados, alternando capas duras con otras más débiles. También aparecen en áreas con formas topográficas paralelas o elongadas. Alineación de rocas.
Rectangular	-Fracturas y fallas.
Anular	-Domos erosionados en capas alternativas de sedimentos blandos y duros.
Centrípeta	-Calderas, cráteres, cuencas tectónicas.
Distributivo	-El curso principal se divide en varios anastomosados. -Característicos de áreas de escasa pendiente.

Tabla 2. Relaciones entre tipo de red de drenaje y características geológicas. Tomado de López Bermúdez (1992), modificado de Morisawa (1985).

## **b) Sistema de canales**

Los canales fluviales se pueden clasificar según distintos criterios: el dispositivo en planta que presenten, el tipo de lecho sobre el que discurran o según la forma/sección del canal.

### *b.1) Según la forma del dispositivo en planta*

La forma en planta de los canales fluviales puede ser muy diversa en función del dispositivo más o menos lineal que presente, o de la multiplicidad de canales presentes, e, incluso, de la ausencia canal en un tramo determinado. Las clasificaciones que se pueden encontrar en la bibliografía científica son muy variadas, desde las más simples (Pedraza, 1996) (Fig. 8), a las más completas y complejas (Brierley y Fryirs, 2005) (Fig. 9).

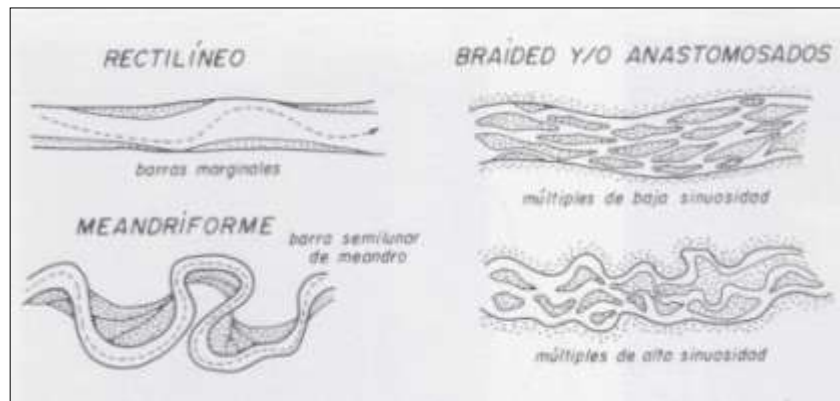


Figura 8. Tipologías básicas de corrientes fluviales según su trazado en planta según Pedraza (1996).

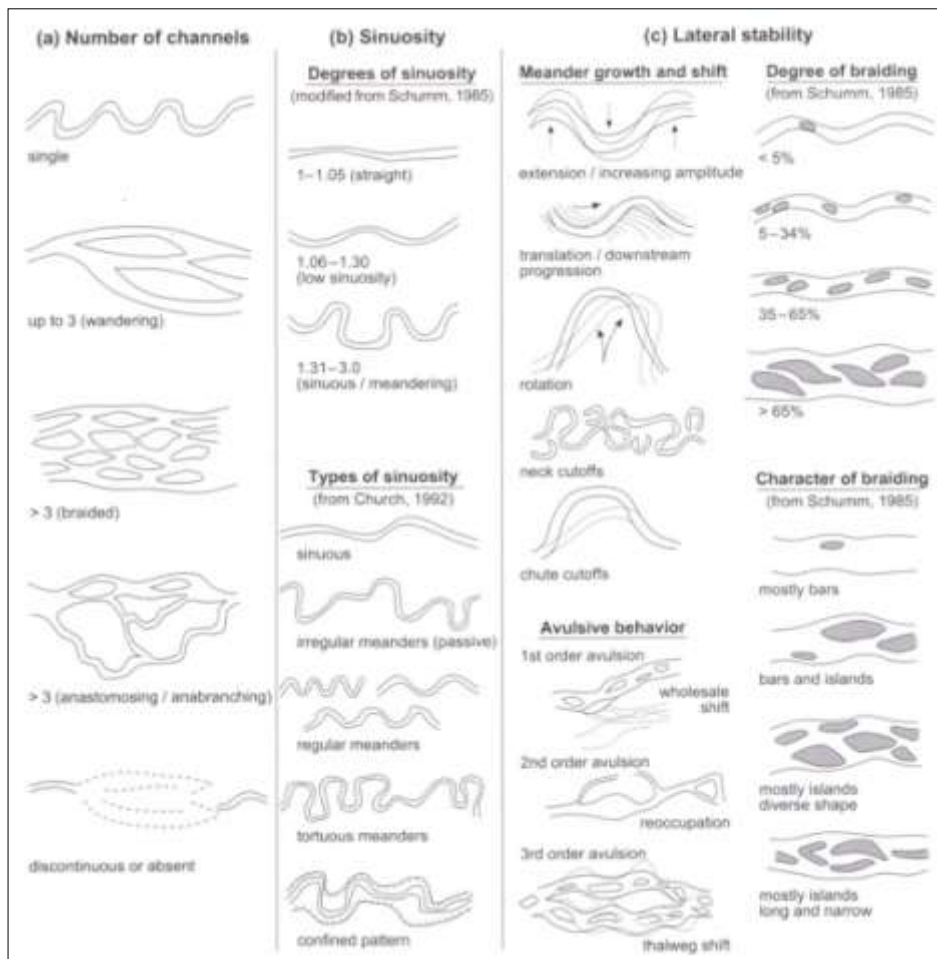


Figura 9. Tipologías básicas de corrientes fluviales según el número de canales, la sinuosidad y la estabilidad lateral de los canales Brierley y Fryirs (2005).

## *b.2) Según el tipo de lecho*

La acción continuada de los diferentes procesos que intervienen en el modelado fluvial a lo largo del tiempo y la combinación de los factores que condicionan e interfieren en el mismo, generan diversos tipos de lechos fluviales. Se agrupan, siguiendo las ideas de Muñoz Jiménez (1993), en tres categorías en función del tipo de lecho por el que discurren: rocosos, cambiantes o móviles y lechos torrenciales.

- Lechos rocosos: se desarrollan sobre materiales que no son movilizables de forma directa por la corriente. La resistencia que ofrecen estos materiales, fundamentalmente rocosos, hace que la acción modeladora de los cursos de agua sea prácticamente nula, a no ser que vayan acompañados de algún tipo de carga sólida. En estas circunstancias la erosión de este tipo de lechos tiene lugar, sobre todo, a través de un efecto de abrasión debido al roce y al impacto contra la roca de la mencionada carga sólida. Las formas resultantes de este proceso son fundamentalmente acanaladuras y marmitas de gigante. Se generan a partir de flujos turbulentos que atrapan cierta cantidad de elementos sólidos, los cuales son removidos por el torbellino y cuyo roce contra las paredes hace que estas se vayan desgastando, aumentando así el tamaño de la marmita.
  
- Lechos cambiantes o móviles: se dan sobre materiales que son fácilmente movilizables por la corriente fluvial, por lo que se modifican con una gran rapidez. Esta capacidad de cambio está íntimamente relacionada con los caudales disponibles. Un aumento de caudal hace que se acentúe la tendencia de incisión y excavación, así como, la capacidad de transporte y, por tanto, de sedimentación. Al contrario una disminución del caudal hace que se reajuste nuevamente el sistema. Teniendo en cuenta la existencia de modificaciones en el trazado se distinguen, a su vez, tres tipos de lechos cambiantes:
  - i) Lechos calibrados:* se caracterizan por la ausencia de cambios ostensibles en el trazado del curso fluvial. En este tipo de lechos los márgenes permanecen estables realizándose las acciones



básicas de la hidráulica fluvial (acumulación-incisión) solo en el fondo. Las formas más características de este tipo de cauces son los *ripples* de fondo y sucesiones de bancos y surcos de mediana envergadura y de carácter móvil.

*ii) Lechos meandriiformes:* se trata de canales fluviales móviles en los que se desarrollan curvaturas alternantes del trazado de formas más o menos regulares a las que se denominan meandros. Estas curvaturas constituyen una adaptación a flujos activos y relativamente rápidos puesto que los meandros constituyen un alargamiento de los cauces y, por tanto, una disminución de la pendiente longitudinal de los mismos. El meandro consta de dos arcos sucesivos y supone una vuelta completa sobre el canal. Característico igualmente, es el flujo de carácter helicoidal que desarrolla un trabajo de incisión-erosión en el lado externo del meandro y de sedimentación en el lado interno del siguiente, generando lo que se conoce como *point bars* o barras semilunares. La acumulación de estas barras genera una sucesión de surcos y crestas característicos de la margen interna de los meandros. El crecimiento de estas barras genera un desplazamiento de los meandros según diversas modalidades: traslación, rotación, extensión o una combinación de ellas (*vid. infra* apartado 2.1.3-d.2.).

*iii) Lechos anastomosados o braided:* se caracterizan por la existencia de numerosos canales dentro de un mismo cauce separados por bancos de material sedimentario emergido. Presentan un carácter altamente cambiante originándose numerosas confluencias y difluencias que dan como resultado un dispositivo de los canales en forma de trenza. Estos cursos fluviales se caracterizan por su escasa velocidad y turbulencia, es decir, por su falta de competencia para transportar materiales y, por tanto, por su carácter eminentemente deposicional. La carga transportada por este tipo de ríos es fundamentalmente de fondo. Hay autores que no encuentran diferencias entre un río anastomosado y un braided aunque si existen para otros. Estas diferencias se ponen de manifiesto en el tipo de cauce, con mayor

competencia y encauzamiento para los braided que para los anastomosados, y mayor capacidad de arrastre para los braided (gravas y bloques) que para los anastomosados (arenas y gravas). Igualmente, los flujos tipo braided presentan un carácter más permanente, mientras que los anastomosados son más efímeros y de carácter estacional.

- Lechos torrenciales: corresponden a canales con una elevada pendiente longitudinal, con una escasa profundidad de la lámina de agua y con un perfil transversal muy variable. Se desarrollan, por lo general, sobre materiales muy heterogéneos que introducen numerosas rupturas de pendiente en su perfil. Su funcionamiento es esencialmente discontinuo canalizando agua sólo tras episodios de fuertes precipitaciones, por lo que el trabajo morfogenético en estos lechos no es realizado por una corriente estrictamente de agua, sino por una masa de agua cargada con una gran cantidad de partículas que, incluso, puede llegar a un estado de consistencia fangosa, cuya mayor densidad le confiere una gran competencia hidráulica, suficiente para arrastrar grandes bloques de dimensiones métricas. Presentan un régimen completamente irregular y sumamente contrastado, pudiéndose afirmar que es en los momentos de crecida cuando únicamente se lleva a cabo la tarea de modelado en dichos sistemas. Cuando estos cauces alcanzan zonas con menor pendiente, normalmente en su desembocadura, y pierden su competencia, depositan su carga de depósitos en forma de conos de deyección, en los que se puede observar una granoclasificación negativa desde el ápice o extremo proximal hacia las partes más distales.

### *b.3) Según la forma/sección del canal*

Los canales se pueden clasificar, en última instancia, también por la forma o la sección del canal en cada tramo. La forma del canal es una expresión directa de la interrelación de un elevado número de procesos y factores (energía y tipo de flujo, carga sedimentaria, características geológicas de los materiales, vegetación...), por lo que su sistematización y clasificación no es una tarea fácil. Existen distintas aproximaciones. Una de ellas es la de

Brierley y Fryirs (2005), quienes establecen una clasificación de la sección de los canales teniendo en consideración, por una parte, el tipo de lecho sobre el que se labra el canal, fundamentalmente si es de tipo rocoso (excavado sobre el substrato), o si es un lecho labrado sobre los propios aluviones del río; y, por otra, el tipo y la forma de la orilla, la presencia o no de sedimentos, la existencia de vegetación... (Fig. 10).

La orilla puede estar labrada sobre el substrato o sobre los propios sedimentos aluviales dependiendo del tipo de lecho.

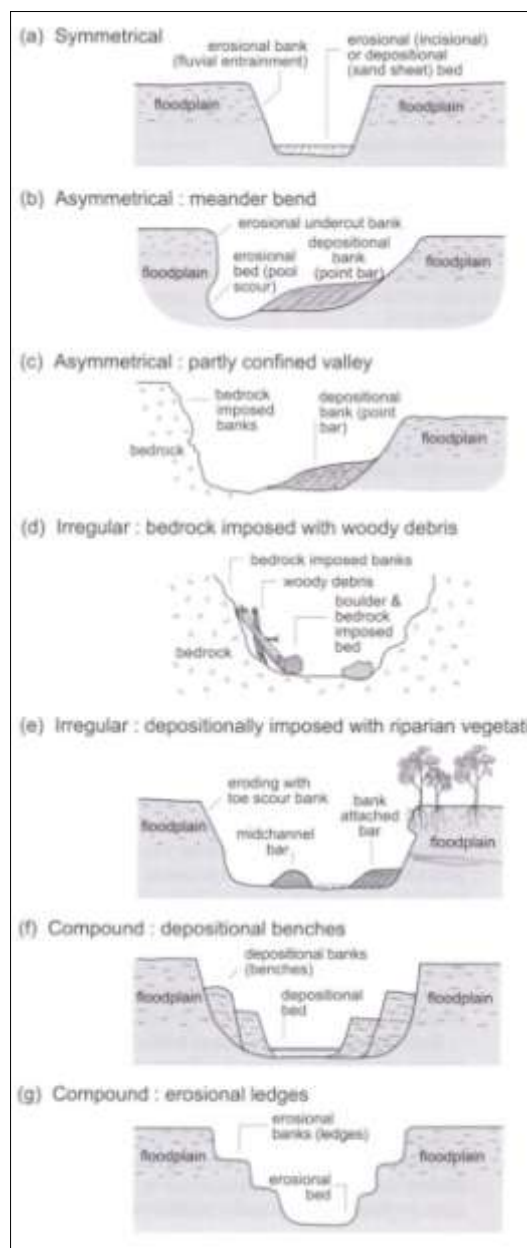


Figura 10. Clasificación de la forma o sección de los canales según Brierley y Fryrs (2005).

Los procesos responsables del modelado de las orillas son fundamentalmente de dos tipos según Brierley y Fryirs (2005): por un lado, los vinculados a procesos hidrológicos en sentido estricto, como son el desgaste fluvial provocado por la fricción del flujo directamente sobre el material o por socavación de la base y posterior caída del material; y, por otro, los procesos ligados con movimientos en masa de materiales: caída de lienzos en vuelcos, deslizamientos paralelos o rotacionales, o caída de bloques, todos ellos vinculados con la existencia de procesos de incisión fluvial en la base de la orilla (*undercutting*) (Fig. 11).

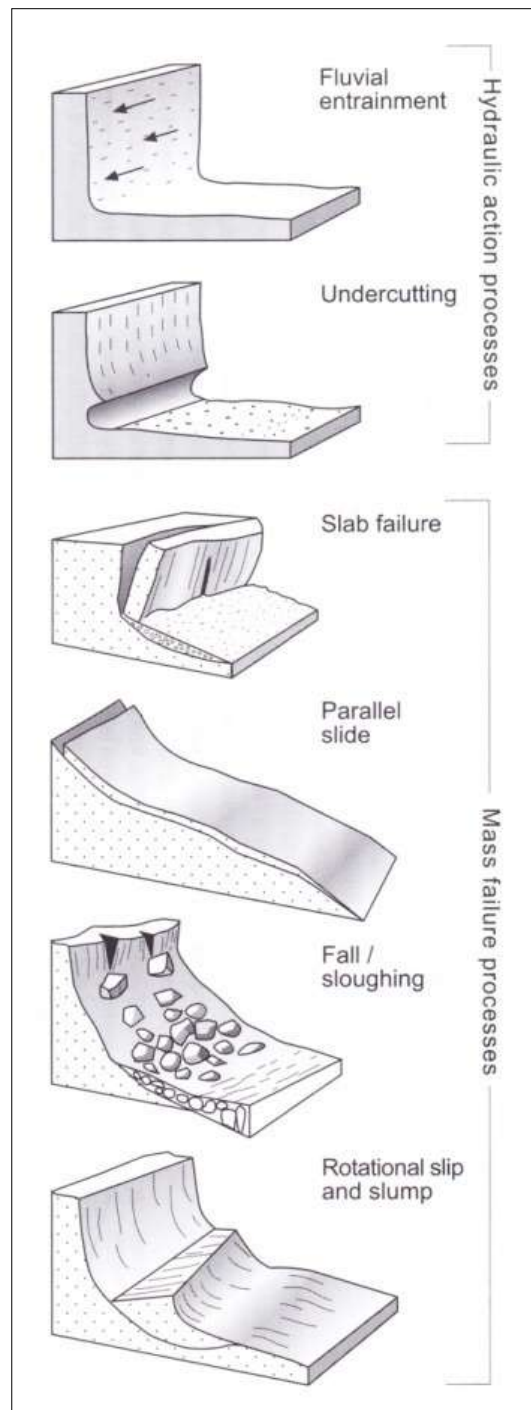


Figura 11. Procesos responsables del modelado de las orillas (Brierley y Fryrs, 2005).

La tipología de formas de las orillas resulta de la combinación a lo largo del tiempo de la acción de los procesos de erosión con los de sedimentación mencionados anteriormente. En la figura 12 se muestra la relación elaborada

por Brieley y Fryirs (2005) basándose en los trabajos de Thorne (1999) con hasta 14 categorías diferentes.

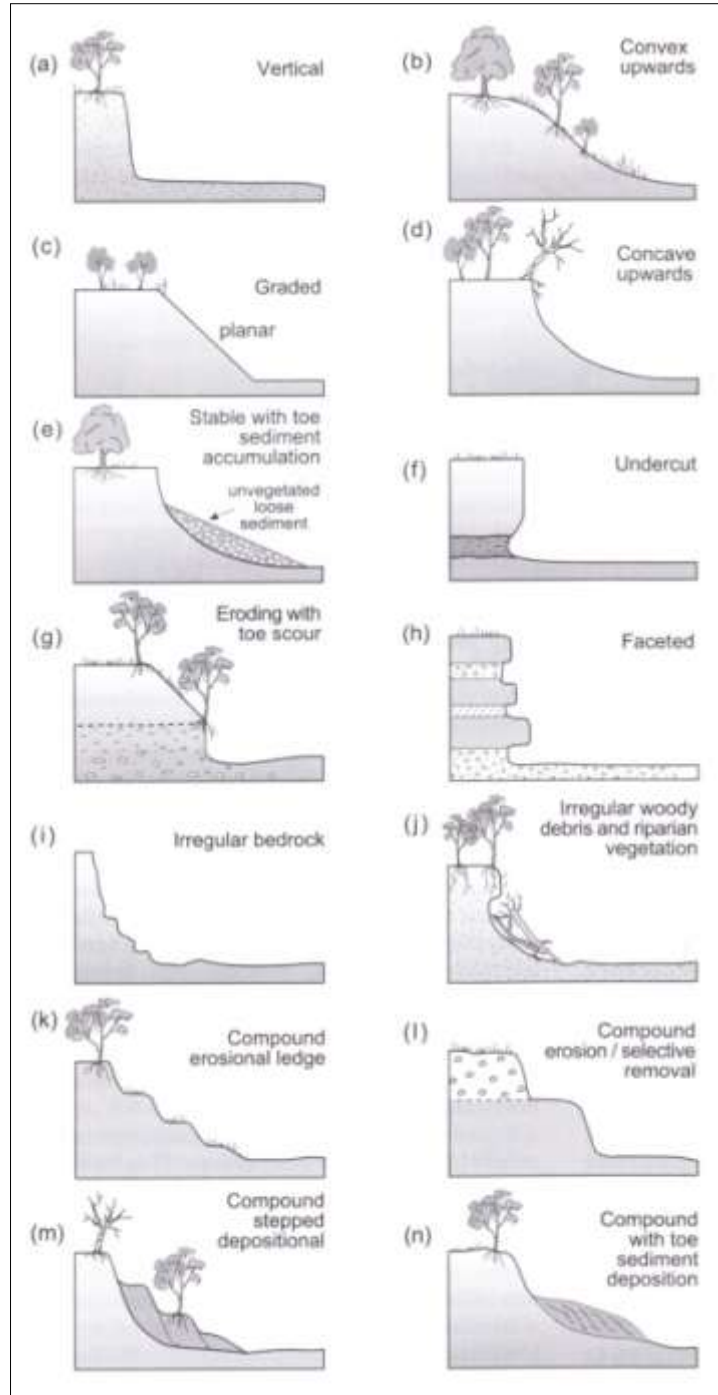


Figura 12. Forma de las orillas según Brieley y Fryirs (2005), basándose en Thorne (1999).

### c) Evolución de la red drenaje

Los sistemas fluviales son muy reactivos y cambian constantemente en busca de su equilibrio, especialmente en cuanto a los procesos de erosión-sedimentación se refiere. Estos cambios consustanciales al funcionamiento del sistema fluvial se manifiestan a distintas escalas espaciales y temporales. Los cambios comprenden lapsos temporales de segundos a minutos (cambio en la configuración de un lecho de arenas), a algunos cientos o miles de años (cambios en el perfil longitudinal del río), y abarcan ámbitos espaciales que afectan al canal (erosión de las orillas), a la totalidad de la cuenca (cambios en las divisorias de aguas). En la figura 13, Elliot (2010) hace una clasificación de los cambios producidos en los sistemas en referencia a sus requerimientos temporales y espaciales basándose en los trabajos de Knighton (1989).

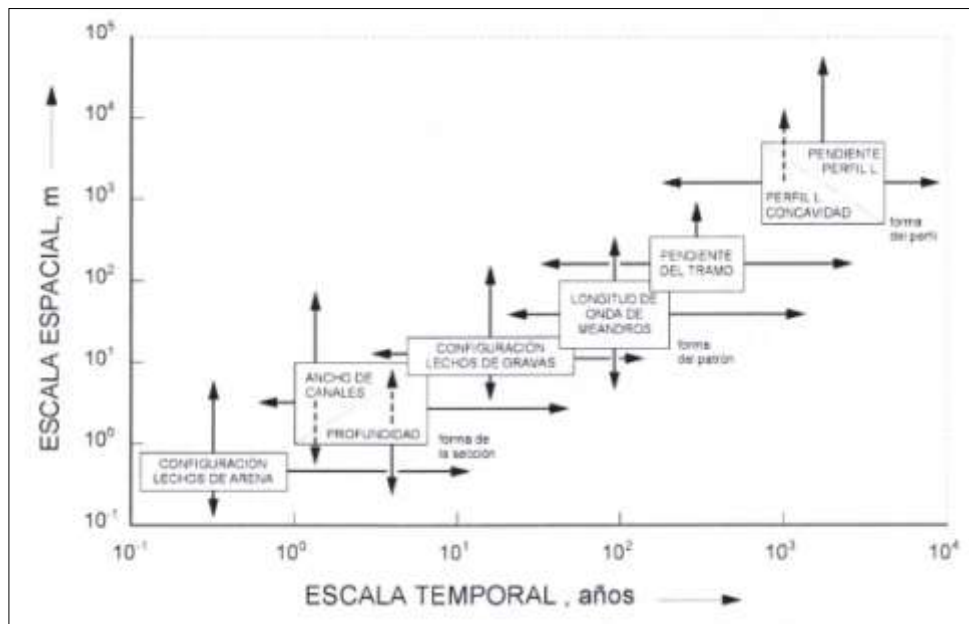


Figura 13. Clasificación de los cambios producidos en los sistemas fluvial atendiendo a sus requerimientos temporales y espaciales. Tomado de Elliot (2010), quien se basa en Knighton (1989).

Los cambios contemplados desde una perspectiva a largo plazo muestran la tendencia del cambio y, en definitiva, la evolución experimentada por el conjunto. Esta aproximación al estudio de los sistemas fluviales es objeto de disciplinas como la paleohidrología, la paleogeomorfología o la

geoarqueología, centradas todas ellas en el estudio de los cambios experimentados por los sistemas fluviales a escala histórica. Dichos cambios entran dentro del concepto de *metamorfosis de ríos*, en el que fundamentalmente se analizan las razones que están detrás de cambios en la dinámica geomorfológica de algunos de ellos, que han cambiado de un estilo fluvial a otro, pasando, por ejemplo, de ser meandriformes a anastomosados, y viceversa (Gutiérrez Elorza, 2008).

También la evolución de los sistemas fluviales se puede abordar desde una perspectiva temporal más larga. Según Viers (1983), las cuencas vertientes existentes hoy día sobre la superficie terrestre se organizaron durante el Plioceno. Ciertamente, durante el periodo Cuaternario son numerosos los casos en los que los sistemas fluviales se han adaptado a diferentes cambios en las condiciones climáticas que han determinado, fundamentalmente, la existencia de una mayor o menor disponibilidad de caudales (Harvey, 2012). Pero también la componente geológica ha impuesto sus condiciones haciendo que los sistemas fluviales se adapten a los procesos tectónicos reinantes (estructuras falladas, plegadas...), así como a los cambios de tipo eustático, que han modificado en numerosas ocasiones la posición del nivel de base con los consiguientes ajustes aguas arriba de los sistemas fluviales afectados.

De igual modo, durante el Cuaternario, también se han registrado cambios significativos en el funcionamiento de los sistemas fluviales propiciados por procesos de derrame de unos sistemas en otros (Derruau, 1991), o, lo que ha sido más habitual, la aparición de capturas por procesos de erosión remontante, que han dado lugar a importantes transformaciones tanto en el sistema capturado como en el que produce la captura (Coque, 1984).

### **2.1.3. Dinámica hidrogeomorfológica**

#### **a) La componente hidrológica**

Se estima que el 95% del agua que se concentra en las redes de drenaje han llevado a cabo un recorrido a través de las laderas bajo distintas modalidades de circulación (superficial o subsuperficial) (Knighton, 1998).

En la figura 14 se esquematiza el recorrido que el *input* de agua en las cuencas puede desarrollar hasta llegar a concentrarse finalmente en los cauces fluviales.

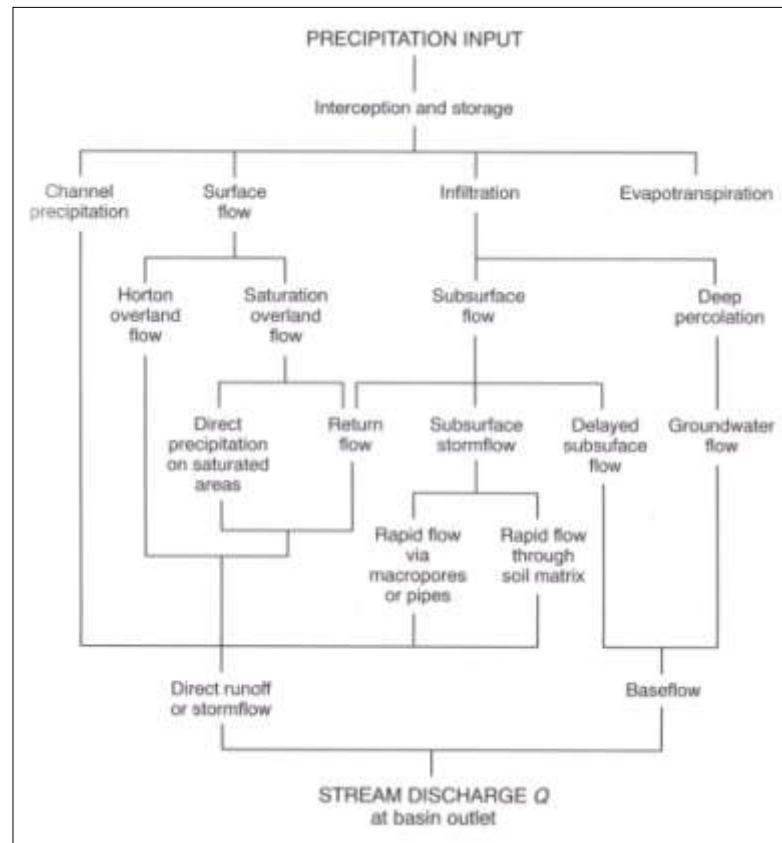


Figura 14. Esquema-diagrama del proceso de concentración de la escorrentía en la red de drenaje. Tomando de Knighton (1998).

La caracterización hidrológica del sistema fluvial, una vez concentrada y canalizada el agua de la cuenca en la red de drenaje, tiene como objetivos fundamentales, por un lado, la caracterización de los flujos, y, por otro, el análisis de las relaciones entre los flujos hídricos y los procesos de erosión, transporte y sedimentación.

El flujo es una masa ácuea en movimiento sometido a la acción de diferentes fuerzas que controlan su desplazamiento (Charlton, 2008). Las fuerzas que controlan los flujos de agua en los cauces fluviales son, según Elliot (2010), la fuerza de la gravedad que propicia y favorece el movimiento el agua; las



fuerzas de inercia que tienden a mantener el movimiento en el tiempo y en el espacio; y, finalmente, las fuerzas de fricción del flujo contra las paredes del canal, por un lado, y de las propias moléculas de agua entre ellas (viscosidad), que tienden a contrarrestar el movimiento, por otro. Según Elliot (2010) *de la importancia relativa de estas fuerzas en el interior del flujo dependerán su velocidad, y su comportamiento, que son las condiciones hidráulicas que determinan su capacidad erosiva y de transporte de sedimentos, que a su vez condicionan la morfología de los canales fluviales.*

Los flujos presentan velocidades diferentes alcanzándose las más altas en las zonas más alejadas del fondo (dependiendo de la altura del flujo) y de los márgenes (dependiendo de la anchura del flujo). De este modo, se identifican dos tipos de flujos principales: laminares o turbulentos, dependiendo de los patrones de movimiento del agua en su interior. En el flujo laminar el agua se desplaza en capas paralelas muy delgadas que avanzan unas sobre otras sin mezclarse entre sí. Se trata de un flujo lento, suave y ordenado en el que las partículas siguen una dirección predecible. En los caudales naturales es raro y una apariencia suave en la superficie no asegura que no haya alguna mezcla por corrientes ascendentes o circulares. El flujo turbulento, por su parte, es propio de un escurrimiento más rápido y/o de un fluido menos viscoso. Se caracteriza por sus remolinos o vórtices que son flujos circulares y rotatorios tridimensionales, a distintas escalas. En este tipo de flujos hay variaciones temporales de presión y de velocidad por lo que predecir la dirección que van a seguir las partículas es más difícil.

El flujo en un sistema fluvial se corresponde con el **caudal**, que es la masa de agua que los ríos evacúan a través de sus canales, incorporada a los mismos a partir, fundamentalmente, de la precipitación registrada en la cuenca hidrográfica. Se define como el volumen de agua que pasa por una sección en una unidad de tiempo. Se puede determinar mediante la fórmula:

$$Q = V / t$$

V = volumen

t = tiempo

o,

$$Q = v \cdot S$$

v = velocidad (se mide con un molino hidrométrico)

S = sección (viene dada por la estación de aforo)

Se mide en m<sup>3</sup>/seg

Se pueden determinar diferentes tipos de caudales que ayudan a su análisis y seguimiento, al tiempo que constituyen una información crucial a la hora de gestionar los recursos, así como, al diseño de infraestructuras.

- Caudal instantáneo: hace referencia al caudal máximo, o de crecida, y al caudal mínimo, o de estiaje. Interesa conocer su propagación, recurrencia, duración y fechas en relación, especialmente, a la caracterización de riesgos de inundación.
- Caudal modular: hace referencia al caudal medio de una serie estadística de 30 años, pudiéndose calcular para un periodo diario, mensual o anual.
- Caudal bruto o aportación absoluta (Qb): constituye la aportación total de agua fluvial por una cuenca a lo largo de un año. Es directamente proporcional al volumen de precipitaciones y a la superficie de la cuenca. Se determina mediante la fórmula:

$$Qb \text{ (Hm}^3\text{)} = Q \cdot 31.557.660 \text{ (seg. / año) / } 10^6 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$(1 \text{ Hm}^3 = 10^6 \text{ m}^3)$$

- Caudal específico (q): es el volumen de agua por segundo que aporta cada Km<sup>2</sup> de la cuenca. Se obtiene a partir del cociente entre el caudal modular (Q) en litros / seg. y la superficie de la cuenca (A) en Km<sup>2</sup>. Se determina mediante la fórmula:

$$q = Q \cdot 10^3 \text{ (l / seg) / A (Km}^2\text{)}$$

$$(1 \text{ litro} = 0,01 \text{ dm}^3 = 0,001 \text{ m}^3)$$

A partir de esta información se puede determinar el **coeficiente de caudal** que es la razón entre el caudal modular mensual y el caudal modular anual. Aplicando los resultados de este cociente en un gráfico lineal, realizado sobre un eje cartesiano, representando en el eje x (o abscisas), los meses del año y en el eje y (u ordenadas), los coeficientes de caudal, se obtiene una representación gráfica que permite identificar cuándo y cómo el caudal modular ha estado por encima o por debajo del módulo. De este modo, cuando se tiene un caudal modular *igual a 1*, esto quiere decir que el caudal medio mensual es igual al caudal medio anual. Por tanto el coeficiente 1, que indica un régimen fluvial regular, es decir, con escasas variaciones de caudal a lo largo del año. Si, por el contrario, el caudal modular es *inferior a 1*, esto quiere decir, que el caudal medio mensual es inferior al caudal medio anual, por tanto, indica un régimen irregular. Los meses con coeficiente de caudal  $<1$ , se llaman también meses de *aguas bajas o estiaje*, que coinciden con la estación climática, seca o con la estación en que el agua permanece congelada en forma de nieve. Finalmente, si el caudal modular es *superior a 1*, esto supone que el caudal medio mensual es superior al caudal medio anual, por tanto, indica un régimen irregular. Los meses con coeficiente de caudal  $>1$ , se llaman también meses de *aguas altas o crecidas*, que, a veces, ocasionan el desbordamiento del caudal del río o crecidas capaces de arrastrar todo lo que encuentran a su paso.

El comportamiento del caudal a lo largo de un ciclo hidrológico define el régimen fluvial, que se define a partir de varios parámetros según González del Tánago y García de Jalón (1998; 2007):

- La *magnitud* del caudal, que se refiere a la cantidad de agua que circula en cada momento por una determinada sección del río. Puede referirse al valor de los caudales medios anuales o mensuales, aunque también el término magnitud puede aplicarse a los valores de caudales máximos o extremos.
- La *duración*, que hace alusión al tiempo que se mantiene un determinado caudal. La duración puede referirse a un valor extremo (una crecida) o al número de días que un determinado caudal se mantiene por debajo o por encima de un valor concreto.

- La *frecuencia*, que se refiere al número de veces que se produce un determinado caudal en un intervalo de tiempo.
- La *época* o *predictibilidad*, es decir, el momento del año en la que se producen determinados caudales. Cada río presenta un patrón diferente en cuanto a la época en que tienen lugar los caudales máximos y mínimos. La relación con las condiciones climáticas de cada uno de ellos es clave para entender esta variable.
- La *tasa de cambio* y *torrencialidad*, que hace alusión a la rapidez con la que varían en el tiempo los caudales de los ríos. En algunas regiones, como las mediterráneas, las fluctuaciones de los caudales de los ríos es una de sus características más significativas.

El régimen hídrico muestra el tiempo de permanencia del flujo en el sistema fluvial, el cual variará según las condiciones climáticas, el tipo de relieve, la presencia o no de vegetación... (Wilhelm, 1997). En ausencia de precipitaciones, el caudal de los ríos puede ser alimentado por aguas subsuperficiales y subterráneas procedentes del acuífero aluvial o regional. Para el caso de España se pueden consultar los distintos regímenes fluviales existentes en el trabajo de Pardé (1955).

#### **b) Hidráulica del flujo: relación entre transporte y carga sedimentaria**

La puesta en movimiento de partículas en el canal por erosión se estudia por la hidráulica de límites variables a partir de la formulación de complejas ecuaciones que se simulan en laboratorio (Martín Vide, 2002). En este sentido, se ha prestado especial atención a la determinación de dos variables principales: la *velocidad de erosión crítica* y la *fuerza de tracción crítica*, que son valores mínimos de velocidad y fuerza de tracción que se necesitan para poner en movimiento determinados tamaños de partículas.

Resultado de estas investigaciones fue la aparición del *gráfico de Hjulström* que relaciona la velocidad crítica de un flujo necesaria para poner en movimiento un determinado tamaño de grano (Fig. 15). Hjulström (1935) demostró a partir de diferentes ensayos que el material que se mueve con

más velocidad es el de un diámetro de 0,25 mm, el cual se pone en movimiento cuando la velocidad del agua es de 0,2 m/seg. Por encima y por debajo de este tamaño, la velocidad de erosión crítica aumenta: *i)* en el caso de partículas más grandes porque hace falta más fuerza de tracción; y, *ii)* en las más pequeñas porque hay que vencer principalmente a las fuerzas de cohesión que las mantienen unidas.

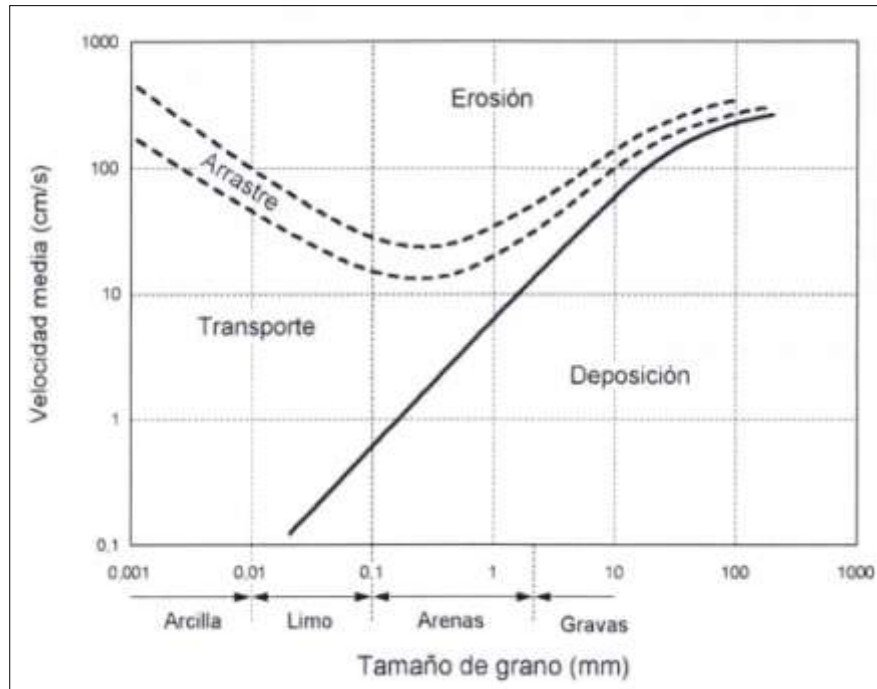


Figura 15. Gráfico de Hjulström tomado de Elliot (2010), rehecho de Hjulström (1935).

Del análisis de la gráfica se desprende que, para poner en movimiento (erosionar y arrastrar) una grava se necesita la misma velocidad, que para arrancar y movilizar una partícula de arcilla. Esto es debido a la alta cohesividad electroquímica que, por lo general, exhiben la mayoría de las arcillas. Sin embargo, para erosionar y arrastrar arenas de tamaños medios es cuando las velocidades pueden ser más bajas. En cuanto al transporte y la sedimentación de las diferentes granulometrías se sigue un patrón más lineal, siendo directamente proporcionales las variables de peso/tamaño a la velocidad necesaria para movilizarlas.

De forma general, se establece que la capacidad de erosión, transporte o sedimentación de un río se define en función de su *potencia neta*, la cual se obtiene de restar a la carga límite (que es la máxima carga de material que el río es capaz de evacuar por segundo, según las condiciones de velocidad, caudal, etc., que tenga en cada momento), la carga efectiva, es decir, la carga real que éste lleva en cada momento. De este modo, si la potencia neta es mayor que 0 ( $P_n > 0$ ), al río le “sobra” energía y puede erosionar y transportar; mientras que si la potencia neta es igual a 0 ( $P_n = 0$ ), el río es capaz de transportar, pero no de erosionar; y, por último, si la potencia neta es inferior a 0 ( $P_n < 0$ ), el río sedimenta. La carga límite varía con las dimensiones de las partículas. Por ejemplo, un río que acarrea 3 Kg de gravas, es capaz de transportar 20 Kg de arena, o 100 Kg de arcilla, o 500 Kg de loess (Elliot, 2010).

### **c) Acciones básicas de una corriente fluvial**

Las acciones básicas de erosión, transporte y sedimentación en un sistema fluvial están condicionadas, fundamentalmente, por la carga, la capacidad y la competencia.

- Carga: el equilibrio entre caudal, velocidad y tipo de flujo de la corriente determinan la cantidad de sedimentos que transporta una corriente en un lugar y un momento determinado. La carga puede ser de fondo (compuesta de gravas y bloques), en suspensión (integrada por arcillas y limos) y en disolución (partículas solubles).
- Capacidad: es el valor teórico de la carga que podría transportar un río en función de su velocidad, caudal y régimen de flujo.
- Competencia: se relaciona con el mayor tamaño de partícula que una corriente puede elevar o separar del fondo del cauce. Se obtiene a partir de la fórmula:

$$G = K (R \cdot J)^{3/2}$$

Donde:

G = peso del material en gramos.

K = parámetros en función de la turbulencia, del peso y del tamaño del material.

R = radio hidráulico (S/P: sección del cauce/perímetro).

J = pendiente superficial.

Las combinaciones de los parámetros carga, capacidad y competencia en una corriente fluvial se concretan, desde el punto de vista hidrogeomorfológico, en procesos de erosión, transporte y sedimentación:

- Erosión: el agua puede arrancar y desgastar los materiales con los que entra en contacto tanto por sí misma, como cuando actúa cargada de partículas. En sí misma el agua puede generar desgaste, arranques y arrastres sobre los materiales que conforman el conducto por el que circula, dependiendo de la energía de que disponga. Cuando va cargada de partículas el agua puede generar fenómenos, por un lado, de origen químico como la corrosión; y, por otro, de tipo mecánico originados por el roce y el golpeo de las partículas que arrastra la corriente contra las paredes del conducto (abrasión) y entre ellas mismas (corrasión). En los canales fluviales las mayores tasas de erosión se alcanzan durante las crecidas, especialmente cuando se alcanza el estado de *bank-full*, momento en el que se dispone de la mayor energía.
- Transporte: la movilización de los materiales en las corrientes fluviales presenta dos grandes modalidades: una de carácter químico que se desarrolla sobre partículas que sean susceptibles de disolverse por debajo del tamaño arcilla, y otra de carácter mecánico aplicado a aquellas partículas mayores que no se disuelven, con tamaño limo y mayores (Muñoz Jiménez, J. 1995). El transporte de carácter químico se lleva a cabo a partir de la disolución de partículas procedentes de los materiales que conforman el conducto por el que circula el agua, o bien pueden proceder del agua de lluvia. La carga en disolución puede alcanzar diferentes niveles hasta un punto en el que se produce la precipitación por saturación. El recorrido de estas partículas en disolución puede alcanzar a la totalidad del curso del agua si no se produce dicha situación. El transporte de carácter

mecánico, por su parte, presenta, igualmente, varias modalidades diferentes en función del tamaño de las partículas:

*i) Suspensión:* consiste en el mantenimiento dentro de la corriente de elementos de pequeño calibre (arcillas, limos y arenas finas) como consecuencia de la existencia de una turbulencia en el agua. Si la cantidad de material en suspensión es elevada crea una turbidez más o menos marcada. Cuando la corriente o la turbulencia del agua cesa o baja en intensidad, la capacidad de mantener las partículas decae, produciéndose entonces la decantación de dichas partículas.

*ii) Saltación:* se da sobre aquellas partículas de tamaño mayor, principalmente arenas y gravas, que la corriente no es capaz de mantener en suspensión, pero que pueden ser levantadas con un impulso del agua. Consiste precisamente en un empuje de las partículas que las levanta del fondo del lecho durante un intervalo corto de tiempo, para después volver a depositarlas varios metros más abajo en el sentido de la corriente.

*iii) Rodamiento:* se da sobre partículas de tamaño aún mayor (cantos y bloques) que no pueden ser levantadas por la corriente. Consiste en el empuje y consiguiente rodadura de los cantos en el sentido de la corriente. Es un proceso más lento que los anteriores y se realiza de un modo individualizado elemento a elemento. Como consecuencia del rozamiento se produce un desgaste paulatino de los bloques que los hace redondearse (cantos rodados).

*iv) Desplazamiento en masa:* se da en ocasiones excepcionales durante momentos de crecidas y, al contrario que el resto de las modalidades de transporte, es la única en la que se realiza un desplazamiento de materiales de distintos tamaños al mismo tiempo. Se da principalmente en ríos de régimen torrencial y se define como un movimiento de fondo en el que



se pueden ver envueltos en ocasiones grandes bloques (tamaño métrico) que son desplazados unos pocos metros.

- Sedimentación: el material que un río erosiona y transporta, finalmente, lo deposita aguas abajo y se realiza según varias modalidades; por un lado, la precipitación, que se produce cuando se sobrepasan los límites del producto de solubilidad por estancamiento-evaporación, temperatura, etc.; y, por otro, la decantación de los materiales que se produce debido a la menor fuerza del flujo cuando la corriente disminuye su velocidad, se estanca el agua, etc. El último de los procesos es el abandono de la carga en el fondo por la pérdida energética del río y de su capacidad de arrastre.

Estas tres acciones principales descritas de un modo individual se entremezclan en la realidad generando un complejo sistema de relaciones que terminan por configurar, en última instancia, el perfil longitudinal del río, actuando con secuencias de agradación o degradación en cada tramo en busca de su perfil de equilibrio. El río funciona entonces como un sistema que responde a cualquier cambio en su funcionamiento de una manera solidaria en toda su extensión.

En los canales fluviales la erosión tiene lugar durante las crecidas y la acumulación cuando desciende el nivel y el agua que transporta el sedimento pierde energía. En cualquier canal se pueden distinguir los tres procesos: erosión (degradación), equilibrio (transporte) y agradación (sedimentación). Todas estas acciones son el resultado de un gran número de ciclos más cortos, cada uno de los cuales incluye erosión, transporte y sedimentación. La magnitud relativa de estos procesos es lo que determina su resultado a largo plazo.

#### **d) Formas y depósitos fluviales**

La dinámica hidrogeomorfológica fluvial es la responsable, en última instancia, de la aparición de un conjunto de formas (morfologías) y depósitos (formaciones superficiales) específicas de este sistema morfogenético,

algunas de las cuales son fruto de una génesis y dinámica complejas. De una forma genérica, se pueden sistematizar y clasificar en función de su carácter erosivo o deposicional, según su posición geomorfológica, su carácter activo o inactivo, así como, por sus dimensiones, que varían desde las escalas centimétricas, en algunos casos, a kilométricas en otros. Conjugando todos estos elementos se plantea a continuación una clasificación de las formas y depósitos agrupados en función de sus dimensiones.

#### *d.1) Formas y depósitos menores*

Las formas y depósitos fluviales menores se pueden sistematizar a partir de su posición geomorfológica, según se sitúen dentro o fuera del canal.

Dentro del canal, especialmente en aquellos labrados sobre materiales arenosos, se reconoce todo un conjunto de formas y depósitos característicos asociados a distintas condiciones de energía del flujo y de disponibilidad de carga sedimentaria. Las formas básicas son los *ripples*, o pequeñas rizaduras de tamaño centimétrico a decimétrico, con formas diferentes según las condiciones del flujo que las origina. Constituyen una secuencia de crestas separadas por depresiones que están más distanciadas unas de otras cuanto menor es la velocidad del flujo, con un dispositivo apuntado en el sentido de la corriente, o más simétrico si se trata de un flujo oscilatorio. En planta presentan una morfología diversa que varía desde la configuración de trenes más o menos rectilíneos, a otros de formas sinuosas, lingüides o de media luna (Whittow, 1984).

También en lechos arenosos es frecuente la acumulación de arenas formando dunas, las cuales, en ocasiones se originan al amparo de algún obstáculo. Cuando la velocidad de la corriente es elevada suelen aparecer antidunas. La diferencia entre una y otra se muestra en la figura 16 y básicamente radica en la posición en la que se produce la acumulación de materiales, en el dorso en el caso de las dunas, en el frente en de las antidunas (Whittow, 1984).

El sistema de pozas (*pools*) y umbrales (*rifles*) se da en lechos arenosos y también con otro tipo de granulometrías más gruesas, confiriéndole al perfil longitudinal del río un dispositivo alternante entre zonas deprimidas y

elementos en resalte (Fig. 17). Se conforma este tipo de morfologías con regímenes de flujos de alta intensidad, tal como se indica en la figura 18 (Gutiérrez Elorza, 2008).

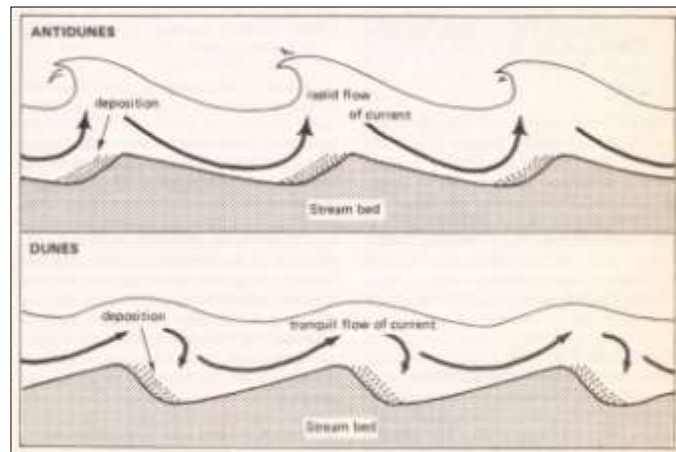


Figura 16. Esquema de funcionamiento de dunas y antidunas hidráulicas (Witthow, 1984).

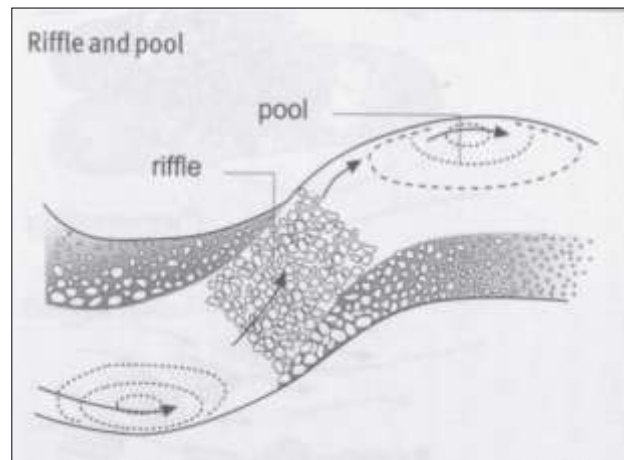


Figura 17. Sistema poza-umbral (Brierley y Fryirs, 2005).

En ocasiones, la acumulación de materiales, especialmente arenosos, en el fondo del lecho (*channel lag*) puede llegar a ser generalizada. Cuando la disponibilidad de este tipo de material es elevada y la intensidad del flujo insuficiente, puede llegar a ocupar, en algunos casos, prácticamente la casi totalidad de la sección del canal (Borja *et al.*, 2009).

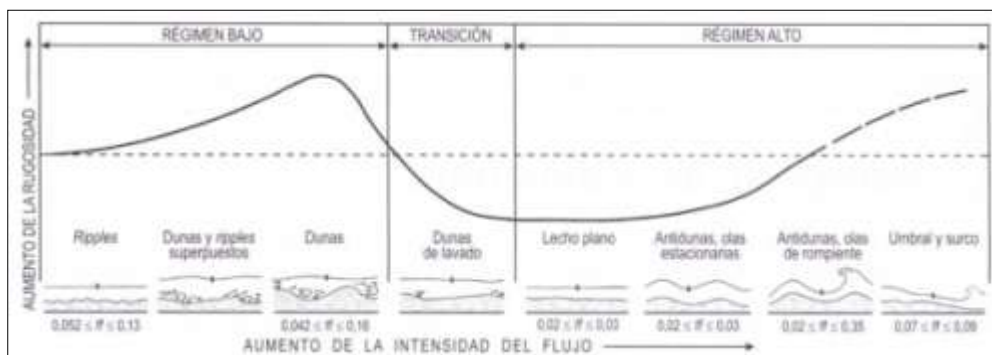


Figura 18. Variaciones en la formas del lecho en función de la intensidad del flujo y de la rugosidad (Simmons y Richardson, 1966).

Más habitual es, sin embargo, la aparición de barras adosadas o aisladas (islas) que pueden estar compuestas por material heterogéneo (arenas, gravas...), y que pueden alcanzar dimensiones variables y ocupar posiciones diferentes e, incluso, corresponder con momentos diferenciados de la evolución del sistema. Por lo general, presentan un carácter variable, ya que pueden cambiar de fisonomía, trasladarse de posición o, incluso, desaparecer, tras cada evento hidrológico de intensidad. Según Pedraza (1996), se distinguen por su posición en planta en laterales y medias. La clasificación de Brierley y Fryirs (2005) es mucho más completa llegando a distinguir hasta doce categorías (Fig. 19), sin contar las específicas de los meandros (*point bars*).

Fuera del canal se sitúan igualmente formas y depósitos asociados a la dinámica fluvial. El más próximo al canal, en continuidad con la parte alta de la orilla, se corresponde con el *levée* o dique natural que constituye un montículo con un perfil longitudinal más elevado en el contacto con la orilla del canal, y más aplanado y alargado en el sentido de la llanura aluvial. Presenta una granulometría decreciente en el sentido de la mínima pendiente, donde se acumulan los materiales más finos (limos y arcillas), mientras en la zona próxima al canal se acumulan los materiales más gruesos (Gutiérrez Elorza, 2008).

Los depósitos asociados a procesos de acumulación de materiales fuera del canal están, por su parte, asociados a momentos de alta intensidad en el flujo (crecidas) y presentan diferentes tipologías según su posición, sus

dimensiones y, sobre todo, su morfología. Los denominados lóbulos de *floodout* se asocian a discontinuidades en el canal y se forman asociados a rupturas de pendiente o cuando, tras un recorrido despejado por el mismo, el flujo alcanza un trecho colmatado, registrándose en cualquiera de los casos una importante caída en su velocidad. Por su parte, los mantos de arena (*floodout sandsheet*) se vinculan a eventos de alta energía y situaciones de carga extrema, bajo los que los materiales finos (principalmente arenas) del lecho ocupan las márgenes aledañas al canal o la superficie de la llanura aluvial, distribuyéndose los materiales por las partes más bajas de su topografía. Constituyen sedimentos masivos, pobremente clasificados con pocas variaciones laterales de facies, que muestran un techo plano o levemente ondulado.

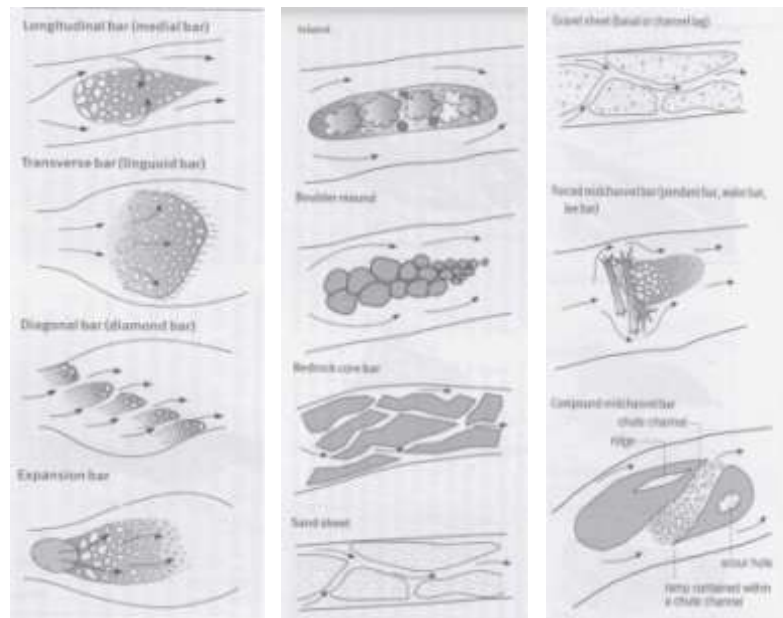


Figura 19. Diferentes tipos de barras e islas (Brierley y Fryris, 2005).

Los lóbulos o conos de derrame (*crevasse splay*) se asocian a curvas del canal o meandros en los que el flujo supera la orilla inundando la zona aledaña al canal, generando un depósito elongado o con forma de abanico más o menos digitado. Está compuesto generalmente por arenas y se asocian con cambios bruscos, en la anchura del cauce. También pueden aparecer en tramos donde se ha modificado el canal natural (Ortega-Becerril, 2007).

Finalmente, los depósitos de avulsión tienen que ver con situaciones de inestabilidad lateral del canal, cuyo resultado puede generar un cambio completo en el trazado del mismo en la llanura aluvial, propiciando la creación de un nuevo canal y el abandono del existente previamente, así como su relleno.

En el apartado de morfologías queda mencionar la existencia de paleocanales y canales de crecida ubicados, por lo general, en ámbitos de llanura aluvial. Constituyen en ambos casos morfologías alargadas y deprimidas no funcionales que, en el caso de los primeros, aparecen rellenos de materiales (*channel fill deposits*), mientras que los segundos mantienen un cierto grado de actividad en épocas de crecidas.

#### *d.2) Formas y depósitos mayores*

Los meandros constituyen curvas (*bends*) alternantes del trazado del canal con formas más o menos regulares (*vid. supra* apartado 2.1.2-b.1). Según Pedraza (1996), en ellos es característico el flujo helicoidal que genera efectos erosivos y sedimentarios diferenciados: erosiona en la parte externa de la curva, mientras que deposita en la parte interna de la misma. Este efecto hace que el material erosionado en la parte externa de una curva se deposite en la parte interna de la siguiente, generando el crecimiento de barras semilunares o *point bars* hacia la zona externa, marcando en la orla interna una sucesión de surcos y crestas (*scrolls*). Esta dinámica de crecimiento continua de la zona erosionada y de los *point bars* hace que los meandros se desplacen según diversos patrones: traslación, extensión, rotación, o, lo más común, una mezcla de todos ellos (Fig. 20). De igual modo, el desplazamiento continuo de los meandros puede generar su estrangulamiento y acortamiento recuperando el río su antiguo trazado entre dos crestas (Fig. 21), generando un meandro abandonado (*oxbow lake*), que es rellenado posteriormente con depósitos aluviales en sucesivas crecidas. El desplazamiento de los meandros constituye un mecanismo de migración lateral del sistema que en algunos ríos constituye una de sus señas de identidad (*p.e.* río Misisipi).

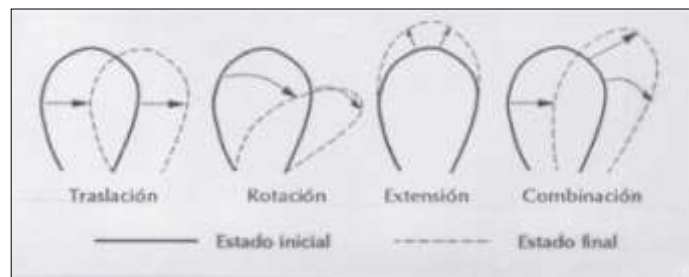


Figura 20. Patrones de desplazamiento de los meandros según Pedraza (1996).



Figura 21. Mecanismo de corte y abandono de meandros según Pedraza (1996).

Existen numerosos enfoques a la hora de abordar el estudio de los cauces meandriformes (Magdaleno *et al.*, 2011), según se centren en la morfología del meandro y su evolución (Hooke, 1984). Para ampliar información sobre esta temática se recomienda la lectura de los trabajos de Gurnel *et al.* (1994), Hooke (1997), Lagasse *et al.* (2004), Addink y Kleinmans (2008) o Howard (1992).

Las llanuras aluviales son franjas de terreno de topografía plana, con escasa o nula inclinación, aledañas y paralelas al canal, con una anchura que puede llegar a ser kilométrica. Se compone de aluviones o depósitos aportados por los cursos fluviales durante dilatados períodos de tiempo. Algunos autores explican su génesis asociándolas a zonas afectadas por una tectónica de tendencia subsidente aunque no demasiado intensa. Compuesta principalmente por aportes de materiales finos propios de los momentos de crecidas, en ella se puede reconocer algunos elementos en resalte como son los *leveés*, o pequeños escalones longitudinales situados en los bordes del

canal, u otros con morfologías más deprimidas en función de su grado de actividad o relleno, como son paleocanales y canales de crecida. Se desarrollan en ellas también los suelos aluviales o fluvisoles, según la clasificación de la FAO, o entisoles *fluvents* según la *Soil Taxonomy*, por lo general, poco evolucionados desde el punto de vista edafogenético, pues son suelos recientes, en los que predominan los procesos deposicionales, aunque muy fértiles desde el punto de vista agronómico (Ollero, 2007).

Por su parte las terrazas fluviales se pueden analizar desde ópticas diferentes. Desde un punto de vista fisiográfico las terrazas constituyen plataformas más o menos extensas con un borde o escalón. Desde un punto de vista morfogenético constituyen relieves tabulares de superficie plana desarrollada sobre depósitos aluviales generados en diferentes fases, y cuyo frente o escalón se genera como consecuencia de procesos de incisión, una vez depositado el aluvión (Fig. 22).

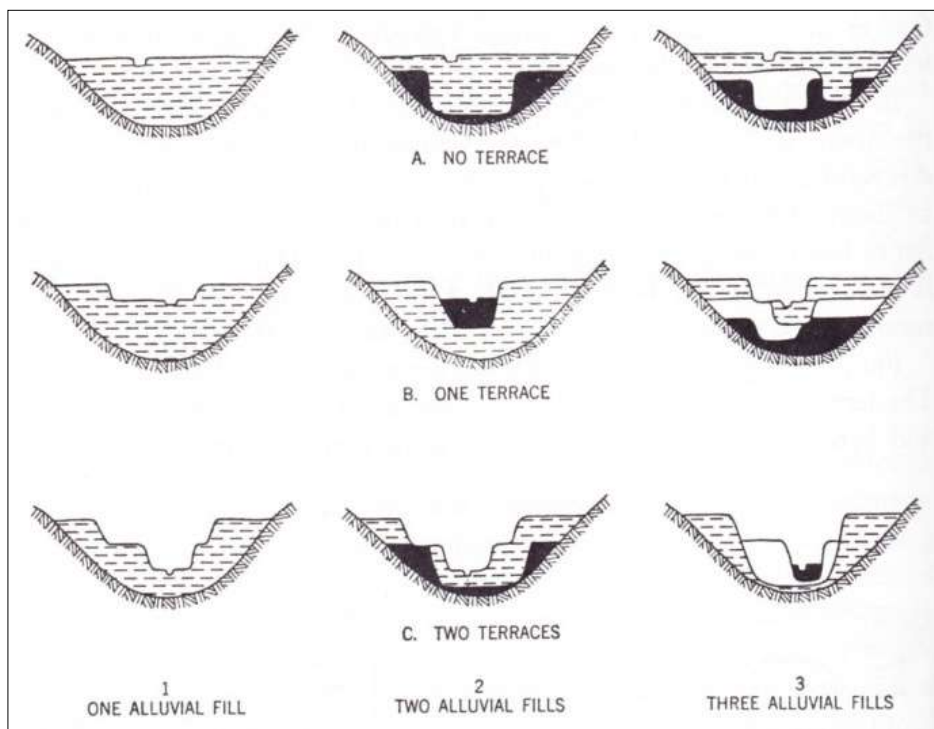


Figura 22. Diferentes secuencias de relleno y conformación de terrazas (Leopold *et al.*, 1964).



El origen de este tipo de depósitos es una cuestión no resuelta satisfactoriamente en la actualidad. En un principio se asoció con los cambios climáticos experimentados durante el Cuaternario, aunque esta explicación se desestimó rápidamente al comprobar que había ríos en los que el número de terrazas era ampliamente superior al número de episodios fríos (glaciaciones) registradas durante esta época. Igualmente, se ha asociado su génesis con la existencia de cambios en el nivel del mar y con episodios tectónicos (Muñoz Jiménez, 1995). Actualmente se entiende que su génesis está ligada a cambios en las condiciones climáticas generales, que inducen a los sistemas fluviales a adaptarse a las nuevas circunstancias, generando grandes volúmenes de aluviones que son depositados en épocas de máximos aportes pluviométricos y de caudales, para posteriormente incidirlos y modelarlos en forma de terrazas en épocas de mínimos. Además de estas circunstancias, en la explicación de los sistemas de terrazas hay que analizar de un modo particular para cada sistema las condiciones relacionadas con la tectónica, el eustatismo, las condiciones paleoclimáticas, etc.

Se clasifican en terrazas encajadas cuando, tanto las superficies planas culminantes, como los escalones, se desarrollan sobre depósitos aluviales y terrazas escalonadas cuando, entre cada uno de estos depósitos, escalonados aflora el sustrato. Se pueden organizar en sistemas simétricos, cuando a cada lado del canal se reproducen el mismo número de escalones, o disimétricos cuando en un lado hay más escalones que en el opuesto.

Finalmente, los abanicos aluviales constituyen formas de acumulación complejas generadas por una corriente fluvial encauzada que deposita su carga en una zona de menor pendiente y relieve no confinante. Se localizan por lo general en el contacto entre zonas montañosas y zonas de piedemonte. Se genera una acumulación de material en forma de abanico con el ápice apuntando hacia la zona de la que procede el curso de agua. El perfil longitudinal es cóncavo depositándose los materiales más groseros en el ápice y los más finos en las partes más distales. El perfil transversal por su parte es convexo. Estas circunstancias generan que la red fluvial, cuando alcanza el abanico, se abra y expanda en forma centrífuga y radial, incluso, llegándose a perder el agua por infiltración en los depósitos sin llegar a alcanzar las partes distales.

### **e) Sistema canal-orilla-llanura aluvial o ribera fluvial**

El sistema hidrogeomorfológico canal-orilla-llanura aluvial constituye la base física del concepto de *ribera fluvial*. Este concepto, tan utilizado en los últimos tiempos en todo tipo de publicaciones, comprende además de los aspectos hidrológicos y geomorfológicos, la componente biológica, en especial, a lo que a la vegetación de ribera se refiere, de los márgenes de los canales fluviales.

Desde el punto de vista hidrogeomorfológico la orilla constituye el nexo de unión entre el canal y la llanura aluvial (*vid. supra*, 2.1.3-d.2), allí donde ésta está presente. Dependiendo de la dinámica de las orillas, el sistema será más o menos estable, es decir, en orillas sometidas a dinámicas erosivas, el retranqueo de las mismas será la acción predominante, mientras que en orillas estables o en expansión (por ejemplo, los ámbitos de *point bar*), la dinámica será más estable. El papel de la vegetación en estos casos es fundamental. La existencia de un bosque galería bien conformado o de una vegetación de ribera en un estado avanzado de evolución, constituye una defensa natural, al tiempo que es un síntoma de estabilidad que denota el buen funcionamiento del sistema fluvial en ese tramo.

El interés por el estado ecológico y las posibilidades de restauración de los ecosistemas de ribera adquiere en el caso de Europa una especial importancia tras la aprobación en el año 2000 de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) (DOCE, 2000), donde se apostó definitivamente por su estudio y salvaguarda.

El buen *estado ecológico* de las riberas fluviales se puede establecer, según González del Tánago y García Jalón (2006) a partir de la identificación de siete atributos propios de la estructura y del funcionamiento de los sistemas riparios, los cuales, según dichos autores, están fuertemente determinados por la dinámica hidrogeomorfológica fluvial. La componente estructural queda definida, de este modo, *i*) por la continuidad longitudinal de la vegetación, *ii*) las dimensiones laterales (anchura del espacio fluvial con vegetación riparia) y *iii*) la composición y estructura de las comunidades vegetales riparias. Estos atributos definen básicamente la morfología de las riberas, y quedan reflejados en una visión estática. A su vez, dichos atributos

definen las dimensiones espaciales donde tienen lugar las funciones riparias, e indican las posibilidades de llevar a cabo acciones de restauración fluvial a corto plazo (González del Tánago *et al.*, 2006). Por su parte, el funcionamiento de los sistemas riparios queda reflejado a través de: *iv*) la tasa de regeneración natural de las especies leñosas riparias, *v*) la condición de las orillas, *vi*) la conectividad lateral del cauce con sus riberas y, por último, *vii*) la permeabilidad de los suelos riparios. Estos atributos indican el comportamiento a lo largo del tiempo de las riberas, y su evaluación requiere una visión dinámica.

Con la intención de calibrar el buen estado de las riberas se establecieron a nivel internacional diferentes índices y herramientas que permitieran cuantificar estos aspectos (*vid. supra* capítulo 1). La mayoría de ellos procedía de Estados Unidos y con un marcado sesgo hacia la componente biológica de los sistemas (*bioassessment*). Sólo las más recientes de estas formulaciones de evaluación empiezan a contener ya orientaciones y propuestas acerca del propio proceso de restauración de los sistemas fluviales, componiéndose, incluso, a modo de manuales de buenas prácticas.

En España, el *índice de calidad biológica de las zonas ribereñas* (conocido por las siglas *QBR*) es uno de los más utilizados para evaluar el estado ecológico de estos medios (González del Tánago *et al.*, 1998; Suárez *et al.*, 2002), aunque muy orientado al análisis de la vegetación de ribera. Por su parte, el *Plan Director de Riberas de Andalucía* (CMA, 2003) abunda en esta misma línea con respecto a la componente hidromorfológica y la evaluación integral de los sistemas fluviales. Sin embargo, según se declara en el documento, las riberas sólo son *comunidades vegetales asociadas a los cauces...*, siendo su objeto de estudio *conocer cuál es la situación actual de las riberas de los cauces de agua que discurren por Andalucía* (pág. 25), su *caracterización y evaluación*, como se dice más adelante (pág. 235). Ello explicaría el marcado interés del Plan por la componente biológica de los ecosistemas fluviales, la equiparación de la restauración con la replantación o, así mismo, el manejo de conceptos fuera de lugar desde el punto de vista del conocimiento actual acerca de los ecosistemas mediterráneos como son el de *déficit hídrico* (págs. 50 y 51).

Desde el punto de vista de esta investigación, esta aproximación se revela insuficiente a la hora de establecer un diagnóstico integral de base

hidrogeomorfológica de detalle, capaz de soportar un programa de restauración que contemple todas las potenciales causas, tanto a nivel de cauce como de cuenca, de la degradación del funcionamiento de los ecosistemas fluviales andaluces, así como, los posibles matices y escalas que puedan plantearse de cara a la mitigación de las mismas.

No obstante lo anterior, en los últimos tiempos, la componente hidrogeomorfológica está empezando a cobrar un mayor protagonismo, entendiéndose que el buen estado y funcionamiento físico del sistema fluvial constituye una condición previa necesaria para cualquier proyecto de recuperación de los sistemas degradados. La *condición de las orillas*, la *conectividad lateral del cauce con sus riberas* o la *permeabilidad de los suelos riparios*, entre otros aspectos, constituyen parámetros cada vez más tenidos en cuenta a este respecto. En este sentido se orienta el índice IHG (*Índice Hidro-Geomorfológico*) propuesto por Ollero y colaboradores (2007; 2008), en el que afirman que la componente hidrogeomorfológica es la base sobre la que se asientan los valores ecológicos, ambientales y paisajísticos de los sistemas fluviales. El mantenimiento de una adecuada dinámica hidrogeomorfológica es la que va a garantizar el éxito de cualquier iniciativa de conservación de los ecosistemas fluviales.

En esta línea integradora de los aspectos biológicos y ecológicos con los hidrogeomorfológicos, se sigue en este trabajo los postulados del *Proper Functioning Condition* (PFC) que es un método cualitativo para evaluar la condición de los ámbitos de ribera por el que se valora la eficacia de los procesos físicos que controlan el funcionamiento de un determinado tramo fluvial. Esta propuesta fue puesta a punto durante los años noventa del siglo pasado por *USDI Bureau of Land Management* y el *USDA Forest Service*, en colaboración con el *USDA Natural Resources Conservation Service*.

La idea inicial consistía en habilitar un método común que permitiera comparar, a partir de unos mismos parámetros y un mismo lenguaje, la salud ecológica y las necesidades de restauración de las riberas. La evaluación de los sistemas riparios mediante el método PFC parte de un enfoque integral desde el que los aspectos hidrogeomorfológicos (procesos, modelado, depósitos) se consideran de manera conjunta con la presencia y el tipo de vegetación higrofitica y de suelos aluviales. El método se aplica

utilizando una lista de verificación en la que se sintetiza la información básica que determina la salud general de un sistema ripario, esto es, su estado funcional. Mediante este procedimiento las riberas se clasifican como sistemas funcionales (*Functioning*), sistemas semifuncionales (*Functionin at-Risk*) y sistemas no funcionales (*Non Functioning*).

#### 2.1.4. La aproximación escalar (espacio-temporal): regionalización ecológica

La conceptualización del medio natural como un sistema (o ecosistema) compuesto de elementos abióticos y bióticos, interrelacionados e interdependientes entre sí, que se organizan a distintas escalas espaciales y temporales a través de procesos de tipo biofísico, es una idea aceptada desde el punto de vista científico desde hace algunas décadas (Tricart, 1977). Esta concepción implica la existencia, por una parte, de distintos tipos de ecosistemas en los que predominan unos determinados procesos; y, por otro, que dichos sistemas se materializan en la superficie terrestre con unos límites definidos y con unas dimensiones determinadas. A partir de este planteamiento se puede establecer, pues, que los diferentes sistemas se organizan y se materializan de una forma jerárquica a distintas escalas temporales y espaciales, identificando, a la postre, un mosaico de unidades funcionales organizadas en distintos órdenes de magnitud. Este principio establecido por Borja y colaboradores (2004 y 2008) y Borja y Montes (2008) es el que rige la propuesta de *regionalización ecológica*. Según estos autores (y anteriormente Montes *et al.*, 1998, y CMA, 2002, entre otros), el objetivo final de la regionalización ecológica es la determinación y discriminación de las unidades funcionales del medio natural que, a distintas escalas espacio-temporales, se hacen presentes en el territorio. Dicha consideración descansa sobre el principio de la *clasificación jerárquica* de ecosistemas, consistente en la tipificación y ordenación de los mismos, individualizándolos y caracterizándolos según diferentes *órdenes escalares*. Frente a otras propuestas basadas en la aparente supremacía y el carácter rector de alguno de los componentes del medio natural (para el caso de los sistemas fluviales, la dimensión espacial, como establecen González del Tánago y García Jalón, 2004; 2006), la regionalización ecológica basada en la *aproximación jerárquica* constituye, metodológicamente hablando, una "*clasificación de clasificaciones*",

ya que su implementación conlleva tanto la discriminación de aquellas unidades homogéneas que comparten cada uno de los órdenes escalares establecidos en la propuesta, como la determinación en sí del régimen de dependencia jerárquica existente entre los ecosistemas adscritos a cada uno de ellos.

Siguiendo con las ideas propuestas por Montes *et al.* (1998) y Borja *et al.* (2004), la principal ventaja de considerar el medio natural como un *sistema* compuesto por entidades homogéneas agregadas en distintos órdenes escalares, es decir, constituido por ecosistemas organizados jerárquicamente, es que, a los ámbitos territoriales definidos por este método, puede atribuírseles las propiedades de las unidades funcionales que han servido de referencia para su delimitación cartográfica.

Los diferentes *órdenes de magnitud* que sirven de escalafón se establecen siguiendo la clasificación de ecosistemas definida por Borja *et al.* (2004 y 2008). En la figura 23 se recogen los diferentes niveles establecidos siguiendo los principios planteados por Borja y colaboradores, los cuales se basan a su vez en las aportaciones de Montes *et al.* (1998), Klijn (1991 y 1994) y Klijn y Udo de Haes (1994). Para su determinación, Borja *et al.* (2004 y 2008), se procede mediante la jerarquización de los elementos estructurales y funcionales del medio natural sobre los que descansa la *integridad ecológica* del conjunto de ecosistemas identificables potencialmente en cada orden escalar. Esto es, para cada uno de ellos, en primer lugar, se determinan los componentes de la estructura del medio que tienen un carácter sustantivo, y que, por lo tanto, actúan a modo de referentes de la mencionada integridad ecológica (*contexto estructural*); en segundo término, se identifica el conjunto de mecanismos y procesos que establecen las pautas del *funcionamiento* general de los ecosistemas (o sea: aquellos que gobiernan su *dinámica*, su *evolución* y su *permanencia* como tales); y, finalmente, se establece el rango de magnitudes escalares en el que los ecosistemas expresan su capacidad de *cambio*, ya vengán provocadas estas modificaciones por factores de origen geológico, climático o antrópico (*contexto funcional*).

