

# TRABAJO FIN DE MÁSTER

**VALORACIÓN DEL FACTOR VULNERABILIDAD POR  
INUNDACION EN EL BAJO IREGUA (LA RIOJA).  
DESARROLLO, USO Y APLICACIÓN DE TÉCNICAS  
SIG Y TELEDETECCIÓN PARA SU ESTIMACIÓN.**

***Autor: Javier Adrover Galmés***

***Director: Alfredo Ollero Ojeda***

**Máster Universitario en**

**Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del te-  
rritorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

**Noviembre de 2016**



**Universidad**  
Zaragoza

**Departamento de Geografía  
y Ordenación del Territorio**





## Trabajo Fin de Máster

VALORACIÓN DEL FACTOR VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN EN EL BAJO IREGUA (LA RIOJA). DESARROLLO, USO Y APLICACIÓN DE TÉCNICAS SIG Y TELEDETECCIÓN PARA SU ESTIMACIÓN

ASSESSMENT VULNERABILITY FACTOR BY FLOODING IN THE BASIN LOW OF THE IREGUA RIVER (LA RIOJA). DEVELOPMENT, USE AND APPLICATION OF TECHNIQUES TO ESTIMATE IT BY GIS AND REMOTE SENSING

Javier Adrover Galmés

Alfredo Ollero Ojeda  
José Ángel Losada García

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
2016

## **Resumen**

*El objetivo de este documento versa en obtener una valoración de la vulnerabilidad por inundaciones en la cuenca baja del río Iregua. Se han analizado diferentes fechas temporales para darle rango de proceso evolutivo minutas cartográficas, Vuelo Americano (serie B) 1956/57, vuelo 1998 (parcial) y PNOA (2014). Para determinar el estado de vulnerabilidad se han usado procedimientos de SIG como de teledetección que a su vez se han utilizado como procedimiento único para la estimación de la vulnerabilidad. Los resultados indican que ha habido un aumento de la exposición y una falsa seguridad arraigada le ha dado a la cuenca baja del Iregua un estado alto de vulnerabilidad antes inundaciones.*

**Palabras Clave:** Río Iregua, vulnerabilidad, teledetección, hidro-geomorfología, valoración

## **Abstract**

*The aim of this document is to obtain an evaluation of the vulnerability cause by an inundation process in the lower basin of the Iregua River. Different dates have been analysed to give him a range of evolutionary process, historical cartography from IGN (final 19th century and beginnings 20th century), series B of american flight (1956/57), flight of 1998 (partial flight), PNOA (2014). To determine the condition of vulnerability SIG's procedures and remote sensing procedures have been used that they have joined for estimation the vulnerability. The results indicate that there has been an increase of the exhibition (increase of vulnerability) and a false safety been rooted. These factors provide that the low river basin of the river acquires a high development of vulnerability to floods.*

**Key Words:** Iregua River, vulnerability, remote sensing, hydro-geomorphology, estimate (value)

## AGRADECIMIENTOS

La realización de este Trabajo Final de Máster no hubiera sido posible sin el apoyo de las siguientes instituciones: 1) Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio; 2) Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro; 3) Confederación Hidrográfica del Ebro; 4) Universidad de Zaragoza y su programa *Universa*.

Personalmente, deseo hacer partícipes a las siguientes personas expresándoles mi agradecimiento:

A D. Alfredo Ollero Ojeda, director de este Trabajo Final de Máster. Por sus ánimos y su apoyo en la elaboración crítica de nuevas vías, por su compresión y apreciación a los riesgos naturales como forma de comprender el territorio. Un compañero y amigo.

A D. José Ángel Losada García, jefe del servicio de la Oficina de Planificación Hidrológica del Ebro. Su ilusión por la geografía y disposición al dialogo de temática varias, por su corrección crítica y su formidable disponibilidad. Por las conversaciones, más que amenas, y los buenos momentos vividos en las dependencias de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Compañero de profesión y amigo.

A los integrantes de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro. En mayor o menor grado han sido partícipes en este Trabajo Final de Máster aportando datos, referencias, opiniones,... actuando, en ocasiones, de asesores, y en otras ambientando con buena dosis de humor largas charlas en la cafetería. Muchas gracias a todos/as: María Teresa Carceller, Miguel Ángel García Vera, Rogelio Galván Plaza, Jesús Galván Plaza, Manuel Omedas Marguellí, Sergio Zurdo de Pedro, Pedro Martínez, José María Ausejo, Rafael Ruberte, Juan Manuel Arnal Lizarraga, José Miguel Lon y María Luisa Moreno Santaengracia.

Especial agradecimiento a los alumnos e integrantes del máster por esos magníficos momentos vividos en un año lleno de vivencias y excentricidades, momentos regocijantes e inverosímiles, tardes de locura entre el conocimiento de los SIG y de la teledetección siempre al amparo de la guasa... En fin, un año inolvidables donde muchas son las personas a dar las gracias tantas como buenas amistades colmatadas. Un placer y gozo haber podido coincidir con ellos. Gracias a todos/as.

A la Universidad de Zaragoza y todo el profesorado del máster por su magnífica exhibición en el tratamiento integral de los Sistemas de Información Geográfica y la teledetección.

## ÍNDICE

<b>I INTRODUCCIÓN.....</b>	Pág. 1
<b>0. TRABAJO Y PRÁCTICAS DENTRO DEL MARCO DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO.....</b>	Pág. 2
<b>1. RÍO IREGUA. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....</b>	Pág. 2
<b>1.1. Antecedentes.....</b>	Pág. 2
<b>1.2. Justificación.....</b>	Pág. 3
<b>2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE PARTIDA.....</b>	Pág. 5
<b>2.1. Objetivo principal.....</b>	Pág. 5
<b>2.2. Objetivos secundarios.....</b>	Pág. 5
<b>2.3. Hipótesis de partida.....</b>	Pág. 5
<b>3. VULNERABILIDAD. CONCEPTO Y FACTOR EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL RIESGO.....</b>	Pág. 5
<b>4. ÁREA DE ESTUDIO. ÁMBITO FÍSICO Y SOCIO-ECONÓMICO.....</b>	Pág. 7
<b>4.1. Localización geográfica del área de estudio. Río Iregua.....</b>	Pág. 7
<b>4.2. Factor físico. La climatología en la comunidad autónoma de La Rioja.....</b>	Pág. 8
<b>4.3. Factor físico. Geología, geomorfología y fisiografía en La Rioja.....</b>	Pág. 9
<b>4.3.1. Ámbito fisiográfico.....</b>	Pág. 9
<b>4.3.2. Ámbito geológico.....</b>	Pág. 9
<b>4.3.3. Parte inferior de la cuenca del Iregua. Ámbito de estudio.....</b>	Pág. 10
<b>4.4. Factor físico. La red hidrográfica de La Rioja. Condicionantes y riesgos....</b>	Pág. 11
<b>4.4.1. Principales características del río Iregua.....</b>	Pág. 13
<b>4.5. Factor biogeográfico. Comunidad vegetal en la cuenca del Iregua.....</b>	Pág. 14
<b>4.6. Factor social. Población, parque de viviendas y antropización del uso del suelo.....</b>	Pág. 15
<b>5. MARCO LEGISLATIVO Y NORMATIVO DEL RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA DOCUMENTACIÓN OFICIAL.....</b>	Pág. 19
<b>5.1. Marco comunitario y europeo del riesgo de inundación.....</b>	Pág. 19
<b>5.2. Marco estatal del riesgo de inundación.....</b>	Pág. 20
<b>5.3. Marco autonómico del riesgo de inundación.....</b>	Pág. 21
<b>5.4. Valoración del marco legislativo en la comunidad autónoma de La Rioja..</b>	Pág. 22
<b>II PROCESO METODOLÓGICO.....</b>	Pág. 24
<b>6. USO DE MÚLTIPLES FUENTES DE INFORMACIÓN Y APLICACIÓN DE DIVERSAS TÉCNICAS EN EL ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.....</b>	Pág. 25
<b>6.1. Primer eje. Las minutillas cartográficas como fuente de información para la estimación de vulnerabilidad.....</b>	Pág. 26
<b>6.1.1. Uso de las minutillas en el procedimiento técnico.....</b>	Pág. 27
<b>6.1.2. Características y procedimiento técnico desarrollado.....</b>	Pág. 29
<b>6.1.3. Dificultades, inconvenientes y subsanación de los mismos.....</b>	Pág. 30
<b>6.1.4. Criterio técnico en el uso de las minutillas cartográficas.....</b>	Pág. 34
<b>6.2. Segundo eje. Sistemas de Información Geográfica y teledetección. Procedimiento técnico y metodológico para la detección de estructuras geomorfológicas de avenidas .....</b>	Pág. 35
<b>6.2.1. Propósito. De lo pretendido a lo obtenido. Metodología.....</b>	Pág. 35
<b>6.2.2. Imágenes de trabajo. Características y usos.....</b>	Pág. 36
<b>6.2.3. Procedimientos para identificar hidro-geoformas de avenidas.....</b>	Pág. 37
<b>6.3. Tercer eje. El vuelo fotogramétrico americano de 1956-1957 (Serie B). Fotointerpretación para la caracterización hidro-geomorfológica.....</b>	Pág. 42

<b>6.3.1.</b> La fotointerpretación fluvial. Uso de fuentes guía para la correcta detección y delimitación de la morfología fluvial.....	Pág. 42
<b>6.3.2.</b> Vuelo americano general 1956/57. Características, manejo y uso en el estudio.....	Pág. 43
<b>6.3.3.</b> Procedimiento técnico en la catalogación y delimitación de las evidencias geomorfológicas derivadas de avenidas o crecidas.....	Pág. 44
<b>6.4.</b> Cuarto eje. Ortofotografía de 1998 (parcial) de la comunidad de La Rioja. Fotointerpretación para la caracterización hidro-geomorfológica y antrópica.....	Pág. 51
<b>6.4.1.</b> Ortofoto de 1998 (vuelo parcial). Características, manejo y uso en el estudio.....	Pág. 51
<b>6.4.2.</b> Procedimiento técnico para la catalogación y delimitación de usos antrópicos y de las evidencias geomorfológicas.....	Pág. 52
<b>6.5.</b> Quinto eje. Procedimiento técnico de caracterización antrópica sobre la ortofotografía del PNOA (2014).....	Pág. 56
<b>6.5.1.</b> Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, ortofotografía de 2014 y proceso de digitalización.....	Pág. 56
<b>6.5.2.</b> Uso otorgado a la ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea del 2014.....	Pág. 56
<b>6.5.3.</b> Ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea del 2014. Cartografía y valoración del estado actual.....	Pág. 57
<b>III RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	Pág. 58
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	Pág. 59
<b>7.1.</b> Resultados y discusión. Estadísticos de vulnerabilidad.....	Pág. 59
<b>7.1.1.</b> Primer procedimiento. Valoraciones extraídas de los datos resultantes. Estructura antrópica y vulnerabilidad.....	Pág. 61
<b>7.1.2.</b> Segundo procedimiento. Valoraciones extraídas de los datos resultantes. Morfología fluvial (1956/57), estructura antrópica (2014) y vulnerabilidad.....	Pág. 62
<b>7.1.3.</b> Ideas y conceptos para la compresión de los resultados.....	Pág. 64
<b>7.2.</b> Resultados cartográficos. Dinámica de la vulnerabilidad en el bajo Iregua.....	Pág. 66
<b>7.2.1.</b> Estructura interna del poster.....	Pág. 66
<b>IV CONCLUSIONES</b> .....	Pág. 68
<b>8. CONSIDERACIONES FINALES. FACTOR VULNERABILIDAD EN EL BAJO IREGUA</b> .....	Pág. 69
<b>8.1.</b> Objetivo principal.....	Pág. 69
<b>8.2.</b> Conclusiones en relación con los objetivos secundarios.....	Pág. 70
<b>8.3.</b> Metodología y estructura del trabajo. Discusión y valoración.....	Pág. 72
<b>V PROPUESTAS</b> .....	Pág. 73
<b>9. PROPUESTAS, ACTUACIONES Y ESTRATEGIAS PARA LA MEJORA DEL TERRITORIO ANTE EL FACTOR VULNERABILIDAD</b> .....	Pág. 74
<b>9.1.</b> Factor vulnerabilidad. Estrategias, medidas de prevención y mitigación y propuestas para su reducción.....	Pág. 74
<b>9.1.1.</b> Medidas de prevención.....	Pág. 74
<b>9.1.2.</b> Medidas de mitigación.....	Pág. 76
<b>VI REFERENCIAS</b> .....	Pág. 78
<b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	Pág. 79
<b>VII ANEXOS</b> .....	Pág. 82

<b>11. ANEXO I. GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>	Pág. 83
<b>12. ANEJO II. FIGURAS DE REFERENCIA.....</b>	Pág. 85
<b>13. ANEJO III. TABLAS DE REFERENCIA.....</b>	Pág. 106
<b>14. ANEJO IV. PÓSTERS DEL PROCESO DE VULNERABILIDAD PARA EL BAJO IREGUA EN FUNCIÓN DEL FENÓMENO DE INUNDACIÓN.....</b>	Pág. 111

## ÍNDICE DE FIGURAS

### ÍNDICE DE FIGURAS EN EL CUERPO

Figura 1. Sociología del riesgo.....	Pág. 6
Figura 2. Ubicación de la cuenca del río Iregua.....	Pág. 7
Figura 3. Mapa geológico de la cuenca del río Iregua.....	Pág. 11
Figura 4. Aportaciones medias mensuales del régimen natural en varios puntos del río Iregua (vid. tabla 1. Anejo III).....	Pág. 12
Figura 5. Evolución de segundas residencias por municipios en el área de estudio.....	Pág. 16
Figura 6. Ejemplo de diferentes usos del suelo, viviendas (A) y Chopera (B), invadiendo el cauce del río Iregua.....	Pág. 18
Figura 7. Normativa europea acerca del riesgo de inundación.....	Pág. 20
Figura 8. Normativa autonómica acerca del riesgo de inundación.....	Pág. 22
Figura 9. Edificación ubicada en zona con riesgo de inundación.....	Pág. 23
Figura 10. Minuta Altimétrica de Logroño este en 1924 (izquierda) y minuta planimétrica de Logroño este en 1924 (derecha).....	Pág. 27
Figura 11. Estructura y diseño de la minuta cartográfica (izquierda) y zoom a la minuta con sus principales fuentes de información (derecha).....	Pág. 28
Figura 12. Estimación del trazado del río Iregua en 1925 y en la actualidad.....	Pág. 29
Figura 13. Separación de puntos semejantes en el cauce del río Iregua.....	Pág. 31
Figura 14. Discordancia entre tramos de cauce del río Iregua.....	Pág. 32
Figura 15. Distribución de los puntos de control en función de su ubicación y diferencia de cota.....	Pág. 33
Figura 16. Longitud del río Iregua para fechas y fuentes de información diferentes.....	Pág. 33
Figura 17. Núcleos y cauce río Iregua en 1925.....	Pág. 34
Figura 18. Metodología seguida en el segundo eje.....	Pág. 36
Figura 19. Uso de diferentes métodos de ajuste de contraste. Método gamma (izquierda) y método Photography Enhancements (derecha).....	Pág. 39
Figura 20. Filtros aplicados a la ortoimagen del PNOA, 2014.....	Pág. 40
Figura 21. Perfil topográfico a la altura de los Escolapios (Albelda de Iregua).....	Pág. 41
Figura 22. Ortoimagen de la ciudad de Logroño en 1956-1957. Fotograma del Vuelo Americano (Serie B).....	Pág. 44
Figura 23. Visualización de una escena con perspectiva ortogonal y perspectiva central.....	Pág. 45
Figura 24. Esquema de la GDB desarrollada en la que se observa las formas fluviales asociadas a las crecidas y avenidas.....	Pág. 46
Figura 25. Diferencia entre cubiertas de agua y vegetales por la morfología y distribución espacial.....	Pág. 46
Figura 26. Ubicación de materiales rocosos (gravas y cantos principalmente) en el área de estudio.....	Pág. 47
Figuras 27a y 27b. Perfiles topográficos transversales del río Iregua y sus principales morfológias de crecidas o avenidas.....	Pág. 48
Figura 28. Relaciones topológicas implementadas, por tipo de entidades, para subsanar los errores en el proceso de digitalización.....	Pág. 48
Figura 29. Tramo rectilíneo de sección estrecha en el municipio de Islallana (izquierda) y tramos de sección amplia de cauce trenzado en el municipio de (derecha).....	Pág. 50
Figura 30. Mosaico de imágenes del año 1998 (retícula amarilla) y hoja del MNT50 (retícula negra). Ortoimagen de descarga ov178077.....	Pág. 52
Figura 31. Esquema de la GDB desarrollada en el eje secundario. En tonalidad gris las geomorfologías y actividades antrópicas identificadas.....	Pág. 53
Figura 32. Diferenciación de múltiples lóbulos de derrames en el río Iregua con su tratamiento del histograma y en B/N.....	Pág. 54

Figura 33. Comparación temporal (1956-1998) y morfo-estructural (morfología fluvial) en los Escolapios (Albelda de Iregua, La Rioja).....	Pág. 54
Figura 34. Estructuras indicadores de avenidas en el municipio de Islallana, La Rioja.....	Pág. 55
Figura 35. Ubicación de una industria sobre un abanico aluvial.....	Pág. 62
Figura 36. Ubicación de las estructuras antrópicas 2014 sobre las morfologías fluviales 1956/57.....	Pág. 63
Figura 37. Distribución de las áreas de estudio para la fotointerpretación de morfologías fluviales.....	Pág. 64
Figura 38. Distribución de las principales unidades de información que conforman la cartografía final del estudio.....	Pág. 67
Figura 39. Ecuación del riesgo en el proceso de análisis.....	Pág. 70
Figura 40. Usos antrópicos sobre la categoría jurídica de Dominio Público Hidráulico en el núcleo poblacional de Albelda de Iregua.....	Pág. 71

#### ÍNDICE DE FIGURAS EN EL ANEJO II

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Parte media-baja del río Iregua.....	Pág. 85
Figura 2. Mapa de isoyetas de La Rioja.....	Pág. 86
Figura 3. Puerta de Cameros. Situada a la altura de Islallana indica el inicio de la sierra de los Cameros que puede visualizarse en segundo plano.....	Pág. 86
Figura 4. Peñas de conglomerados que marcan la salida fluvial y el punto de contacto de las sierras a la Depresión del Ebro en Nalda.....	Pág. 87
Figura 5a. Sección del río Iregua. Principal estructura que rige la morfología de la cuenca aluvial del Iregua.....	Pág. 87
Figura 5b. Terrazas aluviales del Iregua. Puede diferenciarse hasta tres terrazas aluviales.....	Pág. 88
Figura 6a. Visualización del crecimiento de segundas residencias en el municipio de Islallana.....	Pág. 89
Figura 6b. Visualización del crecimiento de segundas residencias en el entorno de Puente Madre.....	Pág. 90
Figura 7. Criterios aplicados en la obtención del cauce en referencia a los manuscritos.....	Pág. 91
Figura 8a. Firma espectral de la Caliza. Obsérvese en que longitud de onda se produce la máxima reflectividad.....	Pág. 91
Figura 8b. Firma espectral de la Pizarra. Obsérvese en que longitud de onda se produce la máxima reflectividad.....	Pág. 92
Figura 9. Aplicación de ajustes de contraste varios sobre la ortofotografía.....	Pág. 92
Figura 10. Estructura de una plantación de Chopos en la margen derecha del río Iregua.....	Pág. 93
Figura 11. Aplicación de filtros y ajustes para detectar deposiciones las márgenes.....	Pág. 93
Figura 12. Aplicación de filtros y ajustes para detectar deposiciones y estructuras fluviales.....	Pág. 94
Figura 13. Aplicación de un filtro de paso alto (5*5) sobre la ortofotografía de 2014.....	Pág. 94
Figura 14. Ejemplo de uso para la fotointerpretación en la determinación del alcance de un desastre natural con grave afección territorial.....	Pág. 94
Figura 15. Cartografía hidro-geomorfológica en el núcleo de Islallana. Aplicación de criterios hidrológicos sobre la ortofotografía de 1956/57.....	Pág. 95
Figura 16. Cartografía hidro-geomorfológica en el núcleo de Albelda de Iregua (los Escolapios). Aplicación de criterios hidrológicos sobre la ortofotografía de 1956/57.....	Pág. 96
Figura 17. Cartografía hidro-geomorfológica en el Parque del río Iregua (desembocadura al Ebro). Aplicación de criterios hidrológicos sobre la ortofotografía de 1956/57.....	Pág. 97

Figura 18. Barra o banco de cantes depositado por la pérdida de energía en flujo al atravesar los árboles, dispuestos transversalmente al flujo.....	Pág. 98
Figura 19. Variación de las morfologías fluviales 1956/1957-1998 en el núcleo de Islallana. Factor antrópico de 1998.....	Pág. 99
Figura 20. Variación de las morfologías fluviales 1956/1957-1998 para los Escolapios (Albelda de Iregua). Factor antrópico de 1998.....	Pág. 100
Figura 21. Evolución del factor antrópico sobre distintas ortofotografías y las láminas del DPH. Núcleo de Islallana.....	Pág. 101
Figura 22. Evolución del factor antrópico sobre distintas ortofotografías y las láminas del DPH. Núcleo de Nalda.....	Pág. 102
Figura 23. Evolución del factor antrópico sobre distintas ortofotografías y las láminas del DPH. Albelda de Iregua y los Escolapios.....	Pág. 103
Figura 24. Evolución del factor antrópico sobre distintas ortofotografías y las láminas del DPH. Puente de la AP-68 (Logroño).....	Pág. 104
Figura 25. Ubicación de los núcleos de población respecto al río Iregua y las minuturas cartográficas como base cartográfica.....	Pág. 105

## ÍNDICE DE TABLAS

### ÍNDICE DE TABLAS EN EL CUERPO

Tabla 1. Estadísticos de población para los municipios y núcleos urbanos del ámbito de análisis.....	Pág. 8
Tabla 2. Estadísticos de la estación de aforos situada en el municipio de Islallana....	Pág. 12
Tabla 3. Parámetros físicos de la cuenca del río Iregua.....	Pág. 13
Tabla 4a. Población por municipios en la parte media-baja del río Iregua. Periodo 2003-2015.....	Pág. 15
Tabla 4b. Variaciones interanuales de población por municipios de estudio para el periodo 2003-2015.....	Pág. 16
Tabla 5. Año del trazado de las minutillas cartográficas por tipo y año.....	Pág. 26
Tabla 6. Ficha informativa acerca de los aspectos técnicos aplicados y tipo de información consultada.....	Pág. 29
Tabla 7. Bandas del sensor MSI del satélite Sentinel 2A.....	Pág. 36
Tabla 8. Filtro de Compass aplicado a la ortoimagen Sentinel-2A (matriz A).....	Pág. 40
Tabla 9. Aspectos ventajosos e inconvenientes del análisis visual.....	Pág. 43
Tabla 10. Extensión de las morfologías fluviales observadas por sus tipologías.....	Pág. 49
Tabla 11a. Tabla resumen de los estadísticos para estructuras antrópicas en 1998.....	Pág. 60
Tabla 11b. Tabla resumen de los estadísticos para estructuras antrópicas en 2014.....	Pág. 60
Tabla 11c. Vulnerabilidad en función del grado de afectación de las láminas de inundación sobre la estructura antrópica de 1998.....	Pág. 60
Tabla 11d. Vulnerabilidad en función del grado de afectación de las láminas de inundación sobre la estructura antrópica de 2014.....	Pág. 61
Tabla 12. Ubicación y número de viviendas unifamiliares dispuestas sobre morfología fluviales de alto peligrosidad.....	Pág. 62

### ÍNDICE DE TABLAS EN EL ANEJO III

Tabla 1. Aportaciones anuales y mensuales en varios puntos del río Iregua.....	Pág. 106
Tabla 2a. SIOSE (2005). Parcelas (número de polígonos) y hectáreas de extensión en la cuenca del río Iregua (los 20 usos con mayor extensión).....	Pág. 106
Tabla 2b. SIOSE (2011). Parcelas (número de polígonos) y hectáreas de extensión en la cuenca del río Iregua (los 20 usos con mayor extensión).....	Pág. 107
Tabla 3a. SIOSE (2005). Parcelas (número de polígonos) y hectáreas de extensión en la comunidad de La Rioja (los 20 usos con mayor extensión).....	Pág. 108
Tabla 3b. SIOSE (2011). Parcelas (número de polígonos) y hectáreas de extensión en la comunidad de La Rioja (los 20 usos con mayor extensión).....	Pág. 109
Tabla 4. Variación de la cota entre minutillas y mdt_05 para cada punto de control (en metros).....	Pág. 109

## ÍNDICE DE LAS LÁMINAS DEL ANEJO IV

Figura 1. Póster del núcleo de Islallana. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas.....	Pág. 112
Figura 2. Póster del núcleo de Albelda de Iregua y los Escolapios. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas.....	Pág. 113
Figura 3. Póster La Raposa, Bueyo y Los Parrales. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas.....	Pág. 114
Figura 4. Póster del núcleo de Alberite. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas.....	Pág. 115
Figura 5. Póster del cruce autovía AP-68. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas.....	Pág. 116
Figura 6. Póster de la desembocadura del río Iregua en el río Ebro. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas.....	Pág. 117

# I

## INTRODUCCIÓN

**0. TRABAJO Y PRÁCTICAS DENTRO DEL MARCO DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO**

**1. RÍO IREGUA. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

**1.1.** Antecedentes

**1.2.** Justificación

**2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE PARTIDA**

**2.1.** Objetivo principal

**2.2.** Objetivos secundarios

**2.3.** Hipótesis de partida

**3. VULNERABILIDAD. CONCEPTO Y FACTOR EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL RIESGO**

**4. ÁREA DE ESTUDIO. ÁMBITO FÍSICO Y SOCIO-ECONÓMICO**

**4.1.** Localización geográfica del área de estudio. Río Iregua

**4.2.** Factor físico. La climatología en la comunidad autónoma de La Rioja

**4.3.** Factor físico. Geología, geomorfología y fisiografía en La Rioja

**4.4.** Factor físico. La red hidrográfica de La Rioja. Condicionantes y riesgos

**4.5.** Factor biogeográfico. Comunidad vegetal en la cuenca del Iregua

**4.6.** Factor social. Población, parque de viviendas y antropización del uso del suelo

**5. MARCO LEGISLATIVO Y NORMATIVO DEL RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA DOCUMENTACIÓN OFICIAL**

**5.1.** Marco comunitario y europeo del riesgo de inundación

**5.2.** Marco estatal del riesgo de inundación

**5.3.** Marco autonómico del riesgo de inundación

**5.4.** Valoración del marco legislativo en la comunidad autónoma de La Rioja

## **0. TRABAJO Y PRÁCTICAS DENTRO DEL MARCO DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO**

La realización de la práctica en empresa, como asignatura del trabajo final de máster, se ha realizado en la Confederación Hidrográfica del Ebro. Estas líneas procuran una presentación del marco en el que se asienta la elaboración de trabajo final de máster.

La Confederación Hidrográfica del Ebro es un requerimiento legal previsto en las leyes españolas y en la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea cuyo principal mandato es la gestión integral de recursos hídricos en el marco de la cuenca del Ebro (Galván y Omedas, 2011).

Los principales objetivos del Plan Hidrológico (o Plan de Gestión) de la cuenca del Ebro se resumen en (Galván y Omedas, 2011):

- **0.1.** Alcanzar el buen estado ecológico de las aguas.
- **0.2.** Satisfacer las demandas de agua.
- **0.3.** Contribuir al desarrollo sectorial (industria, energía, regadío, etc.).
- **0.4.** Gestión de avenidas.
- **0.5.** Programa de medidas y actuaciones a ejecutar.

En mención a los principales objetivos de la Confederación Hidrográfica del Ebro el objetivo de las prácticas, y su correspondiente documento, se enmarcan en el punto 0.4 de los objetivos, la “Gestión de avenidas”. La valoración y gestión del riesgo de avenidas se enmarca dentro del plan de ordenación territorial integral del bajo Iregua. Este plan recoge la directriz fundamental de medidas de prevención ante inundaciones así como la valoración de otros aspectos contribuyentes a la generación de riesgo como puede ser el crecimiento demográfico o la progresiva ancianidad de la sociedad. De los fines que promueve esta directriz objetivo, la obtención del adecuado conocimiento y evaluación de los riesgos asociados a las inundaciones es la idea central del presente documento. Elaborar evaluaciones preliminares de los riesgos de inundación, mapas de peligrosidad y riesgos así como planes de gestión de riesgos por inundaciones (Galván y Omedas, 2011).

El presente documento se ha llevado a término bajo el amparo de esta directriz en la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Concretamente, en su Sección SIG, responsable de la coordinación del SITEbro, Sistema de Información Territorial Corporativo de la CHE.

### **1. RÍO IREGUA. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

La valoración y análisis de los riesgos naturales supone, inexorablemente, una rama del conocimiento con fuerte vinculación al entorno natural. En la búsqueda del conocimiento entran en juego factores multidisciplinares que se integran en el contexto de analizar situaciones generadoras de riesgo. En esta balanza de factores los componentes humanos y naturales desarrollan un papel clave como principales aspectos determinantes del riesgo.

La valoración del riesgo por inundación o anegación acaece como actividad de prevención, protección y preparación ante avenidas venideras que puedan acontecer en cualquier curso fluvial. Todo curso fluvial susceptible de generar espacios de riesgo, de vulnerabilidad y de susceptibilidad hacia la sociedad debe quedar recogido y su análisis de la susceptibilidad y gestión del riesgo por inundación debe difundirse.

El ámbito de análisis, cuenca media-baja del río Iregua, ámbito de desarrollado para este documento, requiere de la elaboración de estos procedimientos de exploración en aras de la mejora en la gestión del Dominio Público Hidráulico (en adelante, DPH).