ORDEN ESCALAR	CONTEXTO ESTRUCTURAL (Factores de control)		CONTEXTO FUNCIONAL		
<b>Ecosfera</b>	-Macroclimas (zonas climáticas; circulación gen. de atmósfera) -Estructura global de continentes y océanos	Enfoque Morfoclimático	<b>AMBITO ZONAL</b> AMBITO DE LAS ESCALAS DE PERTINENCIA DE LOS ECOSISTEMAS		
<b>Ecodominio</b>	-Dominios morfoclimáticos (fusos meridiano) -Complejos morfoestructurales continentales -Hidrodinámica oceánica	ESCALA ESPACIAL	Escala Temporal Geológica	Escala Temporal Climática	Escala Temporal Antropica
<b>Ecoárea</b>	-Grandes áreas climáticas (masas de aire y centros de acción) -Grandes conjuntos morfoestructurales (macromodelado, formas mayores) -Grandes complejos litológicos -Grandes oñúas de intercambio de aguas (hidrodinámica)	> 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>	> 10 <sup>6</sup> años	> 10 <sup>4</sup> años	> 10 <sup>3</sup> años
<b>Ecoprovincia</b>	-Variedades climáticas/bioclimáticas -Macrorrelieves (macromodelado, formas intermedias) -Unidades hidrográficas estructurales (grandes cuencas hidrogr.) -Plataforma continental (modelado y tipo de sustrato)		<b>DOMINIOS MORFOCLIMÁTICOS</b>		
<b>Ecoregión</b>	-Regiones climáticas -Sistemas morfogénéticos y macromodelado (formas menores) -Series de vegetación y clima -Hidrología regional (estructura y composición de acuíferos / Cuencas hidrográficas secundarias)	Enfoque Morfogénético	<b>AMBITO REGIONAL</b> AMBITO DE LAS ESCALAS DE EVOLUCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS		
<b>Ecodistrito</b>	-Variedades mesoclimáticas -Balance morfogénesis/edafogénesis (status de los sistemas Morfogénéticos) -Tipos formaciones superficiales y mesomodelado (formas mayores) -Balance precipitación / escorrentía / infiltración	ESCALA ESPACIAL	Escala Temporal Geológica	Escala Temporal Climática	Escala Temporal Antropica
<b>Ecosección</b>	-Variedades mesoclimáticas -Balance morfogénesis/edafogénesis (status de los sistemas Morfogénético) -Tipos formaciones superficiales y mesomodelado (formas mayores) -Balance precipitación / escorrentía / infiltración	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup> km <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup> años	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>4</sup> años	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>3</sup> años
<b>Ecotipo</b>	-Variedades microclimáticas -Mesomodelado (formas menores) -Tipos de depósitos y suelos -Coberturas vegetal -Flujos hídricos locales (superficiales, subsuperficiales y subterráneos)	Enfoque Morfodinámico	<b>AMBITO LOCAL</b> AMBITO DE LAS ESCALAS DE ORÍGENA		
<b>Ecosistema</b>	-Mesomodelado -Composición, estructura y estado sucesional de comunidades biol. -Cuadros bio-geo-químicos básicos de formaciones superficiales -Estructura, composición y organización de cuerpos de agua	ESCALA ESPACIAL	Escala Temporal Geológica	Escala Temporal Climática	Escala Temporal Antropica
		< 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>	< 10 <sup>4</sup> años	< 10 <sup>2</sup> años	< 10 <sup>1</sup> años
			<b>PROCESOS MORFODINÁMICOS</b>		

Figura 23. Propuesta general de órdenes escalares, contexto estructural y contexto funcional para la Clasificación Jerárquica de Ecosistemas (tomado de Borja *et al.*, 2004).

Así pues, según Borja *et al.* (2004 y 2008), cada nivel de clasificación queda definido por distintas variables. En primer lugar, por un *orden escalar*, el cual indica la posición relativa de cada nivel de clasificación en el gradiente general de magnitudes del escalafón; al tiempo que establece el régimen de interdependencia existente entre los *factores de control* (contexto estructural), los rangos temporales de percepción de la actividad, el cambio y la continuidad de los ecosistemas (contexto funcional), y el *enfoque* desde el que se aborda su análisis.

En segundo término, Borja *et al.* (2004 y 2008) establecen un *contexto estructural* en el que se identifican los principales componentes del medio natural para cada escalón de la jerarquía. La segregación jerarquizada de hasta 34 de estos elementos permite establecer el tipo de ecosistemas que formará parte de cada nivel de clasificación, así como, discriminar los sistemas naturales concretos de cada orden escalar considerado (de ahí que

más arriba se hablara de “clasificación de clasificaciones”). Habida cuenta de que estos componentes estructurales operan a modo de criterios de definición y selección de ecosistemas, han sido considerados como *factores de control*.

Y, por último, un *contexto funcional* en el que se diferencian tres *ámbitos escalares* de funcionamiento de los ecosistemas (*local, regional y zonal*), los cuales se asocian, respectivamente, a las escalas espacio-temporales que permiten definir la *dinámica*, la *evolución* y la *permanencia* de los ecosistemas. En cada caso se plantean las magnitudes temporales de actividad, cambio y continuidad de los ecosistemas, las cuales son tratadas tanto desde una perspectiva geológica como climática y antrópica. Estos *ámbitos escalares* de análisis determinan asimismo tres *enfoques* diferentes (morfoodinámico, morfogenético y morfoclimático).

Con estas premisas, esta propuesta de clasificación jerárquica de ecosistemas definida por Borja *et al.* (2004 y 2008), se articula, en primer lugar, identificando los nueve niveles del escalafón a seguir que, según un orden escalar de magnitudes espacio-temporales decrecientes, serían: *ecozona, ecodominio, ecoárea, ecoprovincia, ecorregión, ecodistrito, ecosección, ecotopo y ecoelemento*. Seguidamente, se determina su *contexto estructural* mediante la definición de los *factores de control*, o componentes del medio natural que constituyen el marco de referencia básico tanto para la distribución de los ecosistemas entre los diferentes niveles de clasificación, como para la discriminación de los mismos dentro de cada orden escalar. La adscripción de los distintos factores de control (climáticos, morfoestructurales, litológicos, geomorfológicos, hidrológicos, biológicos, etc.) a cada nivel espacio-temporal de análisis se realiza, por una parte, teniendo en cuenta el *enfoque* de análisis más adecuado de cara a establecer la integridad ecológica de los ecosistemas (*enfoque morfoodinámico, enfoque morfogenético y enfoque morfoclimático*) y, por otra, identificando la escala espacial a la que aquellos se manifiestan.

Acorde con esta agrupación tripartita de *enfoques* y *escalas* espaciales de los distintos órdenes de magnitud se establece el *contexto funcional*, el cual se organiza igualmente en tres grandes *ámbitos* escalares de funcionamiento de los ecosistemas (*ámbito local, ámbito regional y ámbito zonal*). Según los



planteamientos de Borja *et al.* (2004 y 2008), el funcionamiento de los ecosistemas puede valorarse, pues, desde tres puntos de vista diferentes: el de su *dinámica*, el de su *evolución* y el de su *permanencia* formando parte de la superficie terrestre, a los cuales se han asignado los rangos temporales de actividad, cambio y continuidad (ya sean geológicos, climáticos y antrópicos), haciéndose coincidir con cada uno de los *enfoques* anteriormente mencionados.

### 2.1.5. La conectividad fluvial

Se ha comentado sobradamente en los apartados anteriores la diversidad que presenta el sistema fluvial a lo largo de toda su extensión (cuenca y red de drenaje). Los ambientes son muy diferentes desde las cabeceras hasta las desembocaduras, así como, los procesos hidrogeomorfológicos predominantes y los modelados resultantes. A pesar de ello es posible identificar gradientes longitudinales, transversales y verticales en su funcionamiento (Ward y Wiens, 2001; González del Tánago y García de Jalón, 2007), así como, definir sistemas de relaciones de la red drenaje con el resto de ecosistemas adyacentes identificables en cada uno de los tramos de la cuenca (Brierley y Fryirs, 2005).

Según los trabajos de Ward y Wiens (2001), los sistemas fluviales presentan una continuidad longitudinal puesta de manifiesto a lo largo de toda la extensión del canal principal, desde su cabecera hasta la desembocadura, a lo largo del cual se materializa el tránsito de todo tipo de flujos (caudales, sedimentos, nutrientes...), con una dirección predominante hacia aguas abajo (Fig. 24). Numerosos procesos y elementos hidrogeomorfológicos están vinculados a esta dinámica longitudinal, con diferentes gradientes, igualmente, según los ámbitos fluviales. De este modo, siguiendo a FISRWG (1998), la pendiente del perfil longitudinal del río, así como, la velocidad media del flujo y el tamaño del sedimento del lecho decrecen, especialmente, en el tramo de cabecera, en relación con el resto de tramos, mientras que, por el contrario, el caudal, la anchura y la profundidad del cauce aumentan en los tramos medios y bajos. Y, finalmente, también el volumen de material sedimentario acumulado aumenta exponencialmente en el tramo final (Fig. 25).

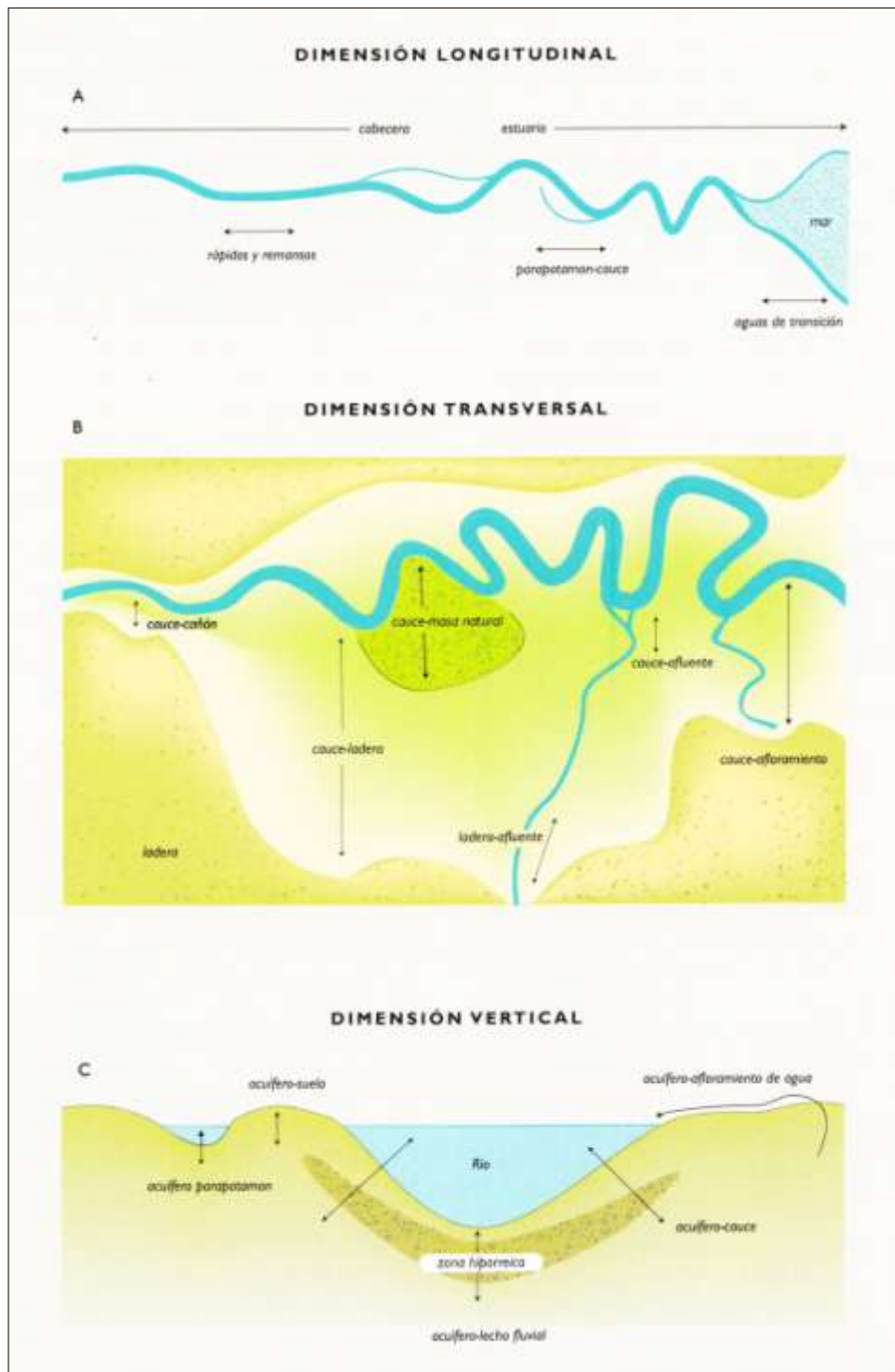


Figura 24. Dimensiones de los sistemas fluviales según Ward y Wiens (2001).

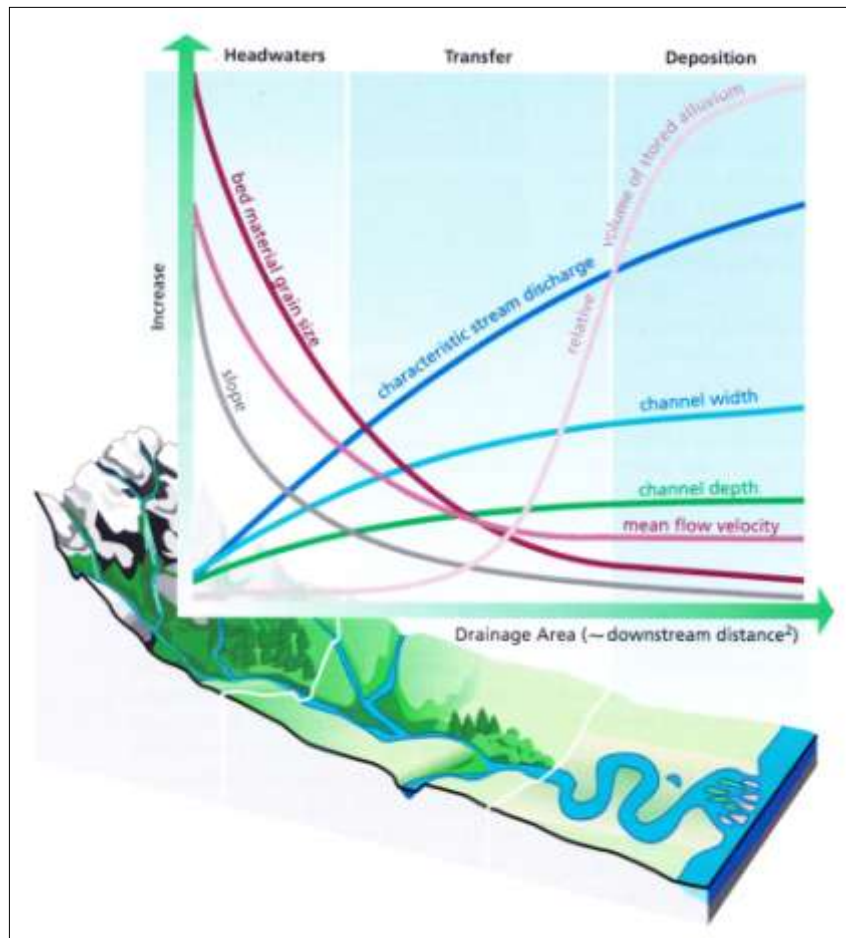


Figura 25. Caracterización longitudinal del funcionamiento de distintos procesos y elementos hidrogeomorfológicos desde un punto de vista longitudinal (tomado de FISRWG, 1998).

El buen funcionamiento de la dinámica longitudinal de los ríos se ve cortocircuitada por la presencia de elementos transversales de tipo artificial, entre los cuales, los embalses y presas, constituyen verdaderas barreras infranqueables para determinados procesos hidrogeomorfológicos y biológicos. La compartimentación que impone este tipo de elementos tiene unas notables repercusiones en el funcionamiento ecológico e hidrogeomorfológico, pues interrumpen todo tipo de flujos, haciendo que la conexión de los diferentes hábitats existentes a lo largo del río se vea notablemente mermada (González del Tánago y García de Jalón, 2007). Así mismo, obras de encauzamientos, dragados, limpieza de fondo de cauces,

etc., constituyen actuaciones que alteran sustancialmente la dinámica hidrogeomorfológica longitudinal propia de cada sistema fluvial.

La continuidad transversal de los sistemas fluviales según González del Tánago y García de Jalón (2007) se da en las llanuras aluviales, en las que el río se ensancha, desbordándose, y donde los cauces pueden moverse con una dinámica divagante (Fig. 24). La inundación provocada en estos ámbitos por las crecidas constituye una acción esencial del sistema por la que se produce, por una parte, la disipación de la energía en momentos de aguas altas, al tiempo que, por otra, se genera un aporte de sedimentos, materia orgánica, nutrientes, etc., desde el canal a las riberas y la llanura aluvial. Las crecidas y la consiguiente inundación de las llanuras aluviales constituye un proceso esencial de la dinámica hidrogeomorfológica de cualquier sistema fluvial (Thoms, 2003) existiendo múltiples metodologías para su estudio (Díez Herrero *et al.*, 2009). Los problemas aparecen cuando dichas llanuras aluviales y riberas están desconectadas de los canales u ocupadas por el hombre.

Finalmente, los sistemas fluviales presentan una dimensión vertical con la que se conectan con el substrato sobre el que discurren (medio hiporreico). A través de los materiales del substrato y del lecho aluvial se producen, igualmente, flujos subterráneos y subsuperficiales de gran importancia para el funcionamiento ecológico de las riberas (Fig. 24). El caudal superficial de los ríos termina por infiltrarse tanto en el substrato, alimentando de este modo al acuífero regional, como en los materiales sedimentarios aluviales, alimentando, de esta forma, al acuífero aluvial. Todos estos procesos dependen del tipo de río, los materiales sobre los que discurre, etc. Un excelente indicador del buen estado ecológico de los ríos es que los flujos subsuperficiales y subterráneos responsables en gran medida del mantenimiento de la vegetación de ribera, funcionen adecuadamente. Por ello, las actuaciones sobre los canales y, especialmente, sobre las orillas (sellados, ataluzados, rellenos, escolleras...) constituyen actuaciones que distorsionan notablemente la circulación de este tipo de flujos y van en detrimento del buen estado ecológico de las riberas.

Esta conectividad, en las tres dimensiones que se ha comentado (longitudinal, transversal y vertical), y la existencia de un *continuum* espacial

y temporal, constituyen elementos esenciales y necesarios para el buen funcionamiento de los sistemas fluviales y para el mantenimiento de su estado ecológico. Esta idea es la que otros autores como Ollero (2007) han querido concretar bajo el concepto de *territorio fluvial*. El sistema fluvial necesita un territorio específico en el que poder desarrollar todas sus funciones de un modo adecuado. Si parte de ese territorio es usurpado y los desempeños para los que estaba destinado en función de su génesis, son alterados, o, directamente eliminados, el buen funcionamiento del sistema fluvial se verá comprometido, así como el mantenimiento de sus funciones y sus servicios ecosistémicos.

### 2.1.6. Funciones de los ríos

Los ríos desempeñan un variado conjunto de funciones ambientales las cuales están directamente vinculadas al mantenimiento de su integridad ecológica e hidrogeomorfológica. Teniendo presente esta premisa la *Federal Interagency Stream Restoration Working Group* (FISRWG, 1998) en su manual *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices* establece como las principales funciones de un río:

- Función de hábitat: los sistemas fluviales constituyen espacios en los que se reconoce una gran diversidad de hábitats en los que numerosas especies vegetales y animales encuentran las condiciones necesarias para su desarrollo. Constituyen ámbitos con una alta tasa de productividad repartida a lo largo del gradiente que supone el tránsito desde un ambiente acuático a otro terrestre.
- Función barrera: la existencia de un canal fluvial puede suponer una barrera física para determinados flujos de materia y energía, así como para numerosas especies. Igualmente para el tránsito de sedimentos, nutrientes, semillas, etc., los canales fluviales suponen un límite neto.
- Función de filtro: se relaciona con las anteriores, pues los canales fluviales no suponen un límite infranqueable para determinados

flujos, por lo que esta función realmente lo que evidencia es la capacidad de retención selectiva que tienen estos sistemas.

- Función de corredor: el carácter eminentemente longitudinal de los sistemas fluviales les otorga la posibilidad de favorecer el tránsito y la dispersión, no solo a través del flujo de agua superficial, sino también a lo largo de sus riberas, e, incluso, del acuífero aluvial, de numerosas especies. Desde el punto de vista hidrológico su función es evidente al facilitar el tránsito de caudales líquidos y sólidos, así como, nutrientes, semillas, materia orgánica..., a lo largo de la red de drenaje.
- Función de fuente: los ríos son un centro de emisión de diferentes tipos de materiales sedimentarios, minerales, etc., al tiempo que constituyen ámbitos que determinadas especies animales necesitan para completar algunas fases de su desarrollo vital. Por supuesto, constituyen, así mismo, una fuente de agua para las recargas del acuífero aluvial y/o regional, suelos hídricos, etc.
- Función de sumidero: por último, los ríos pueden desarrollar una función de sumidero acumulando o atrapando en su interior numerosas partículas y organismos. Acumulan, igualmente, ingentes cantidades de sedimentos procedentes de la cuenca, así como, energía que es disipada durante los episodios de crecidas.

En la figura 26 se representan de forma gráfica cada una de las funciones comentadas (González del Tánago y García de Jalón, 2007). Los ríos en buen estado ecológico mantienen intactas todas las funciones que se acaban de comentar. Desgraciadamente esa es una situación utópica, pues han sido los sistemas fluviales los que más han sufrido la presión antrópica desde tiempo inmemorial, lo que ha alterado gravemente la mayoría de estas funciones. El alto grado de desarticulación y desestructuración del funcionamiento de la inmensa mayoría de los ríos hace necesario que se planteen propuestas de restauración encaminadas a revertir su situación, o, al menos, a alcanzar unos niveles mínimos de funcionamiento que aseguren la continuidad en la prestación de sus servicios ecosistémicos.



Figura 26. Principales funciones de los ríos. En González del Tánago y García de Jalón (2007), tomado de FISRWG (1998).

### 2.1.7. Servicios ecosistémicos de los sistemas fluviales

El entramado de relaciones y conexiones longitudinales, transversales y verticales que caracteriza a los sistemas fluviales de un territorio concreto, es la base que genera los servicios básicos de estos ecosistemas (Vidal Abarca y Suárez, 2011; Madejón y Maraño, 2020). Los servicios ecosistémicos son *las contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar humano* (EEME, 2011). Los servicios ecosistémicos se agrupan en tres categorías principales: abastecimiento, regulación y culturales.

Los ríos y sus riberas forman parte de los paisajes terrestres de todo el territorio español y andaluz, conectándolos a través de sus cuencas de drenaje, y proporcionando muchos servicios que redundan en el bienestar del ser humano (Vidal Abarca y Suárez, 2009). Sin embargo, la mayoría de los ríos españoles y andaluces se encuentran en un estado de conservación bastante malo. Según Vidal Abarca y Suárez, 2009, el 65% de los servicios que los ríos proporcionan a la sociedad española se están degradando o

están siendo utilizados de forma insostenible, porcentaje que sube al 77% en el caso de la Comunidad Autónoma de Andalucía, lo cual ha propiciado que en los últimos 50 años se hayan degradado y alterado más ríos que en cualquier otro momento del pasado, fundamentalmente, con el objetivo de conseguir agua para consumo humano (regadíos, producción de energía...).

Estas perturbaciones han devenido en una alteración de la funcionalidad hidrogeomorfológica y una pérdida de diversidad biológica sin precedentes, a lo que ha ayudado, sin duda, la existencia de 1.300 embalses en los ríos españoles. Dicha pérdida de funcionalidad se traduce, por ejemplo, en una disminución de la capacidad de regulación natural de las crecidas, una menor aptitud para controlar la contaminación difusa, o para mejorar la fertilidad del suelo de las vegas, etc. (Vidal Abarca y Suárez, 2009).

En la figura 27 se muestra la evaluación global del estado de los servicios prestados por ríos y riberas en España a la sociedad según el estudio *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España* promovido por la Fundación Biodiversidad. De su observación se deduce que son pocos los servicios que mantienen una tendencia a la mejora, incluso, de aquellos que, en principio, parten de una buena situación de salida. La mayoría de los servicios están tensionados a causa de la gran potenciación que se ha llevado a cabo en las últimas décadas de dos de ellos: la obtención de agua para los regadíos, por un lado, y la generación de energía para mantener los usos urbanos e industriales, por otro.

## **2.2. RESTAURACIÓN FLUVIAL**

### **2.2.1. Bases conceptuales y principios de la restauración ecológica**

#### **a) Concepto de ecosistema**

Se puede entender por ecosistema una porción de la superficie del planeta de cualquier magnitud, incluida la *ecosfera* (el planeta Tierra en su totalidad), que está estructurada e integrada jerárquicamente por elementos abióticos y bióticos (incluyendo los seres humanos), ligados por una trama de relaciones biofísicas (es decir, con una estructura y una organización interna),



constituyendo una realidad funcional que intercambia materia y energía (o sea, que tiene un funcionamiento), y se autoorganiza en el tiempo (presenta un dinamismo, una evolución y una permanencia en el tiempo).

Tipo de servicio	Servicio	Situación	
ABASTECIMIENTO	Alimentos	Pesca fluvial	↓
		Acuicultura	↘
	Agua dulce		↘
	Materias primas de origen biológico	Madera/leña	↑
		Sal	↓
	Materias primas de origen mineral	Agua mineral	↑
		Grava/arena	↓
		Energías renovables: Energía hidráulica	↔
	Acervo genético		↘
	Medicinas naturales y principios activos		↓
REGULACION	Regulación climática local y regional		↘
	Regulación de la calidad del aire		↘
	Regulación hídrica		↘
	Regulación morfosedimentaria		↘
	Formación y fertilidad del suelo		↘
	Regulación de las perturbaciones naturales		↘
	Control biológico		↘
	Conocimiento científico		↑
CULTURALES	Conocimiento ecológico local		↘
	Identidad cultural y sentido de pertenencia		↓
	Disfrute espiritual y religioso		↗
	Paisaje-Servicio estético		↑
	Actividades recreativas y ecoturismo		↑
	Educación ambiental		↑





	Alto	↑	mejora del servicio
	Medio-Alto	↗	tendencia a mejorar
	Medio-Bajo	↔	tendencia mixta
	Bajo	↘	tendencia a empeorar
		↓	empeora el servicio

Figura 27. Evaluación global del estado de los servicios de los ríos y riberas de España (Vidal Abarca y Suárez, 2009).

Los ecosistemas hay que entenderlos como una combinación de varios componentes: por un lado, la estructura relacionada con la expresión espacial de los mismos (espacio); por otro, los flujos de materia y energía, o lo que es lo mismo, su funcionamiento (tiempo); y, por último, la resiliencia, o sea, la elasticidad o capacidad de los mismos para volver a un estado inicial tras experimentar una perturbación. Estos tres componentes conforman su *integridad ecológica*, que se define como la capacidad de un

ecosistema de mantener su estructura y el funcionamiento que le corresponde a lo largo del tiempo de su evolución natural (autoorganización), en el marco de unas condiciones cambiantes por causas naturales o antrópicas, lo que le confiere una determinada capacidad para responder a las perturbaciones y factores de tensión de origen natural y/o antrópico (resiliencia).

La naturaleza, especialmente en los ámbitos mediterráneos, tiene una elevada capacidad para volver a su estado dinámico (resiliencia) después de sufrir una perturbación, debido a su *banco de información*. La capacidad de autodiseño de la naturaleza se basa en el concepto de *resiliencia ecológica*, es decir, la capacidad del ecosistema de tolerar perturbaciones sin alterar su integridad ecológica (sin colapsarse). Este concepto, define, por tanto, la cantidad de perturbación que un sistema puede aceptar sin pasar a un estado no deseado. Proporciona información sobre la capacidad del sistema para reconstruirse, es decir, constituye una medida de su vulnerabilidad. Este concepto se complementa con el de *capacidad de adaptación*, o habilidad de abordar los cambios impredecibles en los sistemas dinámicos.

Las perturbaciones son acontecimientos de origen natural (riadas, sequías, fuegos, etc.), más o menos discretos en el tiempo, que modifican el proceso de autoorganización de los sistemas ecológicos. Las perturbaciones de origen antrópico, de manera operativa, podemos considerarlos *factores de tensión* (impactos). Es importante caracterizar el régimen de perturbaciones y factores de tensión según el tipo de evento en función de su magnitud (extensión), intensidad (energía implicada), severidad (incidencia de los efectos), frecuencia, estacionalidad y regularidad.

De todos estos elementos dependerá la *salud ecológica* del sistema, concepto complementario del de integridad ecológica, que hace referencia al valor social de los ecosistemas, aludiendo a la capacidad que tienen los sistemas naturales que poseen integridad ecológica para suministrar flujos de bienes y servicios a la sociedad de forma sostenible, es decir, sin interrupciones, debilitamiento o pérdida.

## b) Restauración ecológica

Siguiendo los postulados de la *Society for Ecology Restoration International* (SER Internacional, 2005), restaurar los ecosistemas que han visto degradadas su *integridad* y su *salud* ecológicas, significa, principalmente, devolverlos a su trayectoria histórica; o sea, llevarlos lo más cerca posible del estado esperable atendiendo a la evolución del contexto natural en el que se encuadra en el momento presente. Para ello, es necesario entender que cualquier ecosistema, es la resultante de la combinación de un importante conjunto de componentes y factores de índole geológica, hidrológica, climática, geomorfológica, etc., que operan a distintas escalas espacio-temporales; por lo que, de cara a establecer los parámetros estructurales y funcionales que permitan definir el escenario de su restauración, es necesario un análisis pormenorizado de dicho conjunto de componentes y factores naturales que nos permitan su *clasificación genético-funcional*.

Es necesario, sin embargo, contar con una *trama conceptual de referencia* para no caer en la elaboración de un listado de actuaciones más o menos desconexas. Es necesario, siguiendo a Montes (2002), *contar con un marco conceptual y espacial de referencia, en el que se incluya al ser humano y sus actividades*, con un enfoque integrador que compatibilice la conservación de los procesos biofísicos propios de los ecosistemas y la utilización por parte de la sociedad de los múltiples servicios que éstos nos proporcionan.

La restauración ecológica se puede entender, pues, como un conjunto de actuaciones a corto, medio y largo plazo, que se dirigen a restablecer el funcionamiento de los ecosistemas degradados, devolviéndolos a las condiciones dinámicas más parecidas que le corresponderían de no haber sido afectados por las transformaciones humanas (factores de tensión).

Desde este punto de vista, se pueden establecer dos formas de abordar el proceso general de la intervención restauradora. Mediante una *restauración activa*, consistente en la concreción y ejecución de acciones encaminadas a la eliminación o minimización de los factores de tensión que perturban el funcionamiento en condiciones naturales del ecosistema. O, en segundo término, a partir de una *restauración pasiva*, es decir, a través del seguimiento del proceso de autoorganización de los ecosistemas, dentro de la cual, no

obstante, deben contemplarse actuaciones puntuales encaminadas a favorecer o dirigir determinados pasos de dicho proceso.

El proceso de restauración implica necesariamente la contemplación de una serie de principios claves como son (Montes 2002):

- *Conocimiento científico* de la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas a restaurar.
- Los proyectos de restauración deben elaborarse por *equipos multidisciplinares*.
- La restauración de los ecosistemas debe abordarse a diferentes *escalas espacio-temporales*.
- La restauración debe orientarse, sobre todo, a los *procesos y funciones ecológicas* antes que primar cualquier elemento determinado del sistema.
- Deben definirse unos *objetivos* finales de restauración, que clarifiquen y den solidez a cada una de las actuaciones propuestas.
- Deben identificarse *ecosistemas de referencia*, similares a los que se pretenden restaurar.
- Debe diseñarse un *programa de seguimiento* que permita evaluar las actuaciones e introducir los reajustes necesarios.
- La restauración debe apoyarse en un *proceso participativo* donde se promueva la implicación de las poblaciones locales.

Además, siguiendo nuevamente a Montes (2002), todo proyecto de restauración ecológica debería establecer de forma clara e inequívoca unos *objetivos de restauración* que definan con claridad las acciones a emprender y que puedan ser cuantificables a partir de indicadores que permitan hacer un seguimiento de los logros alcanzados; en segundo lugar, se deben definir y detectar *ecosistemas de referencia* similares al que se pretende restaurar (condiciones de referencia); y, por último, hay que implementar un programa de seguimiento y evaluación de los aciertos y errores alcanzados por las actuaciones programadas.

No obstante lo anterior, desde un punto de vista pragmático y estratégico, es habitual que el grado de afección que presentan algunos ecosistemas haga muy difícil plantear una actuación en los términos estrictos de lo que se debe

entender por *restauración ecológica* (Fig. 28). Según Bradshaw (1987), un ecosistema degradado puede ser reconducido, en teoría, hacia un estado próximo a la situación inicial previa al momento de la perturbación; lo que hace que con el tiempo el ecosistema adquiera un estado sostenible y alcance la situación que le debería corresponder según su trayectoria evolutiva (*sucesión ecológica*). Esta situación sería la ideal, aunque en la práctica lo habitual es que no sea posible alcanzarla. Cuando el nivel de degradación presenta una mayor severidad o afecta especialmente a los componentes y procesos claves del ecosistema, y sólo se puede plantear la restauración de parte de sus elementos funcionales o estructurales, entonces hablamos de *rehabilitación ecológica*. Siendo esta una regeneración no sostenible por definición, ya que no garantiza que el ecosistema en cuestión reponga su integridad ecológica en todos sus términos, mediante la rehabilitación ecológica sí puede aspirarse a alcanzar un nuevo estado de equilibrio en el funcionamiento del mismo. Si la degradación es tan aguda que no es posible la recuperación de ninguno de los componentes principales del ecosistema cabe optar por un reacondicionamiento del tipo *recreación ambiental*, desestimando en tal caso que el ecosistema alcance grado alguno de sostenibilidad, por lo que estaremos manejando ecosistemas artificiales (Borja *et al.*, 2007).

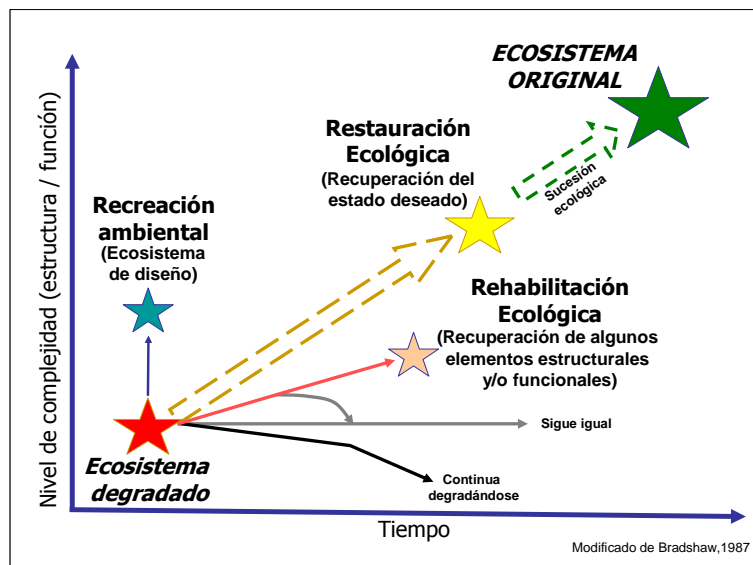


Figura 28. Diferentes tendencias que puede experimentar un ecosistema y diferentes estados a los que puede aspirar dependiendo del nivel de deterioro inicial y de las actuaciones de restauración implementadas según Bradshaw (1987).

Todas las decisiones y acciones encaminadas a la restauración de ecosistemas no alcanzarán ningún éxito si no se cuenta con la implicación social de las comunidades afectadas o interesadas en dicho proceso (participación). La restauración ecológica depende, en última instancia, de una decisión política que dote económicamente al plan de acción a desarrollar que, debe estar basada en un respaldo social amplio. En este sentido, los procesos de información y comunicación a la sociedad de las ventajas de la restauración constituyen tareas fundamentales (Montes, 2002).

## **2.2.2. La restauración ecológica de sistemas fluviales**

### **a) Bases de la restauración fluvial**

Los sistemas fluviales son de los ecosistemas que más han sufrido el impacto del hombre desde la antigüedad, siendo el soporte de la mayoría de sus actividades económicas, desde los más tempranos estadios de la civilización hasta la actualidad (Petts, 1989; Brookes, 1994; Knighton, 1998). El uso abusivo de los sistemas fluviales y sus servicios ha ido *in crescendo* de un modo más o menos regular a lo largo de la historia, hasta dispararse en las últimas décadas (González del Tánago, 2004). La extracción de caudales para consumo humano, los usos hidroeléctricos, la práctica de una agricultura intensiva, la extracción de áridos, la ocupación de vegas fluviales por campos de cultivos y asentamientos urbanos, la eliminación de la vegetación riparia y destrucción de hábitats, su utilización como vías de evacuación de residuos... (Costa *et al.*, 2003; Borja *et al.*, 2015), constituyen impactos que han tensionado enormemente el funcionamiento de estos sistemas hasta límites irreversibles para algunos de ellos (Vidal y Suárez, 2010).

El catálogo de impactos y presiones que experimentan los sistemas fluviales son muy variados, actuando de forma directa e indirecta, y a distintas escalas espaciales y temporales. Estas presiones han propiciado la modificación de los regímenes de caudales naturales, al tiempo que han provocado cambios en la dinámica geomorfológica de los sistemas fluviales, y, como consecuencia de ello, la alteración de los hábitats y formaciones vegetales asociadas a estos ámbitos (Ollero, 2007; González del Tánago y García de Jalón, 2004). Uno de los principales factores de tensión es, sin duda, la

agricultura y su necesidad de agua para regadíos. Esta actividad, junto con la necesidad de agua para consumo humano, ha provocado la construcción de numerosos embalses en los ríos (hasta 1.300 en el caso de España), eliminando el flujo de caudales naturales, y restringiendo y compartimentando el trasiego de sedimentos en la inmensa mayoría de los sistemas fluviales (Ibáñez *et al.*, 2011). Además, la agricultura genera una gran cantidad de efluentes y contaminantes que van a parar a los cauces fluviales provocando un considerable aumento de la contaminación de las aguas (MARM, 2010).

La urbanización es otro de los grandes problemas de los sistemas fluviales que ha implicado todo tipo de actuaciones de corrección y canalización en los cursos fluviales orientadas, la mayoría de ellas, a proteger a las ciudades de las crecidas, o, de dragados y limpiezas abusivas, para favorecer el tránsito de caudales con la mayor rapidez posible. Tanto unas acciones como otras, desnaturalizan la dinámica hidrogeomorfológica de los ríos en esos tramos, al tiempo que inducen respuestas, igualmente, poco adecuadas, tanto aguas arriba, como aguas abajo de los mismos. A su vez, estas actuaciones generan una sensación de falsa seguridad que hace que se ocupe de un modo más intenso el espacio fluvial, lo que en la mayor parte de las ocasiones, trae consigo consecuencias bastante funestas.

Resultado de todo lo anterior, es que los sistemas fluviales presentan en la actualidad un alto grado de desarticulación estructural de sus funciones, lo que se traduce tanto, en una pérdida de la capacidad para lograr mantener un funcionamiento natural idóneo por sí mismos, como en el abatimiento de su potencial para suministrar un flujo adecuado de servicios a la sociedad (Herrera, 2013). Esta acuciante situación ha hecho que en las últimas décadas haya surgido una creciente demanda social a nivel mundial (Clewell y Aronson, 2007), alentada por el activismo de los colectivos conservacionistas y ecologistas, que pretende revertir esta situación. Surge así la necesidad de restaurar los sistemas fluviales a partir de la eliminación, en la medida de lo posible, de los impactos y factores de tensión que estresan a estos sistemas, intentando devolverlos a una situación previa más natural.

El daño a los ecosistemas fluviales y los cambios inducidos por el hombre, hacen de la restauración ecológica una de las estrategias clave del presente y

el futuro próximo (Hobbs y Harris, 2001). Este planteamiento nos hace reflexionar sobre ¿por qué es necesario restaurar? La respuesta a esta cuestión es evidente, dada la necesidad acuciante de revertir la escalada de destrucción de los sistemas naturales, y de los ecosistemas fluviales, en particular, ya que, nuestro futuro como especie está intrínsecamente vinculado a ellos. Necesitamos ecosistemas acuáticos sanos que nos proporcionen servicios ecosistémicos con un flujo adecuado, en especial, del abastecimiento del servicio ambiental agua.

En los últimos tiempos se está integrando la cuestión de los servicios ecosistémicos en los proyectos de restauración a partir de su consideración desde un punto de vista económico. La posibilidad de cuantificar y dar un valor monetario a los servicios ambientales que un ecosistema recuperado y restaurado puede proporcionar a la sociedad, está introduciendo un cambio significativo en los objetivos de dichos proyectos de restauración (Trabucchi, 2012). La consideración de los servicios ecosistémicos en dichos proyectos hace que se puedan definir mejor los objetivos, y que se pueda concretar mejor el apoyo social, político y económico necesarios para su ejecución (Hobbs, 2007).

En última instancia, la restauración de los sistemas fluviales, además de ser un deber moral y ético, para dejar a las generaciones venideras unos ecosistemas sanos que posibiliten su supervivencia, constituye, en el caso de Europa y España, un imperativo legal. La aprobación de la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE (Weiß *et al.*, 2008) nos obliga como Estado miembro de la Comunidad Europea a velar por el buen estado de conservación de nuestras masas de agua, y a promover y asegurar la restauración de aquellas que se encuentren en mal estado.

Conseguir este fin no es posible sin la participación activa de la sociedad. La restauración fluvial considerada como una respuesta social, variará según el contexto en la que ésta se lleve a cabo, por lo que, tanto objetivos, como metas serán variables en los distintos países y territorios. Por lo general, es en los países ricos donde este tipo de proyectos alcanza un mayor desarrollo con el objetivo de cumplir con la decisión social de algunos países de mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, preservar especies animales y vegetales, recuperar hábitats, etc. (Kondolff, 1995). Es necesario implicar a la



población en los proyectos de restauración, haciéndolos partícipes de los mismos como actores principales en su desarrollo (Herrera, 2013). Para ello, las fases de información y comunicación de cualquier proyecto son cruciales, pues es necesario convencer a los afectados de los beneficios que reportará la mejora en las condiciones de funcionamiento de los sistemas fluviales. En algunos lugares se está experimentado con otras herramientas para conseguir la implicación de la sociedad o de determinados actores socioeconómicos, mediante la fórmula de *Pagos por Servicios Ambientales* (PSA), que promueve la conservación y mejora de los ecosistemas que proveen servicios ecosistémicos a agentes económicos específicos. Otras herramientas para la implicación de los agentes sociales pueden ser la implementación de estrategias basadas en la custodia del territorio y los bancos de conservación (Magdaleno *et al.*, 2018).

## **b) Objetivos de la restauración fluvial**

El objetivo principal de la restauración fluvial según González del Tánago y García de Jalón (2007) es *logar el retorno del funcionamiento de estos ecosistemas a un estado más natural o equivalente al que tenían antes de su deterioro*. Este planteamiento en los términos aquí expresados presenta, de entrada, varios inconvenientes. ¿Qué se debe entender por un estado más natural? ¿La situación que presentaba el sistema fluvial hace 10 años, 50, 100, 1000...? ¿Una situación en la que se elimina algún factor de tensión, sea cual sea su modo de implantación espacial-temporal, su nivel de impacto...? Esta afirmación es completamente ambigua y no concreta en absoluto cuál tiene que ser el *estado natural* de un sistema fluvial.

Según Herrera (2013) los objetivos de la restauración deben aspirar, además de devolver al sistema fluvial a una situación de funcionamiento más natural, a la consecución de fines con una componente socio-económica sostenible. Así, plantea como objetivos básicos de cualquier proyecto de restauración fluvial los siguientes elementos a considerar:

- Dinámica fluvial: recuperar la dinámica hidrogeomorfológica y el territorio fluvial, favoreciendo la conectividad en todas sus direcciones.

- Biodiversidad: se debe propiciar las condiciones adecuadas para que especies animales y vegetales puedan prosperar mejorando los hábitats, protegiendo las especies autóctonas e impidiendo la entrada de invasoras como, por ejemplo, el caso del *Arundo donax*. Para ello es necesario mantener un adecuado régimen de caudales.
- Resiliencia: mejorar la capacidad de auto-regulación y auto-organización.
- Compatibilización de la situación ambiental, socioeconómica y usos del territorio: es necesario y básico conocer la realidad territorial y socioeconómica de la cuenca en la que se va a llevar a cabo el proyecto de restauración determinando objetivos realistas y alcanzables, al tiempo, que sostenibles.
- Paisaje: mejorar y revalorizar los elementos visibles y no visibles del área restaurada.
- Valores patrimoniales y afectivos: conservar, mantener y poner en uso público el enorme patrimonio cultural e histórico asociado a los cursos fluviales; así como, mejorar y fomentar los servicios ecosistémicos de tipo cultural.
- Legislación: regular la situación legal de nuestros cursos de agua con respecto de diferentes normativas de obligado cumplimiento.
- Problemas de inundaciones: la restauración puede solventar en determinados ámbitos los problemas asociados a las riadas y crecidas al mejorar las condiciones del territorio fluvial.
- Empleo: los proyectos de restauración fluvial constituyen un nicho de empleo importante no sólo coyuntural, sino que se puede mantener en el tiempo pues es necesario implementar planes de seguimiento durante periodos de tiempo determinados.

En cualquier caso, el objetivo último de todo proyecto de restauración debería tender a encontrar el punto de equilibrio dinámico

hidrogeomorfológico del sistema fluvial que le permita mantener sus funciones, al tiempo que proporcionar servicios ambientales a la sociedad (Malavoi y Bravard, 2010). Debería tener en cuenta, igualmente, las características del contexto natural en el que se va a llevar a cabo en cuanto a los procesos y las funciones biológicas a restaurar, así como, los hábitats y formaciones vegetales a reconstruir. Todo ello hay que hacerlo teniendo en cuenta la trayectoria histórica del ámbito en cuestión y los usos tradicionales de corte más sostenibles que los usos intensivos y tecnificados imperantes hoy día (Magdaleno *et al.*, 2018).

### c) Restauración fluvial

Como ya se ha comentado con anterioridad, los sistemas fluviales son uno de los ecosistemas continentales más castigados desde el punto de vista del impacto antrópico. El grado de tensión que soportan estos sistemas ha crecido notablemente en las últimas décadas de la mano de un desarrollo económico con unas necesidades crecientes relacionadas con el consumo de agua y el espacio para sus actividades (agricultura, urbanización, infraestructuras...), que han destruido su territorio fluvial (Malavoi *et al.*, 1998; Ollero *et al.*, 2009).

La restauración fluvial ideal se basaría en una eliminación de todos los impactos y presiones antrópicas que sufren los ecosistemas, para devolverlos a una situación previa más natural, en la que los procesos hidrogeomorfológicos que están en la base de su funcionamiento se encuentren en equilibrio con las condiciones naturales específicas del área en el que operan dichos ecosistemas. Esta propuesta de máximos en la actualidad es completamente inviable, es decir, la restauración real de los sistemas fluviales se convierte en una utopía, pues es imposible revertir la maltrecha situación en la que éstos se encuentran, sin comprometer gravemente las condiciones económicas y sociales reinantes en la actualidad en muchas regiones del planeta (Ollero, 2011; Elso *et al.*, 2011; Herrera, 2013). Este planteamiento nos lleva a poder afirmar que, efectivamente, no existe una verdadera restauración ambiental y que sus fundamentos constituyen una utopía irrealizable en la práctica, lo que nos aboca, en el plano más pragmático, a la implementación de acciones y medidas que, de forma

coordinada o aisladas, constituirán la base de otro tipo de actuaciones que se corresponderían con los conceptos de rehabilitación, recreación, remediación....

Esta cuestión ha generado bastante controversia y discusión entre los investigadores y profesionales que se dedican a estos temas, no estando en la actualidad muy bien definidos los conceptos, ni las estrategias a abordar a la hora de implementar acciones de restauración fluvial, llevándose a cabo, en más ocasiones de las deseadas, proyectos de restauración que en realidad no lo son. Desde un punto de vista pragmático, se puede afirmar que no existe consenso entre lo que se debe de entender por restauración y su aplicación práctica. Desde la orientación de carácter ecosistémica de tipo integral, propuesta en su día por Montes y sus colaboradores tras el desastre de la mina de Aznalcóllar (Sevilla) en la cuenca del río Guadiamar, uno de los pocos programas de restauración ambiental llevados a cabo en España desde una perspectiva integral (a nivel de cuenca hidrográfica), desde finales de los años 90 y a los primeros 2000, a la simple ejecución de una relación de medidas de carácter ingenieril, que constituyeron, por ejemplo, la base del proyecto de “restauración ambiental” del Río Pudio (Sevilla), llevada a cabo por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, durante la segunda década del presente siglo.

En el caso de la restauración ecológica del río Guadiamar (Montes y Carrascal, 2008), todas las actuaciones emprendidas tenían como objetivo revertir el funcionamiento del río a una situación previa al vertido tóxico, definiéndose como ecosistemas de referencia los existentes en torno a los años 50 del pasado siglo para la zona de entremuros (a partir de la reconstrucción del sistema teniendo como modelo la imagen proporcionada por la fotografía aérea del vuelo americano del año 1956) (Borja *et al.*, 2008); mientras que para la zona de la cuenca alta, se tomó como modelo de referencia, algunas de las cabeceras de los afluentes del propio río Guadiamar, así como, de algunos otros sistemas fluviales adyacentes en buen estado de conservación. Todo el plan de restauración se articulaba a partir en un marco conceptual de referencia de carácter integral, que pretendía la recuperación de toda la trama de funciones ecológicas propias del sistema hidrogeomorfológico fluvial a escala de cuenca, al tiempo que incorporaba al hombre y sus actividades, compatibilizando la regeneración

del sistema natural, con la utilización por parte de la sociedad de los flujos de servicios proporcionados por el sistema (*socio-ecosistema*) (Montes, 2002). Para ello, fue imprescindible la participación e implicación en el plan de acción de todas las administraciones competentes a distintas escalas, y, por supuesto, de las comunidades locales. Hoy día el Corredor Verde del Guadiamar, resultado visible del proceso de restauración, con sus aciertos y sus fallos, constituye un espacio natural integrado en la Red de Espacios Naturales de la Junta de Andalucía con unas condiciones ambientales aceptables.

Por su parte, el caso del *Proyecto de Restauración Ambiental del río Pudio*, financiado por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, no pasó de constituir un conjunto de medidas de remediación y rehabilitación, desconexas, basadas en una mentalidad ingenieril, sin ningún marco conceptual de referencia de carácter ecológico, ni hidrogeomorfológico. Este planteamiento condujo a la ejecución de un conjunto de obras y actuaciones con un sentido contrario a la idea de renaturalización del sistema, como la limpieza abusiva de los canales y la eliminación de todo tipo de vegetación riparia, o, como la remodelación de las orillas con taludes inclinados a 45° y los canales con fondos planos. El resultado es que en la actualidad el río Pudio se parece más a un jardín que a un sistema fluvial que haya alcanzado un mínimo de recuperación de sus funciones hidrogeomorfológicas, ni, por supuesto, la recuperación ningún tipo de hábitat natural.

La restauración fluvial debe basarse en generar las condiciones hidrogeomorfológicas necesarias para que el sistema se autorregule y autogestione en el tiempo (restauración pasiva) (Adam *et al.*, 2007). Para ello, es necesario mantener unos caudales y una carga sedimentaria adecuados, así como, disponer de un territorio fluvial necesario para facilitar estas tareas. Igualmente, es muy conveniente eliminar todo tipo de obstáculos y favorecer la conectividad del sistema (CIREF, 2010). Sin embargo, ésta es nuevamente una propuesta utópica, pues la eliminación de los mayores impactos a los que están sometidos los grandes sistemas fluviales hoy día, como por ejemplo, las grandes presas, es una tarea imposible de llevar a cabo (Ollero, 2011).

Siendo conscientes que la restauración ecológica, en el sentido más estricto, es en la práctica una idea inalcanzable, González del Tánago y García Jalón (2007), en el manual de *Restauración de Ríos*, publicado por el Ministerio de Medio Ambiente, establece todo un catálogo de actuaciones que se pueden implementar a la hora de mitigar algunos de los impactos y presiones que experimentan los sistemas fluviales, con distintos grados de reversión de las presiones y con diferentes orientaciones y resultados:

- **Rehabilitación:** implicaría el más alto nivel de recuperación de las funciones hidrogeomorfológicas existentes en un momento anterior al actual, y al que volver, una vez eliminado el impacto. Supondría establecer unas condiciones de partida lo más naturales posibles para que el propio sistema, por sí mismo, fuera regulándose y ajustándose a unas condiciones más naturales.
- **Remediación:** se trataría de acciones que pretenden mejorar las condiciones actuales del sistema mediante la reversión de un impacto concreto. Se utiliza en casos donde el grado de desnaturalización y degradación es alto, orientado a mejorar o mitigar el impacto concreto en sí mismo, sin una pretensión de mejora integral del sistema.
- **Mejora:** tiene un carácter más estético que ecológico y pretende acrecentar la percepción que se tiene del sistema fluvial, pues, por lo general, no redundan en una mejora de las condiciones estructurales ni funcionales del sistema.
- **Adecuación:** se basa en la aplicación de técnicas que persiguen la mejora de un uso concreto de los ríos, como puede ser la adecuación recreativa de las riberas u otros usos (baño, instalaciones deportivas, etc.).
- **Mitigación:** consiste en la disminución de la intensidad o presión que algunos usos humanos ejercen sobre los ecosistemas fluviales.

- Substitución: implica, finalmente, la creación de un ecosistema nuevo donde existía uno natural, tan degradado que es físicamente irre recuperable.

Las situaciones específicas de cada sistema fluvial (grandes cuencas fluviales o pequeñas), el grado de voluntad política existente, los recursos económicos disponibles, la intensidad de la demanda social reclamando acciones de restauración (por ejemplo, en el caso de una situación de desastre ecológico), etc., son cuestiones que van a determinar el tipo de acciones a implementar, para cada escenario y para cada momento concreto. Un esquema muy básico, pero esclarecedor, sobre qué tipo de actuaciones llevar a cabo en un ecosistema degradado (fluvial o de cualquier otro tipo), es el que se presenta en la figura 29, propuesto por Montes (2002), en el que plantea un cuestionario básico de cuyas respuestas va a depender el tipo de actuación a implementar.

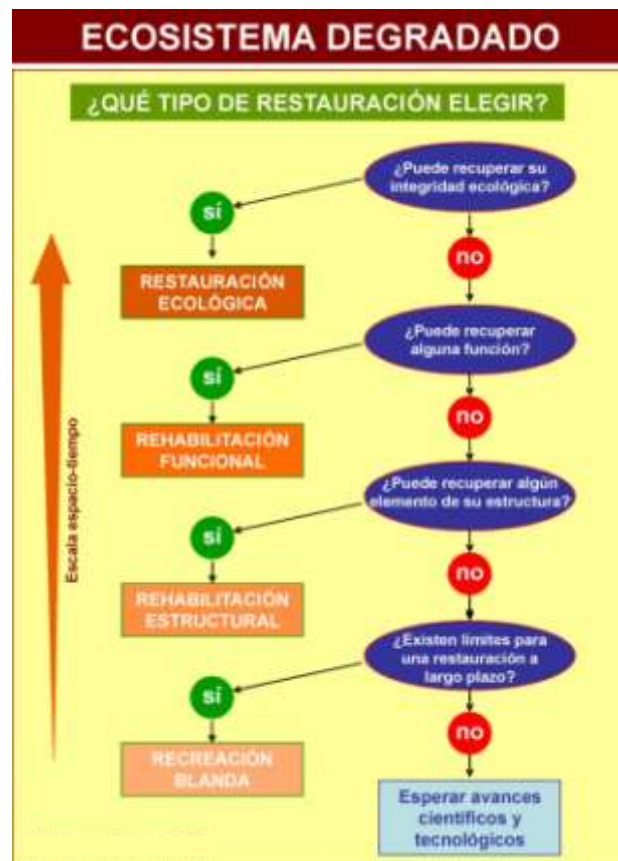


Figura 29. Ámbito de viabilidad de la restauración (Citado por Montes, 2002).

La aplicación, sin embargo, en determinadas ocasiones de los principios básicos de la restauración ecológica con un carácter integral, podría ser una opción realista, por ejemplo, en cuencas de dimensiones pequeñas. De ser así, el principio básico que debería regir, según CIREF (2010), tendría que ser el de restablecer o recuperar el sistema natural a partir de la eliminación de los impactos que presionan al sistema, durante un espacio de tiempo lo suficientemente largo para que recupere su funcionamiento natural y autosostenible (Ollero, 2011). Un sistema fluvial restaurado debería recuperar, según el planteamiento de CIREF (2010) las siguientes condiciones:

- *Sus procesos naturales y todas las interacciones entre sus elementos y con otros sistemas.*
- *Su estructura, es decir, todo sus componentes y flujos en toda su complejidad y diversidad.*
- *Sus funciones dentro del sistema terrestre (transporte, regulación, hábitat...).*
- *Su territorio, es decir, el espacio propio y continuo que debe ocupar para desarrollar todos sus procesos y funciones.*
- *Su dinámica natural a lo largo del tiempo.*
- *Su resiliencia o fortaleza frente a futuros impactos, su capacidad de autoregulación y autorecuperación.*
- *Los bienes y servicios que aportan a la sociedad.*

Atendiendo a esta serie de requisitos, los sistemas fluviales restaurados deberían alcanzar un nivel de naturalidad cercano o igual a una situación anterior al desarrollo del impacto (situación de referencia), mostrando una funcionalidad y un dinamismo igualmente naturalizados, que les permitiera alcanzar un alto nivel de complejidad y diversidad; al tiempo que deberían mostrar una mayor resistencia frente a cualquier nueva perturbación (resiliencia). Alcanzar este estado, una vez implementadas las medidas de



actuación, precisaría de un periodo de tiempo variable que permitiera alcanzar este estatus. Desde este punto de vista, es lógico pensar, pues, que la verdadera restauración es la autorestauración, efectuada a lo largo del tiempo por el propio sistema fluvial, una vez eliminados los impactos y obstáculos (CIREF, 2010; Ollero, 2015).

#### **d) Principios que deben regir la restauración**

Como ya se ha comentado con anterioridad, la restauración de un sistema fluvial debe tener como objetivo principal el restablecimiento de los procesos naturales propios del funcionamiento de los ríos, es decir, devolverles su función, su territorio y su dinámica, tal como afirma Ollero (2008). La restauración ecológica de los sistemas fluviales puede, sin embargo, plantearse desde distintos puntos de vista y siguiendo estrategias igualmente diferentes. Sin embargo, el principio básico que todas ellas deben seguir es de la aplicación del conocimiento científico de los principios que rigen el funcionamiento de los ecosistemas fluviales. Para ello, es necesario contar con un equipo de especialistas multidisciplinar que abarque tanto los aspectos naturales, como los sociales, económicos e históricos (*socio-ecosistema*). En la base del conocimiento científico de los sistemas fluviales debe posicionarse, sin duda alguna, la dinámica hidrogeomorfológica, la responsable de que cualquier proyecto de restauración o rehabilitación pueda llegar a buen puerto (Horacio *et al.*, 2018; Ollero y Romeo, 2007). El conocimiento sobre la dinámica de los caudales y el tránsito de sedimentos, así como, de los procesos y modelados geomorfológicos específicos de estos sistemas, constituye la base sobre la que construir cualquier plan de restauración (Horacio, 2015; Sear *et al.*, 2003).

Según Ollero (2008) son varios los principios básicos que hay que observar a la hora de restaurar un río. En primer lugar, contar con unos caudales naturales con fluctuaciones estacionales y procesos extremos, es decir, con crecidas responsables de la dinámica natural del río y de los procesos de conectividad transversal del mismo. En segundo término, mantener una disponibilidad y movilidad adecuada de sedimentos proporcionados tanto por el sistema de laderas de la cuenca, como de las propias orillas. En tercer lugar, eliminar todo tipo elementos rígidos (muros de defensa,

canalizaciones, motas, etc.) que puedan distorsionar el funcionamiento natural del río. Igualmente, en cuarto lugar, permitir la presencia de toda vegetación natural que desarrolle funciones de control de la dinámica. En penúltimo lugar, generar un espacio fluvial continuo y con la suficiente anchura para permitir la movilidad del cauce fluvial. Finalmente, proporcionar al sistema el tiempo necesario para que se autorregule y ajuste a las nuevas condiciones, sin ningún tipo de intervención antrópica.

El ámbito de aplicación de estos principios, a priori, lo constituye el nivel de cuenca hidrográfica, especialmente, en cuencas pequeñas. Para grandes sistemas fluviales pueden plantearse propuestas a escala de tramos o segmentos lo suficientemente largos para mantener un comportamiento hidrogeomorfológico homogéneo a lo largo del mismo. En cualquier caso, los proyectos de restauración deben ir siempre acompañados de un programa de investigación aplicada de carácter multidisciplinar, así como, de un plan de seguimiento de las actuaciones que se lleven a cabo, que proporcione conocimiento científico sobre la idoneidad de las mismas, que permita la toma de decisiones con el mínimo umbral de incertidumbre, y que posibilite reorientar y replantear dichas acciones si los resultados no son los esperados (Montes, 2002). Para el caso de la componente geomorfológica, pueden establecerse, igualmente, una batería de indicadores que pueden orientar sobre el funcionamiento, la dinámica y la evolución del sistema fluvial (Ollero *et al.*, 2011a).

### **e) La desarticulación geomorfológica de los sistemas fluviales**

El estado de desarticulación geomorfológica de los ríos españoles, al igual que el del resto del mundo, es muy notable como se ha comentado en apartados anteriores. La mayoría de los sistemas fluviales españoles están afectados en mayor o menor medida por impactos de gran calado como canalizaciones, motas, cortas..., que los han constreñido y encajonado, impidiendo que puedan disfrutar de su territorio fluvial, o, directamente cuentan con barreras transversales como son las presas o embalses, que impiden su conectividad longitudinal, alterando el régimen de caudales y el tránsito de sedimentos, dos de las principales funciones de todo sistema fluvial (González del Tánago y García de Jalón, 2007; Horacio, 2014). El

encajonamiento de los cursos fluviales tiene como consecuencia el desarrollo de procesos de incisión, que en el caso de los ríos españoles, es un efecto cada vez más evidente, especialmente, en los cursos fluviales de la vertiente mediterránea (Conesa y Pérez Cutillas, 2014).

Los resultados negativos que generan este tipo de desajustes se encuentran en el origen de un gran número de actuaciones de corrección o refuerzo de los canales, especialmente, en ámbitos poblados o dedicados a la agricultura, cuando éstos se ven afectados por procesos erosivos o sedimentarios que entrañen algún riesgo para la población o los bienes. Este tipo actuaciones de domesticación del sistema fluvial no hacen sino alejarlo de su comportamiento natural y aumentar el nivel de perturbación sobre el sistema. Cuanto más se intenta domesticar, peores son las consecuencias. No se puede luchar contra la naturaleza, y especialmente contra los sistemas fluviales, utilizando como única herramienta el hormigón. Sin embargo, la sociedad sigue reclamando soluciones drásticas y las administraciones competentes siguen ofreciendo soluciones a dichas demandas basadas en la implementación de actuaciones de ingeniería tradicional que, para nada, tienen en consideración la complejidad de los sistemas fluviales (Ollero *et al.*, 2011b).

Un ejemplo de esto último es la lucha atávica que siempre se ha mantenido por la inmensa mayoría de las sociedades por controlar las crecidas de los ríos a base de implementar todo tipo de medidas estructurales y rígidas hasta la proliferación desmedida de las grandes presas en las últimas décadas. Todas estas actuaciones han ido encaminadas a mitigar y controlar los efectos de las riadas. Sin embargo, las crecidas son el motor de la dinámica geomorfológica y la base del funcionamiento del sistema fluvial, así como, de su conectividad longitudinal y transversal. Un río sin crecidas, es un río muerto, y eso, es lo que tenemos en la actualidad, un gran número de ríos que han perdido casi totalmente su funcionalidad natural y que se encuentran, algunos de ellos, en un estado casi irrecuperable.

Existe, sin embargo, una ciencia que tiene como uno de sus objetos de estudio la comprensión y explicación del complejo funcionamiento de los sistemas fluviales. Se trata de la Geomorfología Fluvial, una línea de investigación dentro de la Geomorfología, que constituye una disciplina con

más de un siglo de tradición, y muy consolidada desde el punto de vista científico y académico (Horacio, 2017). A pesar de este bagaje, la Geomorfología Fluvial es muy poco o nada demandada a la hora de participar en proyectos de restauración fluvial, que en la inmensa mayoría de las ocasiones son liderados por ingenieros. La geomorfología constituye la base del conocimiento de la dinámica fluvial, por lo que su concurso es imprescindible a la hora de establecer un diagnóstico sobre el funcionamiento de los sistemas fluviales, en el que basar cualquier actuación a acometer (Ollero *et al.*, 2011b).

#### **f) Acciones a implementar**

Las acciones a implementar en cualquier proyecto de restauración tienen que ir encaminadas a eliminar los impactos y las presiones sobre los sistemas fluviales. Las presiones pueden ser directas e indirectas, y pueden afectar a cualquier escala espacial (cuenca, tramos, segmentos fluviales...), o temporal (días, años, décadas...). El principio básico que debe regir es el de actuar sobre el origen de los problemas (génesis), y no sobre las consecuencias de los mismos. No hay que olvidar, ni subestimar, la capacidad autorestauración que tienen los propios sistemas fluviales. Por ello, hay que orientar las actuaciones a eliminar o minimizar todos los impactos posibles y que el río se restaure sólo, es decir, que él mismo sea capaz de alcanzar un nuevo equilibrio hidrogeomorfológico, con unas nuevas condiciones de referencia (Ollero *et al.*, 2011).

Son muchas y muy diversas las acciones que se pueden acometer para mejorar el funcionamiento hidrogeomorfológico de los sistemas fluviales a distintas escalas y con diferentes objetivos. De una forma genérica, es necesario mantener, y, en los casos que sea necesario, definir y establecer el denominado territorio fluvial necesario para conseguir un funcionamiento adecuado dichos sistemas (Ollero, 2007b). Para ello, será necesario coordinar a las administraciones competentes en ordenación del territorio y gestión fluvial (Confederaciones), para establecer políticas de reordenación territorial coherentes con el objetivo de conseguir un espacio de movilidad para el río, en el que se establezcan determinadas restricciones para determinados usos del suelo, especialmente, los planes de urbanización y

construcción de equipamientos en las llanuras aluviales (Ollero, 2008). Sería muy conveniente establecer los mecanismos adecuados para que cualquier actuación en un sistema fluvial contara con los estudios y trabajos de investigación previos que soportaran, desde el punto de vista científico, dicha actuación, definiendo los protocolos a seguir por profesionales cualificados (hidrogeomorfólogos, principalmente), para evitar que esas actuaciones terminen convirtiéndose en limpiezas de vegetación, dragados o actuaciones de maquillaje estético. En este sentido, sería muy necesario también fomentar la formación ambiental de la sociedad haciendo ver que los sistemas fluviales presentan una enorme complejidad intrínseca y que las soluciones a sus problemas son igualmente complejas. Por ello, sería muy adecuado, incluso, plantearse la necesidad de formar a especialistas en este tipo de tareas concretas, promoviendo, por ejemplo, la creación de un grado universitario específico.

Una vez definidos estos principios básicos a nivel teórico hay que pasar a la práctica y plantear acciones concretas que pueden llevarse a cabo, tanto por las administraciones e instituciones competentes, como la ciudadanía a nivel particular. En esta línea, en los últimos tiempos, han surgido algunas iniciativas y publicaciones en las que se promueven todo tipo de actividades encaminadas a mejorar el estado de los sistemas fluviales. Una de las más completas es la *Guía metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial* (Ollero, 2015), cuya revisión recomendamos para ampliar este tema.





### 3. Objetivos





## 3. OBJETIVOS

### 3.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general se centra en obtener un diagnóstico del estado actual del funcionamiento hidrogeomorfológico del arroyo de El Partido y elaborar un conjunto articulado de orientaciones concretas (directrices), a escala de cauce y cuenca, encaminadas (en el marco de la restauración ecológica de los medios fluviales) a la mitigación/adaptación de los efectos del actual balance erosivo-sedimentario de la cuenca del arroyo de El Partido.

### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Teniendo en cuenta el objetivo general de la presente investigación, se plantean como objetivos específicos los siguientes:

- Elaborar un diagnóstico integral del funcionamiento hidrogeomorfológico del sistema fluvial a partir del análisis y caracterización de la dinámica hidrogeomorfológica, tanto a nivel de cuenca (mediante análisis de procesos y propuestas de zonificación), como de cauce (a través de la caracterización a detalle del sistema cauce-orilla-llanura aluvial).
- Realizar un reconocimiento general de campo y análisis geomorfológico (clasificación de canales, valoración de perfiles-tipo de orillas...) del área de estudio.
- Analizar la evolución de las transformaciones experimentadas en el territorio consecuencia de la presión antrópica ejercida sobre el mismo a distintas escalas.
- Efectuar una caracterización morfohidrográfica la red fluvial y los cambios del arroyo de El Partido en cuanto al diseño y los límites de las cuencas hidrográficas, incluyendo el estudio morfométrico de la expresión fluvial.

- Evaluar los procesos hidrogeomorfológicos desde el punto de vista de su *génesis* (circunstancias naturales y de presión antrópica desencadenantes), *evolución* histórica reciente y *alcance futuro*.
- Determinar y analizar en detalle tramos y modelos que puedan contener claves para la obtención de una valoración integral de la dinámica de desestabilización de canales, a fin de obtener un marco general para la valoración del conjunto del sistema.
- Definir directrices de actuación orientadas a la mitigación y adaptación de los desajustes identificados.



## 4. Metodología, fuentes y técnicas



## 4. METODOLOGÍA, FUENTES Y TÉCNICAS

### 4.1. METODOLOGÍA

#### 4.1.1. Fundamentos metodológicos

Desde el punto de vista metodológico, la presente investigación comparte postulados generales con procedimientos de valoración del estado funcional de los ecosistemas fluviales como el *Proper Functioning Condition* (PFC), una propuesta metodológica del *Bureau of Land Management* y el *USDA Forest Service*, en colaboración con el *USDA Natural Resources Conservation Service* (Prichard *et al.*, 1993), según la cual los sistemas fluviales funcionan adecuadamente en términos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos cuando el modelado, los depósitos, los suelos y la masa vegetal contribuyen solidariamente, entre otros aspectos, a disipar la energía de las crecidas, a filtrar los flujos hídricos, a remozar las llanuras aluviales y a estabilizar las orillas; esto es: cuando ayudan a generar unas condiciones de inundación que favorecen el desarrollo de la biodiversidad y el mantenimiento sostenible del flujo de servicios derivados del funcionamiento de los ecosistemas fluviales.

Se trata de un método cualitativo para evaluar la condición de los ámbitos de ribera por el que se valora la eficacia de los procesos físicos que controlan el funcionamiento de un determinado tramo del sistema fluvial. Se identifican así, sistemas de ribera *funcionales* en los que el modelado, los depósitos fluviales y la vegetación de ribera contribuyen, como se ha indicado, primeramente, a laminar las avenidas, reduciendo la erosión y aumentando la calidad del agua; en segundo término, a filtrar y fijar la carga sedimentaria y favorecer el desarrollo de las llanuras aluviales; en tercer lugar, a favorecer la retención de los flujos y la recarga del acuífero; y, por último, a que se desarrollen suelos hídricos y progrese la vegetación higrofitica. Todo lo cual contribuye al desarrollo de la biodiversidad y la posibilidad de obtener el flujo de servicios propios de este tipo de ecosistemas.

Por su parte, los sistemas de ribera *semifuncionales* presentan un incremento llamativo de la presencia de sedimentos finos como consecuencia de un

desajuste entre la disponibilidad de la carga y la capacidad de desalojo de los flujos. Dichos sedimentos pueden provenir de los sistemas de ladera o de las propias orillas de los canales. Asimismo, es característica de este tipo de sistemas la pérdida de la cubierta vegetal de orillas y llanuras aluviales, habitualmente en relación con la presión agrícola y ganadera, lo que aumenta el riesgo de erosión durante los eventos de alta energía. Los caudales y los niveles freáticos presentan síntomas de descenso, lo que se acompaña de una pérdida de calidad importante de hábitats fluviales y riparios.

Finalmente, la categoría *no funcional* de riberas incluye sistemas fluviales que no presentan ni el modelado, ni los depósitos fluviales, ni la vegetación de ribera adecuados para contribuir a la reducción de la erosión, a mantener la calidad del agua, etc. Por lo que han perdido su capacidad para fomentar la biodiversidad y el desarrollo de los ecoservicios de los que proveen estos ecosistemas a la sociedad cuando funcionan adecuadamente. La colmatación de los canales, la presencia de depósitos de derrame (*floodplain sand sheet*) induciendo la aparición de espacios inundables no ajustados a la dinámica del sistema, el funcionamiento impedido de llanuras aluviales, etc., más un intenso manejo antrópico de los canales (muros condicionando flujos, rectificación de trazados, desobturación mecánica de canales, peraltado y fijación artificial de orillas...) y las llanuras aluviales (vertederos, rellenos, ocupación agrícola...), unido a la ausencia de vegetación natural y la proliferación de especies oportunistas son, en su conjunto, claros indicadores de unas condiciones no funcionales de los sistemas fluviales.

Así pues, este tipo de análisis proporciona información acerca de si un tramo fluvial se encuentra funcionando adecuadamente, de manera que contribuya a la conservación y/o recuperación de su salud ecológica del sistema. Además de para determinar la salud ecológica de un sistema fluvial, este método se utiliza también para definir y organizar las posibles acciones de gestión a llevar a cabo sobre las riberas. Se convierte así en un útil instrumento para priorizar las actividades de restauración, ya que con él se puede detectar de una manera temprana qué sistemas se encuentran en riesgo de degradación. Este método puede contribuir, así pues, a determinar el momento oportuno y el diseño más adecuado de los proyectos de restauración de los sistemas ribereños, así como, a definir los programas de

seguimiento de la recuperación y planes de vigilancia e identificar los avances de la gestión hacia los modelos deseados. Desde esta perspectiva, no obstante, nuestros planteamientos se centrarán preferentemente en aplicar los principios y conocimientos de la hidrogeomorfología fluvial al campo del diagnóstico territorial.

#### 4.1.2. Desarrollo metodológico

Teniendo en cuenta todo lo anterior, desde un punto de vista operativo, la primera de las tareas llevadas a cabo ha consistido en el análisis bibliográfico y documental de la producción científica existente acerca del área y el objeto de estudio, incluido el material cartográfico, tanto básico como temático, así como de la explotación de varias colecciones de fotografía aérea de los últimos 60 años. El levantamiento de los datos en campo y el tratamiento sistemático de los mismos se ha realizado a partir de la definición de una serie de *estaciones de muestreo*, las cuales se definen como puntos de caracterización hidrogeomorfológica y chequeo del estado de los principales componentes del sistema fluvial. En total son 63 las estaciones de muestreo utilizadas, habiéndose recopilado en cada una de ellas información referente tanto al *cauce* (análisis de detalle) como a la *cuenca* (análisis del contexto):

- *Análisis de detalle*: concierne a la caracterización del modelado y la dinámica fluvial a partir de la valoración de los principales elementos que componen el sistema canal/orilla/llanura aluvial, tomando en consideración tanto los componentes naturales como antrópicos en relación a: los tipos de formaciones superficiales y flujos hídricos asociados, el modelado de las orillas y las llanuras aluviales, la presencia y el tipo de vegetación riparia, suelos, etc.
- *Análisis de contexto*: aborda la caracterización de la dinámica de las laderas y el impacto antrópico sobre las mismas, prestando especial atención a los aspectos relacionados no sólo con los diferentes procesos naturales propios de este tipo de medios (arroyada, muy especialmente), sino también con la presencia de factores antrópicos y su capacidad para interrumpir o amplificar la dinámica del flujo, tales como la presencia de infraestructuras, el manejo de la cubierta

vegetal –tanto agrícola (tipos y técnicas de cultivos, uso de *agroplásticos*, etc.), como forestal (destoconados, talas, sacas, etc.)–, o, la existencia de plantas de extracción de áridos y los impactos derivados de sus sistemas de evacuación de aguas, etc.

Finalmente, los datos levantados a través de las estaciones de muestreo se une a la información procedente de la fotointerpretación y el análisis cartográfico, y todo ellos se procesa e implementa en un sistema de información geográfica (SIG), al que se han asociado diferentes bases de datos. Ello no sólo facilita la interpretación y el diagnóstico general del estado de la estructura y la dinámica actual de la cuenca, sino que además sirve como herramienta para la programación y la toma de decisiones en el caso de actuaciones encaminadas a la restauración ecológica del sistema fluvial.

## **4.2. FUENTES Y TÉCNICAS**

### **4.2.1. Revisión bibliográfica**

Relativa a la geomorfología fluvial existe, en términos generales, una abundantísima bibliografía tanto a nivel nacional como internacional, por lo que ha sido necesario realizar una importante selección, hasta conseguir un repertorio de *obras de referencia*, manuales y artículos claves que aparecerán citados a lo largo de los diferentes capítulos de esta investigación y debidamente relacionados en el apartado de referencias bibliográficas. Por el contrario, la producción científica relacionada específicamente con el área de estudio es bastante exigua y centrada, sobre todo, en temas de restauración hidrológica, vegetación, aspectos territoriales, etc., (*vid. supra*, apartado. 1.3)

### **4.2.2. Análisis de documentación cartográfica**

La cartografía básica y temática de la zona de estudio a diferentes escalas se ha revisado exhaustivamente, trabajándose tanto en formato analógico como digital, y tanto en series históricas como en soportes actuales.



### a) Cartografía histórica

Se considera como cartografía histórica aquella divulgada antes del año 1956. En el presente trabajo se han utilizado los mapas publicados por la Consejería de Obras Públicas y Transportes (2007), en una recopilación de la primera edición de las hojas del *Mapa Topográfico Nacional a 1:50.000* correspondiente al territorio andaluz (1942-1952). Las hojas usadas en la presente investigación se relacionan en la tabla 3.

<i>Año de publicación</i>	<i>Nº de hoja</i>	<i>Nombre de la hoja</i>
1952	981	Gibraleón
1950	982	La Palma del Condado
1948	983	Sanlúcar la Mayor
1946	999	Huelva
1947	1000	Moguer
1948	1001	Almonte
1951	1017	El Abalarío
1942	1018	El Rocío

Tabla 3. Relación de las hojas de mapas históricos y su año de publicación.

La información obtenida de esta colección de mapas ha proporcionado un modelo espacial correspondiente a un momento anterior a la disponibilidad del primer documento fotogramétrico (1956).

### b) Cartografía básica

La cartografía básica utilizada se corresponde con los mapas topográficos disponibles, tanto en formato ráster como vectorial, proporcionados por Instituto de Cartografía de Andalucía (ICA) y por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (Ministerio de Fomento). Concretamente se ha utilizado la información proporcionada por:

- *Mapa Topográfico Ráster de Andalucía* (ICA) a escala 1:10.000 del año 2001 y *Mapa Topográfico Nacional de España 1:50.000* publicado por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. Las hojas

utilizadas han sido la nº 982, 983, 1000, 1001 y 1018 tal como se refleja en la figura 30, así como la 1017 para la delimitación del contexto territorial definido por las cuencas menores vertientes a Doñana.

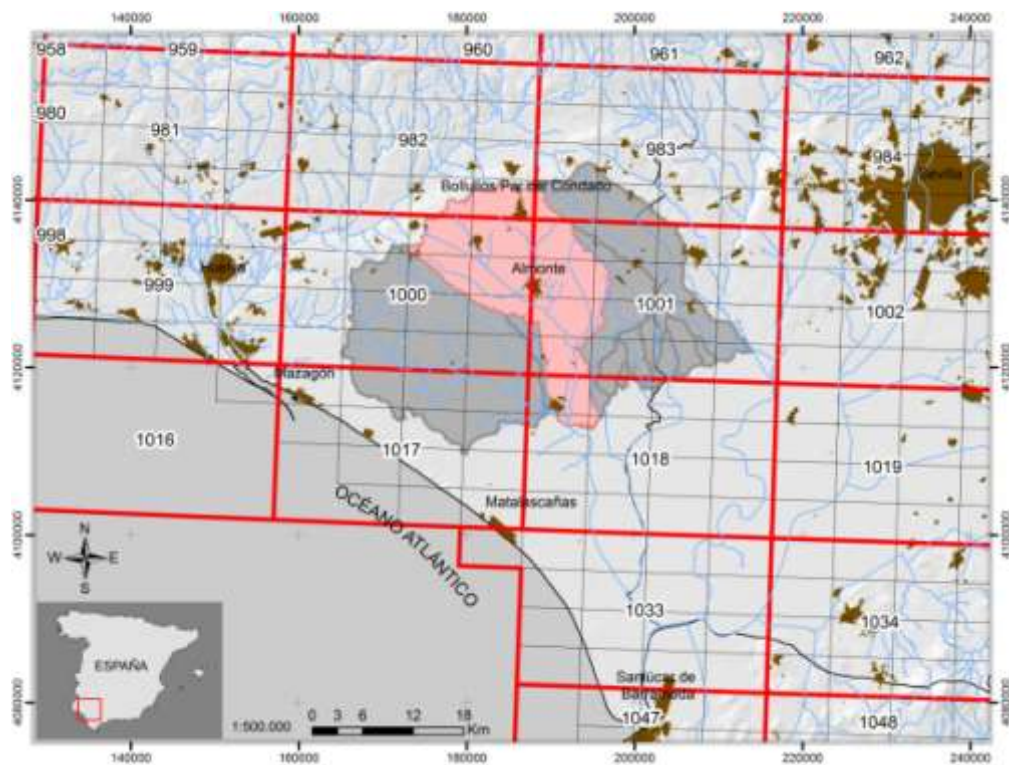


Figura 30. Relación de las cuadrículas de las hojas cartográficas del *Mapa Topográfico de Andalucía a escala 1:10.000*, que es la cartografía de referencia de la Comunidad Autónoma Andaluza.

- La información vectorial utilizada se obtuvo del *Mapa Topográfico Vectorial de Andalucía*, a escala 1:10.000, del año 2007, usándose las mismas cuadrículas que las utilizadas en el caso anterior.
- Información altimétrica procedente de *Datos Espaciales de Andalucía a escalas intermedias*, esta vez a escala 1:100.000.

### c) Cartografía geológica

La base de la información geológica de la cuenca se ha obtenido del *Mapa Geológico de España, Serie Magna, a escala 1:50.000*, correspondientes a las hojas de La Palma del Condado (982), Sanlúcar La Mayor (983), Moguer (1000), Almonte (1001) y El Rocío (1018). Mientras que para la contextualización del área de estudio se ha utilizado la información proporcionada por el *Mapa Litológico de Andalucía a escala 1:400.000* publicado en 2005 por la Consejería de Medio Ambiente.

### d) Cartografía de usos y coberturas del suelo

Los diferentes mapas referentes a usos y coberturas del suelo utilizados en el presente trabajo tienen diversos orígenes y se han elaborado siguiendo métodos diversos. La compatibilización de todos ellos ha pasado necesariamente por un trabajo previo de homogenización de las leyendas de cara a facilitar su comparación (*vid. supra* apartado 6.1.1.). Las fuentes y el método de elaboración de cada uno de los mapas utilizados han sido:

- El mapa de usos del suelo correspondiente al año 1956 se ha basado directamente en un proceso de fotointerpretación del vuelo fotogramétrico de ese año, a escala 1:33.000, en blanco y negro, conocido como *vuelo americano*.
- Para el año 1976 se ha utilizado *Mapa de Cultivos y Aprovechamientos a escala 1:50.000* publicado por el Ministerio de Agricultura en 1985. Las hojas utilizadas, una vez escaneadas y digitalizadas, han sido las mismas que las del mapa topográfico.
- Para los años 1991 y 1999 se ha usado de base la cartografía publicada por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía *Usos y Coberturas del Suelo de Andalucía* a escala 1:5.000. ([https://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F01\\_CARACTERIZACION\\_TERRITORIO%2F06\\_USOS\\_COBERTURAS](https://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F01_CARACTERIZACION_TERRITORIO%2F06_USOS_COBERTURAS))

- Para los años 2003 y 2007 se trabajó con el *Mapa de Usos del Suelo y Coberturas Vegetales de Andalucía* a escala 1:10.000. ([https://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F01\\_CARACTERIZACION\\_TERRITORIO%2F06\\_USOS\\_COBERTURAS](https://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F01_CARACTERIZACION_TERRITORIO%2F06_USOS_COBERTURAS))
- Finalmente, para el año 2016, se ha analizado la información en formato digital publicada por el SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España) tres años antes. ([https://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F01\\_CARACTERIZACION\\_TERRITORIO%2F06\\_USOS\\_COBERTURAS](https://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F01_CARACTERIZACION_TERRITORIO%2F06_USOS_COBERTURAS)).

#### **e) Otra información ambiental**

La caracterización de los rasgos climáticos se ha obtenido principalmente a partir de los datos proporcionados por las *website* de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, concretamente en el apartado información ambiental.

(<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.f497978fb79f8c757163ed105510e1ca/?vgnextoid=6e7a389d8f6d4310VgnVCM200000624e50aRCRD&vgnnextchannel=fa99193566a68210VgnVCM10000055011eacRCRD>).

Por su parte, la información edáfica se ha extraído del *Mapa de suelos de Andalucía a escala 1:400.000* elaborado por la Consejería de Medio Ambiente a partir del publicado en 1989 por la Consejería de Agricultura y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

([https://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F04\\_RECURSOS\\_NATURALES%2F02\\_GEODIVERSIDAD%2F04\\_SUELOS](https://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F04_RECURSOS_NATURALES%2F02_GEODIVERSIDAD%2F04_SUELOS)).

#### **f) Definición del modelo digital del terreno**

El modelo digital del terreno usado en la presente investigación proviene del publicado por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía en los años 2008-2009, con una resolución espacial de 10 x 10 m.

(<https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/prodCartografia/bc/mdt.htm>).

### 4.2.3. Fotointerpretación de fotografías aéreas y ortofotos

#### a) Fotografías aéreas

En el presente trabajo se han compilado 4 series de fotografías aéreas de pares estereoscópicos correspondientes a los años 1956, 1977, 1991/93, y 2002 con diferentes formatos y escalas, que han apoyado las tareas de trabajo de campo, de interpretación geomorfológica, de identificación de usos del suelo..., entre otras. Los datos concretos de cada una de las series son:

- Fotografía aérea a escala 1:33.000 en blanco y negro, correspondiente al año 1956, distribuida por el Ministerio de Defensa y conocida comúnmente como *vuelo americano*.
- Fotografía aérea a escala 1:18.000 en blanco y negro, correspondiente al año 1977, editada por el Ministerio de Defensa.
- Fotografía aérea a escala 1:20.000 en blanco y negro, correspondiente a los años 1991 y 1993, editada por la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía.
- Fotografía aérea a escala 1:20.000 en blanco y negro, correspondiente al año 2002, editada por la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía.

#### b) Ortofotografías aéreas

Del mismo modo se han utilizado como complemento de información territorial diferentes series de ortofotografías, es decir, colecciones de fotografías aéreas corregidas y sin deformación, que se presentan bajo un formato digital. Las utilizadas en la presente investigación se han extraído del *website* que sigue y han sido:

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.aedc2250f6db83cf8ca78ca731525ea0/?vgnextoid=eab1d61d8470f210VgnVCM200000624e50aRCRD&vgnnextchannel=eab1d61d8470f210VgnVCM2000000624e50aRCRD>).

- Ortofoto digital a escala 1:33.000, en blanco y negro, correspondiente al año 1956, editada por la Consejería de Medio Ambiente y cuya resolución es de 1 m.
- Ortofoto a partir de vuelo fotogramétrico analógico interministerial a escala 1:18.000, de 1977-83, conocido comúnmente como *IRYDA*. La resolución de la ortofoto resultante es de 0,5 m. Está editado por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía.
- Ortofoto digital a escala 1:40.000 en blanco y negro, correspondiente al año 1997-98, editada por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Generada a partir de vuelo fotogramétrico Olistat, para generar la *Base de Referencia del Proyecto SIG Oleícola*.
- Ortofoto procedente del vuelo 2001-02 a escala 1:20.000 del ámbito regional de Andalucía para la producción de ortofotografía en blanco y negro de 0,5m de resolución, editada por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- Ortofoto digital a escala 1:60.000 en color, correspondiente al año 2005, editada por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- Ortofoto del cuadrante SW de Andalucía de 0,5 m de resolución, generada a partir del vuelo fotogramétrico con cámara digital de 2008. Desarrollada en el marco de la colaboración entre la Consejería de Medio Ambiente, la Consejería de Agricultura y Pesca, la Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía y el Instituto Geográfico Nacional.

- Ortofoto regional de Andalucía con resolución 0,5 m generada a partir del vuelo fotogramétrico realizado en 2013 por la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- Ortofoto del *Plan Nacional de Ortofotografía Aérea* (PNOA) del año 2016, con una resolución que varía entre 0,5 y 0,25 m, editado por el Instituto Geográfico Nacional.

#### 4.2.4. Trabajo de campo

El trabajo de campo, fundamental para el reconocimiento hidrogeomorfológico del área de estudio y base para su diagnóstico, se ha llevado a cabo con un carácter intensivo durante los años 2006 a 2008, periodo en el que se definieron un total de 63 estaciones de muestreo a lo largo de toda la cuenca del arroyo de El Partido. Posteriormente se ha hecho un seguimiento continuado de dichas estaciones a lo largo de los últimos 10 años que ha permitido aquilatar tendencias dentro de la dinámica general del sistema (*vid. supra*, apartado 4.1.2.).

#### 4.2.5. Tratamiento de Datos y Elaboraciones

Toda la información generada durante la investigación se ha implementado en un Sistema de Información Geográfica (SIG) basado en la utilización de los *softwares Arc-map* de Esri, en su versión 10.3, y *QGIS desktop*, en la versión 2.10.1. El tratamiento de la información ha pasado por una primera etapa de incorporación de datos al sistema, a partir de la aplicación de un tratamiento digital de imágenes o mediante la digitalización de la información. El tratamiento digital de imágenes consiste en transformar toda aquella información territorial que tiene un soporte analógico en digital. Este procedimiento se ha usado principalmente para digitalizar las fotografías aéreas y mapas en formato papel. Con ello se persigue su transformación en imágenes digitales en formato ráster, las cuales están compuestas por miles de celdas o píxeles, dependiendo de la resolución de escaneo. Los archivos digitales resultantes carecen de sistema de referencia por lo que es necesario su georreferenciación, proceso mediante el cual, a un plano, fotografía o

mapa que no tiene sistema de coordenadas se le traslada el sistema de otro que sí lo tiene, identificando en ambas imágenes lugares o puntos comunes que se usarán como puntos de control. Cuanto mayor sea el número de puntos de control obtenidos, menor será el error que se traslade a la imagen georreferenciada, aunque la calidad y nitidez de estos puntos también serán relevantes. La totalidad de la información cartográfica trabajada y presentada en esta investigación está proyectada en el sistema de referencia ETRS89 UTM - huso 30.

Una segunda fase en el tratamiento de la información ha consistido en su digitalización. Mediante este proceso se convierte información en formato ráster a formato vectorial, mediante el trazado o dibujo de elementos territoriales que aparecen en las imágenes digitales (ráster), pudiéndose utilizar tres tipos de capas diferentes: puntos, líneas y polígonos. Toda la información de este modo tratada es, finalmente, almacenada en diferentes bases de datos de información georreferenciada.

A partir de la información incorporada al SIG se ha podido trabajar de un modo casi automático, por ejemplo, la obtención de todas las variables definidas en el análisis morfotopográfico, o, se ha analizado la evolución de los diferentes usos del suelo a lo largo del período analizado.





## 5. Caracterización general de la cuenca del arroyo de El Partido



## 5. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL ARROYO DE EL PARTIDO

### 5.1. LOCALIZACIÓN Y REGIONALIZACIÓN ECOLÓGICA

La cuenca del arroyo de El Partido se localiza en el tramo final de la depresión inferior del Guadalquivir, en el extremo sureste de la provincia de Huelva (Fig. 31). Es la responsable del drenaje de parte de los municipios de Bonares, Niebla, Villarrasa, La Palma del Condado, Bollullos del Condado, Rociana del Condado, Almonte e Hinojos, todos ellos pertenecientes a la citada provincia andaluza (Fig. 32).

La cuenca vertiente presenta una extensión de 318 km<sup>2</sup>, una vez incorporados los terrenos correspondientes al vecino arroyo de La Parrilla, con motivo de las actuaciones de “corrección hidrológica” llevadas a cabo en el año 1981 por parte de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. En planta, su dispositivo es de forma globular, estrechándose y alargándose en su tramo inferior. Se reconocen en ella cinco grandes subcuencas que, de W a E, reciben los nombres de los arroyos que las surcan: el Moriana, el Calancha, el de La Cárcava, el de La Parrilla y el de El Partido, propiamente dicho, conocido en este tramo como el arroyo Santa María (Fig. 33).

La cuenca del arroyo de El Partido forma parte del complejo de cuencas menores que drenan todo el sector NW de las marismas del Guadalquivir, constituyendo sus aportes una de las principales fuentes de alimentación hídrica de la misma, aún encontrándose parcialmente fuera de los límites del Espacio Natural Doñana.

Desde el punto de vista de la contextualización de la cuenca del arroyo de El Partido en el marco de la *Regionalización Ecológica de Andalucía* (Borja, F. *et al.*, 2004), se plantea la siguiente aproximación:

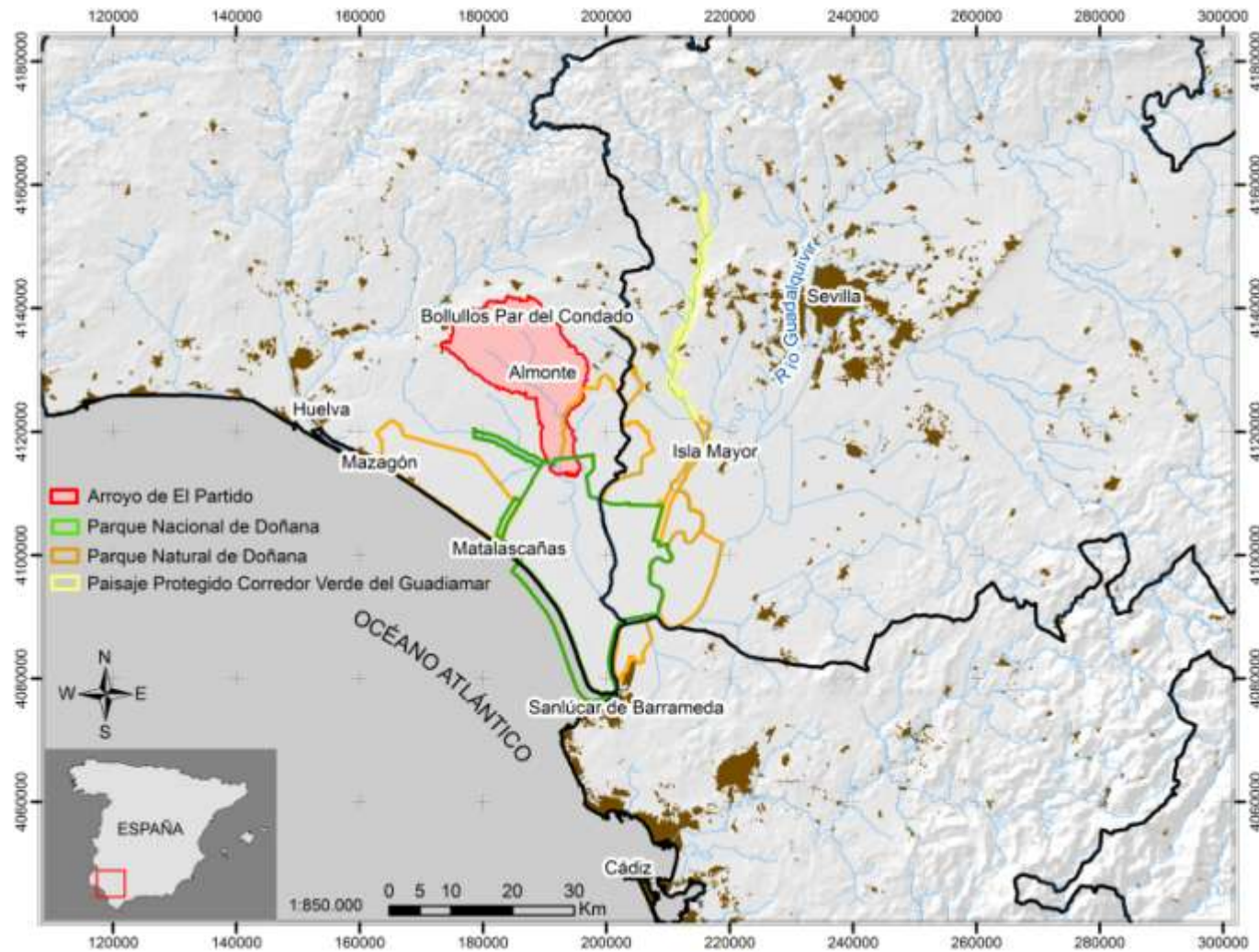


Figura 31. Localización de la cuenca hidrográfica del arroyo de El Partido en el SE de la provincia de Huelva.

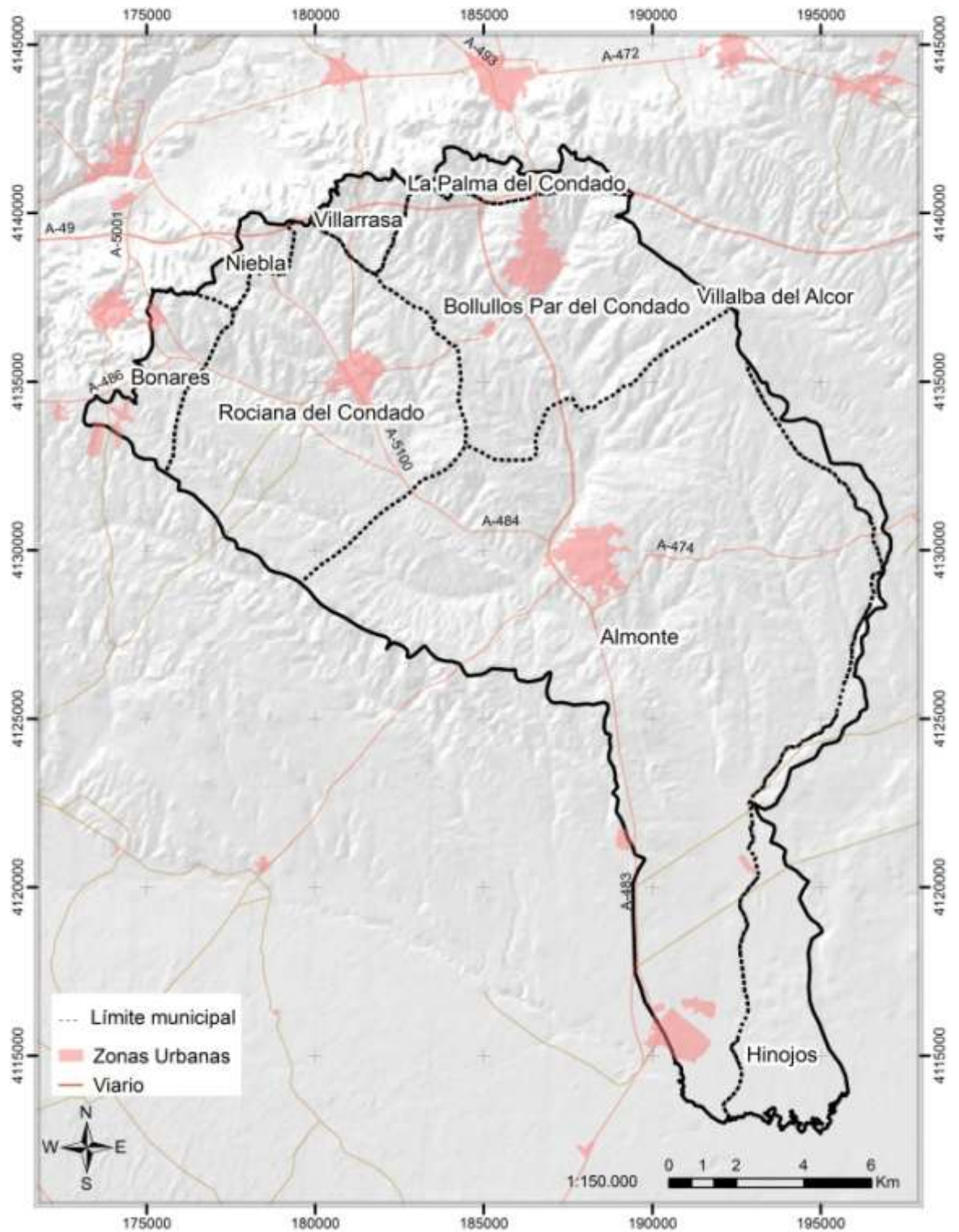


Figura 32. Términos municipales incluidos parcialmente en la cuenca del arroyo de El Partido.

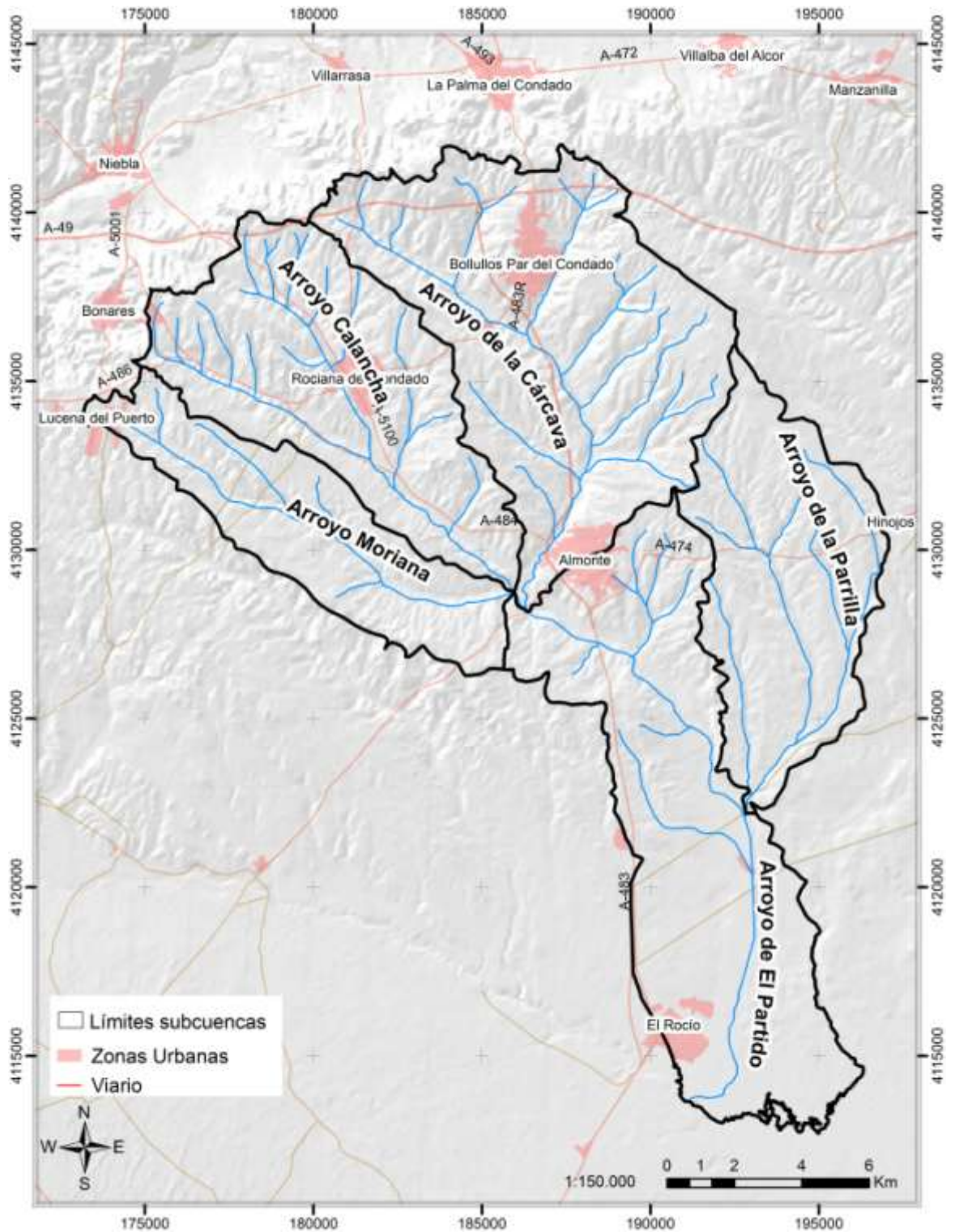


Figura 33. Ubicación de las subcuencas del arroyo de El Partido.

- A nivel de *ecoárea* la cuenca de El Partido se inserta en la unidad correspondiente a la *Depresión del Guadalquivir* (2) en su tramo inferior (Fig. 34), caracterizada desde el punto de vista litológico por la presencia de margas, arenas y areniscas, así como materiales carbonatados de las unidades olitostromicas, en clima mediterráneo.

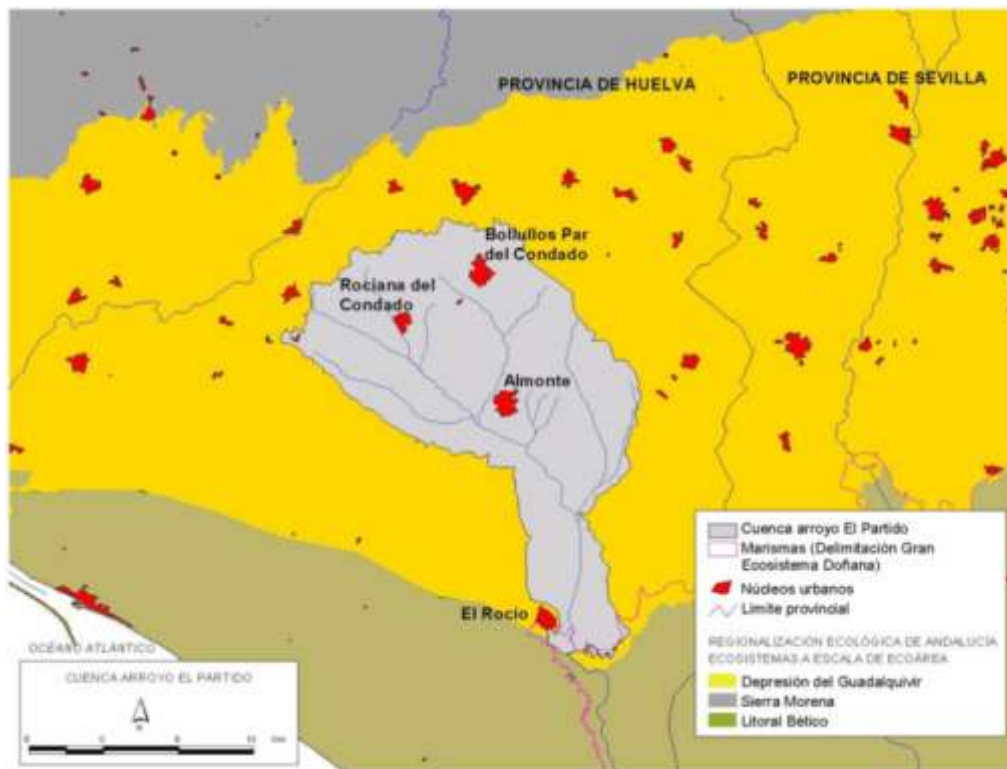


Figura 34. Ubicación de la cuenca del arroyo de El Partido a escala de *Ecoárea*.

- A escala de *Ecoprovincia* la cuenca de El Partido se ubica en el extremo occidental de la unidad denominada *Eje de la Depresión del Guadalquivir* (2.1), cuyo principal factor de control lo constituye el carácter morfosedimentario característico, en este caso, de una gran cuenca abierta asociada a un clima mediterráneo de tipo seco (Fig. 35).
- La determinación del nivel escalar de *Ecorregión* no supone en el caso de la cuenca del arroyo de El Partido ningún cambio desde el punto de vista cartográfico con respecto al nivel anterior. Sin embargo,

desde el punto de vista metodológico y conceptual se produce un importante cambio al alcanzarse un nivel de concreción mayor en la definición de las unidades. A este nivel escalar la cuenca de El Partido se ubica en la unidad denominada *Plataforma Condado-Aljarafe* (2.1.6), definida por la existencia de relieves tabulares en los que predomina una morfogénesis fundamentalmente de tipo fluvio-gravitacional, con series de encinas y alcornoques asociadas a la existencia de acuíferos detríticos (Fig. 36).

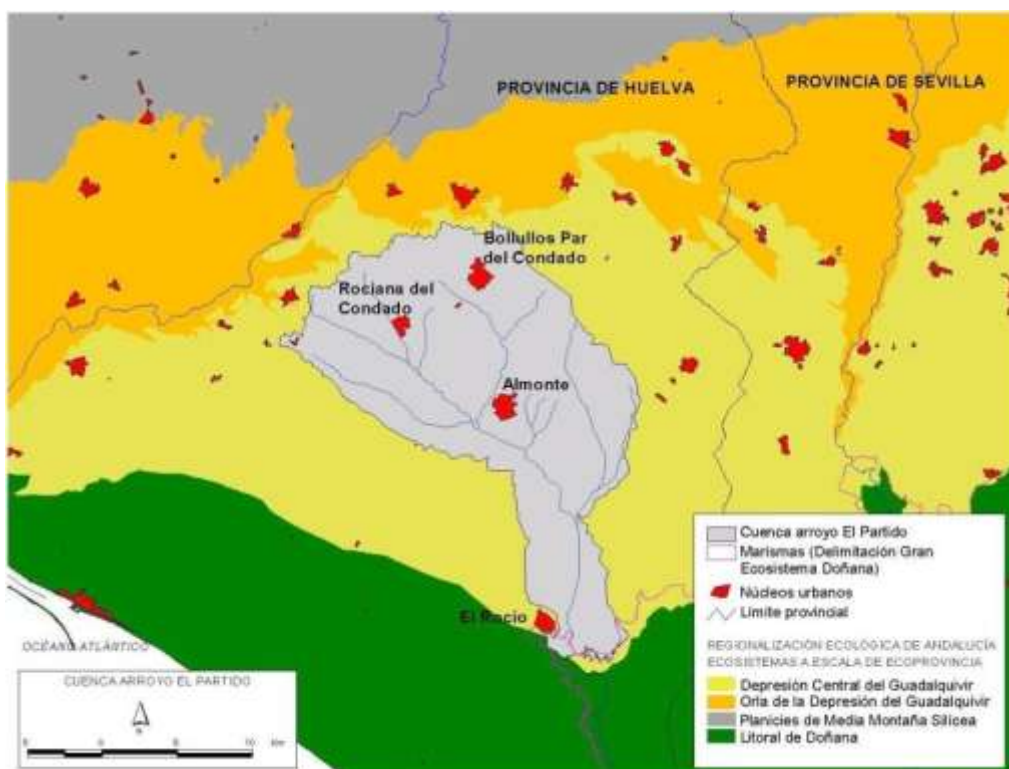


Figura 35. Ubicación de la cuenca del arroyo de El Partido a escala de *Ecoprovincia*.



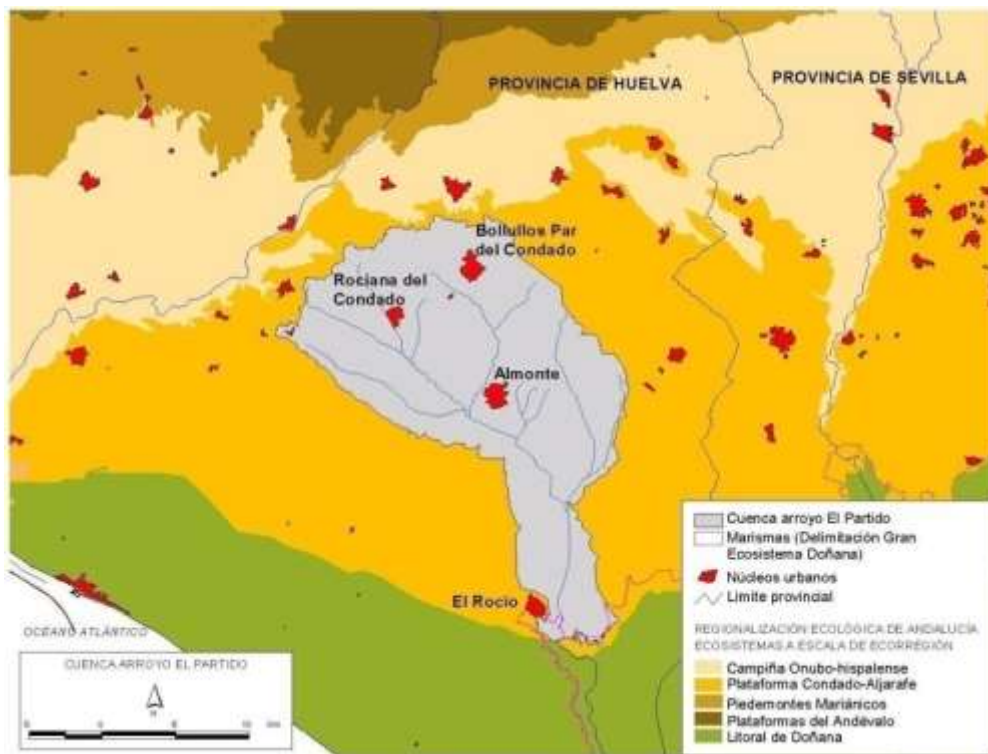


Figura 36. Ubicación de la cuenca del arroyo de El Partido a escala de Ecorregión.

## 5.2. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

### 5.2.1. Rasgos climáticos

La cuenca de El Partido queda comprendida dentro del ámbito de influencia de dos de los tipos climáticos identificados en la Comunidad Autónoma andaluza (<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/web/>): el *mediterráneo oceánico*, por un lado, y el *mediterráneo subcontinental de veranos cálidos* por otro (Fig. 37).

El primero de ellos, correspondiente al tipo mediterráneo oceánico, comprende el tramo final de la cuenca y se caracteriza por el efecto suavizador sobre los valores extremos debido a la influencia del océano. Este hecho se manifiesta en la existencia de inviernos con temperaturas medias que raramente bajan de los 10 °C y veranos con temperaturas medias en torno a los 25 °C. Las precipitaciones medias se sitúan entre los 500 y 600 mm anuales concentrándose en el período invernal, reconociéndose una sequía

estival acentuada. Por su parte, el sector central y norte de la cuenca se ve afectado por el tipo climático mediterráneo semicontinental de veranos cálidos, en el que la influencia oceánica se deja sentir durante los meses invernales, haciendo que las temperaturas se sitúen en torno a los 10 °C de media, mientras que los veranos se presentan secos y cálidos, debido a la duradera permanencia del anticiclón de las Azores y la existencia de un régimen de vientos de levante que hace que las temperaturas máximas sobrepasen en ocasiones los 40 °C, situándose la media de julio y agosto próxima a los 27 °C.

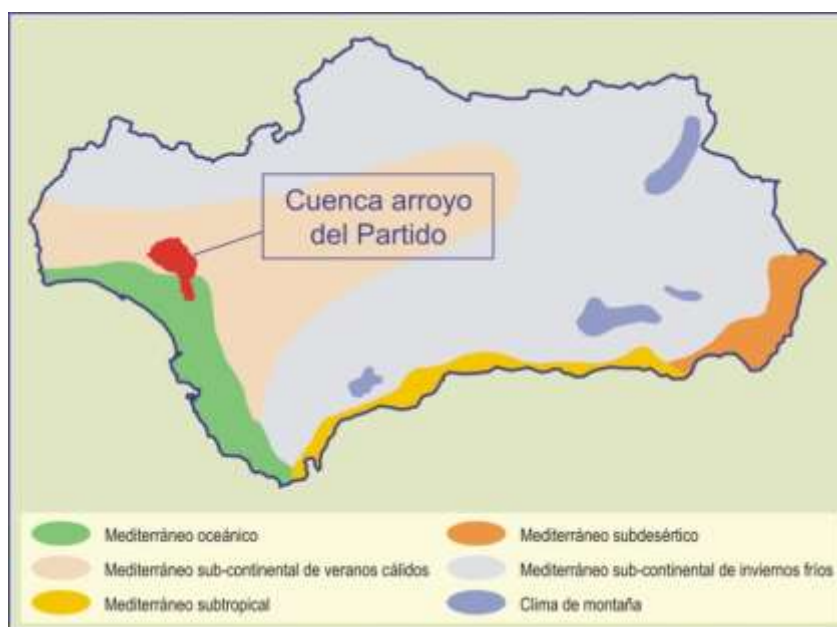


Figura 37. Localización de la cuenca del arroyo de El Partido en el contexto de las unidades climáticas existentes en la Comunidad Autónoma Andaluza (Fuente: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/>).

El régimen de precipitaciones, obtenido a partir de un registro diario correspondiente a la estación meteorológica EM05, ubicada en el cercano Palacio de Doñana (Estación Biológica de Doñana - CSIC), muestra el carácter irregular de las mismas, con años muy lluviosos por encima de los 1.000 mm, como fue el correspondiente al ciclo hidrológico 1995/96, alternando con otros por debajo de los 200 mm, como fue el caso del ciclo hidrológico 2004/2005 (Fig. 38). El número de días de lluvia se sitúa entre 70

y 90 con una distribución intraanual también, igualmente, irregular (Borja, 2011).

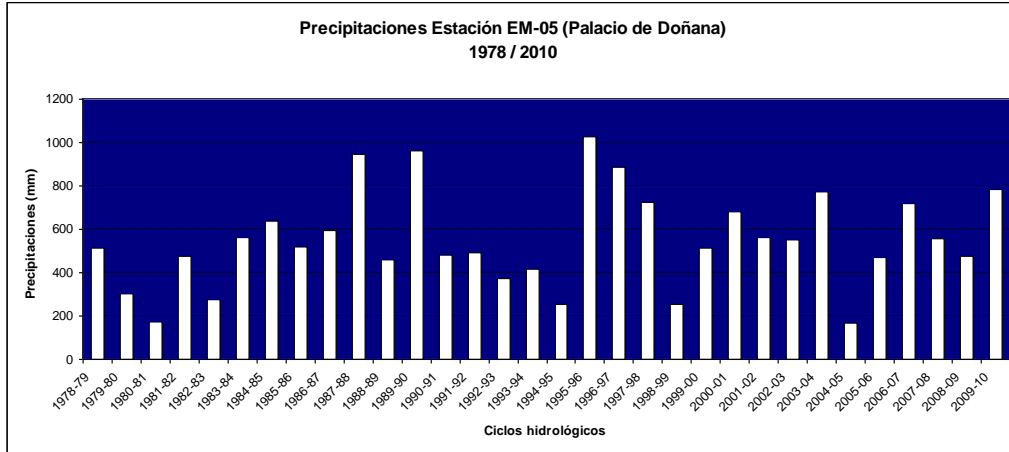


Figura 38. Distribución anual de las precipitaciones registradas en la Estación EM-05 ubicada en el Palacio de Doñana para el período comprendido entre 1978 y 2010.

### 5.3.2. Contexto geológico

El marco geológico general del contexto de la cuenca del arroyo de El Partido se caracteriza por la existencia de una serie de unidades geológicas de edad Mioceno superior (Andaluciense) a Cuaternario, depositadas sobre un substrato de margas azules con cronología Miocena. En la figura 39 se observa como la cuenca de El Partido se ubica exclusivamente sobre la unidad denominada Deltáica (Manzano y Custodio, 2005), en sus dos variantes, tanto en la compuesta por limos, como en la compuesta por arenas, gravas y limos. Se trata una unidad conformada a partir de los aportes de la red fluvial que drenaba Sierra Morena a finales del Terciario, también denominada por otros autores como Limos y Arenas Basales (IGME, 1982).

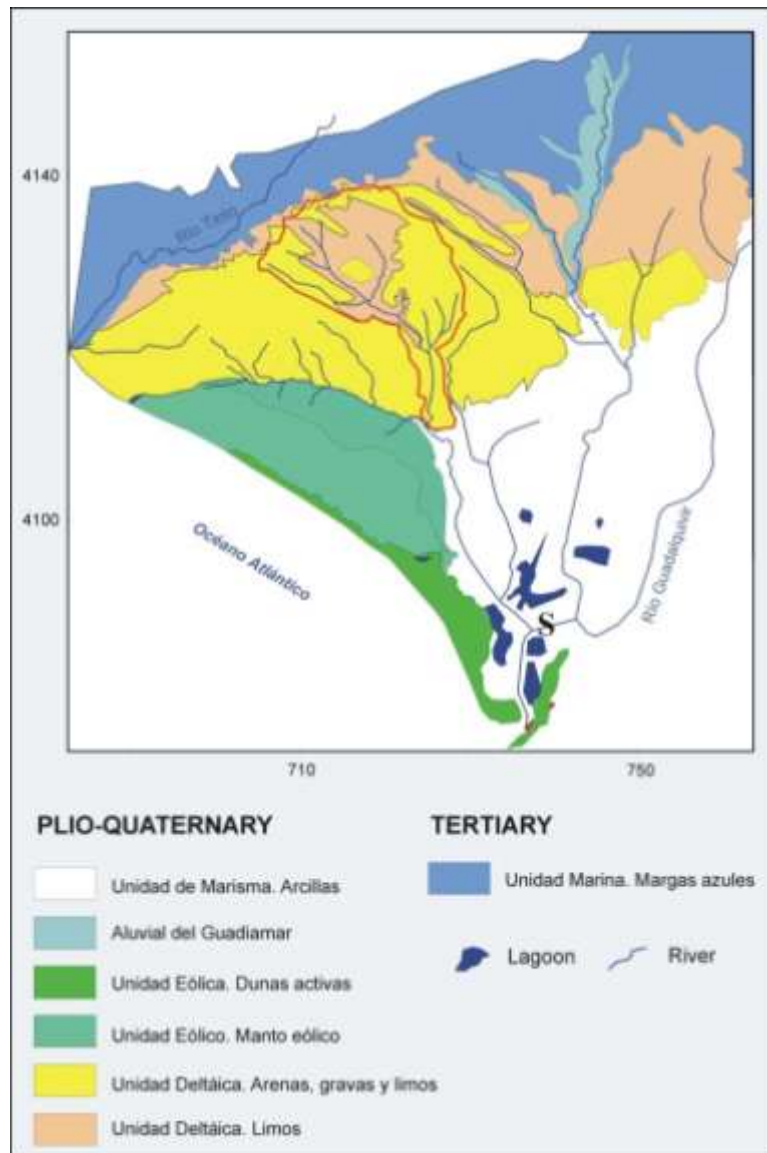


Figura 39. Localización de la cuenca del arroyo de El Partido en el contexto geológico inmediato (Fuente: Manzano y Custodio, 2005).

### 5.3.3. El sistema de laderas

#### a) Características topográficas

La oscilación altitudinal a lo largo de la cuenca es reducida, ya que como máximo se alcanzan diferencias de 173 m. La curva de nivel más baja se sitúa a una altitud de 2 m.s.n.m., coincidiendo con el tramo final del arroyo y su

contacto con la marisma, en el municipio de Almonte, mientras que el espacio más elevado alcanza la altura de 175 m.s.n.m. en el sector norte de la cuenca, concretamente al NW del núcleo urbano de Bollullos par del Condado en el paraje conocido como *El Carnicero*, perteneciente al término municipal de La Palma del Condado.

De este modo se pueden diferenciar dos áreas, desde el punto de vista hipsométrico, la zona meridional y la septentrional (Fig. 40). Mientras que en la primera se representan las cotas más bajas coincidiendo con el contacto con la marisma, en la segunda aparecen las más elevadas que se ubican sobre materiales de los periodos neógeno-cuaternario como son los Arenales del Condado.

La cuenca hidrográfica de El Partido se desarrolla sobre un espacio caracterizado por la presencia de relieves alomados, con suaves pendientes, que descienden paulatinamente hasta su contacto con la marisma donde se hacen prácticamente inexistentes. Tanto es así que casi el 95% del territorio analizado posee pendientes inferiores al 5% (Tabla 4) mientras que las mayores inclinaciones están asociadas, casi de forma exclusiva, a la incisión del propio sistema de cauces, a taludes generados por la construcción de carreteras, al resultado de la ejecución de actividades extractivas, o, a los movimientos de tierra necesarios para la puesta en cultivo intensivo (plásticos) de algunos ámbitos. (Fig. 41).

<i>Pendiente (%)</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Superficie (%)</i>
0-0,25	21.451,75	68,33
2,5-5	8.118,58	25,86
5-7,5	1.421,04	4,53
7,5-10	276,49	0,88
>10	126,34	0,40

Tabla 4. Relación de pendiente y superficie ocupada.

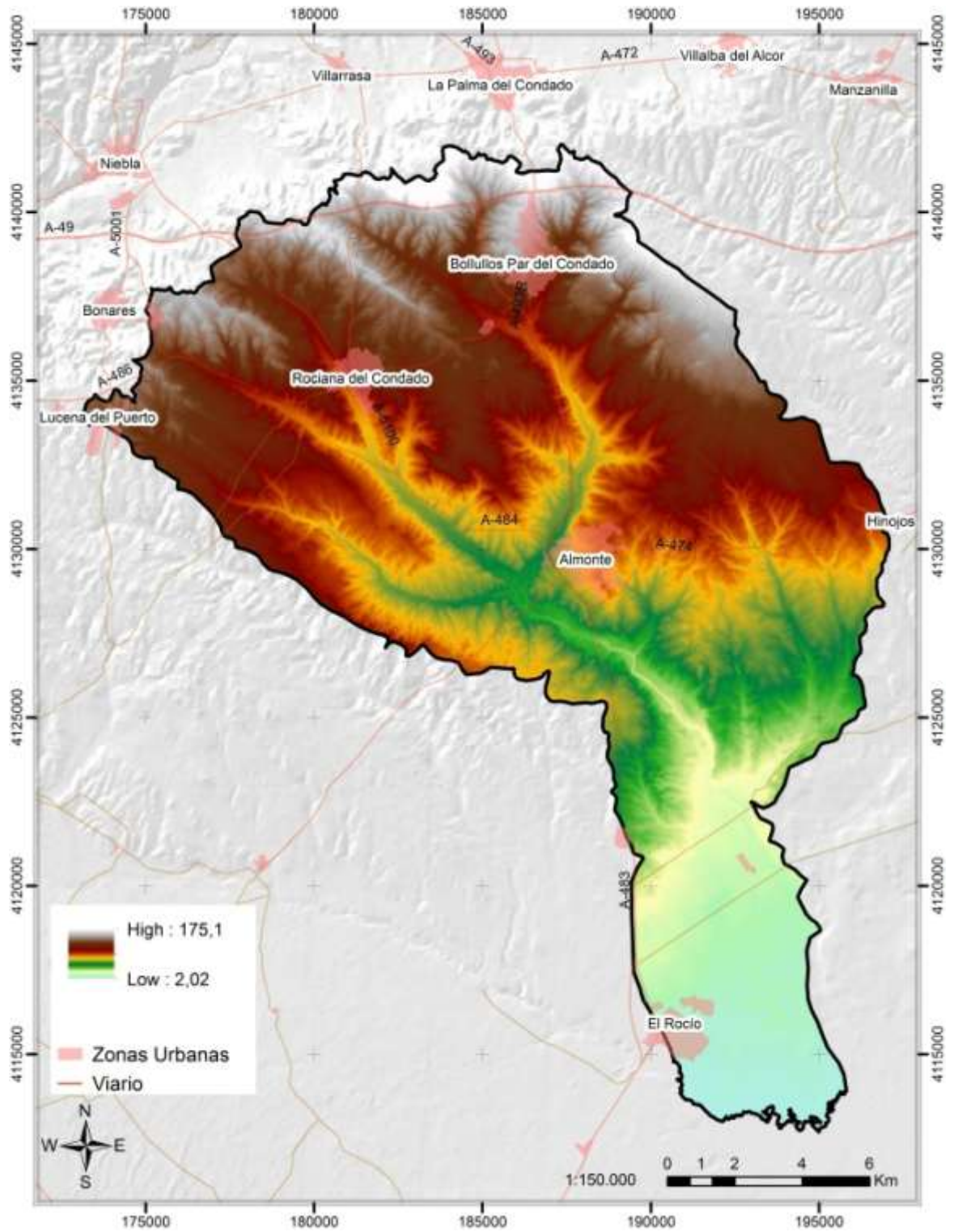


Figura 40. Altimetría de la cuenca del arroyo de El Partido.

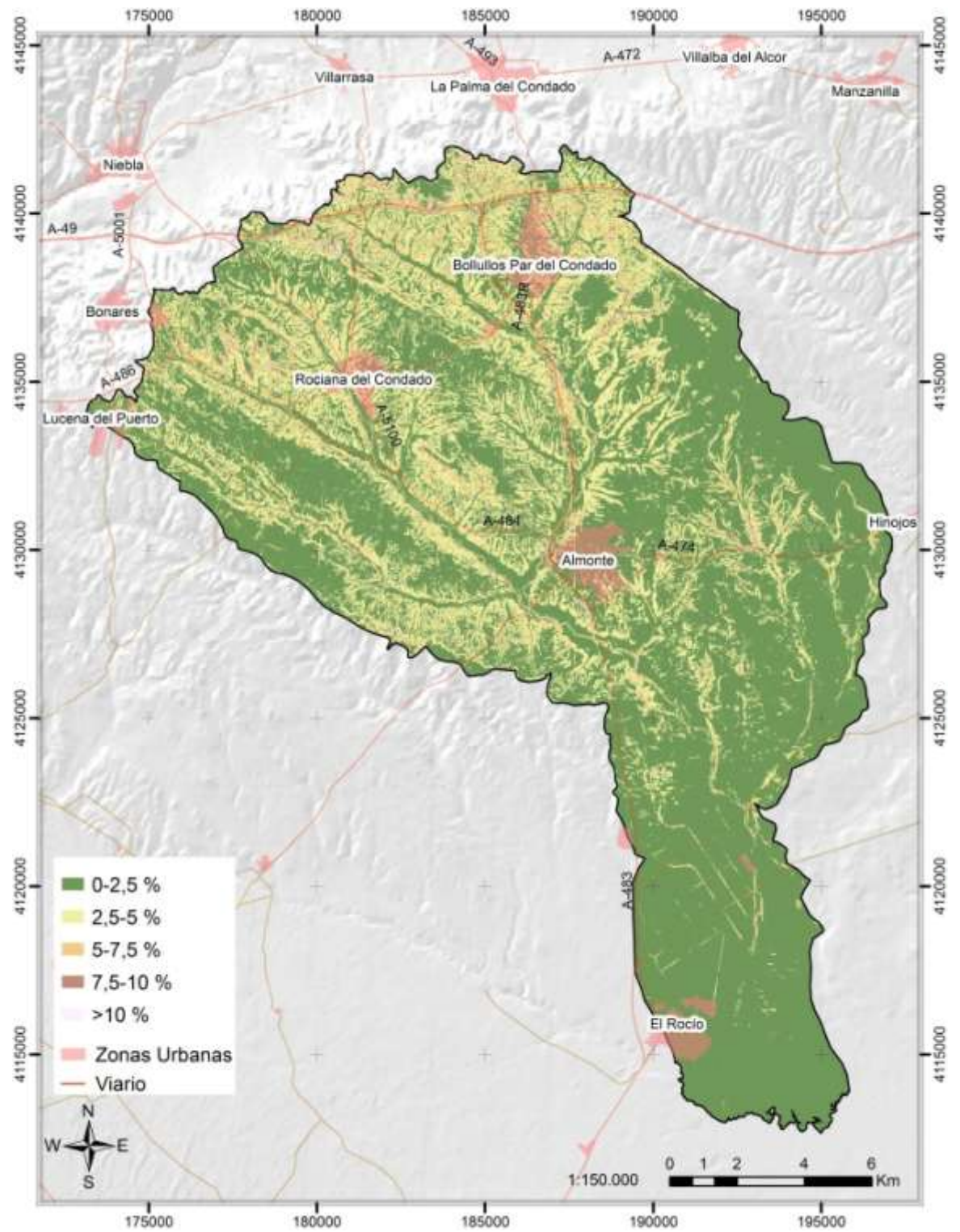


Figura 41. Clinometría de la cuenca del arroyo de El Partido.

## **b) Marco litológico**

A un nivel de mayor detalle, se pueden reconocer en la cuenca de El Partido hasta un total de 8 unidades litológicas diferenciadas. En la figura 42 se muestra la distribución de las diferentes litologías extractadas del *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 Serie Magna*. De estas 8 unidades, cuatro son las que cubren la mayor parte de la cuenca (en torno al 85% de la misma), mientras que las otras cuatro se reparten el resto de la superficie (15% del total). Las cuatro unidades que ocupan mayor extensión en la cuenca son, en primer lugar, limos arenosos calcáreos del Mioceno superior que comprenden prácticamente todo el sector central y norte/noreste de la misma. Constituyen la base de la columna estratigráfica de la cuenca situándose en contacto concordante con las margas azules, en tránsito neto o gradual con éstas. Presentan una estratificación masiva que, en ocasiones, se hace más neta pudiéndose reconocer bancos de potencia métrica (IGME, 1976). En segundo término, aparecen unas arenas y areniscas del Pliocuatnario, también denominadas arenas basales, que ocupan el sector centro-este de la cuenca. En contacto discordante y erosivo sobre los limos arenosos, presentan tonalidades amarillentas en la base que a techo se vuelven más rojizas, incorporando, en ocasiones, elementos gruesos (gravas). Encima de estas arenas y areniscas se reconocen unas arenas eólicas de cronología general Cuaternario, localizadas fundamentalmente en el sector noroeste de la cuenca (tramo medio-alto de la subcuenca del Moriana). Se trata de unas arenas blancas que conforman un manto eólico arrasado de potencia variable entre 0,30 a 3,00 m, que recubre de forma discordante las unidades infrayacentes anteriormente mencionadas. Finalmente, en el tramo bajo de la cuenca, se identifica, igualmente, una unidad de arenas de cronología general Cuaternario, asociada al ámbito de desembocadura de los arroyos Caño Marín, de El Partido y de la Cañada Mayor.

El resto de materiales cartografiados presentan afloramientos reducidos y cronología Cuaternario. Se trata de pequeños retazos de glaciares que se reconocen en posición culminante en algunos puntos del sector central; depósitos de estuario (limos y turba) en el extremo final de la cuenca en el contacto con la marisma; y, finalmente, depósitos aluviales con un dispositivo estrecho y alargado ajustado al tramo final del cauce del arroyo de El Partido.



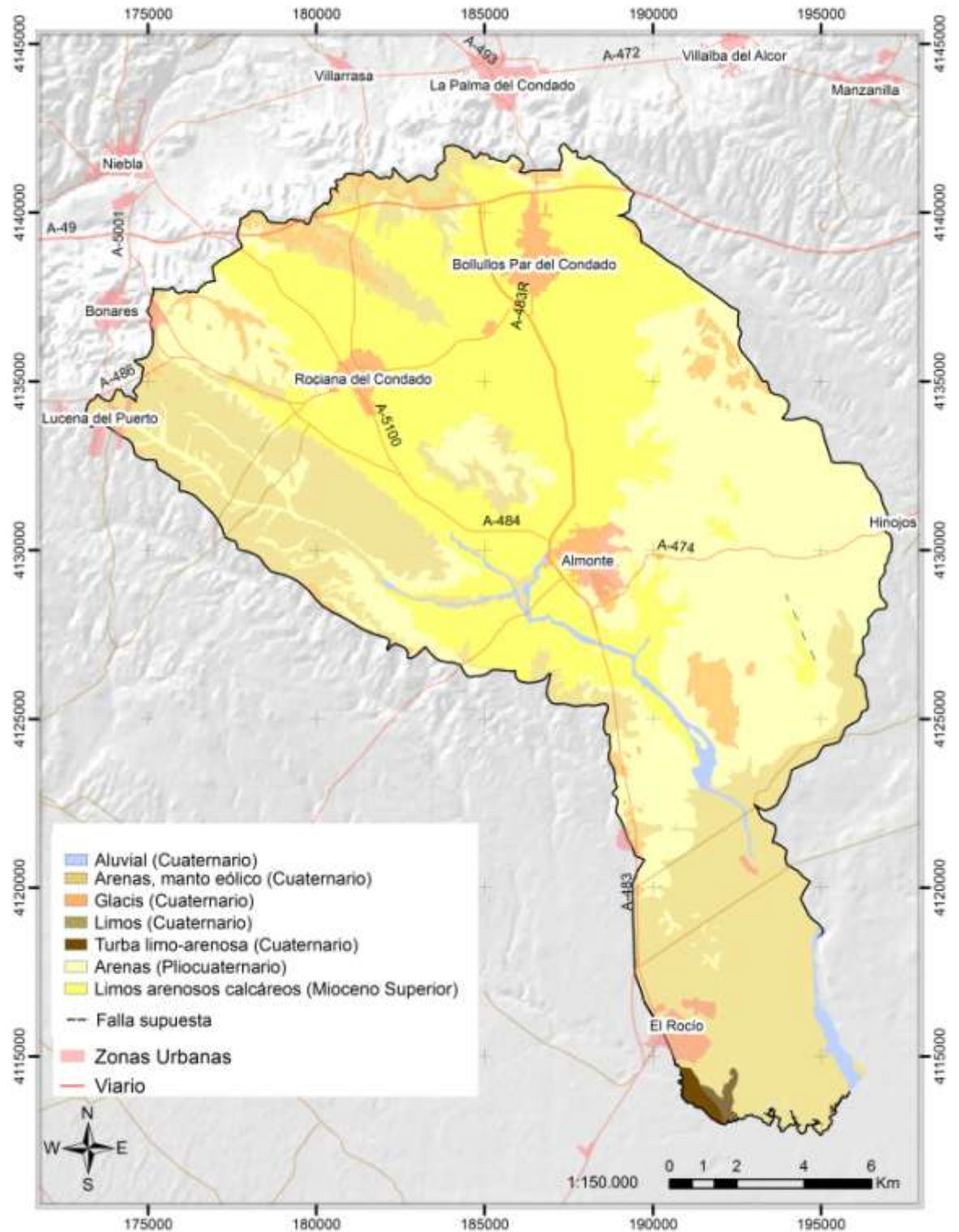


Figura 42. Contexto litológico de la cuenca del arroyo de El Partido.

### **c) Rasgos edáficos**

La distribución de los diferentes suelos existente en la cuenca del arroyo de El Partido se ha obtenido a partir del *Mapa Geomorfoedáfico de Andalucía* (CMA, 2005) a escala 1:400.000, habiéndose reconocido 4 categorías con una distribución variable (Fig. 43). Las que cubren un mayor porcentaje de la cuenca son las correspondientes a los tipos alfisol y entisol, mientras que los tipos histosol y aridisol ocupan una escasa extensión, reconociéndose su presencia exclusivamente en el extremo sur de la misma. Como se ha indicado el tipo de suelo con mayor representación corresponde al alfisol reconociéndose a lo largo de toda la cuenca, salvo en el tramo alto del Moriana y algunos otros enclaves de las cuencas del Calancha y Colmenar, en los que la influencia litológica limita el desarrollo de este tipo de suelos. El rasgo más característico de este tipo edáfico es la presencia de un horizonte argílico desarrollado a partir del lavado de los horizontes superiores.

El segundo de los tipos con mayor desarrollo es el entisol, o suelo poco evolucionado propio de ambientes aluviales con escasa o nula evolución, que presenta una distribución variable a lo largo de la cuenca, reconociéndose las mayores extensiones en la parte alta del arroyo Moriana, en la cuenca baja del arroyo de la Parilla y en el tramo final de la cuenca de El Partido. El tipo histosol se reconoce en el extremo suroeste de la cuenca, constituyendo una pequeña porción correspondiente al tipo de suelo característico de ambientes de marisma. Por su parte, el tipo aridisol se localiza en el extremo sureste de la cuenca ocupando una pequeña área en las proximidades de la desembocadura del arroyo de la Cañada Mayor.

#### **5.3.4. Análisis hidrográfico**

Actualmente la red de drenaje del arroyo de El Partido presenta una morfometría dendrítica (Morisawa, 1985) que se caracteriza por una ausencia de controles estructurales y por desarrollarse sobre materiales de resistencia uniforme o de granulometrías finas. Este hecho determina que la red presente un dispositivo muy tupido y ramificado (López Vergara, 1978), especialmente en los sectores de cabecera de la misma.

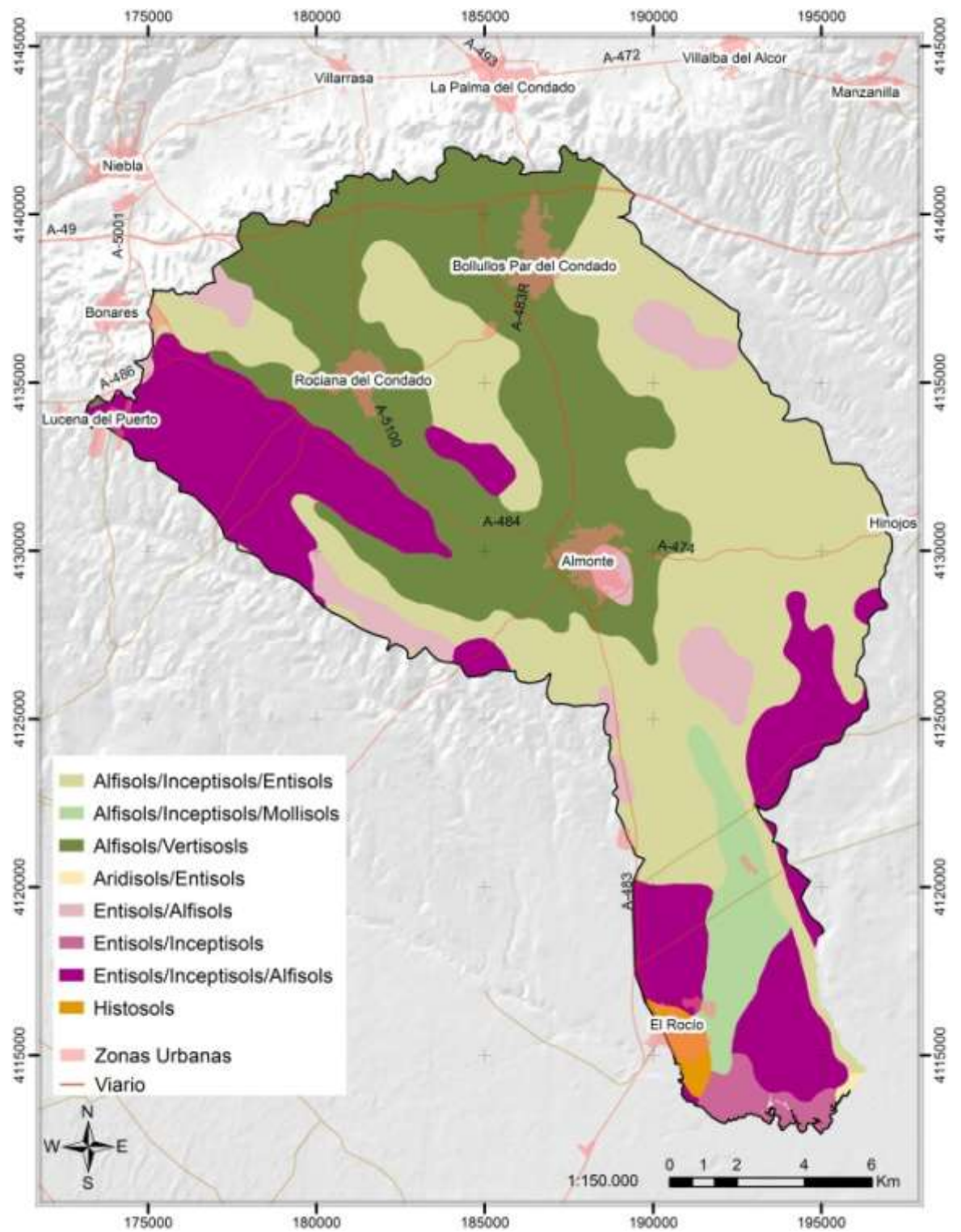


Figura 43. Mapa edáfico de la cuenca del arroyo de El Partido.

La caracterización del sistema de drenaje y su cuenca asociada se ha llevado a cabo a partir de la información proporcionada por la cartografía topográfica disponible, así como de la fotointerpretación de diferentes fotografías aéreas y ortofotos digitales, habiéndose confeccionado distintas cartografía para diferentes momentos del periodo de estudio analizado. Su consulta se puede hacer en el apartado 7 de este trabajo (*vid. infra*).

La evolución de la red de drenaje y la cuenca hidrográfica del arroyo de El Partido ha estado condicionada por numerosos cambios durante los últimos sesenta años que han afectado, por una parte, a los límites de la cuenca fundamentalmente por la incorporación de cuencas aledañas como ha sido el caso de la incorporación de la cuenca del arroyo de La Parrilla en el entorno de la Casa de La Matanza, o, aguas abajo, la incorporación del arroyo Caño Marín en el tramo bajo. Por otra parte, la red de drenaje ha estado sometida, igualmente, a numerosas transformaciones físicas (canalizaciones, rectificaciones, etc.) que han modificado sustancialmente su funcionamiento natural, o, por otro lado, ha experimentado significativas alteraciones como consecuencia de las transformaciones de usos del suelo que se han desarrollado en amplios sectores de la cuenca (cultivos bajo plásticos, explotaciones de áridos, tratamientos forestales...).

### **5.3. EL ARROYO DE EL PARTIDO EN EL CONTEXTO DE LAS CUENCAS MENORES DEL SECTOR NW DE LA MARISMA**

El Sector NW de las marismas del Parque Nacional de Doñana funciona desde el punto de vista hídrico gracias a los aportes procedentes de una serie de pequeñas cuencas hidrográficas (conocidas como las *cuencas menores*), y el río Guadiamar. La mayor parte de la superficie de estas cuencas se encuentra fuera de los límites del Espacio Natural Doñana, por lo que han experimentado notables transformaciones en los usos del suelo en las últimas décadas, siendo objeto de todo tipo de presiones de carácter agrícola, forestal, extractiva... (Lama *et al.*, 2014). Esta presión antrópica intensa y continuada ha terminado por desestabilizar el sistema hidrogeomorfológico de la mayor parte de ellas, generando importantes desajustes en los caudales aportados a la marisma, tanto en cantidad, como en calidad, así como, en el

volumen de sedimentos que llegan a la misma (Borja *et al.*, 2009; Mintegui *et al.*, 2003).

En la figura 44 se muestra la ubicación de las cuencas menores del sector NW de la marisma del Parque Nacional de Doñana, las cuales abarcan una superficie de más de 1.000 km<sup>2</sup> localizados entre las provincias de Huelva y Sevilla, y entre las que se encuentra la del arroyo de El Partido. Enumeradas de W a E son catorce: la Rocina, Laguna de los Reyes, Caño Marín, El Partido, Cañada Mayor, de la Anguila, de la Lengua, Portachuelo, de la Concha, Sajón, Regajo del Almirante, de los Huesos, Partido de la Resina y la Cigüeña.

El análisis comparado de la cartografía de las cuencas vertientes a Doñana correspondiente a los años 1956 y 2014 muestra una serie de ámbitos en los que las transformaciones del sistema fluvial han sido evidentes (Figs. 44 y 45) tal como se ha puesto en evidencia por el autor en trabajos anteriores (Lama *et al.*, 2014). A nivel de cuencas, las principales transformaciones detectadas han sido la eliminación de la cuenca del arroyo Caño Marín y su “captura” o incorporación a la del arroyo de El Partido; la eliminación de la cuenca del arroyo de los Huesos así como, igualmente, su “captura” o incorporación a la del Regajo del Almirante; el desvío de la desembocadura del arroyo de la Cigüeña desde la marisma al cauce del río Guadiamar, con la consiguiente ampliación de la superficie de la cuenca de drenaje; y, finalmente, la pérdida de parte de la superficie del sector suroeste de la cuenca del arroyo de La Rocina a favor de la del caño Soto Chico.

En lo que atañe a la red de drenaje también se han identificado cambios significativos, destacando, principalmente, las pérdidas de cauces en el arroyo de la Rocina, especialmente en el tramo de cabecera vinculado a la progresión de los cultivos bajo plástico de fresa, así como en la margen derecha, en el tramo medio-bajo, en el sector próximo a las cañadas procedentes del *Bajo Manto Eólico* (Borja, F. y Díaz del Olmo, 1996) en este caso debido la puesta en cultivo de la finca Los Mimbrales; directamente relacionado con estas transformaciones, en el arroyo de La Rocina, destaca la rectificación y canalización en un sistema reticulado de acequias artificiales de los caños Soto Chico y Soto Grande; el desvío y canalización del tramo final del arroyo de la Cigüeña, que aumenta la longitud de su cauce en 3,6

km por la construcción de un muro artificial que reconduce sus aguas hacia el río Guadiamar; la rectificación y canalización del arroyo de la Laguna de Los Reyes; la canalización del arroyo Caño Marín y del tramo final del arroyo de El Partido; y, por último, la canalización, igualmente, del tramo final del Regajo del Almirante, al que se le unen las aguas del arroyo de los Huesos conformando a partir de ese momento un solo sistema.

Todas estas actuaciones ponen de manifiesto el alto grado de desnaturalización al que han sido sometidas durante décadas este conjunto de cuencas. En los últimos años, el nivel de presión antrópica que soporta este sistema, lejos de cesar, va en aumento, siendo aún más evidentes los desajustes y afecciones cuando el análisis se realiza sobre el terreno, según hemos constatado en las comprobaciones que hemos realizado mediante el análisis comparado de las cartografías de usos del suelo disponibles para la zona (Fernández *et al.*, 2007). La mayoría de estas transformaciones antrópicas se concretan, especialmente, en la eliminación de la cubierta vegetal originaria para la puesta en valor agrícola de amplias superficies; en la sustitución de cultivos tradicionales por otros que se acompañan de técnicas de laboreo más agresivas (*agroplásticos*); en los desmontes relacionados con la implantación y cultivo de eucalipto, o en la explotación de canteras, entre otras.

#### **5.4. ÁMBITO DE ESTUDIO**

El área de estudio en la que se centra nuestro análisis comprende principalmente los tramos medio y alto de la cuenca del arroyo de El Partido, desde la casa de La Matanza hasta la cabecera de la cuenca. El tramo bajo, a pesar de haberse incorporado en todos los análisis que se han llevado a cabo, se ha trabajado de una forma menos detallada.

La información hidrogeomorfológica de detalle levantada a partir de los trabajos de campo se ha concentrado en diversos puntos a lo largo de la red fluvial. Así se han analizado un total de 63 localizaciones cuya posición se recoge en la figura 46.

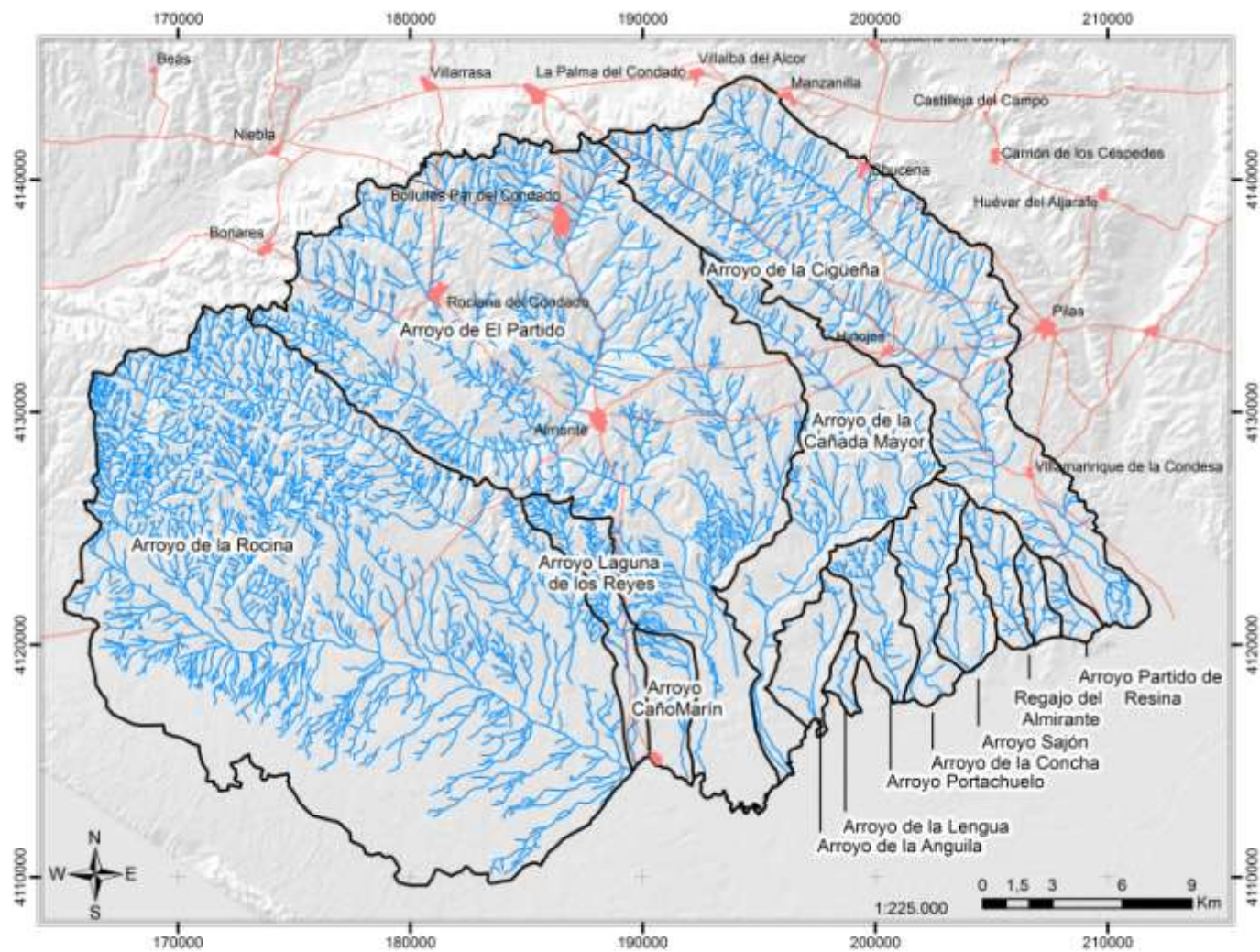


Figura 44. Cuencas menores de Doñana en el año 1956.