#### **1.1. Antecedentes**

Conocer qué coyuntura, física, social, económica, cultural, etc., es la que rige la zona a analizar determina en un alto porcentaje el transcurso de la valoración de susceptibilidad para el curso fluvial. Percatarse de los documentos realizados *ah hoc*, conocer la evolución socio-demográfica, la variación

de los aspectos económicos, el estado actual y pretérito del cauce fluvial, etc. son circunstancias ponderables en el análisis posterior de vulnerabilidad y que la elección de dichos procesos determinará unas medidas u otras dependiendo del objetivo planteado.

Como antecedente de mayor consideración contemplado a la hora de examinar la gestión del riesgo mediante una valoración de la vulnerabilidad del área más próxima al cauce del río Iregua son las diferentes efemérides acaecidas en la parte media-baja de la cuenca. Los recurrentes episodios de inundación determinan un área socialmente vulnerable a las crecidas sobre la cual es conveniente desarrollar una valoración de los riesgos por inundación y determinar el grado de vulnerabilidad adquirido actualmente.

El río Iregua atravesando los municipios aledaños de Nalda, Albelda de Iregua, Alberite, Parque del Iregua (Logroño) y Torrecilla en Cameros, en su transcurso hacia la capital de La Rioja, ha sufrido un total de 27 inundaciones históricas de tipo fluvial (Informe de caracterización a nivel de ARPSIs, 2015).

Por otra parte la creación del Plan Hidrológico del Iregua, en el marco de gestión de avenidas, apoya la tesis de que el río Iregua entraña peligrosidad al producirse eventos de extrema intensidad pluviométrica y que, desde la explotación del agua para el riego hasta la planificación territorial en función del grado de susceptibilidad por avenidas, todos ellos deben quedar recogidos en un documento, el Plan Hidrológico del Iregua. Este documento pone de manifiesto la necesidad de valorar el riesgo actual del río Iregua en su curso más conflictivo, parte media y baja de la cuenca del río Iregua incorporando nuevos procedimientos.

No únicamente el organismo oficial competente, la Confederación Hidrográfica del Ebro, sino que la administración estatal, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), hacen hincapié en la peligrosidad del tramo medio-bajo del río Iregua. Consiguientemente obliga a las autoridades competentes la elaboración de instrumentos homogéneos de gestión y valoración del riesgo por avenidas ARPSIs y DPH (MAGRAMA, 2016).

## 1.2. Justificación

Seguidamente se presentan los principales motivos que hacen necesario este documento. Acerca de ello se distingue desde la parte física de las inundaciones (las efemérides acaecidas) hasta la valoración de la normativa y su marco legal y su aplicación.

El río Iregua en su transcurso sur-norte hacia su desembocadura en el río Ebro por su margen derecha presenta múltiples puntos críticos ante eventos de alta intensidad pluviométrica. En el año 2006 se definieron un total de 29 puntos críticos recogidos en el inventario de campo de infraestructuras y tramos de río problemáticos, en las encuestas a conoedores de la zona y en la recopilación de la información técnica existente en la Confederación Hidrográfica del Ebro (en adelante, CHE) (Plan hidrológico del río Iregua, 2006).

La construcción de dos embalses en la parte alta de la cuenca del río Iregua permite realizar una gestión de las avenidas, laminación del hidrograma principalmente, únicamente del 20% de la aportación caída en la cuenca. La correspondiente área son los 140km<sup>2</sup> que vierten sus aguas en los embalses de González Lacasa y de Pajares. Ello supone que el 80% restante de cuenca no está sujeto a la regulación que realizan estos embalses sobre las avenidas generando, por ende, espacio de mayor riesgo por inundación aguas abajo.

Las recurrentes inundaciones sufridas en la parte media-baja del río Iregua han sido una de los principales factores a la hora de la elección de este río como ámbito de análisis y valoración del riesgo por inundación. Algunas de las avenidas con un alto impacto repercusión social son las siguientes (Plan hidrológico del río Iregua, 2006).

- Marzo de 1590. Avenida que derivó en considerables daños en las vegas del río Iregua en el término municipal de Logroño.
- En febrero de 1900 sufren inundaciones en Nalda, Albelda de Iregua, Alberite, Villamediana y Logroño.

- Año 1925. Avenida que derivó en el hundimiento y arrastre de algunos puentes y la anegación, y su consecuente pérdida, de múltiples campos de cultivo en el municipio de Torrecillas en Cameros y Albelda de Iregua.
- Numerosas fincas afectadas en Villamediana y Albelda de Iregua por la crecida del río Iregua en noviembre de 1927.
- Año 1936. El río Iregua avulsiona en el término municipal de Albelda formando un nuevo cauce del río.
- 17 de noviembre de 1967 el río Iregua alcanzó un caudal instantáneo de 354 m<sup>3</sup>/s.
- 7 de mayo de 2003 alcanzando un caudal punta de 111 m<sup>3</sup>/s derivó en desbordamientos puntuales y daños en el curso fluvial del río Iregua así como el vertido de aguas residuales por taponamiento del colector del bajo Iregua.

El plan hidrológico del río Iregua (2006) afirma que “la invasión del cauce por viviendas es un fenómeno poco frecuente en esta cuenca”. El crecimiento observado en la comunidad de La Rioja, especialmente en la ciudad de Logroño y su conurbación próxima al río Iregua, requiere de una nueva valoración y análisis de su vulnerabilidad para aseverar si dicha afirmación sigue siendo válida.

En referencia a la normativa que regula los espacios fluviales cabe remarcar que la legislación sobre estos espacios debe ser materia estatal, autonómica y local, actuando como un engranaje en aras de la Ordenación Territorial (en adelante O.T.) ordenada e integral. La delimitación de las Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (en adelante, ARPSIs), del Dominio Público Hidráulico (en adelante, DPH) y espacios de riesgo por inundación y/o anegación adquieren una vinculación directa con la normativa legal, cuyo cumplimiento respecto al uso del suelo y su explotación es de obligado cumplimiento por parte del organismo o administración competente. A pesar de la existencia de una normativa vinculante el desarrollo económico y urbanístico experimentado ha derivado en la ocupación del DPH o incluso del propio cauce del río Iregua en algunos sectores.

La construcción de cualquier tipo de edificación o estructura, principalmente de uso social, en espacios fluviales genera riesgos y vulnerabilidades debiendo ser mitigados o, cuanto menos, reducidos mediante una valoración integral del riesgo con el objetivo de reducir los efectos de más que probables avenidas. Por ello una correcta interpretación de la legislación en estos ambientes debe ser la correcta y adecuada para reducir la exposición al evento natural.

La catalogación de varios tramos del río Iregua por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) en relación a la valoración del riesgo por inundación del río Iregua, DPH y ARPSIs es irrefutable. El ámbito geográfico de la parte media-baja del río Iregua registra estas figuras legislativas que acontecen a demarcaciones geoespaciales debiéndose considerar.

El conocimiento de la susceptibilidad (antrópica o no) por avenida sobre un espacio geográfico supone aplicar diversas técnicas para la valoración de susceptibilidad y gestión del riesgo de inundación. Sobre el río Iregua se han realizado numerosos estudios, principalmente hidráulicos e hidrológicos, con la finalidad de obtener parámetros de las áreas de inundación, calados, velocidades y caudales.

Evaluando el entorno físico, la dinámica evolutiva de los procesos fisiográficos (principalmente aspectos de la morfología fluvial), la coyuntura socio-económica en el entorno de la cuenca media-baja del Iregua acaece factible el desarrollo de estudios de vulnerabilidad y gestión del riesgo por inundación implementando nuevos procedimientos y técnicas conformes a la disposición de nuevas tecnologías (gestión de bases de datos, SIGs, teledetección, etc.).

Derivado de estas circunstancias descritas es vinculante recordar que la acción antrópica (factor humano “social”) y los fenómenos naturales se desarrollan sobre del territorio donde la línea entre el equilibrio e inestabilidad es una delgada línea en la que el *statu quo* es reiteradamente sobrepasada. Entonces, una vez en desequilibrio, sobreviene el riesgo marcado por los desajustes del factor humano o natural o de ambos. En medio de este cómputo la sociedad está expuesta cada día a multitud de fenómenos de diversa índole, comportando un riesgo sobre las personas, infraestructuras, zonas no urbanas, medios de transporte, etc.

## **2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE PARTIDA**

La elección del área de estudio queda de manifiesto por los antecedentes del río Iregua y por aquellos hechos que justifican la propia elección del ámbito a analizar. En base a ello este trabajo prevé alcanzar las siguientes metas.

### **2.1. Objetivo principal**

Evaluación de la susceptibilidad en la parte media-baja del río Iregua aplicando múltiples procedimientos de análisis con el fin de determinar el *statu quo* del territorio que pueda ser afectado por una avenida.

Asimismo, se considera objetivo general el propio desarrollo de un documento síntesis de las prácticas realizadas en la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro, asumiéndose los preceptos a ejecutar durante el periodo de prácticas.

### **2.2. Objetivos secundarios**

- Valoración diacrónica y aplicación de múltiples procedimientos de análisis/evaluación del riesgo.
- Imbricación entre la coyuntura económico-social y territorial y el factor de susceptibilidad. Búsqueda del proceso diacrónico que ha experimentado el riesgo y la susceptibilidad en el área de estudio respecto a sus factores y condicionantes principales.
- Apoyar a la adecuada protección del DPH para los cauces iniciado en el Plan Hidrológico del río Iregua. Estimación del correcto uso de los terrenos del DPH así como las áreas de inundación para diferentes períodos de retorno.
- Ordenación del territorio. Las figuras del DPH, en sus entidades *shapefiles*, como la zona de policía o de servidumbre deben registrarse como áreas limitadas de uso y funciones. Este proyecto pretende corroborar esta afirmación.
- Uso de procedimientos técnicos en entornos SIGs y teledetección. Nuevos procedimientos para verificar su empleo en el análisis de vulnerabilidad.

### **2.3. Hipótesis de partida**

Desde 2006 no se han elaborado estudios ni documentos que registren la susceptibilidad o vulnerabilidad en la parte media-baja del río Iregua. Se conoce la amenaza que tiene el territorio analizado a sufrir recurrentes avenidas, por ello, se pretende realizar una valoración del territorio aplicando diferentes criterios con el fin de obtener el estado actual de la parte baja del río Iregua.

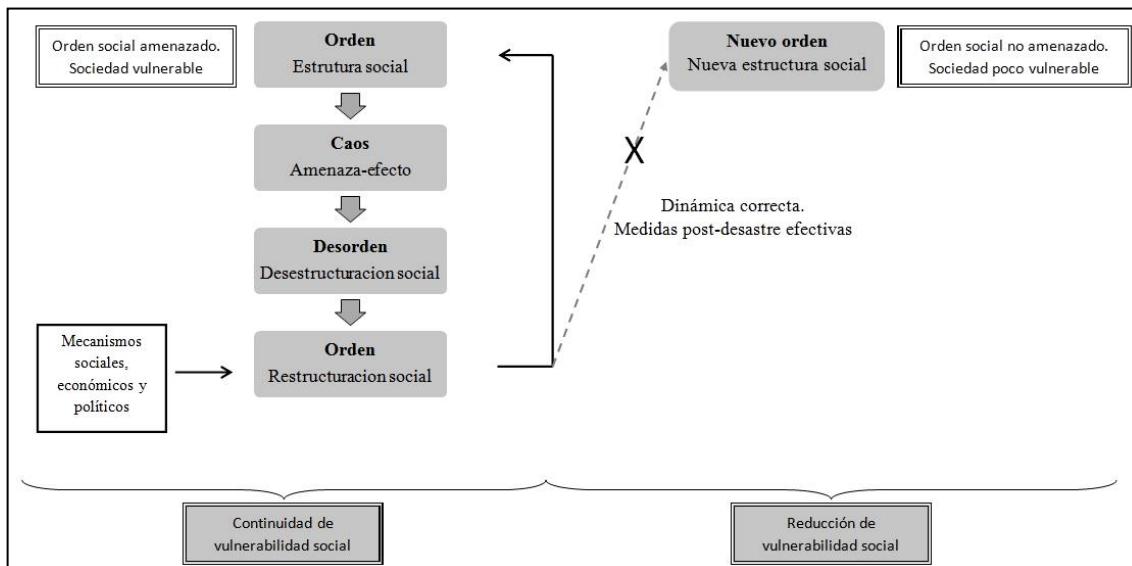
A partir de ello se quieren cartografiar los factores que entrañan vulnerabilidad desde los inicios del siglo XX hasta la actualidad. En el desarrollo de esta investigación se busca el conocimiento de las sinergias entre el factor físico (lecho y geomorfología del cauce así como las láminas de inundación por Periodos de Retorno, en adelante PR) y antrópico con el hecho de adquirir menor o mayor grado de afectación por avenidas. En alusión a la documentación consultada la elaboración no se han elaborado estudios en esta temática por lo que hace de este documento un filón para futuros análisis o estudios en materia de inundaciones en el bajo Iregua.

## **3. VULNERABILIDAD. CONCEPTO Y FACTOR EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL RIESGO**

La posibilidad de cuantificar la probabilidad de sufrir un evento extremo analizando el grado de exposición frente al peligro natural, proporcionando incluso una aproximación económica en caso de sufrir las desavenencias de un desastre de origen natural, entraña un enfoque interdisciplinar en la evaluación del riesgo por avenidas. Las variables, principalmente económicas y sociales, permiten integrarlas en Sistemas de Información Geográfica (SIG), softwares de teledetección, programas estadísticos y en entornos de programación de la información para modelizar el fenómeno y evaluar zonas de mayor o menor exposición en aquellos lugares propensos a sufrir en mayor o menor grado el desastre o, incluso, permite elaborar mapas de pérdidas económicas a futuro, mapas de vulnerabilidad frente un evento extremo entre otros productos de interés.

Autores como Beck (1996) y Giddens (1997) en su afán por caracterizar la sociedad moderna revelaron que, intrínsecamente, esta sociedad acaece como sociedad de riesgo. “El tránsito de la época industrial a la de riesgo, se realiza anónima e imperceptiblemente en el curso de la modernización. Es decir, no es que las sociedades adopten un modelo de riesgo, son que el propio desarrollo industrial conduce a esta opción no elegida, la sociedad del riesgo” (Alfie y Méndez, 2000).

Dentro de esta sociedad del riesgo la postura sugerida por Ulrich Beck puede afirmar que el carácter individual y su suma resonancia porta a un bucle por el cual la vulnerabilidad social de una población frente a una amenaza no lograría mitigarse. A este proceso se le conoce como la sociología del riesgo (vid. figura 1). Por otra parte, el sociólogo inglés Anthony Giddens postula tres causas “La inconsciencia psicológica de cada persona limita la toma de decisiones, la rutinización de comportamientos se interioriza como necesidad y la toma de decisiones viene dada por actores sociales externos al individuo” (Giddens, 1997) por las que las estrategias de búsqueda de la seguridad se estrellan contra la propia dinámica social.



**Figura 1.** Sociología del riesgo. Elaboración propia.

La individualización del riesgo modula el enfrentamiento ante las amenazas físicas por eventos naturales. Las desigualdades no se asientan sobre una clase social sino que se desarrollan sobre el individuo llevándolo a una interiorización subjetiva del riesgo. Dicha interiorización acontece como principal causa de la creación de espacios de riesgo.

Aludiendo a la figura 1 el carácter social otorgado al riesgo insta, bajo mecanismos sociales, económicos y políticos posteriores al desastre, a una restructuración del orden social previo a la amenaza. Establecer nuevos mecanismos de reestructuración post-desastres, que reúnan los principales conocimientos adquiridos en la fase de “desorden” y “desestructuración social”, posibilita una reducción de la vulnerabilidad en nuevos entornos sociales.

Por ello la vulnerabilidad requiere de un orden social que conozca los aspectos a tener en cuenta del riesgo, estableciendo una sólida base sobre la que asentar el proceso social, entendido como los aspectos culturales, económicos, infraestructuras, estructuras de poder (políticas y financieras), etc., en armonía con el riesgo, reduciendo el factor de vulnerabilidad.

En el presente documento al referirnos al término vulnerabilidad se hará bajo la siguiente definición: conjunto de seres humanos y de actividades presentes en un territorio que pueden verse afectados por un peligro natural o tecnológico (Olcina, 2006).

## 4. ÁREA DE ESTUDIO. ÁMBITO FÍSICO Y SOCIO-ECONÓMICO

### 4.1. Localización geográfica del área de estudio. Río Iregua

La cuenca hidrográfica del río Ebro está ubicada, respecto a la península ibérica, en el tercio noreste. Entre los múltiples ríos que vierten sus aguas al Ebro se encuentra el río Iregua, que desemboca en el Ebro a la altura de la ciudad de Logroño, capital de la comunidad autónoma de La Rioja. Lo hace por la margen derecha del Ebro cuyas coordenadas sexagesimales son  $2^{\circ} 26' 52''$  W (longitud) y  $42^{\circ} 27' 53''$  N (latitud) en el sistema de coordenadas ETRS89 UTM 30 norte.

En relación a la cuenca del Ebro el río Iregua se ubica en la parte media alta de la depresión del Ebro, discurrendo la mayor parte de él sobre la comunidad autónoma de La Rioja. La cuenca principal del Iregua discurre en un 95% sobre suelo riojano (comunidad autónoma de La Rioja) y un 5% sobre tierras sorianas (comunidad autónoma de Castilla y León). Un único cauce inicia su camino hacia la desembocadura en el Ebro naciendo en Soria. Este es el río Mayor el cual confluye con el río Iregua en la localidad de Villoslada de Cameros (vid. figura 2).

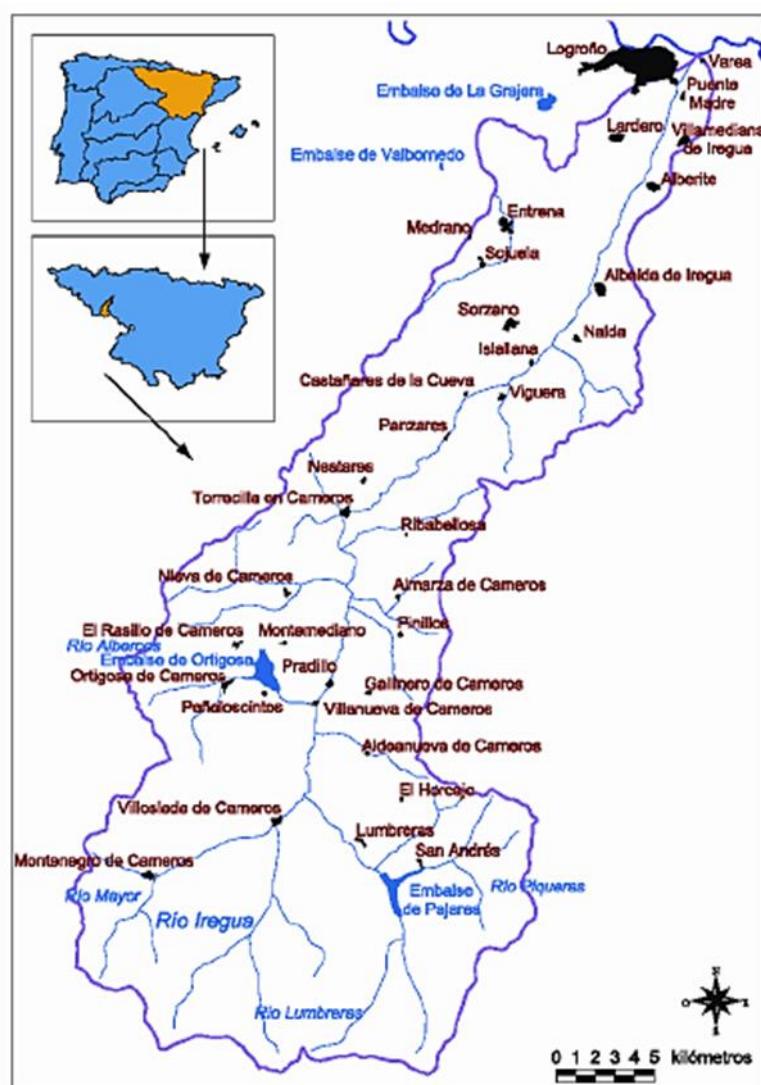


Figura 2. Ubicación de la cuenca del río Iregua. Fuente: Plan hidrológico del río Iregua (C.H.E., 2006).

Aproximándonos al ámbito territorial de análisis no se ha procedido a valorar el factor vulnerabilidad en toda la cuenca del río Iregua. Basándose en los criterios que se citan a continuación se ha considerado la parte media-baja de la cuenca del Iregua como zona de estudio (vid. figura 1. Anejo II).

- Ambiente fisiográfico correspondiente a zonas de deposición de materiales. Cuencas terciarias y cuaternarias.

- Valle aluvial. Zona de apertura del río Iregua destacando claras morfologías de abanico aluviales y estructuras asociadas como las terrazas aluviales en ambientes de colmatación.
- Mayor densidad de infraestructuras y población asentada en el territorio. Ello repercute directamente sobre el factor vulnerabilidad y el factor riesgo, siendo estos los principales parámetros de estudio de este documento.
- Zona de recurrentes inundaciones y avenidas. Numerosas pérdidas económicas derivadas de una falta de ordenación territorial.
- En alusión a la condición de las prácticas en la Confederación Hidrográfica del Ebro el territorio analizado posee interés para el organismo a la hora de gestionar el factor y grado de vulnerabilidad existente en ese tramo.

Como se observa en la figura 1 del anexo II el análisis se ciñe al tramo dispuesto entre el núcleo de Islallana y el Parque del río Iregua (desembocadura del río Iregua en el Ebro). Los municipios de Nalda, Albelda de Iregua, Alberite, Lardero, Logroño y Villamediana de Iregua se encuentran dentro del ámbito de análisis con sus principales núcleos de población así como al diseminado antrópico de viviendas y estructuras antrópicas que se ha ido asentando en los últimos años (vid. tabla 1).

**Tabla 1.** Estadísticos de población para los municipios y núcleos urbanos del ámbito de análisis. \*La tasa de crecimiento indica la media de habitantes que aumentan en el núcleo poblacional anualmente para el periodo 1996-2014. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Municipio	Núcleos urbanos	Población 2015 (1 enero)	Tasa crecimiento (1996-2015)*
Nalda	Islallana y Nalda	952 (Nalda)	9 (Nalda)
Albelda de Iregua	Albelda de Iregua	3.269	73
Alberite	Alberite	2.456	42
Lardero	Lardero	9.448	380
Logroño	Logroño	151.344	1.780
Villamediana de Iregua	Villamediana de Iregua	7.643	369

A lo largo de este módulo se acomete el estudio de forma sucinta de los principales componentes físico-sociales del ámbito de estudio requeridos para afrontar el proceso de valoración de la vulnerabilidad. A continuación se realiza una valoración sucinta de los principales factores que caracterizan la zona de la parte media-baja de la cuenca hidrográfica del río Iregua. Los principales factores son: el clima, la geomorfología y geología, estructura de la red hidrográfica, suelos y cobertura vegetal y dinámica y ámbito social.

#### 4.2. Factor físico. La climatología en la comunidad autónoma de La Rioja

Tomando como referencia la escala climática de Köppen el clima de La Rioja se considera como un clima Cfb. Dicha catalogación se atribuye a un clima templado, sin estación seca y con un verano templado. Cabe mencionar que en referencia a la evolución topográfica y fisiográfica del terreno en la vertiente norte y sur de la cordillera ibérica se dan microclimas por efecto de lo abrupto de la orografía.

La temperatura media es variante. La fluctuación experimentada entre el área con mayor orografía y la de menor alcanza los 6 grados de diferencia, experimentando una temperatura media en la cabecera del río Iregua de 7 °C mientras en su desembocadura, parte más baja, alcanza los 13 °C de media anual. En alusión a lo anterior en el transcurso de un año se sufren variaciones de la temperatura registrándose mayores temperaturas en julio y agosto y temperaturas menores en enero y febrero. El ritmo térmico estacional y mensual en la comunidad de La Rioja, al igual que ocurre en el resto de la península Ibérica, dibuja una curva bastante sencilla: un mínimo en invierno y un máximo en verano, con ausencia de mínimos o máximos secundarios (Cuadrat y Vicente\_Serrano, 2008).

Respecto a la precipitación media alcanzada esta fluctúa de los 550 mm/año en la desembocadura a los más de 800 mm/año en la cabecera del Iregua. En extensión a toda la comunidad autónoma el

aporte pluviométrico medio para La Rioja ronda los 600 mm/año en la que la estación de primavera es la época más lluviosa (vid. figura 2. Anejo II).

Así, en los sectores con mayor influencia oceánica, como La Rioja Alta y Sierras de la Demanda, Urbión y Cebollera, las lluvias de invierno son muy abundantes, llegando a constituir el máximo secundario (casos de Posadas y Haro). En la Rioja Baja y en las montañas orientales, con condiciones cada vez más mediterráneas, las lluvias otoñales son más abundantes y el régimen pasa a ser equinoccial, con el máximo principal en primavera y otro secundario en otoño, separados por dos mínimos en invierno y verano bastante parecidos (Cuadrat y Vicente-Serrano, 2008).

En gran medida el clima de La Rioja viene determinado por la evolución geológica y los relieves esculpidos a lo largo del tiempo. La configuración final del relieve durante los procesos orogénicos así como la colocación latitudinal de la Península, en relación a las grandes bandas climáticas, son los principales condicionantes del clima regional, en conexión con la evolución geológica (Casas et al, 2001).

### **4.3. Factor físico. Geología, geomorfología y fisiografía en La Rioja**

#### **4.3.1. Ámbito fisiográfico**

La comunidad autónoma de La Rioja presenta contrastes marcados en relación a su fisiografía. Dos son las principales unidades que pueden diferenciarse: la Sierra y el Valle del Ebro.

La primera constituye el sistema montañoso ubicado al sur respecto a la comunidad autónoma correspondiente al Sistema Ibérico cuya alineación adquiere una disposición W-E longitudinalmente en la parte meridional de La Rioja. Esta primera unidad está “partida” por siete valles transversales, configurando los principales curso fluviales de la región (Gobierno de La Rioja, 2006).

La segunda unidad fisiográfica, Valle del Ebro, se ubica en la parte septentrional de La Rioja por debajo de los 800 metros de la cota media de la comunidad autónoma y de pendientes suaves cuyo buzamiento implica el desagüe, de las aguas recogidas de la sierra, hacia el río Ebro.

Fisiográficamente la comunidad autónoma acaece como territorio de marcada vocación forestal con pendientes superiores al 30% en una tercera parte del territorio, con marcados contrastes orográficos que otorgan una altitud media cercana a los 800 msnm.

#### **4.3.2. Ámbito geológico**

En el ámbito geológico de la comunidad de La Rioja se distinguen distintos tipos de paisajes asociados a las características geológicas, destacando la composición litológica como principal factor modificador. Sobre el territorio riojano destacan tres unidades geológicas bien diferenciadas.

- Sierra de Cameros situada en el centro de la comunidad autónoma. Posee dos estructuras montañosas diferenciadas, Sierra de Cameros Nuevo y Sierra de Cameros Viejo (vid. figura 3. Anejo II).
- Sierra de la Demanda, ubicada al este de la comunidad autónoma próxima al límite con Burgos.
- Surco Riojano. Forma parte del área septentrional de la comunidad incluyendo en ella la facie terciaria del Valle del Ebro. El paquete terciario está representado por sedimentos depositados en ambientes continentales dispuestos en conjuntos de abanicos aluviales que, con su origen en zonas meridionales y sentido S-N, tienden a llenar el surco riojano (Gobierno de La Rioja, 2006).

El relieve que conforman estas unidades está desarrollado por estructuras plegadas, cabalgamientos y estratos horizontales como principales procesos de origen orogénico. El relieve guarda relación con la evolución geológica reciente del área, caracterizada por la colmatación de la Cuenca del Ebro durante el Mioceno superior y el posterior, pasando de un régimen endorreico a exorreico, que trajo consigo la erosión de los materiales siendo más acentuado este proceso en el caso del surco terciario (Casas et al, 2001).

En una aproximación a la evolución reciente del relieve de La Rioja cabe mencionar el proceso de colmatación de las cuencas terciarias como principal fenómeno desarrollado desde el terciario. El mencionado proceso colmata las cuencas terciarias del Ebro, Duero y Almazán que son las que rodean los macizos de Cameros y Demanda, fuente primaria del material depositado.

En alusión a *Casas et al (2001)* la sierra de Cameros y Demanda, principales sierras configuradoras de la cuenca alta del río Iregua, no han desarrollado un proceso erosivo intenso motivado por la dura litología de las mismas. La mayor parte de las Sierras de Cameros y de la Demanda están formadas por areniscas y lutitas, con limolitas, conglomerados y rocas calizas en menor medida (*Casas et al, 2001*).

Los materiales que conforman las sierras adquieren una baja capacidad de erosión salvo aquellas áreas en las que se den procesos erosivos lineales. Tales procesos permiten desarrollar la red hidrográfica actual de barrancos y ríos continuando hoy día este proceso de sedimentación de los materiales procedentes de las Sierras de Cameros y Demanda en el surco riojano.

Respecto a la cuenca del río Iregua pueden definirse dos áreas diferenciadas en cuanto a la geología: la superior y la inferior (vid. figura 3).

#### 4.3.2.1. Parte superior de la cuenca del Iregua

La cuenca superior estructura la parte montañosa de la cuenca general, dominada por la Cordillera Ibérica. Su límite discurre desde la divisoria de aguas del río Iregua hasta Torrecilla de Cameros. Los materiales predominantes son los carbonatos del Jurásico (calizas, limolitas y arcillas principalmente) y del Cretácico (conglomerado calcáreos) con pequeños afloramientos Paleozoicos y Terciarios (Plan Hidrológico del río Iregua, C.H.E., 2006).

Las principales unidades fisiográficas de la parte alta de la cuenca del Iregua quedan confeccionadas por las Sierras de Cameros, Neila y Pradoluengo-Anguiano. Estas unidades presentan estructuras de pliegues y estructuras anticlinales y sinclinales en un ambiente altamente estructurado por fallas.