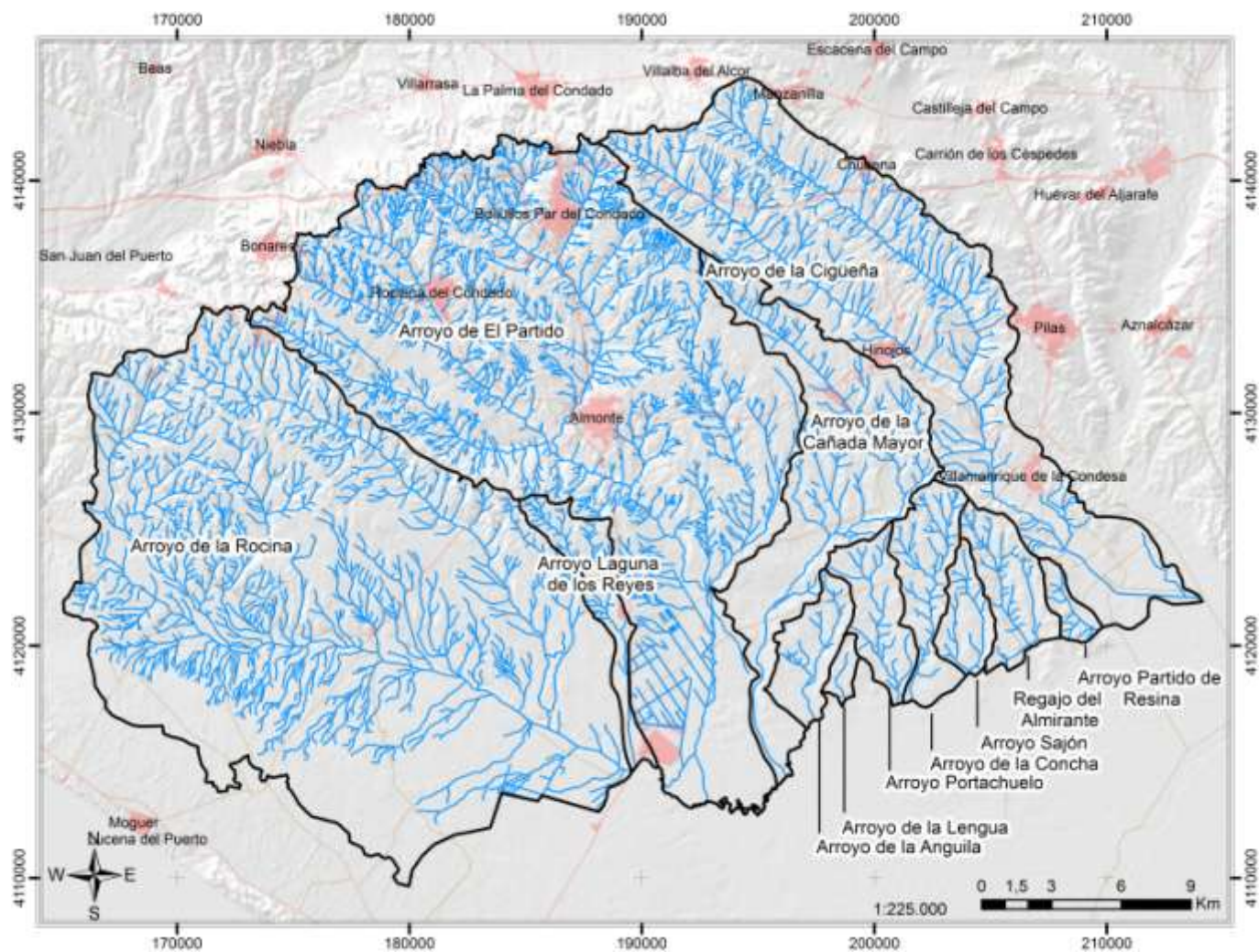


Figura 45. Cuencas menores de Doñana en el año 2014.



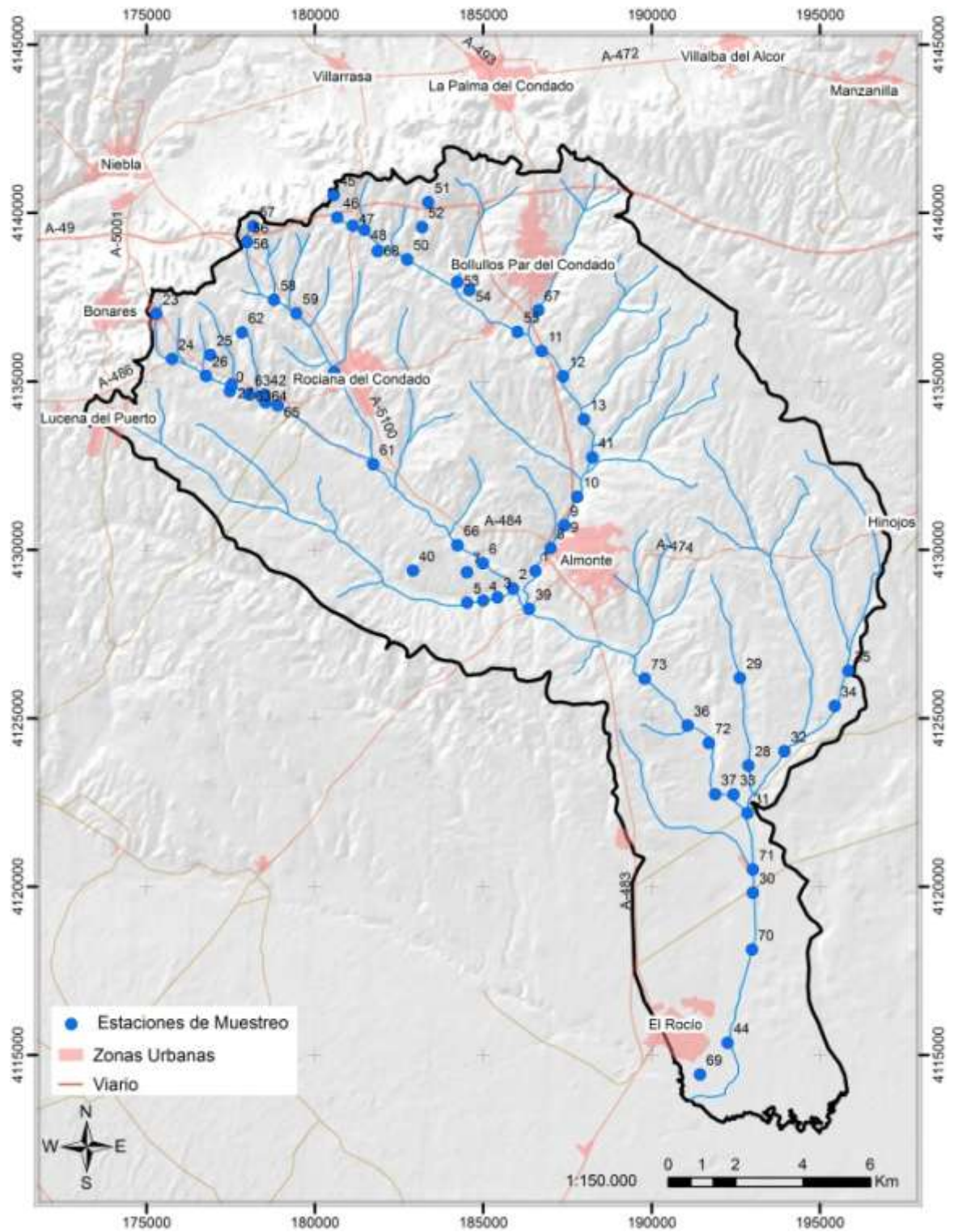


Figura 46. Localización de las estaciones de muestreo y levantamiento de información hidrogeomorfológica a nivel de detalle.



**II PARTE**

**RESULTADOS: LA  
COMPONENTE ANTRÓPICA E  
HIDROGEOMORFOLÓGICA  
DEL SISTEMA FLUVIAL**





## 6. Elementos de presión antrópica



## 6. ELEMENTOS DE PRESIÓN ANTRÓPICA

La cuenca del arroyo de El Partido está sometida, como el resto de las cuencas menores vertientes a Doñana, a una creciente presión antrópica que desde las últimas décadas es la responsable de importantes transformaciones en este territorio (Lama *et al.*, 2014), ya de por sí históricamente tensionado. Los impactos antrópicos son reconocibles a distintas escalas, tanto a nivel general, es decir, a escala de cuenca, como a nivel de detalle, o sea, de red y de tramo fluvial (sistema canal-orilla-llanura aluvial) (Borja *et al.*, 2009).

El análisis a nivel de cuenca detecta en cuestión de décadas una serie de modificaciones sustanciales, especialmente en lo que concierne a la sustitución de los usos tradicionales del territorio por otros de carácter intensivo, lo cual ha incidido muy negativamente en sectores y mecanismos básicos para el funcionamiento hidrogeomorfológico del sistema fluvial. Los impactos a nivel de detalle se comentarán en el apartado de dinámica hidrogeomorfológica (*vid. infra*, apartado 7.2.). No obstante, antes de entrar en su análisis es necesario valorar sistemáticamente el variado y complejo elenco de impactos detectados a nivel de detalle (red fluvial).

### 6.1. ANÁLISIS DE LAS TRANSFORMACIONES DE LOS USOS DEL SUELO

#### 6.1.1. Los usos del suelo de la cuenca de El Partido en el contexto de las cuencas menores

Las transformaciones en los usos del suelo registradas en la cuenca del arroyo de El Partido siguen la misma tendencia que el resto de las cuencas menores vertientes a Doñana. En la tabla 5 se muestra la superficie ocupada en el conjunto de las cuencas menores por cada uno de los usos analizados en el presente trabajo, en este caso, solo para los años 1956 y 2016, en la que se evidencia la misma tendencia general experimentada de modo particular en la cuenca del arroyo de El Partido, como más tarde se verá.

<i>Usos del suelo</i>	<i>Superficie (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Superficie (km<sup>2</sup>)</i>
	<i>Año 1956</i>	<i>Año 2016</i>
Formaciones naturales y plantaciones naturalizadas	543,69	419,46
Cultivos herbáceos y leñosos en secano	179,05	140,64
Olivar	74,89	109,99
Viñedos	59,54	31,85
Eucaliptos	58,78	46,16
Pastizal	58,15	74,39
Láminas de agua	33,16	29,75
Zonas construidas	3,91	17,64
Otros cultivos	3,12	-
Suelo sin vegetación	2,19	14,03
Cultivos herbáceos y leñosos en regadío	1,00	52,85
Canteras	-	4,58
Cítricos	-	18,71
Cultivos bajo plástico	-	52,83

Tabla 5. Superficie ocupada (km<sup>2</sup>) por los diferentes usos del suelo en los años 1956 y 2016.

Los usos del suelo más relevantes que ocupan la mayor parte del territorio del conjunto de las cuencas menores vertientes a Doñana son las formaciones naturales y plantaciones naturalizadas, los cultivos herbáceos y leñosos en secano y el olivar, ya que entre las tres categorías ocupan más de tres cuartas partes del territorio (78,8%) en el año 1956, y algo menos en el año 2016 (69,8%). De estos tres usos, el más relevante es el de formaciones naturales y plantaciones naturalizadas que, a pesar de haber reducido su extensión en 124 km<sup>2</sup> en los 60 años analizados, sigue siendo la cobertura más extensa. Como se observa en la tabla 5, no todas las coberturas aparecen en los dos años revisados ya que los uso de canteras, cítricos y cultivos bajo plástico solo están presentes en el año 2016, y tendrán, en el caso del arroyo de El Partido, una especial relevancia.

Los usos que han tenido un mayor retroceso en cuanto a la extensión ocupada han sido, principalmente, los cultivos tradicionales como la vid, que ha pasado de 59 km<sup>2</sup> a 31 km<sup>2</sup>, y los cultivos herbáceos y leñosos en secano, que han descendido su ocupación en casi 40 km<sup>2</sup>. Por el contrario, los usos que han tenido un mayor crecimiento en estos años han sido el olivar, que ha



pasado de 75 km<sup>2</sup> a una extensión de 110 km<sup>2</sup>, las zonas construidas que se han incrementado en 14 km<sup>2</sup>, los cultivos leñosos y herbáceos en regadío que han pasado de 1 km<sup>2</sup> a 53 km<sup>2</sup>, y, finalmente, los cultivos bajo plásticos que de no existir en el año 1956 han pasado a ocupar casi 53 km<sup>2</sup>. Además de las mencionadas, se reconocen una serie de coberturas y usos del suelo que no presentan una extensión relevante como son los cítricos, el pastizal y la categoría otros cultivos.

Desde el punto de vista espacial se aprecia su distribución en los mapas recogidos en las figuras 47 y 48 correspondientes a los años 1956 y 2016 respectivamente. En el primero se advierte un predominio absoluto de las formaciones naturales y plantaciones naturalizadas sobre cualquier otro tipo de uso. Su mayor extensión se produce en la cuenca del arroyo de La Rocina, de La Cañada Mayor y de las cuencas menores situadas entre esta última y la del arroyo de La Cigüeña. Intercalados en estas formaciones aparecen reforestaciones de eucaliptos. Las dos cuencas donde hay una mayor diversidad de usos son las del arroyo de El Partido y la de La Cigüeña. En la primera hay representada una importante extensión de viñedo y cultivos de secano, mientras que, en la segunda, además del secano, tiene una especial relevancia el olivar. El resto de coberturas para 1956 son, espacialmente, poco relevantes (Fig. 49).

En el segundo, que representa los usos del suelo en el año 2016, a pesar de que continúa el predominio de las formaciones naturales y plantaciones naturalizadas como consecuencia de la creación entre ambas fechas de numerosas figuras de protección ambiental que comprenden parte del área analizada, se observa una mayor diversificación de usos tanto en número, como en superficie ocupada. En cualquier caso, sigue siendo la categoría formaciones naturales y plantaciones naturalizadas las que presentan una mayor extensión, especialmente en el arroyo de la Rocina y la Cañada Mayor.

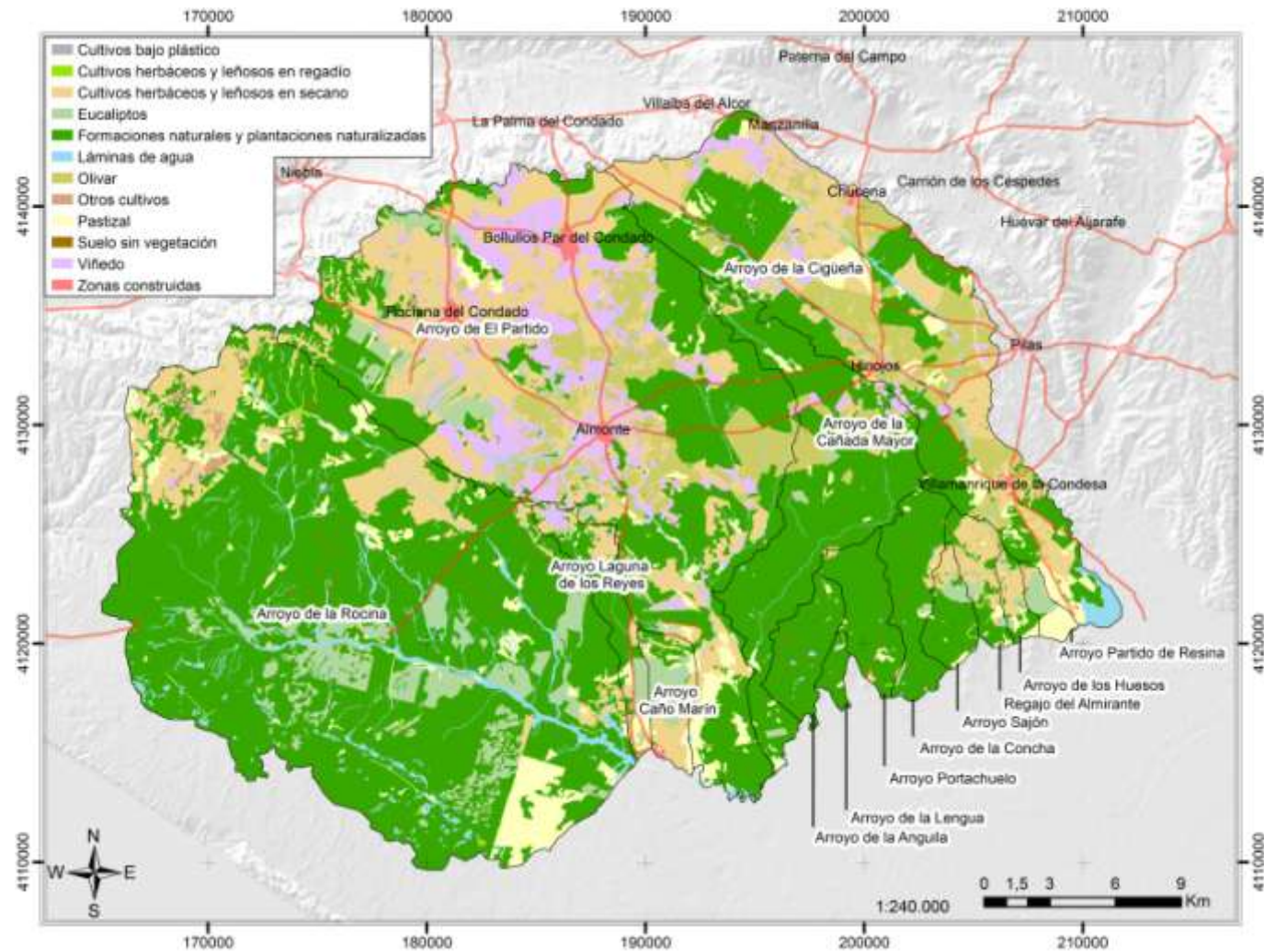


Figura 47. Distribución espacial de los usos del suelo en las cuencas menores vertientes a Doñana en el año 1956.

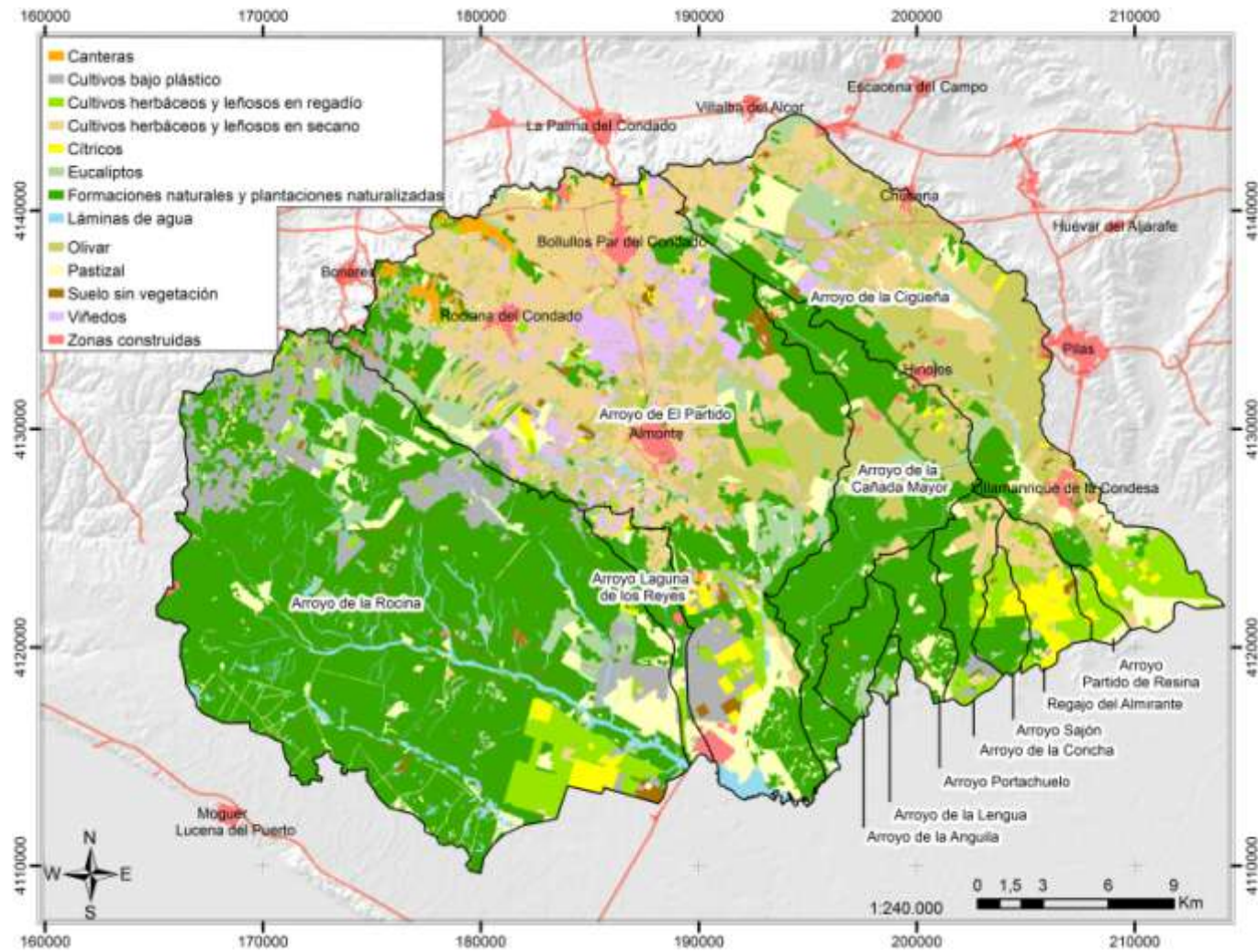


Figura 48. Distribución espacial de los usos del suelo en las cuencas menores vertientes a Doñana en el año 2016.

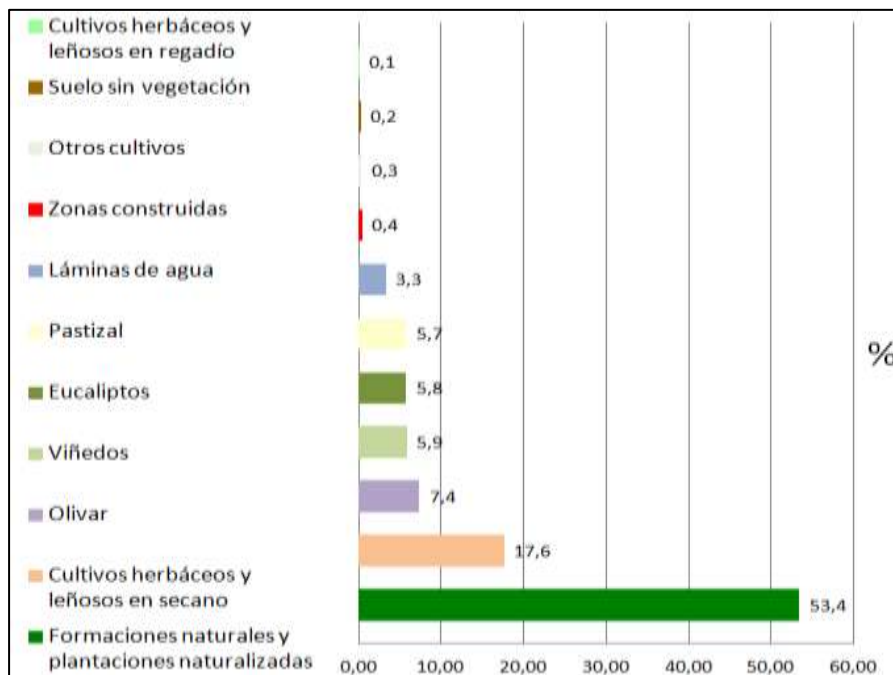


Figura 49. Distribución de los usos del suelo en porcentajes (%) en el conjunto de las cuencas menores vertientes a Doñana en el año 1956.

En 2016 aparecen los cultivos herbáceos y leñosos de regadío en las zonas aledañas a la marisma, como ocurre en el tramo bajo del arroyo de La Rocina, Cigüeña, El Partido y Regajo del Almirante, cosa que no ocurría en 1956. Se observa también para este momento, la disminución del viñedo en la cuenca de El Partido y el incremento del olivar, principalmente en la cuenca del arroyo de La Cigüeña (Fig. 50). Gran relevancia tiene, por último, la aparición de los cultivos bajo plásticos en la cabecera del arroyo de El Partido, los cuales a pesar de ocupar espacialmente unas porciones de territorio relativamente pequeñas, son el detonante de muchos de los procesos de desestabilización de estos sistemas hidrogeomorfológicos.

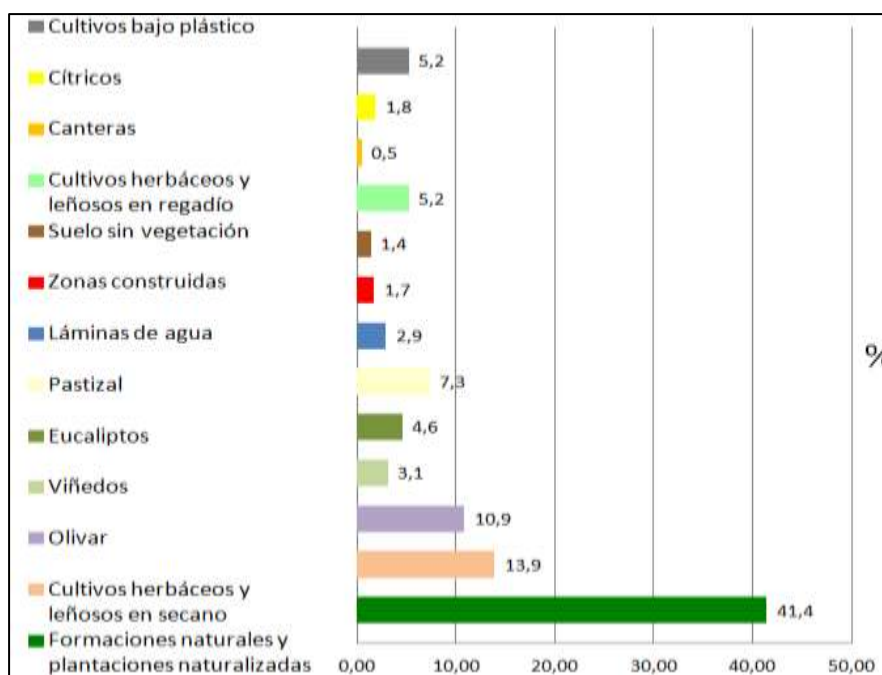


Figura 50. Distribución de los usos del suelo en porcentajes (%) en el conjunto de las cuencas menores vertientes a Doñana en el año 2016.

### 6.1.2. Caracterización general de los usos del suelo en la cuenca de El Partido

La caracterización de la evolución de los usos del suelo en las últimas décadas en la cuenca del arroyo de El Partido y la identificación y cuantificación de aquellas prácticas que tienen una incidencia negativa sobre la dinámica hidromorfológica constituye el objetivo principal de este apartado. Para ello se ha llevado a cabo un análisis de la evolución de la ocupación antrópica en la cuenca habiéndose revisado los cambios de usos del suelo que han tenido lugar desde el año 1956 hasta 2016. A partir de las fuentes cartográficas y fotográficas disponibles se ha procedido a la elaboración de una cartografía de usos del suelo para los años 1956, 1976, 1991, 1999, 2003, 2007 y 2016. Para ello se han utilizado las siguientes fuentes de información (vid. supra, cap. 4):

- Para el año 1956 (Fig. 51), debido a la falta de cartografía temática, se ha procedido mediante la fotointerpretación de fotografías aéreas en

blanco y negro a escala 1:33.000, correspondiente al *vuelo americano*. Como tarea previa se ha analizado la cartografía temática de usos del suelo ya existente de momentos posteriores a esta fecha, al tiempo que se ha comparado con las fotos aéreas correspondientes a los mismos años, con el fin de reducir, en la medida de lo posible, los errores correspondientes a la subjetividad en la fotointerpretación.

- En la elaboración de la cartografía de usos del suelo para el año 1976 (Fig. 52) se ha usado como fuente de información básica la *Cartografía de Cultivos y Aprovechamientos* a escala 1:50.000, publicada por el Ministerio de Agricultura (hojas 982, 983, 1000, 1001, 1018). En este caso, se ha realizado una unificación de los usos ajustándolos a la leyenda general establecida para todos los años analizados.
- En la realización de las cartografías de usos del suelo para los años 1991 y 1999 (Figs. 53 y 54), se ha utilizado la información correspondiente a la cartografía y estadísticas publicadas por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía: *Usos y Coberturas del Suelo de Andalucía* a escala 1:5.000 (Moreira *et al.*, 2004). Al igual que en el caso anterior no se ha procedido al levantamiento de información de base, sino que se ha llevado a cabo una homogenización de usos ajustándolos a la leyenda general.
- Para las cartografías de usos del suelo de los años 2003 y 2007 (Figs. 55 y 56), se ha usado la información territorial correspondiente a la cartografía y estadísticas publicadas por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía: *Mapa de usos del suelo y coberturas vegetales de Andalucía* a escala 1:10.000 (Consejería de Medio Ambiente, 2009). Como anteriormente, no se ha procedido a la generación de información de base, sino que se ha realizado la homogenización de usos.
- Por último, en la cartografía realizada para el año 2016 (Fig. 57), se ha usado de base la información territorial del proyecto SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España) del año 2013 a escala 1:10.000 (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2013). Esta información se actualizó para 2016 con

numerosas salidas de campo y el uso de ortofotos. A igual que las cartografías anteriores, se rectificó la información base para adaptarla a la leyenda.

La diversa procedencia de los mapas confeccionados ha requerido un importante esfuerzo de homogenización de las leyendas de cara a facilitar su posterior análisis y tratamiento, previa a la implementación en el SIG.

En este sentido se han establecido diez categorías comunes presentes en la leyenda general de los distintos años:

- cultivos herbáceos/leñosos en regadío
- cultivos herbáceos/leñosos en secano
- eucaliptal
- formaciones naturales y plantaciones naturalizadas
- láminas de agua
- olivar
- pastizal
- suelo sin vegetación
- viñedo
- zonas construidas

Y cuatro categorías que varían según los diferentes años analizados:

- canteras
- cítricos
- cultivos bajo plástico
- otros cultivos

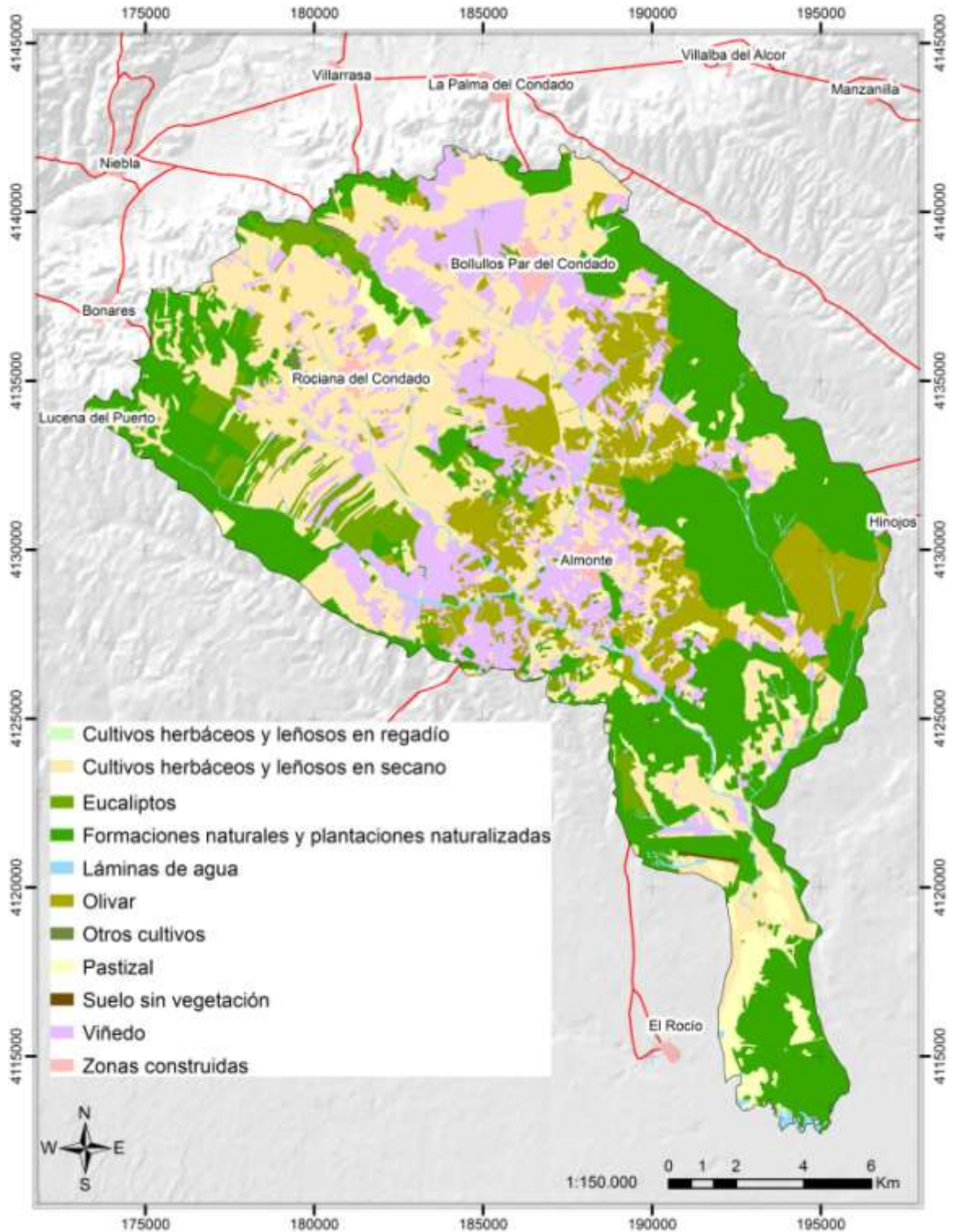


Figura 51. Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 1956.



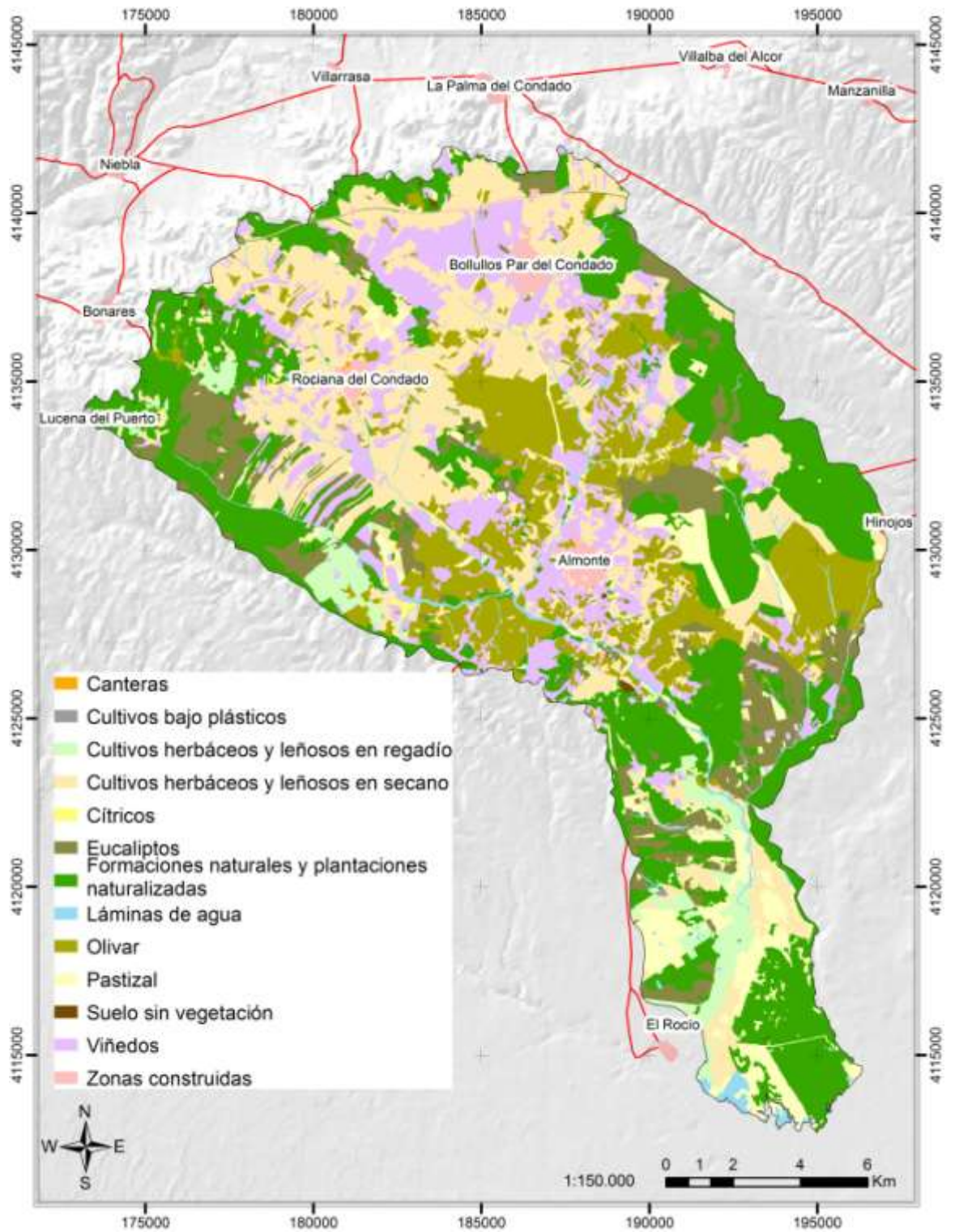


Figura 52. Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 1976.

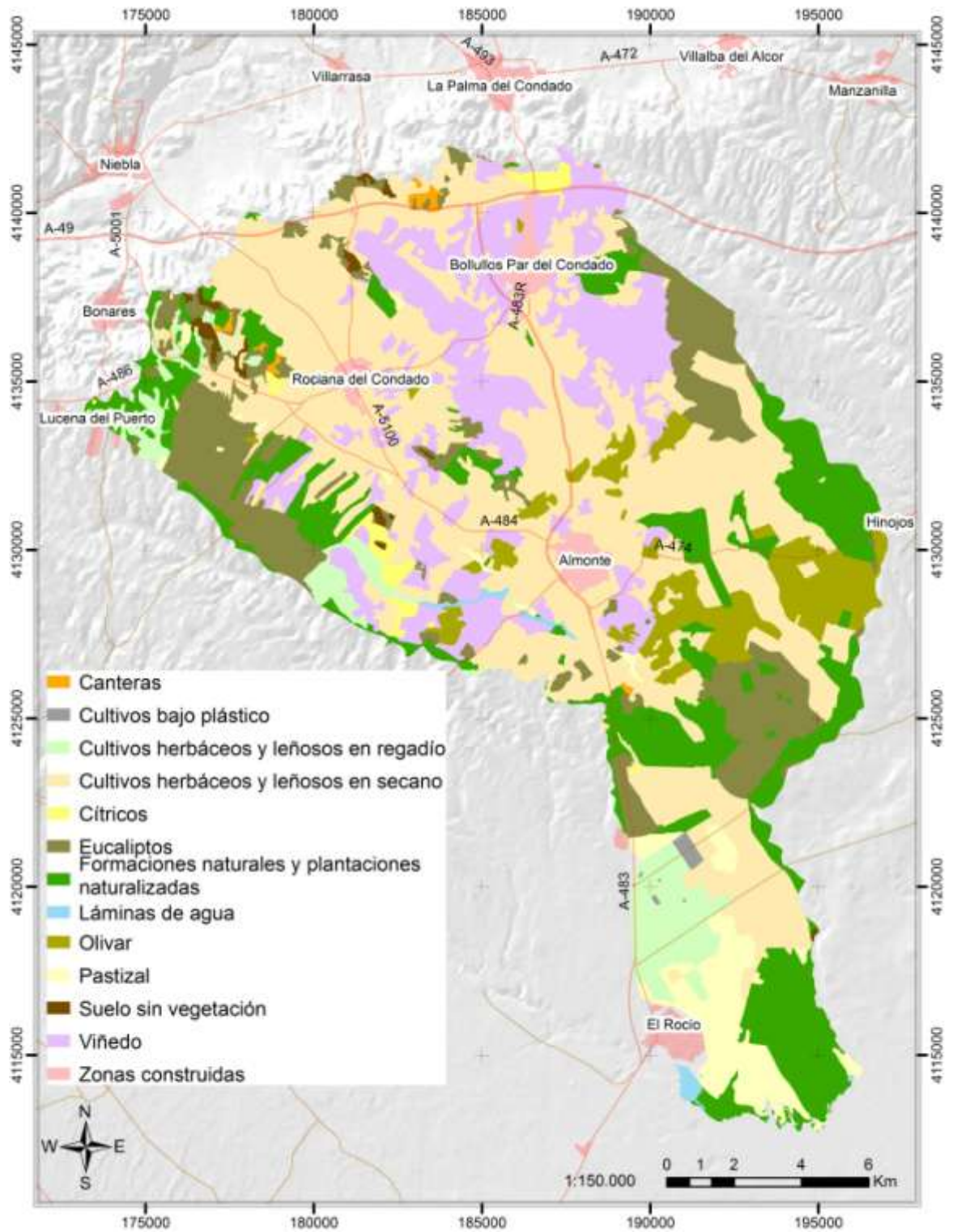


Figura 53. Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 1991.

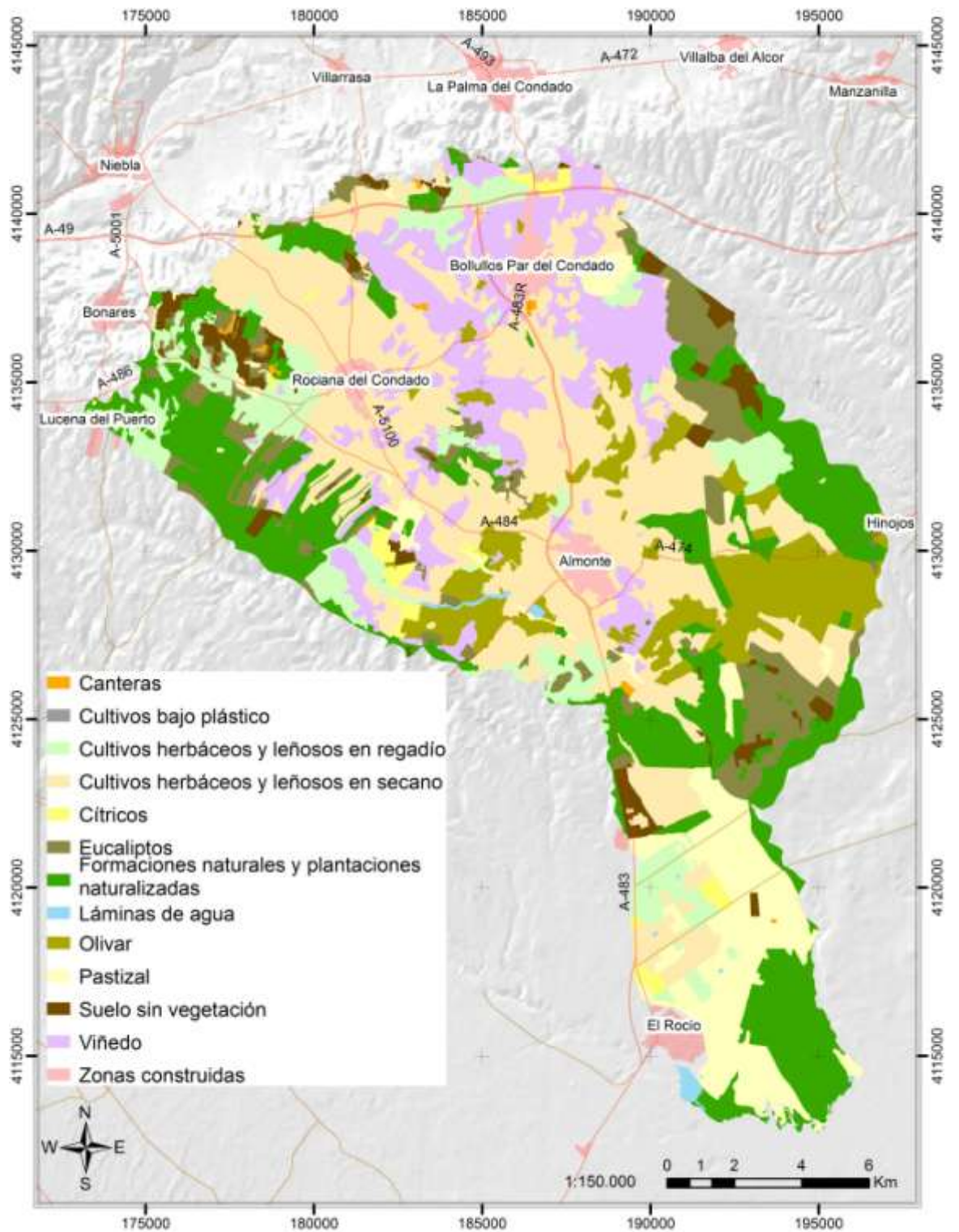


Figura 54. Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 1999.

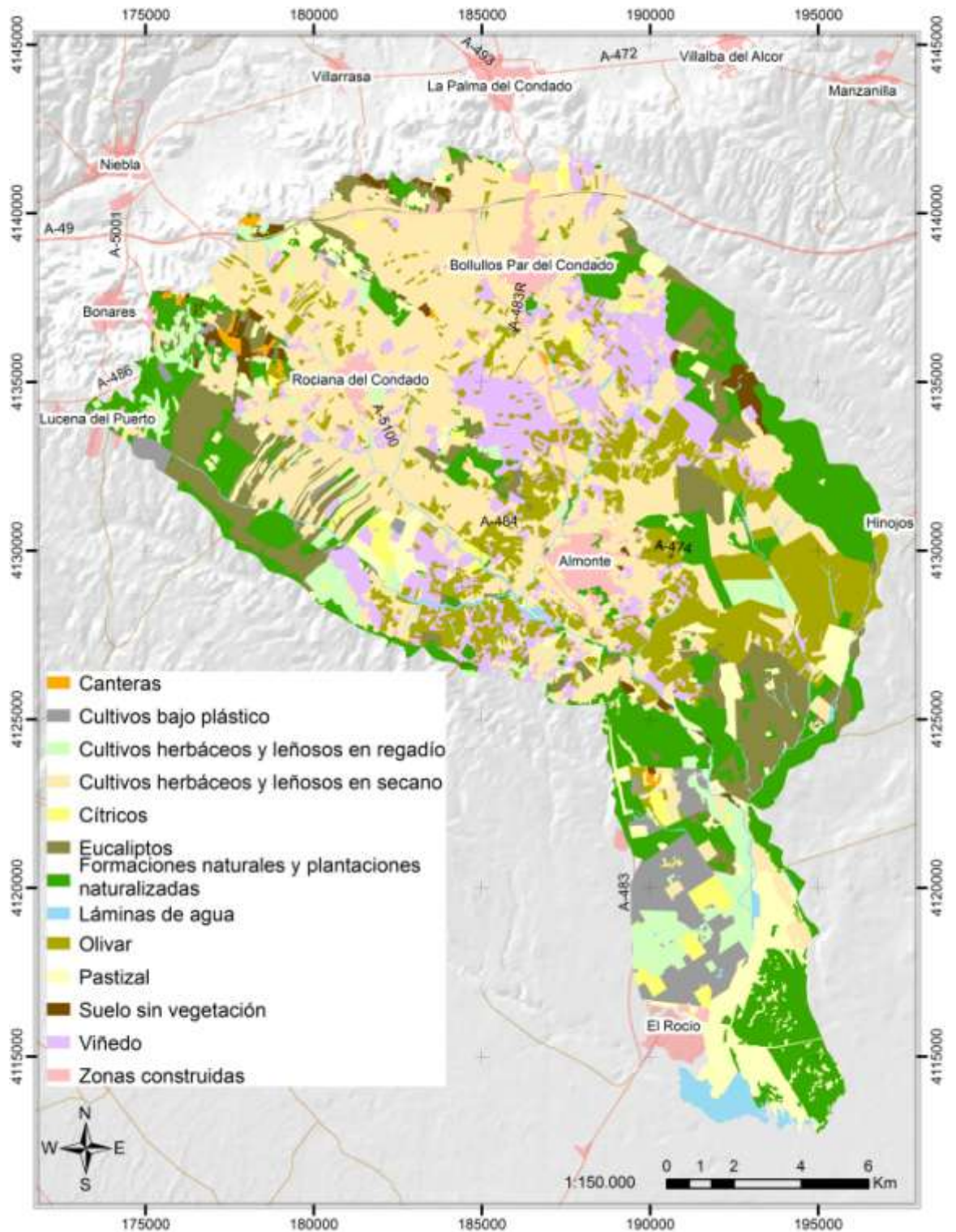


Figura 55. Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 2003.

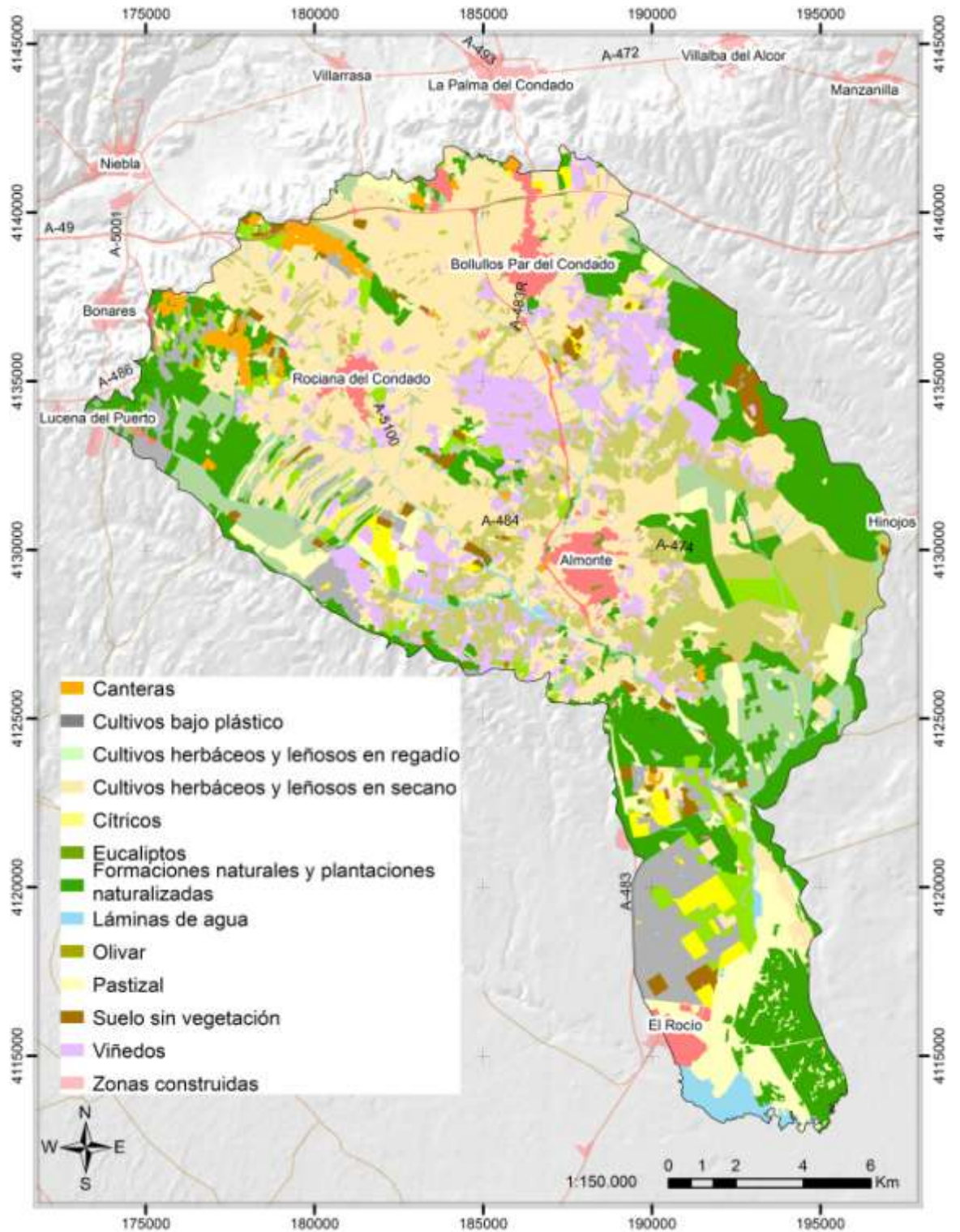


Figura 56. Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 2007.

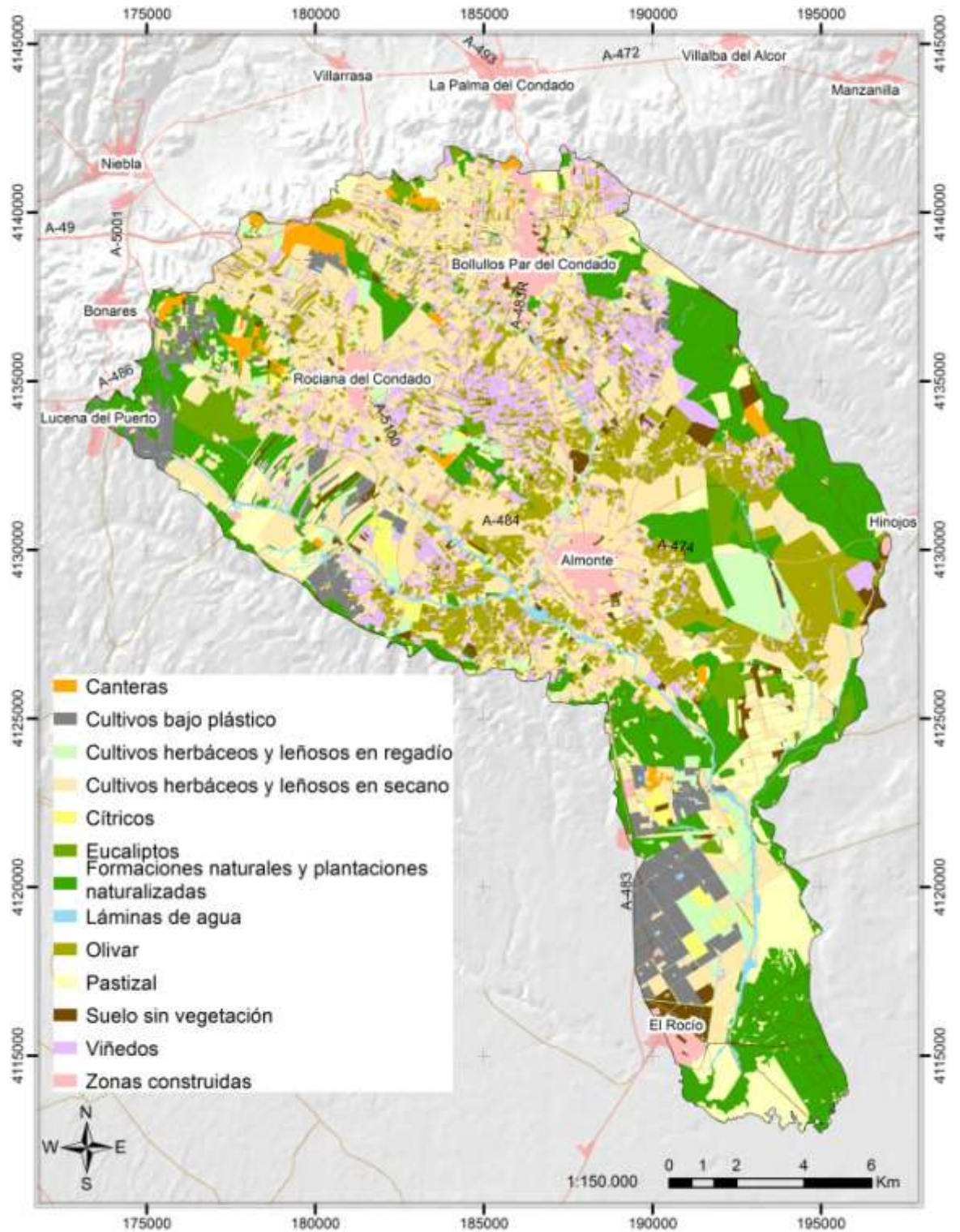


Figura 57. Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 2016.

### 6.1.3. Evolución de la cobertura de usos del suelo en la cuenca de El Partido

Los cambios en los usos del suelo de la cuenca del arroyo de El Partido (1956-2016) son especialmente llamativos a partir de la década de los setenta, momento en el que se asiste a la desaparición de gran parte de los referentes del paisaje tradicional de la comarca del Condado (Huelva) (Fernández et al., 2007; Fernández, 2010).

En el mapa de usos de suelo correspondiente a la primera de las fechas analizadas, 1956, se puede observar que los usos predominantes son las formaciones naturales y plantaciones naturalizadas, los cultivos herbáceos y leñosos en secano así como los cultivos tradicionales de viñedo, ocupando respectivamente un 32,1%, 29,0% y un 16,2% de la extensión total de la cuenca (Fig. 58). Aunque la distribución espacial de estos tres usos ocupa más de las tres cuartas partes del territorio considerado, también destacan en la zona central del mismo los cultivos de olivar, así como, en las zonas externas, las plantaciones de eucaliptos, abarcando un 11,8% y un 4,4% respectivamente.

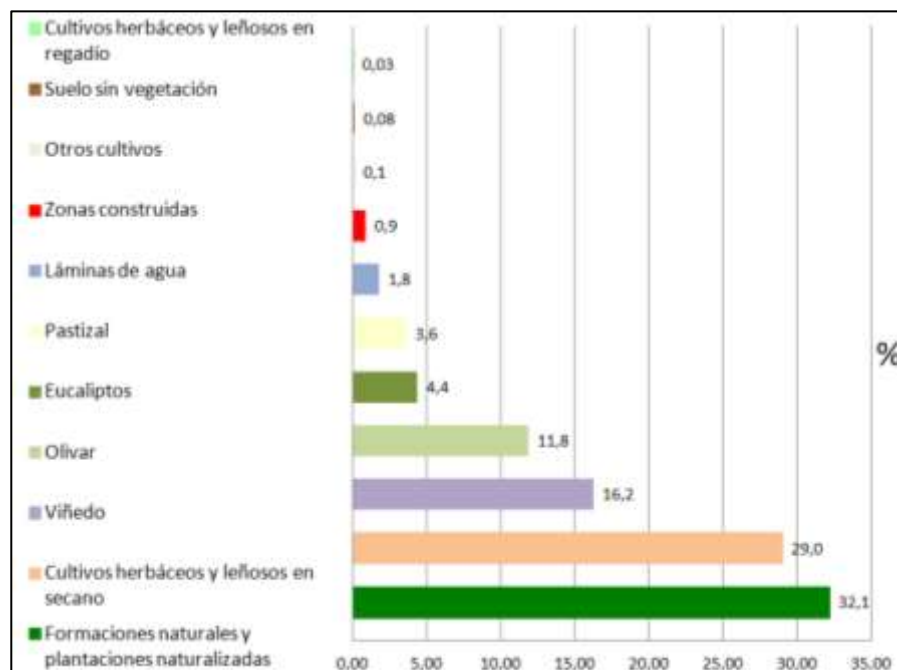


Figura 58. Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 1956 respecto del total de la cuenca.

En el año 1976 se mantienen en general los usos predominantes identificados para la fecha anterior, aunque se puede observar un ligero descenso en las tres categorías señaladas hasta sumar el 63% del territorio (Fig. 59). Este declive se contrarresta con la subida de los cultivos de olivar hasta el 15,1%, de eucalipto derivado de las políticas forestales de la época hasta el 8,9% y de la aparición del regadío con el 3,4% de los usos totales.

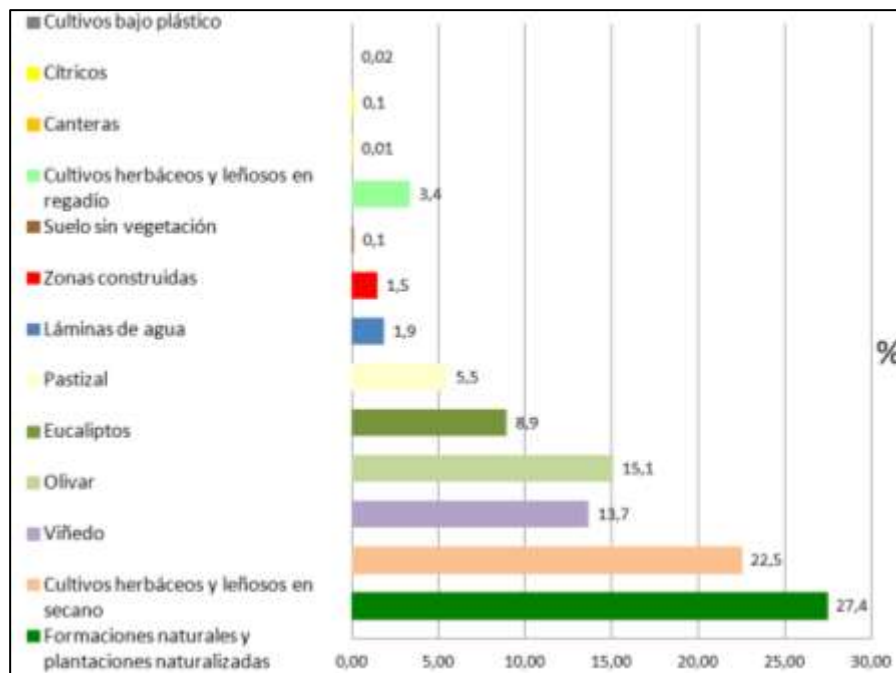


Figura 59. Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 1976 respecto del total de la cuenca.

En el año 1991 se aprecia un cambio importante en la distribución de los usos del suelo respecto a los años anteriores, observándose en este momento un proceso de fusión de los cultivos tradicionales con otros nuevos basados en transformaciones del medio o en el desarrollo de nuevas tecnologías. Ya en este año se pueden detectar los efectos del Plan Almonte-Marismas en la zona suroeste de la cuenca, produciéndose, como hecho más significativo, un descenso llamativo de las formaciones naturales y plantaciones naturalizadas que pasan de ser el uso de mayor extensión al segundo, ocupando para esta fecha tan sólo el 15,6% de la cuenca, un 12% menos que en 1976 (Fig. 60). Por el contrario, los cultivos de secano incrementan su extensión un 17% hasta llegar al 39,7% del total, convirtiéndose en el uso más



extenso. Estas dos coberturas se extienden por el 55% de la superficie total de la cuenca. Destaca también el descenso del área ocupada por el olivar, ya que pierde el 10% si lo comparamos con la gráfica anterior. Es en esta fecha cuando aparecen por primera vez en el territorio las canteras o áreas mineras y de extracción de áridos que, aunque porcentualmente ocupan una mínima parte de la cuenca, la relevancia que van a tener en el funcionamiento del sistema fluvial va a ser muy alta.

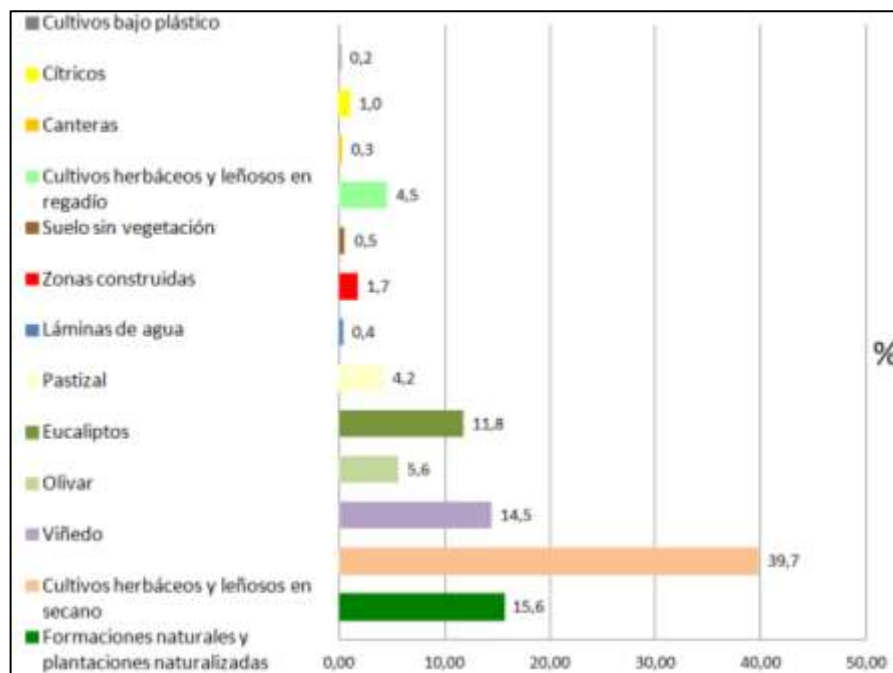


Figura 60. Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 1991 respecto del total de la cuenca.

Por su parte, en el año 1999 disminuyen los cultivos de secano un 10% (Fig. 61) y se recuperan levemente (4%) las formaciones naturales o plantaciones naturalizadas como consecuencia de las políticas forestales que se llevaron a cabo. Ambas formaciones vuelven a ocupar menos del 50% de la superficie total de la cuenca. Los viñedos, como en fechas anteriores, continúan su leve, pero continuo descenso ocupando tan solo ya el 12,8%. El resto de usos se mantienen más o menos estables salvo los cultivos de regadío, que doblan su extensión (8,3%) y las zonas construidas que continúan su lenta pero continua expansión.

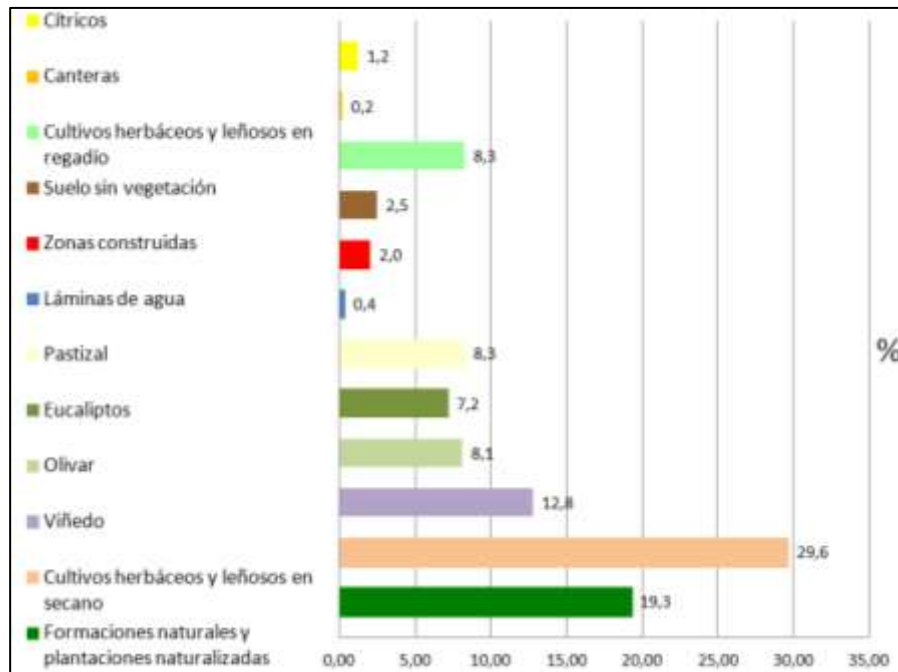


Figura 61. Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 1999 respecto del total de la cuenca.

Para 2003 las formaciones naturalizadas y los cultivos de secano se mantienen prácticamente con la misma extensión que la fecha anterior y ocupan casi el 48% de la superficie total (Fig. 62). El viñedo sigue su paulatino descenso en cuanto a extensión y, por el contrario, el olivar se recupera e incrementa un 4% su superficie hasta llegar al 12%. A pesar de este leve aumento, la tendencia general de los cultivos tradicionales mediterráneos han tenido un descenso en el territorio a favor de otros, supuestamente más productivos. Además, la aparición de nuevos usos como son los cultivos bajo plásticos (3,3%), el continuo incremento de las canteras y los cítricos, así como el incremento de las tierras en regadío hacen que este conjunto se extiendan por casi el 10% de la superficie de la cuenca. También cabe destacar la subida de las zonas construidas que en este periodo de tiempo de 4 años ha crecido el 0,7%. El resto de usos apenas han tenido cambios relevantes en esta etapa.

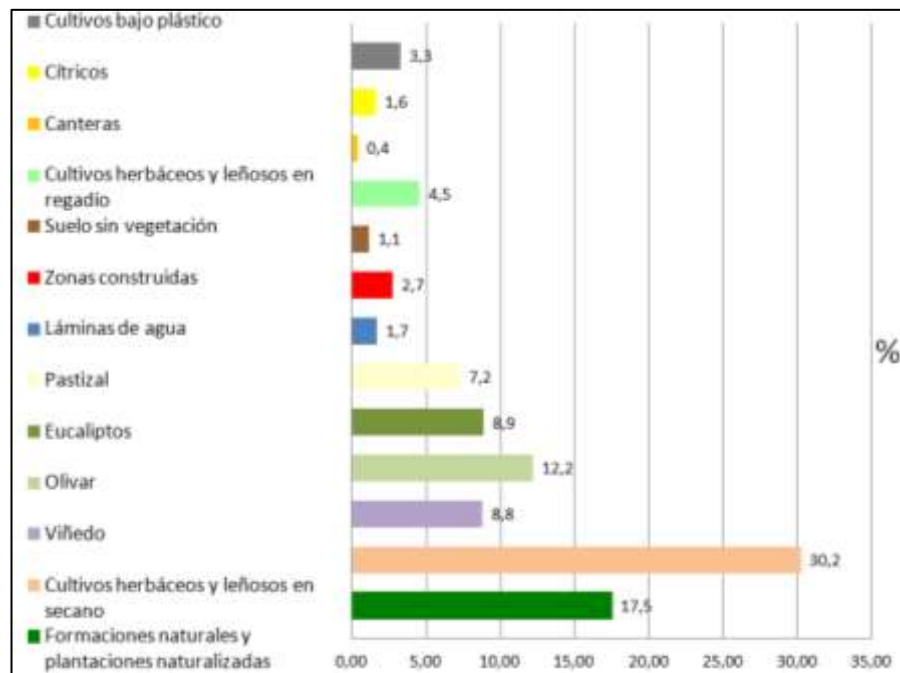


Figura 62. Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 2003 respecto del total de la cuenca.

En el año 2007 la superficie de cultivos tradicionales permanece prácticamente constante, representando un porcentaje similar al año anterior (8,7% de viñedo y 12,1% de olivar) ocupando ambos el 20% del territorio, mientras que la dedicada a eucaliptal se reduce drásticamente hasta ocupar un 6,04% de la superficie total de la cuenca. Sin embargo, los cambios más significativos observados para este momento son los que atañen a las categorías de zonas construidas, que tiene un incremento del 1% hasta llegar al 3,5%, los cultivos bajo plástico que alcanza ya el 4,8% y las canteras con el 1,5%, un 1,1% más que 4 años antes (Fig. 63). Llama la atención el uso denominado suelo sin vegetación, que suele ubicarse en las inmediaciones de las canteras o de los cultivos bajo plástico, lo que puede interpretarse una fase preparatoria de dichas zonas para dedicarse a este tipo de usos. El resto de categorías se mantienen con porcentajes muy similares y sin variaciones significativas.

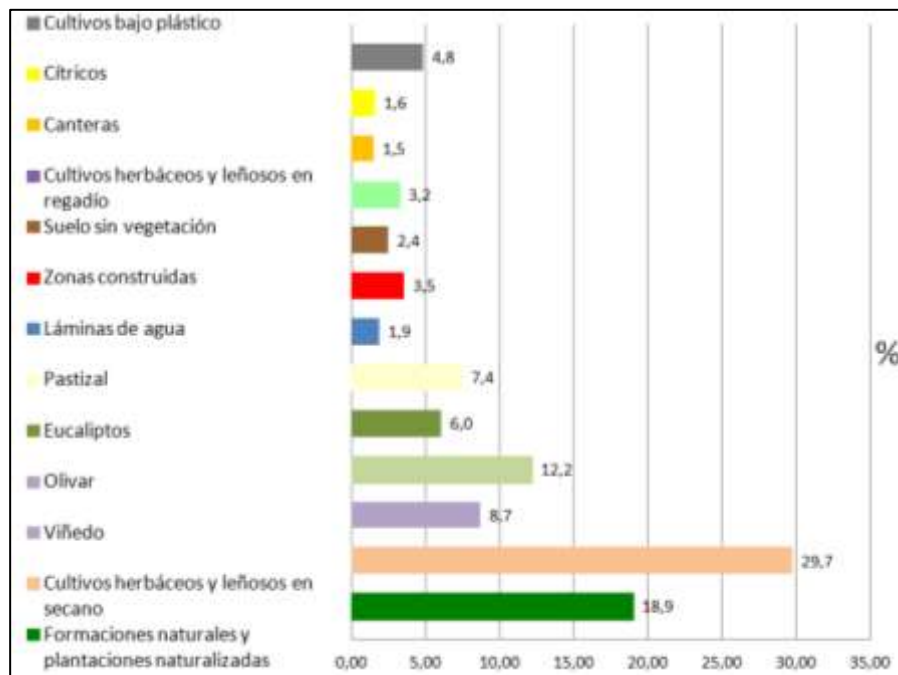


Figura 63. Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 2007 respecto del total de la cuenca.

Finalmente, en el año 2016 llama la atención lo parcelado que está el territorio como consecuencia de la utilización de una fuente de información diferente (SIOSE), que presenta un mayor detalle y precisión en la delimitación de los usos y coberturas. A pesar de ello, la información disponible confirma la ralentización de los cambios de usos que ya se pusieron de manifiesto en el año 2007, manteniendo una tendencia muy parecida a la existente en ese momento (Borja *et al.*, 2015). Así pues, las pequeñas modificaciones detectadas se manifiestan en un crecimiento del área destinada a cultivos bajo plásticos (5,1%), un incremento de algo menos de un punto (4,2%) para las zonas construidas, así como, el aumento de suelo sin vegetación que pasa de ser del 2,4% al 3,7% (Fig. 64). El resto de usos se mantiene estable, con cambios mínimos en su configuración.

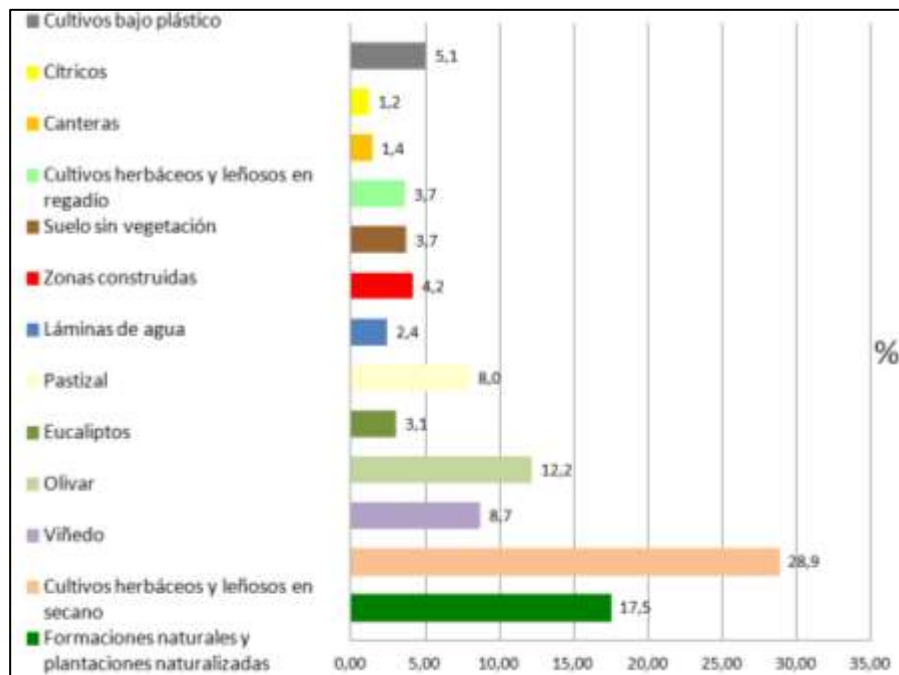


Figura 64. Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 2016 respecto del total de la cuenca.

En resumen, a la vista de la figura 65, la evolución de los usos del suelo en la cuenca del arroyo de El Partido se caracteriza básicamente por:

- La eliminación de la cubierta vegetal originaria y de plantaciones naturalizadas para su puesta en valor agrícola.
- La sustitución de cultivos tradicionales (principalmente vid) por otros que se acompañan de técnicas de laboreo más agresivas.
- La apertura y explotación de canteras de áridos y plantaciones bajo plásticos.
- La tendencia a una mayor diversificación de los usos a costa de las formaciones naturales, la vid y el eucaliptal.
- El estancamiento apreciable desde el año 2003 en cuanto a la velocidad de los cambios de usos detectados.

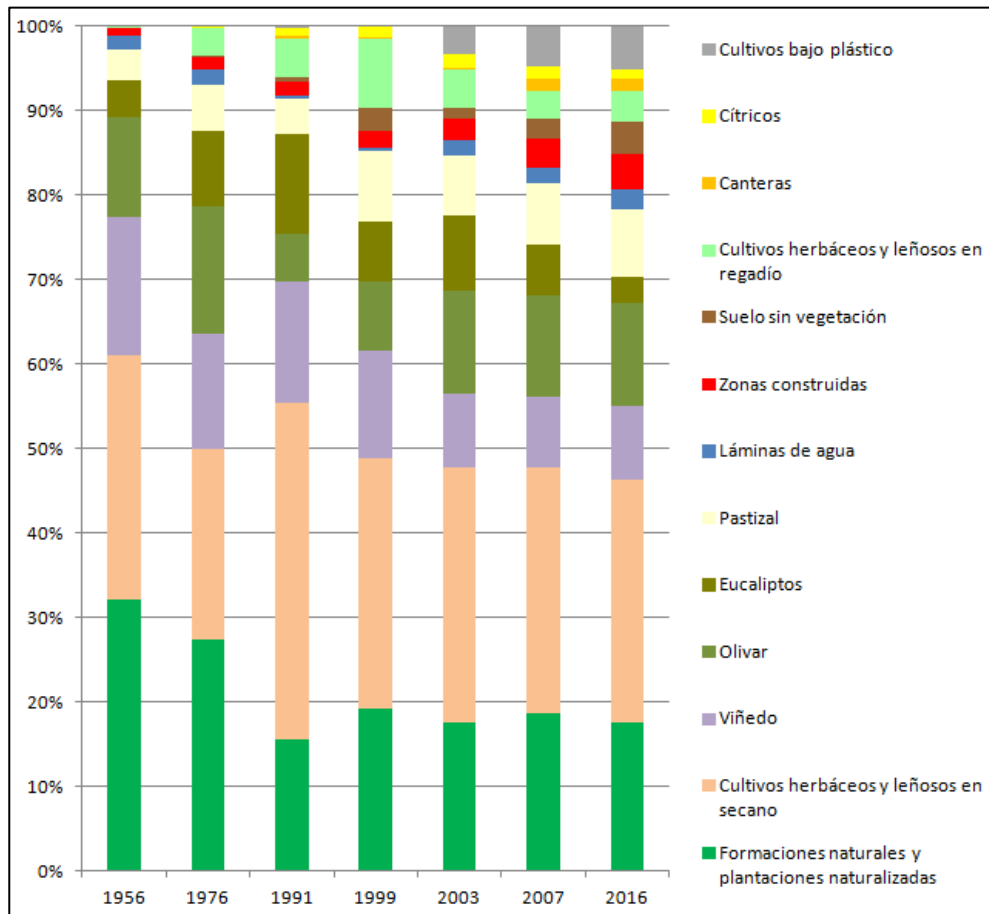


Figura 65. Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para los años 1956, 1976, 1991, 1999, 2003, 2007 y 2016 en la cuenca de El Partido.

## 6.2. CARACTERIZACIÓN DE IMPACTOS EN LA RED FLUVIAL

Como se ha comentado al comienzo del capítulo, los impactos antrópicos en la red fluvial del arroyo a nivel de detalle se analizarán con mayor profusión en el apartado siguiente. A pesar de ello, se incluye continuación un catálogo de los numerosos y variados impactos, tanto en la intensidad de la afección, como en la modalidad, reconocidos en la red fluvial del arroyo de El Partido. En efecto, prácticamente no hay un tramo de dicha red en el que no se reconozca algún tipo de afección directa o indirecta. Los más destacados y habituales tienen que ver con la implantación de infraestructuras, las actuaciones directas sobre el canal o la llanura aluvial, la ocupación física de

los canales fluviales, la extracción de caudales directamente o del acuífero o con la contaminación:

Relacionadas con la implantación de infraestructuras:

- Puentes
- Vados
- Carreteras
- Caminos
- Estación de aforos
- Pasos de agua (obras de fábrica)
- Obras de protección (escolleras, gaviones...)
- Muros de defensa
- Represas artificiales

Relacionadas con actuaciones directas sobre el canal:

- Eliminación del bosque galería
- Remodelaciones artificiales del canal
- Canalizaciones (canales de hormigón, gaviones, muros de tierra...)
- Construcción de diques artificiales
- Limpiezas agresivas de fondo
- Extracción de áridos del canal
- Modificación de taludes
- Impermeabilización orillas

Relacionadas con actuaciones sobre la llanura aluvial:

- Motas artificiales
- Leveés artificiales
- Rellenos de la llanura aluvial
- Desconexión del cauce y la llanura aluvial
- Desconexión de cauces secundarios con el principal
- Apertura de zacayones
- Vertederos

Relacionadas con la ocupación física de la red fluvial:

- Construcciones en los núcleos de población hasta el borde
- Construcciones ilegales

- Cercados y corralitos
- Pastoreo de ganado

Relacionadas con el caudal y el acuífero:

- Extracciones directas del cauce
- Pozos
- Zacayones

Relacionadas con procesos de contaminación:

- Vertido sólidos de escombros, basuras, alpechín, etc.
- Vertidos líquidos (aguas residuales)
- Contaminación por uso de fitosanitarios en la agricultura





## 7. Caracterización de la dinámica hidromorfológica



## 7. CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA

### 7.1. CARACTERIZACIÓN MORFOHIDROGRÁFICA

El análisis morfohidrográfico del arroyo de El Partido atañe tanto al diseño y los límites de las cuencas hidrográficas, como a la evolución de las redes de drenaje, incluyendo el estudio morfométrico de la expresión fluvial.

#### 7.1.1. Cambios en la cuenca hidrográfica y la red de drenaje

Los límites y las formas de la cuenca hidrográfica y la red de drenaje del arroyo de El Partido han variado sensiblemente durante las últimas décadas. Su caracterización requiere un análisis pormenorizado.

##### a) Caracterización de la cuenca hidrográfica

La delimitación de la cuenca hidrográfica del arroyo de El Partido constituye la primera tarea que se ha abordado desde el punto de vista del análisis hidrográfico. Dicha delimitación se ha establecido, para el año 2014, a partir del *Mapa Topográfico de Andalucía* a escala 1:10.000, del *Modelo Digital de Elevaciones* de la Junta de Andalucía del año 2008-2009, de 10 m de resolución, y de la ortofotografía del año 2013 a escala 1:10.000 publicada asimismo por la Junta de Andalucía. Como parte integrante de la cuenca del arroyo de El Partido se ha incluido la del contiguo arroyo de La Parrilla, a pesar de que actualmente, y como resultado de las actuaciones ya ejecutadas de la Actuación Nº 3 del Proyecto Doñana 2005 (*vid. supra* apartado 1.2.1.), aparecen separadas físicamente, al haber recuperado éste el tramo de canal que corría en paralelo a El Partido hasta su conexión con el arroyo de La Cañada, cerca ya de la marisma. Sin embargo, desde el año 1981 hasta finales de 2006, ambos arroyos habían estado conectados aguas arriba del puente del paraje conocido como la Casa de La Matanza, a través de un canal artificial.

Del mismo modo, en el tramo final de la cuenca se han incluido en el área de estudio tanto la cuenca del arroyo Caño Marín, como el tramo final de la desembocadura del arroyo de La Cañada Mayor, aguas abajo de su conexión con el arroyo de La Parrilla. El complejo sistema de relaciones establecido en este tramo final (aguas abajo de la Casa de La Matanza), condicionado por la existencia de varios colectores muy próximos entre sí y con una dinámica hidrogeomorfológica compleja (cono aluvial), aconsejan abordar su análisis de una forma integral.

Además de para el año 2014, también se han determinado los límites de las cuencas hidrográficas correspondientes a los años 1956, 1975, 1991/93 y 2006. El análisis comparado de la cuenca en dichas etapas pone de manifiesto la existencia de algunas diferencias en cuanto al diseño y extensión de la misma. Tales diferencias son más acusadas en su tramo final en el que, tanto el crecimiento del cono aluvial en las últimas décadas, como las numerosas actuaciones de “corrección hidrológica” llevadas a cabo, han generado importantes modificaciones en su trazado. También se reconocen algunas pequeñas modificaciones de la divisoria de aguas, localizadas en el sector norte de la cuenca, directamente relacionadas con la existencia de canteras que, como resultado de su actividad, generan una importante remoción de materiales. En la tabla 6 se muestra el aumento de superficie de la cuenca en las últimas décadas que se estima en unos 16 km<sup>2</sup>.

#### **b) Análisis de la red de drenaje**

El estudio de la red de drenaje, por su parte, se ha llevado a cabo a partir de la información proporcionada por la cartografía topográfica disponible, así como de la fotointerpretación de diferentes fotografías aéreas y ortofotos digitales. De este modo se han confeccionado cinco cartografías correspondientes a otros tantos años de referencia: 1956, 1975, 1991-93, 2005 y 2014.

	1956	1975	1991/93	2005	2014
Superficie (km <sup>2</sup> )	302,05	316,19	316,61	317,30	317,99
Fuente	Fotografía aérea a escala 1:33.000 en blanco y negro ( <i>Vuelo americano</i> )	Fotografía aérea a escala 1:18.000 en blanco y negro	Fotografía aérea a escala 1:20.000 en blanco y negro de los años 1991 y 1993	Fotografía aérea escala 1:20.000 (año 2002) en blanco y negro. Ortofotos digitales años: 2002 y 2005	Ortofoto digital del año 2013, MDE y Mapa Topográfico 1:10.000
Entidad	Ministerio de Defensa	Ministerio de Defensa	ICA	ICA	Consejería de Medio Ambiente

Tabla 6. Evolución de la superficie de la cuenca del arroyo de El Partido.

Actualmente la red de drenaje del arroyo de El Partido presenta un dispositivo de tipo dendrítico, especialmente desarrollado tanto en el tramo superior de la cuenca como en el medio, mientras que el tramo inferior se resuelve mediante una canalización artificial que alcanza su desembocadura. Es precisamente este tramo final el que mayores cambios ha sufrido a lo largo de las últimas décadas, los cuales se han debido tanto a la propia dinámica de un río cada vez más tensionado como a las intervenciones antrópicas llevadas a cabo directamente sobre cauces, llanuras aluviales y límites de cuencas.

Entre las variaciones más importantes pueden desatacarse, siguiendo un orden cronológico de las mismas, las siguientes:

- **1956:** la red de drenaje para este momento se ha obtenido a partir de la fotointerpretación del conocido como *vuelo americano* a escala 1:33.000 (Fig. 66). El escaso nivel de detalle de la fotografía aérea a esta escala supone una limitación a la hora de identificar los colectores secundarios de la red. No obstante, a pesar de esta dificultad se reconoce la existencia de una tupida malla de carácter dendrítico que cubre la totalidad de la cuenca. Para el tramo inferior del río se reconoce un complejo dispositivo de canales entrelazados

en el que convergen tanto el arroyo de El Partido como el Caño Marín. Se identifica, por último, para este momento la existencia ya de algunos tramos de canal rectificadas, como es el caso del arroyo de La Cárcava en su sector de cabecera, en el que se identifica un tramo rectilíneo de más de 2 km de longitud.

- **1975:** la red de drenaje correspondiente a este momento se ha establecido a partir del vuelo del mismo año a escala de mayor detalle que el caso anterior (1:18.000), por lo que el dispositivo obtenido presenta una mayor densidad (Fig. 67). El sistema de canales del tramo final se ha simplificado en gran medida quedando para este momento básicamente dos canales funcionales. Se han producido, igualmente, algunas otras rectificaciones del cauce como por ejemplo en el tramo del Colmenar, aguas abajo de la incorporación del arroyo Vizcaíno.
  
- **1991/93:** la red de drenaje correspondiente a esta fecha se ha definido mediante la fotointerpretación de fotogramas aéreos a escala 1:20.000 (Fig. 68). El dispositivo general se mantiene en la práctica totalidad de la cuenca, salvo quizá en el tramo inferior, donde se reconocen las importantes transformaciones sufridas por el sistema de drenaje como consecuencia de la puesta en marcha del Plan Almonte-Marismas a principios de los años ochenta. Este hecho supuso, en primer lugar, la construcción de un canal artificial rectilíneo de aproximadamente 7 km de largo que inhibió en este sector el funcionamiento del cono aluvial, evacuando los caudales canalizados y la carga sedimentaria correspondiente directamente a la marisma. Los diferentes canales que conforman la red fluvial de este tramo quedan ahora sin funcionamiento, experimentando un progresivo y rápido proceso de colmatación. En segundo término, la red de drenaje correspondiente al arroyo Caño Marín es totalmente desarticulada convirtiéndose en un sistema de canales con dispositivo cuadrangular, quedando la totalidad de su cuenca convertida en parcelas de cultivos intensivos. Finalmente, en el tramo alto de la cuenca se reconoce la existencia de rectificaciones del cauce, siendo el caso de la canalización sobre el arroyo Calancha a su paso por la localidad de Rociana, la más significativa.

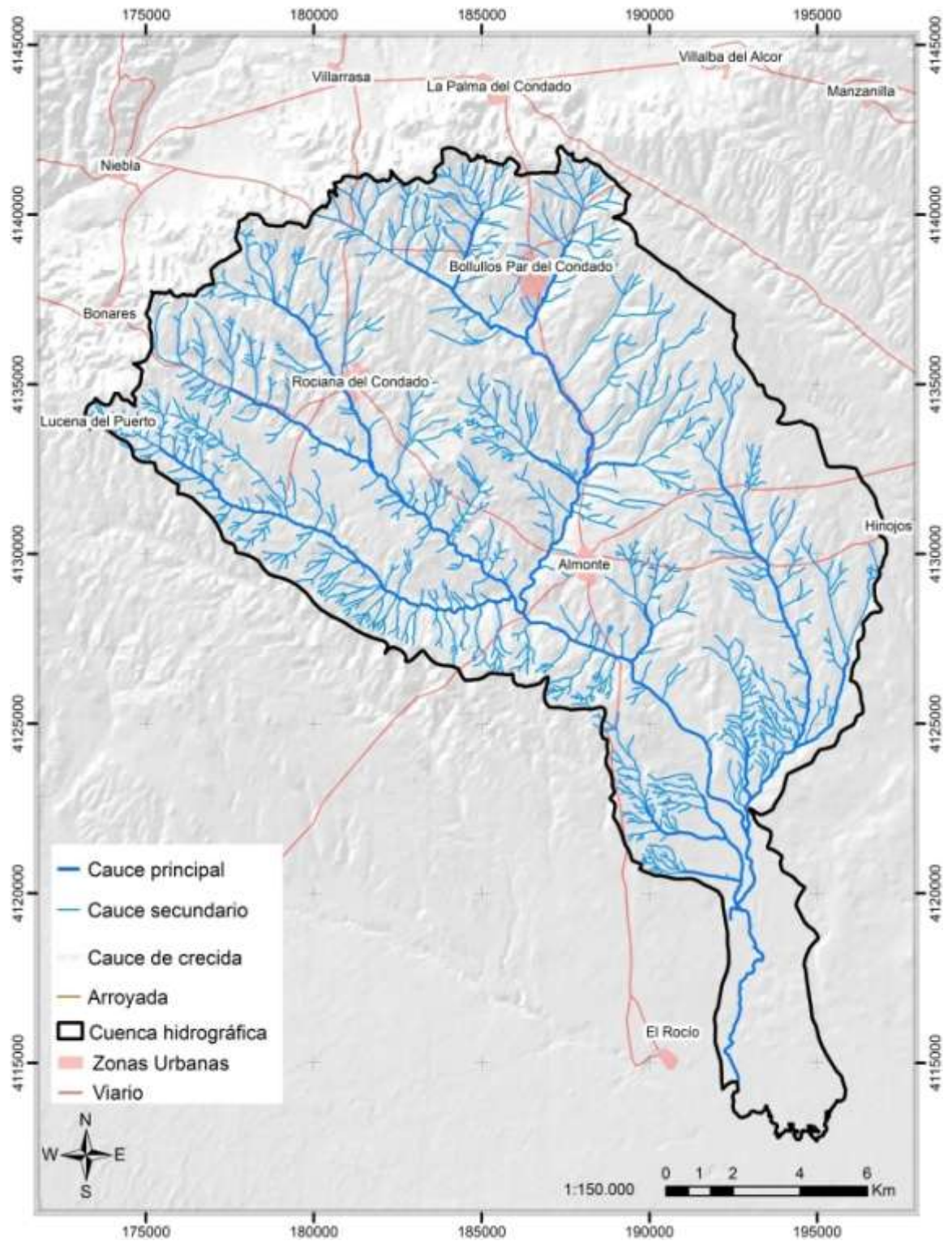


Figura 66. Delimitación de la cuenca y dispositivo de la red de drenaje del arroyo de El Partido en el año 1956.

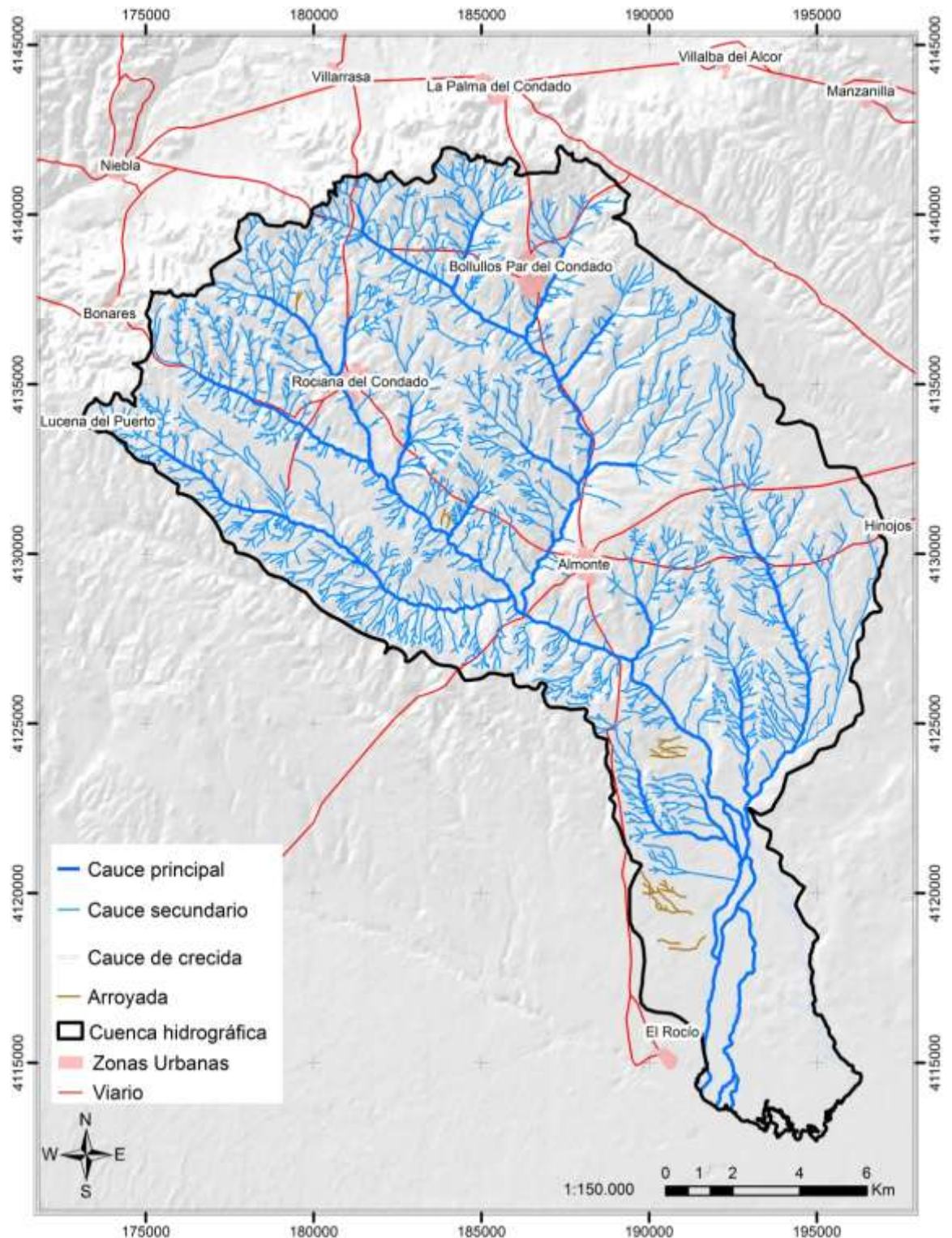


Figura 67. Delimitación de la cuenca y dispositivo de la red de drenaje del arroyo de El Partido en el año 1975.



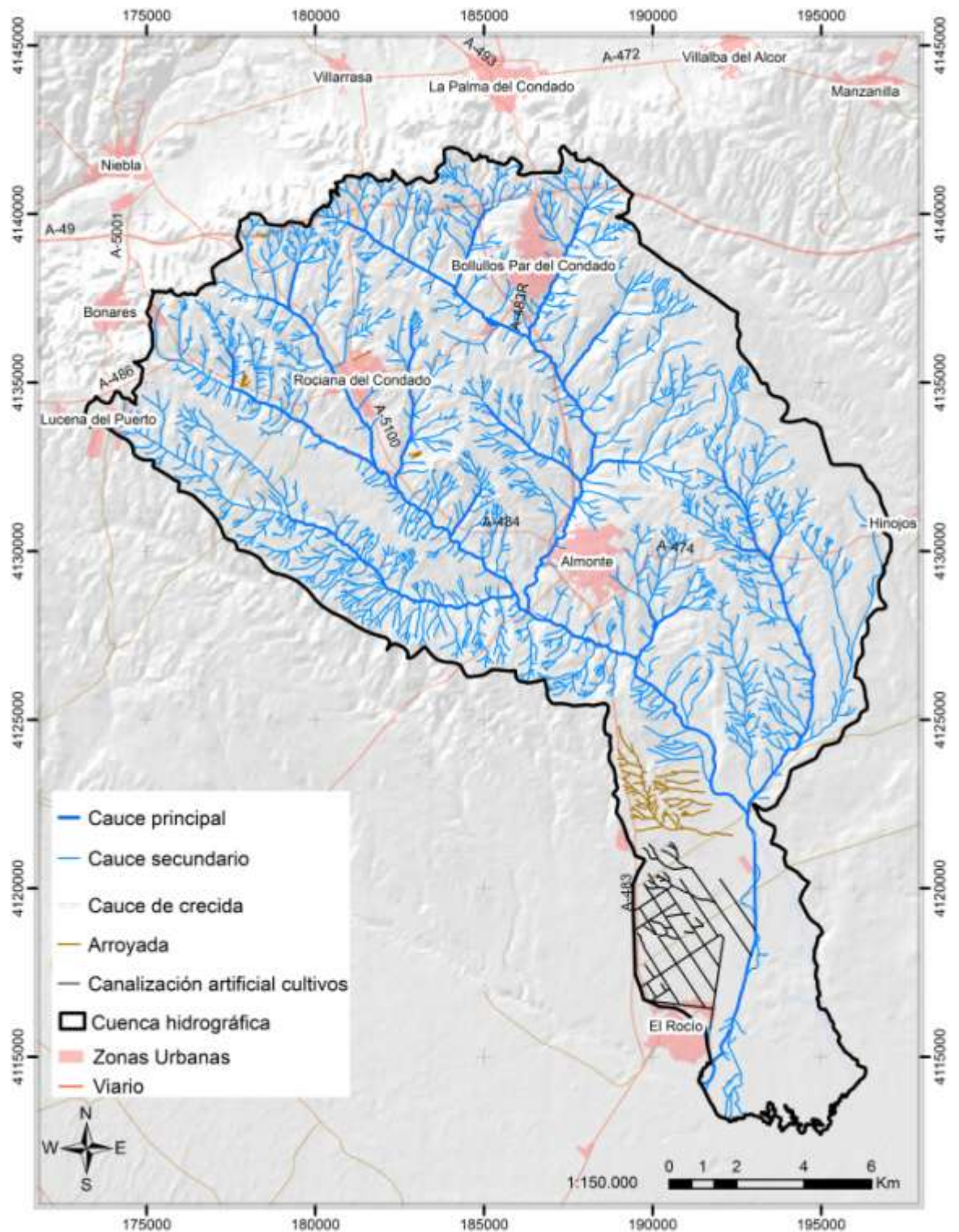


Figura 68. Delimitación de la cuenca y dispositivo de la red de drenaje del arroyo de El Partido en los años 1991/93.

- **2005:** para la obtención de la red hidrográfica correspondiente a este año se ha utilizado como base la Ortofoto Digital de Andalucía del año 2005 y el Mapa Topográfico de Andalucía a escala 1:10.000 del año 2003, así como la información obtenida a partir de la fotointerpretación de un vuelo a escala 1:20.000 en blanco y negro publicado por el ICA 2002. Se ha establecido para este momento una red de tipo dendrítica, aunque con una densidad menor que la obtenida en los años anteriores (Fig. 69). Del mismo modo, para este momento se reconocen importantes transformaciones en el dispositivo de la red, que se concretan en rectificaciones de canal (confluencia arroyo de La Cerrada con el de La Cárcava; arroyo de Las Juntas...). Igualmente destacable es la desconexión de la cuenca del arroyo de La Parrilla de la de El Partido, como consecuencia de las actuaciones llevadas a cabo con motivo de la ejecución de la 1ª Fase de la Actuación nº 3 del Proyecto Doñana 2005.
- **2014:** la red hidrográfica correspondiente a este año se ha obtenido utilizando como base la Ortofoto Digital de Andalucía del año 2013, el MDE de la Junta de Andalucía, con una resolución de 10 m y el Mapa Topográfico de Andalucía a escala 1:10.000. Para este momento los cambios con respecto a la situación inmediatamente anterior son mínimos (Fig. 70). El cambio más significativo es el desdoble de uno de los canales principales en el tramo final de la cuenca.

### **7.1.2. Análisis morfométrico**

El análisis morfométrico de la cuenca de El Partido se ha realizado para los años 1956 y 2014, de cara a establecer la evolución experimentada por el sistema fluvial de referencia durante las últimas seis décadas. Dicho análisis descansa sobre la base de un proceso de fotointerpretación de las fotografías aéreas u ortofotografías indicadas en el apartado anterior para cada uno de los momentos seleccionados.

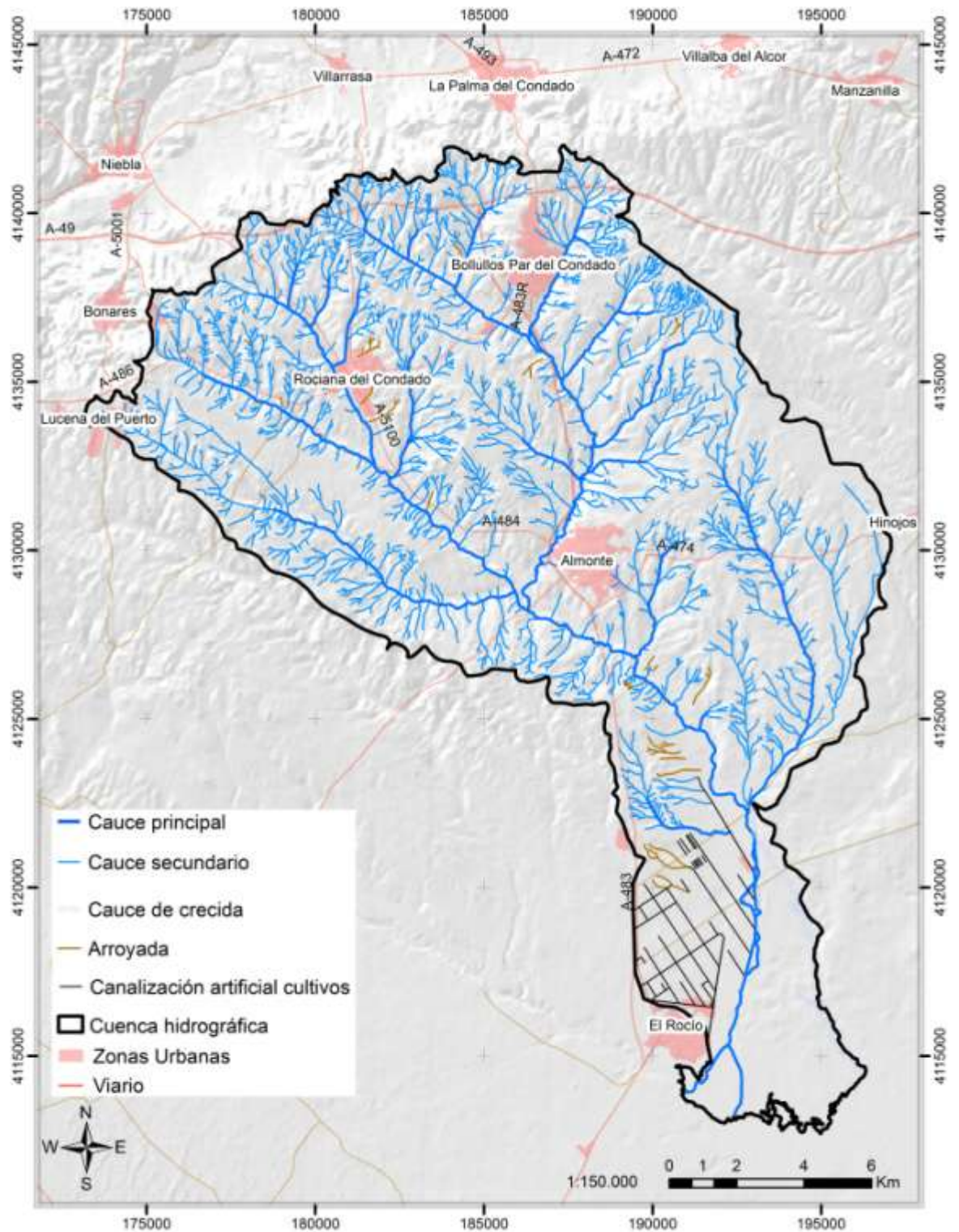


Figura 69. Delimitación de la cuenca y dispositivo de la red de drenaje del arroyo de El Partido en el año 2005.

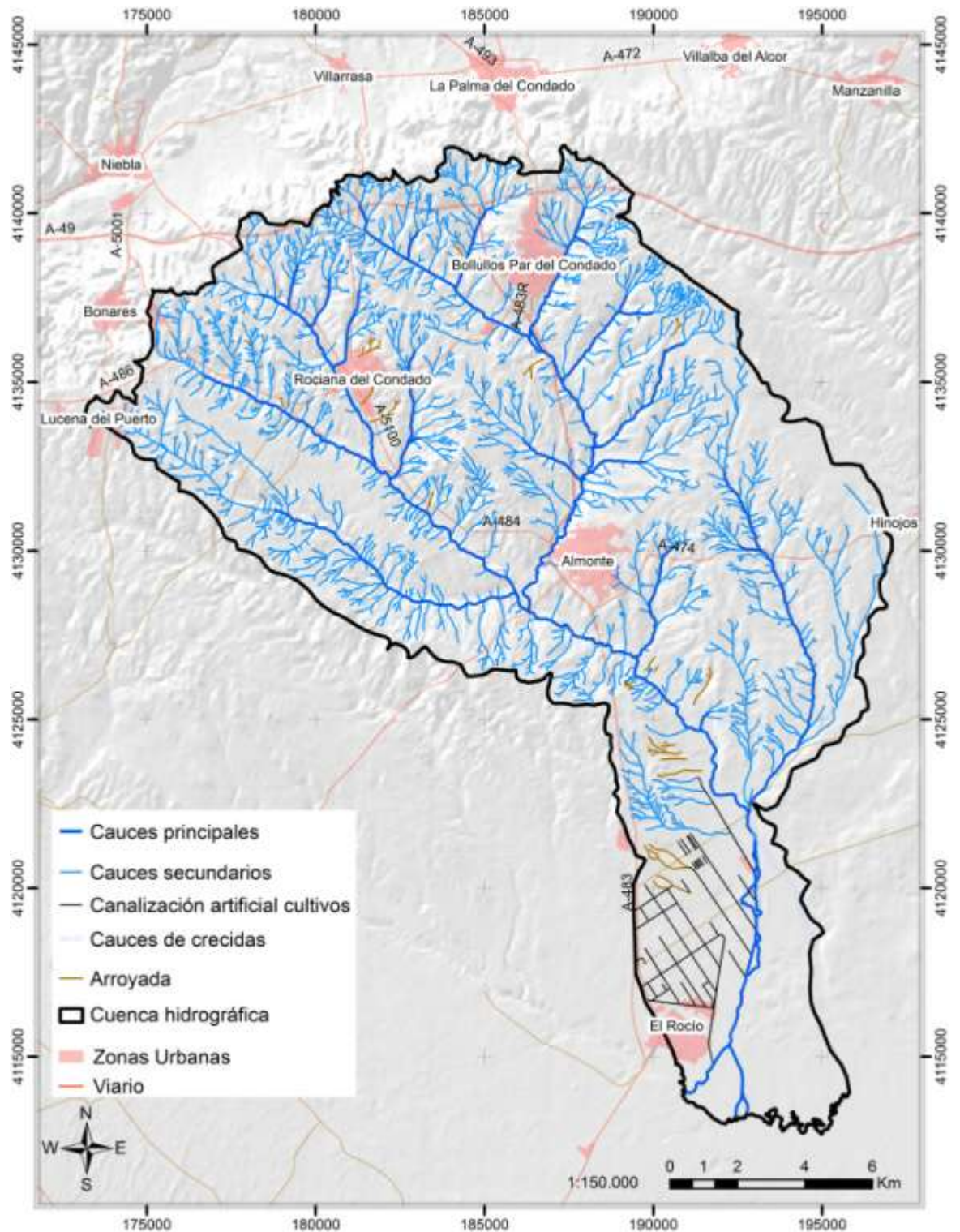


Figura 70. Delimitación de la cuenca y dispositivo de la red de drenaje del arroyo de El Partido en el año 2014.

Se describen, a continuación, las variables utilizadas en análisis morfométrico llevado cabo, primero, desde un punto de vista teórico, y, posteriormente, aplicadas al caso concreto del arroyo de El Partido.

#### **a) Conceptos básicos en morfometría fluvial**

Según Strahler (1964), la morfometría fluvial describe la medición de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial, de tal modo que el análisis de una cuenca se aplica al medir la erosión de los cauces interpretando las características geométricas de las redes de drenaje. Por su parte Senciales (1999) afirma que el análisis morfométrico pretende cuantificar la evolución en el paisaje fluvial y definir el estado de evolución en el que se encuentra y, así, valorar su estado erosivo.

En la presente investigación se ha seguido la metodología empleada por Romero (1989), ya adaptada por el doctorando en un trabajo anterior sobre la dinámica hidrogeomorfológica en la cuenca del arroyo Río Pudío (El Aljarafe, Sevilla) (Lama, 2007). Se pretende caracterizar el sistema de relaciones existente entre los procesos y las formas resultantes identificadas en la cuenca del arroyo de El Partido. En este sentido, y recuperando los trabajos de Horton (1945) y Strahler (1964) entre otros, Romero (1989) realiza una descripción cuantitativa de las principales variables que caracterizan a los cursos fluviales y que permiten su análisis individualizado y, sobre todo, posibilita la comparación con otros. En el presente trabajo se han seleccionado cinco de ellas, especialmente las relacionadas con el relieve, topología, longitud, geometría e intensidad fluvial (Romero y López Bermúdez, 1987).

Los contenidos teóricos básicos de cada una de las variables contempladas en el análisis llevado a cabo en la presente investigación son:

- Variables del relieve: proporcionan información sobre las relaciones que se establecen entre las características morfográficas de la cuenca y el tipo de dispositivo de la red drenaje, la generación de la escorrentía, la forma de los canales, etc. Básicamente se han considerado la *altitud*

*máxima* de la cuenca, es decir, la cota más elevada existente dentro de ella; la *altitud mínima* de la cuenca o cota más baja registrada, que coincidirá con el punto de desagüe de la misma; el *desnivel absoluto* o diferencia altimétrica registrada entre la cota más alta y la más baja de la cuenca; la *pendiente media del cauce* a lo largo de su recorrido; la *razón de relieve*, considerada como la relación entre el desnivel de la cuenca y la longitud máxima de la misma. La razón de relieve es interesante ya que proporciona información sobre la pérdida de suelo: una tasa alta de la razón de relieve supone una mayor velocidad del caudal y por tanto una mayor capacidad erosiva (Senciales, 1999); y, finalmente, el *número de rugosidad* considerado por Strahler (1958), como la relación existente entre el desnivel máximo de la cuenca con su densidad de drenaje. Esta variable es útil desde el punto de vista evolutivo, puesto que variaciones en su registro, proporcionan información sobre el aumento de los desniveles o de la densidad del drenaje, lo que supone un incremento en las tasas de erosión, bien por haberse acentuado la pendiente, o bien, por haberse intensificado la acción de la arroyada concentrada (Senciales, 1999).

- Variables topológicas: se han considerado en este apartado tres variables principales. En primer lugar, el *orden* de las corrientes habiéndose utilizado para ello el sistema propuesto por Strahler (1964), según el cual son considerados cauces de orden 1 los que no poseen ningún tributario; son cauces de orden 2, aquellos en los que se produce la unión de dos cauces de orden 1; son cauces de orden 3, aquellos en los que se produce la confluencia de dos cauces de orden 2; y así sucesivamente. En segundo término, se tiene en consideración el *número de cauces* contabilizados individualmente; y, finalmente, la *razón de bifurcación* definida por Horton (1932) como la relación del número de cauces de un orden dado, con el número de cauces del orden inmediatamente superior. Según este autor una razón de bifurcación próxima a 2 evidencia la existencia de cuencas con escaso relieve; valores entre 3 y 5 definen cuencas de montaña en las que la estructura geológica tiene una escasa influencia; mientras que valores superiores a 5 y, sobre todo, excediendo de 10 ponen en evidencia una importante influencia de la estructura geológica en la configuración de la cuenca con un dispositivo estrecho y alargado.

- Variables de longitud: se establece, en primer lugar, la *longitud de los cauces* en función de los órdenes identificados anteriormente, así como la *longitud media* de cada uno de ellos. Igualmente, se registra la *longitud total* del conjunto de los cauces identificados en la cuenca. Para cometer los menores errores posibles en la fotointerpretación y digitalización de la longitud de cauces y hasta donde prolongarlos, principalmente los de orden 1, se han usado herramientas cartográficas, fotográficas y sesiones de trabajo de campo. Finalmente, se tiene en consideración el *índice de sinuosidad* que pone de manifiesto la relación existente entre la longitud del canal y longitud del valle. Schumm (1963) establece cinco categorías de sinuosidad: tortuoso, irregular, regular, transicional y recto. El valor 1 corresponde a un modelo de río recto, mientras que el valor 2 corresponde al de tortuoso.
- Variables geométricas: proporcionan información sobre la forma de la cuenca centrándose en la caracterización de la *superficie o área*. Se puede definir también el *perímetro* o contorno determinado por la divisoria de aguas; así como, la *longitud* considerada en este trabajo como la distancia entre la desembocadura y el punto de la divisoria más alejado de ésta. Finalmente, la *razón de circularidad* definida como la relación existente entre el área de la cuenca y la de un círculo con igual perímetro. El máximo valor corresponde a 1, por lo que cuanto más se aleje este valor menos circular será la cuenca (Romero, 1989).
- Variables de intensidad fluvial: dentro de este último grupo la *densidad de drenaje* es considerada por la mayor parte de los autores como la variable de mayor calado en el análisis morfométrico (Romero y López Bermúdez, 1987; Romero, 1989; Senciales, 1999), calculándose a partir de la división de la longitud total de los cauces entre la superficie de la cuenca. Se han establecido diferentes clasificaciones de los resultados aunque se acepta de modo general que valores inferiores a 10 corresponden a cuencas con baja densidad de drenaje y una textura gruesa típica de zonas de litologías masivas, espesa cobertura vegetal y altos valores de infiltración; valores entre 10 y 16 corresponden a zonas con una densidad de drenaje y una textura media, propias de zonas erosionables con una cobertura vegetal media; valores entre 30 y 40

indican una alta densidad de drenaje y una textura fina propias de zonas erosionadas y escasa cobertura vegetal; y, por último, valores entre 200 y 500 corresponden a zonas acarcavadas sin cubierta vegetal en los que la textura es “ultrafina” y la densidad muy alta (Morisawa, 1985). Otro índice considerado en la caracterización morfográfica es el *coeficiente de torrencialidad* entendido como el resultado de multiplicar la densidad de drenaje por el número de cursos de orden 1 en relación con la superficie. Cuanto mayor sea el número de cauces y menor la superficie de la cuenca, mayor será la torrencialidad (Romero, 1989).

#### **b) Aplicación de variables morfométricas al caso del arroyo de El Partido**

Los resultados obtenidos para cada una de las variables analizadas se muestran en la tabla 7 para los años 1956 y 2014. Se pretende poner de manifiesto la evolución experimentada en los últimos 60 años por el sistema. Así, dentro de las *variables de relieve*, se observa que no hay cambio en parámetros como la altitud máxima registrada en la cuenca, que se mantiene en 175 m.s.n.m., mientras que la altitud mínima es de 2 m.s.n.m, lo que supone un desnivel de 173 m. Por su parte, la pendiente es en general baja, presentando valores medios de 0,0172% en 2014, mientras que para 1956 es de 0,0184%. Sin embargo, este es un valor que habría que matizar, pues en él se incluyen valores referentes al conjunto de toda la cuenca, lo que enmascara la realidad del área de estudio real de este trabajo, que comprende desde la cabecera hasta la casa de La Matanza, dejando fuera el tramo bajo próximo a la marisma donde predomina un relieve plano y bajo. La variable de razón de relieve, por su parte, se mantiene constante con valor de 0,0052 para los dos años analizados, lo que supone una coincidencia a remarcar, una vez comentados en apartados anteriores las vicisitudes por las que ha pasado la cuenca del arroyo de El Partido en las últimas décadas. Finalmente, el número de rugosidad es útil desde el punto de vista evolutivo, puesto que las variaciones en su registro proporcionan información sobre el aumento de los desniveles o de la densidad de drenaje, lo que supone un incremento en las tasas de erosión, bien por haberse acentuado la pendiente, bien por haberse intensificado la acción de la arroyada concentrada (Senciales, 1999).



	<i>Variables</i>	<i>Signo</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Valores normales</i>	<i>Autor</i>	<i>1956</i>	<i>2014</i>
<b>Relieve</b>	Altitud máxima	HM				175 m	175 m
	Altitud mínima	Hm				2 m	2 m
	Desnivel de la cuenca	D	$D=HM-Hm$			173 m	173 m
	Pendiente media de la cuenca	S	$S=\Delta H\Sigma L/A$			0,0184	0,0172
	Razón de relieve	Rr	$Rr=D/L_{max}$		Schumm (1956)	0,0052	0,0052
	Número de rugosidad	NR	$NR=D/Dd$	0,06<1	Strahler (1958)	0,08	0,06
<b>Topología</b>	Orden de la cuenca	N			Strahler (1964)	6	7
	Nº de cauces de orden 1	N <sub>1</sub>	$\Sigma N_1$			906	1.539
	Nº de cauces de orden 2	N <sub>2</sub>	$\Sigma N_2$			255	378
	Nº de cauces de orden 3	N <sub>3</sub>	$\Sigma N_3$			1.557	92
	Nº de cauces de orden 4	N <sub>4</sub>	$\Sigma N_4$			15	22
	Nº de cauces de orden 5	N <sub>5</sub>	$\Sigma N_5$			5	6
	Nº de cauces de orden 6	N <sub>6</sub>	$\Sigma N_6$			1	2
	Nº de cauces de orden 7	N <sub>7</sub>	$\Sigma N_7$				1
	Nº total de cauces	N <sub>T</sub>	$\Sigma N$			1.239	2.040
	Razón de bifurcación	Rb	$N_u/N_{u+1}$	$\approx 2$ Cuencas escaso relieve	Horton (1932)		
	Orden 1-2	Rb <sub>1-2</sub>	$N_1/N_2$	3<5 Áreas de montaña sin mucha dependencia estructural		3,55	4,07
	Orden 2-3	Rb <sub>2-3</sub>	$N_2/N_3$			4,47	4,11
	Orden 3-4	Rb <sub>3-4</sub>	$N_3/N_4$			3,80	4,18
Orden 4-5	Rb <sub>4-5</sub>	$N_4/N_5$		3,00		3,67	
Orden 5-6	Rb <sub>5-6</sub>	$N_5/N_6$	>5 Cuencas estrechas y alargadas	5,00		3,00	
Orden 6-7	Rb <sub>6-7</sub>	$N_6/N_7$				2	

Tabla 7. Resultados del análisis morfométrico de la cuenca del arroyo de El Partido para los años 1956 y 2014.

	<i>Variables</i>	<i>Signo</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Valores normales</i>	<i>Autor</i>	<i>1956</i>	<i>2014</i>
<b>Longitud</b>	Longitud de cauces de orden 1	L <sub>1</sub>	$\Sigma L_1$		Strahler (1964)	359,18 km	419,72 km
	Longitud de cauces de orden 2	L <sub>2</sub>	$\Sigma L_2$			158,70 km	207,15 km
	Longitud de cauces de orden 3	L <sub>3</sub>	$\Sigma L_3$			70,76 km	106,81 km
	Longitud de cauces de orden 4	L <sub>4</sub>	$\Sigma L_4$			53,08 km	52,65 km
	Longitud de cauces de orden 5	L <sub>5</sub>	$\Sigma L_5$			31,27 km	28,09 km
	Longitud de cauces de orden 6	L <sub>6</sub>	$\Sigma L_6$			20,24 km	16,88 km
	Longitud de cauces de orden 7	L <sub>7</sub>	$\Sigma L_7$			-	21,02 km
	Longitud media cauces de orden 1	LU <sub>1</sub>	$\Sigma L_1 / \Sigma N_1$		Strahler (1964)	396,45 m	272,73 m
	Longitud media cauces de orden 2	LU <sub>2</sub>	$\Sigma L_2 / \Sigma N_2$			622,37 m	548,02 m
	Longitud media cauces de orden 3	LU <sub>3</sub>	$\Sigma L_3 / \Sigma N_3$			1.241,46 m	1.161,07 m
	Longitud media cauces de orden 4	LU <sub>4</sub>	$\Sigma L_4 / \Sigma N_4$			3.538,80 m	2.393,18 m
	Longitud media cauces de orden 5	LU <sub>5</sub>	$\Sigma L_5 / \Sigma N_5$			6.255,00 m	4.682,33 m
	Longitud media cauces de orden 6	LU <sub>6</sub>	$\Sigma L_6 / \Sigma N_6$			20.247,00 m	8.441,00 m
	Longitud media cauces de orden 7	LU <sub>7</sub>	$\Sigma L_7 / \Sigma N_7$		-	21.025,00 m	
	Longitud total	L <sub>t</sub>	$\Sigma L$		Strahler (1964)	693,25 km	852,34 km
Índice de sinuosidad	IS	IS=L <sub>c</sub> /L <sub>d</sub>	1-1,2 canal rectilíneo 1,2-1,5 canal transicional 1,5-1,7 canal regular 1,7-2,1 canal irregular >2,1 canal tortuoso	Mueller (1968)	1,244	1,205	

Tabla 7. Resultados del análisis morfométrico de la cuenca del arroyo de El Partido para los años 1956 y 2014 (continuación)

	<i>Variables</i>	<i>Signo</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Valores normales</i>	<i>Autor</i>	<i>1956</i>	<i>2014</i>
<b>Geometría</b>	Superficie	A				302,06 km <sup>2</sup>	318 km <sup>2</sup>
	Perímetro	P				109,17 km	110,93 km
	Longitud cuenca	LC				35,46 km	36,35km
	Razón de circularidad	Rc	$Rc=4\pi A/P^2$		Miller (1953)	0,31	0,32
<b>Intensidad fluvial</b>	Densidad de drenaje	Dd	$Dd= \Sigma L/A$	<8 textura gruesa 8-20, textura media 20-200 textura fina >200 textura ultrafina	Morisawa (1985)	2,295	2,680
	Coeficiente de torrencialidad	Ct	$Ct=Dd*(N1/A)$		Strahler (1964)	6,884	12,972

Tabla 7. Resultados del análisis morfométrico de la cuenca del arroyo de El Partido para los años 1956 y 2014 (continuación).

Los resultados obtenidos no concuerdan a primera vista con lo observado en campo, al indicar que en el arroyo de El Partido desciende la erosión, ya que la tasa de rugosidad pasa de 0,08 a 0,06. Esto puede deberse al escaso desnivel de la cuenca y la baja densidad de drenaje que posee para ambas fechas.

En cuanto a las *variables topológicas*, éstas casi se comentan por sí mismas. El orden de la cuenca de El Partido establecido según el método de Strahler (1964) para el año 1956 era de 6 (Fig. 71), mientras que para 2014 es de 7 (Fig. 72). Por su parte, la evolución experimentada por la red de drenaje desde 1956 hasta la actualidad sí merece un comentario, al observarse un aumento notable del número de cauces de todos los órdenes, siendo especialmente significativo en el caso de los órdenes 1, 2, 3 y 4, donde el incremento supera el 45 %, destacando sobre todos el orden 1 con más de un 69% (Tabla 8). Dicho incremento estaría en relación con el número de rugosidad comentado anteriormente, al poner de manifiesto un aumento de la acción de la arroyada concentrada, sobre todo, en la zona de cabecera de los arroyos. Este hecho determina, igualmente, el progresivo aumento del carácter dendrítico de la red.

<i>Cauces</i>	<i>1956</i>	<i>2014</i>	<i>Incremento nº cauces</i>	<i>Incremento %</i>
Orden 1	906	1.539	633	69
Orden 2	255	378	123	48
Orden 3	57	92	35	61
Orden 4	15	22	7	46
Orden 5	5	6	1	20
Orden 6	1	2	1	100
Orden 7		1	1	-
Total cauces	1.239	2.040	801	64

Tabla 8. Incremento en el número de cauces por orden entre 1956 y 2014 en la cuenca de El Partido.

En cuanto a la razón de bifurcación el valor medio correspondiente al año 2014 se sitúa en 3,97 y para 1956 es de 3,50, valores que estarían indicando un funcionamiento como una cuenca de montaña (3-5), según Horton (1932), en

la que la influencia de la estructura geológica sería escasa y los materiales homogéneos. Por su parte, los valores de razón de bifurcación obtenidos para los órdenes 5-6 y 6-7 son menores a 3 en la actualidad, por lo que estos datos hay que manejarlos con cautela. Ciertamente la cuenca de El Partido no es una cuenca de montaña, aunque sí presenta un dispositivo de forma redondeada, y, por lo tanto, podría desarrollar una dinámica de concentración rápida de escorrentías y generar procesos de inundación. Además, hay que poner de manifiesto que no hay un descenso generalizado en todas las relaciones de este parámetro, sino que hay relaciones que aumentan (orden 1-2, 3-4, 4-5) y otras que disminuyen (orden 2-3, 5-6). Estas significativas diferencias entre órdenes pueden evidenciar ciertas anomalías del drenaje, que podrían estar relacionadas con el carácter más o menos permeable de las litologías sobre las que discurre la red fluvial, o con el tipo de cubierta vegetal o uso del suelo que se desarrolla en los diferentes ámbitos de la cuenca. En cualquier caso hablan de una red de drenaje mal jerarquizada.

Las *variables de longitud* se obtienen a partir de la caracterización de los distintos segmentos que componen la red fluvial. De este modo, la longitud total de los cauces analizados para las fechas muestra que para 2014 hay 159,09 km de cauces más que en el año 1956, es decir, un 22% más. En general, se puede afirmar que la longitud los cauces de orden 1, 2 y 3 ha aumentado considerablemente, mientras que la longitud de los órdenes superiores parece haberse mantenido muy similar o haber sufrido una escasa disminución. Respecto a la longitud media de los cauces se observa una tendencia común para toda la cuenca y es el acortamiento de los mismos, es decir, hay un mayor número de cauces, pero estos son más cortos, principalmente los de menor orden (Figs. 73 y 74) Por último, el índice de sinuosidad tiene un resultado de 1,244 para el año 1956 mientras que para 2014 el valor es de 1,205. Según estos datos El Partido presenta un canal transicional aunque tendente a rectilíneo. Las 3 subcuencas analizadas, sin embargo, poseen valores que oscilan entre 1,1 y 1,3 para ambas fechas, lo que equivale a canales rectilíneos (tabla 9).

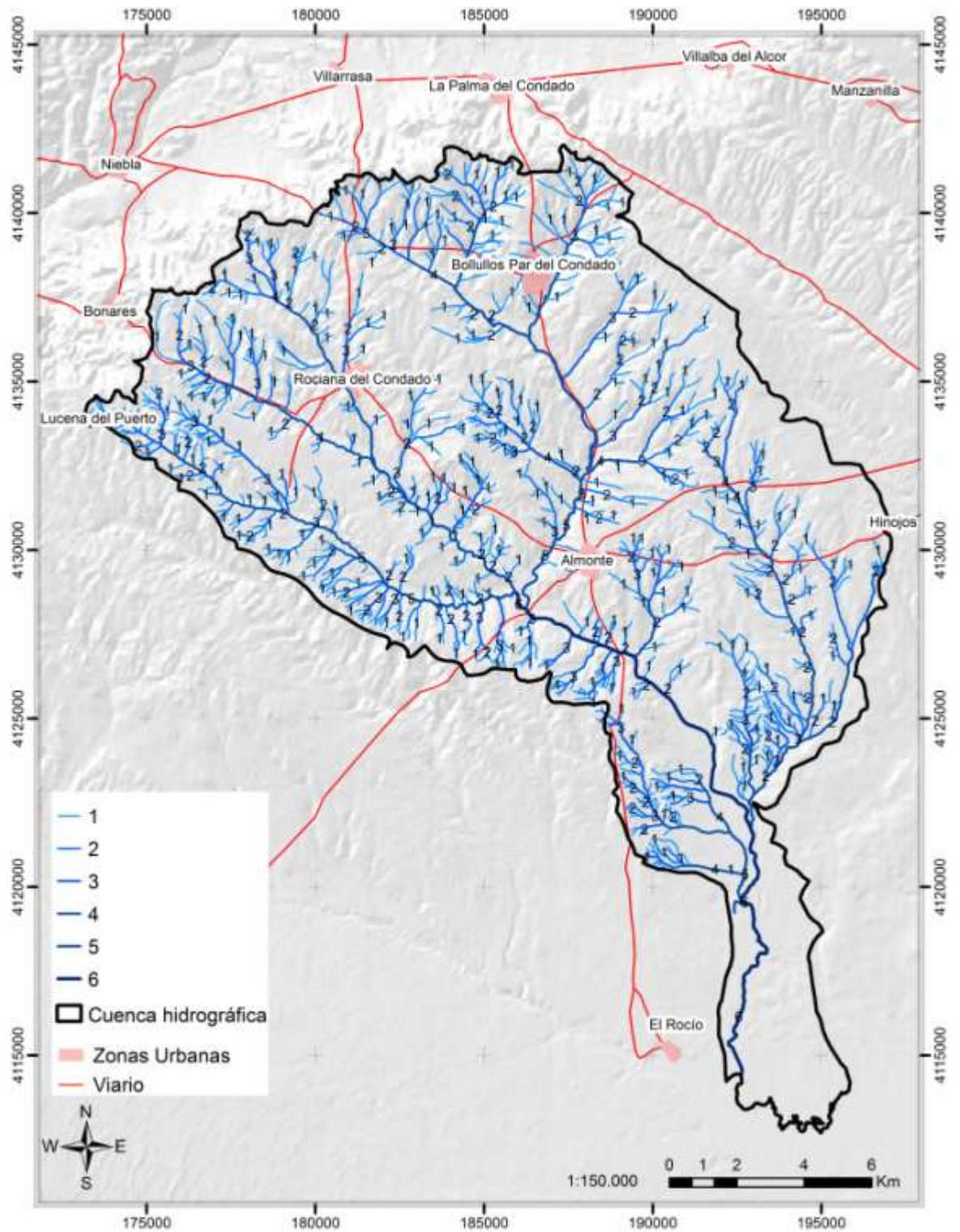


Figura 71. Orden fluvial en la cuenca del arroyo de El Partido en el año 1956.

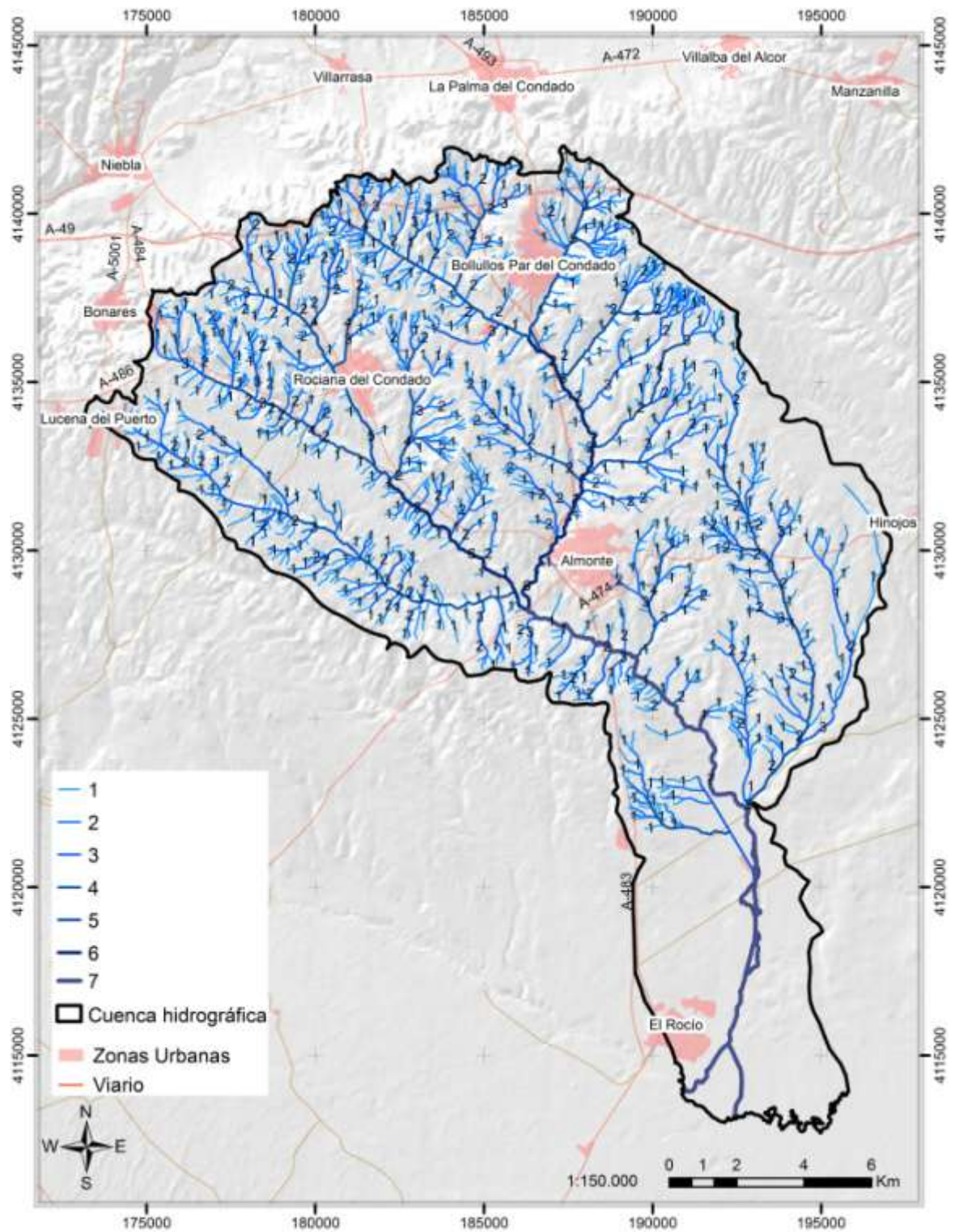


Figura 72. Orden fluvial en la cuenca del arroyo de El Partido en el año 2014.

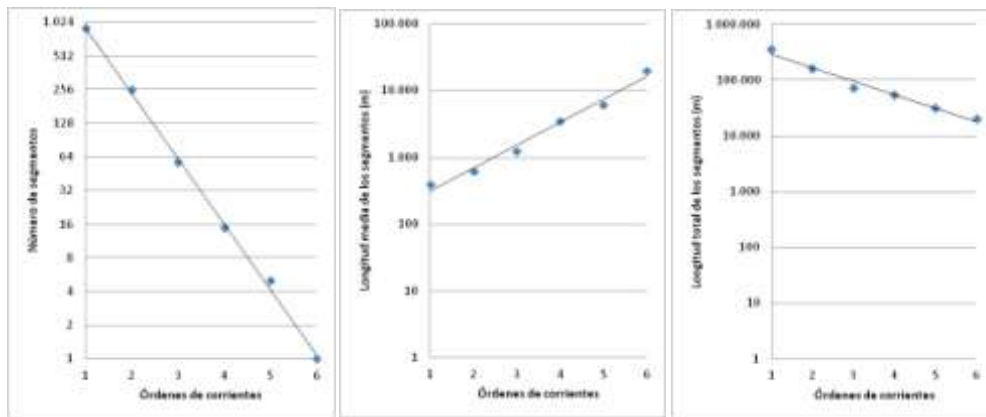


Figura 73. Relaciones y línea de tendencia entre la dimensión de los segmentos para los distintos órdenes en la cuenca de El Partido para el año 1956.

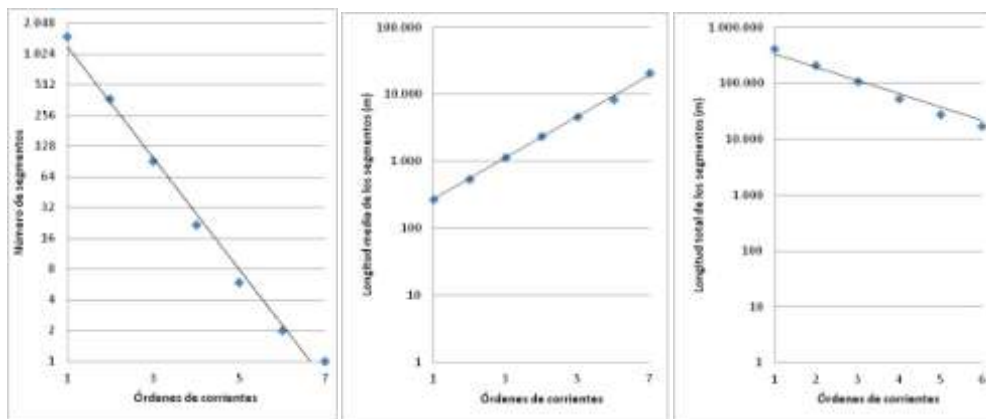


Figura 74. Relaciones y línea de tendencia entre la dimensión de los segmentos para los distintos órdenes en la cuenca de El Partido para el año 2014.

Variable	Subcuenca	Año 1956	Año 2014
Índice de sinuosidad	Partido	1,24	1,20
	Cárcava	1,12	1,11
	Calancha	1,28	1,30
	Parrilla	1,12	1,52

Tabla 9. Valores del índice de sinuosidad para cada una de las subcuencas analizadas.



En la relación a las *variables de geometría* se debe mencionar la superficie de la cuenca era de 302,06 km<sup>2</sup> en 1956, mientras que en la actualidad es de 318 km<sup>2</sup>, lo que supone un aumento de casi 16 km<sup>2</sup>. Esta ampliación ha supuesto que el perímetro haya aumentado, igualmente, 1,8 km de longitud, hasta los 110,9 km y que la longitud de la cuenca se haya acrecentado en casi 1 km, debido al desarrollo del cono aluvial que se ha generado en su desembocadura. Por su parte, la razón de circularidad posee un valor de 0,31 y 0,32 para los años 1956 y 2014 respectivamente. Estos valores bajos se explican por el dispositivo alargado y estrecho que presentan el tramo inferior de la cuenca desde la Casa de La Matanza hasta su desembocadura.

Finalmente, de las *variables de intensidad fluvial* comentamos el parámetro densidad de drenaje que es uno de los más significativos, y cuyo cálculo se obtiene a partir de la división de la longitud total de los cauces entre la superficie de la cuenca. Para el arroyo de El Partido los resultados obtenidos muestran que para el año 1956 la densidad de drenaje era de 2,295 km de cauce por cada km<sup>2</sup> de cuenca, mientras que en 2014 aumenta hasta 2,680 km/ km<sup>2</sup>, como consecuencia del aumento de la longitud total de los cauces. Estos resultados están dentro de la categoría de textura gruesa (Morisawa, 1985) en la que predomina un número escaso de cauces por unidad de superficie. Sin embargo, este mismo parámetro obtenido para algunas de las subcuencas del arroyo de El Partido muestra resultados más elevados, llegando en la actualidad a valores de 3,333 en el caso del arroyo Calancha, o 3,511 para el caso del arroyo de La Cárcava (tabla 10). El aumento de este valor en estos casos está en relación con la existencia de un mayor número de cauces, especialmente de orden 1 y 2.

<i>Variable</i>	<i>Subcuenca</i>	<i>Año 1956</i>	<i>Año 2014</i>
<b>Densidad de drenaje</b>	Partido	2,29	2,68
	Cárcava	2,16	3,51
	Calancha	2,29	3,33
	Parrilla	2,35	2,39

Tabla 10. Valores de la densidad de drenaje para cada una de las subcuencas analizadas.

Por último, el coeficiente de torrencialidad se ha disparado en la cuenca de El Partido en los años analizados pasando de 6,88 en año 1956, hasta un valor de 12,97 en 2014, es decir, se ha duplicado. En el caso de la subcuenca del arroyo Calancha ha pasado de 5,53 a 21,18, o sea, que ha cuadruplicado su valor, al igual que ha ocurrido en la subcuenca del arroyo de La Cárcava donde el incremento fue de 6,28 a 25,45 (tabla 11). Este aumento inusitado de la torrencialidad está, como se ha comentado en el caso anterior, directamente relacionado con el aumento del número de cauces de orden 1.

<i>Variable</i>	<i>Subcuenca</i>	<i>Año 1956</i>	<i>Año 2014</i>
<b>Coefficiente de torrencialidad</b>	Partido	6,88	12,97
	Cárcava	6,28	25,45
	Calancha	5,53	21,18
	Parrilla	7,05	8,08

Tabla 11. Valores del coeficiente de torrencialidad para cada una de las subcuencas analizadas.

En síntesis, el análisis de las diferentes variables analizadas revelan que la cuenca del arroyo de El Partido se caracteriza, desde el punto de vista morfométrico, por:

- El aumento del número de cauces corresponde, sobre todo, a los de orden 1, 2 y 3, por lo general ubicados en ámbitos de cabecera. Este incremento está directamente relacionado con la existencia de una litología predominantemente arenosa, pero, sobre todo, con las importantes transformaciones en los usos del suelo que ha experimentado amplios sectores de la cuenca.
- El descenso de la longitud media de los cauces de menor orden. A pesar de haber un mayor número, la longitud de los mismos es menor.
- La existencia de un dispositivo alejado del modelo circular como consecuencia de la inclusión en el análisis del tramo final de la cuenca, que presenta un diseño muy alargado y estrecho.

- El desarrollo de una textura gruesa, con una escasa densidad de cauces por unidad de superficie.
- El aumento muy significativo de la torrencialidad, como consecuencia del incremento del número de cauces de orden 1, especialmente en los sectores de cabecera.

## **7.2. DINÁMICA Y EVOLUCIÓN HIDROGEOMORFOLÓGICA**

La caracterización del sistema fluvial del arroyo de El Partido se realiza a partir del análisis general de su estructura y funcionamiento actuales. En este apartado se procede identificando una serie de tramos fluviales, los cuales se delimitan en virtud de unas características hidro-geomorfológicas análogas y unas similares afecciones antrópicas.

La individualización y la delimitación espacial de estos tramos se realiza, así pues, a partir del análisis combinado de los componentes naturales de las riberas (cauce, canal, depósitos, orilla, llanura aluvial), y de la incidencia humana sobre los mismos, ya sea de forma directa (canalizaciones, rectificaciones, interposición de infraestructuras viarias, peraltado de orillas, invasión de cauces...), como indirecta (estado y manejo de la cubierta vegetal, desmontes y remoción de terrenos, cambios de usos del suelo, prácticas agrícolas agresivas...).

En la figura 75 se puede observar la distribución espacial de cada uno de los 13 tramos identificados según los criterios anteriores.

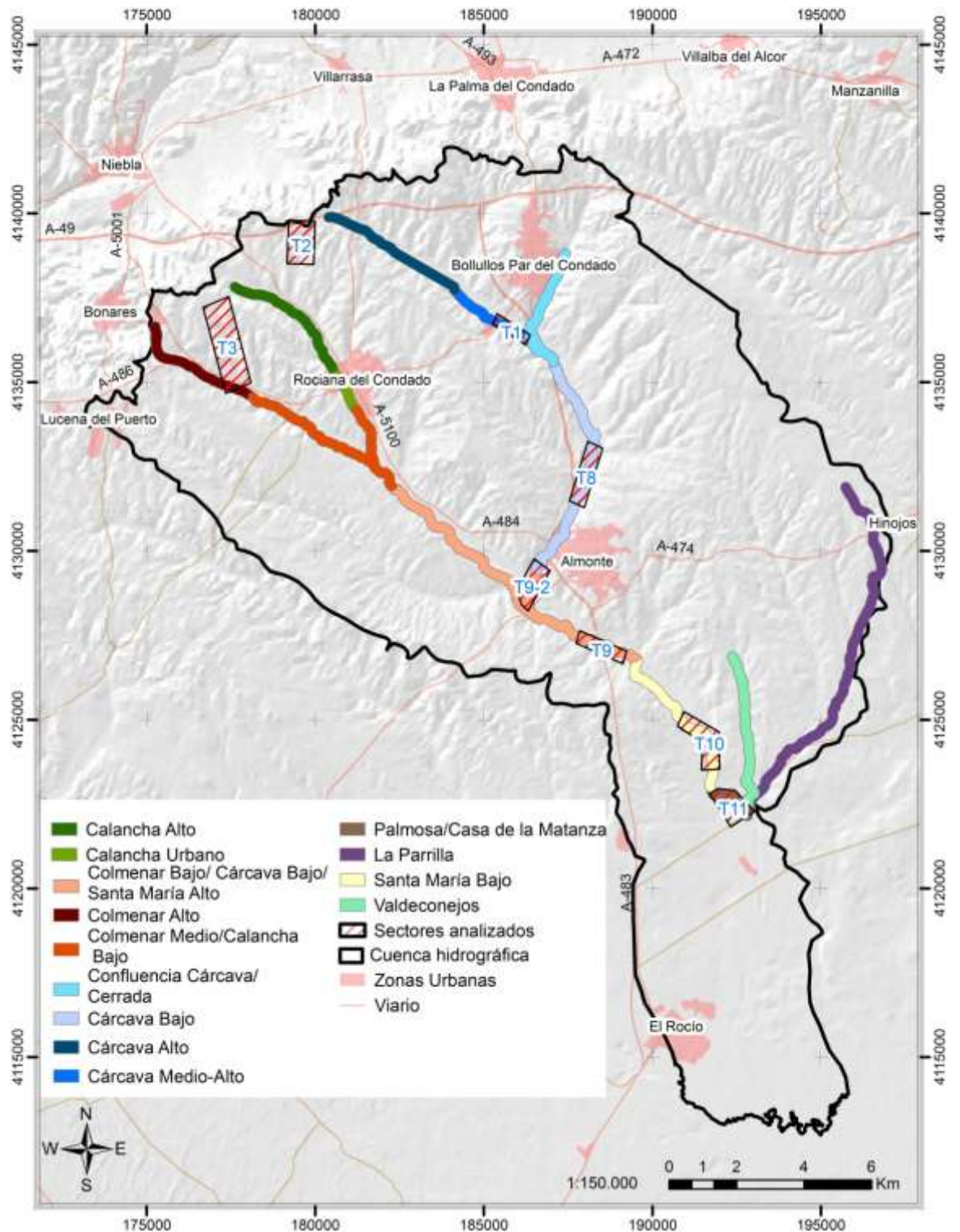


Figura 75. Distribución de los tramos analizados en la red fluvial del arroyo de El Partido y su codificación alfanumérica de aquellos sectores cartografiados en detalle.

### 7.2.1. Tramo 1. Cárcava Alto

*Desde la cabecera hasta la confluencia con arroyo de las Juntas.*

Tanto el cauce principal como los colectores secundarios de este tramo presentan un dispositivo hidrográfico de tipo monocal con trazado que va de lineal a levemente sinuoso. Se trata de canales incididos en un sustrato areno-margoso los cuales se encuentran actualmente sometidos a un intenso proceso de azolvamiento con lechos de arena que, en algunos sectores, llegan a enrasar con la parte alta de las orillas (Fotos 1 y 2). Habitualmente, en situaciones no afectadas por sobreabundancia de carga sedimentaria, estos canales transportarían materiales en suspensión, con poca capacidad erosiva y, por tanto, con pocas posibilidades de reajustar su diseño, caracterizado por presentar poca anchura y escasa profundidad. Actualmente constituyen cauces intensamente desarticulados desde el punto de vista morfo-sedimentario a causa de la entrada de una ingente carga sedimentaria en el sistema, lo que ha alterado profundamente el modelado correspondiente al tránsito canal/orilla, haciéndolo desaparecer a veces. Ámbitos de este tramo que hayan mantenido un cierto grado de conservación sólo se reconocen actualmente en el sector localizado aguas arriba de la confluencia de la Cañada del Bonal con el arroyo de La Cárcava, donde aún subsisten algunos rodales de vegetación de ribera.

En su conjunto, las cabeceras de este tramo se encuentran afectadas por una intensa remoción del terreno provocada por la instalación de plantas de extracción de áridos y por sucesivos desmontes de la cubierta vegetal originaria, asociados por regla general, al aprovechamiento del eucalipto (cambio de uso / explotación / abandono) (Fotos 3 y 4). Dicha transformación conlleva la reactivación de los procesos de arroyada, la concentración de flujos superficiales y el desarrollo de profundos barrancos (Fotos 5 y 6). Por otra parte, desde la incorporación de la Cañada del Bonal hasta la confluencia con el arroyo de las Juntas, el Cárcava se encuentra rectificado desde los años 50, al menos; como asimismo ocurre con el citado arroyo de Las Juntas entre su confluencia con el Cárcava y el puente sobre la Autovía Bollullos-Almonte, al norte.



Foto 1. Cauce rectilíneo de lecho arenoso colmatado en el tramo alto del A. Cárcava donde la sección del canal es prácticamente inapreciable (Estación de muestreo nº 50).



Foto 2. Presencia de vegetación invasora (*Arundo donax*) que ocupa parte del fondo del lecho colmatado de arenas (Estación de muestreo nº 50).



Foto 3. Efectos de la arroyada concentrada como resultado de la actividad extractiva de áridos en las laderas de la cabecera del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 51).



Foto 4. Desarrollo de cárcavas de dimensiones métricas resultado de la progresión de la arroyada concentrada en los taludes de una cantera en la cabecera del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 51).



Foto 5. Progresión de la arroyada concentrada en zonas de desmonte en la cabecera del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 49).



Foto 6. Planta de extracción de áridos donde se observa los diferentes rebajes del terreno y la ausencia de vegetación una vez se ha explotado (Estación de muestreo nº 51).



Se reconocen también sectores del canal de cuyos fondos se extrae el material arenoso que los colmata, el cual se utiliza luego para el peraltado de las orillas; operación ésta en la que asimismo se usan otros parapetos como sacos terreros e incluso muros de obra (Fotos 7 y 8). Todo ello tiene como objetivo la protección artificial de los labrantíos aledaños a los canales, ámbitos que se han vuelto inundables merced al taponamiento de los mismos así como al incremento de la escorrentía. Este efecto es cada vez más importante a causa del aumento de la impermeabilización de los terrenos que trae consigo la expansión de los cultivos bajo plástico, a lo que contribuyen tanto los utilizados en las propias plantaciones como los que aparecen abandonados ocupando habitualmente el fondo de los canales. Se están favoreciendo así unas condiciones de “polderización” de las márgenes de los canales, lo cual refuerza aún más el deterioro de un Dominio Público Hidráulico (DPH), ya de por sí intensamente desnaturalizado no sólo a causa de su ocupación para uso agrícola, sino también como consecuencia de su compartimentación en recintos vallados para albergar ganado (Fotos 9 y 10), o de la realización de canales artificiales para desagües (Foto 11), de construcciones relacionadas con la captación de aguas, de vados, etc.



Foto 7. Peraltado de orillas de un tributario del arroyo Cárcava en su margen derecha constituido por sacos terreros al desaparecer la sección del cauce por colmatación (Estación de muestreo nº 68).