#### 4.3.2.2. Parte inferior de la cuenca del Iregua

Desde Torrecilla hasta la desembocadura. El dominio geológico de este área está compuesto, fundamentalmente, por las calizas, areniscas y conglomerados del terciario (ambiente predominantemente de colmatación) en etapas post-orogénicas. Existen áreas con predominio de margas y yesos, principalmente asociados a morfologías periglaciares (glacis) (vid. figura 4. Anejo II).

Sobre esta parte de la cuenca se desarrollan estructuras de origen fluvial como son las terrazas suspendidas del río Iregua que ampliándose a la comunidad autónoma son múltiples las terrazas aluviales de los ríos Leza, Jubera y Mayor (vid. figuras 5a y 5b. Anejo II). Las terrazas del Iregua están conformadas por gravas más o menos consolidadas, arenas, limos y arcillas. Los materiales con cierto relieve presentan rasgos de paleocanales de la fase Miocénica hecho que asevera una dinámica fluvial pretérita, activa todavía, en la que gravas, arenas y arcillas son los principales compuestos en continua remoción (erosión - transporte - sedimentación).

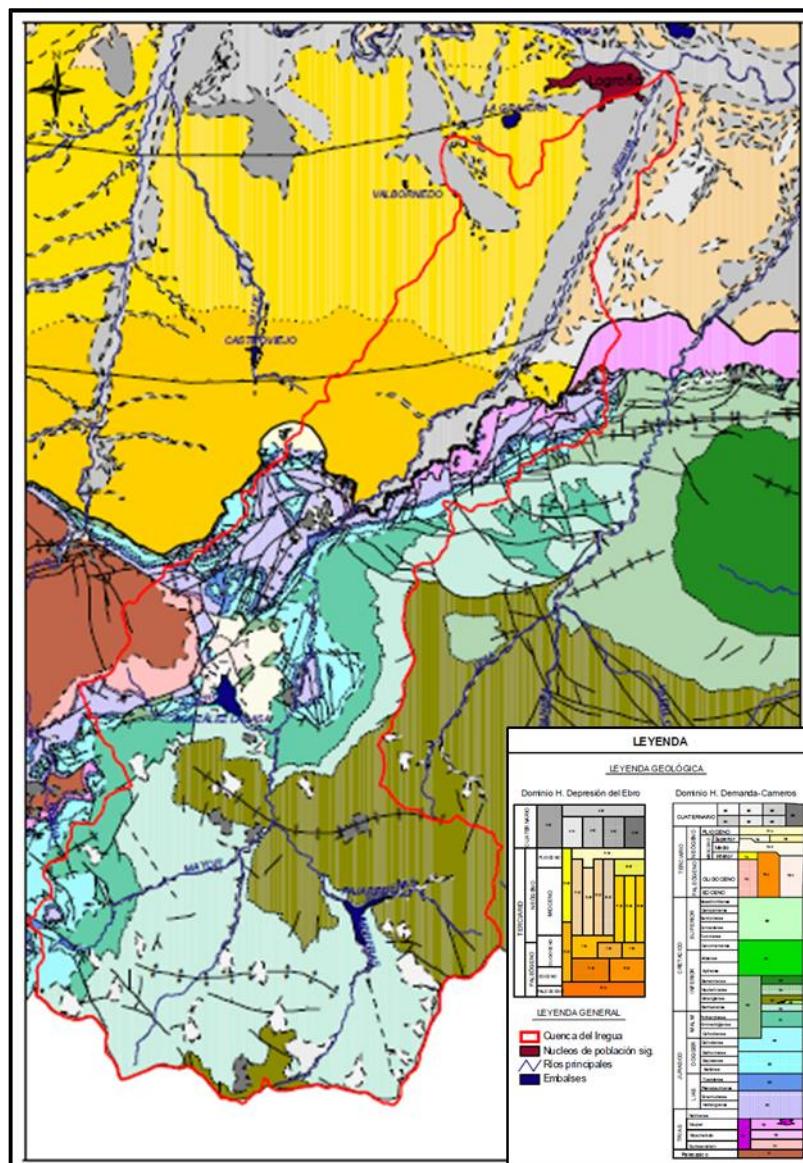
#### 4.3.3. Parte inferior de la cuenca del Iregua. Ámbito de estudio

Respecto a la climatología el área de estudio presenta valores elevados en cuanto a temperaturas media anuales se refiere (cercanos a los 13°C) y una pluviometría media anual de 400 mm (vid. figura 2. Anejo II). Considerando todos los valores climáticos de la comunidad autónoma tanto la pluviometría como la temperatura media representan valores extremos, indicando ello la relativa poca altitud media del área analizada originando mayor temperatura media y menor pluviometría.

Acotando el análisis geomorfológico al área de estudio está compuesta principalmente de materiales depositados en el Terciario y Cuaternario. Los procesos erosivos y de colmatación rigen como principales modeladores en el ámbito territorial del análisis. En alusión a la cartografía geológica del IGME de 1975 en el ámbito de estudio se observan:

- Terrazas de inundación y fondos fluviales (gravas sueltas, arenas y limos).

- Terrazas suspendidas del río Iregua conformadas por gravas más o menos consolidadas, arenas, limos y arcillas.
- Cuaternario indiferenciado. Terrazas aluviales y glacis como principales estructuras en esta facie.
- Glacis. Confeccionado por gravas más o menos consolidadas, arenas, limos y arcillas.



**Figura 3.** Mapa geológico de la cuenca del río Iregua. Fuente: Plan Hidrológico del río Iregua (C.H.E., 2006).

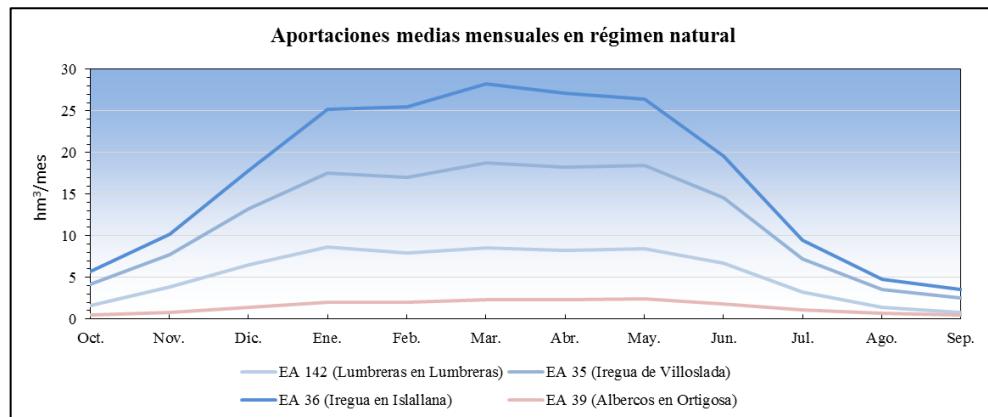
#### 4.4. Factor físico. La red hidrográfica de La Rioja. Condicionantes y riesgos

La estructura de la red hidrográfica de La Rioja gira en torno al río Ebro como eje vertebrador de la red y de la disposición orográfica. El río Ebro se dispone de noroeste a sureste como eje de convergencia del resto de cursos fluviales riojanos, entre ellos, lo hace el río Iregua a la altura de la capital de la comunidad autónoma, Logroño. En la unión de ambos cursos fluviales tiene importancia hidrológica al iniciar el río Ebro su recorrido en meandros libre (núcleo de Varea). La pronunciada orografía en la parte meridional de la comunidad ofrece una coyuntura propicia tanto climática, por sus abundantes precipitaciones, y fisiográfica, con elevadas cimas, para el desarrollo de las cuencas, barrancos y ríos. En las unidades geológicas de Sierra de Cameros y Sierra de la Demanda es donde tienen inicio los principales cursos fluviales, que son:

- Río Tirón.
- Río Oja.
- Río Nájera.
- Río Iregua.

- Río Leza-Jubera.
- Río Cidacos.
- Río Alhama-Linares.

Las características de los cursos fluviales vienen definidas por las condiciones climáticas y orográficas que influyen en el régimen del curso fluvial. Con relativa poca variación de la precipitación estacional y anual el régimen hídrico de los ríos riojanos es más o menos constante, sin grandes variaciones entre estaciones motivado por el clima atlántico dominante (vid. figura 4). La escasa variación anual de la precipitación no exime a los cursos fluviales de sufrir avenidas originadas por fuertes precipitaciones, intensas en espacios temporales reducidos, o por el rápido deshielo en años con una nivología acusada (vid. tabla 2). Obsérvese los caudales estimados para diferentes períodos de retorno y la media anual del 2015, caracterizando la dinámica fluvial del río Iregua.



**Figura 4.** Aportaciones medias mensuales del régimen natural en varios puntos del río Iregua (vid. tabla 1. Anejo III). Fuente: Plan hidrológico del río Iregua (C.H.E., 2006).

Como factor determinante y característico de la morfología fluvial, se ha considerado la cuenca como unidad de medida básica para este estudio. La disposición de la cuenca en su relieve condiciona el hidrograma del caudal de salida bajo influencia de los parámetros básicos fisiográficos y morfométricos “forma de la cuenca” (Diez Herrero, 2002). Las variables geomorfológicas modelan el hidrograma de la cuenca y la magnitud de los tiempos característicos de las relaciones hietograma-hidrograma (Diez Herrero, 2002).

Variables como la pendiente, elongación, compacidad o circularidad influyen sobre el hidrograma. Entonces se puede establecer una correlación de morfología y caudal donde las morfologías de las cuencas más circulares poseen un hidrograma unitario con caudal punta mayor que cuencas morfométricas alargadas, cuyo hidrograma estará más laminado por una menor concentración del flujo generando una respuesta menos concentrada.

**Tabla 2.** Estadísticos de la estación de aforos situada en el municipio de Islallana. PR (Periodo de Retorno). \* Para los PR de 5 y 25 años no se han modelizado los flujos de avenidas. Fuente: Sistema Automático de Información Hidrológica del Ebro (SAIH-Ebro).

Estación de aforo "A036 Iregua-Islallana"	
<i>Estadístico</i>	<i>Dato(m³/s)</i>
Máxima crecida ordinaria	74
Caudales de crecida (PR)*:	-
2	53
5	-
10	120
25	-
100	342

500	568
Caudales medio estación (año 2015)	7,4

La variable “longitud” del cauce juega un papel determinante en la inundación. El escaso recorrido junto con el desnivel entre cabecera y desembocadura origina cursos fluviales con dinámicas de alta energía en episodios de intensas precipitaciones. Esta característica se presenta en el ámbito de estudio pero no es exclusivo. Toda la fachada Mediterránea está configurada con esta red hidrográfica de cauces cortos, espasmódicos y de alta virulencia, confiriéndoles un riesgo elevado agravado por la apariencia de “calma” (cauces secos) que suelen tener durante la mayor parte de año. No obstante, la morfología del terreno no actúa como único agente generador de inundaciones. Parámetros como la intensidad en la que precipita, la persistencia (inercia de las variables meteorológicas por las cuales se generan períodos de precipitación después de períodos anteriores donde ya haya precipitado), duración de la precipitación y concentración espacial determinan el caudal punta y por consiguiente el factor peligrosidad en la ecuación del riesgo.

#### 4.4.1. Principales características del río Iregua

Como principal característica de la cuenca del río Iregua destaca su morfología. La cuenca se subdivide en dos zonas; la parte de cabecera, la cual dispone de una mayor anchura en dirección NW-SE mientras en la parte media y baja la sección se reduce en anchura hasta la mitad de la parte de la sección superior. La morfología que adquiere la sección superior tiende a concentrar la precipitación, pues su morfología presenta una disposición en planta semicircular, facilitando la concentración del agua escurrenida y adquiriendo tiempos de concentración similares desde las divisorias de aguas. Esto provoca una variación del histograma de avenida aumentándolo, hecho que corrobora la relación entre la morfología de las cuencas, los hidrogramas de avenidas y factores como la peligrosidad y vulnerabilidad.

Algunos de los parámetros físicos característicos de las cuencas revelan que la cuenca es propicia a desarrollar avenidas repentinas. Entre los parámetros considerados el área es parte fundamental que con sus 662 km<sup>2</sup> aproximados es considerada de pequeña extensión en comparación con las otras subcuenca del Ebro. Otro parámetro que indica una dinámica fluvial de alta energía corresponde con la diferencia entre la altura máxima que alcanza el cauce en cabecera de la cuenca y su punto más bajo. El río Iregua posee una diferencia altitudinal de 1.503 metros otorgándole una pendiente media del curso fluvial del 2,1 metros de desnivel cada 100 metros horizontales (vid. tabla 3).

**Tabla 3.** Parámetros físicos de la cuenca del río Iregua. (\*) El nivel de precisión ofrecido por el CEDEX es de rango inferior a la subcuenca, comportando un área diferente a la de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Elaboración propia.

Parámetros físicos de la cuenca del Iregua	
Longitud del cauce	70,62 km
Área cuenca (CHE)	662,97 km <sup>2</sup>
Área cuenca (CEDEX)*	707,62 km <sup>2</sup>
Altura máxima del cauce	1.860 msnm
Altura mínima del cauce (Ebro)	357 msnm
Gradiente altitudinal	1,503 m
Pendiente media (cauce íntegro)	2,10%
Pendiente media (hasta Islallana)	3,02%

Parámetros como la pendiente media hasta Islallana asevera un cauce con notable desnivel que, en situaciones de intensas fuertes precipitaciones o períodos de deshielo severos, puede generar avenidas significativas de alta energía colocando en peligro a la población e infraestructuras de la parte media-baja del Iregua.

#### **4.5. Factor biogeográfico. Comunidad vegetal en la cuenca del Iregua**

Las comunidades vegetales que habitan en la cuenca del Iregua presentan diferencias latitudinales y altitudinales. El clima actúa como factor limitante para ciertas comunidades vegetales así como la altura, pues el gradiente altitudinal, cerca de 1.500 metros de desnivel, resulta trascendental para la distribución de la comunidad vegetal en la cuenca.

La fuente de datos para catalogar las comunidades vegetales y los usos del suelo ha sido el Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (en adelante, SIOSE) de los años 2005 y 2011, obteniéndose los siguientes resultados para la cuenca del río Iregua (vid. tabla 2a “2005” y 2b “2011”. Anejo III) y comunidad autónoma de La Rioja (vid. tabla 3a “2005” y 3b “2011”. Anejo III).

En mención a las tablas anteriores se expresan a continuación las valoraciones acerca de la distribución y orden de magnitud que poseen las múltiples comunidades vegetales en ambas áreas de análisis.

Tanto para el SIOSE del 2005 como del 2011 los siete primeros usos del suelo dominantes no han sufrido variación alguna. Por orden decreciente y en cuanto al porcentaje extensión por cada categoría se ha obtenido:

- No Predefinida.
- Cultivos Herbáceos distintos de Arroz.
- Matorral.
- Viñedo.
- Pastizal.
- Frutales No Cítricos.
- Frondosas Caducifolias.

El matorral, viñedo y los cultivos herbáceos distintos al arroz experimentan un leve aumento en extensión para la comunidad autónoma en la serie 2005-2011. Como principal característica de los usos del suelo en la comunidad de La Rioja destaca el uso agrario de la superficie, cultivos herbáceos distintos de arroz, viñedo, pastizal y frutales. La extensión de superficie catalogada como matorral adquiere una dimensión, cuanto menos, destacada con cerca de 60.000 ha.

Respecto al SIOSE cabe mencionar la extensión de las parcelas definidas como suelo mixto o parcelas compuestas (asociación en mosaicos irregulares) conformadas como mínimo por dos o más usos del suelo. Mencionados mosaicos están recogidos en el SIOSE por la tipología de uso del suelo “no predeterminado” cuya extensión alcanza un total del 57.7% del territorio para el 2011 y del 56.8% para el 2005 para la comunidad autónoma. En ambos años ocupan más de mitad de la extensión de la comunidad autónoma alcanzando un papel en la economía y sociedad destacable como parcelas de explotación y asentamiento de viviendas. Remarcarse que esta catalogación determina zonas de mezcolanza en los usos de suelo variando el porcentaje de uso del suelo dedicado para cada categoría. Para confeccionar este análisis se ha asimilado la categoría “no predeterminada” como uso de suelo mixto haciendo referencia a tipologías tales como: secano, regadío y usos antrópicos. El resto de categorías expresadas en el SIOSE presentan superficies homogéneas en cuanto al uso del suelo.

Bajo estos criterios la comunidad autónoma de La Rioja adquiere un mayor volumen de superficie registrada como mixta, en referencia al proyecto SIOSE (Instituto Geográfico Nacional, en adelante IGN), mientras parcelas con un uso 100% exclusivo (cubierta simple ante el SIOSE) adquieren un peso menor en volumen de hectáreas y número de parcelas.

A razón de los usos del suelo dispuestos en el SIOSE para la cuenca del Iregua (vid. tabla 3a y 3b. Anejo III) se observan variaciones respecto a los usos y su extensión en las cinco primeras coberturas si se compara con datos de la comunidad autónoma. Para ambos ámbitos de análisis la tipología predominante es la “No Predefinida” pero con valores de superficie dispares. Para la comunidad autónoma se observan valores del 56% de la extensión ocupada por esta categoría mientras en la cuenca del Iregua asciende este porcentaje hasta el 82%(2005) y 86% (2011).

Respecto a la segunda categoría en extensión “cultivos herbáceos distintos de arroz” en la comunidad autónoma de La Rioja supone el 14% de la superficie mientras en la cuenca del Iregua desciende al

3.5%. El uso del suelo dedicado a la vid. supone mayor extensión relativa en la comunidad autónoma (cerca del 3.5%) frente a la extensión representativa de la cuenca (0.68%). Los datos arrojan una cuenca con un mayor aprovechamiento del suelo para usos mixtos (mosaicos irregulares) dejando en un segundo plano los cultivos parcelarios homogéneos (vid. y cultivos herbáceos distintos de arroz). Causa de ello es la orografía dominante del área pues en la parte baja de la cuenca se desarrollan más los cultivos homogéneos mientras las parcelas mixtas, “no predefinida”, adquieren alta densidad en la parte alta de la cuenca por la dificultad encontrada para la explotación cultivo motivado por una accesibilidad menor.

El alto número de polígonos catalogados como categoría “No Predefinida” apuntala la dinámica del éxodo rural hacia las grandes urbes (Logroño) en una primera fase y su posterior huida hacia el campo “abandonado previamente” en una segunda fase. Este abandono ocasiona mezcolanza de usos del suelo en las parcelas, asentándose usos antrópicos (vivienda) junto a usos agrícolas y de regadío que en ocasiones se ubican cercanos a cauces fluviales.

#### **4.6. Factor social. Población, parque de viviendas y antropización del uso del suelo**

Motivado por la coyuntura económico-social que se ha experimentado en las últimas décadas del siglo XX e inicios del siglo XXI ha procurado un desarrollado a lo largo de la ribera del Iregua, así como en zonas proximales a la capital riojana de dinámicas transformadoras del *statu quo* asentado previamente. Múltiples son las dinámicas y hechos relevantes que se dan al unísono sobre la cuenca media y baja del Iregua.

Referente al crecimiento urbano, este ha sido más congestivo y el que mayor repercusión ha tenido sobre la sociedad que, acompañado por las deficientes condiciones de vida en las ciudades, han propiciado el surgimiento de la ideología de la “huida al campo” (Del Pozo, 1985). Esta huida de los grandes centros urbanos hacia el campo tiene su motivo en el cambio de ideologías y en la pérdida de poder adquisitivo ante el inicio de lo que posteriormente será llamado la “burbuja inmobiliaria”.

Otra dinámica de peso es el desarrollo urbano e industrial alrededor de Logroño. El crecimiento de núcleos de población por el arraigo de la industria promueve el aumento de la población en pequeños núcleos cercanos a estos polos industriales (vid. tabla 4a y 4b).

**Tabla 4a.** Población por municipios en la parte media-baja del río Iregua. Periodo 2003-2015. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

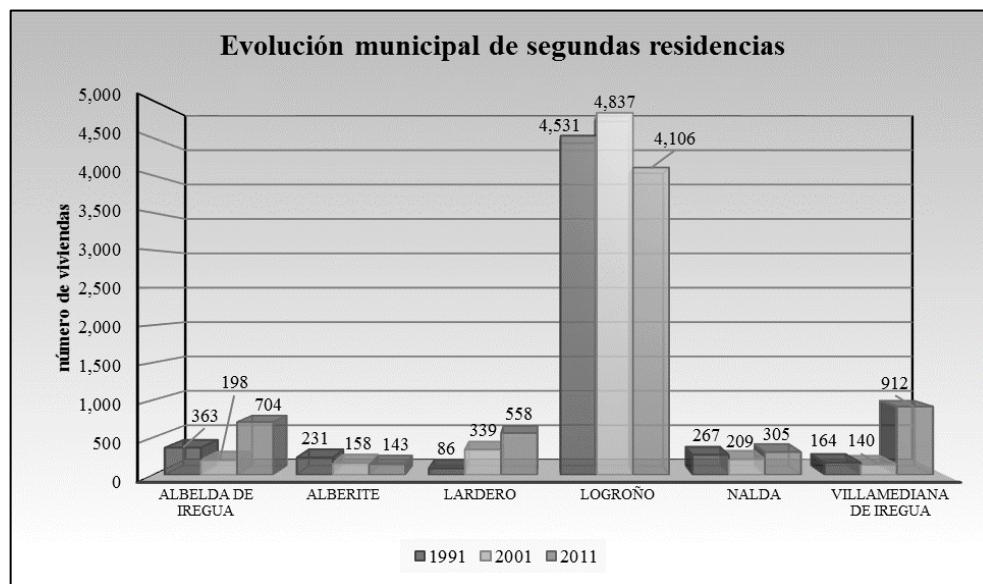
Dato	Municipio						
	Año	Albelda de Iregua	Alberite	Lardero	Logroño	Nada	Villamediana de Iregua
2003	2.524	2.187	5.062	139.615	932		2.850
2004	2.599	2.239	5.628	141.568	946		3.335
2005	2.702	2.273	6.286	144.935	1.004		3.982
2006	2.794	2.369	6.832	147.036	1.015		4.668
2007	2.918	2.451	7.378	145.866	1.074		5535
2008	3.098	2.594	7.673	150.071	1.118		6.032
2009	3.075	2.668	7.968	152.107	1.071		6.414
2010	3.291	2.676	8.118	152.650	1.044		6.723
2011	3.339	2.692	8.438	152.641	1.016		6.958
2012	3.394	2.690	8.750	153.402	1.028		7.212
2013	3.336	2.598	9.121	153.066	955		7.383
2014	3.269	2.562	9.306	151.962	959		7.585
2015	3.284	2.456	9.448	151.344	952		7.643

Sugestivo es que todos los municipios aumentan su población censada durante el periodo de análisis (2003-2015) a pesar que algunos pierden población en los últimos años (vid. tabla 4b).

**Tabla 4b.** Variaciones interanuales de población por municipios de estudio para el periodo 2003-2015. En rojo valores interanuales negativos (pérdida de población censada) Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Dato	Municipio						
	Año	Albelda de Iregua	Alberite	Lardero	Logroño	Nalda	Villamediana de Iregua
2003	-	-	-	-	-	-	-
2004	75	52	566	1.953	14	485	
2005	103	34	658	3.367	58	647	
2006	92	96	546	2.101	11	686	
2007	124	82	546	-1,170	59	867	
2008	180	143	295	4.205	44	497	
2009	-23	74	295	2.036	-47	382	
2010	216	8	150	543	-27	309	
2011	48	16	320	-9	-28	235	
2012	55	-2	312	761	12	254	
2013	-58	-92	371	-336	-73	171	
2014	-67	-36	185	-1.104	4	202	
2015	15	-106	142	-618	-7	58	
Saldo (2003-2015)	<b>760</b>	<b>269</b>	<b>4.386</b>	<b>11.729</b>	<b>20</b>	<b>4.793</b>	

Resulta contradictorio la pérdida de población en la capital que supone un aumento de las construcciones de segundas residencias en las tierras cercanas a la propia ciudad (Lasanta, 1989). Paradigmáticamente esta dinámica es antagónica al éxodo rural y abandono del campo tiempo atrás (vid. figura 5). Observando la figura 5 se aprecia que únicamente Logroño y Alberite pierden viviendas de segunda residencia mientras los municipios limítrofes aumentan su parque de viviendas secundarias.



**Figura 5.** Evolución de segundas residencias por municipios en el área de estudio. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

El factor de antropización del suelo es el proceso de génesis a partir del cual se pierde el uso tradicional de la tierra, para, posteriormente, banalizarse. Para comprender este proceso de desarrollo a nivel autonómico y en la cuenca del Iregua se detalla a continuación una síntesis de la sucesión temporal de hechos antrópicos acaecidos con mayor repercusión.

El paisaje anterior a la apertura del embalse González Lacasa se caracterizaba por el predominio de los cultivos que componen la trilogía mediterránea. En este ambiente se regaban las pequeñas parcelas

de regadío a través de fuentes y márgenes de ríos donde las hortalizas, frutas y patatas eran los principales productos cultivados (Lasanta, 1989). Los árboles frutales se disponían en los márgenes de las parcelas de cultivos, de trama regular y extensión pequeña, o en su defecto en patrones territoriales de esparcimiento. Todo ello confeccionaba una explotación familiar del terreno con el objetivo de la auto-suficiencia.

El avance y asentamiento de los nuevos regadíos realzan los principales inconvenientes que tenían los territorios antiguos de regadío. De estos últimos los principales problemas para la nueva generación venían determinados por el parcelamiento diminuto y un acceso limitado, pues entre las parcelas no existían caminos o vías de comunicación para aprovechar así al máximo el espacio y la extensión de la parcelas. Por los motivos expuestos al agricultor le deja de interesar la explotación relegando a las mismas a tres usos totalmente diferentes (Lasanta, 1989).

#### Uso de recreo y lúdico

Las parcelas se venden para el desarrollo de fincas de recreo. La disponibilidad de asentarse en la ribera del río, acompañado por un paisaje atractivo y próximo a vías de comunicación que se han desarrollado en los últimos años estimula a que estas ubicaciones sean potencialmente compradas y entren en el mercado inmobiliario. En adición, la coyuntura económica y el flujo ciudad-campo asientan esta propuesta y donde antes existía antiguo regadío en la actualidad se asientan viviendas de segundas residencias.

#### Desarrollo económico

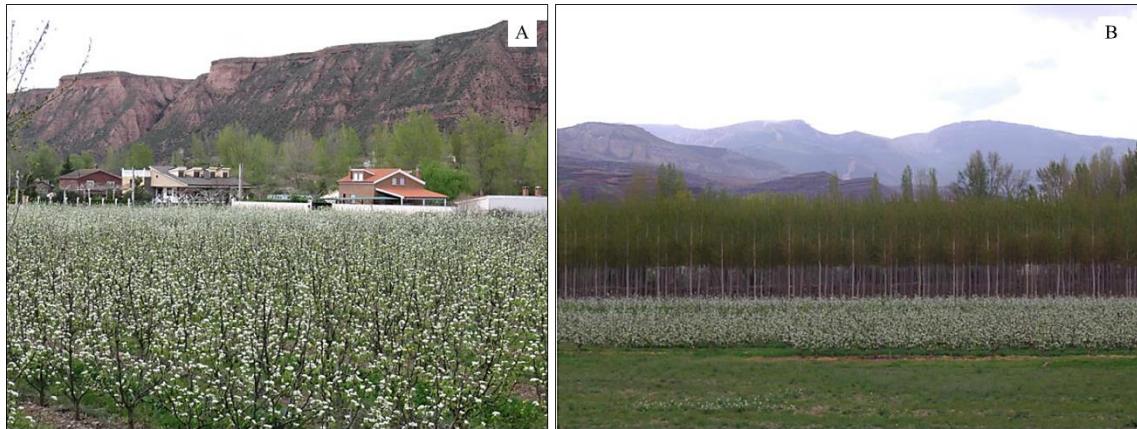
El cambio de un parcelario pequeño y denso espacialmente a otro de menor densidad pero mayor área parcelaria así como la disponibilidad de parcelas cercanas al río (para asegurar el riego) ha permitido que se asienten plantaciones de choperas para la extracción y explotación de madera dotando de un uso y valor económico al territorio. La misma situación acaece con los cultivos de frutales sobre las terrazas aluviales del Iregua.

#### Abocado al abandono

Si el agricultor, ante el nuevo escenario socio-económico, no obtiene beneficio de sus parcelas se ve sometido al abandono de las mismas. Se pierde el uso de autoabastecimiento familiar pasando a ser una parcela deteriorada en uso y rendimiento en la que la vegetación ripícola coloniza rápidamente estos ambientes deshumanizados.

El proceso del cambio en los usos del suelo desarrollado sobre las terrazas aluviales del río Iregua viene acompañado por el aumento de las segundas residencias. Los territorios que ofrecen mayor densidades de estas viviendas corresponden al municipio de Islallana y cercanías a Puente Madre. Obsérvese la evolución de paisaje en Islallana y Puente Madre respecto (vid. figura 6a y 6b. Anejo II).

Concluyendo con la valoración del factor antrópico y territorial cabe destacar como principal modificación la función otorgada por ser humano al suelo. Se ha producido una transición en el aprovechamiento del suelo desde el autoabastecimiento familiar hacia espacios rurales abandonados o incluso marginales donde el impulso de actividades económicas, principalmente industriales y extracción madereras, así como el asentamiento de viviendas, tanto principales como secundarias (vid. figura 5) promueven ámbitos territoriales con mayor vulnerabilidad ante eventos de intensas precipitaciones (vid. figura 6).



**Figura 6.** Ejemplo de diferentes usos del suelo, viviendas (A) y Chopera (B), invadiendo el cauce del río Iregua. Fuente: Plan Hidrológico del río Iregua (C.H.E., 2006).