Foto 8. Construcción de un muro de ladrillos, con refuerzo de escombros, ubicado en el lado externo de la curvatura de un tributario del A. Cárcava para intentar evitar que el arroyo ocupe parte de una parcela agrícola. (Estación de muestreo nº 52).



Foto 9. Usurpación del Dominio Público Hidráulico mediante la implantación de cercas en la cabecera del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 48).



Foto 10. Parcelas compartimentadas y cercadas para uso ganadero en zonas de Dominio Público Hidráulico (Estación de muestreo nº 48).



Foto 11. Canalizaciones artificiales con estructura de obra para el favorecer drenaje y desecación de parcelas ganaderas que son atravesadas por el arroyo de La Cárcava en su cabecera (Estación de muestreo nº 48).

## **7.2.2. Tramo 2. Calancha Alto**

*Desde la cabecera hasta la localidad de Rociana*

El cauce principal y sus colectores secundarios presentan un dispositivo de lineal a levemente sinuoso de tipo monocanal. Tanto uno como otros se presentan incididos en el sustrato areno-margoso y con lechos semicolmatados por depósitos de arena que, en algunos sectores, como en el caso del tramo de cabecera del Cárcava, alcanzan la parte alta de la orilla, lo que impide apreciar el modelado del tránsito canal/orilla. Desde el punto de vista morfosedimentario la desarticulación del sistema fluvial es bastante intensa.

Al igual que en el Cárcava, las áreas de cabecera de este tramo se encuentran alteradas por la existencia de numerosas canteras de extracción de áridos que generan una intensa remoción del terreno, así como por el desarrollo de un elevado número de desmontes de parcelas con uso forestal que se han transformado en áreas de cultivo intensivo bajo plástico (Fotos 12 y 13). Dichas acciones han dado lugar a la reactivación de la arroyada concentrada y la aparición de zonas afectadas por procesos intensos de acarcavamiento (Foto 14). Se reconocen, igualmente, algunos sectores de este tramo en los que se han peraltado de forma artificial las orillas con el material arenoso del fondo del canal e incluso con la utilización de otros materiales (material de obra, tocones de eucaliptos, chapas, etc.) (Foto 15), así como zonas donde se ha extraído material del fondo del canal (Foto 16). El ámbito de DPH se presenta altamente alterado y desnaturalizado como consecuencia de la ocupación antrópica del mismo con cultivos, parcelaciones, construcciones, ganado, etc.

En el esquema geomorfológico T2 (Fig. 76) se pone de manifiesto la importante transformación experimentada por los sectores de cabecera del arroyo de El Partido durante las últimas décadas. En el sector analizado se evidencia el cambio de usos del suelo experimentado con el paso de un uso forestal (zona norte del sector) y agrícola (zona sur), a un uso de carácter extractivo (canteras), que ha determinado la progresión de procesos de erosión generalizada y la puesta en circulación de una gran cantidad de sedimentos. Los cauces originales han quedado prácticamente

desmantelados, reconociéndose solo algunas canalizaciones artificiales y algunos tramos naturales desconectados que reconducen el agua y los sedimentos a la red fluvial.



Foto 12. Explotación de áridos en la cabecera del arroyo Calancha (Estación de muestreo nº 57).

### 7.2.3. Tramo 3. Colmenar Alto

*Desde la cabecera hasta la confluencia del arroyo Vizcaíno*

Exceptuando el arranque del cauce principal del Colmenar desde la divisoria de aguas hasta el paraje conocido como El Pozito, al sur de la localidad de Bonares, que no registra procesos erosivos reseñables y constituye, en esencia, un humedal aluvial (criptohumedal) con presencia de *Scirpus holoschoenus* (Foto 17), el resto del tramo presenta un dispositivo de lineal a levemente sinuoso, con canal único encajado en el sustrato areno-margoso y lechos semicolmatados por depósitos arenosos que alcanzan en algunos sectores las partes altas de las orillas (Foto 18).



Foto 13. Parcelas desmontadas para implantación de cultivos bajo plásticos en la cabecera del arroyo Calancha, al N de la Autovía A-49 (Estación de muestreo nº 57).



Foto 14. Progresión de la arroyada concentrada en regueros en la cabecera del arroyo Calancha (Estación de muestreo nº 57).



Foto 15 Refuerzo del peralte de las orillas mediante el uso de tocones de eucaliptos en la cabecera del arroyo Calancha (Estación de muestreo nº 56).



Foto 16. Limpieza y arrastre de materiales del fondo del canal con maquinaria pesada a la salida del arroyo Calancha por la Autovía A-49 (Estación de muestreo nº 56).

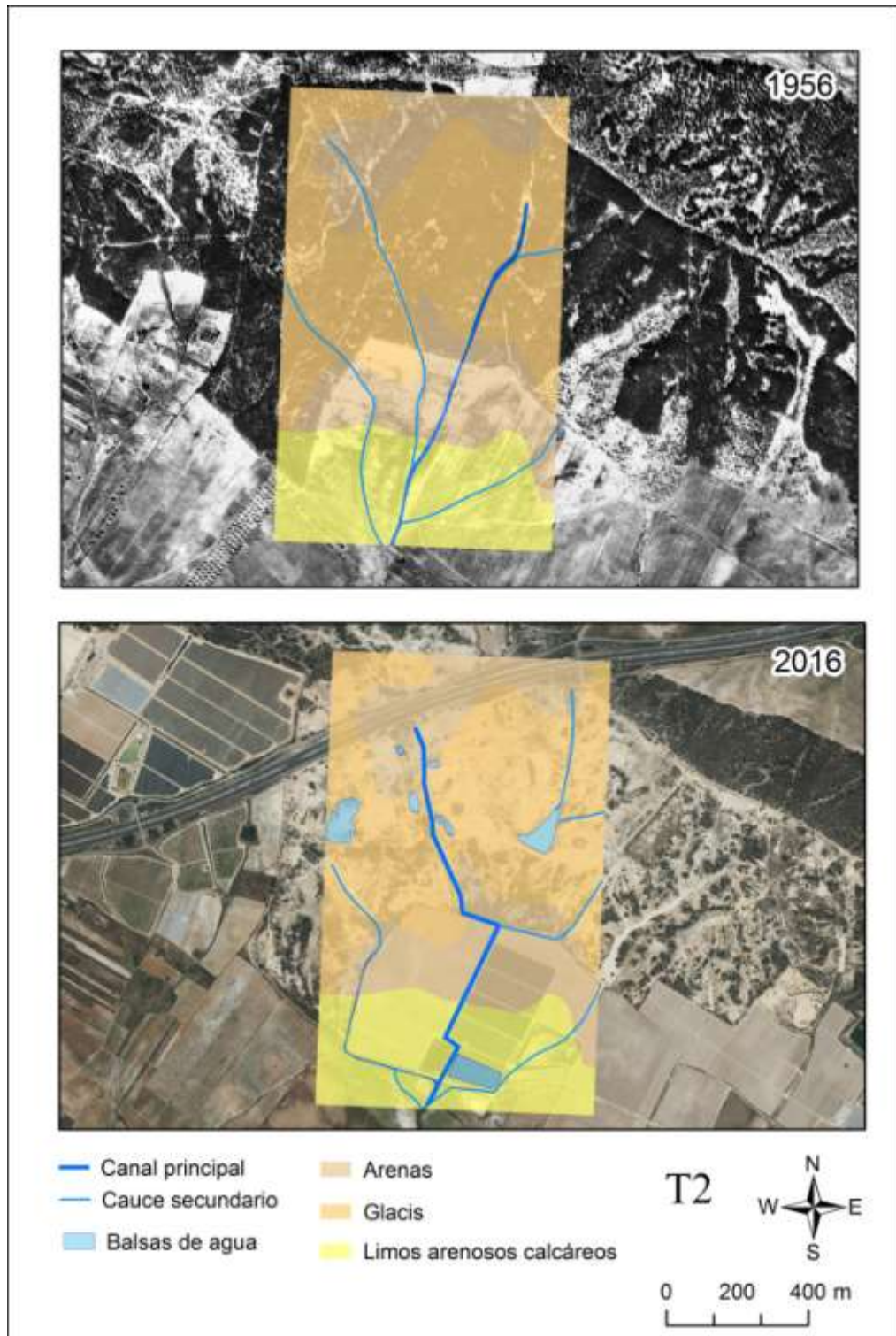


Figura 76. Esquema geomorfológico T2 en el tramo Calancha Alto.





Foto 17. Comunidades vegetales de hidrófilas en el tramo de cabecera del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 23).



Foto 18. Canal rectilíneo (rectificado) con fondo relleno sedimentario en el tramo alto del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 26).

Las áreas de cabecera del cauce principal y, sobre todo, la de algunos de sus colectores por la margen izquierda, como es el caso del arroyo Vizcaíno, constituyen áreas especialmente alteradas por la extracción de áridos (Fotos 19 y 20), el desmonte relacionado con la explotación del eucalipto y la implantación de cultivos bajo plástico que requieren de empleo de maquinaria pesada para aplanar el terreno (Fotos 21 y 22). Dicha afección trae como resultado una profunda alteración del sistema fluvial, cuya expresión más notable es el desarrollo generalizado de los sistemas de arroyadas concentradas.



Foto 19. Cabecera de barranco con fondo plano con paredes que se mantienen verticales en el entorno del arroyo Vizcaíno (Estación de muestreo nº 62).

Especialmente representativo de este tipo de funcionamiento es el caso del arroyo del Vizcaíno, afluente por la margen izquierda del arroyo Cárcava, cuya cabecera arranca en una zona de extracción de áridos (cantera). El aporte de material sedimentario al cauce del arroyo Vizcaíno proveniente de la cantera ha generado la acumulación de importantes depósitos de sobrecañal en el sector próximo a su desembocadura, favorecido también en esta ocasión la existencia de un obstáculo transversal al canal como la carretera A-484 que une las localidades de Almonte y Niebla. Este hecho ha

provocado el desarrollo de importantes depósitos de sobrecanal y barras arenosas de grandes dimensiones (Fotos 23 y 24).



Foto 20. Planta de extracción áridos y balsa de agua situadas en la cabecera del arroyo Vizcaíno, en la margen izquierda del tramo alto del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 62).



Foto 21. Preparación de parcelas con maquinaria pesada para la implantación de invernaderos junto a la carretera A-484, en la margen izquierda del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 63).



Fotos 22. Ídem fotografía 21 una vez instaladas las estructuras metálicas de los invernaderos (Estación de muestreo nº 63).



Foto 23. Abanico aluvial en el tramo final del arroyo Vizcaíno, afluente de la margen izquierda del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 27).



Foto 24. Ídem foto 23, en la que se muestra el desarrollo del abanico aluvial condicionado por la presencia de la carretera A-484 que actúa como barrera transversal (Estación de muestreo nº 27).

Aguas abajo de la incorporación del arroyo Vizcaíno, el arroyo Colmenar presenta actualmente un canal, o bien colmatado por depósitos arenosos y/o desmantelado morfológicamente, o bien desobturado y rectificado para facilitar el desalojo del flujo y de agua y carga sólida (Fotos 25 y 26).

En la figura 77 se muestra el esquema geomorfológico T3 en que se aprecia como las consecuencias del desmonte de terrenos forestales o agrícolas para su puesta en explotación como canteras, generan un deterioro irreversible en el funcionamiento del sistema fluvial de ese sector. El desmantelamiento de la red de cauces y la progresión de los procesos de arroyada concentrada suponen la puesta en circulación de gran cantidad de sedimentos que, en el caso concreto del arroyo del Vizcaíno terminan por sedimentarse en gran medida como depósitos de fondo de canal y sobrecañal, justo antes de la incorporación de este al cauce principal del Colmenar, debido a la existencia del obstáculo transversal que supone la carretera A-484, tal como se ha comentado anteriormente.



Foto 25. Canal rectificado y con el fondo relleno de material sedimentario en el tramo alto del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 63).



Foto 26. Tramo colmatado del arroyo Colmenar y peraltado artificial de orillas para evitar la inundación de los campos de cultivos aledaños (Estación de muestreo nº 65).

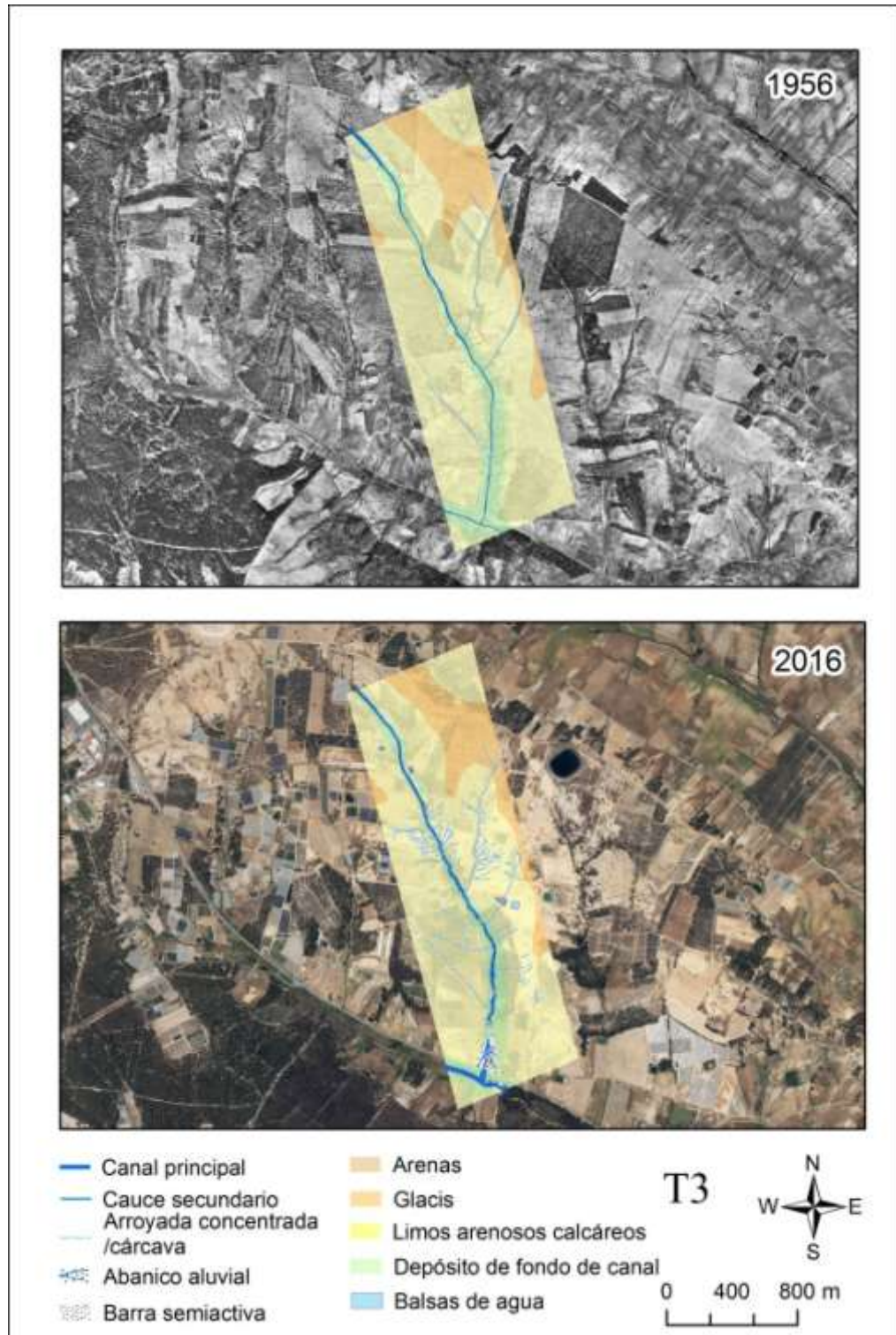


Figura 77. Esquema geomorfológico T3 en el tramo Colmenar Alto.

#### **7.2.4. Tramo 4. Cárcava Medio**

*Desde el arroyo de las Juntas hasta el arroyo de la Cerrada*

Aguas abajo de la confluencia con el arroyo de las Juntas, el cauce del Cárcava aumenta algo su sinuosidad llegando a conformar meandros que, aunque muy elementales y por regla general encajados en el sustrato, presentan ya ámbitos plenamente aluviales. Los canales aparecen ahora colmatados (Fotos 27 y 28), inmersos en una dinámica general de fenómenos de derrame que tienen como consecuencia la conformación de depósitos arenosos alojados fuera del canal, entre los que se distinguen lóbulos de floodout y mantos de arena de llanura aluvial (floodplain sand sheet) (Fotos 29 y 30), así como todo un cortejo de ellos debidos al desarrollo de procesos de avulsión.



Foto 27. Cauce totalmente colmatado en el que apenas se percibe la sección del canal en el tramo del arroyo de La Cárcava localizado al SW del núcleo urbano de Bollullos Par del Condado (Estación de muestreo nº 54).





Foto 28. Ídem foto 27 (Estación de muestreo nº 54).



Foto 29. Depósitos derrame (*floodout*) en la margen izquierda del arroyo de La Cárcava al S del núcleo urbano de Bollullos Par del Condado, justo aguas arriba de la Autovía A-483 (Estación de muestreo nº 55).



Foto 30. Mantos de arenas en la llanura aluvial (*floodplain sand sheet*) del arroyo de La Cárcava al S de Bollullos Par del Condado (Estación de muestreo nº 55).

Los denominados lóbulos de floodout se asocian a discontinuidades en el canal y se forman asociados a rupturas de pendiente o cuando, tras un recorrido despejado por el mismo, el flujo alcanza un trecho colmatado, registrándose en cualquiera de los casos una importante caída en su velocidad. Por su parte, los mantos de arena se vinculan a eventos de alta energía y situaciones de carga extrema, bajo los que las arenas del lecho ocupan la superficie de la llanura aluvial distribuyéndose por las partes más bajas de su topografía. Constituyen sedimentos masivos, pobremente clasificados con pocas variaciones laterales de facies y muestran un techo plano o levemente ondulado. Finalmente, los depósitos de avulsión tienen que ver con situaciones de inestabilidad lateral del canal, cuyo resultado se cifra, entre otras posibles situaciones, en el cambio completo del trazado del mismo en la llanura, la aparición de un nuevo canal y el abandono del primigenio que ahora queda a cotas más elevadas. En cualquiera de estos casos es necesario que, junto a la abundante disponibilidad de sedimentos en el canal, concurra la presencia de flujos lo suficientemente competentes como para poder remontarlos desde el lecho hasta la llanura aluvial o poder abrir una nueva trayectoria de desagüe. Estas circunstancias suelen ponerse en relación con los efectos producidos aguas abajo de una ruptura de pendiente

o en el tránsito de una situación de flujo confinado a otra de flujo no confinado. Este efecto podría estar consiguiéndose en el caso del tramo Cárcava Medio como consecuencia de las canalizaciones existentes desde hace décadas aguas arriba, tanto sobre el citado Cárcava como sobre el arroyo de las Juntas.

Desde el punto de vista de la afección humana, este Tramo del cauce fluvial de La Cárcava se presenta intensamente manejado en lo que respecta tanto al canal como a las orillas y los ámbitos anejos de llanura aluvial. Sobre los canales cabe destacar la incidencia de actuaciones encaminadas a la desobstrucción y rectificación parcial de los mismos; sobre las orillas destacan los significativos realces artificiales mediante peraltes de orden métrico (Fotos 31 y 32). Finalmente, también se observa cómo los efectos de la colmatación y el crecimiento vertical de la llanura aluvial se dejan sentir sobre los usos agrícolas que venían dándose sobre de la misma, siendo frecuente la presencia de aterramientos en los extremos próximos al río de las plantaciones (frutales, olivar, huerta...) (Fotos 33 y 34), existiendo algunas afectadas incluso por la pérdida de ejemplares arbóreos y/o el abandono de la propia actividad.



Foto 31. Acumulación de material arenoso extraído del canal del arroyo de La Cárcava en el que ha progresado el matorral de caña (*Arundo donax*) y que posteriormente ha sido retirado con maquinaria pesada (Estación de muestreo nº 53).

El esquema geomorfológico T1 (Fig. 78) muestra, en primer lugar, la simplificación del canal principal de La Cárcava en este tramo con la desaparición de varios canales de crecida o canales secundarios desde año 1956 a la actualidad, fruto de la intensa actividad agrícola registrada en este sector. Por otra parte destaca la presencia de lóbulos de *floodout* y mantos de arena de llanura aluvial (*floodplain sand sheet*) de sobre canal que, en este caso, concreto alcanza una extensión de 26.392 m<sup>2</sup> en forma de lóbulo, con un eje mayor de 350 m de longitud y una anchura máxima de 130 m.



Foto 32. Peraltado de las orillas con materiales arenosos procedentes del propio canal en el tramo medio del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 55).



Foto 33. Depósito arenoso sobre la llanura aluvial en el tramo medio del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 55).



Foto 34. Peraltado de orillas para evitar la inundación de los viñedos en el tramo medio del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 55-11).

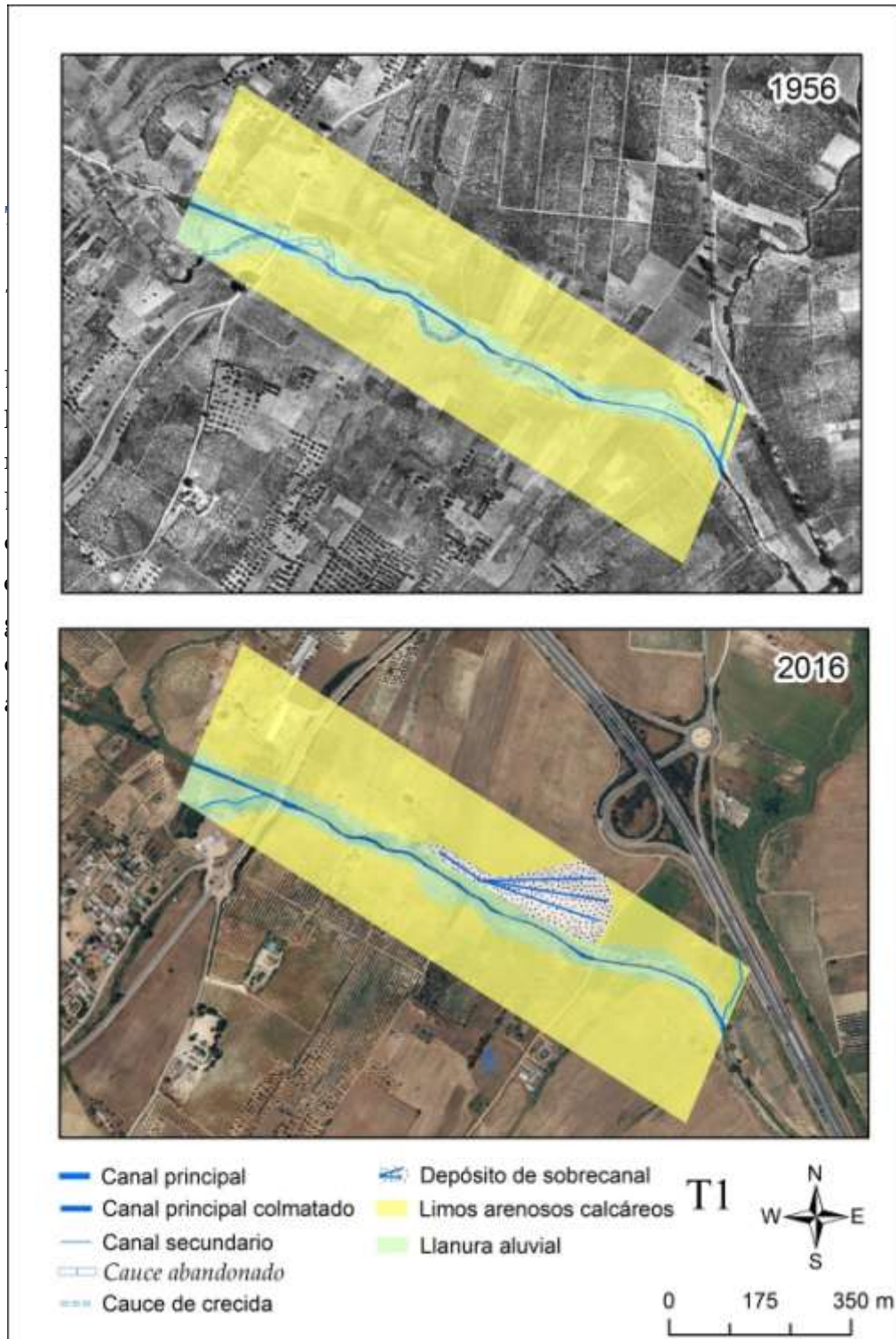


Figura 78. Esquema geomorfológico T1 en el tramo Cárcava Medio.

### 7.2.5. Tramo 5. CalanCHA Urbano

#### *Tramo urbano en el sector suroeste de Rociana*

El tramo del CalanCHA que atraviesa la localidad de Rociana, rectificado en los años ochenta en una longitud aproximada de 1,5 km, muestra un carácter rectilíneo y totalmente desnaturalizado con dos sectores bien diferenciados. El primero de ellos, con una anchura comprendida entre los 12 y 18 m, comienza aguas arriba del caserío de Rociana y muestra un canal rectificado en el que su fondo y orillas han sido protegidos por muros de hormigón y de gaviones (Foto 35). En este sector el caserío se extiende hasta el mismo borde del canal, llegando en ocasiones a condicionar su trazado la existencia de algún edificio (Foto 36).

El segundo de ellos, por su parte, se inicia aguas abajo del puente de la carretera de Bonares, y en él las estructuras de hormigón solo se conservan en el fondo, mientras que las orillas solo se ven protegidos por gaviones de 1 altura, viéndose, además, realizadas por la acumulación del material desalojado del fondo (Foto 37). El perfil transversal del canal en este tramo ha sufrido una reducción muy importante en anchura, quedando ahora en torno a los 4-5 m (Foto 38). La urbanización reciente del tramo final presenta un callejero que alcanza hasta la misma orilla del canal.

Todo este dispositivo ha incrementado la velocidad del flujo así como su capacidad de transporte provocando, por una parte, efectos de erosión remontante en el sector situado aguas arriba de la canalización y, por otra, un incremento de los procesos de agradación aguas debajo de ésta (*vid. infra tramo 7*).



Foto 35. Canalización artificial del arroyo Calancha compuesta por losa de hormigón y orillas de gaviones de 2 alturas aguas arriba del núcleo urbano de Rociana del Condado (Estación de muestreo nº 60).



Foto 36. Canalización artificial del arroyo Calancha en el núcleo urbano de Rociana del Condado con presencia de construcciones hasta el borde la propia canalización (Estación de muestro nº 60).





Foto 37. Canal artificial del arroyo Calancha con losa de hormigón en el núcleo urbano de Rociana del Condado (Estación de muestro nº 60).



Foto 38. Última ampliación del canal artificial del arroyo Calancha en el tramo urbano de Rociana del Condado en el que se muestra en primer plano un muro de hormigón, para reducir la sección del canal, que continúa aguas abajo reforzado con muro de gaviones a tres alturas (Estación de muestro nº 60).

### **7.2.6. Tramo 6. Cárcava Medio-Bajo**

*Desde la confluencia del arroyo de la Cerrada con el Cárcava hasta 300 m aguas abajo del cruce de la Autovía A-483*

Se trata de un cauce de canal único encajado sobre el sustrato, de trazado sinuoso con meandros pronunciados (corto radio de curvatura), que presenta un alto grado de desnaturalización en lecho y orillas debido a obras de acondicionamiento hidráulico, consistente tanto en la construcción de canales sobre su antiguo trazado, como en la apertura de canales artificiales completamente ajenos al dispositivo originario y el acondicionamiento de lechos y orillas.

En las inmediaciones de la localidad de Bollullos, el arroyo de La Cerrada discurre en un tramo urbano a través de un canal artificial en forma de uve y con paredes revestidas de mampostería (Fotos 39 y 40). Aguas abajo de este sector, el arroyo de La Cárcava presenta un canal labrado de forma artificial con orillas rectas y pendiente elevada ( $\pm 60^\circ$ ), en parte sobre material de acarreo (Fotos 41 y 42). No obstante, el diseño de estas obras ha intentado replicar el antiguo trazado meandriforme.



Foto 39. Tramo urbano del arroyo de la Cerrada a su paso por la localidad de Bollullos Par del Condado, con sellado de mampostería y en forma de V (Estación de muestreo nº 67).



Foto 40. Ídem foto 39 con drenaje lateral de escaso calado y construido con hormigón (Estación de muestreo nº 67).

No ocurre así aguas abajo, donde la canalización presenta un trazado rectilíneo alineándose en paralelo a la margen oriental de Autovía A-483 hasta La Cárcava, mientras que los restos del canal antiguo quedan abandonados en su margen occidental. La confluencia del Cárcava con el de La Cerrada se resuelve, en el sector correspondiente al primero de estos arroyos, mediante importantes obras de acondicionamiento consistentes en el refuerzo de las orillas con escollera cementada en los apoyos del puente de la Autovía (Foto 43). Por su parte, en el sector aguas abajo de dicha confluencia se ha implantado un sistema de gaviones de 4 alturas para proteger las orillas (Foto 44), mientras que en el lecho se disponen una serie de diques transversales que se ven sobremontados por sistemas de barras de arenas centrales y adosadas.



Foto 41. Remodelación artificial de la morfología del canal del arroyo de La Cerrada con maquinaria pesada y diseño de orillas con taludes a 45° desarrollados sobre material de relleno (escombros) (Estación de muestreo nº 67).



Foto 42. Ídem foto 41 y desarrollo de meandros artificiales (Estación de muestreo nº 67).



Foto 43. Protección de escolleras aguas abajo del paso de aguas del arroyo de La Cárcava en la Autovía A-483 (Estación de muestreo nº 11).



Foto 44. Tramo rectificado y refuerzo de las orillas mediante sistema de gaviones de 4 alturas y umbrales transversales de fondo aguas abajo de la confluencia del A. de La Cárcava y la Autovía A-483 (Estación de muestreo nº 11).

Este conjunto de actuaciones (escollera, diques y gaviones) vendría precedido por una sensible incisión del canal de La Cárcava, como consecuencia del incremento de la capacidad erosiva de este colector, debido a la pérdida de la carga arenosa de la que se acaba de liberar aguas arriba (*vid. supra* Tramo 4), más la entrada de las aguas canalizadas del arroyo de La Cerrada. Esta nueva situación da como resultado la implantación de una dinámica erosiva que proveerá de materiales al nuevo flujo que serán transportados aguas abajo.

### **7.2.7. Tramo 7. Colmenar Medio/Bajo - Calancha Bajo**

*Colmenar desde aguas abajo de la confluencia del Vizcaíno y Calancha desde Rociana hasta la confluencia de ambos y desde ésta hasta el puente sobre la carretera Almonte-Niebla (A-484)*

Este tramo en general presenta cauces sinuosos con canales únicos en la mayor parte de su recorrido, con meandros regulares poco marcados y llanura aluvial de escaso desarrollo. En el caso del Colmenar Medio los canales aparecen, por regla general, incididos en el sustrato y los lechos presentan un alto grado de colmatación llegando a enrasar con las orillas. Especialmente problemático es el tramo de canal que discurre en paralelo al Camino de los Andadores, aguas abajo del cruce entre las carreteras A-484 y la HU-3109 que da acceso a la localidad de Rociana del Condado. En este tramo es habitual el desarrollo de lóbulos de *floodout* y mantos de arena de llanura aluvial (*floodplain sand sheet*) (Foto 45 y 46) y especialmente la colmatación del canal que obliga a la realización de tareas periódicas de desobturación, como las que se llevaron a cabo en el invierno de 2013, en las que fue necesaria la participación de maquinaria pesada y camiones de gran tonelaje (Foto 47), y que no sirvieron de mucho, pues dos inviernos más tarde (invierno 2015) el canal estaba nuevamente obturado (Foto 48).

El azolvamiento de los canales en este tramo provoca habitualmente procesos de avulsión en determinados puntos en los que el flujo es incapaz de movilizar la carga sedimentaria y posee la energía y capacidad suficientes como para abrir nuevos canales (Fotos 49 y 50).



Foto 45. Lóbulos de *floodout* localizados en la margen izquierda del arroyo Colmenar, al S del núcleo urbano de Rociana del Condado (Estaciones de muestreo nº 65-61).



Foto 46. Mantos de arena (*floodplain sand sheet*) en la margen izquierda del arroyo Colmenar, al S del núcleo urbano de Rociana del Condado (Estaciones de muestreo nº 65-61).



Foto 47. Tareas de desobstrucción mecánica del arroyo Colmenar en el invierno de 2013 debido a la colmatación del lecho. Obsérvese al fondo de la imagen la altura del material extraído apilado (Estaciones de muestreo nº 65-61).



Foto 48. Ídem foto 47 nuevamente colmatado en el invierno de 2015 (Estaciones de muestreo nº 65-61).





Foto 49. Proceso de avulsión en el arroyo Colmenar visto hacia aguas arriba durante el invierno de 2010 (Estaciones de muestreo nº 65-61).



Foto 50. Ídem foto anterior visto hacia aguas abajo (Estaciones de muestreo nº 65-61).

En general, este tramo exhibe un importante manejo hidráulico del cauce, consistente en operaciones de rectificación y recrecimiento artificial de orillas, orientadas a redefinir su sección, tanto en profundidad como en anchura, al objeto de facilitar el drenaje de la carga sólida. No obstante, esta ampliación de la sección del canal ha inducido una pérdida de la competencia del flujo que, seguida de una rápida deposición de materiales arenosos, que lo ha devuelto a las condiciones de colmatación de partida.

En el caso del Colmenar Bajo algunos sectores han sido rectificadas y sus orillas recrecidas artificialmente (Foto 51 y 52), propiciando la aparición de un canal desconectado morfológica y funcionalmente de la llanura aluvial. En estos casos los problemas de colmatación se agravan incrementándose la frecuencia de los eventos de inundación que afectan a estos ámbitos.



Foto 51. Colmatación del arroyo Colmenar y presencia de material en las zonas aledaña a la orilla izquierda (Estaciones de muestreo nº 65-61).



Foto 52. Recrecimiento artificial (> 1 m) de las orillas en el tramo bajo del arroyo Colmenar que impide su conexión natural con la llanura aluvial (Estaciones de muestreo nº 65-61).

En el caso del Calancha se reconocen, igualmente, sectores en los que el canal ha sido recrecido (Foto 53). Aguas abajo del casco urbano de Rociana, esta situación ha inhibido el uso agrícola de las márgenes de este tramo fluvial, hasta el punto, que actualmente se llevan a cabo actuaciones de rellenos con material de acarreo encaminadas a elevar la rasante del área por encima de una cota de seguridad que permita un nuevo uso, en este caso, de carácter urbano/industrial (Foto 54).

Desde el punto de vista antrópico este tramo presenta una notable actividad centrada en la remoción de depósitos de sobrecanal, tareas periódicas de desobturación de cauces, incluso, con maquinaria pesada, el recrecido de orillas, el relleno de la llanura aluvial con materiales de acarreo, etc.



Foto 53. Peralto de orillas y desconexión del canal con la llanura aluvial (Estaciones de muestreo nº 61-66).



Foto 54. Relleno de la llanura aluvial con materiales de acarreo (Estaciones de muestreo nº 60-61).

### 7.2.8. Tramo 8. Cárcava Bajo

*Desde 300 m aguas abajo del puente sobre la Autovía A-483 en las proximidades de Bollullos hasta el puente sobre la A-483 en el sector suroeste de Almonte*

Se trata de un cauce expandido que se encaja varios metros en el sustrato terciario (limos-arenosos calcáreo del Mioceno superior), con una anchura que a veces supera los 100 m y que presenta un trazado con dispositivo de sinuoso a levemente meandrinoso (Foto 55). Presenta un canal de tipo múltiple con una activa dinámica de meandros que se manifiesta en una traslación aguas abajo de los mismos y, en algunos casos, procesos de extensión y rotación (Fig. 79). Dicha dinámica de meandros es la responsable, en principio, del ensanchamiento del cauce por erosión de las orillas, las cuales se presentan verticalizadas (Foto 56). El proceso se inicia con el socavamiento basal (*undercutting*) de la pared del cauce asociada a la margen externa del meandro, adquiriendo su mayor efectividad en los momentos de crecida; tras estos eventos de alta energía la orilla adquiere un perfil verticalizado quedando sometida a los procesos de descompresión y caída de lienzos (*slab failure*) (Foto 57). El lecho de este tramo es de carácter arenoso y se compone de abundantes barras tanto adosadas y centrales de tamaños variables, como de *point bar* (Foto 58).

Este proceso de encajamiento y expansión del cauce podría estar relacionado con los efectos de reajuste provocados por un flujo que, habiéndose liberado de gran parte de su carga sedimentaria en el tramo superior (*vid. supra* Tramo 4) y tras circular por el cuello de botella que supone el paso de agua de la Autovía, irrumpe ahora en este nuevo tramo con una gran capacidad erosiva, lo que se ve reforzado al recibir las aguas canalizadas del arroyo de La Cerrada (*vid. supra* Tramo 6).

Esta dinámica se ha mantenido y reforzado en el tiempo obligando a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir a acometer obras de refuerzo durante el año 2017, consistentes en la construcción de un muro de escollera de 2 m de alto a lo largo de la orilla izquierda, la más afectada por los procesos de erosión, a lo largo de casi 1 km (Foto 59 y 60). El diseño adoptado tras las obras de refuerzo presenta ahora un dispositivo aterrazado en la margen izquierda, consistente en una primera plataforma compuesta

por material arenoso acumulado en el trasdós de la escollera, y una segunda plataforma compuesta igualmente por material de relleno arenoso en el que se encaja el canal actual (Foto 61). La margen derecha mantiene más o menos su perfil original con una orilla verticalizada de varios metros de altura, aumentada en algunos sectores por la acumulación artificial de material arenoso extraído del canal, hoy día colonizado por cañaverales de *Arundo donax* (Foto 62).



Foto 55. Sector del arroyo Cárcava con paredes verticales (margen izquierda) y dinámica expansiva (Estación de muestreo nº 10).

En algunos sectores en los que no se ha actuado se reconoce la presencia de rellenos de escombros con la intención de frenar el avance de la erosión de las orillas y con ello la pérdida de terreno agrícola de las fincas aledañas al canal (Foto 63).

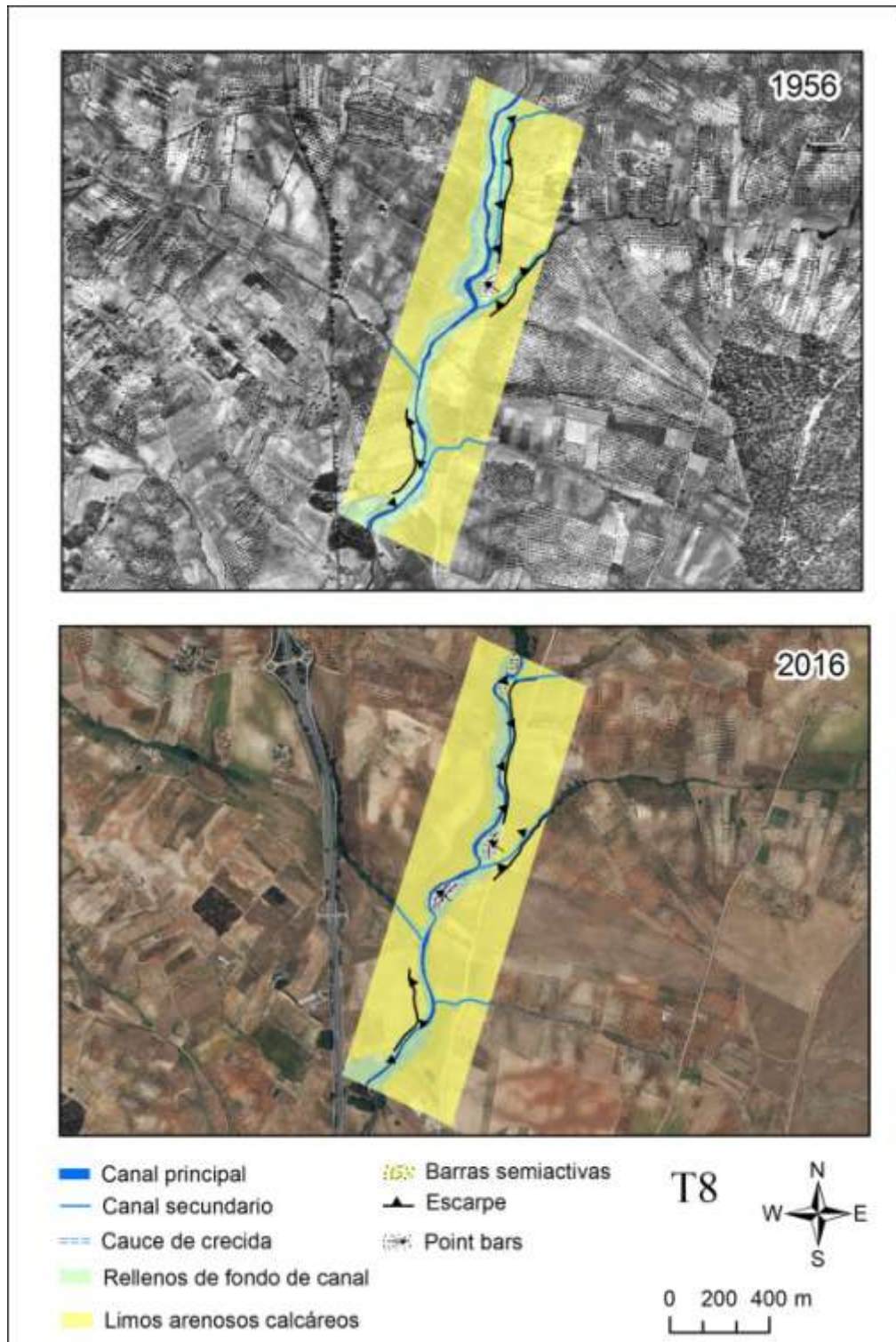


Figura 79. Esquema geomorfológico T8 en el tramo Cárcava Bajo.



Foto 56. Canal expandido en el tramo medio del arroyo Cárcava con paredes verticalizadas e incisión en el sustrato. Al fondo se aprecia el brocal de un pozo que ha quedado al descubierto (año 2006) (Estación de muestro nº 13).



Foto 57. Ídem foto 56 en la que la progresión de la erosión ha hecho desaparecer el brocal del pozo (invierno de 2015) (Estación de muestro nº 13).





Foto 58. Ídem fotos 57 y 56 vista aguas arriba y con desarrollo de las barras de meandro dentro del canal expandido (Estación de muestro nº 13).



Foto 59. Imagen de satélite correspondiente al momento en el que se estaban construyendo los diques de escolleras ubicados en la margen izquierda del tramo bajo del arroyo de La Cárcava durante el verano de 2017 (Fuente: Google Earth) (Estación de muestreo nº 13).



Foto 60. Visión panorámica desde dentro del canal del tramo rectificado del arroyo de La Cárcava un año después de su rectificación (año 2018) (Estación de muestreo nº 13).



Foto 61. Muro de escollera con dispositivo lineal en el canal del tramo rectificado del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 13).



Foto 62. Ídem foto 61 en la que se observa el peraltado y recrecimiento artificial de la orilla de la margen derecha (Estación de muestreo nº 13).



Foto 63. Refuerzo de la orilla de la margen izquierda con escombros del tramo bajo del arroyo de La Cárcava donde no se ha reforzado con escollera para evitar la progresión de la erosión (Estación de muestreo nº 13).

### **7.2.9. Tramo 9. Cárcava Bajo, Colmenar Bajo y Santa María Alto**

*Colmenar desde el puente de la carretera Almonte-Bonares hasta la confluencia con el Cárcava; Cárcava desde el puente sobre la A-483 en Almonte hasta la confluencia con el Colmenar; y Santa María alto hasta el vado del Chivo*

En general, el carácter que puede definir este tramo es el de la coexistencia de grandes lóbulos arenosos de sobrecañal con elementos conservados del tipo llanura aluvial y terrazas históricas. El dispositivo del cauce es de tipo meandriforme con un canal único que se convierte en dos o más según los sectores. El canal presenta igualmente un carácter meandriforme con tornos, en algunas ocasiones, de corto radio de curvatura. Presenta una ribera en la que se reconocen elementos morfosedimentarios conservados del tipo llanura aluvial más terraza histórica, que indican una situación menos afectada por el desequilibrio que caracteriza a los tramos descritos aguas arriba en esta misma subcuenca.

En el sector correspondiente del Cárcava Bajo destaca la presencia de orillas escalonadas correspondientes a dos niveles de terrazas recientes ( $\pm 1$  m) (Foto 64), sobre los que incluso, se reconoce alguna morfología de paleocanal, y un lecho con abundantes barras arenosas adosadas y centrales y, especialmente, de point bar. Destacan, igualmente, algunos sectores en los que se reconocen depósitos arenosos de sobrecañal (Foto 65).

En la figura 80, que corresponde al esquema geomorfológico T9-2 (Cárcava Bajo), se reconoce para el año 1956 un cauce con una marcada sinuosidad, con numerosos meandros y desarrollo de *point-bars* (sector N del área cartografiada). Por su parte, en la actualidad, este sector mantiene el carácter meandrinoso, generando pequeñas barras activas en el interior del canal, así como, un depósito de *point-bar* en el extremo S, antes de la conexión con el arroyo Colmenar.



Foto 64. Niveles de terrazas históricas en el tramo final del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 2).



Foto 65. Depósitos de sobrecanal en el tramo final del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 2).

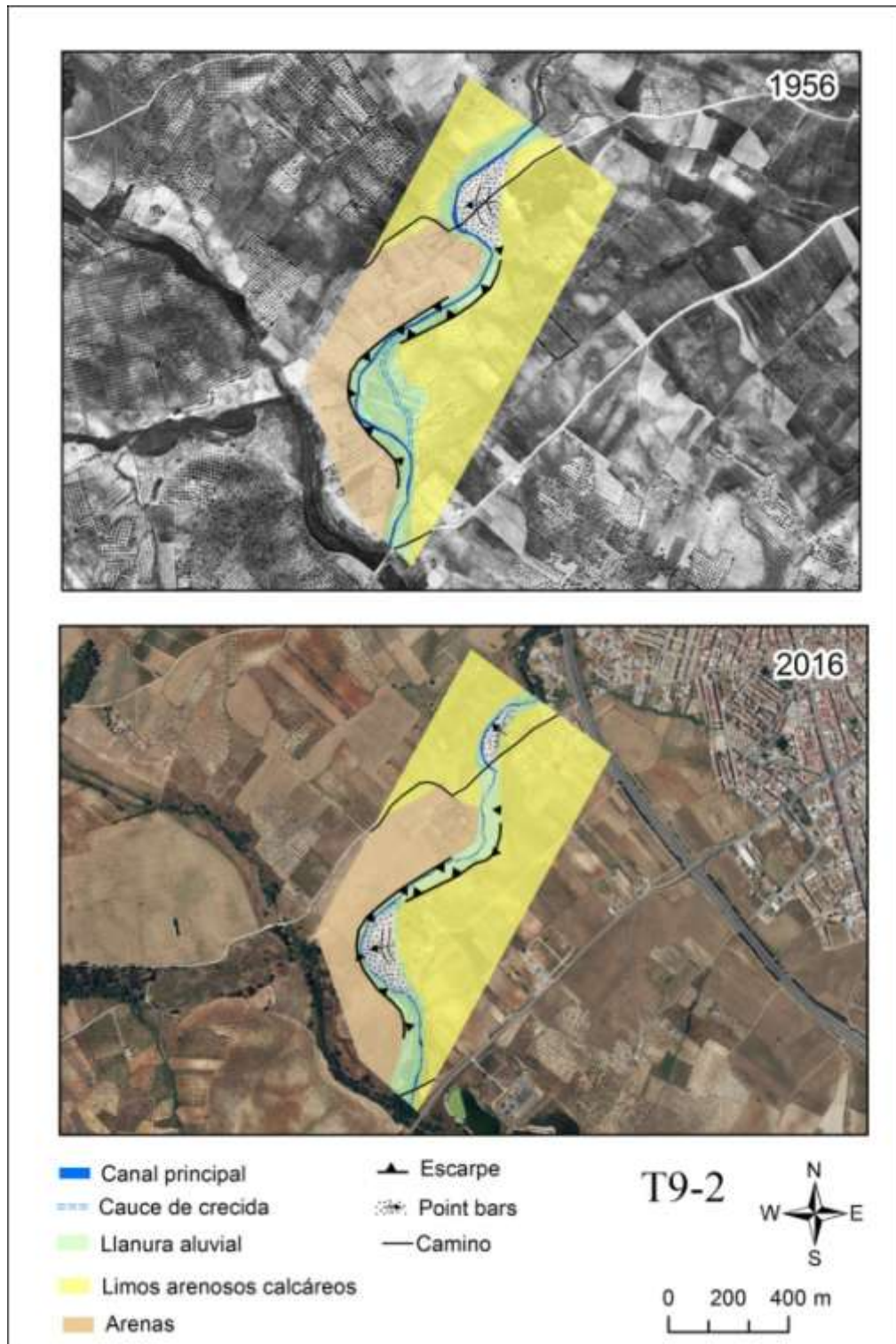


Figura 80. Esquema geomorfológico T9-2 en el tramo del Cárcava Bajo.

A pesar de constituir uno de los tramos relativamente mejor conservados de toda la red de drenaje del arroyo de El Partido, se reconocen en él ciertos sectores en los que la acción antrópica deja sentir sus efectos. En los vados que atraviesan el canal se reconocen acumulaciones de material arenoso situados aguas arriba de los mismos que impiden reconocer el modelado de canal/orilla (Foto 66). Por contra, aguas abajo de los mismos se produce un fenómeno de incisión que por lo general suelen rellenarse con diversos materiales de acarreo (escombros y otros materiales de vertedero) (Foto 67).

El sector correspondiente al Colmenar Bajo presenta canales múltiples en ocasiones con meandros bastante cerrados divagantes en un canal ancho y poco incidido, salvo en la parte final del tramo, en las proximidades de la confluencia con el Moriana, donde las orillas adquieren un perfil más verticalizado, salvando desniveles comprendidos entre 1 ó 2 m de altura. Son abundantes los depósitos de point bars asociados a los meandros, así como las barras centrales y laterales. En este sector la vegetación de ribera está presente en algunos pequeños rodales aislados, habiendo sido sustituida por un denso y continuo matorral de caña (*Arundo donax*) (Foto 68).



Foto 66. Acumulación de sedimentos arenosos con desarrollo de *ripples* aguas arriba del vado del camino de Lucena del Puerto en el tramo final del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 2).



Foto 67. Material de acarreo y escombros depositados aguas abajo del Vado de Río seco (Estación de muestreo nº 1).



Foto 68. Predominio del cañaveral de *Arundo donax* en el tramo bajo del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 66).

En el sector correspondiente al Santa María Alto, se mantiene la dinámica de acumulación de depósitos de sobrecanal asociada a un cauce con canales



múltiples poco incididos en el sustrato (Fig. 81), que progresivamente se va convirtiendo aguas abajo en un cauce expandido y más incidido y en el que las orillas van adquiriendo un dispositivo vertical (Foto 69).

El manejo antrópico en este tramo se manifiesta en la existencia de numerosos vados que ejercen un efecto de acumulación aguas arriba de los mismos, y de incisión aguas abajo; en la presencia de parcelaciones del canal ("corralitos") (Foto 70); en la aparición puntos de vertidos de residuos sólidos (vertedero); en la realización de represas artificiales (Foto 71), etc.



Foto 69. El arroyo Santa María presenta un cauce incidido y expandido con orillas verticalizadas (Estación de muestreo nº 72).

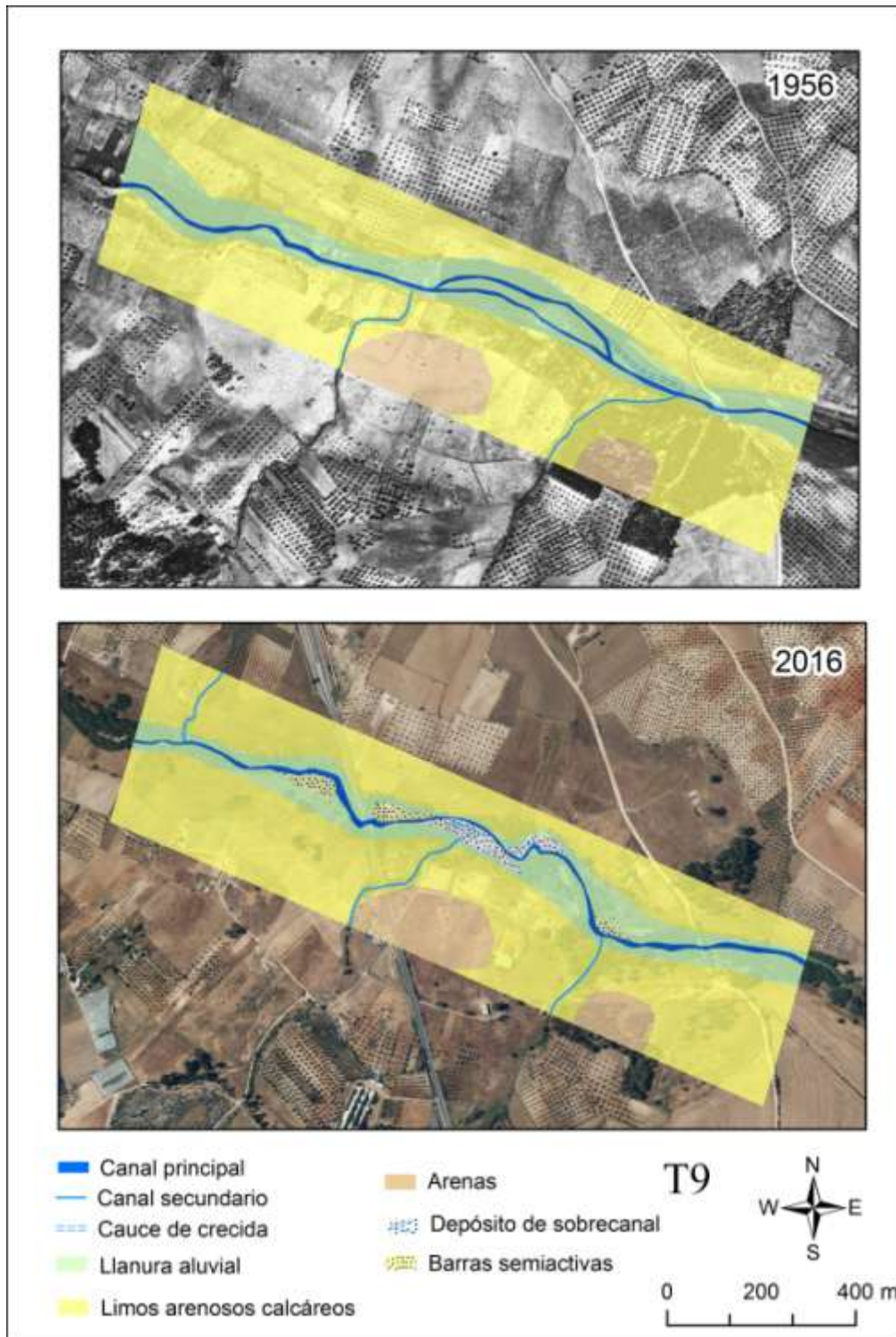


Figura 81. Esquema geomorfológico T9 en el tramo Santa María Alto.



Foto 70. Parcelaciones dentro del propio canal en el arroyo Santa María para albergar ganado conocidas localmente como “corrallitos” (Estación de muestreo nº 73).



Foto 71. Construcción de represas artificiales transversales al canal que interrumpe el flujo en las inmediaciones del vado del Chivo (Estación de muestreo nº 36).

### **7.2.10. Tramo 10. Santa María bajo**

*Desde vado del Chivo hasta La Palmosa*

Este tramo presenta un cauce de tipo expandido (Fotos 72 y 73) con sectores en los que alcanza anchuras superiores a los 100 m. El dispositivo general es de carácter sinuoso a meandriforme con orillas verticalizadas e incididas en el sustrato, que en la parte final del tramo alcanzan los 3-4 m de altura (Foto 74). El canal es de tipo múltiple, con dispositivo meandriforme, de carácter divagante e incidido en el sustrato. El lecho presenta abundantes barras de arena, tanto adosadas y centrales, como de *point bars*, con diferente cronología y grado de actividad (Fig. 82).

Desde el punto de vista hidrológico este tramo se corresponde con un orden 6 (el máximo identificado en la cuenca), pudiendo llegar a canalizar en momentos de crecida en torno a los 340 m<sup>3</sup>/s (Mintegui et al., 2003). Dicho caudal junto con la carga sólida que transporta generan, por un lado, un considerable trabajo erosivo puesto de manifiesto en el mencionado carácter expansivo del cauce y, por otro, dan lugar a la deposición de importantes volúmenes de sedimentos, principalmente arenosos, que quedan alojados dentro del canal (Foto 75). Del mismo modo la dinámica de meandros presente en este tramo genera un efecto de amplificación fenómeno de expansión, al tiempo que se encarga de re TRABAJAR los depósitos desde el punto de vista morfosedimentario (Foto 76), redistribuyéndolos aguas abajo.

El manejo antrópico en este sector es muy significativo, como consecuencia del alto dinamismo hidrogeomorfológico puesto de manifiesto anteriormente, concentrándose en la realización de actuaciones de corrección hidrológica, principalmente relacionadas con el refuerzo y protección de márgenes, realizadas a base de escollera (vado del Chivo, aguas arriba Palmosa...) (Fotos 77 y 78).



Foto 72. Cauce expandido e incidido en el arroyo Santa María (Estación de muestreo nº 37).



Foto 73. Ídem Foto 72, en la que se aprecia en la margen derecha el desarrollo de barras de arena de grandes dimensiones (Estación de muestreo nº 37).



Foto 74. Orillas verticales en la margen izquierda el tramo final del arroyo Santa María (Estación de muestreo nº 72).



Foto 75. Barras laterales de arenas conformadas en distintos momentos (Estación de muestreo nº 33).

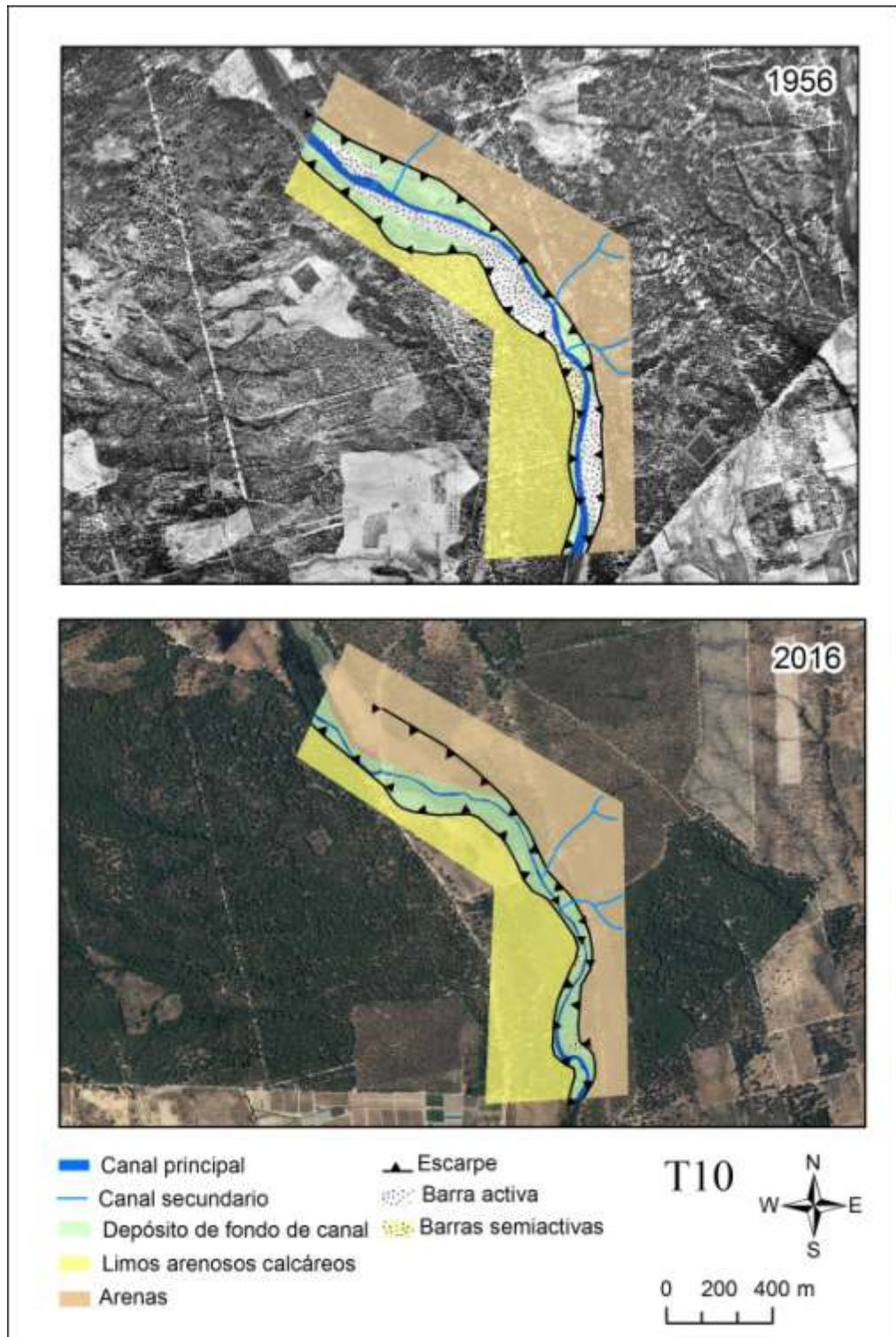


Figura 82. Esquema geomorfológico 10 en el tramo del Santa María Bajo.



Foto 76. Meandros con dinámica lateral de crecimiento confinados dentro del cauce del arroyo Santa María retrabajando barras de arenas (Estación de muestreo nº 33).



Foto 77. Refuerzo con escollera de los márgenes del arroyo de Santa María (Estación de muestreo nº 36).





Foto 78. Refuerzo de las orillas con escolleras en el tramo aledaño a La Palmosa (Estación de muestreo nº 37).

### 7.2.11. Tramo 11. La Palmosa

*Desde la Palmosa hasta el puente de la Casa de La Matanza*

Este tramo presenta un cauce de tipo expandido de gran anchura (>100 m en algunos sectores), con dispositivo de sinuoso a meandriforme y orillas verticalizadas (Foto 79). El canal es de tipo múltiple, con dispositivo meandriforme, carácter divagante e incidido en el sustrato en el sector norte y sobre la llanura aluvial en los aledaños del puente de La Matanza. El lecho presenta abundantes barras de arena tanto adosadas y centrales, como de *point bar*. La dinámica de meandros es y ha sido bastante activa en este sector siendo la responsable del ensanchamiento del canal, llegando incluso a cortar los muros de defensa (Fig. 83).

La llanura aluvial aparece actualmente desconectada del canal debido, por un lado, a la incisión generalizada del canal sobre el sustrato (Foto 80) y, por otro, a la existencia de muros de defensa que protegen las zonas de cultivo

presentes en este ámbito (Foto 81). Se reconoce, igualmente, la existencia de algunas morfologías de terraza labradas sobre el techo del sustrato.



Foto 79. Progresión de la erosión de las orillas con dispositivo verticalizado en la margen izquierda del tramo de La Palmosa (Estación de muestreo nº 33).



Foto 80. Orilla verticalizada provocada por la incisión del canal sobre el sustrato en el tramo de La Palmosa (Estación de muestreo nº 31).

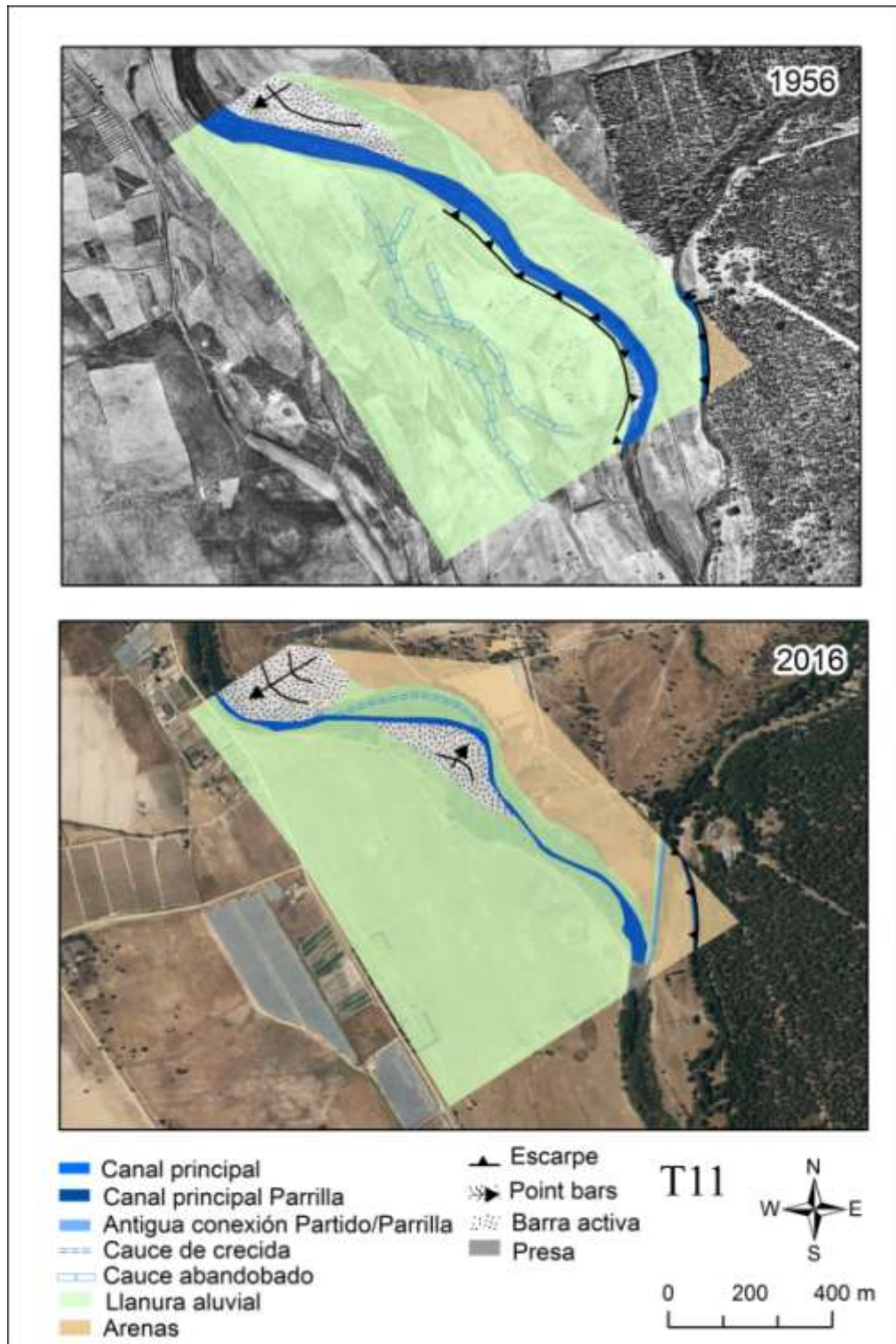


Figura 83. Esquema geomorfológico T11 en el tramo de la Palmosa.



Foto 81. Muro de defensa en la margen derecha del tramo de La Palmosa (Estación de muestreo nº 71).

La acción antrópica se hace presente en este sector sobre todo en la parte final del mismo (aguas arriba de la Casa de La Matanza), en el que se construyeron en la década de los noventa una serie de muros de defensa en un intento de controlar los efectos negativos de las inundaciones sobre las zonas de cultivos próximas al cauce.

Estas construcciones desconectaron la llanura aluvial del canal al tiempo que generaron un efecto de incisión en el lecho como consecuencia de la canalización del flujo y la imposibilidad de desbordamiento. Igualmente, este sector fue objeto de una actuación de rectificación del canal y de protección de las márgenes a base de escollera en la zona inmediatamente aguas arriba del puente de la Casa de La Matanza a finales de los años noventa, que en los primeros años 2000 fue sustituida por una obra de canalización contemplada en las actuaciones de restauración hidrológica del Plan Doñana 2005 a base de muros de hormigón (Fotos 82 y 83).

También con motivo de las actuaciones puestas en marcha con el Plan Doñana 2005 se acometió la rectificación del arroyo de La Parilla, durante varias décadas conectado al arroyo de El Partido en este punto (Casa de La

Matanza), desviando su cauce por la margen derecha del arroyo de El Partido a través de una estructura de hormigón y escollera (Fotos 84 y 85).



Foto 82. Canalización artificial ubicada en el puente del camino de El Rocío a Hinojos (Estación de muestreo nº 31).



Foto 83. Ídem foto 82 (Estación de muestreo nº 31).



Foto 84. Paso de agua del puente ubicado paraje de la Casa de La Matanza que da salida al arroyo de La Parrilla en dirección hacia la marisma una vez desconectado del arroyo de El Partido como resultado de las actuaciones del Proyecto Doñana 2005 (Estación de muestreo nº 31).



Foto 85. Ídem foto 84 visto hacia aguas arriba (Estación de muestreo nº 31).

### 7.2.12. Tramo 12. Valdeconejos

#### *Subcuenca completa*

Cauce lineal incidido sobre el sustrato areno-margoso con canal único. Se reconoce una dinámica de erosión remontante de carácter subsuperficial que afecta a los depósitos arenosos que culminan la serie Plioceno (Fotos 86 y 87). En el sector de confluencia con el Santa María presenta un dispositivo meandriforme con canal encajado sobre el sustrato y orillas verticalizadas (Foto 88).



Foto 86. Resultado de la erosión subsuperficial progresando sobre un nivel arenoso situado sobre un paquete de limos menos permeables en el arroyo Valdeconejos (Estación de muestreo nº 28).



Foto 87. Detalle de la erosión remontante en la zona del arroyo Valdeconejos (Estación de muestreo nº 28).



Foto 88. El tramo bajo del arroyo Valdeconejos presenta una morfología más sinuosa con el canal encajado en el sustrato (Estación de muestreo nº 28).



El tramo alto de la cuenca dedicado a la plantación del eucalipto está siendo objeto de talas generalizadas en los últimos años lo que está dejando numerosas parcelas desprovista de toda vegetación (Foto 89), lo que ha generado la puesta en marcha de procesos erosivos que están movilizandando gran cantidad de sedimentos que se incorporan a la red fluvial produciendo un “frente de avance” de las arenas desde la cabecera al tramo medio-alto de este sistema (Fotos 90 a 92).



Foto 89. Parcela talada en la cabecera del arroyo Valdeconejos desprovista de cubierta vegetal (Estación de muestreo nº 28).

### **7.2.13. Tramo 13. Parrilla**

*Desde su cabecera hasta la Casa de La Matanza*

Presenta un cauce de sinuoso a levemente meandriforme, con canal único incidido sobre el sustrato areno-margoso en el tramo alto y de carácter expandido en con paredes verticalizadas en el tramo bajo (Foto 93). En el lecho del canal se reconocen abundantes barras arenosas centrales y adosadas con distinta cronología. La colmatación del canal ha propiciado un

proceso de avulsión en algunos sectores, al tiempo que imposibilita reconocer morfologías de orilla (Fotos 94 y 95).



Foto 90. Colmatación de los canales por depósitos arenosos procedentes de las parcelas taladas tras un evento de precipitación intensa (Estación de muestreo nº 28).



Foto 91. Ídem foto 90 (Estación de muestreo nº 28).



Foto 92. Ídem fotos 90 y 91 (Estación de muestreo nº 28).



Foto 93. Tramo bajo del arroyo de La Parrilla que presenta un cauce incidido sobre el sustrato y barras arenosas centrales y adosadas (Estación de muestreo nº 32).



Foto 94. Proceso de avulsión en el tramo medio del arroyo de La Parrilla como consecuencia de la obstrucción que genera sus propios sedimentos (Estación de muestreo nº 34).



Foto 95. Acumulación de sedimentos en el canal del tramo medio del arroyo de La Parrilla desarrollando un sistema de poza-umbral (Estación de muestreo nº 34).

El manejo antrópico de esta cuenca es bastante intenso cifrándose en actuaciones directas (canalización, rectificación, etc.), como indirectas (técnicas agrícolas impermeabilizantes, deforestación, etc.). Efectivamente las actuaciones sobre el canal han sido numerosas y con importantes repercusiones desde el punto de vista del funcionamiento natural. La principal de estas actuaciones tuvo lugar a principios de los años 80 cuando el arroyo de La Parrilla fue conectado mediante un canal artificial con el arroyo Santa María aguas arriba del puente de la Casa de La Matanza. Este hecho generó un cambio del nivel de base que tuvo como resultado un efecto de erosión remontante en este tramo final. En la actualidad esta situación se ha revertido con motivo de las actuaciones de la Ficha nº 3 del Proyecto Doñana 2005 habiendo recuperado su salida natural en paralelo al arroyo de El Partido (*vid. supra* Tramo 11).

Por otro lado, las rectificaciones realizadas sobre el canal por particulares (Foto 96) introducen importantes modificaciones en el trazado que tienen en última instancia un efecto contrario al deseado al aumentar la velocidad del flujo y, por tanto, la capacidad erosiva de éste. Igualmente, el manejo de la cuenca ha introducido importantes factores desestabilizadores en el sistema. Estas actuaciones están en relación, por un lado, con la utilización de productos impermeabilizantes en el manejo de los cultivos arbóreos (olivar y frutales), que impiden la infiltración y aumentan la escorrentía superficial; y, por otro, con la deforestación y destocamiento de parcelas dedicadas al eucalipto (Foto 97), que dejan desprovistas de cualquier protección al sustrato arenoso lo que genera la puesta en circulación de importante volúmenes de sedimentos. En estos ámbitos el progreso de la arroyada superficial tanto laminar como, sobre todo, concentrada ha sido muy acusado.



Foto 96. Rectificación y limpieza abusiva de un tramo del canal del arroyo de La Parrilla llevado a cabo por un particular (Estación de muestreo nº 35).



Foto 97. Parcelas de grades dimensiones taladas en la cabecera del arroyo de La Parrilla sin cubierta vegetal alguna que proteja los suelos (Estación de muestreo nº 35).

#### **7.2.14. Síntesis hidrogeomorfológica**

En la tabla 12 se recogen de forma sintética los principales rasgos de cada uno de los trece tramos identificados a partir del análisis combinado de los elementos naturales de las riberas (cauce, canal, depósitos, llanura aluvial...) y de la incidencia humana sobre los mismos

<i>Tramo</i>	<i>Cauce</i>	<i>Canal</i>	<i>Depósitos</i>	<i>Orilla</i>	<i>Llamura aluvial</i>	<i>Vegetación de ribera</i>	<i>Afección antrópica</i>
<b>1</b> <b>Cárcava</b> <b>Alto</b>	Trazado de lineal a levemente sinuoso	Monocanal, incidido en el substrato arenomargoso	Abundante carga sedimentaria de fondo	Cubiertas por abundantes depósitos de arena	No existe	Escasos rodales de vegetación de ribera	Extracción de áridos; desmontes; rectificación de canal; recrecido de orillas; construcción de muros; ocupación agrícola y ganadera del DPH, Cultivos intensivos
<b>2</b> <b>Calancha Alto</b>	Trazado de lineal a levemente sinuoso	Monocanal, incidido en el substrato arenomargoso	Abundante carga sedimentaria de fondo	Cubiertas por abundantes depósitos de arena	No existe	Muy escasos rodales de vegetación de ribera	Extracción de áridos; desmontes; rectificación de canal; recrecido de orillas; construcción de muros; ocupación agrícola y ganadera del DPH; Cultivos intensivos
<b>3</b> <b>Colmenar</b> <b>Alto</b>	Trazado de lineal a levemente sinuoso	Monocanal, incidido en el substrato arenomargoso	Abundante carga sedimentaria de fondo, algunos depósitos de sobrecanal	Cubiertas por abundantes depósitos de arena	No existe	Escasos rodales de vegetación de ribera	Extracción de áridos; desmontes; rectificación de canal; recrecido de orillas; construcción de muros; ocupación agrícola y ganadera del DPH; Cultivos intensivos



<i>Tramo</i>	<i>Cauce</i>	<i>Canal</i>	<i>Depósitos</i>	<i>Orilla</i>	<i>Llanura aluvial</i>	<i>Vegetación de ribera</i>	<i>Afección antrópica</i>
<b>4</b> <b>Cárcava</b> <b>Medio-Alto</b>	Trazado lineal o levemente sinuoso	Monocanal incidido en el substrato arenomargoso	Depósitos de <i>floodout</i> y mantos de arena de llanura aluvial ( <i>floodplain sand sheet</i> ); procesos de avulsión	Manejadas artificialmente Recrecido artificial	Llanura aluvial incipiente	Proliferación de cañaverales	Rectificación tramos; recrecido artificial de orillas; ocupación del DPH; vaciado excesivo de fondo del canal
<b>5</b> <b>Calancha</b> <b>Urbano</b>	Trazado lineal artificial	Monocanal artificial	Barras arenosas laterales	Muros de hormigón y gaviones	No existe	Proliferación de ruderales y cañaveral	Canal artificial; impermeabilización
<b>6</b> <b>Cárcava</b> <b>Medio-Bajo</b>	Trazado lineal o sinuoso artificial	Monocanal con meandros pronunciados y tramos lineales artificiales	Barras arenosas laterales y centrales en tramo no artificial	Artificiales muy verticales; escollera y muros de gaviones	No existe	Proliferación cañaverales	Canal artificial; rectificación y reconstrucción de tramos con meandros artificiales
<b>7</b> <b>Calancha-Colmenar</b> <b>Medio-Bajo</b>	Trazado sinuoso	Monocanal con meandros regulares poco marcados	Abundante carga sedimentaria de fondo; depósitos de <i>floodout</i> y mantos de arena ( <i>floodplain sand sheet</i> )	Cubiertas por importantes depósitos de arena	Llanura aluvial incipiente	Vegetación casi inexistente	Rectificación de tramos; recrecido de orillas; ocupación del DPH; relleno artificial de márgenes fluviales; vertederos

<i>Tramo</i>	<i>Cauce</i>	<i>Canal</i>	<i>Depósitos</i>	<i>Orilla</i>	<i>Llanura aluvial</i>	<i>Vegetación de ribera</i>	<i>Afección antrópica</i>
8 <b>Cárcava Bajo</b>	Trazado expandido de lineal a levemente sinuoso	Multicanal meandriforme incidido en el substrato	Abundante carga sedimentaria; barras de <i>point bar</i> ; laterales y centrales	Paredes verticales de gran altura	No existe	Vegetación casi inexistente	Rectificación canales; Escolleras; Vertedero Ocupación del DPH
9 <b>Colmenar Bajo / Cárcava Bajo / Santa María Alto</b>	Trazado meandriforme levemente expandido	Ancho y algo incidido; monocal / multicanal con meandros	Barras arenosas laterales, centrales y especialmente de <i>point bar</i> .	Tendientes a paredes verticales	Llanura aluvial y terraza histórica con algún paleocanal	Algunos rodales de vegetación de ribera	Vados; ocupación ganadera; represas; vertederos
10 <b>Santa María Bajo</b>	Trazado expandido de sinuoso a meandriforme	Multicanal meandriforme de tornos incididos en el substrato	Abundante carga sedimentaria; barras de <i>point bar</i> ; barras laterales y centrales	Paredes verticales de gran altura	No existe	Vegetación casi inexistente	Actuaciones de protección de márgenes (escollera); vados
11 <b>La Palmosa / Casa de La Matanza</b>	Trazado expandido de sinuoso a meandriforme	Multicanal meandriforme incididos en la llanura aluvial	Abundante carga sedimentaria; numerosas barras de <i>point bar</i> ; barras laterales y centrales	Paredes verticales de gran altura	Llanura aluvial desconecta da del canal	Vegetación casi inexistente	Construcción de muros de contención de crecidas; actuaciones de protección de márgenes (escolleras)

<i>Tramo</i>	<i>Cauce</i>	<i>Canal</i>	<i>Depósitos</i>	<i>Orilla</i>	<i>Llanura aluvial</i>	<i>Vegetación de ribera</i>	<i>Afección antrópica</i>
<b>12</b> <b>Valdeconejos</b>	Trazado lineal y meandriforme en el tramo final	Monocanal incidido sobre el substrato	Abundante carga sedimentaria de fondo	Suaves en cabecera y verticales en el tramo final	No se reconoce	Eucaliptal, Pinar	Manejo forestal intensivo con maquinaria pesada; vertedero; impermeabilización del canal por plásticos
<b>13</b> <b>La Parrilla</b>	Trazado sinuoso a meandriforme en el tramo alto y expandido en el sector final	Monocanal incidido en el substrato arenomargoso en el tramo alto y meandriforme en el tramo final	Abundante carga sedimentaria de fondo y desarrollo de barras laterales y centrales. Procesos de avulsión	Poco marcadas en cabecera y paredes verticales en el tramo bajo	No se reconoce	Eucaliptal, Pinar,	Manejo forestal intensivo; técnicas agrícolas impermeabilizantes; limpieza de canales; rectificación de tramos; ocupación del DPH

Tabla 12. Caracterización general de los tramos-diagnóstico basado en el trabajo de campo de las campañas de 2005 y 2006 (modificado de Borja *et al.*, 2009).



## **III PARTE**

# **CONSIDERACIONES FINALES**





## 8. Diagnóstico y zonificación





## 8. DIAGNÓSTICO Y ZONIFICACIÓN

### 8.1. ASPECTOS BÁSICOS

Una vez completado el análisis espacial del arroyo de El Partido, tanto a nivel de cuenca hidrográfica como de red fluvial, en el presente apartado se establece un diagnóstico zonificado del funcionamiento hidrogeomorfológico, de cara a identificar las patologías que presenta este sistema fluvial. Sólo un diagnóstico basado en el conocimiento hidrológico y geomorfológico de una secuencia temporal de datos lo suficientemente significativa puede constituir una base certera para la determinación de tendencias y la definición de directrices de restauración capaces de mitigar los problemas medioambientales en su origen, y no en sus consecuencias (González del Tánago, 2004; Borja *et al.*, 2009).

En el caso de los sistemas fluviales, caracterizados por una gran capacidad de cambio frente a los factores y condicionantes naturales imperantes en cada momento, así como, a los impactos antrópicos sobrevenidos, es conveniente contar con una visión dinámica que permita evaluar la evolución experimentada con un lapso de tiempo suficiente (Ibáñez *et al.*, 2011). Muchos de los problemas en el funcionamiento actual de ríos son consecuencia de cambios naturales, o, más comúnmente, inducidos por el hombre, acaecidos en momentos anteriores del tiempo e, incluso, en lugares diferentes a los que se ven alterados. En el caso de la restauración fluvial, como en medicina, si no se dispone de buen diagnóstico es muy difícil “curar” los problemas que afectan a la salud del sistema. Un buen diagnóstico es la base para la correcta definición de un plan de medidas que garantice unos resultados adecuados (Horacio, 2015), de ello depende la viabilidad de cualquier programa de restauración (Ollero, 2015). En este sentido, y teniendo presente que el funcionamiento del sistema fluvial se basa, por un lado, en el régimen hidrológico, responsable último del trasiego de caudales y materiales sólidos, y, por otro, en la dinámica geomorfológica, que controla los procesos de erosión, transporte y sedimentación, dicho diagnóstico requiere de una base hidrogeomorfológica, ya que, además, a partir de ella se construye el complejo de relaciones ecológicas que, a la

postre, favorecerá la progresión de los diferentes hábitats, adaptados cada uno de ellos, a unas condiciones dinámicas diferentes (Horacio *et al.*, 2018).

En la década de los años ochenta del siglo pasado se establecieron algunos protocolos para la determinación del estado de conservación y funcionamiento de los sistemas fluviales, la mayoría de ellos procedentes de Estados Unidos y con un marcado carácter biológico, tal como se ha comentado en el apartado dedicado a la Introducción (e.g. Plafkin *et al.*, 1989; Barbour *et al.*, 1999). En el ámbito Europeo se también desarrollaron algunos de estos sistemas de análisis al amparo de la Directiva Marco de Aguas, como el método *RHS* (*River Habitat Survey*) de origen británico (Raven *et al.*, 1998), o el *SEQ-Physique*, aplicado en Francia (Agences de l'Eau & Ministère de l'Environnement, 1998). También en España se desarrollaron algunos métodos como el QBR de Munné *et al.* (1998) u otros como los propuestos por Pardo *et al.* (2002), Jáimez, *et al.* (2002) o González del Tánago *et al.* (2006).

Sin embargo, en la mayoría de estos métodos los aspectos hidrogeomorfológicos han tenido una escasa presencia. En contraposición, en los últimos tiempos se han propuesto otros procedimientos con una vocación mucho más cercana a la orientación hidrogeomorfológica, como es el caso, por ejemplo, del *River Styles Framework* de Brierley y Fryirs (2005), que se fundamenta, sobre todo, en la importancia de las formas y los procesos, en el marco espacial de la cuenca hidrográfica, y presta una especial atención a las formas inactivas (formas relictas o paleoformas), entendiendo que, si se conoce cómo ha funcionado el río en el pasado, se puede plantear con fundamento cómo va a funcionar éste en el futuro. En el caso de España, en esta línea destaca el método IHG (Índice HidroGeomorfológico) propuesto por Ollero *et al.*, (2008), que está siendo aplicado desde entonces en distintas partes del territorio nacional con éxito. Una muestra del cambio de rumbo en la orientación que están tomando actualmente todos estos sistemas de indicadores es la importancia que está cobrando en ellos cada vez más, la caracterización de los sedimentos como un indicador clave del buen funcionamiento del sistema fluvial, ya que, es el régimen sedimentario el que da cuenta de una dinámica geomorfológica y un funcionamiento adecuados, así como de la viabilidad de los diferentes hábitats (Horacio *et al.*, 2018).

Desde el punto de vista metodológico, en la presente investigación, el diagnóstico se ha basado en un exhaustivo trabajo de campo de carácter hidrogeomorfológico, en el que se han analizado y evaluado el funcionamiento de los elementos estructurales y funcionales del sistema fluvial del arroyo de El Partido a dos escalas de estudio:

- A nivel de cuenca, el análisis se ha llevado a cabo desde una perspectiva morfotopográfica del conjunto de sus laderas, haciendo un especial hincapié en la relación entre el modelado, el funcionamiento de la red hidrográfica y el impacto antrópico. Desde este punto de partida y estableciendo las oportunas relaciones causa-efecto, se ha trabajado especialmente con la variable usos del suelo, la cual se ha valorado desde una perspectiva diacrónica (últimos 60 años), a fin de establecer las tendencias básicas de su evolución.
- A nivel de tramos fluviales, los principales componentes estructurales del sistema fluvial analizados han sido el canal, el sistema de orillas, la llanura aluvial y la baja terraza. Desde el punto de vista funcional se han caracterizado los procesos de sedimentación, a partir del análisis de los depósitos tanto de canal (*lags*, *barras*, *rellenos de canal...*), como de desbordamiento (*levées*, *flood out sand cheets...*). Además, se ha prestado una especial atención, finalmente, a los principales impactos y factores de tensión a nivel de cauce, que han generado perturbaciones y interrupciones más o menos bruscas en el funcionamiento hidrogeomorfológico.

## 8.2. DIAGNÓSTICO A NIVEL DE CUENCA

Los desajustes hidrogeomorfológicos que presenta esta cuenca son evidentes desde hace décadas, siendo su punto de partida la irregularidad propia del régimen hidrológico, dependiente directamente de un régimen de precipitaciones de carácter mediterráneo subhúmedo (16,5 °C / 550 mm), caracterizado por una gran variabilidad inter e intranual, donde son habituales eventos pluviométricos extremos. Dichos eventos suelen generar crecidas de forma recurrente, desarrollándose con un régimen torrencial propio de las ramblas mediterráneas (Mintegui *et al.*, 2003; 2006),

especialmente en los meses de finales de otoño e invierno. Por otra parte, se detecta la presencia de importantes volúmenes de material sedimentario circulando en los canales, fundamentalmente de carácter fino (limos y arenas), que son removilizados como carga en suspensión (las fracciones más finas), mientras que las gruesas (arenas y gravillas), son transportadas mediante procesos de saltación o, más comúnmente, como carga de fondo. Esta cuestión está directamente relacionada, por un lado, con la alta erodibilidad de los materiales que componen el sustrato de la mayor parte de la cuenca, formado mayoritariamente por limos arenosos y arenas y, por otro, por unos usos antrópicos del territorio que favorecen notablemente este proceso.

Desde el punto de vista geomorfológico se constata la existencia de un importante número de canales con abundantes sedimentos en su interior (barras centrales y marginales, barras de meandro...), e incluso algunos prácticamente colmatados por la abundancia de estos depósitos de canal que, en ocasiones, llegan a enrasar con la orilla. Bajo estas condiciones son habituales los procesos de avulsión, abriendo nuevos canales y dejando colmatados los antiguos. En momentos de crecida, parte de la carga de fondo (arenas sobre todo) termina alojada fuera del canal, en plena llanura aluvial o, incluso, en otras áreas aún más alejadas del eje fluvial, dando origen a los mantos de arena de sobrecanal (*flood out sand sheet*).

Cuando se dan estas condiciones, el caudal que ha perdido prácticamente toda su carga sedimentaria —lo que suele ocurrir aguas abajo de algún obstáculo o barrera transversal ubicada en el canal— adquiere súbitamente una gran capacidad erosiva, pues tiende a restaurar su equilibrio dinámico entre su potencia bruta y su capacidad de carga. En este momento, gran parte de dicho potencial se dedica a cargar nuevamente material sedimentario, que obtiene, por lo general, generando un importante trabajo de incisión y zapado en las orillas, lo que termina dando lugar a la aparición de lo que hemos denominado “canales expandidos”. De este modo, el arroyo de El Partido es capaz de transportar una gran cantidad de sedimentos hasta su desembocadura, en el sector NW de la Marisma del Guadalquivir, ya dentro de Parque Nacional de Doñana, contribuyendo a la conformación del voluminoso abanico aluvial que avanza sobre este sector de la marisma,

generando importantes riesgos de inundación en la cercana aldea de El Rocío.

Las principales patologías identificadas a nivel de cuenca están relacionadas con los impactos y cambios operados en el sistema fluvial a todas las escalas (variación en la extensión de la cuenca hidrográfica, canalizaciones, rectificaciones de canales...), la eliminación de gran parte de la vegetación natural (incluso el bosque ripario), así como, las importantes transformaciones en los usos del suelo experimentadas en las últimas décadas, que han generado un cambio sustancial en el paisaje y ha supuesto un notable impacto a todos los niveles en el sistema hidrogeomorfológico.

A nivel de la *cuenca* del arroyo de El Partido se reconocen concretamente las siguientes patologías:

- Relacionadas con desajustes en el sistema hidrogeomorfológico:

Se detectan importantes desajustes en el régimen sedimentario del sistema fluvial, con notables alteraciones a lo largo de toda la red fluvial, en la que es habitual la presencia de canales colmatados, depósitos de desbordamiento sobredimensionados, cauces expandidos y procesos de avulsión, que denotan un funcionamiento fuertemente desequilibrado, cuya manifestación más llamativa, es la conformación de un cono aluvial de dimensiones kilométricas en su desembocadura.

- Relacionadas con la alta erodibilidad del sustrato:

Los materiales que integran el sustrato geológico de la cuenca hidrográfica, constituidos mayoritariamente por limos arenosos y arenas de cronología Mioceno superior-Cuaternario, presentan una alta predisposición a la erosión mecánica, por lo que la disponibilidad de una gran cantidad de sedimentos finos está asegurada.

- Relacionadas con modificaciones en los límites de la cuenca hidrográfica:

La cuenca hidrográfica del arroyo de El Partido ha experimentado varias modificaciones sustanciales a lo largo de las últimas cuatro décadas forzadas, en todas las ocasiones, por acciones antrópicas. En los años ochenta aumentó su tamaño tras las obras de modificación realizadas en la desembocadura del arroyo de La Parrilla y la incorporación de éste al arroyo de El Partido, justo aguas arriba del cruce de la carretera de la Casa de La Matanza. Años más tarde, en 2010, y como consecuencia del plan de actuaciones promovido por el proyecto Doñana 2005, se volvió a desvincular la cuenca del arroyo de La Parrilla de la de El Partido, recuperando aquél su desembocadura original en la margen derecha de la planicie aluvial que ambos ríos comparten antes de alcanzar la marisma. Igualmente, en el tramo bajo (aunque ya fuera de nuestra área de estudio), destaca la incorporación, a mediados de los años 90, del arroyo Caño Marín a la cuenca de El Partido y su posterior transformación en una retícula de canales artificiales, asociados al plan de transformación agraria de este sector. Esta modificación sigue activa en la actualidad.

- Relacionadas con alteraciones en el dispositivo de la red fluvial:

La red fluvial no ha sido ajena a los importantes procesos de transformación llevados a cabo en las últimas décadas. Destacan significativas operaciones de rectificación y canalización como las que se pueden reconocer en la cabecera del arroyo de La Cárcava, con un tramo rectilíneo de más de 2 km de longitud, realizado en los años 60-70; la ejecutada en el tramo del Colmenar aguas debajo de la incorporación del arroyo Vizcaíno en los años 80; la canalización del arroyo Calancha con hormigón en el tramo urbano de Rociana del Condado en los años 90 y sus sucesivas ampliaciones (la última en 2013); el sellado del tramo urbano del arroyo de La Cerrada en Bollullos Par del Condado, llevada a cabo en el año 2012; o, finalmente, la rectificación del tramo del arroyo de La Cárcava en el sector comprendido entre las localidades de Bollullos Par del Condado y Almonte, consistente en el sellado de la margen izquierda con muro de escollera, con una longitud de más de 2 km, entre otras

actuaciones. Pero, sin duda, la transformación más significativa experimentada por este curso fluvial, fue la ejecutada a principios de los años noventa en su tramo final, justo antes de su desembocadura en la marisma, consistente en la construcción de un canal de 7 km de largo, diseñado con un sistema de meandros consecutivos y regulares, y al que se le añadió una estación de aforo. Tanto el sistema de canales meandriformes como la estación de aforo quedaron colmatados de sedimentos a los pocos meses de su entrada en funcionamiento y hoy sólo son un vago recuerdo. Finalmente, en el marco de las actuaciones del Proyecto Doñana 2005, se han construido muros de retención de sedimentos y motas de desvío de aguas crecidas al objeto de permeabilizar de nuevo la planicie aluvial del tramo inferior de El Partido.

- Relacionadas con la eliminación del bosque galería:

El bosque galería del arroyo de El Partido es prácticamente inexistente hoy día, si exceptuamos algún pequeño rodal aislado de escasas dimensiones. La destrucción de la vegetación riparia está directamente ligada a la expansión del cultivo hasta el borde mismo de los canales en muchos tramos de la red fluvial.

- Relacionadas con el avance de especies invasoras:

El bosque galería y la vegetación riparia en general han sido reemplazados por formaciones monoespecíficas de invasoras como el *Arundo donax*, cuando no, por los cultivos de los labrantíos adyacentes, que alcanzan hasta el borde mismo de los cauces.

- Relacionadas con el manejo forestal:

Las cabeceras de los arroyos que conforman la cuenca de El Partido han estado ocupadas en grandes extensiones por plantaciones forestales de eucalipto y pinar, desde los años 60 hasta hace poco. Este tipo de uso forestal y maderero es poco respetuoso con la red fluvial, pues en su manejo se utiliza maquinaria pesada tanto a la hora de la preparación de las parcelas, como a la hora de la tala y la

saca de la madera. Es especialmente preocupante la situación de desprotección en la que quedan las parcelas taladas, principalmente a mata-rasa, frente a las precipitaciones lo que genera no pocos problemas de removilización de sedimentos, y su posterior incorporación a la red fluvial.

- Relacionadas con la extracción de áridos:

Las actividades extractivas para la obtención de áridos están concentradas, sobre todo, en las cabeceras de los arroyos. Este tipo de actividad es muy impactante pues genera una notable progresión de la arroyada concentrada, que removiliza y pone en circulación una ingente cantidad de sedimentos finos (limos arenosos y arenas, principalmente), que termina por incorporarse a la red fluvial.

- Relacionadas con las explanaciones del terreno:

Las explanaciones del terreno con maquinaria pesada para la implantación de invernaderos o cultivos bajo plástico se han convertido en otra de las actividades que más alteraciones están causando, debido a su escaso respeto por la red fluvial, la cual se ve, en la inmensa mayoría de los casos desarticulada, cuando no, directamente anulada por estas tareas. Este tipo de actuaciones generan, además, situaciones de inestabilidad generalizada en las zonas donde se ha recortado, apareciendo habitualmente paredes verticalizadas sobre un substrato arenoso que es rápidamente erosionado después de un evento de precipitación, al tiempo que genera la aparición de acúmulos artificiales, sin ninguna estructura interna, ni cohesión, en la zona donde se ha rellenado, que se pueden también removilizar fácilmente, terminando por incorporarse importantes volúmenes de material sedimentario a la red fluvial.

- Relacionadas con el manejo agrícola inadecuado:

El manejo agrícola es el origen de los principales problemas medioambientales de la cuenca de El Partido. El mayor desajuste proviene del proceso de sustitución de un sistema de cultivos



tradicionales, basado en la vid, el olivo y el secano, por cultivos intensivos bajo plástico que requieren de grandes cantidades de agua, abonos, fitosanitarios, etc., así como, unas tareas previas de preparación del terreno bastante agresivas. Otros problemas más particulares derivados del manejo agrícola son, por ejemplo, el laboreo de las parcelas en el sentido de la pendiente, lo que genera la progresión de los procesos de arroyada. En algunos de estos terrenos, el incremento de la arroyada se ha acompañado con la incorporación de impermeabilizantes, lo que ha hecho disminuir la capacidad de infiltración de los suelos y ha puesto en circulación grandes volúmenes de agua de precipitación, los cuales, cuando han sobrepasado los suelos impermeabilizados, han generado problemas de incisión mucho más significativos.

- Relacionadas con la alteración de la calidad de las aguas:

A pesar de la mejora sustancial experimentada en la calidad de las aguas del arroyo de El Partido en los últimos años, especialmente, después de la entrada en funcionamiento de los distintos equipamientos de depuración de aguas residuales instaladas en las principales localidades de la cuenca, quedan algunos focos de vertidos no controlados procedentes de zonas habitadas o explotaciones agrícolas. Asimismo, no es extraño encontrar balsas de agua fuertemente contaminadas por nitratos procedentes del retorno del regadío de los cultivos intensivos. En alguna ocasión también se ha podido constatar vertidos de alpechines a los canales procedentes directamente de explotaciones agropecuarias.

- Relacionadas con la explotación del acuífero aluvial:

Han proliferado enormemente en los últimos años la apertura de pozos en las inmediaciones de los canales (acuífero aluvial) y la existencia de tomas de agua instaladas directamente sobre el cauce, lo que ha llevado a una sobreexplotación del mismo. No en vano, la falta de agua para los cultivos intensivos ha sido la principal reivindicación social y económica de esta comarca durante la última década.

### 8.3. DIAGNÓSTICO A NIVEL DE CAUCE

La red fluvial de la cuenca de El Partido se encuentra muy deteriorada como consecuencia del diverso y variado catálogo de impactos y perturbaciones que inciden en ella. El sistema fluvial a nivel de detalle aparece intensamente desestructurado como consecuencia, fundamentalmente, de la notable alteración del régimen sedimentario. La gran cantidad de sedimentos incorporados por las cabeceras de los arroyos como consecuencia del desarrollo de actividades extractivas (canteras), además de un manejo forestal inadecuado y una sustitución de los cultivos tradicionales por instalaciones agroindustriales tecnificadas (invernaderos), está provocando una alteración del régimen hidrogeomorfológico sin precedentes. Otros problemas están generados por las propias actuaciones llevadas a cabo por las diferentes administraciones con la implantación de determinadas infraestructuras que afectan a la cuenca vertiente y, lo que es más común, directamente a los canales fluviales, como son la construcción de carreteras, caminos, puentes, vados..., o, en ocasiones, la incorporación de éstos directamente a la trama urbana de algunas localidades de la cuenca.

Los problemas generados por esta desarticulación hidrogeomorfológica son atajados de forma institucional por las distintas administraciones competentes (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Ayuntamientos...) con soluciones, por lo general, de corte paliativo a base de soluciones rígidas (muros, escolleras, canalizaciones, sellado de orillas, etc.) que, lejos de abundar en una "renaturalización" del sistema, lo vuelven cada vez más artificial. No obstante, son las actuaciones llevadas a cabo de forma particular por los propietarios de los terrenos colindantes a los canales, los que, con actuaciones poco acertadas en ocasiones, cuando no directamente contrarias al funcionamiento natural del sistema, mayores impactos generan.

Se relacionan a continuación los principales impactos y patologías identificadas a nivel de cauce:

- Relacionadas con la presencia de infraestructuras:

Muchas de las infraestructuras existentes en la cuenca hidrográfica, especialmente las de carácter lineal, como las carreteras o autovías,

ejercen un efecto constrictor sobre la red de canales, muchos de los cuales han terminado por ajustarse en distintos tramos a la presencia de éstas mediante canalizaciones o rectificaciones. La presencia de puentes, vados, pasos de agua, obras de fábrica, etc., condicionan el flujo de caudales líquidos y sólidos generando desbordamientos o la aparición de depósitos de diversa índole. Cuando esto ocurre la respuesta de las diferentes administraciones consiste, por lo general, en ejecutar más obras, basadas principalmente en soluciones rígidas (*vid. infra*).

- Relacionadas con actuaciones sobre el cauce:

La construcción de diques artificiales (muros, motas...), canalizaciones (canales de hormigón, gaviones, escolleras...), la impermeabilización de orillas (sellado) o las remodelaciones artificiales del cauce con maquinaria pesada, etc., son moneda común a lo largo de toda la red fluvial de El Partido. Igualmente, es muy habitual encontrarse con extracciones temporales de áridos de los cauces con maquinaria pesada para desobturarlos, así como todo tipo de operaciones de limpiezas, por lo general bastante abusivas. Se ha constatado, también, en algunos tramos cercanos a los núcleos de población, la construcción de represas artificiales realizadas con los sedimentos alojados en el propio canal, dedicadas al almacenamiento de agua para el ganado en momentos de estiaje, diques que entorpecen el tránsito de caudales. Pero, sin lugar a duda, la infraestructura más importante de tipo transversal ejecutada en la red fluvial de El Partido, es el dique transversal construido aguas abajo de la Casa de La Matanza con motivo del Proyecto Doñana 2005, con el fin de retener la carga sedimentaria que alimenta al cono aluvial ubicado en la zona de desembocadura, ya en la marisma.

- Relacionadas con actuaciones sobre la llanura aluvial:

La presencia de motas artificiales es también habitual en el tramo final del canal, especialmente, en la planicie aluvial ubicada justo antes de la desembocadura en la marisma. Sin embargo, es bastante más abundante el recrecido artificial de las orillas, con la intención de

evitar el desbordamiento de los canales en los cultivos aledaños. Estos diques laterales al canal se construyen con el material sedimentario que arrastra el propio río, elevándose cada vez más cuanto, más se rellenan, dándose el caso, en alguna ocasión, de tramos de canal cuyo fondo está a una cota superior a la de los terrenos adyacentes. Estos montículos artificiales terminan por desconectar los canales de las llanuras aluviales, e, incluso, impiden la conexión de canales secundarios con los principales por la diferencia de cota mencionada y la propia barrera física del *levée*. Finalmente, se reconocen ámbitos en los que las llanuras aluviales han sido rellenas con material de acarreo (escombros, rellenos...), especialmente, en las proximidades de los núcleos urbanos, con vistas a su posible incorporación a la trama urbana como terrenos urbanizables.

- Relacionadas con la ocupación de los canales o la llanura aluvial:

La ocupación antrópica de la llanura aluvial y zonas aledañas a los canales es prácticamente continua a lo largo de toda la red fluvial, tanto por construcciones como por cultivos, los cuales, como ya se ha dicho, se extienden hasta el borde mismo de las orillas, siendo los responsables de la eliminación de la vegetación de ribera autóctona y de la progresión de especies invasoras como el *Arundo donax*, muy extendido por toda la cuenca. La falta de respeto al funcionamiento del sistema fluvial se constata igualmente en la ocupación física del mismo con la construcción de cercados con vallas (conocidos localmente como *corralitos*) donde se aloja el ganado en épocas de estiaje.

- Relacionadas con el caudal y el acuífero:

Las extracciones de agua directamente del cauce mediante equipos de bombeo son muy comunes, así como la apertura de pozos e, incluso, *zacayones*. Este uso indiscriminado, tanto de los caudales líquidos del cauce como del acuífero aluvial, genera importantes perturbaciones en el régimen hidrológico del sistema.

- Relacionadas con la contaminación:

Los problemas de contaminación no son ajenos al sistema fluvial reconociéndose la existencia de vertidos sólidos (escombros, basuras...), vertidos líquidos (aguas residuales, alpechín...), así como, contaminación de las aguas por los retornos de caudales de riego de la agricultura cargados de fitosanitarios, plaguicidas, abonos, etc.

## 8.4. ZONIFICACIÓN DE MODELOS DIAGNÓSTICOS

### 8.4.1. Zonificación a nivel de cuenca

La distinción de unidades en la cuenca desde el punto de vista hidrogeomorfológico podría establecerse entre las zonas correspondientes a los tramos medio y alto, por un lado, y al tramo bajo, por otro. Las dos primeras zonas (cuenca media y alta), que corresponden realmente a nuestra área de estudio, presentan entre ellas una alta homogeneidad hidrogeomorfológica y territorial que la distingue claramente del tramo inferior, por lo que se ha optado por no plantear ninguna distinción zonal entre ellas.

### 8.4.2. Zonificación a nivel de cauce

A nivel de detalle, y una vez identificados y analizados los diferentes tramos considerados en apartados anteriores (*vid. supra*, apartado 7.2), se puede establecer una agrupación de ellos en función de unas características comunes en cuanto a la dinámica natural o la afección antrópica que presentan, siendo posible individualizar diferentes *modelos hidromorfodinámicos*.

El resultado es la aparición de 7 de estos *modelos* generales a lo largo de toda la red fluvial analizada, cuyas principales características se recogen a continuación (Fig. 84):

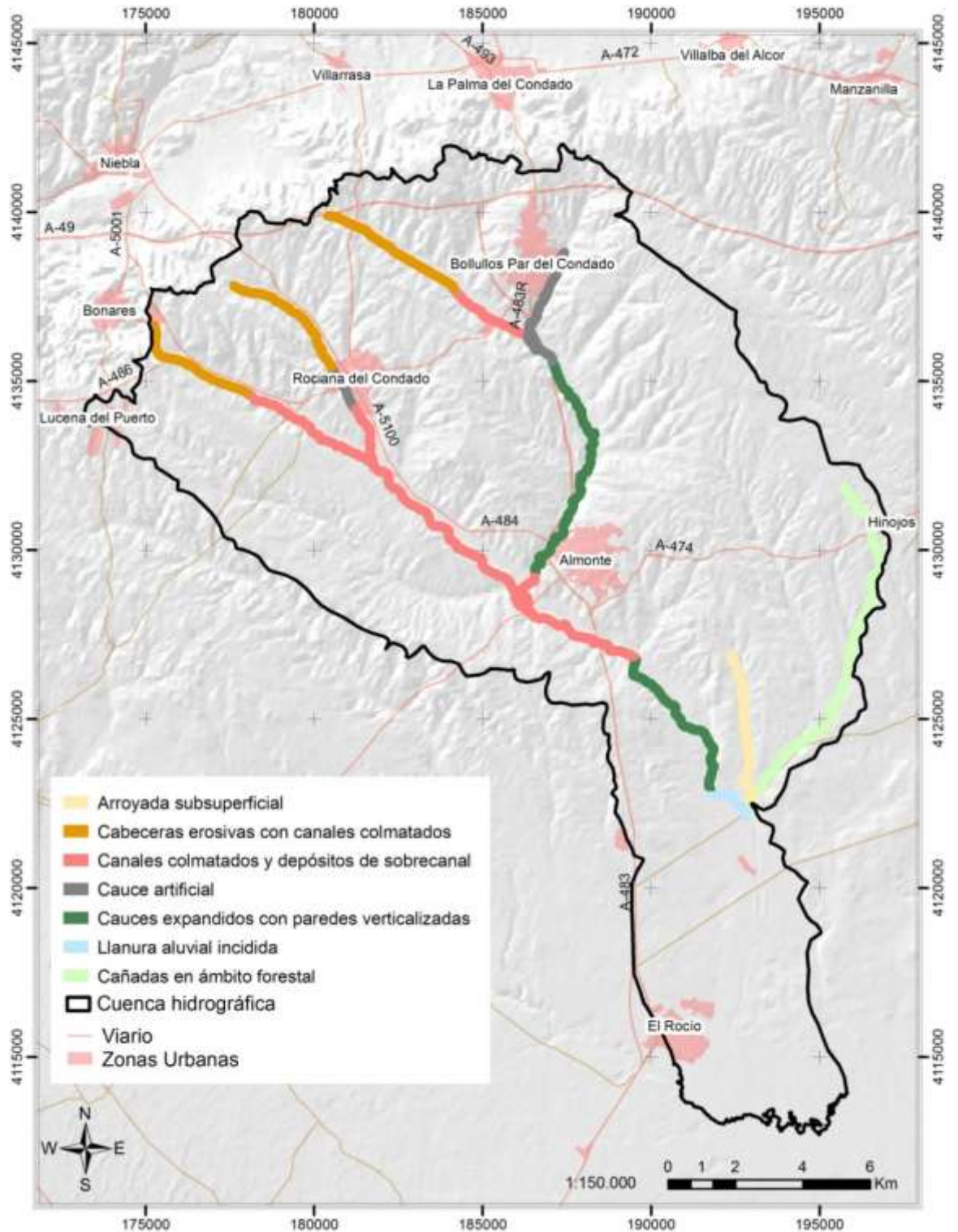


Figura 84. Modelos hidro-morfodinámicos del arroyo de El Partido.

**a) Modelo 1: Cabeceras erosivas con canales colmatados**

Los tramos de cabecera de los arroyos Cárcava (1), Calancha (2) y Colmenar (3) aparecen fuertemente afectados por procesos de acarcavamiento asociados a las extracciones de áridos y desmontes, lo cual trae como consecuencia la puesta en movimiento de un importante volumen de sedimentos que termina colmatando los canales principales. Las intervenciones humanas relacionadas con el canal son intensas y de diversa índole, destacando la desaparición de la vegetación de ribera, las acciones de desobturación y/o rectificación de canales y ocupación sistemática del Dominio Público Hidráulico (agricultura, parcelación, ganado, construcciones...) (Fig. 85).

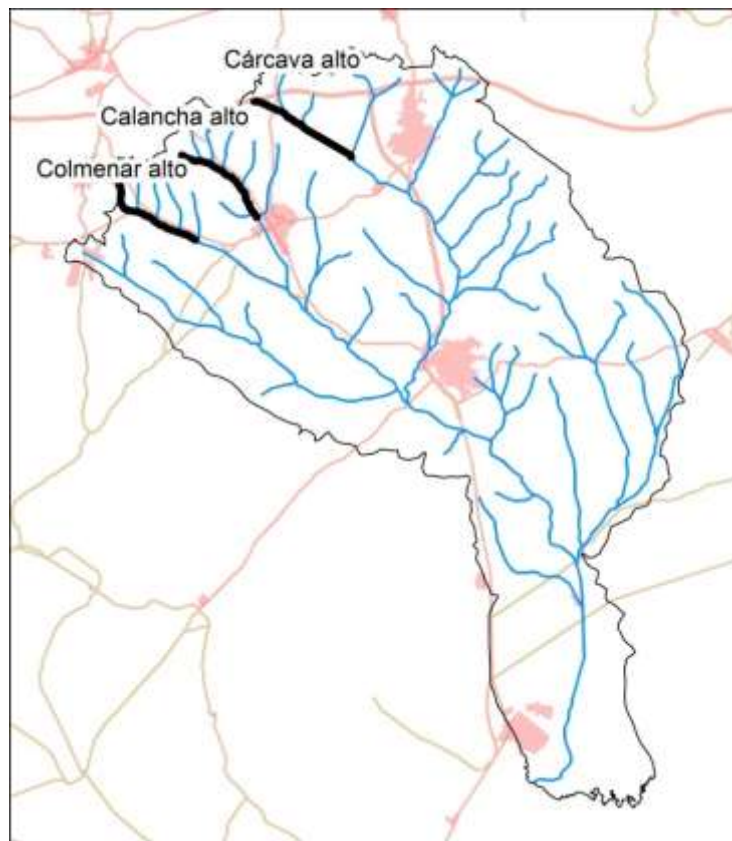


Figura 85. Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 1.

## b) Modelo 2: Canales colmatados y depósitos de sobrecanal

Pertencen a este modelo el tramo 4 del Cárcava Medio, el 7 correspondiente a Colmenar Medio/Bajo - Calancha Bajo y el 9 que se relaciona con Cárcava Bajo - Colmenar Bajo y Santa María Alto. Constituyen tramos de ribera con canales meandriiformes colmatados y abundantes depósitos arenosos de desbordamiento. Desde el punto de vista del manejo humano se reconocen acciones de retirada de sedimentos del fondo del canal que, en la mayor parte de las ocasiones, son depositados en las orillas produciendo un efecto de recrecimiento artificial de las mismas. Igualmente, los ámbitos de llanura aluvial que quedan al dorso de estos diques artificiales en una posición topográfica baja con respecto al *talweg* son rellenados con material de acarreo. Se trata, por tanto, de un tramo altamente desnaturalizado desde el punto de vista del funcionamiento hidrológico y del balance morfosedimentario que presenta un estatus dinámico altamente degradado (Fig. 86).

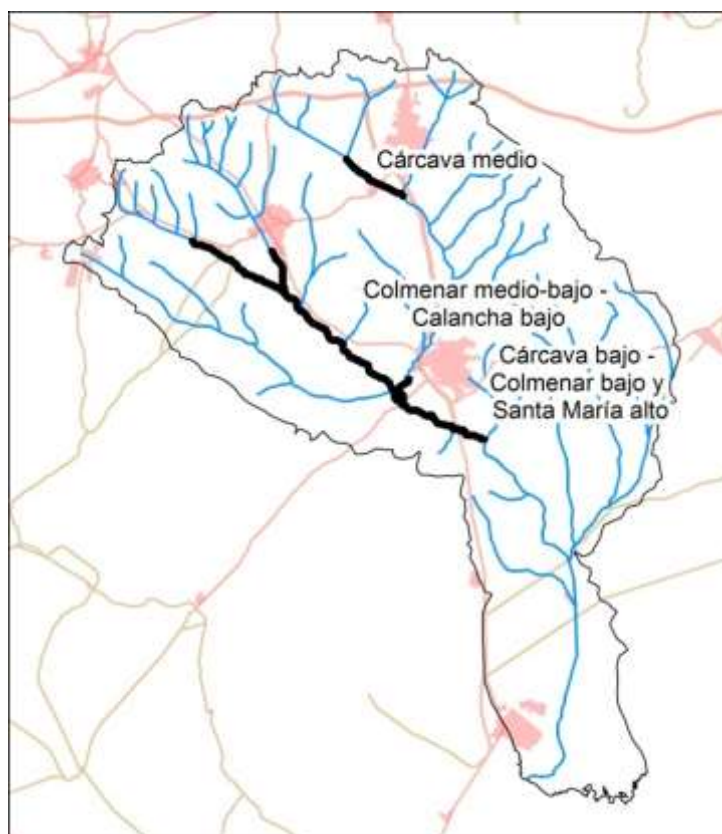


Figura 86. Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 2.



### c) Modelo 3: Canales expandidos con paredes verticalizadas

Integrado por los tramos 8 Cárcava Bajo y 10 Santa María Bajo, su principal seña de identidad es la presencia de los que hemos denominados *cauces expandidos*, los cuales no sólo se ven ensanchados por zapa lateral de los canales, sino que también se ven incididos en el sustrato terciario, lo que produce orillas muy verticales y altas. Por lo general presentan canales múltiples sometidos a una dinámica de meandros muy activa que, como se ha indicado, es la responsable del ensanchamiento del cauce. Presentan lechos móviles con presencia de abundantes depósitos de material arenoso en forma de barras de canal en sus distintas modalidades. Se trata, por tanto, de tramos con balance morfo-sedimentario muy alterado y con una capacidad erosiva muy alta (Fig. 87).

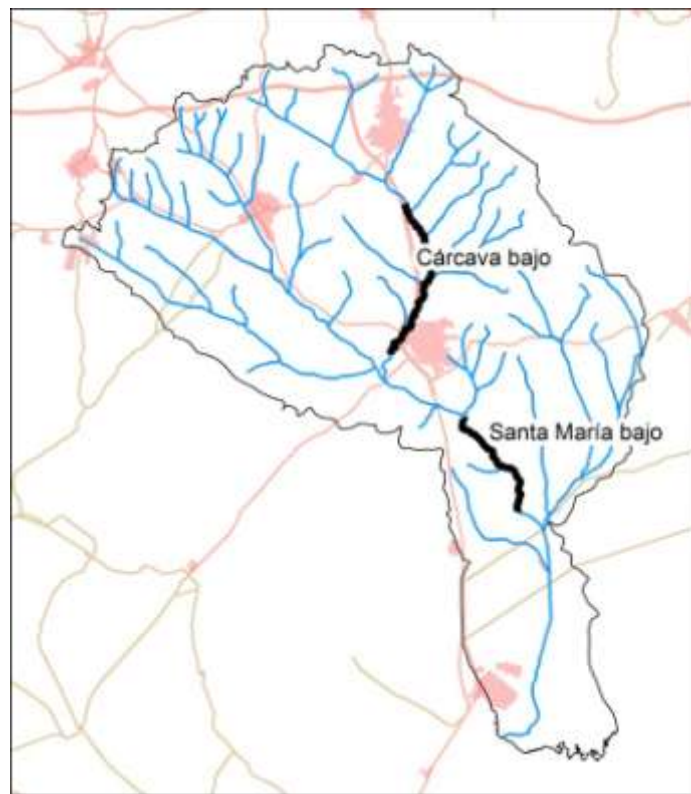


Figura 87. Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 3.

#### **d) Modelo 4: Llanura aluvial incidida**

Compuesto exclusivamente por el tramo 11 La Palmosa, constituye un tramo con cauce expandido e incidido en parte sobre su propia llanura aluvial y en parte sobre el sustrato. En él se reconocen canales múltiples con una dinámica de meandros muy activa responsable, en última instancia, de la expansión lateral del canal. Sobre la llanura aluvial, ahora desconectada hidrológica y morfo-sedimentariamente del canal, se reconocen antiguos canales de crecida. Esta situación de desconexión ha sido ampliamente favorecida por el manejo antrópico del tramo con la construcción de muros laterales y la ocupación de la llanura aluvial con cultivos. El resultado es la existencia de un tramo altamente desnaturalizado que presenta un estatus dinámico altamente degradado (Fig. 88).

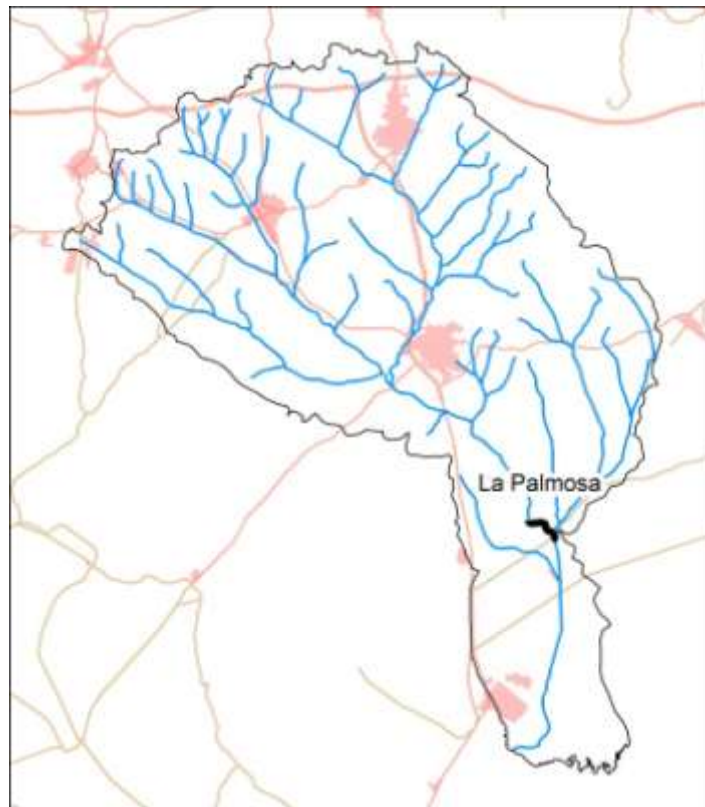


Figura 88. Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 4.

### e) Modelo 5: Cañadas en ámbito forestal

El tramo 13, correspondiente al arroyo de La Parrilla, es el único tramo fluvial que integra el modelo de cañadas en ámbito forestal. En él predominan los fenómenos de colmatación del cauce, salvo en la parte final, en la que se observa un cierto carácter expansivo puesto de manifiesto por el aumento de la anchura del cauce y la aparición de orillas verticalizadas, aunque de dimensiones modestas en comparación con lo visto anteriormente. La entrada de la ingente carga sedimentaria que moviliza este cauce procede fundamentalmente del destoconado de grandes parcelas forestales en la zona de cabecera que deja desprotegido amplias superficies de substrato arenoso, así como, del empleo de técnicas de impermeabilización del suelo en otras fincas agrícolas colindantes que impide la infiltración, al tiempo que aumentan la escorrentía superficial. El resultado es la existencia de un colector altamente desarticulado con un balance morfo-sedimentario muy alterado (Fig. 89).

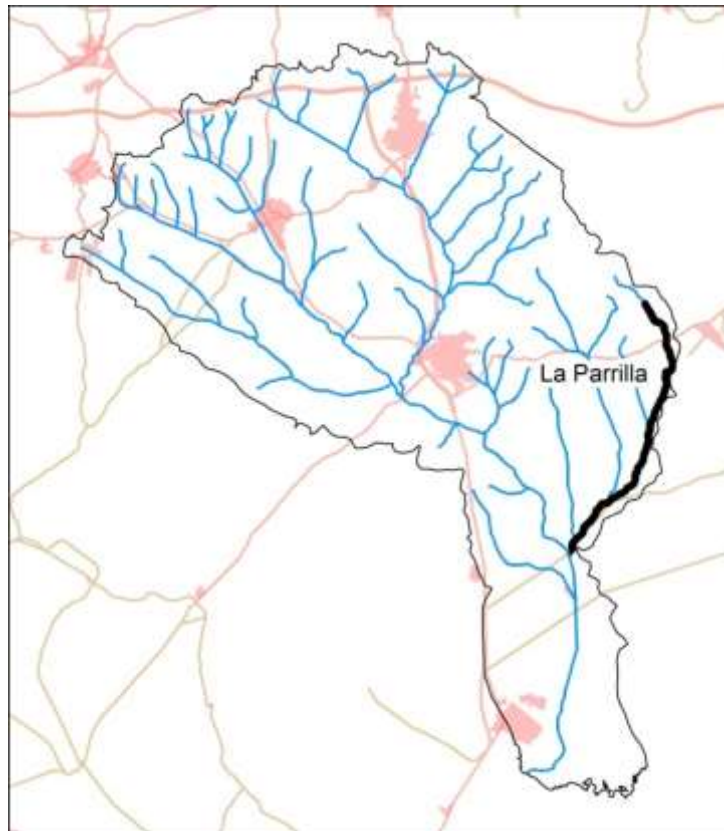


Figura 89. Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 5.

#### f) Modelo 6: Arroyada subsuperficial

Este modelo de *arroyada subsuperficial* está integrado por el tramo correspondiente al arroyo Valdeconejos (12). Presenta un cauce con dispositivo lineal poco marcado que se caracteriza por el desarrollo de importantes procesos de arroyada subsuperficial, que se ven reforzados por el progreso de la escorrentía superficial, especialmente en la parte media-baja del mismo. El trayecto superior de este tramo, en los últimos años, ha empezado a mostrar una dinámica muy parecida al modelo de *cañadas en ámbito forestal* ya comentado, como consecuencia del importante manejo forestal experimentado en la zona, el cual está empezando a condicionar el comportamiento de la escorrentía superficial. En general éste constituye igualmente un tramo muy alterado (Fig. 90).

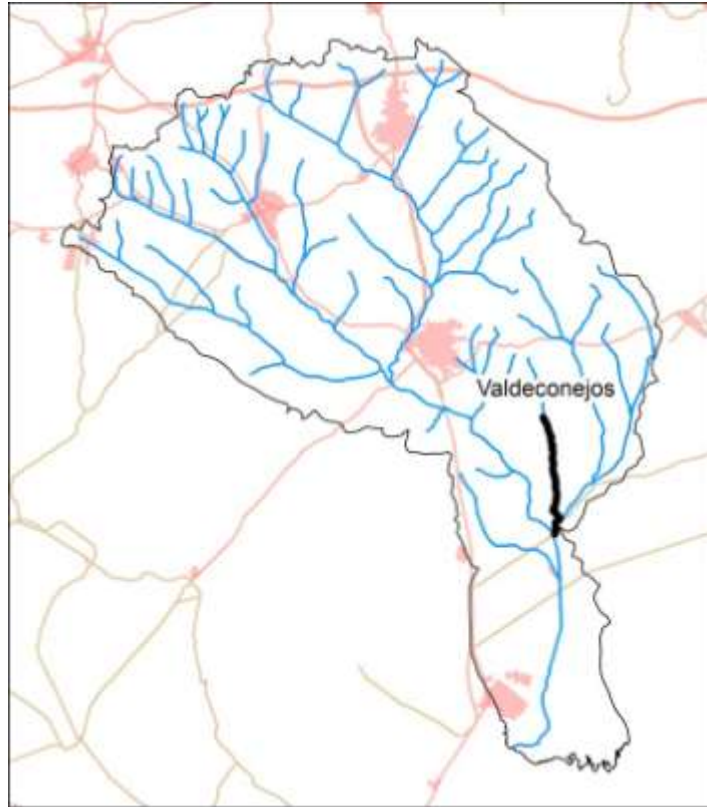


Figura 90. Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 6.

**g) Modelo 7: Cauce artificial**

Este modelo corresponde con los tramos fluviales de Calancha Urbano (5) y Cárcava Medio-Bajo (6), dos sectores artificiales y/o rectificados, en los que la dinámica natural ha sido totalmente eliminada (Fig. 91).

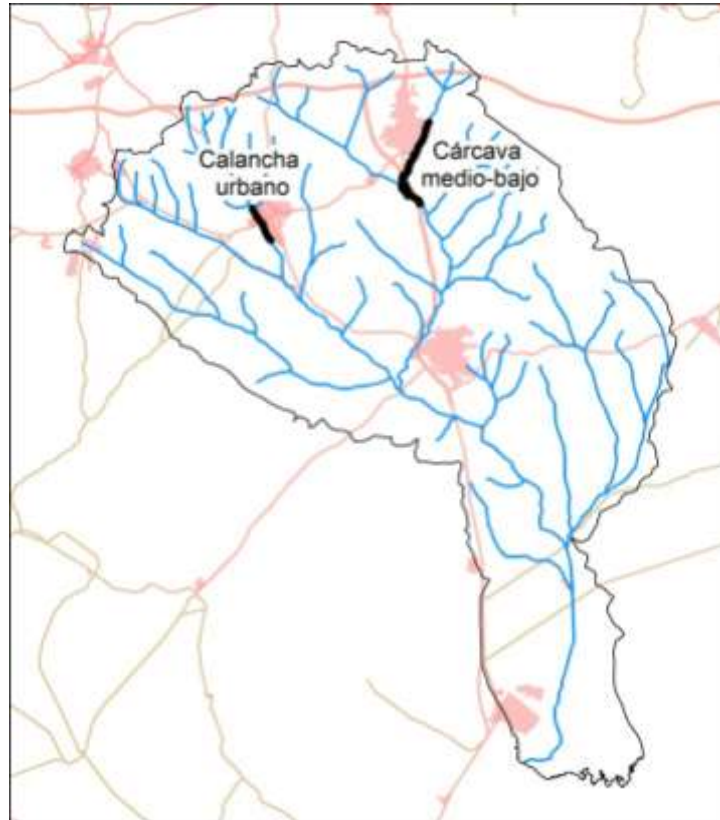


Figura 91. Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 7.

**8.5. VALORACIÓN INTEGRAL**

En síntesis, puede decirse que, durante la segunda mitad de la pasada centuria y comienzos de la actual, el paisaje cultural mediterráneo que existió tradicionalmente en la cuenca del arroyo de El Partido (con el monte mediterráneo y los adhesados en las zonas más altas del relieve, y el viñedo y el olivar en las vaguadas) empieza a desaparecer, emergiendo en su lugar un nuevo territorio, mucho más degradado y fragmentado, que muestra pronto los efectos de las nuevas prácticas ligadas a la mecanización del

campo y a la entrada de la tecnología (regadío y *agroplásticos*), y en el que proliferan las canteras y las áreas desmontadas. Todos estos cambios se ven acompañados, además, de la práctica eliminación de la vegetación de ribera, y de la consiguiente colonización de las orillas por cultivos o, lo que es más frecuente, por especies oportunistas (cañaverales de *Arundo donax*), las cuales se han convertido en una verdadera plaga en buena parte de los cauces. Según se ha puesto de manifiesto recientemente (Gaitán-Cremaschi *et al.*, 2016), esta transformación del territorio no es específica del entorno de Doñana, sino que es reconocible en el conjunto del medio rural europeo, en especial en el mundo mediterráneo, donde no sólo acarrea una elevada pérdida de suelos y un importante deterioro de la multifuncionalidad típica de los paisajes tradicionales, sino asimismo un altísimo costo directo e indirecto para la sociedad en su conjunto, como consecuencia de la imposibilidad de estos ecosistemas de seguir aportando los correspondientes servicios.

Como se ha podido comprobar el *sistema cauce-orilla-llanura aluvial* del arroyo de El Partido presenta una gran desarticulación estructural y una desestabilización funcional muy elevada, como consecuencia de un intenso, variado y prolongado manejo antrópico. Pero no hay que olvidar que la situación en la que se encuentra el cauce es un reflejo de lo que ocurre en el conjunto de la cuenca hidrográfica, la cual presenta fuertemente transformada como consecuencia de un proceso generalizado de cambio de uso del suelo que está convirtiendo un paisaje cultural mediterráneo, basado en el desarrollo de ruedos de cultivos tradicionales, en un sistema de explotación intensiva. Las principales afecciones resultantes de este proceso se concretan en: la eliminación de la cubierta vegetal originaria para la puesta en valor agrícola-industrial (agropecuarias) del territorio; la sustitución de cultivos tradicionales por otros productos que se acompañan de técnicas de laboreo más agresivas (plásticos); los desmontes relacionados con la implantación o el cultivo del eucalipto y la explotación de canteras; la introducción de infraestructuras lineales poco permeables; y, un manejo hidráulico inadecuado (limpieza abusiva, desobturación inadecuada y/o rectificación de cauces, etc.) (Borja *et al.*, 2009).

Como consecuencia de lo anterior, se detecta una gran variedad de desajustes estructurales y funcionales (ha desaparecido, por ejemplo, la

conexión entre cauce-orilla-llanura aluvial; así como la existente entre estos elementos y los bosques de ribera o los suelos hídricos...). Dicha desarticulación progresa al mismo ritmo al que desaparece el antiguo sistema territorial (*paisajes culturales*) caracterizado en su día por unas cabeceras donde se conservaban restos de vegetación natural y unas laderas donde se acomodaba una agricultura de corte tradicional. Todo ello se está traduciendo en la reactivación de un nuevo dispositivo erosivo-sedimentario caracterizado por:

- unas *cabeceras* donde progresa un complejo sistema de cárcavas asociado a desmontes, canteras y *agroplásticos*.
- unos *tramos medios* afectados por intensos procesos de azolvamiento y plena ocupación del dominio público hidráulico (lo que habitualmente se acompaña por el desmantelamiento de la vegetación de ribera, el recrecimiento artificial de orillas para protección de cultivos, las canalizaciones artificiales, etc.).
- unos *tramos medios y bajos* afectados por importantes procesos de erosión lateral y desmantelamiento del sistema cauce-orillas-llanuras aluviales.

Este conjunto de circunstancias está condicionando la puesta en movimiento de una ingente cantidad de sedimentos, hasta el punto de que muchos tramos de la red fluvial de El Partido podrían caracterizarse como “*ríos de arena*” (Borja *et al.*, 2009).







## 9. Hacia una gestión integral de la cuenca de El Partido



## 9. HACIA UNA GESTIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA DE EL PARTIDO

En anteriores apartados se identificaron las principales problemáticas asociadas a la cuenca de El Partido (diagnóstico). Se trata ahora de proponer acciones concretas, *directrices*, encaminadas a la mejora del funcionamiento del sistema hidrogeomorfológico, para lo cual seguiremos el modelo de gestión integrada y sostenible propuesto en su día para la cuenca del Guadiamar por la Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía<sup>3</sup>.

La mayor parte de las directrices de gestión recogidas a continuación están relacionadas con la resolución de uno o varios impactos directos, bien sobre el sistema de laderas (cuenca) o bien sobre el sistema canal-orilla-llanura aluvial (cauce), haciendo un especial hincapié en la mejora de la continuidad y conectividad longitudinal, lateral y vertical del sistema.

En la tabla 13 se establece de forma organizada y sistemática un conjunto de directrices de gestión destinadas, tanto a nivel de cuenca como de cauce, a la recuperación del buen funcionamiento hidrogeomorfológico del sistema fluvial, y por extensión a la propia trama territorial de la cuenca. Se identifica el *objetivo* principal contra el que se quiere actuar con las diferentes directrices, así como la *acción* concreta que aplica en cada caso.

---

<sup>3</sup> “Documento de síntesis del diagnóstico e identificación de problemas de la cuenca del Guadiamar y establecimiento de directrices y orientaciones para una gestión integrada y sostenible” OTCVG. CMA. Junta de Andalucía (2004), 56 págs. “La restauración ecológica del río Guadiamar y el proyecto Corredor Verde. Historia de un paisaje emergente”. CMA. Junta de Andalucía (2008), 486 págs.

<b>PROBLEMÁTICA</b> <i>(Diagnóstico)</i>		<b>DIRECTRICES DE GESTIÓN</b>	
		<b>OBJETIVOS</b>	<b>ACCIONES</b>
<b>Relacionada con desajustes en el sistema hidrogeomorfológico</b>	Canales colmatados	Recuperar la morfología de los canales	Limpieza de materiales
	Depósitos de sobrecañal	Impedir que se produzcan en ámbitos en los que no corresponde	
	Cauces expandidos	Reducir la dinámica expansiva	Protecciones provisionales
	Procesos de avulsión	Mantener la dinámica natural	Ninguna
<b>Relacionada con la alta erodibilidad del sustrato</b>	Predisposición a la erosión mecánica de los materiales del sustrato	Reducir las tasas de erosión	Utilizar técnicas de laboreo agrícola tradicionales Evitar las explanaciones con maquinaria pesada Evitar las talas de masas forestales Sellado de canteras de áridos
	Alta disponibilidad de sedimentos finos	Disminuir la disponibilidad de materiales	
<b>Relacionada con modificaciones en los límites de la cuenca hidrográfica</b>	Modificaciones en el tamaño de la cuenca	Recobrar y mantener las dimensiones originales de la cuenca del arroyo de El Partido	Mantener desconectado el arroyo de La Parrilla Desconectar la cuenca del arroyo Caño Marín
<b>Relacionada con alteraciones en el dispositivo de la red fluvial</b>	Rectificaciones y canalizaciones artificiales de los cauces	Rescatar la morfología natural de los canales y su movilidad	Recuperar el territorio fluvial Evitar la presencia de elementos artificiales (escolleras, muros, sellados de orillas....)
<b>Relacionada con la eliminación del bosque galería</b>	Bosque galería inexistente salvo algún pequeño rodal aislado y de pequeñas dimensiones	Recuperar la vegetación de ribera	Reforestación Control y eliminación de especies invasoras
<b>Relacionadas con el avance de especies invasoras</b>	Presencia de especies invasoras como el <i>A. donax</i>	Suprimir especies invasoras	Control y eliminación periódicos de especies invasoras

<b>Relacionada con el manejo forestal</b>	Plantaciones forestales de eucalipto y pinar en las cabeceras	Prescindir del eucalipto Renaturalizar las masas forestales	Eliminación y sustitución del eucalipto Renaturalizar las masas de pinares dejando progresar el matorral
	Manejo de maquinaria pesada en labores forestales	Excluir el empleo de maquinaria pesada en tareas forestales	Sustitución de maquinaria pesada por medios manuales o animales de corte tradicional
	Desprotección temporal de las parcelas taladas	Conseguir un manejo sostenible de las masas forestales	Alargar en el tiempo los ciclos de poda y tala de las plantaciones
<b>Relacionada con la extracción de áridos</b>	Actividades extractivas de áridos concentradas en las cabeceras	Eliminar los efectos negativos de las actividades extractivas	Clausurar las canteras activas, muy especialmente las situadas en las cabeceras de los arroyos No conceder ningún permiso nuevo para la apertura de este tipo de explotaciones Restauración de los ámbitos afectados de cara a minorar los efectos de la progresión de los procesos de arroyada
	Progresión de la arroyada concentrada en la zonas de canteras	Evitar la progresión de los procesos de arroyada concentrada	
<b>Relacionada con las explanaciones del terreno</b>	Explanaciones del terreno con maquinaria pesada para la implantación de invernaderos o cultivos bajo plástico	Sortear los efectos negativos de la removilización de sedimentos derivada de estas operaciones	Limitar la ejecución de este tipo de transformaciones del terreno
<b>Relacionada con el manejo agrícola inadecuado</b>	Sustitución de un sistema de cultivos tradicionales por cultivos intensivos y tecnificados bajo plástico	Impedir la pérdida de cultivos tradicionales y del acervo cultural asociado	Incentivar el mantenimiento de los cultivos tradicionales presentes en la cuenca
	Laboreo de las parcelas en el sentido de la pendiente y progresión de los procesos de arroyada.	Evitar la pérdida de suelo y la progresión de la arroyada concentrada	Emplear técnicas de laboreo en sentido paralelo a las curvas de nivel

	Tratamientos impermeabilizantes del suelo	Auspiciar la retención del suelo y la infiltración del agua	Desaconsejar los tratamientos impermeabilizantes del suelo Fomentar el uso de técnicas de cultivo con plantas que protejan el suelo y favorezcan la infiltración del agua
	Cultivos hasta el borde mismo de la orilla de los canales	Favorecer la progresión de la vegetación riparia	Dejar una franja de terreno sin cultivar desde el borde del canal hasta los cultivos para la progresión de la vegetación natural
<b>Relacionada con la alteración de la calidad de las aguas</b>	Vertidos no controlados procedentes de zonas habitadas o explotaciones agrícolas.	Inspeccionar y evitar el vertido de todo tipo de contaminantes líquidos o sólidos	Vigilar y evitar los vertidos a la red de canales
	Presencia de aguas con altas tasas de productos contaminantes.		
	Vertido alpechines		
<b>Relacionada con la explotación del acuífero aluvial</b>	Sobreexplotación del acuífero aluvial	Controlar las captaciones de agua	Controlar y vigilar la sobreexplotación del acuífero aluvial Inspeccionar y evitar la apertura de nuevos pozos Vigilar e impedir la apertura de <i>zacayones</i>
	Apertura de pozos en las inmediaciones de los canales (acuífero aluvial)		
	Captaciones de agua del cauce		
<b>Relacionada con la presencia de infraestructuras</b>	Autovías, carreteras, caminos	Disminuir el impacto de estas infraestructuras sobre el medio fluvial	Respetar el territorio fluvial alejando en la medida de lo posible de los canales su ubicación Racionalización de la red viaria
	Puentes, vados, obras de fábrica	Reducir y prescindir la construcción de estas infraestructuras	Diseñar obras con dimensionados adecuados y respetuosos con la dinámica fluvial y el territorio fluvial en ese tramo Eliminar, en la medida de lo posible, los vados

<b>Relacionada con actuaciones sobre el cauce</b>	Diques transversales	Eliminar los diques para recuperar la conexión transversal	Eliminar progresivamente de todo tipo de estructuras rígidas
	Presencia de diques artificiales (muros, motas...)	Recobrar el flujo continuo de los arroyos	
	Canalizaciones (canales de hormigón, gaviones, escollera...)	Recuperar movilidad transversal de los arroyos	
	Impermeabilización de orillas (sellado)	Recobrar la relación hídrica entre canal, orilla y llanura	Eliminar todo tipo de sellado de canales y orillas Renaturalizar de las orillas
	Remodelaciones artificiales del cauce	Recuperar la sección del cauce original	Prohibir la remodelación artificial de canales con maquinaria pesada
	Limpiezas abusivas y dragados	Investigar los sectores que necesitan ser dragados	Impedir los dragados que no estén dentro de un proyecto de actuación definido con bases científicas
	Represas artificiales	Prescindir de cualquier elemento de laminación de agua	Excluir y vedar cualquier estructura artificial (efímeras) de retención de caudales
<b>Relacionada con actuaciones sobre la llanura aluvial</b>	La presencia de motas artificiales	Recuperar la dimensión y funcionalidad de las llanuras aluviales	Desterrar de modo progresivo cualquier elemento de contención
	Construcción de <i>levées</i> artificiales a lo largo de las orillas	Recobrar la relación hídrica entre canal, orilla y llanura	Desmontar y eliminar progresivamente cualquier estructura de sobreelevación de las orillas de forma artificial
	Rellenos con material de acarreo	Retirar todos los materiales y desechos usados para relleno	Prohibir y controlar cualquier tipo de relleno en los canales o llanura aluvial
<b>Relacionada con la ocupación de los canales o la llanura aluvial</b>	Ocupación antrópica de la llanura aluvial o zonas aledañas a los canales con construcciones legales o ilegales (urbanización)	Promover la inundación periódica de la llanura aluvial	Vedar la progresión de construcciones legales o ilegales en zonas aledañas a los canales o la llanura aluvial

	Cultivos que se extienden hasta el borde mismo de las orillas	Favorecer la presencia de vegetación de ribera	Establecer una franja de separación entre las orillas de los canales y los cultivos aledaños para favorecer la progresión de la vegetación riparia
	Construcción de cercados con vallas (conocidos localmente como <i>corralitos</i> )	Permitir el flujo longitudinal del arroyo sin ningún tipo de restricciones	Eliminar cualquier elemento fijo o efímero dentro de los canales
<b>Relacionada con el caudal y el acuífero</b>	Las extracciones agua directamente del cauce con equipos de bombeo	Prohibir cualquier tipo de captura hídrica	Vigilar y evitar captaciones de agua directamente sobre los canales
	Apertura de pozos y <i>zacayones</i>	Impedir la explotación de nuevos pozos y <i>zacayones</i>	Prohibir y alertar sobre la apertura de nuevos pozos y <i>zacayones</i>
<b>Relacionada con la contaminación</b>	Vertidos sólidos (escombros, basuras...)	Eliminar residuos	Recoger y eliminar los residuos sólidos de canales y llanura aluvial
	Vertidos líquidos (aguas residuales, alpechín...),	Impedir vertidos sobre el cauce	Inhibir cualquier tipo de vertido líquido o sólido a la red de canales
	Retornos de caudales de riego de la agricultura cargados de fitosanitarios, plaguicidas, abonos, etc.	Inspeccionar el uso de abonos y fitosanitarios usados	Controlar el uso abonos y fitosanitarios en los cultivos

Tablas 13. Propuestas de gestión a nivel de cuenca y de cauce.





## 10. Síntesis y conclusiones



## 10. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

### 10.1. SÍNTESIS

En la presente investigación se ha avanzado en el conocimiento de la dinámica hidrogeomorfológica y la evolución reciente del arroyo de El Partido, un pequeño colector situado en la orilla noroccidental de las marismas del Guadalquivir, cuyo funcionamiento ha dado muestras de un creciente deterioro durante las últimas décadas, bajo un progresivo impacto antrópico. Dicho desajuste funcional se manifiesta, entre otros hechos morfo-sedimentarios de envergadura, mediante la formación de un cono aluvial de grandes dimensiones en su desembocadura que, ya dentro de los límites del Parque Nacional de Doñana, ha aterrado parte de la marismas del Guadalquivir, comprometiendo la circulación de las aguas del arroyo de la Madre de La Rocina hacia el corazón del reputado humedal, provocando al mismo tiempo un incremento notable del riesgo de inundación en la cercana aldea de El Rocío.

Bajo estas circunstancias, la restauración del arroyo de El Partido se incluyó como una de las actuaciones a ejecutar dentro del conocido como Proyecto Doñana 2005, que, auspiciado por el antiguo Ministerio de Medio Ambiente, comenzó su andadura a finales de los años 90 y la primera década del 2000. El *Doñana 2005* tenía como objetivo general la restauración de la dinámica hidrológica de las marismas del Guadalquivir como se indicó en el apartado dedicado a la introducción de la presente memoria. A pesar de todo, las obras realizadas en su día no lograron solventar la problemática que dio origen al proyecto, de modo que en la actualidad aún siguen llevándose a cabo actuaciones encaminadas a conseguir el mismo objetivo entonces declarado.

Mediante técnicas de análisis espacial y estudios de campo, en la presente memoria se ha evaluado la dinámica hidrogeomorfológica actual de la cuenca del arroyo de El Partido contrastándola con los datos relativos al funcionamiento correspondiente a las décadas anteriores, desvelándose las relaciones existentes entre los cambios registrados por los usos del suelo y las respuestas ofrecidas por el sistema hidrogeomorfológico. El diagnóstico

llevado a cabo, ha puesto de relieve que, pese a que las grandes transformaciones de los usos del suelo registradas por la cuenca con anterioridad a la primera década de los años 2000 parecen haberse atenuado desde hace algunos años, los desajustes hidrogeomorfológicos, sin embargo, siguen acentuándose en el presente. El arroyo de El Partido constituye en la actualidad un sistema subsidiado en el que las acciones antrópicas de protección de orillas, desobturación, canalización, etc., se han convertido en actividades bastante frecuentes, siendo asimismo habitual la presencia de maquinaria pesada realizando tareas de dragados, acondicionamiento de orillas, creando muros artificiales, etc. Frente a esta situación, la perspectiva hidrogeomorfológica plantea una serie de directrices de manejo orientadas a mitigar los efectos de las presiones de origen antrópico a los que está sometido este sistema fluvial.

#### **10.1.1. Transformaciones de los usos del suelo**

Durante la segunda mitad del pasado siglo, en efecto, asistimos a una serie de importantes transformaciones en los usos del suelo de la cuenca de El Partido, los cuales son especialmente llamativos a partir de la década de los años setenta, momento en que los referentes del paisaje tradicional de la comarca del Condado (Huelva) empezaron a dejar de ser sustantivos (Fernández *et al.*, 2007; Fernández, 2010). Las formaciones vegetales naturales y las plantaciones arbóreas naturalizadas, sin embargo, sufrieron una intensa reducción hasta los años setenta, registrando una ligera recuperación a partir de entonces para mantenerse más o menos estable el resto del periodo. La presencia de los cultivos tradicionales sufrió una sensible merma en el conjunto de la cuenca, pasando de un 57,0% a un 50,6% de ocupación. No obstante, analizada en detalle, dicha pérdida se concentró exclusivamente en el viñedo, ya que el olivar y el secano de herbáceas y leñosas se mantuvieron prácticamente inamovibles en sus porcentajes iniciales. El terreno dedicado a la explotación del eucalipto, por el contrario, exhibió un crecimiento notable hasta mediados de los años setenta, decreciendo levemente desde entonces hasta el final del periodo evaluado. La nueva agricultura, representada en la cuenca de El Partido principalmente por frutales en regadío y cultivos bajo plástico, experimentó su auge principal a partir de la década de los noventa, manteniendo una línea ascendente desde entonces, como asimismo ocurre

con las superficies dedicadas a la extracción de áridos para la construcción (canteras), que llegan a triplicar su extensión en pocos años, y con las parcelas sin vegetación (desmontes) (Borja *et al.*, 2015).

En síntesis, puede decirse que, durante la segunda mitad de la pasada centuria, el paisaje cultural mediterráneo que existió tradicionalmente en la cuenca de El Partido (con el monte mediterráneo y los adeshados en las zonas más altas del relieve, y el viñedo y el olivar en las vaguadas) empieza a desaparecer, emergiendo en su lugar un nuevo territorio, mucho más fragmentado y desarticulado, que muestra pronto los efectos de las nuevas prácticas ligadas a la mecanización del campo y a la entrada de la tecnología (regadío y *agropásticos*), y en el que proliferan las canteras, las áreas desmontadas y las plantaciones de eucaliptos (Borja *et al.*, 2015) (Fig. 92 y 93). Todo ello se ve acompañado, además, de la práctica eliminación de la vegetación de ribera, y de la consiguiente colonización de las orillas por especies oportunistas (eucaliptos y cañaverales de *Arundo donax*), las cuales constituyen una verdadera plaga en casi la totalidad de los cauces.

Según se ha puesto de manifiesto recientemente (Gaitán-Cremaschi *et al.*, 2016), esta transformación del territorio no es específica del entorno de Doñana, sino que es reconocible en el conjunto del medio rural nacional y europeo, afectando muy especialmente al mundo mediterráneo, donde no sólo acarrea una elevada pérdida de suelos y un importante deterioro de la multifuncionalidad típica de los paisajes tradicionales, sino asimismo un altísimo costo directo e indirecto para la sociedad en su conjunto, como consecuencia de la imposibilidad de estos ecosistemas de seguir aportando los correspondientes servicios.

Comparadas con la situación de 2003, la distribución y representación de los usos del suelo actuales de la cuenca de El Partido no presentan cambios sustantivos tal como se ha visto en apartados anteriores de este trabajo. Los cultivos tradicionales de secano (herbáceas y leñosas, incluidas la vid y el olivo) se mantienen en porcentajes similares, pasando del 50,6% al 49,5% del total de la superficie de la cuenca. Idéntico comportamiento muestran los espacios con vegetación natural o plantaciones forestales naturalizadas, los cuales presentan incluso un leve crecimiento, pasando de un 17,3% a un 18,6%. Del resto de los usos, los cuales se reparten el tercio restante del

territorio analizado (31,9%), sólo cabe destacar la caída de la parcela dedicada a la explotación del eucalipto (del 8,8% al 5,9%), y el incremento de los usos de canteras, cultivos bajo plásticos y desmontes.

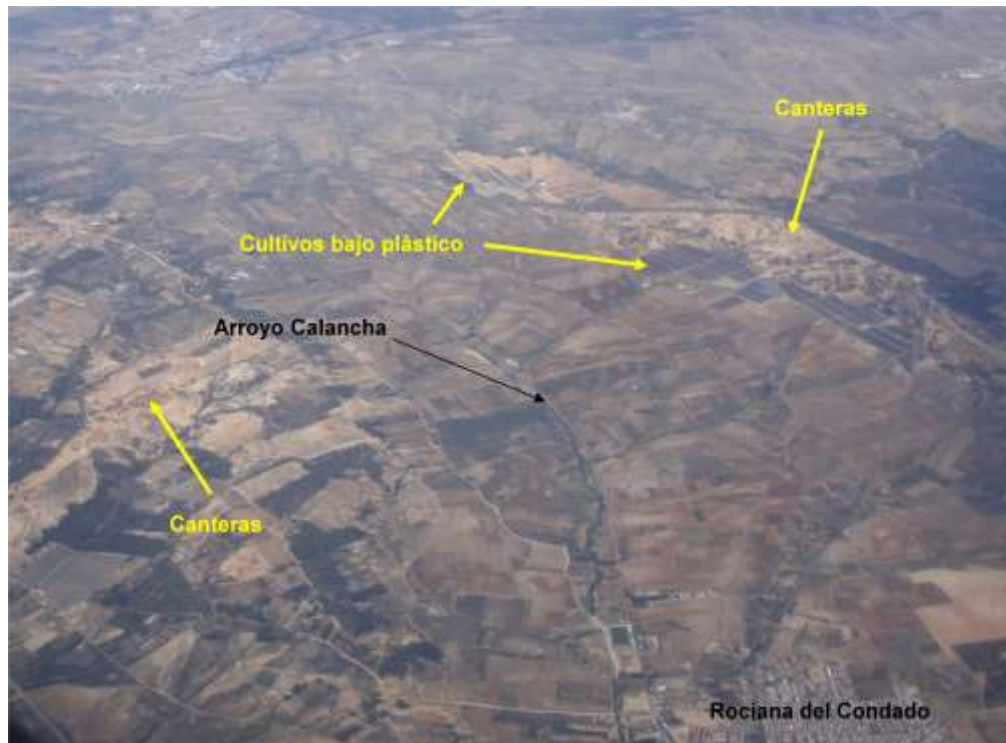


Figura 92. Vista aérea oblicua de la cabecera del arroyo Calancha en la que se han señalado las zonas de cultivos bajo plásticos y explotación de áridos (canteras).

Bajo una situación como esta, en la que el modelo territorial alcanzado hace ya más de una década parece perpetuarse, deteniéndose por tanto la tendencia a la transformación imperante desde tiempo atrás, resulta que los desajustes detectados en 2003 en el funcionamiento hidrogeomorfológico del cauce de El Partido, paradójicamente, no han cesado hasta la actualidad, sino que se han hecho más acuciantes. Esta es una lección aprendida sumamente interesante, ya que nos informa acerca de que, una vez que el sistema natural ha sido desajustado a causa de ciertos cambios en los usos del suelo, el hecho de que dichas transformaciones cesen no es garantía de que los desajustes desaparezcan o se mitiguen. Todo lo contrario.



Figura 93. Vista aérea oblicua de la cabecera del arroyo Colmenar en la que se han señalado las zonas de cultivos bajo plásticos y explotación de áridos (canteras).