## **5. MARCO LEGISLATIVO Y NORMATIVO DEL RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA DOCUMENTACIÓN OFICIAL**

Los factores de riesgo y peligrosidad se han desarrollado tanto en la sociedad como en el espacio desde que el hombre se asentó sobre el territorio, iniciando así un aumento de la exposición frente a los fenómenos naturales. La capacidad del ser humano ante estos eventos queda patente en la confección de directrices preceptivas con el objetivo de gestionar y ordenar sobre el territorio el componente antrópico en aras de evitar las perturbaciones ocasionadas por los eventos naturales de elevada magnitud (deslizamientos, inundaciones, aludes, sequias, etc.).

Este módulo del trabajo manifiesta la normativa, legislación o reglamento acerca del riesgo de inundación a diferentes escalas administrativas de análisis. Para ello se ha realizado una pormenorización a diferentes escalas de las normativas reguladoras de los riesgos por inundación para concluir con una valoración general de la actualidad normativa frente a inundaciones en la comunidad de La Rioja.

Profundizando en la normativa y en su organigrama en cascada (europeo, estatal, local “CCAA”) se han organizado tres grupos en función de la escala administrativa y de las competencias legislativas asumidas en cada uno de ellos.

### **5.1. Marco comunitario y europeo del riesgo de inundación**

A raíz de las inundaciones acaecidas en el año 2002 en Centro Europa derivó en un aumento de la documentación oficial preceptiva en materia de riesgos naturales. La documentación europea que contempla el riesgo de inundación marca pautas generales de ordenación y orientación ofreciendo un marco legislativo sobre el cual estribar a los documentos en administraciones de menor rango administrativo (p. ej. estatales) (vid. figura 7.)

Remarcable son dos documentos de carácter orientativos, la Carta Europea de Ordenación del Territorio (1983) y la Estrategia Territorial Europea (1999), en adelante ETE. La primera de ellas marca el camino hacia una ordenación necesaria del territorio creando al unísono un sentimiento de identidad europea común. La ETE (1999) interpreta la cuenca hidrográfica como unidad fundamental en el análisis del medio ambiente. Promulga a su vez que aquellos espacios con crecientes amenazas deben orientarse hacia una política de desarrollo territorial para “contribuir a la prevención de las inundaciones y luchas contra la escasez de agua” (ETE, 1999).

La premisa más clara en relación a los riesgos por inundación recalca la correcta planificación territorial donde la protección del ser humano y de los recursos ante las catástrofes naturales es fundamental.

En el marco comunitario europeo existen dos normativas preceptivas como principales figuras reguladoras del medio ambiente y por consiguiente de los riesgos naturales. Como principal figura legislativa del agua está la 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 (en adelante DMA). Esta directiva incluye la gestión, ordenación, planificación y uso del agua y los espacios asociados a ellos en aguas continentales, costeras y de transición. Uno de los objetivos de la DMA es la atenuación de los efectos de las inundaciones y sequias. Con arreglo a esta directiva las principales directrices que regulan los espacios con riesgo de inundación son los artículos 1.e, 4.3.a, 4.6, 11.3.1, anexo II 2.4 de la DMA.

La Directiva 2007/60/CE del parlamento europeo y del consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación recoge los principales preceptos a nivel europeo de los espacios expuestos a inundaciones. El marco legislativo que propone esta directiva versa en la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, destinado a reducir las consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a las inundaciones en la Comunidad (directiva 2007/60/CE). Las principales directrices que recoge versan en la necesidad de estipular la elaboración de mapas de peligrosidad y mapas de riesgo por inundación para implantar prioridades y toma de decisiones en la gestión y planificación del riesgo por inundación.

En su artículo 6 expresa la necesidad de que cada demarcación hidrográfica elabore mapas de peligrosidad y mapas de riesgo a la escala de análisis que resulte apropiada considerando, como mínimo, los escenarios de (directiva 2007/60/CE):

- Baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos.
- Probabilidad media de inundación (período de retorno  $\geq 100$  años).
- Alta probabilidad de inundación, cuando proceda.

Finalmente, afirma la obligatoriedad de elaborar planes de gestión del riesgo de inundación coordinados por la demarcación hidrográfica correspondiente.

Figuras legales normativas del riesgo de inundación en Europa	
Marco orientativo	Marco preceptivo
Carta Europea de Ordenación del Territorio (1983)	Directiva 2000/60/CE de marco de agua
La Estrategia Territorial Europea (1999)	La directiva 2007/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación

**Figura 7.** Normativa europea acerca del riesgo de inundación. Elaboración propia.

## 5.2. Marco estatal del riesgo de inundación

Tras la implementación de la normativa europea que regula los riesgos naturales, el estado español legisló y redactó en materia de inundaciones y ordenación territorial desarrollando un marco de trabajo enfocado a la ordenación consensuada frente al riesgo de inundación.

El objetivo prioritario de la administración estatal es la trasposición de la normativa europea al ámbito geográfico español. La principal figura legislativa acerca de los riesgos de inundación, y principal figura que traspone la normativa europea, es el Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgo de inundaciones en respuesta a los múltiples cauces legislativos, tanto leyes como normativas que regulan el uso y espacio hidráulico estatal, que han posibilitado el desarrollo de mencionada ley.

El texto refundido de la Ley de Aguas y la citada Ley 11/2005, del Plan Hidrológico Nacional así como la Ley 2/1985, de Protección Civil y la directriz básica de 1995 de Planificación de Protección Civil ante riesgo de inundación ofrecen rango legal suficiente para la incorporación al ordenamiento interno español de la citada Directiva 2007/60/CE a través del Real Decreto 903/2010 de inundaciones. Cada una de las normas citadas desarrolla normativa específica en materia de gestión y planificación de aguas tal que:

- El Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas establece definiciones de cauce, cauce de dominio privado, riberas y dominios (zona de servidumbre y de policía) decretando como zonas inundables aquellos terrenos que se anegan durante crecidas no ordinarias. En el marco administrativo marca la elaboración de los planes hidrológicos de cuenca a los organismos de cuenca, decretado en la directiva 2007/60/CE, así como la administración y control del dominio público hidráulico.
- Ley 10/2001, de 5 julio del Plan Hidrológico Nacional estableciendo la protección del dominio público hidráulico en las funciones que debe realizar el organismo de cuenca de la delimitación de las zonas inundables y la gestión sostenible y ordenada de la cuenca acreditados con estudios del DPH y zonas inundables.
- Respecto a la figura del DPH, el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, de ley de aguas, refrenda en su artículo 5 que a) Son de dominio privado los cauces por los que ocasionalmente discurren aguas pluviales en tanto atraviesen, desde su origen, únicamente fincas de dominio particular. b. El dominio privado de estos cauces no autoriza para hacer en ellos labores ni construir obras que puedan hacer variar el curso natural de las aguas o alterar su calidad en perjuicio del interés público o de tercero, o cuya destrucción por la fuerza de las avenidas pueda ocasionar daños a personas o cosas (BOE-A-2001-14276OE).

- La regulación del DPH trasciende a las dos figuras legislativas que la conforman, la zona de servidumbre y la zona de policía. La normativa vigente cita textualmente “La regulación de dichas zonas tiene como finalidad la consecución de los objetivos de preservar el estado del dominio público hidráulico, prevenir el deterioro de los ecosistemas acuáticos, contribuyendo a su mejora, y proteger el régimen de las corrientes en avenidas, favoreciendo la función de los terrenos colindantes con los cauces en la laminación de caudales y carga sólida transportada” (BOE 9/2008 de 11 enero).
- Las zonas de servidumbre, de cinco metros de anchura, serán para uso público regulando la protección del ecosistema fluvial y del dominio público hidráulico. La zona de policía, de cien metros de anchura, preservará las siguientes condiciones: Extracciones de áridos; Las construcciones de todo tipo que tengan carácter definitivo o provisional o cualquier otro uso o actividad que suponga un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas; Que pueda ser causa de degradación o deterioro del estado de la masa de agua, del ecosistema acuático, y en general, del dominio público hidráulico (BOE 9/2008 de 11 enero).
- La Ley 2/1985, de Protección Civil y Directriz Básica de 1995 de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones. El marco que regulan principalmente estas dos normativas estatales versa en la concreción de qué ambientes serán objetivos de Planes Especiales, entre ellos las inundaciones, estableciendo los requisitos mínimos que deben contener estos planes especiales de protección para las personas y bienes. En especial mención se expone la planificación territorial y usos del suelo como principales procesos a considerar dentro de los planes. En extensión, la directriz de Protección Civil alude al tipo de inundaciones amparadas por la directriz así como el análisis de zonas inundables en su identificación y clasificación.
- En alusión a la directriz de Protección Civil de 1995 cobra especial importancia el Real Decreto legislativo 2/2008 por el que se aprueba el texto refundido de la ley de suelo. El suelo como bien tangible queda regulado ante eventos de inundación de la siguiente forma: “En el suelo que sea rural a los efectos de esta Ley, o esté vacante de edificación, el deber de conservarlo supone mantener los terrenos y su masa vegetal en condiciones de evitar riesgos de erosión, incendio, inundación, para la seguridad o salud públicas, daño o perjuicio a terceros o al interés general; incluido el ambiental” (Ley de Suelo 2/2008). En alusión a la ley de suelo 1985 queda establecido como suelo no urbanizable (suelo rústico) los espacios afectados por algún tipo de riesgo natural.

¿Qué regula la principal normativa estatal ante los riesgos de inundación? El Real Decreto 903/2010 organiza el procedimiento para la evaluación del riesgo por inundación que debe seguir cada una de las demarcaciones hidrográficas constituidas en el estado español. En sus capítulos II, III y IV resuelve el contenido mínimo que debe contener la evaluación preliminar de riesgos de inundación, los mapas de peligrosidad y riesgos y los planes de gestión del riesgo de inundación respectivamente. El objetivo primordial es el conocimiento y evaluación de los riesgos por inundación así como la interoperabilidad entre las administraciones públicas en materia de inundaciones.

### **5.3. Marco autonómico del riesgo de inundación**

En el escalafón más bajo en el que puede legislarse en materia de riesgos naturales, la escala autonómica, La Rioja tiene como principal figura la ley 5/2006 de ordenación del territorio y urbanismo de La Rioja. El propósito versa en la protección y mejora de la estrategia territorial destinada a conseguir un desarrollo sostenible catalogando como suelo no urbanizable, de la Ley del Suelo 2008, aquellas zonas con especial afectación por riesgos naturales.

La Rioja posee planes y ordenanzas específicas en materia que regula de un modo u otro aspectos imbricados en la gestión y planificación de las inundaciones (vid. figura 8).

Figuras legales normativas del riesgo de inundación en La Rioja	
Refundido marco estatal	Sectorial de la CCAA
Planificación Hidráulica de Espacios Fluviales en la Comunidad Autónoma de La Rioja (2007)	Ley 5/2006, de 2 de mayo, de Ordenación del Territorio y Urbanismo de La Rioja.
	Plan Territorial de Protección Civil de la Comunidad Autónoma de La Rioja (PLATERCAR, 2011)
	Plan especial de protección del medio ambiente natural de La Rioja

**Figura 8.** Normativa autonómica acerca del riesgo de inundación. Elaboración propia.

La vigencia de la normativa acerca del riesgo de inundación presenta un marco organizativo general de servicios y responsabilidades a implementar para la gestión coordinada entre administraciones cuyo objetivo es hacer frente al riesgo por inundación que presenta el territorio de La Rioja.

#### 5.4. Valoración del marco legislativo en la comunidad autónoma de La Rioja

El proceso de ordenación de un espacio geográfico requiere la promulgación de legislación específica sobre la planificación territorial que regula la elaboración de documentos de planificación y culmina con la ejecución de las determinaciones contenidas en dicho plan (Olcina Cantos, 2002).

El poder judicial y legislativo de la comunidad autónoma ha tomado cartas en el asunto elaborando documentos de relevancia para la reglamentación en materia de los riesgos naturales. Tras una exhaustiva observación y análisis del tratamiento legislativo abordado en la documentación oficial se ha llegado a las siguientes conclusiones/valoraciones.

- Los riesgos naturales alcanzan un grado de afectación autárquico. Esto es, su distribución por la superficie no se asemeja a la forma organizativa de la administración sino que el flujo de una lámina de agua únicamente entiende de formas físicas a la hora de circular por la superficie. El segundo aspecto corresponde con el tercer poder del estado, el poder judicial y legislativo subyugado a límites administrativos, judiciales y legislativos. Ello proporciona dos piezas clave a la hora de gestionar el riesgo de inundación las cuales parten de una confrontación en términos de extensión, legislativa por parte del tercer poder y físico por parte de la inundación que en pocas ocasiones son coincidentes.
- El uso del suelo rústico como espacio de no construcción propone un marco de apoyo legal ante las posibles especulaciones que puedan producirse mediante la promoción de una jurisdicción apropiada para la legislación a la hora de determinar qué usos deben asentarse y cuáles no en un territorio con riesgo fehaciente.
- Los planes de emergencias vigentes proporcionan un contexto de aplicación organizativo e integrador arraigado en la sociedad y en la estructura política, postulándose como figuras esenciales en la gestión ordenada, coordinada e interrelacionada en valor de los servicios, medios y recursos miembros.
- Los planes generales municipales deben ajustarse a la normativa de su escala superior. Paradigmático es el caso de una parcela catastral situada en la margen izquierda del río Iregua, en zona catalogada como zona inundable por la administración de cuenca competente y para una precipitación con un periodo de retorno de 100 años. Esta parcela, estando asignada a la normativa estatal debería estar marcada como ámbito de no aprovechamiento urbanístico por motivos de riesgos de inundación entre otros por su peligrosidad (vid. figura 9).



**Figura 9.** Edificación ubicada en zona con riesgo de inundación. Elaboración propia.

# II

## PROCESO METODOLÓGICO

### **6. USO DE MÚLTIPLES FUENTES DE INFORMACIÓN Y APLICACIÓN DE DIVERSAS TÉCNICAS EN EL ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

**6.1.** Primer eje. Las minutas cartográficas como fuente de información para la estimación de vulnerabilidad

**6.2.** Segundo eje. Sistemas de Información Geográfica y teledetección. Procedimiento técnico y metodológico para la detección de estructuras geomorfológicas de avenidas

**6.3.** Tercer eje. El vuelo fotogramétrico americano de 1956-1957 (Serie B). Fotointerpretación para la caracterización hidro-geomorfología

**6.4.** Cuarto eje. Ortofotografía de 1998 (parcial) de la comunidad de La Rioja. Fotointerpretación para la caracterización hidro-geomorfológica y antrópica

**6.5.** Quinto eje. Procedimiento técnico de caracterización del factor antrópico sobre la ortofoto-grafía del PNOA (2014)

## **6. USO DE MÚLTIPLES FUENTES DE INFORMACIÓN Y APLICACIÓN DE DIVERSAS TÉCNICAS EN EL ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

La visión otorgada en los apartados anteriores proporciona un enfoque de la coyuntura antrópica y de los aspectos físico-estructurales de la cuenca del río Iregua. El desarrollo llevado a cabo en los módulos anteriores determina el marco conceptual de estudio y apoyo para el desarrollo y aplicación de procedimientos técnicos con el objetivo de estimar la vulnerabilidad por inundación la mencionada cuenca.

El análisis y estimación de la vulnerabilidad por inundación ha consistido en la aplicación de múltiples técnicas evaluadoras de la vulnerabilidad para períodos temporales diferentes. Para determinar la vulnerabilidad se ha focalizado en el análisis de la vertiente social y, sobretodo, en la hidro-geomorfológica, todo ello en función de las fuentes de datos originales consultadas. Ello ha permitido estimar, o al menos valorar, el grado de afectación del río Iregua en períodos temporales diferentes, estadios económicos variables, en dinámicas sociales y dinámica urbanística así como la propia morfología cambiante de la red de drenaje.

Las principales fuentes de información utilizadas en el proceso técnico de evaluación de la vulnerabilidad y ordenadas cronológicamente son:

- Minutas cartográficas (Instituto Geográfico Nacional).
- Vuelo Americano serie B (1956-1957).
- Vuelo fotogramétrico 1998 (ortofotografía parcial).
- Imágenes satelitales ORBVIEW-3, 2005; Ortofotografía PNOA máxima actualidad; 2014 y Sentinel 2A, 2016 para desarrollar el procedimiento técnico aplicado.
- Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE, 2005).
- Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE, 2011).
- Ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), 2014.
- Instituto Nacional de Estadística. Periodo 2003-2015.

El propósito que se pretende obtener a raíz de este módulo versa en la trasposición de los conocimientos adquiridos acerca de los riesgos naturales, especialmente en la gestión y planificación de las inundaciones junto con los procedimientos técnicos adquiridos acerca de los Sistemas de Información Geográfica y la teledetección. Ello ha permitido agrupar el desarrollo del procedimiento técnico en cinco ejes en función del tipo de tratamiento, uso y método aplicado para la evaluación de la vulnerabilidad.

El primer eje considera el proceso de digitalización y discernimiento topónimico para evaluar la vulnerabilidad a inicios del siglo XX. La fuente cartográfica utilizada para este desarrollo técnico son las minutas cartográficas del IGN.

El segundo eje muestra el procedimiento técnico desarrollado para la ubicación, delimitación y clasificación de las morfologías fluviales en la ortofotografía del Vuelo Americano Serie B y la ortofotografía de 1998.

El tercero y cuarto eje se centra en la metodología y estructura técnica aplicada para la obtención de las zonas vulnerables. Se centra en el procedimiento técnico desarrollado y aplicado en los siguientes ejes con el objetivo de determinar zonas geomorfológicamente activas o que lo hayan sido en relación a la dinámica fluvial. En el tercer eje se desarrolla aplicando un alto componente de análisis visual y de fotointerpretación de imágenes. Mediante el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, al que se refiere la última versión del Reglamento del DPH ha permitido abordar la cartografía de zonas inundables en su ámbito hidro-geomorfológico principalmente. El objetivo principal de este eje reside en la diferenciación de morfologías y estructuras hidro-geomorfológicas que atañen al DPH (en la fecha de análisis, siendo por donde discurre de forma constante el río en diferentes años) y al factor vulnerabilidad. Este procedimiento se ha desarrollado sobre Vuelo Americano serie B (1956-1957), vuelo fotogramétrico 1998 (ortofotografía parcial) como eje cuarto y la ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA, 2014) en el eje quinto.

El eje quinto se digitalizará únicamente los componentes antrópicos superponiendo sobre ella las láminas de inundaciones para períodos de retorno de 10,50, 100 y 500 años. En el desarrollo de este eje

también se buscarán formas o materiales dispuestos por acción del agua para verificar que existe dinámica fluvial y de inundaciones. En este mismo eje se acomete la valoración de la vulnerabilidad en función de su ubicación respecto a los usos antrópicos y a la extensión de las láminas de inundación para diferentes períodos de retorno.

Posteriormente al desarrollo técnico de los ejes se han examinado los resultados obtenidos por cada uno de los ejes contraponiéndolos. Ello permite establecer el *statu quo* de vulnerabilidad del río Iregua frente a inundaciones.

El proceso técnico se apoya en una cartografía ad hoc para su mejor compresión y valoración en los ejes tercero, cuarto y quinto. Finalmente, se ha obtenido un mapa de vulnerabilidad, como mapa de agregación de los resultados obtenidos en el procedimiento técnico de los ejes del tramo medio bajo del río Iregua.

La elección de las diferentes fuentes de información se ha determinado en base a documentos oficiales, algunos con cierta antigüedad, pero sin entrar en herramientas de análisis históricas de consulta archivística o análisis paleo-hidrológicos. Las minutas cartográficas acaecen como documento más antiguo en el proceso de valoración de la vulnerabilidad enmarcado en entornos SIG y teledetección.

Seguidamente se presentan los diferentes ejes técnicos elaborados y su desarrollo, puntuizando los aspectos técnicos específicos aplicados para esa fuente de información.

## 6.1. Primer eje. Las minutas cartográficas como fuente de información para la estimación de vulnerabilidad

Las minutas cartográficas pertenecen a documentos del archivo topográfico del Instituto Geográfico Nacional cuyo servicio de documentación geográfica ha puesto los mapas manuscritos a disposición pública. En 2014 el IGN público un total de 48.500 mapas manuscritos trazados entre 1870 y mediados del siglo XX (vid. tabla 5).

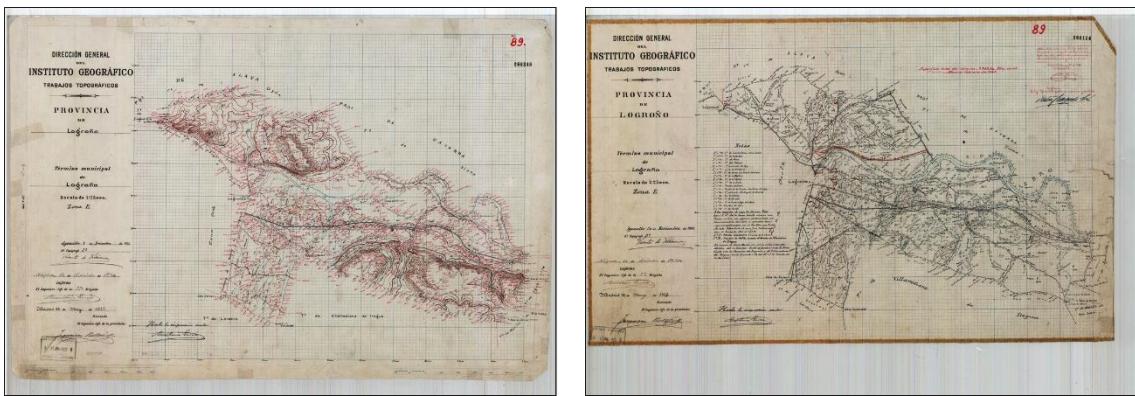
**Tabla 5.** Año del trazado de las minutas cartográficas por tipo y año. Elaboración propia.

Municipio	Año/minuta altimétrica	Año/minuta planimétrica
Albelda de Iregua	1925	1925
Alberite	1925	1925
Lardero	1925	1925
Logroño	1924	1924
Nalda	1925	1924
Villamediana de Iregua	1925	1925

Las brigadas topográficas que realizaron los trabajos fueron diferentes por lo que los mencionados mapas pueden sufrir variaciones, preservando, en todos los manuscritos, la escala de dibujo gráfico a 1:25.000 y una escala de obtención de la información de 1:50.000.

El archivo de descarga, consultado en la página web del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (en adelante CNIG; <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do>), consta de un archivo “.zip” con tres archivos para cada ámbito geográfico de descarga el cual, normalmente, es el municipal. Las minutas cartográficas engloban minutas planimétricas, minutas altimétricas y minutas conjuntas. Las primeras representan información referente a vías de comunicación, construcciones, cubierta vegetal, hidrografía y líneas administrativas mientras las minutas altimétricas representan el relieve mediante curvas de nivel y puntos con cota. En relación a las minutas conjuntas engloban en el mismo manuscrito las minutas planimétricas y las altimétricas.

En el caso que nos incumbe se ha trabajado principalmente sobre las minutas altimétricas por el uso de cotas con valor Z, altura sobre el nivel medio del mar, dato que facilita el análisis hidrológico y, por consiguiente, la estimación de la vulnerabilidad del municipio para ese espacio temporal (vid. figura 10).



**Figura 10.** Minuta Altimétrica de Logroño Este en 1924 (izquierda) y minuta planimétrica de Logroño este en 1924 (derecha). Fuente: Instituto Nacional Geográfico de España.

#### 6.1.1. Uso de las minutias en el procedimiento técnico

El empleo de esta fuente a la hora de evaluar, medir o valorar el grado de vulnerabilidad en los diferentes municipios que conforman la parte media baja del río Iregua acentúa la importancia fundamental que han tenido estos manuscritos para entender la evolución del país desde el siglo XIX hasta nuestros días. Bajo esta premisa el factor riesgo, susceptibilidad, vulnerabilidad o peligrosidad han estado en continua permuta. La manifestación de dicha evolución y/o transición ha sido posible gracias a las minutias cartográficas que han actuado como punto de partida para este documento en la valoración de la vulnerabilidad para el río Iregua.

El uso de esta cartografía tiene como finalidad la posibilidad de ubicar el trazado del cauce a fechas de 1924 y 1925. Además, también se pretende conocer la distribución de los núcleos de población y extensión de las fincas, si las hubiere, para establecer una gradación germinal de vulnerabilidad.

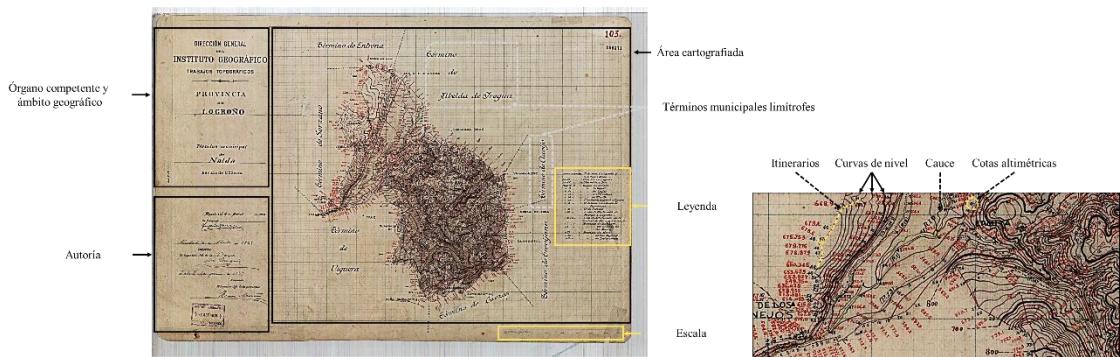
Del procedimiento técnico se diferencian dos pautas o líneas aplicadas. Una primera de reconocimiento visual sobre la cartografía y una segunda actividad de digitalización y uso de la información georreferenciada en entornos SIG.

El análisis visual ha consistido el propio reconocimiento del manuscrito a través del código cartográfico que enfatiza su organización interna plano y que tipo de información representada posee (altimétrica y/o planimétrica), en el tipo de implementación de la información así como su grado de confianza o exactitud y que formas o estructuras con origen fluvial son las representadas.

El Diseño del mapa versa en variables reales fundamentales que representan información obtenida directamente del territorio. La función principal es la localización espacial y altitudinal de puntos de interés como ríos, acequias, tendidos eléctricos, red viaria, pisos altitudinales o cotas de cima de montaña. El formato de los manuscritos, en base a la fuente de descarga, son archivos digitales de extensión .jpg y .ecw digitalizados por el Instituto Geográfico Nacional de España cuyo acceso es libre para todos los públicos donde el destinatario es un usuario medio con conocimientos en topografía y planigrafía.

El tipo de base espacial es la escala municipal a 1:25.000 en el que se representan cotas altitudinales en el sistema de proyección UTM Huso 30 extendido en el Sistema Geodésico ED50.

El código cartográfico para las minutias cartográficas es cualitativa nominal donde cada punto del mapa determina un punto altitudinal con valor Z. El tipo de implantación que se observa es puntal, lineal y poligonal siendo las cotas, curvas de nivel y ríos respectivamente. Predominan las variables visuales forma y textura (en polígonos) con un alto carácter semiótico en la forma de exponer los símbolos (vid. figura 11).

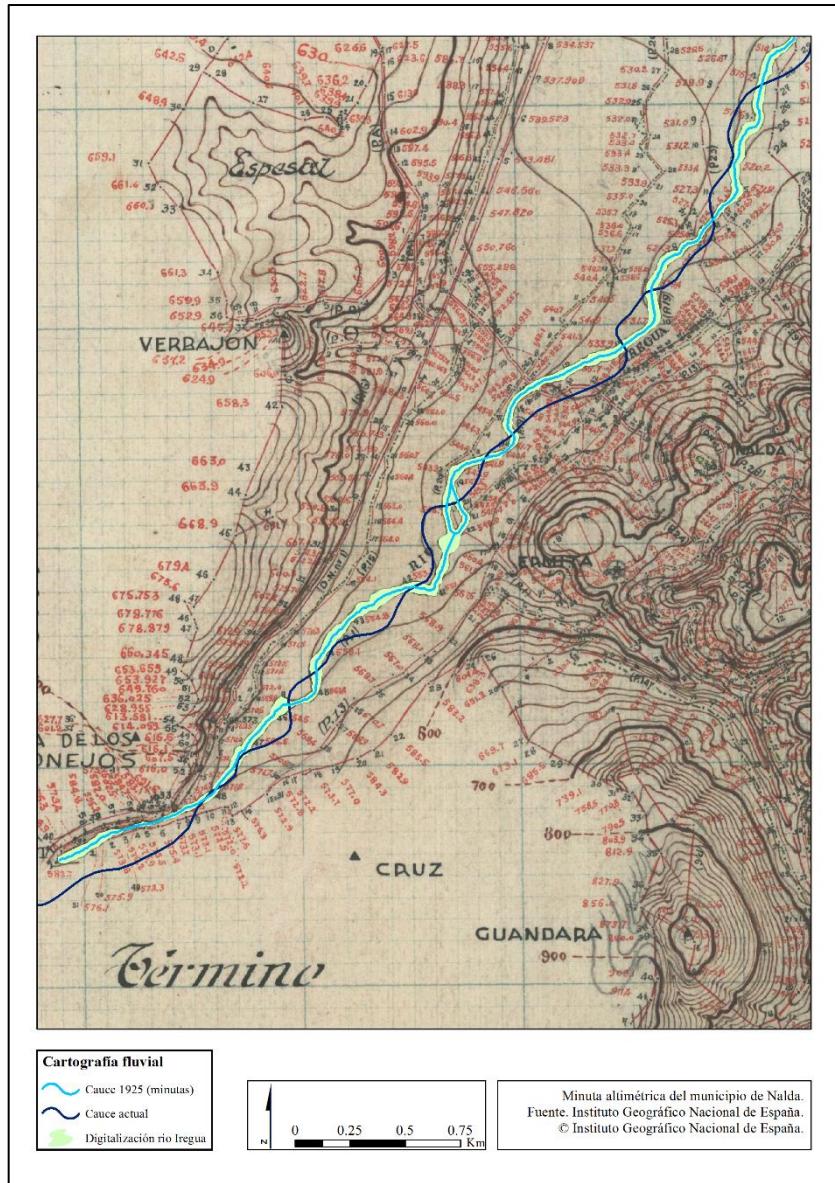


**Figura 11.** Estructura y diseño de la minuta cartográfica (izquierda) y zoom a la minuta con sus principales fuentes de información (derecha). Elaboración propia a partir del IGN.

Después del análisis visual de la minuta, el segundo procedimiento elaborado versa en el uso de esta información dentro de entorno SIG. Para ello es imprescindible conocer cómo se han determinado los valores de cotas en su origen. El registro de cotas se ha elaborado tal que las brigadas topográficas tomaron mediciones, en rumbo y dirección, de los caminos, acequias u otros elementos planimétricos incorporando el valor altitudinal en cada uno de los puntos de medición.

La labor desarrollada ha sido la digitalización de las áreas urbanas consolidadas en base al mapa planimétrico y del cauce del río Iregua sobre los mapas altimétricos. Esta georreferenciación ha permitido visualizar la ubicación de la población en relación al río Iregua. La escala de digitalización ha sido 1:5000 y el sistema de coordenadas para las nuevas capas es el mismo que los datos origen (Sistema Geodésico ED50, UTM Huso 30 extendido).

Georreferenciado el cauce del río Iregua sobre las minutillas este se ha contrapuesto con el cauce actual con el fin de encontrar derivaciones, avulsiones, modificaciones en planta o cualquier variación del trazado acontecida. Para establecer la correcta comparación se ha reproyectado la capa de la red hidrográfica, facilitada por la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro, al sistema de referencia de las minutillas a escala 1:25.000 (vid. figura 12).



**Figura 12.** Estimación del trazado del río Iregua en 1925 y en la actualidad. Elaboración propia.

#### 6.1.2. Características y procedimiento técnico desarrollado

La obtención del cauce para cada minuta cartográfica se ha obtenido aplicando una concatenación de procesos SIG. Seguidamente se presenta una ficha con los procesos SIG y sus características (vid. tabla 6).

**Tabla 6.** Ficha informativa acerca de los aspectos técnicos aplicados y tipo de información consultada. Elaboración propia.

Fuentes de información	
Documento / archivo	Características técnicas
Minuta altimétrica	Escala gráfica 1:25.000 / Escala de la información 1:50.000
Minuta Planimétrica	Escala gráfica 1:25.000 / Escala de la información 1:50.000
Digitalización de minutias por el IGN	Archivo JPG a 250 ppp (no georreferenciado) / Archivo ECW a 400 ppp (georreferenciado)

Fuentes de información	
Documento / archivo	Características técnicas
Archivos PRJ	Sistema Geodésico ED50, UTM huso 30 extendido
Archivos digitalizados	Digitalización 1:5.000 / Sistema de referencia ED50, UTM huso 30 extendido

Herramientas y procesos aplicados	
Herramienta	Función
Digitalización (1:5.000)	Trazar cauce en la minuta. Entidad poligonal
Generación cotas (valor Z)	Obtención de valores Z para cotas en base al MDT_05 del LIDAR
Feature to line	Paso de la entidad poligonal a lineal de perímetro cerrado
Split Into Cogo Lines	Proporcionar como entidad única cada uno de los segmentos de la línea
Collapse dual lines to centerlines	Creación de la línea de centro entre pares de líneas (cauce poligonal pasado a línea)

Técnicamente el proceso de digitalización se ha realizado en entidades poligonales pues la minuta cartográfica así lo representaba. Este hecho ha constituido un problema a la hora de realizar comparación con la red hidrográfica actual pues se intenta comparar entidades diferentes (líneas con polígonos). Con el objetivo de minimizar esta discrepancia se tomó el criterio de representar el polígono digitalizado en un único trazado de entidad lineal aplicando la herramienta “Collapse Dual lines to Centerlines” (vid. figura 7. Anejo II).

En el transcurso y ejecución del proceso técnico de análisis de vulnerabilidad se han detectado dificultades e inconvenientes para desarrollar una exhaustiva valoración sobre los manuscritos. Seguidamente se señalan los principales.

#### 6.1.3. Dificultades, inconvenientes y subsanación de los mismos

Como fuente de información novedosa, pero razonablemente antigua, el trabajo práctico realizado sobre los manuscritos ha dado a luz a múltiples problemáticas de diferente índole. Desde toma de medidas en campo hasta uso de la tecnología SIG para su extracción de información, pasando por los sistemas de referencia entre otros. Los siguientes puntos son los principales inconvenientes hallados.

Valorando la fuente documental trabajada el trato otorgado a las minuturas cartográficas es de una credibilidad tanto en la ejecución de estas como en la veracidad de su información. No se pone en duda la labor realizada por las brigadas de topógrafos del Instituto Geográfico Nacional de España en su rectitud a la hora de representar la realidad. Destacan los errores intrínsecos, los errores de geolocalización, errores de medición en cotas y localización (apoyo para cuantificarlos).

##### 6.1.3.1- Dificultades y errores vinculados a proceso de georreferenciación

En origen, el sistema de referencia de los manuscritos diverge de la información actual. La información consultada para el ámbito de estudio analizado, cuyas coordenadas centradas en el ámbito geográfico son 2,5° W y 42,6° N, siendo su sistema de coordenadas habitual el ETRS89 Huso 30N mientras las minuturas cartográficas están georreferenciadas en el Sistema Geodésico ED50 UTM Huso 30 extendido. El proceso de corrección para esta disconformidad ha sido la reproyección de todas las capas al mismo sistema de referencia que las minuturas (fuente de información base).

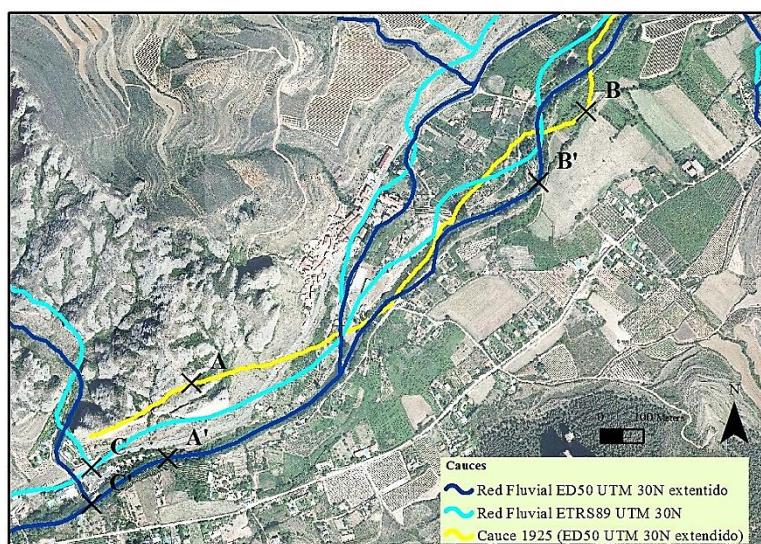
La escala adquiere importancia en la gestión de obtención de la información geográfica. Ello ha supuesto una desavenencia a la hora de corroborar, esclarecer, determinar o analizar la información. La

escala de trabajo de las minuturas es de 1:25.000 en la grafía mientras la obtención de su información se realizó a escala 1:50.000.

La mayor parte de información actual de la cual se dispone está a escala 1:25.000, como es la red hidrográfica de precisión mientras otro tipo de información está a diferente escala como puede ser la cuenca hidrográfica, la red de carreteras, el entramado urbano. Debe conocerse la escala de digitalización y de obtención de la información ya que en proceso de confrontación los resultados varían, tanto en el grado de detalle como en la precisión, en función de la escala de adquisición y plasmación cartográfica.

Finalmente, de vital importancia es la georreferenciación del producto. Las minuturas cartográficas en origen no están en referencia al norte. El propio Instituto Geográfico Nacional de España ha georreferenciado los documentos físicos con el objetivo de otorgarle un valor añadido a estos manuscritos. En cuanto al proceso técnico de geo-posicionamiento llevado a cabo en el IGN existe un considerable desplazamiento respecto a la normalidad (vid. figura 13). El Instituto Geográfico Nacional de España así lo corrobora al disponer estos papeles como documentos de apoyo y de valor añadido y no como documentos precisos con finalidad técnica.

A continuación se considera este distanciamiento respecto a la actualidad.



**Figura 13.** Separación de puntos semejantes en el cauce del río Iregua. Elaboración propia.

La figura 13 permite aproximarse a la tasa del error existente en el proceso de georreferenciación. Conforme la existencia de esta discordancia se ha medido la longitud del cauce actual y el obtenido en las minuturas para todo el cauce bajo-medio del río Iregua (obsérvese en el punto de mediciones y cuantificación el error estimado). Puede observarse la tasa de dislocación entre diferentes sistemas de coordenadas para una misma entidad (red hidrográfica actual) correspondiente a la diferencia C-C' evaluada aproximadamente en 83 metros.

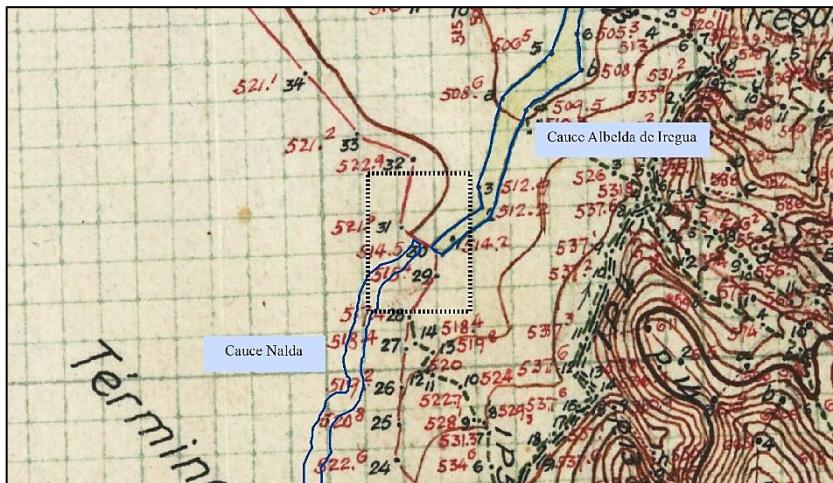
Un inconveniente que se presenta cada vez que una shapefile o capa ráster experimenta un cambio de coordenadas es la modificación de su estructura hacia la nueva proyección. En este análisis se ha reproyectado las imágenes PNOA de máxima actualidad hecho que modifica la estructura de los pixeles. Del mismo modo ocurre con la red hidrográfica a escala 1:25.000 en la que su reproyección modifica levemente su estructura.

#### 6.1.3.2. Errores intrínsecos a la minuta cartográfica

Se considera errores intrínsecos a aquellas deficiencias que lleva implícito el producto cartográfico en consideración a la obtención de información, plasmación cartográfica, instrumentos de trabajo, geolocalización, etc.

En cuanto a la obtención de los datos cabe esperar cierto error en ellos pues las técnicas de inicios del siglo XX divergen de las actuales. La precisión actual dista mucho de los topógrafos que elaboraron las minutillas. Ello otorga un error *per se* sobre la información geográfica. La toma de mediciones, rumbo y dirección, para cada punto de cota se ejecutaron mediante instrumentos con un error estipulado que se extiende por toda la escena.

Otra pauta de error intrínseco del mapa o mapas es la autoría. Los manuscritos poseen autorías diferentes, por lo que el procedimiento, uso de material, cartografía, etc. es variable dependiendo del autor. La no concordancia entre los cauces delimitados por los topógrafos entre las minutillas cartográficas lindantes acaece como principal error intrínseco en la valoración de la vulnerabilidad (vid. figura 14).



**Figura 14.** Discordancia entre tramos de cauce del río Iregua. Elaboración propia.

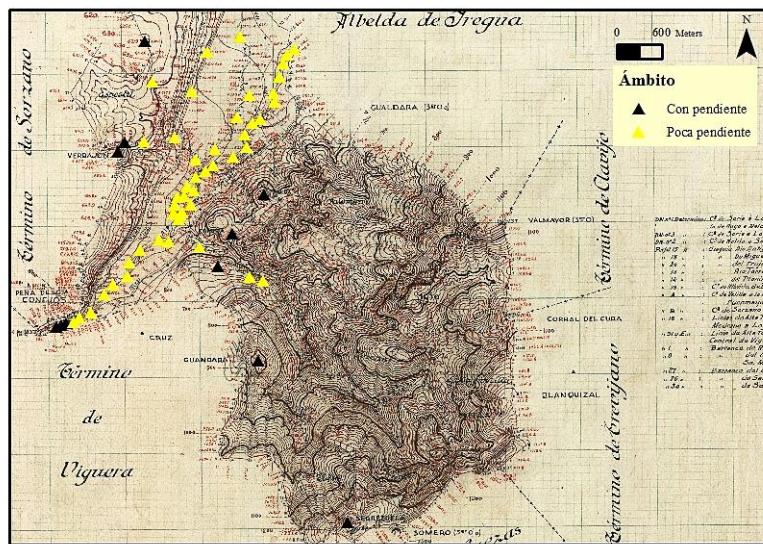
Concluyendo, el trazo a mano alzada mediante el cual se cartografió estos manuscritos, imprime un error de exactitud que, a pesar de tomarse precaución y atención, existe un mínimo error de delineación respecto al verdadero contorno de la figura.

#### 6.1.3.3. Errores de medición en cotas y localización de los puntos

La medición de los errores producidos por los motivos descritos anteriormente se ha podido obtener mediante las siguientes pautas. El objetivo de este procedimiento interno versa en la obtención de datos numéricos reales en cuanto a la dislocación del valor Z respecto al MDT actual.

Como primera aproximación a la distribución del error en las minutillas se ha ubicado para una hoja manuscrita una serie de puntos referentes a punto de cota en las minutillas, con posibilidad de variación temporal en su cota (fondo de valle, motas, campos de cultivo) o sin variación temporal en cota (cruce en redes de transporte, toma de acequias, puentes). Para cada uno de los puntos se dispone de la altura topográfica que recoge el propio manuscrito y se ha contrastado con el valor altura del MDT\_05 obtenido del vuelo LIDAR permitiendo comparar cotas de un mismo punto (vid. tabla 4. Anejo III).

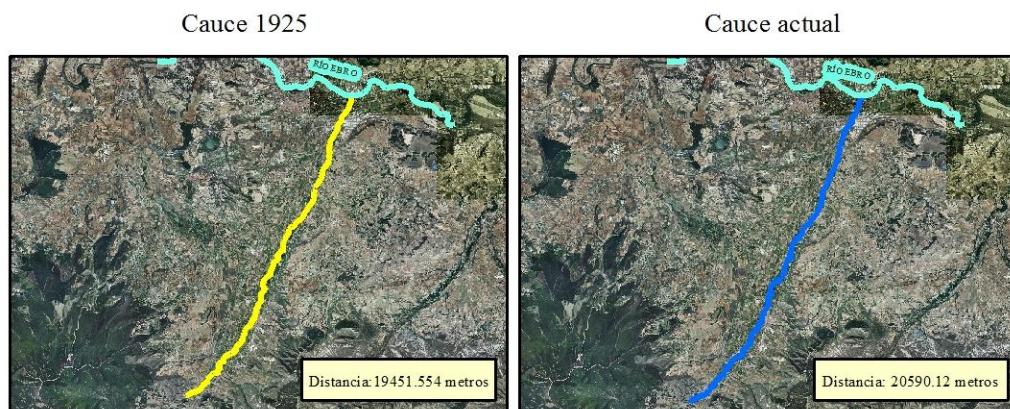
Espacialmente existe un comportamiento en la distribución de las diferencias de cota. Respecto a las cotas con mayor diferencia, tanto en positivo como en negativo, se sitúan en zonas con elevada pendiente o áreas muy próximas a abruptas orografías. Contrariamente, las diferencias de cotas con un valor altura inferior a 10 metros, en positivo o negativo, se distribuyen, por norma general, en zonas más llanas o con una pendiente reducida. Los valores de ID 0, 1, 2, 39, 40, 41, 48, 53, 55, 56 y 57 recogen un diferencia por encima de 10 metros. Estos se han representado con un triángulo negro en la siguiente imagen (vid. figura 15).



**Figura 15.** Distribución de los puntos de control en función de su ubicación y diferencia de cota. Elaboración propia.

El resultado que se esclarece a partir de dicha distribución preserva la existencia de un error inherente en el proceso de cartografía de las minutias. Temporalmente es muy improbable que puedan generarse diferencias de tercer orden de magnitud (hasta -142 metros en el punto 0) en un espacio temporal de 100 años sin la existencia de grandes movimientos tectónicos o de masa montañosa (deslizamientos o aumentos de cota por rotura de falla). La hipótesis más ajustada es el desplazamiento que posee la propia georreferenciación del documento y de los errores intrínsecos, citados anteriormente. Un punto que ejemplifica esta afirmación es el punto tomado en Islallana en el que el mdt\_05 (LIDAR) marca una altura aproximada de 572 msnm. El mismo punto, siendo este dispuesto sobre el cauce del río Iregua, marca para la minuta cartográfica una altura de 719 msnm debido a que se ubica en el ápice del abanico aluvial del río Iregua, franqueado por altos mallos (conglomerados de origen fluvial).

Una segunda aproximación a la estimación del error habido por las minutias se ha obtenido consultando el tramo longitudinal del río Iregua desde dos puntos en común en ambas redes, red hidrográfica actual y la red hidrográfica obtenida de los manuscritos. Estos puntos equivalen al puente de la nacional de Logroño con el río Iregua y en la derivación de la acequia del Canal de Logroño, Islallana. Determinados tales puntos como inicio y final la medición longitudinal aporta una diferencia de 1.138,5 metros a favor del cauce de la red hidrográfica actual (vid. figura 16).



**Figura 16.** Longitud del río Iregua para fechas y fuentes de información diferentes. Elaboración propia.

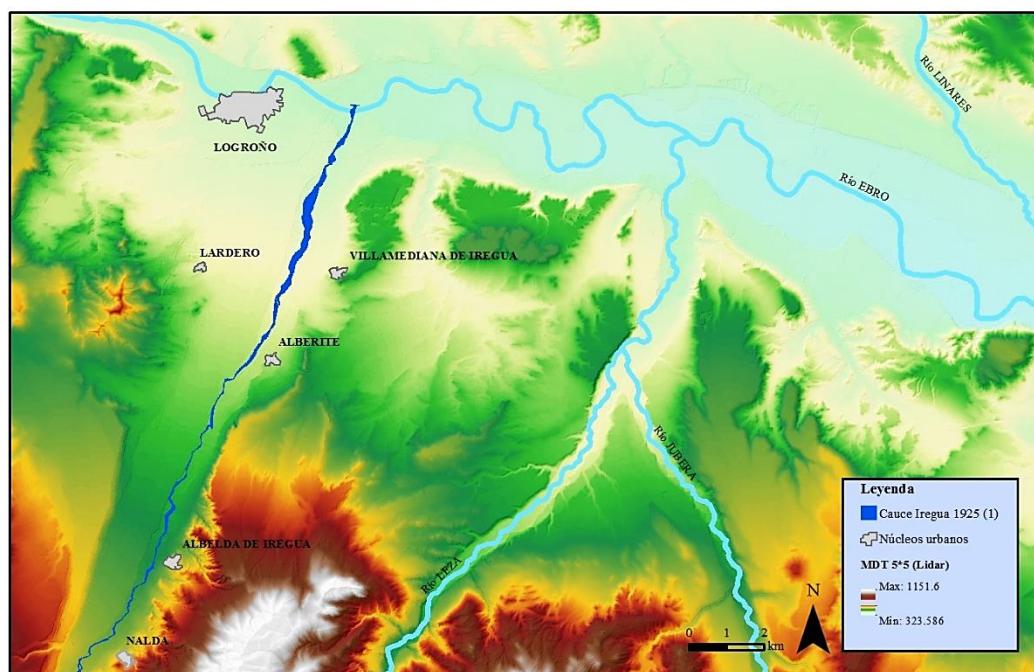
La diferencia en cuanto a la longitud que presentan ambos cauces equivale a un 5.85% de la longitud total del cauce de 1925. Esta variación es pequeña, si tenemos presente las dificultades y errores manifestados anteriormente, para que se deba inequívocamente a variaciones del cauce por procesos naturales a lo largo de estos últimos 100 años. Aun así, cabe remarcar que sí se han producido migraciones del

cauce en este periodo. A inicios del siglo XX, en 1936, se tiene constancia de una avulsión del río Iregua a la altura de núcleo de Albelda de Iregua quedando modificado el cauce en este punto.

#### 6.1.4. Criterio técnico en el uso de las minutas cartográficas

Realizando una aproximación técnica al uso de las minutas cartográficas para determinar el grado de vulnerabilidad requiere asumir carencias y errores que imposibilitan la obtención fáctica de un resultado empírico dentro del marco de análisis establecido.

Aseverando en la capacidad que tienen estos manuscritos como valor añadido en la valoración de los riesgos, se ha considerado el papel de las minutas como amalgama de unidades de paisajes. Se ha dividido la minuta cartográfica en diferentes unidades de paisaje y a partir de ellas extraer, en marco meramente conceptual, zonas o áreas con posibilidad de inundarse, generando así potenciales áreas de vulnerabilidad. Los principales agentes de exposición y generadores de vulnerabilidad han sido las áreas digitalizadas correspondientes a los núcleos de población cartografiados sobre las minutas planimétricas. En base a su ubicación planimétrica respecto al río y, conociendo la orografía, se ha podido estimar si las unidades paisajísticas marcadas (unidad del río Iregua y unidad paisajística de los núcleos urbanos) están próximas, mayor vulnerabilidad, o alejadas, desarrollando una vulnerabilidad baja por ausencia de exposición antrópica (vid. figura 17).



**Figura 17.** Núcleos y cauce río Iregua en 1925. De fondo el MDT\_05 LIDAR (actual). Elaboración propia.

Realizando unas primeras mediciones se ha constatado que la distancia del núcleo más cercano al río Iregua, Albelda de Iregua, supone una distancia cercana a 230-240 metros con un desnivel medido respecto al río de 6-7 metros. En aras de determinar la vulnerabilidad, cuya base de estudio sean las minutas cartográficas, este desnivel en altura y la distancia al núcleo proporcionan a la unidad de paisaje núcleos una baja vulnerabilidad por una baja o muy baja exposición.

## **6.2. Segundo eje. Sistemas de Información Geográfica y teledetección. Procedimiento técnico y metodológico para la detección de estructuras geomorfológicas de avenidas**

El principal fin de este eje ha sido determinar estructuras superficiales de origen fluvial a partir del tratamiento de imágenes satelitales aplicando diversas técnicas para la obtención de un resultado, como mínimo, valorable para la posterior digitalización de morfologías (ejes tercero, cuarto y quinto).

Este eje versa en el tratamiento de imágenes satelitales sobre sus unidades mínimas de información, pixeles, aplicando diversas técnicas de teledetección. Seguidamente se exponen los preceptos del procedimiento a desarrollar así como una explicación del análisis de imágenes digitales mediante realces y correcciones, siendo los principales procedimientos aplicados en la obtención de los objetivos planteados.

Los fundamentos de la teledetección se recogen en un marco conceptual de gran ámbito en términos conceptuales y procedimentales. Para el presente trabajo el término teledetección se entenderá como: “la interpretación y comprensión de medidas realizadas por instrumentos remotos de la radiación electromagnética reflejada desde o emitida por objetos en las superficies terrestres, oceánicas o glaciares de la Tierra o de la propia atmósfera” (Mather, 2004).

### **6.2.1. Propósito. De lo pretendido a lo obtenido. Metodología**

La propia definición de teledetección permite acotar el objetivo pretendido, siendo este la observación, búsqueda y delimitación de patrones morfo-estructurales derivados de las avenidas o condicionantes fluviales aplicando determinados procedimientos y herramientas de tratamiento digital a diferentes imágenes satelitales.

El desarrollo metodológico versa en dos líneas paralelas de trabajo. La primera de ellas contempla el tratamiento radiométrico de los datos y su visualización, haciendo uso del realce de la imagen (ajuste de contraste) para mejorar la interpretación visual de estructuras fluviales. La segunda acomete la ejecución de diferentes filtros espaciales sobre la imagen con el objetivo de destacar estructuras lineales definitorias de ambientes fluviales (vid. figura 18).

Tres han sido las imágenes satelitales tratadas. La imagen del satélite ORBVIEW-3 pancromática adquirida el 18/08/2005 utilizándose para corroborar la técnica de ajustes de contrastes como método de detección de morfologías fluviales. La ortofotografía PNOA máxima actualidad de 2014 y la imagen del satélite SENTINEL-2A multibanda y adquirida el 01/09/2016. Estas han sido trabajadas mediante tipos de filtro variables para el mismo objetivo. La elección de estas imágenes no ha sido baladí, los criterios de elección son los siguientes:

- Temporalidad

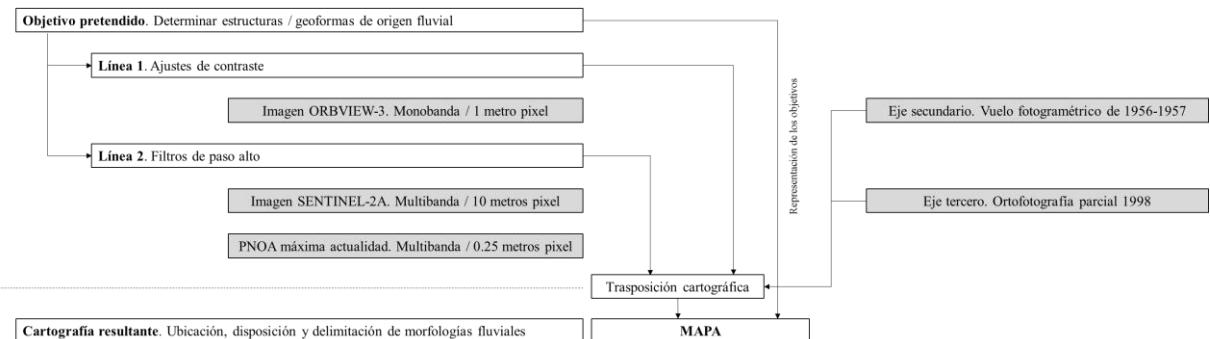
Dicho parámetro repercute sobre el territorio activamente. El desarrollo antrópico acaecido supone que ciertas morfologías desaparezcan o queden sesgadas dificultando su detección. Por consiguiente, se ha trabajado sobre dos tipos de imágenes en la línea de filtros para cerciorarse del grado de afección antrópico en la aplicación de estas técnicas. Dicha aplicación se ha trasladado a las ortofotografías de 1956/1957 (Vuelo Americano serie B) para corroborar su uso en imágenes temporales anteriores.

- Resolución espacial

El tamaño del pixel determina el grado de precisión del resultado. Ello ha supuesto una menor resolución espacial para la línea de ajustes de contrastes que no para la aplicación de filtro. En este último se ha procedido a trabajar en dos resoluciones espaciales una correspondiente a la Sentinel-2A, de 10 metros, y otra correspondiente a la del PNOA 0,25 metros.

- Resolución espectral

El uso de diferentes bandas facilita la identificación de determinados objetos por la afinidad espectral en que se registra dichos objetivos. El suelo, materiales litológicos y sedimentarios y factor antrópico alcanzan máxima expresión en las bandas del SWIR medio y lejano.



**Figura 18.** Metodología seguida en el segundo eje. Elaboración propia.

En alusión al título de este punto la consecución del objetivo marcado puede resultar confuso. La resolución del objetivo puede ser negativa, sin resultado satisfactorio, pues la propia búsqueda de una metodología para determinar estructuras fluviales pretende desarrollar esta técnica como herramienta para ubicar, delimitar y representar la morfología de un territorio de ambiente fluvial. A pesar de recomendar la ejecución de un mapa cartográfico final para este segundo eje no se ha realizado, reservándose para el eje tercero y cuarto.

## 6.2.2. Imágenes de trabajo. Características y usos

### 6.2.2.1. Satélite ORBVIEW-3

Satélite de la propiedad de GeoEye Orbview-3 que es el primero de muchos satélites que promueve la alta resolución de imágenes satelitales. En su banda pancromática (blanco y negro) adquiere una resolución espacial de 1.1 metros en la “X” y de 1.03 metros en la “Y”. Fue obtenida en agosto de 2005 y posee el nivel de procesamiento “basic enhanced” estando corregida radiométricamente la imagen en el procesado de descarga. Las dimensiones de la imagen trabajada son recogen un rectángulo en el que el lado menor adquiere 8.8 km (dirección oeste-este) mientras el lado mayor 29.5 km (dirección sur-norte).

### 6.2.2.2. Ortofotografía de máxima resolución. PNOA, 2014

Producto integrante del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España (PNOA) distribuido por el Centro Nacional de Información Geográfica. Mosaico de imágenes a escala 1:50.000 de máxima actualidad de la hoja 0204 (ámbito de estudio) del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España. El tamaño de píxel es de 25 cm y el año de captura de los datos es 2014. El mosaico es RGB y está comprimido por hojas MTN50 en ETRS89 (formato ECW).

### 6.2.2.3. Satélite SENTINEL-2A

Propiedad de la Agencia Europea Espacial (ESA, por sus siglas en inglés). Producto multibanda conformado por 13 bandas cuya resolución espacial varía de 10 metros hasta los 60 metros. Adquirida en enero de 2016 con una escena cuadrada de 109,8 kilómetros de lado (vid. tabla 7). El producto descargado ha sido procesado radiométrica y geométricamente por el USGS, nivel 1C de procesado, ofreciendo el dato de reflectividad en Top Of Atmosphere (TOA).