### 10.1.2. Respuesta hidgeomorfológica del sistema fluvial

La caracterización del modelado y la dinámica sedimentaria del arroyo de El Partido, unida al análisis diacrónico de la influencia humana sobre la cuenca (años 1956, 1976, 1991, 1999, 2005 y 2014) nos permite identificar en 2014 un sistema fluvial notablemente desnaturalizado, tanto desde el punto de vista estructural como funcionalmente, a causa de un intenso, variado y prolongado impacto humano sobre laderas y cauces. Los cambios en los usos del suelo registrados durante décadas han conducido, como se ha puesto de manifiesto en apartados anteriores, a una merma de la cubierta arbórea original y de los cultivos tradicionales en la cuenca; mientras que los cauces, además de haber perdido la vegetación ribereña en su práctica totalidad y estar intensamente salpicados de obstáculos que impiden una corriente fluida, también se ven afectados en su modelado y en la distribución de sus depósitos.

El análisis general del sistema de cauces se ha llevado a cabo, según se ha indicado, a partir de la determinación de una serie de *tramos-diagnóstico* (Borja *et al.*, 2008; Borja *et al.*, 2009). La incidencia humana sobre dichos tramos se substancia, básicamente, en la rectificación con maquinaria del trazado del canal, su limpieza abusiva, la interposición de infraestructuras viarias, el recrecido de orillas, la obstrucción del flujo mediante obstáculos diversos (azudes improvisados, vertidos de residuos sólidos y líquidos, motas, muros de obra...), así como, de manera indirecta, mediante todo tipo de inadecuadas prácticas agro-forestales.

El análisis espacial, en sus distintas modalidades, también nos ha permitido comprobar que el modelo territorial actual se alcanzó hace ya más de una década. Sin embargo, como hemos indicado anteriormente, los desajustes detectados en el funcionamiento hidrogeomorfológico de El Partido para esos momentos, paradójicamente, no han cesado sino que se han vuelto mucho más acuciantes. Y así, por ejemplo, en las áreas de cabecera, condicionadas por la presencia de las explotaciones de áridos y amplias extensiones de cultivos bajo plástico, sigue produciéndose un importante aporte de material arenoso a los cauces, como se ha puesto de manifiesto para el caso del arroyo Vizcaíno en el tramo superior del arroyo Colmenar.

Aguas abajo, en los tramos medios-altos de las distintas sub-cuencas, los principales desajustes del sistema fluvial se agrupan de forma genérica en la colmatación de canales y la aparición de importantes depósitos de sobrecanal (*floodout* y *floodplain sand-sheet*). Un ejemplo de la situación indicada en primer lugar es la que corresponde al tramo Calancha medio, en el término municipal de Rociana del Condado, en el que la colmatación del canal propició, incluso, iniciativas municipales de desobstrucción del mismo con maquinaria pesada y la acumulación de los materiales en sus márgenes, a modo de dique. Sin embargo, como era de esperar, dichas tareas no supusieron una solución al problema, ni tan sólo una mejora en las condiciones de funcionamiento hidrogeomorfológico de este tramo, pues en tan sólo dos años después de la última limpieza en el año 2013, el canal volvió a colmatarse, habida cuenta de que las cabeceras seguían bastante inestables, con cárcavas cada vez más profundas. También en estos tramos fluviales se han registrado episodios de avulsión relacionados con la imposibilidad del canal para transportar a lo largo de su cauce la ingente carga sedimentaria que incorpora el sistema. Otro de los efectos registrados a



esta altura de los canales de El Partido es el desarrollo de depósitos de sobrecañal, los cuales se han vuelto habituales tras cada episodio de crecida, como consecuencia de la rotura de los diques artificiales que recrecen los márgenes de los canales o, asimismo, por efecto de la presencia de obstáculos transversales de diversa índole, que inducen la ralentización del flujo y la consiguiente pérdida de capacidad de transporte.

Por su parte, el funcionamiento hidrogeomorfológico de los tramos medios-bajos de El Partido se caracteriza por una dinámica de expansión lateral de los canales, con pérdida de orillas naturales y desarrollo de profundas paredes verticales, como puede apreciarse, por ejemplo, en el tramo del arroyo Colmenar que queda aguas debajo de la Autovía A-483. La dinámica de zapa lateral de las orillas propia de estos tramos se mantiene especialmente activa en la parte externa de los meandros, perpetuando la dinámica expansiva del canal. Este llamativo fenómeno de encajamiento y ensanchamiento del cauce parece tener su origen en el hecho de que, como hemos indicado anteriormente, aguas arriba, en los tramos medios-altos de los cauces, se está produciendo una importante descarga de materiales gracias a la colmatación de los canales y a los desbordamientos recurrentes. De manera que el flujo hídrico llega a este punto, tras haberse desprendido de una gran parte de la carga sedimentaria que transportaba, reforzado desde el punto de vista de su capacidad erosiva. Dicho excedente de energía se compensa con el desarrollo de un notable trabajo erosivo aguas abajo que, como ya hemos indicado, se manifiesta tanto en forma de incisión vertical como de zapa lateral de las orillas, dando lugar, finalmente, a la aparición de canales expandidos que, en el caso del tramo analizado, alcanzan anchuras de casi 100 m y profundidades en torno a los 10 m.

En el tramo final del arroyo de El Partido los procesos de erosión y encajamiento han progresado recientemente en el cauce principal, mientras que en los últimos afluentes por la izquierda, se reconocen comportamientos diferenciados. De este modo, en el sector de La Palmosa (tramo final del arroyo Santa María, nombre con el que se conoce a El Partido en este ámbito), se mantiene la ya referida dinámica de encajamiento con orillas verticales y expansión de cauces, mientras que el arroyo de Valdeconejos reproduce a menor escala el modelo hidrogeomorfológico puesto en evidencia para el conjunto de la cuenca de El Partido, a saber: la

transformación de los usos del suelo en los ámbitos de cabecera –en especial un manejo forestal inadecuado basado en la tala a mata rasa de numerosas parcelas– está provocando un proceso de incorporación masiva de material sedimentario a los cauces, que progresivamente van colmatando canales y generando depósitos de sobrecañal, haciendo que un importante flujo de aguas relativamente libres de carga sedimentaria alimente el tramo fluvial con el que El Partido alcanza la marisma de Doñana.

El diagnóstico realizado ha evidenciado la interrelación existente entre los desajustes hidrogeomorfológicos y la intensidad de los impactos antrópicos a los que está sometido el sistema fluvial. A nivel de cuenca, se trata de presiones derivadas del cambio de los usos del suelo; a nivel de cauce, los impactos están relacionados con una absoluta falta de consideración por los procesos naturales que sostienen el sistema, lo que se traduce en todo tipo de acciones contrarias a su dinámica natural (eliminación o destrucción de canales, construcción de muros y de todo tipo de parapetos, rectificaciones, sellado de canales y orillas, ocupación de la llanura aluvial, destrucción de la vegetación riparia...). Desde este punto de vista, las directrices propuestas para concluir nuestro trabajo tienen como principal objetivo eliminar, o minimizar, disfunciones a distintas escalas intentando actuar directamente sobre las causas que los originan, aprovechando las posibles sinergias que puedan establecerse entre aquellas, alejándonos así del catálogo de actuaciones individuales, concibiéndolas, por el contrario, como una propuesta integral de restauración del sistema fluvial.

## **10.2. CONCLUSIONES**

La reciente y continua desarticulación estructural y funcional del sistema fluvial del arroyo de El Partido es un hecho objetivable desde cualquier punto de vista. Desde una perspectiva hidrogeomorfológica, la pérdida de suelos de la cuenca, en general, y las transformaciones sufridas en particular por el sistema cauce-orilla-llanura aluvial (principalmente en lo que se refiere a flujos, procesos, modelados, sedimentos, suelos, vegetación...), han acarreado un profundo cambio en el cuadro ecológico de este sistema fluvial, lo que también ha afectado intensamente a las marismas del Parque Nacional de Doñana.

Esta situación constituye la respuesta a las transformaciones experimentadas por los usos del suelo de la cuenca durante las últimas décadas, las cuales se concretan principalmente en la pérdida generalizada de las formaciones vegetales naturales o naturalizadas, la expansión del cultivo del eucalipto, la proliferación de áreas de extracción de áridos y desmontes, el auge de las nuevas agriculturas (plásticos), la mecanización y tecnificación de las labores agrícolas, etc. No obstante, esta relación causa-efecto no es ni mucho menos de carácter lineal, habida cuenta de que, como hemos tenido ocasión de demostrar más arriba, las transformaciones territoriales que llevaron a la cuenca de El Partido a pasar de un modelo territorial del tipo *paisaje cultural mediterráneo* a la actual situación de desequilibrio creciente, habrían cesado hace ya más de una década, casi, dos, mientras que los desajustes hidrogeomorfológicos que caracterizan el funcionamiento presente del sistema fluvial no dejan de acrecentarse.

Se hace necesario, así pues, en primer lugar, comprender que las perturbaciones morfodinámicas acarreadas por los cambios en los usos del suelo tienen un expreso carácter diferido, un efecto rezagado muy a considerar ante cualquier iniciativa de planificación o gestión; y, en segundo término, tener en cuenta que el hecho de parar o llegar a revertir la tendencia de estos cambios en el manejo del territorio no garantiza, al menos de una manera mecánica, el cese inmediato del funcionamiento desajustado del sistema fluvial.

La desarticulación del funcionamiento evidenciada en el caso del arroyo de El Partido, así pues, refuerza la tesis defendida a lo largo de este trabajo, en relación con la necesidad de visualizar la componente hidrogeomorfológica del sistema fluvial como uno de los indicadores esenciales a la hora de abordar su planificación y su gestión integral. Dadas la variedad y la complejidad de implicaciones socioeconómicas y territoriales que afectan a los sistemas fluviales, la mejora de su funcionamiento no pasa, desde el actual nivel de conocimiento, por la ejecución de medidas puntuales, inconexas y, por regla general, de carácter intuitivo-paliativo como las que desgraciadamente estamos acostumbrados a presenciar, sino que requiere urgentemente de la adopción de enfoques de carácter integral donde la caracterización hidrogeomorfológica juega un papel clave.





## 11. Referencias bibliográficas



## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam, P., Malavoi, J. R. y Debiais, N.** (2007). *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau*. Agence de l'Eau Seine-Normandie. Lyon, 299 págs.
- Addink, E. y Kleinhans, M.** (2008). Recognizing meanders to reconstruct river dynamics of the Ganges. En: *GEOBIA (Pixels, Objects, Intelligence: Geographic Object Based Image Analysis for the 21st Century)*. Hay, G., Blaschke, T., Marceau, D. (Eds.). Vol. 48, part 4/C1 of The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. Int. Soc. for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Calgary, Canada, 378 págs.
- Agence de l'Eau y Ministère de l'Environnement.** (1998). *SEQ-Physique: a system for the evaluation of the physical quality of watercourses*. París, 15 págs.
- Barral, M. A., Prados, M. J. y Hurtado, C.** (2020). Evolución de la erosión estimada (USLE) y procesos de Naturbanización en el entorno de los Parques Nacionales de Doñana y Sierra Nevada (España). *Cuadernos Geográficos*, 59 (1), 196-223.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D. y Stribling, J. B.** (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, D.C., 339 págs.
- Bayán, B., Casas, J., Ruiz, A. y Urdiales, C.** (2001). *Un proyecto para la regeneración de Doñana*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 52 págs.
- Berkes F. y Folke K.** (1996). *Linking social and ecological systems*. Cambridge University Press. 325 págs.
- Borja, C.** (1996). *Laderas, procesos geomorfológicos y mecánica del suelo*. Universidad de Sevilla-Vorsevi, S.A. Sevilla, 153 págs.
- Borja, C., Borja, F. y Lama, Á.** (2004). Revisión y análisis de la producción científica relacionada con el medio físico de los Humedales andaluces. Huelva, España. En: *Fronteras en movimientos*, J.A. Márquez Domínguez y M. Gordo Márquez (Eds.). Servicio de publicaciones de la Universidad de Huelva. Huelva, pp. 297-304.
- Borja, C., Borja, F. y Lama, Á.** (2007). *Bases para la restauración ecológica de la laguna de Charrodo. Complejo Endorreico de Lebrija-Las Cabezas (Sevilla)*. Egmasa-Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Sevilla. Documento Inédito, 185 págs.

- Borja, C., Borja, F., Lama, Á., Díaz del Olmo, F. y Fernández, M.** (2015). El arroyo del Partido (Cuenca NW de Doñana, España). Cambios de usos del suelo y respuestas hidrogeomorfológicas (1956-2014). En: *II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial*, Pamplona, CIREF, pp. 362-371.
- Borja, C., Borja, F., Lama, Á. y Fernández, M.** (2008). Dinámica hidrogeomorfológica y presión antrópica en pequeñas cuencas mediterráneas. El caso del arroyo El Partido (Huelva, SW España). En: *Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008*, J. Benavente, J. Gracia (Eds.), SEG-UCA, Cádiz, pp. 427-430.
- Borja, F., Barral, M. A., Borja, C. y Román, J.M.** (2008). Caracterización hidrogeomorfológica e impacto antrópico en la llanura aluvial y la marisma del Guadiamar (1956-2006). Determinación de sectores de diagnóstico y gestión. En: *La restauración ecológica del río Guadiamar y el Proyecto del Corredor Verde*, C. Montes y F. Carrascal (Coords.). Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Sevilla, pp. 101-120.
- Borja, F., Borja, C., Lama, Á. y Fernández, M.** (2006). *Análisis de riesgos geomorfológicos y evaluación de procesos de erosión en la cuenca del arroyo del Partido, Huelva. Informe previo sobre el estado actual de la investigación*. Huelva: CHG-MIMA. Informe inédito, 82 págs.
- Borja, F., Borja, C., Lama, Á. y Fernández, M.** (2009). Dinámica hidrogeomorfológica e impacto antrópico en la cuenca del arroyo del Partido (NW del Parque Nacional de Doñana, Huelva, España). Evaluación de procesos actuales. *Cuaternario y Geomorfología*, 23 (3-4), 45-64.
- Borja, F. y Díaz del Olmo, F.** (1996). Manto Eólico Litoral de El Abalarío (Huelva): Episodios morfogenéticos posteriores al 22.000 BP. En: *Dinámica y Evolución de medios cuaternarios*, A. Pérez et al. (Eds). Santiago de Compostela, pp. 375-390.
- Borja, F. y Gómez, C.** (2002). Cambios recientes de usos del suelo y respuestas morfo-hidrográficas en las cuencas menores y marismas del sector NW del Parque Nacional de Doñana. En: *Aportaciones de la Geomorfología de España en el inicio del Tercer Milenio*, A. Pérez, J. González, J. Vegas, M.J. Machado (Eds.), Madrid: SEG-IGME, Serie Geología nº 1, pp. 31-36.
- Borja, F. y Montes, C.** (2008). La gestión ecosistémica como herramienta territorial para la toma de decisiones. Ecorregiones e integración funcional de carreteras y espacios naturales protegidos. *II Congreso Nacional de Medio Ambiente en Carreteras*. Asociación Española de la Carretera. Santander. Documento Inédito, 29 págs.
- Borja, F., Román, J. M. y Borja, C.** (2008). Regionalización ecológica de la Vega y Marisma del Guadiamar. Aproximación a la trama biofísica del Corredor Verde del Guadiamar. En: *La restauración ecológica del río Guadiamar y el Proyecto del*



*corredor Verde. Historia de un paisaje emergente*, C. Montes y F. Carrascal (Coords.). Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Sevilla, pp. 91-100.

**Borja, F., Román, J. M., Montes, C., Moreira, J. M. y Rodríguez, J.** (2004). *Regionalización Ecológica de Andalucía y Unidades Ecológicas de Gestión en el marco del Plan Director de la RENPA*. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Documento Interno. Sevilla, 82 págs.

**Bradshaw, A. D.** (1987). The reclamation of derelict land and the ecology of the ecosystems. En: *Restoration Ecology*, W.R. Jordan, M.E. Gilpin y J.D. Aber (Eds.). Cambridge University Press. Cambridge, pp. 53-74.

**Brierley, G. J. y Fryirs, K. A.** (2005). *Geomorphology and river management. Applications of the river styles framework*. Blackwell Publishing. Oxford, 398 págs.

**Brookes, A.** (1994). River channel change. En: *The River Handbook; hydrological and ecological principles*, P. Calow, G.E. Petts (Eds.). Blackwell Science, Oxford, pp. 55-75.

**Calvo, A.** (1987). *Geomorfología de laderas en la montaña del País Valenciano*. Edición Alfons El Magnanim. Valencia, 301 págs.

**Cano García, G.** (1975). La cuenca del Caballero, afluente del Cabriel. Estudio geomorfológico y morfométrico. *Cuadernos de Geografía*, 17, 45-84.

**Caraco, N.F.** (1995). Influence of human populations on phosphorus transfers to aquatic systems: a regional scale study using large rivers. En: *Phosphorus in the Global Environment*, Tiessen, H. (Ed.). SCOPE, 54: 235-244. John Wiley & Sons.

**Carson, M. A. y Kirkby, M. J.** (1972). *Hillslope, form and process*. Cambridge University Press. Cambridge, 475 págs.

**Casas, J. y Urdiales, C.** (1995). Introducción a la gestión hidráulica de las marismas del Parque Nacional de Doñana (S.O. de España). En: *Bases ecológicas para la restauración de humedales en la Cuenca Mediterránea*. Junta de Andalucía, pp. 165-189.

**Charlton, R.** (2008). *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Routledge. Londres, 234 págs.

**Chorley, R. J.** (1962). *Geomorphology and General systems theory*. United States Geological Survey Professional Paper. 500 B, 10 págs.

**Chorley, R. J.** (1969). The drainage basin as the fundamental geomorphic unit. En: *Introduction to Physical Geography*, R.J.Chorley (Ed.). Londres, Methuen, pp. 37-59.

- Chorley, R. J. y Kennedy, B. A.** (1971). *Physical Geography: A System Approach*. Prentice-Hall International. London, 370 págs.
- Chorley, R. J., Schumm, S.A. y Sugden, D.E.** (1984). *Geomorphology*. Methuen and Co. Ltd. Nueva York, 607 págs.
- CIREF** (2010). ¿Qué es restauración fluvial? *Notas Técnicas CIREF*, nº 4, 11 págs.
- Clewell, A. F. y Aronson, J.** (2007). *Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession*. Island Pr., 303 págs.
- Conesa, C. y Pérez Cutillas, P.** (2014). Alteraciones geomorfológicas recientes en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica. Síntomas y problemas de incisión en los cauces. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 25-44.
- Consejería de Medio Ambiente.** (2002). *Plan Andaluz de Humedales*. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Sevilla, 253 págs.
- Consejería de Medio Ambiente.** (2003). *Plan Director de Riberas de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Sevilla, 309 págs.
- Consejería de Medio Ambiente.** (2005). *Mapa Geomorfoedáfico de Andalucía. E: 1:400.000*. Sevilla. Cartografía.
- Consejería de Medio Ambiente.** (2009). *Cartografía y evaluación de la vegetación de la masa forestal de Andalucía a escala de detalle 1:10.000, año 1996-2006*. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.** (2013). *Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España, 1:10.000*. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Consejería de Obras Públicas y Transportes.** (2007). *Cartografía de un siglo. Andalucía en la primera edición del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000*. Instituto Geográfico Nacional. Madrid. Edición digital.
- Coque, R.** (1984). *Geomorfología*. Alianza Universidad. Madrid, 475 págs.
- Costa, M. H., Botta, A. y Cardille, J. A.** (2003). Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology*, 283 (1-4), 206-217.
- Crozier, M. J.** (1986). *Landslides: causes, consequences and environment*. Croom Helm. Beckham, 252 págs.

- Custodio, E. Manzano, M., Iglesias, M. y Giráldez, J. V.** (1995). *Hidrología de El Abalarío*. Parque Nacional del Entorno de Doñana. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, 50 págs + figuras.
- De Fries, R. S., Asner, G. P. y Houghton, R. A.** (Eds.) (2004). *Ecosystems and Land Use Change*. Geophys. Monogr. AGU. Washington D.C., vol. 153, 344 págs.
- Derruau, M.** (1991) *Geomorfología*. Ed. Ariel. Barcelona, 485 págs.
- Díez Herrero, A., Laín Huerta, L. y Llorente-Isidro, M.** (2009). *A Handbook on Flood Hazard Mapping Methodologies*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 192 págs.
- DOCE.** (2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.* (DOCE L, 327, de 22 de diciembre). Comisión Europea, 73 págs.
- Dufour, S. y Piégay, H.** (2009). From the myth of a lost Paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits. *River Research and Applications*, 25, 568-581.
- EEME.** (2011). *Ecosistemas y biodiversidad para el bienestar humano*. Fundación Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 304 págs.
- Elliot, S.** (2010). *El río y la forma*. RIL Editores. Santiago de Chile, 324 págs.
- Elso, J., García, E., Godé, L.; Hernández, L., Jaso, C., Magdaleno, F. y Ollero, A.** (2011). El reto de recuperar nuestros ecosistemas fluviales. En: *VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua "Ríos Ibéricos +10. Mirando al futuro tras 10 años de DMA"*. Talavera de la Reina, pp. 1-4.
- Fernández, M.** (2010). *Usos del suelo, territorio y cambio global: cuenca del arroyo del Partido*. Universidad Internacional de Andalucía, Tesis de Maestría, Huelva, Doc. Inédito.
- Fernández, M., Borja, F. y Borja, C.** (2007). Análisis de la evolución de los usos del suelo en la cuenca del arroyo del Partido durante las últimas décadas. En: *La geografía en la frontera de los conocimientos*, AGE-UPO, Sevilla, pp. 1-9.
- FISTWG.** (1998). *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*. Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 650 págs.
- Flageollet, J.C.** (1989). *Les mouvements de terrain et leur prévention*. Massón. Paris, 224 págs.

- Foley, J. A., De Fries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N. y Snyder, P. K.** (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309, 570-574.
- Gaitan-Cremaschi, D., Palomo, I., Baraibar, S., De Groot, R. y Gómez-Baggethun, E.** (2016). Applicability of economic instruments for protecting ecosystem services from cultural agrarian landscapes in Doñana, SW Spain. *Land Use Policy*, 61, 185-195.
- García Ruiz, J. M.** (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: a review. *Catena*, 81, 1-11.
- García Ruiz, J. M.** (2015). Why a Geomorphology is a global science? *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 41 (1), 87-105.
- Gómez, C.** (1999). *Evolución reciente de las cuencas vertientes del sector N y NW de las marismas del Guadalquivir. Manejo antrópico y respuestas morfohidrográficas*. Universidad Internacional de Andalucía, Tesis de Maestría, Huelva, Doc. Inédito, 146 págs.
- Gómez, C. y Borja, F.** (2000). Alluvial influenced areas in the NW of marshlands of Doñana National Park. En: *Environmental changes during the Holocene. Fieldtrip Guide*. Comité Nacional de España-INQUA, Commission on the Holocene, Sevilla, pp. 10-14.
- González del Tánago, M.** (2004). Restauración de los ríos: conceptos, objetivos y criterios de actuación. En: *Congreso de restauración de ríos y humedales*. J. Cachón y T. Pérez-Piñero (Eds.). CEDEX. Madrid, pp. 15-31
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D.** (1998). *Restauración de ríos y riberas*. Mundi-Prensa. Madrid, 319 págs.
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D.** (2004a). Hierarchical Classification of Rivers: A proposal for eco-geomorphic characterization of Spanish rivers within the European Water Frame Directive. En: *Fifth International Symposium on Ecohydraulics. Aquatic Habitats, Analysis and Restoration. Congress Proceedings*, D. García de Jalón y P. Vizcaino (Eds.). Madrid, pp. 205-211.
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D.** (2004b). Recuperación de espacios degradados: cursos de agua desnaturalizados. En: *Restauración de espacios degradados*, D. Gómez Orea (Ed.). XIII Cursos de agua desnaturalizados. Mundi-Prensa. Madrid, pp. 465-486.

- González del Tánago, M. y García de Jalón, D.** (2006). Caracterización jerárquica de los ríos españoles. Propuesta de tipología de tramos fluviales para su clasificación atendiendo a la directiva marco del agua. *Limnetica*, 25 (3-4): 81-98.
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D.** (2007). *Restauración de Ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 318 págs.
- González del Tánago, M., García de Jalón, D., Lara, F. y Garilleti, R.** (2006). Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la Directiva Marco del Agua. *Ingeniería Civil*, 143, 97-108.
- Gregory, K. J.** (2006). The human role in changing rivers channels. *Geomorphology*, 79, 172-191.
- Gregory, K. J. y Walling, D. E.** (1973). *Drainage basin form and process*. Arnold. London, 456 págs.
- Gurnell, A. M., Downward, S. R. y Jones, R.** (1994). Channel planform change on the River Dee meanders, 1876–1992. *Regulated Rivers: Research & Management*, 9 (4), 187–204.
- Gutiérrez Elorza, M.** (2009). *Geomorfología*. Pearson Educación, S.A. Madrid, 920 págs.
- Harvey, A.M.** (2002). Effective timescales of coupling within fluvial systems. *Geomorphology*, 44, 225-250.
- Herrera, T.** (2013). *Manual metodológico de actuaciones de restauración ambiental y uso público en ámbitos fluviales*. Diputación de Málaga. Málaga, 125 págs.
- Hjulström, F.** (1935). Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fryrs. *Bulletin of The Geological Institute of Upssala*, Vol. 25, 221-527.
- Hobbs, R. J.** (2007). Setting effective and realistic restoration goals: key directions for research. *Restoration Ecology*, 15(2), 354-357.
- Hooke, J. M.** (1984). Changes in river meanders: a review of techniques and results of analyses. *Progress in Physical Geography*, 8 (4), 473–508.
- Hooke, J. M.** (2007). Spatial variability, mechanisms and propagation of change in an active meandering river. *Geomorphology*, 84 (3–4), 277–296.
- Horacio, J.** (2014). *Geomorfología fluvial en sistemas atlánticos: metodología de caracterización, clasificación y restauración para los ríos de Galicia*. Tesis doctoral.

Departamento de Xeografía, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 566 pp. + anexos.

- Horacio, J.** (2015). *Medicina fluvial: un nuevo paradigma en la conservación y restauración de los ríos bajo el enfoque de la geomorfología*. Julube, 123 págs.
- Horacio, J.** (2017). Sobre la evolución como ciencia de la geomorfología dinámica en ambientes fluviales. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 73, 269-294.
- Horacio, J., Ollero, A., Ballarín, D. e Ibisate, A.,** (2018). Herramientas para el diagnóstico del ecosistema fluvial. En: *Retos y experiencias de restauración fluvial en el ámbito de la Red Natura 2000*, J.R. Díez y A. Ibisate (Eds.). Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria, pp. 22-45
- Horton, R. E.** (1932). Drainage basin characteristic. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 13, 350-361.
- Horton, R. E.** (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 56, 275-370.
- Howard, A. D.** (1967). Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *Bulletin of American Association of Petroleum Geology*, 51, 2246-2259.
- Howard, A. D.** (1992). Modeling channel migration and floodplain sedimentation in meandering streams. En: *Lowland Floodplain Rivers: Geomorphological Perspectives*. Carling, P.A., Petts, G.E. (Eds.). John Wiley and Sons, Chichester, UK, pp. 1-41.
- Huelín, P., Mintegui, J. A. y Robredo, J. C.** (2015). Caracterización de una red hídrica fuertemente alterada: el caso del arroyo de El Partido. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 41, 35-46.
- Huelín, P., Robredo, J.C. y Mintegui, J. A.** (2014). Geomorphological analysis and evolution of an altered floodplain drainage system. The case of the Partido Stream (Spain). *Catena*, 118, 136-146.
- Huelín, P., Robredo, J. C., Mintegui, J. A., Gonzalo Aranoa, C. de y 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. En: *Proceedings de 7ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Presented at the Asamblea hispano portuguesa de geodesia y geofísica*. San Sebastián, pp. 521-525.
- Hugget, R.J.** (2003). *Fundamentals of Geomorphology*. Londres. Routledge, 386 págs.
- Ibisate, A., Ollero, A. y Díaz, E.** (2011). Influence of catchment processes on fluvial morphology and river habitats. *Limnetica*, 30 (2), 169-182.

- IGME.** (1976). *Mapa Geológico de España Serie Magna 1:50.000. Hoja 1001-Almonte.* IGME. Madrid.
- IGME.** (1982). *Estudio hidrogeológico de España, 1:200.000. Hoja nº 80/81. (Ayamonte/Huelva).* IGME. Madrid.
- Jáimez, P., Vivas, S., Bonada, N., Robles, S., Mellado, A., Álvarez, M., Avilés, J., Casas, J., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Sainz-Cantero, C. E., Sánchez-Ortega, A., Suárez, M. L., Toro, M., Vidal-Abarca, M. R., Zamora, C. y Alba-Tercedo, J.** (2002). Protocolo GUADALMED (PRECE). *Limnetica*, 21 (3-4), 187-204.
- Kirkby, M. J.** (1978). *Hillslope hydrology.* John Willey and Sons. Norwich, 389 págs.
- Klijn, F.** (1991). Hierarchical classification of ecosystems: a tool for susceptibility analysis and quality evaluation for environmental policy. En: *Terrestrial and aquatic ecosystems. Perturbation and recovery*, O. Ravera (Ed.). Ellis Horwood. Chichester, pp. 80-89.
- Klijn, F.** (1994). Spatially nested ecosystems, guidelines for classification from a hierarchical perspective. En: *Ecosystem Classification for Environmental Management*, Kluwer Academic Press. Dordrecht, pp. 85-116.
- Klijn, F. y Udo De Haes, H. A.** (1994). A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification. *Landscape Ecology*, 9 (2), 89-104.
- Knighton, D.** (1984). *Fluvial forms and processes.* Arnold. London, 218 págs.
- Knighton, D.** (1998). *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective.* Oxford University Press, New York, 383 págs.
- Kondolf, G.M.** (1995). Five elements for effective stream restoration. *Restoration Ecology*, 3, 133-136.
- Lagasse, P. F., Zevenbergen, L. W., Spitz, W. J. y Thorne, C. R.** (2004). *Methodology for Predicting Channel Migration.* NCHRP Web-Only Document 67 (Project 24-16). National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board, Washington, D.C., 214 págs.
- Lama, Á.** (2007). *Dinámica hidrogeomorfológica y ocupación antrópica en la cuenca del río Pudio (El Aljarafe, Sevilla). Caracterización de la peligrosidad por inundación en el tramo final de la cuenca.* Memoria DEA. Universidad de Sevilla. Sevilla. Documento inédito, 139 págs.

- Lama, Á. Borja, C. Borja F. y Díaz del Olmo F.** (2014). Transformaciones hidrográficas recientes (últimos 55 años) de las cuencas vertientes menores del NW de Doñana (Huelva, SW de España). En: *Avances de la Geomorfología en España 2012-2014*. Cáceres. Sociedad Española de Geomorfología - Universidad de Cáceres, pp. 32-36.
- Lambin, E.F. y P. Meyfroidt** (2010). Land use transitions: socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land use policy*, 27 (2): 198-118.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Helmut, J., Geist, S. B., Agbola, S. B., Arild, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, T. A., Vogel, and C., Xu, J.** (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11: 261-269.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. y Miller, J. P.** (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman. San Francisco, 522 págs.
- López Bermúdez, F.** (1992). Geomorfología. En: *Geografía Física*, F. López Bermúdez, J.M. Rubio y J.M. Cuadrat (Eds.). Cátedra. Madrid, pp. 17-227.
- López Vergara, M. L.** (1978). *Manual de Fotogeología*. Servicio de Publicaciones de la Junta de Energía Nuclear. Madrid, 308 págs + láminas.
- Madejón, P. y Marañón, T.** (2020). *Recuperación de suelos y provisión de servicios ecosistémicos en el Corredor Verde del Guadiamar*. Editorial CSIC. Madrid, 206 págs.
- Magdaleno, F.** (2013). Las riberas fluviales. *Ambienta*, 104, 90-101.
- Magdaleno, F. y Fernández-Yuste J. A.** (2011). Meander dynamics in a changing river corridor. *Geomorphology*, 130, 197-207.
- Magdaleno, F., Díez, J., González, G., Martínez-Capel, F y García, E.** (2018). El diseño de la restauración fluvial: criterios y alternativas. En: *Retos y experiencias de restauración fluvial en el ámbito de la Red Natura 2000*, J.R. Díez y A. Ibasate (Eds.). Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria, pp. 47-87.
- Malavoi, J. R. y Bravard, J. P.** (2010). *Eléments d'Hydrogeomorphologie*. Onema. París, 224 págs.
- Manzano, M. y Custodio, E.** (2005). El acuífero de Doñana y su relación con el medio natural. En: *Doñana. Agua y Biosfera*, F. García Novo y C. Marín Cabrera (Eds.). Doñana 2005-CHG-MMA. Sevilla, pp. 133-142.



- MARM.** (2010). *Restauración de ríos. Bases de la estrategia nacional de restauración de ríos*. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid, 102 págs.
- Martín Vide, J.P.** (2002). *Ingeniería de ríos*. Ediciones UPC. Barcelona, 391 págs.
- Meyer, W. B. y Turner, B. L.** (Eds.). (1998). *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. Cambridge University Press. New York, 539 pp.
- Miller, V. C.** (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch mountain area: Va. And Tenn. *Office Naval Research Project NR, Tech. Rept, 3*, Columbia University, pp. 389-402.
- Mintegui, J. A.** (2005). El arroyo del Partido: un ejemplo de los desafíos que plantea la restauración hidrológica. En: *Doñana: Agua y Biosfera*, F. García Novo y C. Marín (Eds.). Ministerio de Medio Ambiente, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Doñana 2005, UNESCO y MAB. Madrid, pp. 137-140.
- Mintegui, J. A., Lenzi, M. A., Robredo, J. C. y Mao, L.** (2006). *Movilización versus estabilización de los sedimentos en cursos sometidos a la dinámica torrencial*. Serie Técnica. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid, 143 págs.
- Mintegui, J. A. y Robredo, J. C.** (1999). Formación del cono de sedimentación de un curso torrencial: Análisis del arroyo del Partido (Huelva). En: *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, J. A. y Robredo, 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. En: *Dynamics of Water and Sediments in Mountain Basins, Quaderni di Idronomia Montana*. Editoriale Bios, pp. 231-245.
- Mintegui, J. A., Robredo, J. C., Gonzalo C. y Huelín, P.** (2010b). Recuperación del régimen hidráulico e hidrológico del arroyo del Partido en el tramo anterior a su afluencia en la marisma de El Rocío (Parque Nacional de Doñana). *Ecología*, 23, 9-38.
- Mintegui, J. A., Robredo, J. C., Gonzalo, C. de y Huelín, P.** (2010c). Restoration of a degraded torrential stream by means of a flood control system: the case of Arroyo del Partido stream (Spain). En: *Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense Debris Flows III*, D. de Wrachien y C.A. Brebbia (Eds.). WIT Transactions on Engineering Sciences, Vol. 67, pp. 213-223.
- Mintegui, J. A., Robredo, J. C., Huelín, P. y Gonzalo Aranoa, C.** (2010a). Análisis de la adecuación de las acciones restauradoras efectuadas en el cono de sedimentación de un curso torrencial, ante la incidencia en el mismo de eventos extraordinarios durante el invierno de 2009-10. *Aqua-LAC*, vol.2 (2), 62-77.

- Mintegui, J. A., Robredo, J. C. y 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. Madrid, 373 págs.
- Mintegui, J. A., Robredo, J. C. y Sendra, P. J.** (2004). Development of sedimentation into the northern wetland of the Doñana National Park (Spain). *IAHR-UPM Congress, Proceedings of Fifth International Symposium on Eco-hydraulics. Aquatic Habitat: Analysis & Restoration*. Madrid, Vol. 1, pp. 274–280.
- Montes, C.** (2002). Lecciones aprendidas en tres años de restauración de ecosistemas en el corredor verde del Guadamar. *Ecosistemas*, 1, 1-10.
- Montes, C., Arenas, J. M. y Borja, F.** (2003). Iniciativa científico-técnica del PICOVER. En: *Ciencia y restauración del río Guadamar*. Consejería de Medio Ambiente-Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 14-41.
- Montes, C., Borja, F., Bravo, M. A. y Moreira, J. M.** (1998). *Reconocimiento Biofísico de Espacios Naturales Protegidos. Doñana: Una Aproximación Ecosistémica*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla, 526 págs.
- Montes, C. y Carrascal, F.** (Coords.). (2008). *La restauración ecológica del río Guadamar y el Proyecto del Corredor Verde*. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Sevilla, 486 págs.
- Moreno, S., Cabezas, S. y Moreno, R.**, (2004). *Distribución microespacial de las poblaciones de conejo en la zona de influencia del Arroyo del Partido: Propuestas para mitigar posibles efectos indeseados de la Actuación nº 3 del Proyecto Doñana 2005*. Memoria Final. CSIC, Sevilla, 36 págs.
- Morisawa, M.E.** (1985). Accuracy of determination of stream lengths from topographic maps. *AMER. Geophys. Union Trans.*, 38, 86-88.
- Moreira, J. M.** (Coord). (2004). *Mapa de usos y coberturas vegetales de Andalucía, 1:25.000*. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Sevilla.
- Mueller, J. E.** (1968). An introduction to the hydraulic and topographic sinuosity indexes. *Annals of the Association of American Geographers*, nº58, pp. 371-385. En: Hagget, P y Chorley, R.J. (1969): *Network analysis in Geography*. Arnold, London.
- Munné, A., Prat, N., Solà, C., Bonada, N. y Rieradevall, M.** (2003). A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.*, 13, 147-163.
- Munné, A., Solà, C. y Pagés, J.** (2006). *HIDRI: Protocolo para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos*. Agència Catalana de l'Aigua, Barcelona, 129 págs.

- Munné, A., Solà, C. y Prat, N.** (1998). QBR: un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del agua*, 175, 20-37.
- Muñoz Jiménez, J.** (1995). *Geomorfología general*. Ed. Síntesis. Madrid, 349 págs.
- Ollero, A.** (2007a). Alteraciones geomorfológicas en cauces. La restauración de sistemas fluviales afectados por canalizaciones y dragados. En: *Estrategia Nacional de Restauración de Ríos*. Technical Report. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 96 págs.
- Ollero, A.** (2007b). *Territorio fluvial. Diagnóstico y propuesta para la gestión ambiental y de riesgos en el Ebro y los cursos bajos de sus afluentes*. Bakeaz. Zaragoza, 255 págs.
- Ollero, A.** (2008): Alteraciones geomorfológicas de los ríos en Europa y principios para la restauración de su dinámica. En: *Ríos y sostenibilidad*, González del Tánago, M. (Coord). *Semana temática "Agua para la vida"*. Zaragoza, Tribuna del Agua de la Exposición Internacional 2008.
- Ollero, A.** (2011). Sobre el objeto y la viabilidad de los restauración ambiental. *Geographicalia*, 59-60, 267-279.
- Ollero, A.** (2015). *Guía metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial (manual para gestores)*. Contrato de río del Matarraña. Zaragoza, 110 págs.
- Ollero, A., Ballarín, D., Díaz, E., Mora, D., Sánchez, M., Acín, V., Echevarría, M. T., Granado, D., Ibisate, A., Sánchez, L. y Sánchez, N.** (2007). Un índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales. *Geographicalia*, 52, 113-141.
- Ollero, A., Ballarín, D., Díaz, E., Mora, D., Sánchez, M., Acín, V., Echevarría, M. T., Granado, D., Ibisate, A., Sánchez, L. y Sánchez, N.** (2008). IHG: un índice para la valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales. *Limnetica*, 27(1), 171-187.
- Ollero, A., Ballarín, D. y Mora, D.** (2009). *Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro. Guía metodológica*. Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza, Doc. Inédito, 93 págs.
- Ollero, A., Ibisate, A. y Elso, J.** (2009). "El territorio fluvial y sus dificultades de aplicación". *Geographicalia*, 56, 37-62.
- Ollero, A., Ibisate, A., González de Matauco, V., Naverac, A., Díaz, E., Granado, D. y García, J. H.** (2011a). Innovación y libertad fluvial. En: *VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua "Ríos Ibéricos +10. Mirando al futuro tras 10 años de DMA"*. Talavera de la Reina, pp. 1-15.
- Ollero, A., Ibisate, A., Horacio, J., Ferrer i Boix, C., Martín Vide, J.P., Acín, V., Ballarín, D., Díaz, E., Granado, D., Mora, D., Sánchez Fabre, M.** (2011b):

- Indicadores geomorfológicos para el seguimiento de la restauración fluvial. I Congreso Ibérico de Restauración Fluvial. León, CIREF, MARM y CHD, 346- 355.
- Ollero, A. y Romeo, R.** (2007). Alteraciones geomorfológicas de los ríos. En: *Estrategia Nacional de Restauración de Ríos*, M. González del Tánago (Coord.). Subdirección General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico (Ministerio de Medio Ambiente) y UPM. Madrid, pp. 187- 224.
- Ortega, J. A.** (2007). *Paleocrecidas, avenidas recientes e hidroclimatología en la cuenca media y baja del río Guadiana*. Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral. Madrid. Documento inédito, 535 págs.
- Pardé, M.** (1955). *Fleuves et Rivières*. Colin. París, 224 págs.
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J. L., Vivas, S., Bonada, N., Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P., Moyà, G., Prat, N., Robles, S., Suárez, M. L., Toro, M. y Vidal-Abarca, M. R.** (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21(34), 115-133.
- Pedraza, J.** (1996). *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Ed. Rueda. Madrid, 414 págs.
- Petts, G. E.** (1989). Historical analysis of fluvial hydrosystems. En *Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe*, G.E. Petts, H. Muller, A.L. Roux (Eds.). Wiley, Chichester, pp.1-18.
- Piégay, H. y Schumm, S. A.** (2003). Systems approaches in fluvial geomorphology. En: *Tools in fluvial geomorphology*, G.M. Kondolf y H. Piégay (Eds.). Wiley. Chichester, pp. 105-134.
- Plafkin, J. L., Barbour, M. T., Porter, K. D., Gross, S. K. y Hughes, R. M.** (1989). *Rapid Bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish*. EPA/444/4-89-001. United States Environmental Protection Agency, Washington D.C., USA.
- Pole, G. C.** (2002). Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuum. *Freshwater Biology*, 47, 641-660.
- Prichard, D., Barrett, H., Cagney, J., Clark, R., Fogg, J., Gebhardt, K., Hansen, P., Mitchell, D. y Tippy, D.** (1993). *Riparian area management: process for assessing proper functioning condition*. TR 1737-9. Bureau of Land Management, BLM/SC/ST-93/003+1737, Service Center, CO. 60 págs.
- Raven, P. J., Boon, P. J., Dawson, F. H. y Ferguson, A. J.** (1998). Towards an integrated approach to classifying and evaluating rivers in UK. *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*, 8 (4), 383-393.

- Rice, R. J.** (1992). *Fundamentos de Geomorfología*. Paraninfo. Madrid, 381 págs.
- Robredo, J. C., Mintegui, J. A., Gonzalo, C. de, y Huelín, P.** (2010). *Ampliación, seguimiento y actualización del modelo sedimentario de la marisma del Parque Nacional de Doñana*. E.T.S. de Ingenieros de Montes, Departamento Ingeniería Forestal, Universidad Politécnica de Madrid; Espacio Natural de Doñana, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 227 págs.
- Romero, F.** (2019). SIG aplicados a la evaluación de la influencia de los cambios en las coberturas vegetales sobre los procesos erosivos en las cuencas de los Arroyos de la Rocina y del Partido (Huelva-España). *Mapping, vol. 28* (195), 44-52.
- Romero, M. A.** (1989). *Las cuencas de los ríos Castril y Guardal (Cabecera del Guadalquivir). Estudio hidrogeomorfológico*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Ed. Excmo. Ayto. de Huéscar (Granada). Guadalajara, 285 págs.
- Romero, M. A. y López Bermúdez, F.** (1987). Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al alto Guadalquivir. *Papeles de Geografía Física, nº 12*, 47-62.
- Rosgen, D.** (1996). *Applied river morphology*. Wildland Hydrology. Colorado, 378 págs.
- Ruiz Sinoga, J. D. y Martínez Murillo, J. F.** (2005). *Hidrodinámica de laderas en pequeñas cuencas mediterráneas. El arroyo de la Cañada, Málaga*. Universidad de Málaga. Málaga, 245 págs.
- Ruiz Sinoga, J. D. y Reyes, F. J.** (2005). *Geografía Física Aplicada*. Universidad de Málaga. Málaga, 505 págs.
- Rust, B. R.** (1978). A classification of alluvial channel systems. En: *Fluvial Sedimentology*, A.D. Mial (Ed.). *Mem. Canadian Society Petroleum Geologists, 5*, 187-198.
- Schumm, S. A.** (1956). The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geol. Soc. Amer. Bull, 67*, 597-646.
- Schumm, S. A.** (1963). A tentative classification of alluvial river channels. *U.S. Geol. Survey Circular 477*. 10 págs.
- Schumm, S. A.** (1977). *The fluvial system*. John Wiley and Sons. New York, 338 págs.
- Sear, D. A., Newson, M. D. y Thorne, C. R.** (2003). *Guidebook of applied Fluvial Geomorphology*. R&D. Technical Report FD1914. Defra/Environmental Agency. Londres, 253 págs.

- Selby, M. J.** (1982). *Hillslope, material and processes*. Oxford University Press. Nueva York, 324 págs.
- Senciales, J. M.** (1999). *Redes Fluviales. Metodología de Análisis*. Universidad de Málaga. Málaga, 337 págs.
- Sendra, P. J.** (2002). *Investigación cuantitativa del transporte de sedimentos no cohesivos en avenidas torrenciales: Aplicación al caso del arroyo del Partido, Huelva*. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Forestal, Escuela T. S. Ingenieros de Montes: Universidad Politécnica de Madrid, 400 págs.
- Sendra, P.J., Mintegui, J.A. y Robredo, J.C.;** (2002). El arroyo del Partido; un torrente dormido. *Medio Ambiente*, 41, 52-57.
- SER International.** (2005). *Guidelines for Developing and Managing Ecological Restoration Projects, 2nd Edition*. Andre Clewell, John Rieger y John Munro, 16 págs. (www.ser.org and Tucson: Society for Ecological Restoration International).
- Simmons, D. B. y Richardson, E. V.** (1966). Resistance to flow in alluvial channels. En: *Incised river channels*, S. Darby y A. Simon (Eds.). Wiley. Chichester, pp. 3-18.
- Stoddart, D. R.** (1965). Geography and the ecological approach. The ecosystem as a geographical principle and method. *Geography*, 50, 242-251.
- Strahler, A. N.** (1958). Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 69, 279-300.
- Strahler, A. N.** (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. En: *Handbook of Applied Hydrology*. V.T. Chow (Ed.), pp. 4-39.
- Suárez, M. L., Vidal-Abarca, M. R., Sánchez-Montoya, M. M., Alba-Tercedor, J., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Jáimez-Cuéllar, P., Munné, A., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Salinas, M. J., Toro, M. y Vivas, S.** (2002). Las riberas de los ríos mediterráneos y su calidad: El uso del índice QBR. *Limnetica*, 21, 135-148.
- Thoms, M. C.** (2003). Flood-plain ecosystem: lateral connections and the implications of human interference. *Geomorphology*, 56, 335-349.
- Thorne, C. R.** (1999). *Stream Reconnaissance Handbook: Geomorphological Investigations and Analysis of River Channels*. John Wiley and Sons. Chichester, 133 págs.
- Trabucchi, M.** (2012). *La evaluación de los servicios de los ecosistemas como herramienta para planificar la restauración ecológica de cuencas hidrográficas*. Universidad de Zaragoza. Tesis Doctoral. Documento Inédito, 177 págs.

- Tricart, J.** (1965). *Principes et méthodes de lagéomorphologie*. Mason. Paris, 496 págs.
- Tricart, J.** (1977). *Précis de géomorphologie*. II. Géomorphologie dynamique générale. SEDES/CDU. Paris, 345 págs.
- Tricart, J.** (1981). L'Hypodermisme. En: *Eaux et climats. Melanges géographiques offerts en hommage à Charles P. Péguy*, P. Pagney (Dir.). Grenoble, pp. 525-533.
- Tricart, J.** (1987). Le milieu naturel terrestre, intégration systémique. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 36 (1), 3-16.
- Urdiales, C.** (1996). *Informe Cambios recientes en el tramo final del arroyo del Partido, Parque Nacional de Doñana*. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, 30 págs.
- Vidal, R. y Suárez, M. L.** (2010). Ríos y riberas. En: *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España*. Fundación Biodiversidad (MAGRAMA), Madrid, 83 págs.
- Vidal, R. y Suárez, M. L.** (2011). *Estado y tendencia de los servicios de los ecosistemas de ríos y riberas continentales de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente-Junta de Andalucía, Sevilla, Doc. Inédito, 118 págs.
- Viers, G.** (1983). *Geomorfología*. Ed. Oikos-tau. Barcelona, 287 págs.
- Ward, J. V. y Wiens, J. A.** (2001). Ecotones of riverine ecosystems. Role and typology spatio-temporal dynamics and river regulation. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 1, 25-36.
- Weiß, A., Matouskova, M. y Matschullat, J.** (2008). Hydromorphological assessment within the EU-Water Framework Directive. Trans-boundary cooperation and application to different water basins. *Hydrobiologia*, 603, 53-72.
- Wilhelm, F.** (1997). *Hydrogeographie*. 5 Ed. Westerman Verlag. Alemania.
- Whittow, J.** (1984). *Dictionary of Physical Geography*. The Penguin. Londres, 591 págs.
- WWF.** (2015). *Recomendaciones y buenas prácticas de gestión en espacios fluviales*. WWF. Informe Inédito, 43 págs.
- Young, A.** (1978). *Slopes*. Longman. Nueva York, 288 págs.
- Zaruba, Q. y Mecnl, V.** (1982). *Landslides and their control*. Elsevier. Amsterdam, 324 págs.





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Relación de los Proyectos de Investigación asociados a las actuaciones del Proyecto Doñana 2005. Señalados en amarillo aquellos proyectos que tienen una relación directa con la Actuación nº 3, concerniente al arroyo de El Partido.	34
Tabla 2	Relaciones entre tipo de red de drenaje y características geológicas. Tomado de López Bermúdez (1992), modificado de Morisawa (1985).	62
Tabla 3	Relación de las hojas de mapas históricos y su año de publicación.	137
Tabla 4	Relación de pendiente y superficie ocupada.	157
Tabla 5	Superficie ocupada (km <sup>2</sup> ) por los diferentes usos del suelo en los años 1956 y 2016.	176
Tabla 6	Evolución de la superficie de la cuenca del arroyo de El Partido.	205
Tabla 7	Resultados del análisis morfométrico de la cuenca del arroyo de El Partido para los años 1956 y 2014.	217
Tabla 8	Incremento en el número de cauces por orden entre 1956 y 2014 en la cuenca de El Partido.	220
Tabla 9	Valores del índice de sinuosidad para cada una de las subcuencas analizadas.	224
Tabla 10	Valores de la densidad de drenaje para cada una de las subcuencas analizadas.	225
Tabla 11	Valores del coeficiente de torrencialidad para cada una de las subcuencas analizadas.	226
Tabla 12	Caracterización general de los tramos-diagnóstico basado en el trabajo de campo de las campañas de 2005 y 2006 (modificado de Borja <i>et al.</i> , 2009).	304
Tabla 13	Propuestas de gestión a nivel de cuenca y de cauce.	340

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Localización de la cuenca hidrográfica del arroyo de El Partido y del resto de <i>cuencas menores</i> que drenan el sector NW de la marisma del Guadalquivir, en el SE de la provincia de Huelva.	30
Fig. 2	Localización del cono aluvial generado por el arroyo de El Partido en el sector NW de las Marismas del Guadalquivir en la conexión de éstas con la Madre de la Rocina, a la altura de la aldea de El Rocío (Almonte, Huelva).	39
Fig. 3	La cuenca hidrográfica como modelo de sistema abierto. Tomado de López Bermúdez (1992).	48
Fig. 4	Sistema fluvial idealizado según Schumm (1977).	49
Fig. 5	Modelo de sistema proceso-respuesta en la cuenca fluvial (López Bermúdez, 1992).	52
Fig. 6	Esquema sintético de los componentes de una cuenca hidrográfica según Morisawa (1985). Tomado de Romero-Díaz (1989)	53
Fig. 7	Clasificación morfológica de las redes de drenaje según Howard (1967).	61
Fig. 8	Tipologías básicas de corrientes fluviales según su trazado en planta según Pedraza (1996).	62
Fig. 9	Tipologías básicas de corrientes fluviales según el número de canales, la sinuosidad y la estabilidad lateral de los canales Brierley y Fryirs (2005).	63
Fig. 10	Clasificación de la forma o sección de los canales según Brierley y Fryrs (2005).	67
Fig. 11	Procesos responsables del modelado de las orillas (Brierley y Fryrs, 2005).	68
Fig. 12	Forma de las orillas según Brierley y Fryrs (2005), basándose en Thorne (1999).	69
Fig. 13	Clasificación de los cambios producidos en los sistemas fluvial atendiendo a sus requerimientos temporales y espaciales. Tomado de Elliot (2010), quien se basa en Knighton (1989).	70
Fig. 14	Esquema-diagrama del proceso de concentración de la escorrentía en la red de drenaje. Tomando de Knighton (1998).	72
Fig. 15	Gráfico de Hjulström tomado de Elliot (2010), rehecho de Hjulström (1935).	77
Fig. 16	Esquema de funcionamiento de dunas y antidunas hidráulicas (Witthow, 1984).	83
Fig. 17	Sistema poza-umbral (Brierley y Fryirs, 2005).	83
Fig. 18	Variaciones en la formas del lecho en función de la intensidad del flujo y de la rugosidad (Simmons y Richardson, 1966).	84
Fig. 19	Diferentes tipos de barras e islas (Brierley y Fryris, 2005).	85
Fig. 20	Patrones de desplazamiento de los meandros según Pedraza (1996).	87
Fig. 21	Mecanismo de corte y abandono de meandros según Pedraza	87

	(1996).	
Fig. 22	Diferentes secuencias de relleno y conformación de terrazas (Leopold <i>et al.</i> , 1964).	88
Fig. 23	Propuesta general de órdenes escalares, contexto estructural y contexto funcional para la Clasificación Jerárquica de Ecosistemas (tomado de Borja <i>et al.</i> , 2004).	95
Fig. 24	Dimensiones de los sistemas fluviales según Ward y Wiens (2001).	98
Fig. 25	Caracterización longitudinal del funcionamiento de distintos procesos y elementos hidrogeomorfológicos desde un punto de vista longitudinal (tomado de FISRWG, 1998).	99
Fig. 26	Principales funciones de los ríos. En González del Tánago y García de Jalón (2007), tomado de FISRWG (1998).	103
Fig. 27	Evaluación global del estado de los servicios de los ríos y riberas de España (Vidal Abarca y Suárez, 2009).	105
Fig. 28	Diferentes tendencias que puede experimentar un ecosistema y diferentes estados a los que puede aspirar dependiendo del nivel de deterioro inicial y de las actuaciones de restauración implementadas según Bradshaw (1987).	109
Fig. 29	Ámbito de viabilidad de la restauración (modif. de Montes, 2002).	119
Fig. 30	Relación de las cuadrículas de las hojas cartográficas del <i>Mapa Topográfico de Andalucía a escala 1:10.000</i> , que es la cartografía de referencia de la Comunidad Autónoma Andaluza.	138
Fig. 31	Localización de la cuenca hidrográfica del arroyo de El Partido en el SE de la provincia de Huelva.	148
Fig. 32	Términos municipales incluidos parcialmente en la cuenca del arroyo de El Partido.	149
Fig. 33	Ubicación de las subcuencas del arroyo de El Partido.	150
Fig. 34	Ubicación de la cuenca del arroyo de El Partido a escala de <i>Ecoárea</i>	151
Fig. 35	Ubicación de la cuenca del arroyo de El Partido a escala de <i>Ecoprovincia</i> .	152
Fig. 36	Ubicación de la cuenca del arroyo de El Partido a escala de <i>Ecorregión</i> .	153
Fig. 37	Localización de la cuenca del arroyo de El Partido en el contexto de las unidades climáticas existentes en la Comunidad Autónoma Andaluza.	154
Fig. 38	Distribución anual de las precipitaciones registradas en la Estación EM-05 ubicada en el Palacio de Doñana para el período comprendido entre 1978 y 2010.	155
Fig. 39	Localización de la cuenca del arroyo de El Partido en el contexto geológico inmediato (Fuente: Manzano y Custodio, 2005).	156
Fig. 40	Altimetría de la cuenca del arroyo de El Partido.	158
Fig. 41	Clinometría de la cuenca del arroyo de El Partido.	159
Fig. 42	Contexto litológico de la cuenca del arroyo de El Partido.	161
Fig. 43	Mapa edáfico de la cuenca del arroyo de El Partido.	163
Fig. 44	Cuencas menores de Doñana en el año 1956.	167
Fig. 45	Cuencas menores de Doñana en el año 2014.	168

Fig. 46	Localización de las estaciones de muestreo y levantamiento de información hidrogeomorfológica a nivel de detalle.	169
Fig. 47	Distribución espacial de los usos del suelo en las cuencas menores vertientes a Doñana en el año 1956.	178
Fig. 48	Distribución espacial de los usos del suelo en las cuencas menores vertientes a Doñana en el año 2016.	179
Fig. 49	Distribución de los usos del suelo en porcentajes (%) en el conjunto de las cuencas menores vertientes a Doñana en el año 1956.	180
Fig. 50	Distribución de los usos del suelo en porcentajes (%) en el conjunto de las cuencas menores vertientes a Doñana en el año 2016.	181
Fig. 51	Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 1956.	184
Fig. 52	Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 1976.	185
Fig. 53	Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 1991.	186
Fig. 54	Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 1999.	187
Fig. 55	Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 2003.	188
Fig. 56	Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 2017.	189
Fig. 57	Mapa de usos del suelo en la cuenca de El Partido en el año 2016.	190
Fig. 58	Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 1956 respecto del total de la cuenca.	191
Fig. 59	Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 1976 respecto del total de la cuenca.	192
Fig. 60	Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 1991 respecto del total de la cuenca.	193
Fig. 61	Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 1999 respecto del total de la cuenca.	194
Fig. 62	Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 2003 respecto del total de la cuenca.	195
Fig. 63	Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 2007 respecto del total de la cuenca.	196
Fig. 64	Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para el año 2016 respecto del total de la cuenca.	197
Fig. 65	Porcentajes de la distribución superficial de los usos del suelo para los años 1956, 1976, 1991, 1999, 2003, 2007 y 2016 en la cuenca de El Partido.	198
Fig. 66	Delimitación de la cuenca y dispositivo de la red de drenaje del arroyo de El Partido en el año 1956.	207
Fig. 67	Delimitación de la cuenca y dispositivo de la red de drenaje del arroyo de El Partido en el año 1975.	208
Fig. 68	Delimitación de la cuenca y dispositivo de la red de drenaje del arroyo de El Partido en los años 1991/93.	209
Fig. 69	Delimitación de la cuenca y dispositivo de la red de drenaje del arroyo de El Partido en el año 2005.	211
Fig. 70	Delimitación de la cuenca y dispositivo de la red de drenaje del arroyo de El Partido en el año 2014.	212
Fig. 71	Orden fluvial en la cuenca del arroyo de El Partido en el año 1956.	222

Fig. 72	Orden fluvial en la cuenca del arroyo de El Partido en el año 2014.	223
Fig. 73	Relaciones y línea de tendencia entre la dimensión de los segmentos para los distintos órdenes en la cuenca de El Partido para el año 1956.	224
Fig. 74	Relaciones y línea de tendencia entre la dimensión de los segmentos para los distintos órdenes en la cuenca de El Partido para el año 2014.	224
Fig. 75	Distribución de los tramos analizados en la red fluvial del arroyo de El Partido y su codificación alfanumérica de aquellos sectores cartografiados en detalle.	228
Fig. 76	Esquema geomorfológico T2 en el tramo Calancha Alto.	240
Fig. 77	Esquema geomorfológico T3 en el tramo Colmenar Alto.	247
Fig. 78	Esquema geomorfológico T1 en el tramo Cárcava Medio	254
Fig. 79	Esquema geomorfológico T8 en el tramo Cárcava Bajo.	271
Fig. 80	Esquema geomorfológico T9-2 en el tramo del Cárcava Bajo.	278
Fig. 81	Esquema geomorfológico T9 en el tramo Santa María Alto.	282
Fig. 82	Esquema geomorfológico 10 en el tramo del Santa María Bajo.	287
Fig. 83	Esquema geomorfológico T11 en el tramo de la Palmosa.	291
Fig. 84	Modelos hidro-morfodinámicos del arroyo de El Partido.	326
Fig. 85	Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 1	327
Fig. 86	Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 2	328
Fig. 87	Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 3.	329
Fig. 88	Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 4	330
Fig. 89	Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 5.	331
Fig. 90	Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 6	332
Fig. 91	Ubicación de los tramos fluviales que integran el Modelo 7.	333
Fig. 92	Vista aérea oblicua de la cabecera del arroyo Calancha en la que se han señalado las zonas de cultivos bajo plásticos y explotación de áridos (canteras).	350
Fig. 93	Vista aérea oblicua de la cabecera del arroyo Colmenar en la que se han señalado las zonas de cultivos bajo plásticos y explotación de áridos (canteras).	351

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fot. 1	Cauce rectilíneo de lecho arenoso colmatado en el tramo alto del A. de La Cárcava donde la sección del canal es prácticamente inapreciable (Estación de muestreo nº 50).	230
Fot. 2	Presencia de vegetación invasora ( <i>Arundo donax</i> ) que ocupa parte del fondo del lecho colmatado de arenas (Estación de muestreo nº 50).	230
Fot. 3	Efectos de la arroyada concentrada como resultado de la actividad extractiva de áridos en las laderas de la cabecera del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 51).	231
Fot. 4	Desarrollo de cárcavas de dimensiones métricas resultado de la progresión de la arroyada concentrada en los taludes de una cantera en la cabecera del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 51).	231
Fot. 5	Progresión de la arroyada concentrada en zonas de desmonte en la cabecera del arroyo de la Cárcava (Estación de muestreo nº 49).	232
Fot. 6	Planta de extracción de áridos donde se observa los diferentes rebajes del terreno y la ausencia de vegetación una vez se ha explotado (Estación de muestreo nº 51).	232
Fot. 7	Peraltado de orillas de un tributario del arroyo de La Cárcava en su margen derecha constituido por sacos terreros al desaparecer la sección del cauce por colmatación (Estación de muestreo nº 68).	233
Fot. 8	Construcción de un muro de ladrillos, con refuerzo de escombros, ubicado en el lado externo de la curvatura de un tributario del A. de La Cárcava para intentar evitar que el arroyo ocupe parte de una parcela agrícola. (Estación de muestreo nº 52).	234
Fot. 9	Usurpación del Dominio Público Hidráulico mediante la implantación de cercas en la cabecera del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 48).	234
Fot. 10	Parcelas compartimentadas y cercadas para uso ganadero en zonas de Dominio Público Hidráulico (Estación de muestreo nº 48).	235
Fot. 11	Canalizaciones artificiales con estructura de obra para el favorecer drenaje y desecación de parcelas ganaderas que son atravesadas por el arroyo de La Cárcava en su cabecera (Estación de muestreo nº 48).	235
Fot. 12	Explotación de áridos en la cabecera del arroyo Calancha (Estación de muestreo nº 57).	237
Fot. 13	Parcelas desmontadas para implantación de cultivos bajo plásticos en la cabecera del arroyo Calancha, al N de la Autovía A-49 (Estación de muestreo nº 57).	238
Fot. 14	Progresión de la arroyada concentrada en regueros en la cabecera del arroyo Calancha (Estación de muestreo nº 57).	238

Fot. 15	Refuerzo del peralte de las orillas mediante el uso de tocones de eucaliptos en la cabecera del arroyo Calancha (Estación de muestreo nº 56).	239
Fot. 16	Limpieza y arrastre de materiales del fondo del canal con maquinaria pesada a la salida del arroyo Calancha por la Autovía A-49 (Estación de muestreo nº 56).	239
Fot. 17	Comunidades vegetales de hidrófilas en el tramo de cabecera del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 23).	241
Fot. 18	Canal rectilíneo (rectificado) con fondo relleno sedimentario en el tramo alto del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 26).	241
Fot. 19	Cabecera de barranco con fondo plano con paredes que se mantienen verticales en el entorno del arroyo Vizcaíno (Estación de muestreo nº 62).	242
Fot. 20	Planta de extracción áridos y balsa de agua situadas en la cabecera del arroyo Vizcaíno, en la margen izquierda del tramo alto del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 62).	243
Fot. 21	Preparación de parcelas con maquinaria pesada para la implantación de invernaderos junto a la carretera A-484, en la margen izquierda del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 63).	243
Fot. 22	Ídem fotografía 21 una vez instaladas las estructuras metálicas de los invernaderos (Estación de muestreo nº 63).	244
Fot. 23	Abanico aluvial en el tramo final del arroyo Vizcaíno, afluente de la margen izquierda del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 27).	244
Fot. 24	Ídem foto 23, en la que se muestra el desarrollo del abanico aluvial condicionado por la presencia de la carretera A-484 que actúa como barrera transversal (Estación de muestreo nº 27).	245
Fot. 25	Canal rectificado y con el fondo relleno de material sedimentario en el tramo alto del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 63).	246
Fot. 26	Tramo colmatado del arroyo Colmenar y peraltado artificial de orillas para evitar la inundación de los campos de cultivos aledaños (Estación de muestreo nº 65).	246
Fot. 27	Cauce totalmente colmatado en el que apenas se percibe la sección del canal en el tramo del arroyo de La Cárcava localizado al SW del núcleo urbano de Bollullos Par del Condado (Estación de muestreo nº 54).	248
Fot. 28	Ídem foto 27 (Estación de muestreo nº 54).	249
Fot. 29	Depósitos derrame ( <i>floodout</i> ) en la margen izquierda del arroyo de La Cárcava al S del núcleo urbano de Bollullos Par del Condado, justo aguas arriba de la Autovía A-483 (Estación de muestreo nº 55).	249
Fot. 30	Mantos de arenas en la llanura aluvial ( <i>floodplain sand sheet</i> ) del arroyo de La Cárcava al S de Bollullos Par del Condado (Estación de muestreo nº 55).	250

Fot. 31	Acumulación de material arenoso extraído del canal del arroyo de La Cárcava en el que ha progresado el matorral de caña ( <i>Arundo donax</i> ) y que posteriormente ha sido retirado con maquinaria pesada (Estación de muestreo nº 53).	251
Fot. 32	Peraltado de las orillas con materiales arenosos procedentes del propio canal en el tramo medio del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 55).	252
Fot. 33	Depósito arenoso sobre la llanura aluvial en el tramo medio del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 55).	253
Fot. 34	Peraltado de orillas para evitar la inundación de los viñedos en el tramo medio del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 55-11).	253
Fot. 35	Canalización artificial del arroyo Calancha compuesta por losa de hormigón y orillas de gaviones de 2 alturas aguas arriba del núcleo urbano de Rociana del Condado (Estación de muestreo nº 60).	256
Fot. 36	Canalización artificial del arroyo Calancha en el núcleo urbano de Rociana del Condado con presencia de construcciones hasta el borde la propia canalización (Estación de muestro nº 60).	256
Fot. 37	Canal artificial del arroyo Calancha con losa de hormigón en el núcleo urbano de Rociana del Condado (Estación de muestro nº 60).	257
Fot. 38	Última ampliación del canal artificial del arroyo Calancha en el tramo urbano de Rociana del Condado en el que se muestra en primer plano un muro de hormigón, para reducir la sección del canal, que continúa aguas abajo reforzado con muro de gaviones a tres alturas (Estación de muestro nº 60).	257
Fot. 39	Tramo urbano del arroyo de La Cerrada a su paso por la localidad de Bollullos Par del Condado, con sellado de mampostería y en forma de V (Estación de muestreo nº 67).	258
Fot. 40	Ídem foto 39 con drenaje lateral de escaso calado y construido con hormigón (Estación de muestreo nº 67).	259
Fot. 41	Remodelación artificial de la morfología del canal del arroyo de La Cerrada con maquinaria pesada y diseño de orillas con taludes a 45º desarrollados sobre material de relleno (escombros) (Estación de muestreo nº 67).	260
Fot. 42	Ídem foto 41 y desarrollo de meandros artificiales (Estación de muestreo nº 67).	260
Fot. 43	Protección de escolleras aguas abajo del paso de aguas del arroyo de La Cárcava en la Autovía A-483 (Estación de muestreo nº 11).	261
Fot. 44	Tramo rectificado y refuerzo de las orillas mediante sistema de gaviones de 4 alturas y umbrales transversales de fondo aguas abajo de la confluencia del A. de La Cárcava y la Autovía A-483 (Estación de muestreo nº 11).	261
Fot. 45	Foto 45. Lóbulos de <i>floodout</i> localizados en la margen izquierda del arroyo Colmenar, al S del núcleo urbano de Rociana del Condado (Estaciones de muestreo nº 65-61).	263



Fot. 46	Mantos de arena ( <i>floodplain sand sheet</i> ) en la margen izquierda del arroyo Colmenar, al S del núcleo urbano de Rociana del Condado (Estaciones de muestreo nº 65-61).	263
Fot. 47	Tareas de desobturación mecánica del arroyo Colmenar en el invierno de 2013 debido a la colmatación del lecho. Obsérvese al fondo de la imagen la altura del material extraído apilado (Estaciones de muestreo nº 65-61).	264
Fot. 48	Ídem foto 47 nuevamente colmatado en el invierno de 2015 (Estaciones de muestreo nº 65-61).	264
Fot. 49	Proceso de avulsión en el arroyo Colmenar visto hacia aguas arribas durante el invierno de 2010 (Estaciones de muestreo nº 65-61).	265
Fot. 50	Ídem foto anterior visto hacia aguas abajo (Estaciones de muestreo nº 65-61).	265
Fot. 51	Colmatación del arroyo Colmenar y presencia de material en las zonas aledaña a la orilla izquierda (Estaciones de muestreo nº 65-61).	266
Fot. 52	Recrecimiento artificial (> 1 m) de las orillas en el tramo bajo del arroyo Colmenar que impide su conexión natural con la llanura aluvial (Estaciones de muestreo nº 65-61).	267
Fot. 53	Peraltado de orillas y desconexión del canal con la llanura aluvial (Estaciones de muestreo nº 61-66).	268
Fot. 54	Relleno de la llanura aluvial con materiales de acarreo (Estaciones de muestreo nº 60-61).	268
Fot. 55	Sector del arroyo de La Cárcava con paredes verticales (margen izquierda) y dinámica expansiva (Estación de muestreo nº 10).	270
Fot. 56	Canal expandido en el tramo medio del arroyo de La Cárcava con paredes verticalizadas e incisión en el sustrato. Al fondo se aprecia el brocal de un pozo que ha quedado al descubierto (año 2006) (Estación de muestro nº 13).	272
Fot. 57	Ídem foto 56 en la que la progresión de la erosión ha hecho desaparecer el brocal del pozo (invierno de 2015) (Estación de muestro nº 13).	272
Fot. 58	Ídem fotos 57 y 56 vista aguas arriba y con desarrollo de las barras de meandro dentro del canal expandido (Estación de muestro nº 13).	273
Fot. 59	Imagen de satélite correspondiente al momento en el que se estaban construyendo los diques de escolleras ubicados en la margen izquierda del tramo bajo del arroyo de La Cárcava durante el verano de 2017 (Fuente: Google Earth) (Estación de muestreo nº 13).	272
Fot. 60	Visión panorámica desde dentro del canal del tramo rectificado del arroyo de La Cárcava un año después de su rectificación (año 2018) (Estación de muestreo nº 13).	274
Fot. 61	Muro de escollera con dispositivo lineal en el canal del tramo rectificado del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 13).	274

Fot. 62	Ídem foto 61 en la que se observa el peraltado y recrecimiento artificial de la orilla de la margen derecha (Estación de muestreo nº 13).	275
Fot. 63	Refuerzo de la orilla de la margen izquierda con escombros del tramo bajo del arroyo de La Cárcava donde no se ha reforzado con escollera para evitar la progresión de la erosión (Estación de muestreo nº 13).	275
Fot. 64	Niveles de terrazas históricas en el tramo final del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 2).	277
Fot. 65	Depósitos de sobrecañal en el tramo final del arroyo de La Cárcava (Estación de muestreo nº 2).	277
Fot. 66	Acumulación de sedimentos arenosos con desarrollo de <i>ripples</i> aguas arriba del vado del camino de Lucena del Puerto en el tramo final del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 2).	279
Fot. 67	Material de acarreo y escombros depositados aguas abajo del Vado de Río seco (Estación de muestreo nº 1).	280
Fot. 68	Predominio del cañaveral de <i>Arundo donax</i> en el tramo bajo del arroyo Colmenar (Estación de muestreo nº 66).	280
Fot. 69	El arroyo Santa María presenta un cauce incidido y expandido con orillas verticalizadas (Estación de muestreo nº 72).	281
Fot. 70	Parcelaciones dentro del propio canal en el arroyo Santa María para albergar ganado conocidas localmente como “corralitos” (Estación de muestreo nº 73).	283
Fot. 71	Construcción de represas artificiales transversales al canal que interrumpe el flujo en las inmediaciones del vado del Chivo (Estación de muestreo nº 36).	283
Fot. 72	Cauce expandido e incidido en el arroyo Santa María (Estación de muestreo nº 37).	285
Fot. 73	Ídem Foto 72, en la que se aprecia en la margen derecha el desarrollo de barras de arena de grandes dimensiones (Estación de muestreo nº 37).	285
Fot. 74	Orillas verticales en la margen izquierda el tramo final del arroyo Santa María (Estación de muestreo nº 72).	286
Fot. 75	Barras laterales de arenas conformadas en distintos momentos (Estación de muestreo nº 33).	286
Fot. 76	Meandros con dinámica lateral de crecimiento confinados dentro del cauce del arroyo Santa María retrabajando barras de arenas (Estación de muestreo nº 33).	288
Fot. 77	Refuerzo con escollera de los márgenes del arroyo de Santa María (Estación de muestreo nº 36).	288
Fot. 78	Refuerzo de las orillas con escolleras en el tramo de La Palmosa (Estación de muestreo nº 37).	289
Fot. 79	Progresión de la erosión de las orillas con dispositivo verticalizado en la margen izquierda del tramo de La Palmosa (Estación de muestreo nº 33).	290
Fot. 80	Orilla verticalizada provocada por la incisión del canal sobre el sustrato en el tramo de La Palmosa (Estación de muestreo nº 31).	290

Fot. 81	Muro de defensa en la margen derecha del tramo de La Palmosa (Estación de muestreo nº 71).	292
Fot. 82	Canalización artificial ubicada en el puente del camino de El Rocío a Hinojos (Estación de muestreo nº 31).	293
Fot. 83	Ídem foto 82 (Estación de muestreo nº 31).	293
Fot. 84	Paso de agua del puente ubicado paraje de la Casa de la Matanza que da salida al arroyo de La Parrilla en dirección hacia la marisma una vez desconectado del arroyo del Partido como resultado de las actuaciones del Proyecto Doñana 2005 (Estación de muestreo nº 31).	294
Fot. 85	Ídem foto 84 visto hacia aguas arriba (Estación de muestreo nº 31).	294
Fot. 86	Resultado de la erosión subsuperficial progresando sobre un nivel arenoso situado sobre un paquete de limos menos permeables en el arroyo Valdeconejos (Estación de muestreo nº 28).	295
Fot. 87	Detalle de la erosión remontante en la zona del arroyo Valdeconejos (Estación de muestreo nº 28).	296
Fot. 88	El tramo bajo del arroyo Valdeconejos presenta una morfología más sinuosa con el canal encajado en el sustrato (Estación de muestreo nº 28).	296
Fot. 89	Parcela talada en la cabecera del arroyo Valdeconejos desprovista de cubierta vegetal (Estación de muestreo nº 28).	297
Fot. 90	Colmatación de los canales por depósitos arenosos procedentes de las parcelas taladas tras un evento de precipitación intensa (Estación de muestreo nº 28).	398
Fot. 91	Ídem foto 90 (Estación de muestreo nº 28).	398
Fot. 92	Ídem fotos 90 y 91 (Estación de muestreo nº 28).	299
Fot. 93	Tramo bajo del arroyo de La Parrilla que presenta un cauce incidido sobre el sustrato y barras arenosas centrales y adosadas (Estación de muestro nº 32).	299
Fot. 94	Proceso de avulsión en el tramo medio del arroyo de La Parrilla como consecuencia de la obstrucción que genera sus propios sedimentos (Estación de muestreo nº 34).	300
Fot. 95	Acumulación de sedimentos en el canal del tramo medio del arroyo de La Parrilla desarrollando un sistema de poza-umbral (Estación de muestreo nº 34).	300
Fot. 96	Rectificación y limpieza abusiva de un tramo del canal del arroyo de La Parilla llevado a cabo por un particular (Estación de muestreo nº 35).	302
Fot. 97	Parcelas de grades dimensiones taladas en la cabecera del arroyo de La Parrilla sin cubierta vegetal alguna que proteja los suelos (Estación de muestreo nº 35).	302