**Tabla 7.** Bandas del sensor MSI del satélite Sentinel 2A. Fuente: Modificado de la ESA.

Nº banda	Resolución espacial (m)	Longitud onda central (nm)	Anchura espectral (nm)	Objetivo/función	Nº píxeles escena (largo/ancho)	Escena real (km de lado)
B01	60	443	20	Detección aerosoles	1830/1830	109,8
B02	10	490	65	Blue	10980/10980	109,8
B03	10	560	35	Green	10980/10980	109,8
B04	10	665	30	Red	10980/10980	109,8
B05	20	705	15	Clasificación vegetal	5490/5490	109,8
B06	20	740	15	Clasificación vegetal	5490/5490	109,8

Nº banda	Resolución espacial (m)	Longitud onda central (nm)	Anchura espectral (nm)	Objetivo/función	Nº píxeles escena (largo/ancho)	Escena real (km de lado)
B07	20	783	20	Clasificación vegetal	5490/5490	109,8
B08	10	842	115	Infrarrojo cercano	10980/10980	109,8
B08A	20	865	20	Clasificación vegetal	5490/5490	109,8
B09	60	945	20	Vapor de agua	1830/1830	109,8
B10	60	1375	30	Cirrus	1830/1830	109,8
B11	20	1610	90	Nieve/hielo/discrimina- ción nubes	5490/5490	109,8
B12	20	2190	180	Nieve/hielo/discrimina- ción nubes	5490/5490	109,8

El uso otorgado a cada una de estas imágenes, dentro del marco de análisis de la vulnerabilidad por avenidas, está determinado por el tratamiento realizado a los datos, su visualización y la tipología de imagen siendo pancromática (Orbview-3) o multi-bandas (Sentinel-2A y ortoimagen del PNOA).

El uso dado a la imagen pancromática del satélite Orbview-3 ha sido el ajuste de contraste en niveles de grises. Ello permite, junto con su alta resolución espacial, observar, reconocer y delimitar estructuras de origen fluvial asociadas a episodios de avenidas. Las principales estructuras que se han podido delimitar son la deposición de material sedimentario que ha sido trasportado por el río (lóbulos o derrames, barras laterales o centrales, etc.) donde las propiedades de los materiales que repercuten sobre la reflexión permitiendo su diferenciación.

Acto seguido se ha trabajado la imagen Sentinel-2A sobre la que se ha aplicado un filtro de paso alto en la banda deseada (banda 4 a 665 nanómetros). Dicha banda ha sido escogida previamente con el objetivo de obtener estructuras lineales que guarden relación con la geomorfología fluvial del río Iregua (asociación de la banda 4 con el suelo desnudo). El uso y aplicación de múltiples filtros ha permitido dirimir cuál de ellos aporta mayor definición visual de morfologías de origen fluvial. Al no proceder a una comprobación de campo la visualización de los resultados, una vez aplicados los filtros, únicamente acontece a aquellas zonas o áreas de suelo desnudo.

La capacidad ofrecida por el sensor MSI del satélite Sentinel-2A otorga la versatilidad de uso de bandas para comprobar cual determina un mayor grado de afinidad para el objetivo. La resolución espacial de múltiples bandas permite trabajar en diferentes tamaños de pixeles brindando resultados dispares y facilitando la interpretación de grandes estructuras, como los taludes de las terrazas aluviales del Ebro o hasta estructuras de morfologías métricas como los efectos de un azud en la deposición de materiales.

Seguidamente se exponen ambos procedimientos para las mencionadas imágenes expresando el procedimiento ejecutado y su posterior resultado obtenido.

#### 6.2.3. Procedimientos para identificar hidro-geoformas de avenidas

##### 6.2.3.1. Procedimiento I. Orbview-3. Realces y mejoras visuales en la identificación de morfologías de origen fluvial

Los ajustes de contraste aplicados a la imagen pancromática han sido la principal herramienta implementada en este eje. Consiste en una adaptación de la resolución radiométrica de la imagen a la capacidad del monitor de visualización (Chuvieco, 2010). La radiancia recibida por cada sensor no es un dato continuo en el espacio y tiempo por lo que sufre variaciones. Este hecho implica que los niveles digitales (en adelante, ND) pueden no ser homogéneos con los niveles visuales (en adelante NV) integrados en el sistema de visualización. La diferencia deriva que en ocasiones el rango de ND de la imagen sea menor que el de NV del sistema de visualización o que la imagen tenga más ND que visuales tiene el sistema, (Chuvieco, 2010). En base a la relación de ajuste entre ND y NV se aplica una expansión del contraste (primera hipótesis) o una reducción del mismo (segunda hipótesis). Seguidamente se exponen los criterios utilizados para determinar qué tipo de realce favorece la interpretación:

## Los datos

El conocimiento sobre el tipo de datos que se está trabajando, la estructura de la imagen (mono-banda-multibanda), tipos de sensores y satélites, codificaciones, ajuste de ND-NV etc.

## Tu objetivo

Considerar y tener presente el objetivo. El tratamiento dado a los datos así como las herramientas manejadas para ello debe estar en armonía con el objetivo. Un ejemplo claro es la necesidad obligada de corregir radiométricamente una imagen para realizar una clasificación de usos del suelo. En caso que nos ocupa el objetivo es delimitar zonas de disposición sedimentaria de materiales arrastrados por corrientes de agua aplicando ajustes de contraste.

## Tus expectativas

¿Qué buscas? El usuario tiene que considerar y prever el resultado a obtener al aplicar una determinada metodología y/o procedimiento. Para este trabajo se pretende encontrar zonas de deposición de materiales, rocas y gravas principalmente, cercanos a la ribera del río Iregua así como estructuras de origen fluvial.

## Los conocimientos

Se pretende aplicar los conocimientos adquiridos de la materia que se está analizando sobre el terreno o ámbito de análisis. Ello agiliza el trabajo procurando una mayor rapidez en la obtención de resultados satisfactorios. Conocimientos en teledetección e hidrología permiten unir estas dos ramas de la ciencia para el mismo objetivo.

Conocer qué tipo de litologías son las predominantes a lo largo del curso fluvial y su ámbito de acción acaece imprescindible. Anteriormente (punto 4.3.) se aludió que la mayoría de las rocas aflorantes en La Rioja, también en la zona de la depresión del Ebro, tienen importantes cantidades de calizas, areniscas, dolomías y pizarras aunque estas últimas en menor grado de afloramiento.

Conocidas las rocas predominantes se ha consultado la respuesta espectral ante un radiómetro de los principales componentes litológicos anteriormente citados, consultando para ello la base de datos ASTER Spectral Library (biblioteca espectral ASTER). El resultado muestra las firmas espectrales de la roca Caliza y Pizarra (vid. figura 8a y 8b. Anejo II).

Puede observarse en ambas firmas espectrales que los mayores niveles de reflectividad se registran en longitudes de onda corta. Hasta 2.5 micrómetros supone la mayor reflectividad tanto para estructuras litológicas de pizarra como calizas. La principal diferencia entre ambas reside en el valor total de reflectividad registrando la pizarra una reflectividad que apenas llega al 0.2 (valor normalizado sobre 1) en la longitud de onda 0.583 mientras las calizas dolomíticas reflejan el 0.918 de la energía recibida, normalizada sobre 1, cuyo máximo se produce a la longitud de onda 2.10 micrómetros.

Lo citado anteriormente ha permitido identificar, en diferentes puntos del río, formaciones, disposiciones de material, avulsivo o depositado por avenidas, así como su ubicación concreta en el territorio.

El proceso de ajuste de contraste se ha realizado sobre la imagen original, sin ajustar los niveles digitales a niveles visuales (0-255). Ello ha supuesto que la imagen acaeza oscura derivado que la mayoría de los pixeles tienen niveles digitales bajos en comparación a la horquilla mínima-máxima de los propios datos, 102 de mínima y 2047 de máxima.

### 6.2.3.2. Uso del ajuste de contraste para la diferenciación de estructuras de origen fluvial

Sobre la imagen original, sin mejoras de ajuste, se han implementado tres tipos de ajustes de contraste sobre el histograma cuyo propósito es identificar cuál de ellos permite visualizar mejor la reflectividad, en niveles digitales, de los materiales rocosos.

Los cuatro métodos de ajuste utilizados son:

- Método A. Histogram equalization (ecualización del histograma) de 10 bins.
- Método B. Gamma.

- Método C. Histogram equalization (ecualización del histograma) de 4 *bins*.
- Método D. Photography Enhancements (mejora fotográfica).

Una vez aplicado estos tipos de realces el resultado queda registrado en la figura 9 (anexo I).

- Los métodos de ecualización del histograma en *bins* (rango) ofrecen menor distinción entre cubiertas. El procedimiento permite una compartimentación homogénea de los ND en gris para cada uno de los NV. La división equitativa se realiza mediante el número establecido (número de *bins*). El hecho de compartmentar en rangos similares hace que pixeles que en teoría sean de cubiertas diferentes puedan ser representados mediante niveles visuales semejantes. Con ello, y visualizando la escena, el método de ecualización del histograma por 10 *bins* facilita la interpretación de las principales estructuras que conforman el área afectada por una avenida. En hipotético caso de dividir los pixeles de una imagen en 255 *bins* se estaría realizando un ajuste lineal de la misma, 255 ND para 255 NV.
- En relación a los otros dos métodos el uso combinado supone la mejor opción para el propósito metodológico. El método Gamma, utilizando el valor Gamma a nivel 4 y el factor escala 1, proporciona una considerable diferenciación y capacidad discriminativa entre las cubiertas cuyos valores de niveles digitales son pequeños (cubiertas vegetales, agua,...) respecto aquellos que posean valores altos (vías de comunicación o zonas con predominio de rocas aflorantes). El método Photography Enhancements se ha parametrizado de tal forma que únicamente se ha mejorado las sombras hasta el valor 80. Ello ha supuesto la interpretación mejorada de aquellos pixeles con altos niveles digitales en relación a los bajos (pixeles oscuros “sombras”).
- Cabe destacar que ambos métodos se complementan en el estudio. El método Gamma permite identificar muy bien los perfiles longitudinales, por ejemplo las barras laterales, diques o lóbulos de derrame compuestos principalmente por gravas de calizas. El método Photography Enhancements permite interpretar pixeles cercanos a los detectados previamente por el método Gamma adquiriendo éstos niveles digitales elevados. Esta aseveración se rige por la extensión de la llanura aluvial donde la deposición puede abarcar superficies más extensas. La deposición de material transportado durante la crecida no se realiza en una única ubicación, pues el derrame de estos materiales, al perder el flujo la capacidad de arrastre, es el procedimiento habitual en territorios llanos dominados por la dinámica fluvial. Así, los pixeles cercanos que tengan alta reflectividad puede aseverarse que guardan relación con los procesos de avenidas (vid. figura 19).



**Figura 19.** Uso de diferentes métodos de ajuste de contraste. Método gamma (izquierda) y método Photography Enhancements (derecha). Elaboración propia.

Es deseable remarcar que este tratamiento de imágenes tiene por objetivo la interpretación mediante aparatos electrónicos. Tal ejercicio debe complementarse con trabajo de campo para cerciorarse de si se corresponden los resultados obtenidos con la realidad.

#### 6.2.3.3. SENTINEL-2A y ortoimagen del PNOA de máxima actualidad. Aplicación de filtros espaciales, realces y mejoras visuales en la identificación de morfologías de origen fluvial

El uso de dos imágenes de diferentes satélites obedece a la diferencia de resolución espacial entre ellos puesto que las fechas de obtención son próximas, apenas dos años de diferencia, y los resultados no están correlacionados con este corto lapso de tiempo. El trazo grueso de la Sentinel 2A, por sus 10

metros de pixel en la banda 4, permite identificar morfologías con mayor perfil en planta. Por el contrario, la ortofotografía del PNOA permite delimitar morfologías de menor extensión así como la mejora, por aumento de la nitidez, del perfil de las grandes estructuras (vid. figura 10. Anejo II).

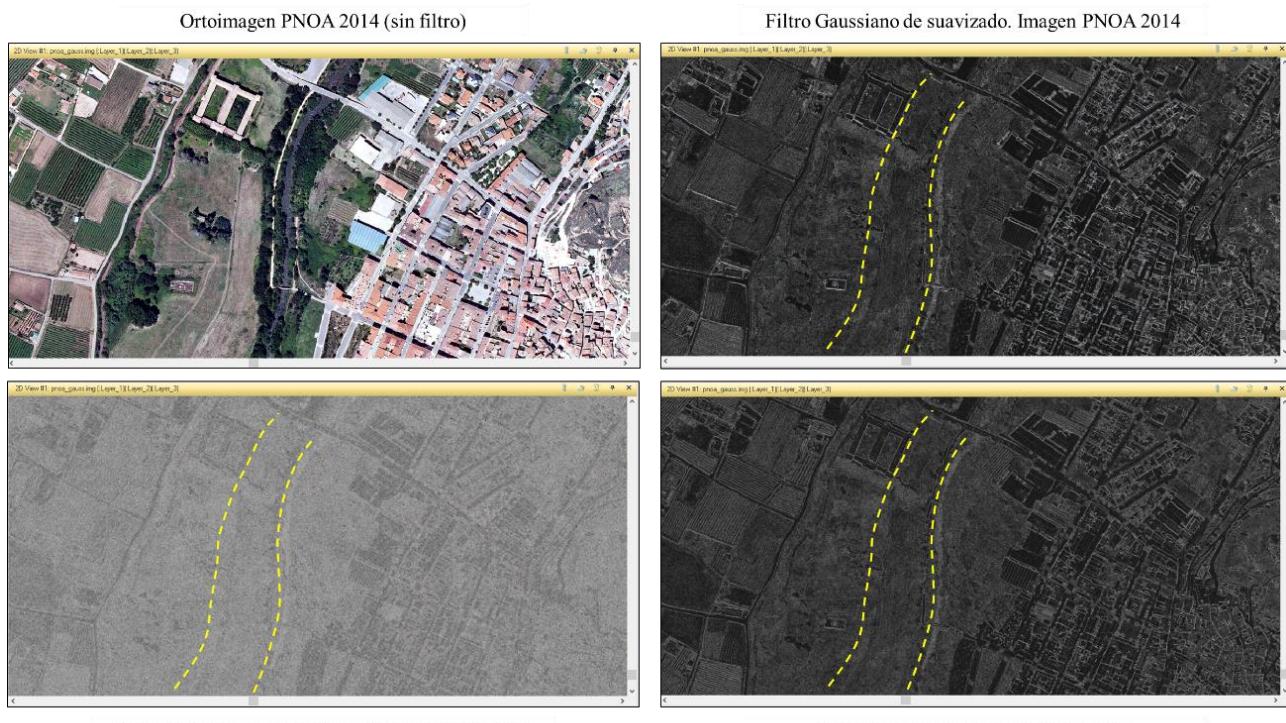
La imagen del sensor MSI del satélite Sentinel 2A se ha procedido a tratarla con un filtro de detección de bordes “filtro Compass”. Dicho filtro detecta los bordes con un operador de gradiente que aplica la matriz (A) (vid. tabla 8) a cada pixel, obteniéndose una imagen con un característico relieve virtual.

**Tabla 8.** Filtro de Compass aplicado a la ortoimagen Sentinel-2A (matriz A). Elaboración propia.

0	1	1
-1	0	1
-1	-1	0

El resultado obtenido al aplicar este filtro permite diferenciar estructuras asociadas a cauces fluviales como la deposición de materiales transportados y depositados en las márgenes del río (vid. figura 11. Anejo II) así como estructuras de origen fluvial (vid. figura 12. Anejo II). En la figura 11 (anejo I) se observa grandes volúmenes de materiales transportados por el río que con el cambio de uso en el terreno, choperas, permite aclarar y delimitar el perímetro de dicha estructura. Asimismo, el uso del filtro Compass permite dirimir estructuras de avenidas. La segunda figura (vid. figura 12. Anejo II) deja entrever la disposición de los materiales, dirección aguas abajo, en episodios de avenida.

El tratamiento dado a la ortoimagen del PNOA de máxima actualidad ha proporcionado, en primera instancia, una delimitación más definida de los bordes, motivado por su menor resolución, para múltiples morfologías que facilita su distinción. Para ello se han propuesto diferentes filtros en un análisis comparativo con el objetivo de conocer cual aporta mejores resultados (vid. figura 20).



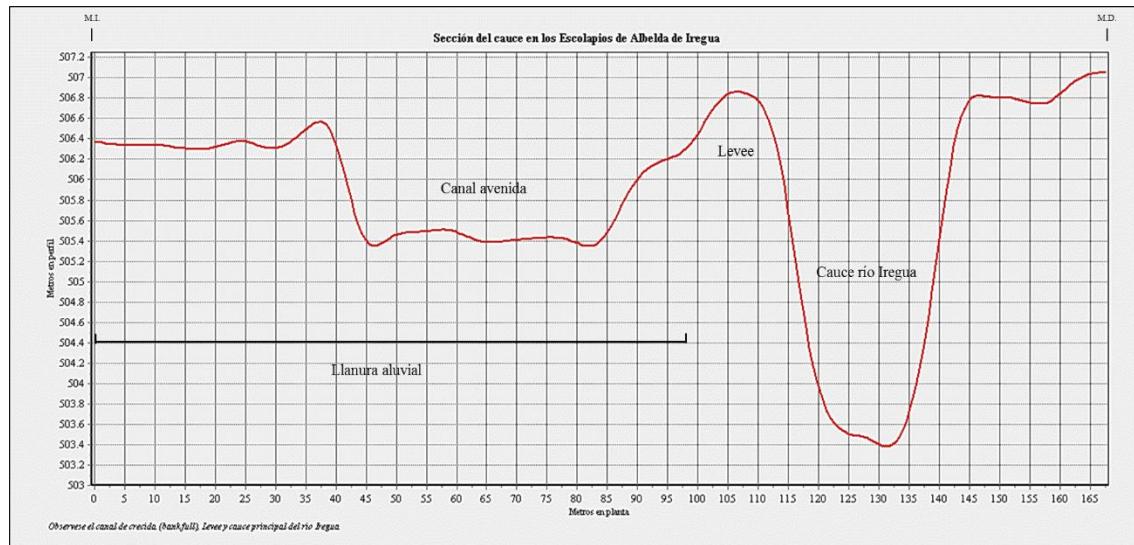
**Figura 20.** Filtros aplicados a la ortoimagen del PNOA, 2014. Elaboración propia.

La valoración realizada de los filtros precisa que:

El filtro Gaussiano (de paso bajo) y el filtro Laplaciano (de paso alto).

Ambos filtros permiten mejorar la diferenciación de morfologías y estructuras derivadas de avenidas de una forma más fidedigna. La resolución espacial supone un parámetro de diferenciación importante. En la figura 20 se ha podido delimitar el canal de avenida (canal de crecida) cercano al edificio de

los Escolapios, delimitado en trazos amarillos discontinuo, siendo corroborado por el perfil topográfico (vid. figura 21) realizado a partir del MDE de 5\*5 metros. El filtro Gaussiano y el filtro Laplaciano acaecen como los mejores filtros para distinguir morfologías estructurales de origen fluvial en su forma perimetral (resalte del contorno). Por el contrario el filtro Gaussiano + Laplaciano se ha desestimado su uso a pesar de poderse inferir morfologías de grandes dimensiones como pueda ser el cauce principal o derivaciones menores. Este último filtro se ha estimado eficiente para concretar los taludes entre las diferentes terrazas aluviales del cuaternario o los taludes de los glacis situados en la margen derecha del río Iregua.



**Figura 21.** Perfil topográfico a la altura de los Escolapios (Albelda de Iregua). Obsérvese el canal de avenida definido por su margen derecha por un Levee. Elaboración propia.

En suma, se han aplicado no únicamente los filtros citados anteriormente sino dependiendo de la fuente de información y del objetivo para un instante preciso, el uso de los filtros ha sido diversos. Sobre las ortofotografías del Vuelo Americano 1956/1957 y PNOA (2014) se ha considerado el filtro de paso alto, de malla 5\*5 direccional al NE para el resalte de los bordes. El resultado ha facilitado la ubicación del cauce así como la distinción entre zonas con vegetación arbórea y zonas con suelo desnudo permitiendo una digitalización posterior óptima (vid. figura 13. Anejo II). En la figura 10 (Anejo II) se observa como el uso del filtro aporta la identificación del cauce izquierdo (punto A) o cauce de avenida. Los filtros usados en el transcurso del análisis son:

- Filtro de Compass.
- Filtro Laplaciano (de paso alto).
- Filtro Gaussiano (de paso bajo).
- Filtro Gaussiano + Laplaciano (de paso alto).
- Filtro 3\*3 de paso alto.
- Filtro 3\*3 direccional al norte.
- Filtro 5\*5 direccional al NE.

### **6.3. Tercer eje. El vuelo fotogramétrico americano de 1956-1957 (Serie B). Fotointerpretación para la caracterización hidro-geomorfología**

La técnica de fotointerpretación consiste en extraer información contenida en una fotografía aérea. Se trata de una técnica útil para estudios territoriales por su versatilidad y capacidad a la hora de reconocer y ubicar diferentes elementos representados en la fotografía (aérea u oblicua). La función principal aportada a la fotografía aérea por parte de esta técnica es la ubicación (geoposicionamiento) del objeto y la posibilidad de discernir objetos, entidades y estructuras imprimiéndoles, incluso, un alcance temporal (escala evolutiva).

En el marco de este trabajo la técnica de fotointerpretación se ha aplicado en los ejes tercero, cuarto y quinto de este documento, el Vuelo Americano (Serie B) de 1956-1957, el vuelo parcial de 1998 de La Rioja y la ortofotografía del PNOA (2014).

Históricamente esta técnica ha desarrollado diferentes ámbitos de trabajo. Su uso ha estado ligado a objetivos dispares. En sus inicios, el uso otorgado a la fotointerpretación fue exclusivamente militar. Los primeros indicios de esta técnica tenían como objetivo conocer la posición estratégica del enemigo en la batalla, proporcionando, por ende, una clara ventaja. Al finalizar la I Guerra Mundial germinó el uso de la fotointerpretación como ayuda para la reconstrucción de los propios destrozos causados por la guerra.

En la II Guerra Mundial el salto técnico es considerable donde la aviación cala como medio e instrumento fundamental para realizar las capturas de imágenes con fines militares (aviones espía). Este hecho posibilita el desarrollo técnico e interpretativo de los productos obtenidos iniciándose una carrera en su uso y una diversificación en las aplicaciones de las imágenes aéreas. Aún con la ampliación a diversos objetivos pero la aplicación en el uso militar sigue siendo dominante, evidenciándose en el uso de este procedimiento para la táctica militar en la Guerra Fría.

Fuera del ámbito militar su uso principal corresponde a estudios del paisaje. Como uso civil principal la fotografía aérea ha favorecido la realización de cartografía por el procedimiento de restitución fotogramétrica para la obtención de medidas precisas y la realización de planos y mapas a partir de pares fotográficos (Fernández, 2000).

El caso español no difiere en cuanto al uso militar como principal uso de la fotointerpretación. El primer uso fuera del ámbito militar se acometió para la realización de trabajos catastrales. En 1927 se creó la “Compañía Española de Trabajos Fotogramétricos Aéreos” (CETFA) realizando en sus primeros años trabajos para las Confederaciones Hidrográficas del Ebro, Duero y Segura (Fernández, 2000).

Es en la etapa desarrollista española, década de los años 60 en adelante, cuando el uso se extiende a otros ámbitos como el de obras públicas, planeamiento urbanístico, análisis territoriales con imbricación socio-demográfica entre otras vertientes o cambios drásticos en el paisaje entre otros (vid. figura 14. Anejo II). El principal valor añadido que aporta la fotointerpretación es la capacidad de documentar las trasformaciones paisajísticas habidas a lo largo del siglo XX, sobre todo para las que ocurrieron en su segunda mitad para el caso español (Fernández, 2000).

#### **6.3.1. La fotointerpretación fluvial. Uso de fuentes guía para la correcta detección y delimitación de la morfología fluvial**

La foto-identificación realizada sobre una imagen, ortoimagen o fotograma requiere de un conocimiento previo del objeto y entidades a identificar. Tal proceso se desarrolla en la fase de análisis visual, permitiendo acomodar el registro o identificación a la digitalización de la morfológica deseada. La hidrología fluvial es la temática que compete a este trabajo por lo que el conocimiento en esta rama debe ser dilatado.

Dos han sido las guías metodológicas empleadas para la asignación de clases a objetos morfológicos en dinámica fluviales. La primera de ellas es la “Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables” (SNCZI) del 2011 proporcionando una estructura a tener en cuenta en los trabajos de definición de zonas inundables permitiendo disponer de un itinerario prees-

tablecido que seguir. La segunda guía “Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración” del 2008 ha permitido delimitar y caracterizar las principales morfologías fluviales con su correspondiente detección y catalogación. El fin en el uso de ambas guías versa en la distinción y discernimiento de los objetos bajo criterios científicos. La asignación de clases a objetivos espaciales, la clasificación, involucra distintos niveles de conocimiento en función el grado de exactitud, detalle y catalogación del objeto a identificar. De menor exactitud de asignación a mayor se tiene la detección, el reconocimiento y la identificación (Chuvieco, 2008). Esta última permite que un objeto pueda ser asignado con un alto grado de bondad a clases específicas, siendo este procedimiento de clasificación el desarrollado y aplicado en la parte media-baja del río Iregua.

La fotointerpretación, además, requiere de análisis visual sobre área estudio adquiriendo dicho análisis ventajas e inconvenientes en su proceso (vid. tabla 9)

**Tabla 9.** Aspectos ventajosos e inconvenientes del análisis visual. Fuente: Chuvieco, 2008.

Ventajas	Inconvenientes
Baja inversión económica	Subjetividad en la fotointerpretación
Combina criterios de identificación variados y complejos	Requiere de ciertos conocimientos en la materia
Elevada fiabilidad de clases heterogéneas	Inventario tedioso e inexacto
Inventario automático	Baja inversión económica
Corrección geométrica sencilla	Costes lineales (tiempo)

Referente a los fondos fotográficos principales son cuatro los vuelos generales (extensión peninsular) realizados. Dos realizados por el ejército de Estados Unidos en 1945-1946 (Serie A) y en 1956-1957 (Serie B), y otros dos correspondientes a los años 1967-1968 (Serie C) y 1981-1984 (1:30.000, IGN) (Fernández, 2000).

Este tercer eje tiene por uso en el Vuelo (general) Americano (Serie B) la valoración y análisis de vulnerabilidad en la parte media-baja del río Iregua implementando, como procedimiento metodológico, el análisis visual y la fotointerpretación de la morfología fluvial sobre la ortofotografía.

El Vuelo Americano inicialmente se creó como un proyecto de interés estratégico en el marco de la Guerra Fría para la primera potencia mundial, Estados Unidos. El 23 de septiembre de 1953 se firma el convenio por el cual se consolidan las bases aéreas de Morón de la frontera, Torrejón de Ardoz, Zaragoza y Rota a partir de los cuales EE.UU. obtenía tránsito y aterrizaje para en una ventajosa geopolítica (España) en el transcurso de la Guerra Fría. A cambio España obtuvo material militar y armamento, cartografía actualizada y modernización de las bases aéreas (Confederación Hidrográfica del Segura, 2011).

### 6.3.2. Vuelo americano general 1956/57. Características, manejo y uso en el estudio

El vuelo, de origen estratégico militar, supuso una cobertura aérea completa de toda España realizado entre marzo del 1956 y septiembre de 1957. Algunas de sus características son la altura del vuelo, de 5.500 msnm y dirección oeste-este, la escala de vuelo media de 1:33.000 y una resolución del pixel de un metro de lado ofrecida por las siete cámaras fotogramétricas modelo Fairchild T-11 que conformaron el equipo técnico de adquisición de la imágenes.

Se han utilizado un total de 12 imágenes del Vuelo Americano (Serie B) para completar la extensión total del ámbito de análisis. Los fotogramas se encuentran ortorectificados por el gobierno de La Rioja para conseguir imágenes planimétricamente correctas. Mencionadas ortoimágenes se encuentran georeferenciadas en el sistema geodésico de referencia Europeo ETRS89. Su sistema de representación cartográfica es la proyección UTM, Huso 30 norte de un metro de resolución. El proceso de obtención

de los ficheros se ha realizado mediante la Infraestructura de Datos Espaciales del Gobierno de la Rioja facilitando múltiples archivos (.pdf, .jpeg, etc.). En relación a este último aspecto se ha procedido a la digitalización sobre las ortoimágenes ECW (geoposicionadas en su correcto emplazamiento). Las imágenes adquieren un interés histórico, cartográfico y topográfico por su calidad en la obtención y por su posterior tratamiento por el CECAF ofreciendo características esenciales para realizar un proceso de identificación correcto sobre las imágenes en blanco y negro (vid. figura 22).



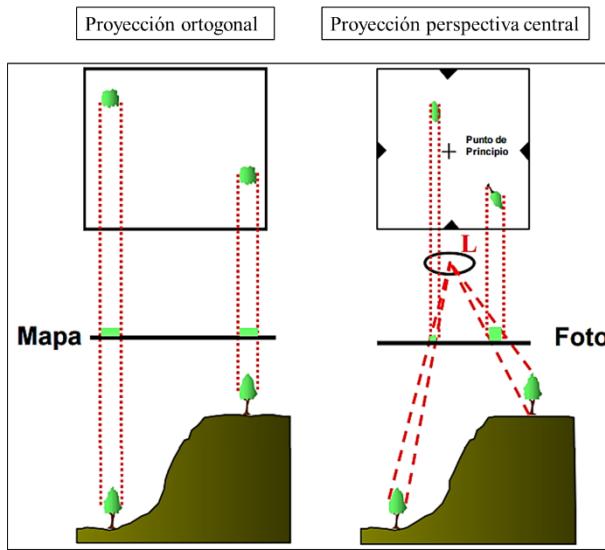
**Figura 22.** Ortoimagen de la ciudad de Logroño en 1956-1957. Fotograma del Vuelo Americano (Serie B). Obsérvese la barra central del río Ebro a su paso por la ciudad. Fuente: IDEE gobierno de La Rioja.

El principal uso que se le ha otorgado a esta documentación gráfica ha sido la foto-identificación, mediante el proceso de digitalización de la geomorfología hídrica del río Iregua a mediados del siglo XX. El principal objetivo que se marca versa en la constatación de evidencias indicadoras de la peligrosidad de los terrenos por donde circula el agua o ha circulado en eventos de elevadas precipitaciones.

#### 6.3.3. Procedimiento técnico en la catalogación y delimitación de las evidencias geomorfológicas derivadas de avenidas o crecidas

A la hora de geolocalizar las evidencias indicadoras de cursos de agua se han tenido presentes las siguientes consideraciones.

- Las ortoimágenes, como bien indica el nombre, ya disponen de la corrección geométrica elaborada. Esto implica que las distorsiones y desplazamientos causados por la inclinación del sensor y el relieve estén removidos, apareciendo los objetivos en la imagen desde una perspectiva nadir, obteniendo una imagen a escala del territorio y constante (vid. figura 23). Esta corrección permite visualizar sin deformaciones la morfología fluvial del río Iregua permitiendo diferenciar y acotar los diferentes objetos de forma homogénea.



**Figura 23.** Visualización de una escena con perspectiva ortogonal y perspectiva central. Fuente: Van Westen y Vargas, 2000.

El proceso de discernimiento de las geoformas en un sistema fluvial, ampliándose este proceso a dirimir, diferenciar o singularizar objetivos sobre imágenes u ortoimágenes, posee una metodología estructurada en diferentes fases.

- El reconocimiento y observación primera de territorio. Apreciación de la morfología y estructura sobre el campo-terreno. Visualización del cauce principal, cauces secundarios (cauce de avenida), extensión de la posible llanura aluvial, mantos de arrolladas, avulsiones, depósitos de avenidas, escarpes erosivos, etc.
- Individualización de los objetivos y determinación del enfoque. Proceso de identificación de las principales estructuras y configuración geomorfológica del ámbito analizado plasmándose los objetivos a analizar.
- Interpretación y clasificación de los objetivos determinados anteriormente.
  - Creación de una Geodatabase “GDB-modelo de datos propio de ESRI” sobre la que se volcará todo el proceso de representación de las entidades y objetos de interés por el/la foto-intérprete.
  - Edición de los elementos mediante la aplicación de reglas topológicas. Las evidencias superficiales que presentan cualquier sistema fluvial son objetos únicos y homogéneos. Ello supone que cada objeto se asocia a una única categoría y esta es excluyente del resto.
- Establecer la escala de trabajo a la hora de digitalización. En referencia a *Díez-Herrero et al, 2008* asevera que los métodos de análisis de la peligrosidad por la valoración geológica y/o geomorfológica comprende una escala de análisis recomendada entre 1:1000 y 1:100.000 y, considerando los elementos a representar (digitalizar), la escala de análisis utilizada es de 1:3.000. Ello supone una aproximación fidedigna a la morfología del objeto otorgando alto valor de bondad al proceso acorde al grado de precisión en el que se engloba este trabajo.

Gran parte del proceso técnico se ha basado en la elaboración de una GDB que recopile los “objetivos” marcados por el intérprete a la hora de fijar las morfologías de origen fluvial. Posteriormente al reconocimiento inicial y acotados los tipos de estructuras hidromórficas asociadas a las crecidas y avenidas la GDB queda estructurada tal que (vid. figura 24). La posibilidad de catalogar las morfologías ha comprendido una mixtura entre diferentes publicaciones oficiales en materia de hidro-geomorfología. Entre ellas destacan Díaz-Herrero, 2001; Díaz-Herrero et al 2008; INDURÓT, 2009; RICE et al, 2009; MAGRAMA, 2011.

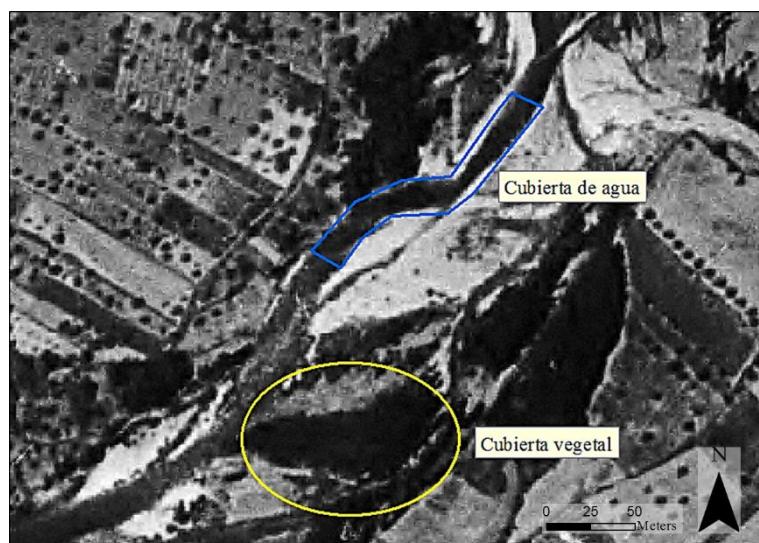
Feature dataset*	Feature class	Subtypes	Domains
Entidades de origen poligonal	Valle fluvial (Macro)	Simples Compuestos confluenciales En artesa Agradación	Vaguadas; Garganta; Vagonadas; Cañones; Barrancos Glacio-fluvial; Fluvio-cárstico y Tecno-fluvial Llanura aluvial; Encajada; Sistema de aterrazamiento
	Llanura aluvial (Macro)	Agradación encajonamiento	Vega baja
	Abanicos aluviales y conos (Meso)	Abanicos aluviales; Conos	Confluencia tributarios; Desembocadura
	Cauces fluviales (Meso)	Canales fluviales Llanuras de inundación	De estaje; De avenida
	Meandro abandonado (Meso)	Meandro abandonado	-
	Barra y bancos (Meso)	Laterales Centrales Obstáculo	Longitudinales; de Meandro Longitudinales; Transversales -
	Formas deposicionales (Micro)	Lóbulos; Derrames; Cordones	En Abanico; Elongados
	Formas erosivas (Micro)	Escarpes erosivos	-
	Factor antrópico	Azud	-

\* Sistema geodésico ETRS, (UTM) Huso 30 norte

**Figura 24.** Esquema de la GDB desarrollada en la que se observa las formas fluviales asociadas a las crecidas y avenidas. Elaboración propia.

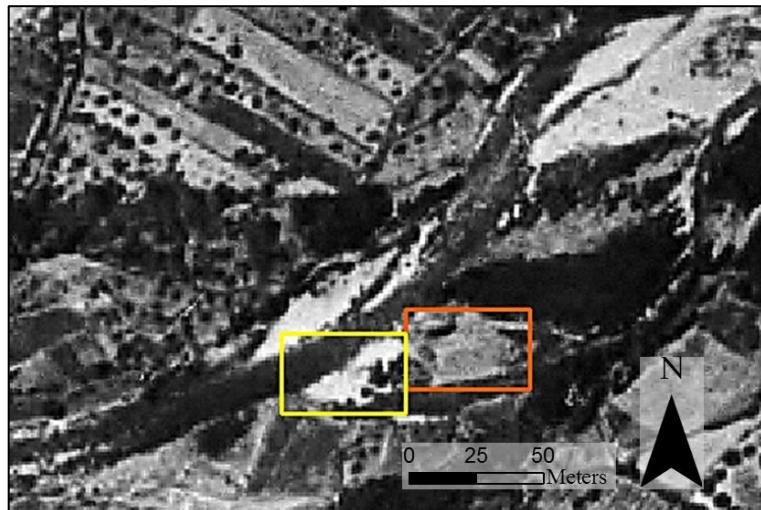
El procedimiento puramente de digitalización se ha confeccionado bajo criterios morfo-estructurales y conocimientos de teledetección. Estos criterios pueden resumirse en:

- Uso del histograma para diferenciar cubiertas vegetales (estratos arbustivos y arbóreos) del resto de cubiertas. El valor del histograma de estas cubiertas en una ortoimagen apenas supera en nivel digital 80, asegurando que las estructuras (conjunto de pixeles) cuyos ND no superen mencionada cifra acaecen cubiertas de origen vegetal (acotado al ámbito de análisis). Además, debe considerarse que ND muy bajos corresponden a cubiertas de agua o con alto contenido en humedad. Por ello la morfología y la distribución espacial del objeto actúa, en este estudio, como principal indicador diferenciador para determinar si se está ante una cubierta vegetal o de agua (Vid. figura 25).



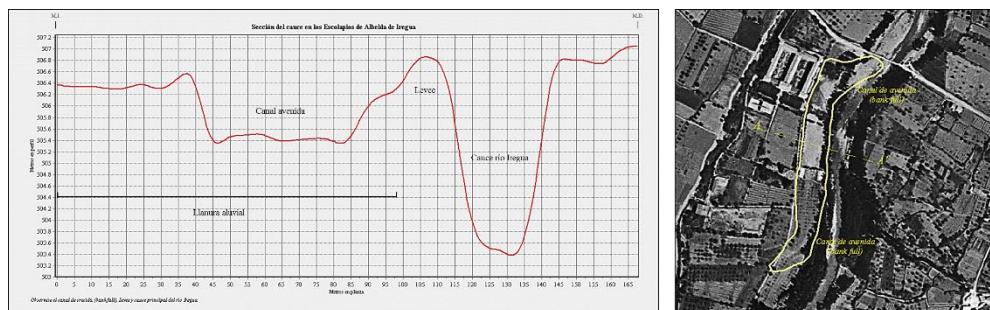
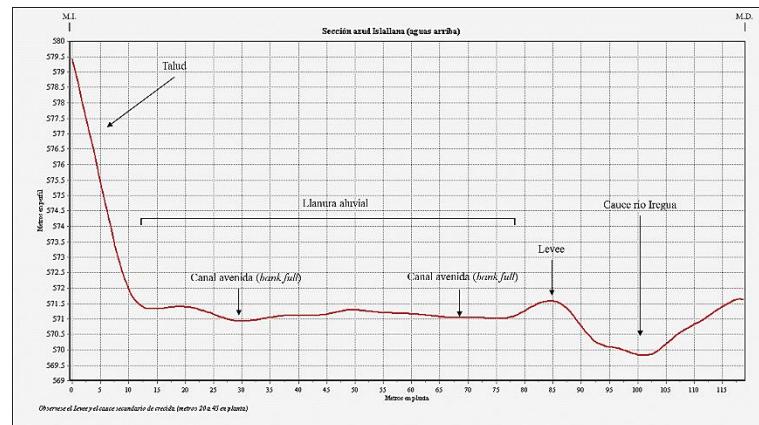
**Figura 25.** Diferencia entre cubiertas de agua y vegetales por la morfología y distribución espacial. Elaboración propia.

- Respecto a los niveles visuales “NV” que confeccionan el color de la ortoimagen, en blancos y negros, se puede afirmar que los pixeles con un color blanco o tonalidades claras acaecen a estructuras con elevado componentes de material rocoso o suelo devenidos por acreciones y/o deposiciones en crecidas o avenidas. En el presente análisis se estima por gravas, cantos y sedimentos de aportación fluvial y tamaños centimétricos, decimétricos o métricos a zonas con estas tonalidades. Por añadidura la tonalidad acaece como criterio de identificación fundamental en la diferenciación de tipos de cubiertas (vid. figura 26).



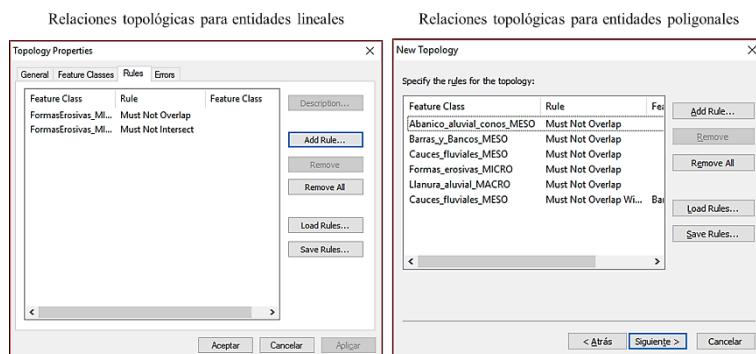
**Figura 26.** Ubicación de materiales rocosos (gravas y cantos principalmente) que, en función de su tonalidad, indican zonas de mayor (cuadro amarillo) o menor (cuadro naranja) inundabilidad por su contenido de vegetación en el sustrato. Este sustrato permite relacionar estructura vegetativa a ubicaciones donde no se ha producido anegación de aquella zona. Elaboración propia.

- Fuera de los criterios y técnicas de teledetección el uso una bibliografía temática ha sido la principal fuente de aportación (Díaz-Herrero, 2001 y Díaz-Herrero et al 2008) a la hora de clasificar los objetivos. En menor grado de dedicación se ha efectuado un trabajo de campo somero para delimitar y corroborar morfologías tales como barras laterales o canales de avenida.
- La clasificación de las feature class plantea un análisis en función de la escala (vid. figura 24). Se acotan las estructuras en términos macro, meso y micro dependiendo de la escala de digitalización y de la geomorfología fluvial constatada siendo sus escalas de digitalización de 1:50.000; 1:20.000 y 1:3.000 respectivamente.
- La generación de perfiles topográficos del cauce y su ribera supone un apoyo a la hora de delimitar y acotar las morfologías con mayor rigor. Son varios los perfiles transversales al flujo que han permitido distinguir canales de avenida o *levees* ayudando a establecer una percepción morfológica del entorno (vid. figura 27a y 27b). La identificación de los levees y canales de avenida sobre las ortoimágenes del Vuelo Americano se ha concebido con el mde\_05 (5\*5 m) del año 2008. El lapso temporal entre la ortoimagen y el mde ha evocado a que se identifique la estructura morfológica como tal siempre y cuando en la ortoimagen del 1956-1957 se observe correlación visual con la morfología (estructura en planta).



**Figuras 27a y 27b.** Perfiles topográficos transversales del río Iregua y sus principales morfologías de crecidas o avenidas. Obsérvese la figura 27b en el trazado del perfil A-A' y en la detección del canal de avenida. Elaboración propia.

- Con el objetivo de desarrollar un proceso técnico completo de digitalización se han confeccionado reglas topológicas para evitar el solape poligonal o corte (o traspaso) de una línea con un polígono pues, como se ha citado anteriormente, las entidades son temáticamente distintivas e individuales. Aplicadas las relaciones topológicas (vid. figura 28) se han subsanado un total de 14 errores topológicos para ambos tipos de entidades.



**Figura 28.** Relaciones topológicas implementadas, por tipo de entidades, para subsanar los errores en el proceso de digitalización. Elaboración propia.

En base al procedimiento descrito, el análisis de peligrosidad mediante la fotointerpretación del producto ortoimágenes sobre el Vuelo Americano (Serie B) se han obtenido los resultados y/o conclusiones que se expresan a continuación. Para una mejor comprensión se presentan algunos tramos del curso fluvial digitalizados que resultan más ilustrativos del proceso (figuras 15, 16 y 17. Anejo II).

Posteriori al proceso de delimitación de morfologías fluviales se ha obtenido el área total de las escenas analizadas (7 escenas totales) en cuanto al tipo de estructura de origen fluvial (vid. tabla 10). La variedad en cuanto al valor del área por tipologías de las morfologías fluviales fija una tipificación del cauce, en 1956-1957, de extensa anchura y variable con una llanura aluvial desarrollada. Da cuenta de ello la llanura aluvial y los cauces de avenida siendo considerablemente más extensos destacando como principales morfologías estructurales. Otra valoración que puede obtenerse son los canales de estiaje y

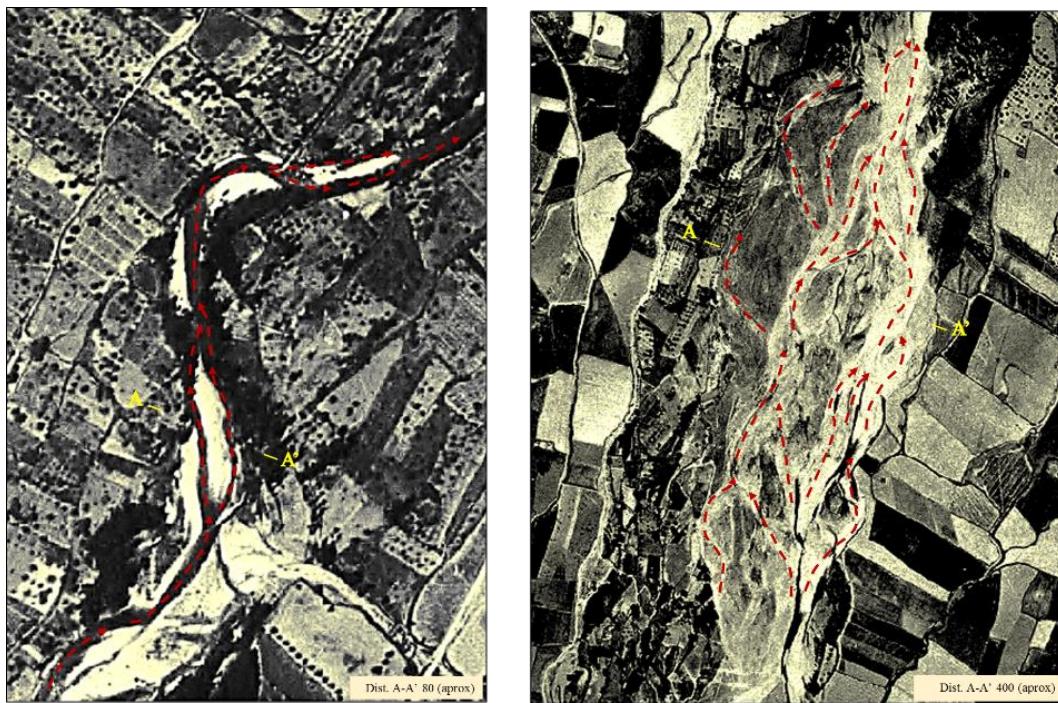
las formas deposicionales. Acaecen en tercer y quinto lugar respectivamente, en términos de extensión, indicando una dinámica fluvial estructurada, en la intensa relación entre episodios de avenida (cauces de avenida) y episodios de circulación normal (cauces de estiaje), desarrollando una dinámica caracterizada por lóbulos, derrames o cordones indicadores del paso de avenidas.

**Tabla 10.** Extensión de las morfologías fluviales observadas por sus tipologías. Sistema de referencia ETRS 1989 UTM zona 30N. Elaboración propia.

Morfología fluvial	Área (km <sup>2</sup> )
Caucos fluviales	De estiaje
	82.34
	Llanura aluvial
Barras y Bancos	26.27
	Laterales
	Centrales
Formas deposicionales	5.40
	Obstáculo
	0.19
Levee	-
Abanico aluvial / Cono	0.65
Abanico / Cono	3.00
Lóbulos; De-rrame; Cordón	8.76

Aspecto importante de la morfografía fluvial vinculado al desarrollo de las avenidas es la topología de los ríos, entendiendo por tal no sólo la disposición en planta del canal o canales, sino de otros elementos (llanura, barras, valle) y depósitos asociados (Díez et al, 2008). Atendiendo a esta característica de las avenidas se pueden diferenciar en el río Iregua estructuras de dinámica fluvial, en cuanto a su número de canales de corriente y su sinuosidad, en:

- Tramos rectilíneos de sección estrecha. Acaecen a recorridos donde el río apenas sufre de divagación lateral con predominio de barras laterales marginales. Suponen zonas del cauce con cierta estabilidad dinámica (vid. figura 29, izquierda).
- Tramos rectilíneos de sección amplia. Tramo con cierta carga en suspensión cuyo aporte sedimentario deriva en las migraciones laterales del cauce (vid. figura 29, derecha). Aunque estos cauces presentan estabilidad dinámica, si se genera en sus orillas un depósito en forma de mota o dique natural podría acaecer, durante una avenida, la ruptura del mismo y la desviación brusca del canal a una nueva posición (Díez et al, 2008), como acaeció en Albelda de Iregua en marzo de 1936.



**Figura 29.** Tramo rectilíneo de sección estrecha en el municipio de Islallana (izquierda) y tramos de sección amplia de cauce trenzado en el municipio de Villamediana de Iregua (derecha). Elaboración propia.

Con las consideraciones y resultados alcanzados puede establecerse el río Iregua en su parte media-baja como un río de dinámica sedimentaria activa. Las múltiples morfologías halladas, la morfografía del cauce en diversos puntos y la morfo-dinámica fluvial determinan al río Iregua como río trenzado de baja sinuosidad en la parte proximal a su desembocadura mientras en la zona axial del cono de deyección, en su ápice, desarrolla un trazado en planta (*pattern*) con una elevada multiplicidad.

#### **6.4. Cuarto eje. Ortofotografía de 1998 (parcial) de la comunidad de La Rioja. Fotointerpretación para la caracterización hidro-geomorfológica y antrópica**

La caracterización de la parte media-baja del río Iregua en su cuarto eje versa en la digitalización e interpretación de las morfologías y morfografías acaecidas por avenidas o crecidas en el territorio logroñés de finales del siglo XX.

Antes de ahondar en este producto cartográfico de 1998 se pretende remarcar la propuesta de realizar este análisis (análisis del cuarto eje) sobre los fotogramas de 1980-1986 (vuelo nacional, del Instituto Geográfico y Catastral, actual IGME). Esta opción se desestimó por las dificultades halladas en el procedimiento técnico. La ausencia de una georreferenciación adecuada así como de la ortorectificación necesaria del fotograma imposibilitaron el uso de esta fuente cartográfica para realizar cualquier valoración. La falta de tiempo a la hora de desarrollar un correcto análisis (realizar una correcta georreferenciación y ortorectificación) acaece como motivo principal. De ahí que se opte por la ortofotografía del gobierno de La Rioja de 1998, con sus correcciones geométricas y ortométricas aplicadas, para proseguir con el análisis diacrónico de la vulnerabilidad.

El presente eje tiene como fin, análogo al tercer eje, la catalogación de las múltiples geoformas de origen fluvial observadas en la fecha de 1998 correspondiente a fenómenos de avenidas o crecidas mediante el proceso de fotointerpretación y digitalización.

Tal es la analogía con el tercer eje que el uso de fuentes guía para la ejecución del procedimiento de detección de morfologías son las mismas (Díez-Herrero et al, 2008 y MAGRAMA, 2011) así como las múltiples técnicas para dirimir morfologías fluviales a partir de vuelos fotogramétricos.

##### **6.4.1. Ortofoto de 1998 (vuelo parcial). Características, manejo y uso en el estudio**

El gobierno de La Rioja acometió este vuelo fotogramétrico para la parte media-baja del río Iregua con el propósito de determinar el alcance y delimitación geográfica de la misma, enmarcado en el plan de protección para las Huertas del Iregua. El vuelo de la ortofoto de 1998 se obtuvo en marzo de ese año a una escala de vuelo de 1:18.000. La adquisición del fotograma en el registro es UTM 30N y el datum ETRS89 mientras su proyección no viene definida requiriendo participación del usuario para asignarle la proyección deseada. En esta ocasión la composición de bandas a color 3/2/1 permite visualizar el terreno en color verdadero con un tamaño de pixel de 20 centímetros de lado.

El proceso de obtención de los ficheros se ha realizado accediendo a la Infraestructura de Datos Espaciales del Gobierno de la Rioja permitiendo descargar archivos de extensión .jpeg, .jgw y .ecw, siendo este último el utilizado para la digitalización.

Las ortoimágenes trabajadas se presentan en un mosaico de imágenes, las cuales adquieren menor ámbito geográfico (imágenes de 1\*1 kilómetros de lado). El departamento de SIG de La Rioja juntó estas imágenes hasta conformar las imágenes de mayor superficie manteniendo la alta resolución espacial que proporcionan imágenes de escala geográfica mayor (vid. figura 30).



**Figura 30.** Mosaico de imágenes del año 1998 (retícula amarilla) y hoja del MNT50 (retícula negra). Ortoimagen de descarga ov178077. Fuente: elaboración propia.

Citado con anterioridad, las ortoimágenes no disponen de proyección asignada en el proceso de descargar por lo que se les ha dotado de la proyección correspondiente a su ubicación espacial, sistema geodésico de referencia Europeo: ETRS89. Su sistema de representación cartográfica es la proyección UTM, Huso 30 norte.

Como principal uso dado a esta fuente infográfica es la constatación de evidencias de avenidas o inundaciones que tiene repercusión en la superficie a fecha de 1998. En este punto acaece de importancia el factor antrópico en la coyuntura de su expansión y asentamiento sobre las tierras fériles del río Iregua (cultivos agrarios). Conocido es el proceso de desarrollo suscitado por la etapa desarrollista en los años 60-70 del siglo XX probado por un crecimiento del espacio urbano, en las capitales de provincias y comunidades autónomas, así como un asentamiento de áreas de cultivo para su abastecimiento. Este último proceso marca, por encima del resto de procesos, la morfología y dinámica del territorio en la zona media-baja del río Iregua asentando extensas superficies de cultivos de regadío y dispersión de segundas residencias.

Además, se ha trabajado con ortoimágenes de esta fecha para constatar la evolución del uso del suelo. Subyacente a este hecho, es objetivo del presente trabajo la ubicación de campos de regadío y viviendas, que se dejan entrever como los principales dinamizadores, entendidos como factores de riesgo, que promueven una mayor vulnerabilidad al *statu quo*. No obstante la constatación de evidencias indicadoras de avenidas supone el mayor esfuerzo a la hora de geolocalizar y digitalizar las estructuras identificadas.

#### 6.4.2. Procedimiento técnico para la catalogación y delimitación de los usos antrópicos y de las evidencias geomorfológicas

La base constituyente de este proceso es similar a la desarrollada en el eje secundario del proceso. A diferencia de ella se aclaran a continuación las principales características, variaciones y adhesiones realizadas en este eje secundario.

- Las imágenes están corregidas geométricamente, proceso llevado a cabo por el gobierno de La Rioja -Infraestructura de Datos Espaciales Gobierno de La Rioja-. El proceso de digitalización se ha mantenido en la escala 1:3.000, prosiguiendo con una aproximación manifiesta a la realidad ofreciendo una alto grado de precisión tanto de las formas antrópicas como las fluviales.
- El tratamiento del histograma para precisar las morfologías y el uso de los perfiles topográficos para corroborar estructuras de avenidas se han seguido usando en este eje para otorgar de criterio científico al proceso.
- La principal variación se ha dado en la estructura de la GDB. Esta se ha ampliado introduciendo el factor antrópico como agente modelador del territorio. Para ello se ha implementado una feature class nombrada “Asentamiento\_antropico” e incluida dentro del feature dataset de entidades poligonales (vid. figura 31).

Feature dataset*	Feature class	Subtypes	Domains
Entidades de origen poligonal	Valle fluvial (Macro)	Simples Compuestos confluenciales En artesa Agradación	Vaguadas; Garganta; Vagonadas; Cañones; Barrancos Glacio-fluvial; Fluvio-cárstico y Tecno-fluvial Llanura aluvial; Encajada; Sistema de aterrazamiento
	Llanura aluvial (Macro)	Agradación encajonamiento	Vega baja
	Abanicos aluviales y conos (Meso)	Abanicos aluviales; Conos	Confluencia tributarios; Desembocadura
	Cauces fluviales (Meso)	Canales fluviales Llanuras de inundación	De estiaje; De avenida
	Meandro abandonado (Meso)	Meandro abandonado	-
	Barras y bancos (Meso)	Laterales Centrales Obstáculo	Longitudinales; de Meandro Longitudinales; Transversales
	Formas deposicionales (Micro)	Lóbulos; Derrames; Cordones	En Abanico; Elongados
	Asentamientos antrópicos	Residencial, Vivienda Usos agrarios Cultivos forestales	- - -
	Formas erosivas (Micro)	Escarpes erosivos	-
	Factor antrópico	Azud	-
Entidades de origen lineal	Formas antrópicas (Micro)	Azud, Escollera y puente a diferente nivel	-

\* Sistema geodésico ETRS, (UTM) Huso 30 norte

**Figura 31.** Esquema de la GDB desarrollada en el eje secundario. En tonalidad gris las geomorfologías y actividades antrópicas identificadas. En tonalidad gris y recuadro grueso los nuevos feature class incorporados. Elaboración propia.

- Se ha considerado, dentro del proceso de digitalización, que las zonas residenciales y/o viviendas suponen únicamente la edificación física. Por consiguiente los patios de gran extensión, jardines o tierras adyacentes a la propiedad no han sido considerados como asentamientos residenciales, pues únicamente será el edificio o la infraestructura la considerada.

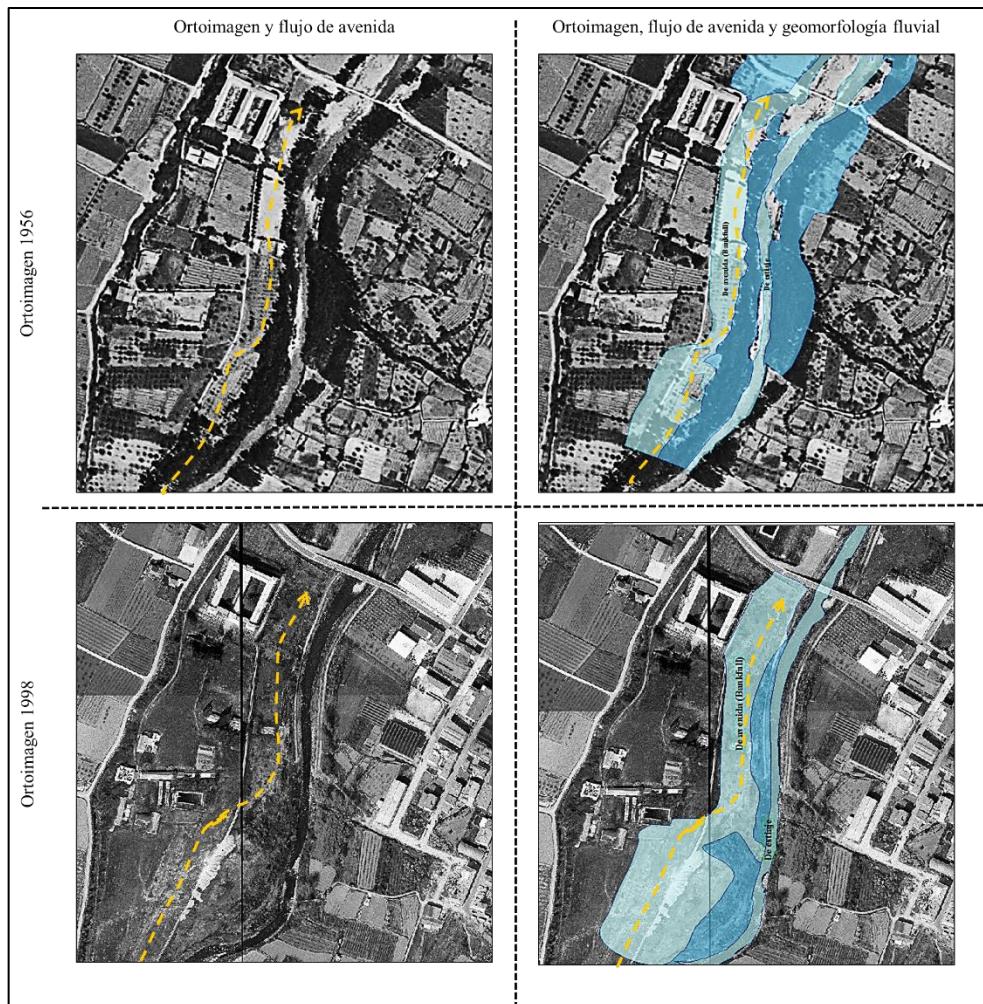
En alusión al procedimiento técnico de dirimir las estructuras que forman parte del sistema fluvial de 1998 cabe mencionar los siguientes acontecimientos como hechos ratificadores de vulnerabilidad.

- En consonancia con el criterio establecido en el tercer eje el uso del histograma y la simbología a la hora de visualizar los datos se determina como procedimiento ineludible. Asimismo en este cuarto eje se ha podido trabajar la fotointerpretación entre imágenes en blanco y negro así como en color. Ello ha permitido diferenciar y, por ende, acreditar ciertas morfologías de origen fluvial (vid. figura 32). Juntamente con ello el tratamiento de los niveles digitales mediante el histograma ha sido fructífera para la catalogación de las morfologías (vid. figura 18. Anejo II).



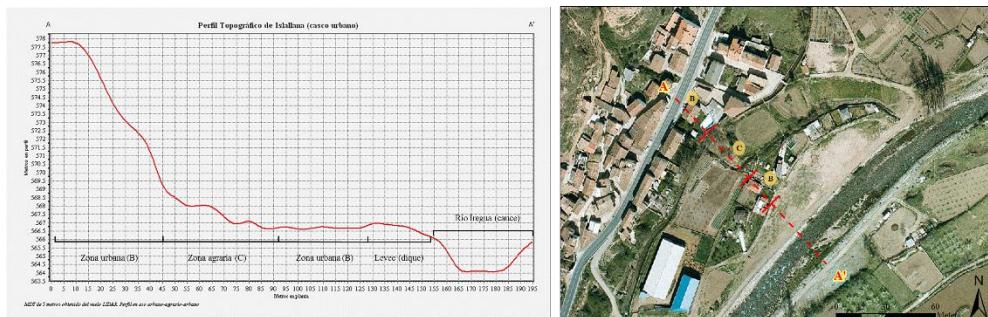
**Figura 32.** Diferenciación de múltiples lóbulos de derrames en el río Iregua con su tratamiento del histograma y en B/N. Elaboración propia.

- El factor antrópico adquiere dimensión de principal agente modelador del espacio a partir de los años 60-70 cuando, por razones coyunturalmente proclives al desarrollo urbanístico de las ciudades y sus periferias, se inició el asentamiento de segundas residencias y el crecimiento, por normal general, de los núcleos municipales. Tal es la expansión de los usos antrópicos sobre el territorio que resulta la modificación, ocultación o incluso la desaparición de las morfologías de origen fluvial derivadas de proceso de avenidas visualizadas en las ortoimágenes de 1956-1957 (vid. figura 33). En la siguiente imagen puede observarse como la morfología fluvial ha sido modificada (crecimiento del núcleo poblacional) entre 1956-1998 sin llegarse a modificar el flujo de avenida, que sigue en su estadío original.



**Figura 33.** Comparación temporal (1956-1998) y morfo-estructural (morfología fluvial) en los Escolapios (Albelda de Iregua, La Rioja). Elaboración propia.

- Ejemplificando la presencia del factor antrópico sobre el territorio el municipio de Islallana acaece como claro ejemplo de la incorrecta ordenación territorial. En la figura contigua se expone un perfil topográfico A-A' con las diferentes estructuras detectadas, visualmente y sobre el MDE LIDAR de 5 metros (vid. figura 34).



**Figura 34.** Estructuras indicadores de avenidas en el municipio de Islallana, La Rioja. Perfil topográfico A-A' (izquierda) e ortoimagen de 1998 (derecha). Elaboración propia.

- Por añadidura, el proceso de digitalización de las viviendas o segundas residencias se ha efectuado bajo la siguiente premisa. No existe ningún polígono representativo de vivienda que sea cortado por otra capa (usos del suelo o morfología fluvial). Se ha creído conveniente ejecutarlo así con el fin de obtener una cartografía refinada y distinguida. No obstante no quita las viviendas cuyos límites colinden con zonas catalogadas como estructuras de origen fluvial y estén afectadas por su dinámica.
- En base al desarrollo metodológico citado puede visualizarse gráficamente los resultados obtenidos en este cuarto eje (vid. figuras 19 y 20. Anejo II).

## **6.5. Quinto eje. Procedimiento técnico de caracterización antrópica sobre la ortofotografía del PNOA (2014)**

El presente eje versa en la delimitación del factor antrópico en las márgenes del río Iregua teniendo de referencia la ortofotografía nacional del PNOA de máxima actualidad obtenida en 2014.

El propósito principal versa en contornear las estructuras visibles, desde el satélite, de origen antrópico y, en segundo término, la generación de cartografía actualizada de vulnerabilidad del área en base a la extensión de la mancha de inundación para diferentes períodos de retorno.

### **6.5.1. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, ortofotografía de 2014 y proceso de digitalización**

La organización y dirección del proyecto PNOA es asumida por el Ministerio de Fomento, a través de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Consiste en un vuelo fotogramétrico del territorio español con un post-tratamiento riguroso que cumple unas especificaciones técnicas consensuadas con las partes integrantes, administraciones públicas principalmente.

La ortofotografía del año 2014 tiene como características principales que deben considerarse en su uso y aplicación (proceso de digitalización):

- Sistema de referencia trabajado. Sistema geodésico de referencia Europeo: ETRS89 en el que el sistema de representación cartográfica es la proyección UTM, Huso 30 norte de 0.25 m de resolución espacial.
- Mosaico original 1:50.000 de máxima actualidad (2014, pendiente de actualización).
- Formato de descarga. Fichero de compresión de datos ráster en formato Enhanced Compression Wavelet (ECW).
- Ortoproyección a partir del Modelo Digital de Elevaciones depurado y editado.
- Proceso de digitalización:
  - Sistema de referencia. ETRS89, Huso 30, zona norte.
  - Escala de digitalización. 1.1.500 permitiendo ejecutar el proceso con una elevada precisión.
  - Categoría distinguida, factor antrópico. Subtipos: Lúdico, Ocio; Edificio, Inmueble; Industria; Almacén; Núcleo poblacional y Vivienda unifamiliar.
  - Hoja 204 del MTN50 utilizada.

### **6.5.2. Uso otorgado a la ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea del 2014**

Sobre la ortofoto se ha procedido a digitalizar los contornos de toda estructura antrópica en las márgenes del río en una extensión media de 400 metros por cada margen. Ello ha supuesto un total de 484 polígonos categorizados en subtipos dentro de una geodatabase. Dichos subtipos son:

- Lúdico; Ocio.
  - Formalizar áreas de uso o propósito lúdico para la sociedad. También es pretendido la zonificación de ocio a zonas frecuentadas por las personas.
- Edificio; Inmueble.
  - Estructura de claro origen antrópico no residencial que no se ha podido identificar su uso principal en base a la fotointerpretación.
- Industria; Almacén.
  - Área o zona distintiva de uso industrial o de almacenaje de enseres o género de la huerta.
- Núcleo poblacional.
  - Área extensa en la que toda la estructura sobre el territorio corresponde a viviendas. Debido al grado de agregación se marca como única unidad de función residencial.
- Vivienda unifamiliar.

Principalmente se ha marcado con esta categoría a las estructuras que tengan un uso residencial claro y definido a vista de satélite. En esta categoría se ha contorneado el perímetro de la estructura (paredes de la casa y no de la parcela) y del patio contiguo incluyendo la piscina si la hubiere. Este riguroso deslinde se ha propuesto con el fin de generar una cartografía de afección por avenida (a lo sumo de vulnerabilidad) con un elevado grado de precisión.

Sobre la ortografía de 2014 y 1998 se han procedido a georreferenciar las diferentes estructuras antrópicas consensuadas. La extensión de hasta donde se digitalizan estas tipologías se acoge al criterio de la extensión de la lámina de inundación para un periodo de retorno de 500 años (del año 2011) donde, si la estructura digitalizada queda fuera de dicha lámina no se incorpora al estudio. Una segunda cuestión es el tiempo requerido para digitalizar una escena de menor escala numérica (mayor extensión de análisis).

En la fase de distinción de las estructuras para su correcta catalogación es recomendable el uso y técnicas de campo para corroborar los resultados obtenidos de la fotointerpretación. En este trabajo no ha sido posible realizar un trabajo de campo aunque, a pesar de tratar de imponer un grado de precisión elevado los datos pueden no ajustarse a la realidad territorio.

#### 6.5.3. Ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea del 2014. Cartografía y valoración del estado actual

Este apartado pretende dar a conocer el estado actual de la cuestión, cual vulnerable es la parte media baja del río Iregua en relación a los eventos de inundación, acorde a la cartografía actual. Para cartografiar la zona se ha empleado las siguientes fuentes y capas de información, facilitadas por la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHE:

- Ortofotografía del 2014 correspondiente al PNOA.
- Feature Class del factor antrópico. Geodatabase creada anteriormente sobre la ortofoto 2014 PNOA.
- Lámina referente a la zona inundable del Dominio Público Hidráulico (DPH). Zona de servidumbre y zona de policía.
- Láminas de inundación para diferentes periodos de retorno, 10, 50, 100 y 500 años.

Estas láminas de inundación se han creado por tramos a partir de la pluviometría, datos foronómicos y características del terreno con el objetivo de obtener resultados hidráulicos e hidrológicos que permiten generar el caudal diseño para determinados periodo de retorno. El objetivo de este procedimiento es la obtención de áreas potencialmente inundables en base a caudales diseño.

Preservando la intención de valorar el grado de vulnerabilidad se han escogido tramos representativos de afección ante episodios de avenida. Estos tramos determinan un alto grado de exposición, donde se han desarrollado zonas con alta presencia de viviendas cercanas al cauce, mostrando por ende una mayor vulnerabilidad frente a las ubicadas lejos del cauce (vid. figuras 21, 22, 23, 24. Anejo II).

En relación al proceso antrópico desarrollado en la parte media-baja del río Iregua se pretende mostrar el proceso de asentamiento de diferentes estructuras sociales sobre el territorio así como el desarrollo económico y social que ha padecido, y padece actualmente, este territorio. En alusión a las ortofotografías se constata como la totalidad de la superficie ha sido modificada, en mayor o menor grado, por prácticas relacionadas con el cultivo de la tierra (Choperas y vid. principalmente) o por construcciones y asentamientos de nuevas viviendas con una clara ampliación de los núcleos urbanos.

La coyuntura urbana desarrollada no ha preservado las zonas catalogadas como zonas inundables de Dominio Público Hidráulico o las diferentes láminas de inundación para diferentes periodos de retorno. En las figuras 21, 22, 23 y 24 (anejo I) se observa que el factor vulnerabilidad va en aumento a medida que nos acercamos a fechas actuales. Esta afirmación permite reconocer que a fecha de 2014 (ortofotografía) la parte media-baja adquiere una mayor vulnerabilidad ante inundaciones que no en 1998 (ortofotografía) o 1956/57 donde alcanza niveles bajos o muy bajos.

# III

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**7.1.** Resultados y discusión. Estadísticos de vulnerabilidad

**7.2.** Resultados cartográficos. Dinámica de la vulnerabilidad en el bajo Iregua

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Resultados y discusión. Estadísticos de vulnerabilidad

Cartografiadas las zonas de interés para este estudio se ha procedido a obtener el grado de afectación que poseen las viviendas y estructuras antrópicas en relación al peligro de avenidas o inundaciones. Ello ha supuesto la estimación del grado de vulnerabilidad en función del factor antrópico y la peligrosidad. El factor peligrosidad ha permitido la obtención aproximada de la vulnerabilidad en base a dos procedimientos.

- Obtención de la vulnerabilidad del factor antrópico de 2014 y 1998 respecto a las láminas de inundación para diferentes períodos de retorno del año 2007.
- Obtención de la vulnerabilidad para el factor antrópico del 2014 respecto a las morfologías de origen fluvial digitalizadas sobre la ortofotografía del Vuelo Americano 1956/57.

Ambos procedimientos han posibilitado obtener estadísticos sobre los cuales cabe realizar una interpretación fundamentada en el conocimiento acerca de procesos de avenida y estadística, volcado ello sobre la coyuntura económico social de la parte media-baja del río Iregua permitiendo conocer el *status quo* de la vulnerabilidad ante los procesos de avenida o, al menos, proceder a una aproximación razonada.

Para el primer procedimiento se han contrapuesto las estructuras antrópicas detectadas por fotointerpretación sobre las ortofotografías de 1998 (vuelo parcial de La Rioja) y 2014 con las láminas de inundación para diferentes períodos de retorno (10, 50, 100 y 500 años) del año 2007. El procedimiento y pautas mediante las cuales se han obtenido estadísticos generales acerca de la disposición de cada una de las cartografías digitalizadas respecto al río Iregua en la horizontal es el siguiente.

- Euclidean distance.

Sobre el río Iregua, en su proyección ETRS89 UTM 30N, se ha ejecutado un algoritmo de *euclidean distance* con un máximo de 500 metros y un pixel resultante en el ráster de salida de 1 metro.

- Polygon to raster para láminas de inundación.

Para poder extraer los valores de las láminas de inundación para diferentes períodos de retorno se deben transformar a ráster. Para ello se ha procedido a ejecutar el algoritmo *polygon to raster* a través del campo “PreRef” que indica el valor del periodo de retorno. El valor del pixel de salida ha sido de 5 metros.

- Polygon to points.

En este proceso se ha transformado los polígonos digitalizados a puntos a través de la herramienta *feature to point* indicando que centro del punto esté dentro del propio polígono. Ello permitirá calcular la distancia de ese punto respecto al cauce así como la comparación con las otras tipologías. También permitirá obtener sobre qué lámina de inundación se está ubicada si procede a ello.

- Extracción del factor “distancia”.

Utilizando el algoritmo *extract multi value to point* se ha obtenido la distancia, cruzando la capa de puntos con la capa de *euclidean distance*, de cada uno de los puntos respecto al río. Posteriormente estos datos extraídos han sido tratados sobre una hoja de cálculo.

Específicamente, los estadísticos obtenidos informan de la siguiente forma (vid. tablas 11a, 11b, 11c y 11d).

**Tabla 11a.** Tabla resumen de los estadísticos para estructuras antrópicas en 1998. Elaboración propia.

Estructuras antrópicas, Estadísticos 1998					
<b>Tipo estructura</b>	<b>Tipo (núm.)</b>	<b>Tipo (%)</b>	<b>Dist, promedio (m)</b>	<b>Desv, estandar</b>	<b>% respecto vivienda</b>
Edificio; Inmueble	69	16,09%	135,89	71,23	28,63%
Industria; Almacén	54	14,18%	153,02	67,51	22,41%
Lúdico; Ocio	2	0,22%	62,96	15,37	0,83%
Núcleo poblacional	11	4,29%	227,44	127,50	4,56%
Vivienda unifamiliar	241	65,22%	157,73	82,24	<b>100,00%</b>
<b>Total general</b>	<b>377</b>	<b>100,00%</b>	<b>154,59</b>	<b>81,12</b>	-

Tabla 11b. Tabla resumen de los estadísticos para estructuras antrópicas en 2014. Elaboración propia.

Estructuras antrópicas, Estadísticos 2014					
<b>Tipo estructura</b>	<b>Tipo (núm.)</b>	<b>Tipo (%)</b>	<b>Dist, promedio (m)</b>	<b>Desv, estándar</b>	<b>% respecto vivienda</b>
Edificio; Inmueble	71	14,67%	145,91	73,94	23,28%
Industria; Almacén	93	19,21%	151,68	91,90	30,49%
Lúdico; Ocio	3	0,62%	71,50	12,04	0,98%
Núcleo poblacional	12	2,48%	213,52	121,82	3,93%
Vivienda unifamiliar	305	63,02%	148,71	79,71	<b>100,00%</b>
<b>Total general</b>	<b>484</b>	<b>100,00%</b>	<b>150,00</b>	<b>82,95</b>	*

En mejora de la interpretación de ambas tablas se expresa: El “Tipo (núm.)” representa el número total de estructuras en función de su tipología. “Tipo (%)” expresa el porcentaje de cada una de las estructuras por tipología respecto al total. “Dist. promedio (m) indica la distancia media respecto al cauce del río Iregua en función de cada una de las tipologías de estructuras antrópicas. “Desv. estándar” indica el factor de dispersión por cada tipología antrópica permitiendo conocer el grado de dispersión, y asociación, entre polígonos de una misma tipología. “% respecto vivienda” muestra el porcentaje respecto a la tipología “Vivienda unifamiliar” ofreciendo el dato directo en cuanto a la relación de desarrollo.

**Tabla 11c.** Vulnerabilidad en función del grado de afectación de las láminas de inundación sobre la estructura antrópica de 1998. Elaboración propia.

Estadísticos y vulnerabilidad en función de las láminas de inundación			
<b>Vulnerabilidad</b>	<b>Nº estructuras</b>	<b>Valor vulnerabilidad</b>	<b>% del total</b>
Alta	42	4	11,14%
Media alta	95	3	25,20%
Media baja	31	2	8,22%
Baja	36	1	9,55%
Nula	173	0	45,89%
<b>Total general</b>	<b>377</b>	-	<b>100,00%</b>

El indicador “Valor vulnerabilidad”: 4 (afectado por láminas de inundación PR 10, 50, 100 y 500); 3 (afectado por láminas inundación PR 50, 100 y 500); 2 (afectado por láminas inundación PR 100 y 500); 1 (afectado por láminas inundación PR 500); 0 (Sin afección por láminas inundación)

**Tabla 11d.** Vulnerabilidad en función del grado de afectación de las láminas de inundación sobre la estructura antrópica de 2014. Elaboración propia.

Estadísticos y vulnerabilidad en función de las láminas de inundación			
Vulnerabilidad	Nº estructuras	Valor vulnerabilidad	% del total
Alta	60	4	12,40%
Media alta	117	3	24,17%
Media baja	26	2	5,37%
Baja	53	1	10,95%
Nula	228	0	47,11%
<b>Total general</b>	<b>484</b>	-	<b>100,00%</b>

En mejora de la interpretación de ambas tablas se expresa: La “Vulnerabilidad” indica el grado cualitativo de afectación en función del número de láminas de inundación que afecta a la estructura antrópica. “Nº estructuras” indica el total de estructuras con un grado de vulnerabilidad establecido en el campo “Vulnerabilidad”. El campo “Valor vulnerabilidad” indica cuantitativamente el grado de afectación por las láminas de inundación. Entonces el valor numérico indica el número de láminas que afectan a ese polígono siendo; 4 (afectado por láminas de inundación PR 10, 50, 100 y 500); 3 (afectado por láminas inundación PR 50, 100 y 500); 2 (afectado por láminas inundación PR 100 y 500); 1 (afectado por láminas inundación PR 500); 0 (Sin afección por láminas inundación). “% del total” muestra el porcentaje de polígonos vulnerables respecto al total.

#### 7.1.1. Primer procedimiento. Valoraciones extraídas de los datos resultantes. Estructura antrópica y vulnerabilidad

Como resolución al proceso puesto en práctica es factible afirmar que la parte media-baja del río Iregua ha experimentado un aumento, tanto en la extensión como en el número absoluto, del factor antrópico. Desde el inicio de la investigación realizada, a fecha de 1956/57 el desarrollo antrópico ha sido invariable (vid. tablas 11a y 11b) con el crecimiento experimentado de la tipología “Viviendas unifamiliares” como principal agente dador de vulnerabilidad. Por otra parte el mismo proceso de aumento se refleja sobre el factor vulnerabilidad (vid. tablas 11c y 11d) donde su aumento es notorio en las estructuras de media-alta y alta vulnerabilidad. Estas representan a estructuras antrópicas afectadas por las láminas de inundación para los 4 períodos de retorno o para los tres de menor rango (10, 50 y 100) equivalente con el “Valor vulnerabilidad” 4 y 3 respectivamente.

La estructura antrópica dominante en ambos estadios temporales, 1998 y 2014, es la vivienda unifamiliar cuyo uso principal es de segunda residencia. Obsérvese los datos de las tablas 11a y 11b donde representan el 65% aproximadamente de las edificaciones antrópicas consideradas.

La tendencia en porcentaje de las tipologías estructurales respecto a la vivienda unifamiliar es considerablemente significativa. Por cada 100 viviendas construidas en 1998 28 “Edificios; Inmueble” y 22 “Industria; Almacén” son construidos. La dinámica de la tipología “Vivienda unifamiliar” cuadriplica a las demás, evidenciando el aumento del desarrollo antrópico afectando por ende al factor vulnerabilidad aumentándolo. La tendencia se mantiene para el año 2014.

Focalizándonos en las tablas 11c y 11d destaca el destacado número de estructuras digitalizadas que adquieren una vulnerabilidad “Alta”. Muy considerable es la situación que se observa teniendo en cuenta el tiempo. Ello supone que los polígonos identificados con “Alta” y “Media alta” vulnerabilidad pasen de 137 en 1998 a 177 en 2014, sufriendo un crecimiento del 29% para valores de vulnerabilidad 4 y 3.

En síntesis, la parte media-baja del río Iregua presenta una vulnerabilidad notoria tanto en 1998 como 2014 considerando como amenaza (factor peligrosidad) las extensiones de las diferentes láminas de inundación y vulnerabilidad al número de estas láminas que afectan a cada estructura antrópica “Valor vulnerabilidad” (vid. tablas 11c y 11d).

En relación al segundo procedimiento, se busca plasmar la vulnerabilidad en función de las estructuras morfológicas digitalizadas sobre la ortofotografía del Vuelo Americano (serie B). La forma en la que se ha ejecutado esta valoración consiste en extraer los puntos digitalizados del factor antrópico actual (extracción de la ortofotografía de 2014) sobre la estructura morfológica fluvial cartografiada de 1956/57.

El fin de este procedimiento es constatar como el factor antrópico se ha asentado sobre estructuras de origen fluvial originadas en episodios de avenidas. Para ello se presenta la figura 36 donde se contrastan los puntos digitalizados (2014) sobre las morfologías de 1956/57.

#### 7.1.2. Segundo procedimiento. Valoraciones extraídas de los datos resultantes. Morfología fluvial (1956/57), estructura antrópica (2014) y vulnerabilidad

La escala de vulnerabilidad en este procedimiento se ajusta al tipo de morfología fluvial sobre la que se ha asentado la estructura antrópica. En función y frecuencia de la actividad hídrica que presenta la morfología la estructura que se sitúe sobre ella presenta una vulnerabilidad mayor o menor ante avenidas.

En alusión a lo anterior, los subtipos de cauces analizados “Canal fluvial” y “Llanura de inundación”, presentan un factor de peligrosidad mayor, por asentarse la estructura antrópica sobre ella, confiriéndole un factor de vulnerabilidad elevado. En relación a las demás morfologías obtienen un factor de peligrosidad importante pues todas ellas identifican con una alta actividad fluvial.

Tratando los datos obtenidos un total de 147 estructuras antrópicas actuales (dato del 2014) están ubicadas encima de morfologías fluviales equivalente a un 30% de la muestra. Precisando en el principal constituyente del desarrollo antrópico sobre el territorio analizado, la vivienda unifamiliar de segunda residencia, se ha obtenido un total de 69 éstas sobre la morfología de “Cauces” (vid. tabla 12).

**Tabla 12.** Ubicación y número de viviendas unifamiliares dispuestas sobre morfología fluviales de alto peligro-sidad. Elaboración propia.

Tipo estructura	Canal fluvial	Llanura aluvial	Total
<b>Vivienda unifamiliar</b>	13	56	69

En adición a lo comentado anteriormente existen algunas situaciones en las que no se registra una estructura sobre una morfología fluvial por la propia metodología del procedimiento llevado a cabo. Es el caso de una industria situada en la margen izquierda de un cauce, sobre su abanico aluvial, que desemboca en el río Iregua, en el término municipal de Islallana (vid. figura 35).



**Figura 35.** Ubicación de una industria sobre un abanico aluvial. Elaboración propia.

Geomorfología fluvial (1956/57)						
	Levee	Abanico aluvial	Barras; Bancos	Caucas		Formas deposicionales
Ubicación	Nº estructuras coincidentes	Ubicación	Nº estructuras coincidentes	Ubicación	Nº estructuras coincidentes	Ubicación
No coincidente	475	No coincidente	484	No coincidente	473	No coincidente
Levee	9	Abanico aluvial	*	Barras; Bancos	11	Canal fluvial
*	*	*	*	*	*	Llanura aluvial
Total general	484	Total general	484	Total general	484	Total general
						484

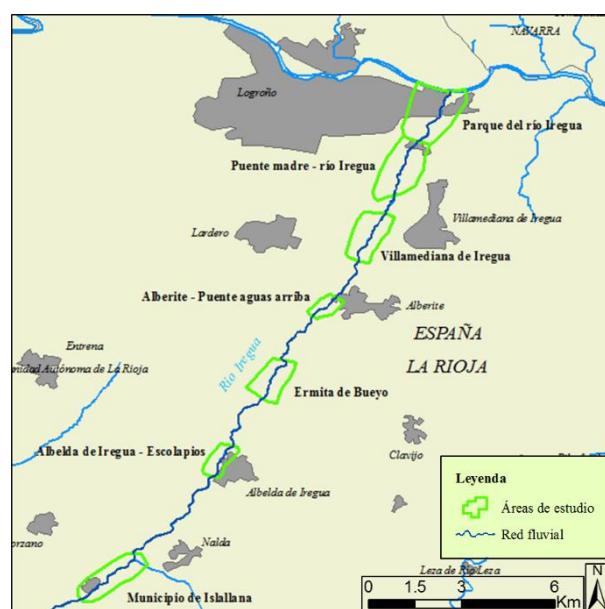
Estructura antrópica (2014)

**Figura 36.** Ubicación de las estructuras antrópicas 2014 sobre las morfologías fluviales 1956/57. Elaboración propia.

### 7.1.3. Ideas o conceptos para la compresión de los resultados

A continuación se exponen algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta a la hora de realizar una correcta lectura de los resultados obtenidos. Con ello se destacan algunas de las limitaciones encontradas en la realización del procedimiento.

- El criterio general de digitalización se extiende desde el ápice del abanico aluvial del río Iregua en el término municipal de Islallana. Desde este punto se ha digitalizado hasta la desembocadura en el río Ebro en la ortofotografía de 2014 mientras en la de 1998 se ha digitalizado únicamente hasta el parque del río Iregua por ausencia de ortofotografía de la desembocadura al Ebro. El proceso de digitalización no es exacto ni tampoco extremadamente definido. Ello repercute en la extensión de la digitalización pues al no estar acotado a todo el ámbito de análisis el proceso acoge una incertidumbre que puede reflejarse en los datos finales.
  - Un ejemplo de ello es si la extensión de los polígonos digitalizados para las estructuras antrópicas hubiera sido mayor o menor. Ello repercutiría sobre el total de polígonos considerados afectando a los datos resultantes. Afecta a las tablas 11a, 11b, 11c y 11d.
- Este hecho, por el contrario, no se observa en la tabla 10 (representación de las morfologías fluviales) pues esta se ha obtenido a partir de las zonas en las que se ha catalogado las morfologías de origen fluvial.
- Consideraciones económicas. Numerosas parcelas de “Viviendas unifamiliares” digitalizadas pueden ser piscinas. Esta estructura se ha catalogado como “Vivienda unifamiliar” pues la pérdida de ella supone un agravio económico familiar y a su estructura.
  - La categorización de las estructuras antrópicas se ha procedido a partir de la fotointerpretación de imágenes satelitales con la dificultad que entraña en ocasiones. Por ello se hace hincapié en el trabajo de campo y visita al territorio para cerciorarse de las infraestructuras habidas.
  - El proceso de digitalización de las morfologías fluviales desarrollado no posee una continuidad en el espacio. Ello supone que existen áreas donde no se ha procedido a la digitalización de morfologías fluviales y en otras sí (vid. figura 37).
- Parque del río Iregua.
  - Puente madre – río Iregua.
  - Villamediana de Iregua.
  - Alberite – Puente aguas arriba.
  - Ermita de Bueyo.
  - Albelda de Iregua – Escolapios.
  - Municipio de Islallana.



**Figura 37.** Distribución de las áreas de estudio para la fotointerpretación de morfologías fluviales. Elaboración propia.

- Observando la distribución de las zonas analizadas, obsérvese la figura 37, es remarcable que los resultados estadísticos varíen en sus valores al añadir las áreas no cartografiadas. Sobre el procedimiento actual existen multitud de puntos (polígonos digitalizados) que están situados sobre morfologías fluviales no cartografiadas afectando, por ende, a los estadísticos obtenidos.
- A expensas de la ampliación cartográfica de estas zonas es factible presuponer que existen mayor número de estructuras antrópicas ubicadas sobre morfologías fluviales que aumentan el factor vulnerabilidad en el total de área estudiada.
- No se ha considerado la estructura antrópica para las fechas del Vuelo Americano (Serie B). Su escasa o casi nula presencia de viviendas e infraestructuras se percibe en las figura 21, 22, 23 y 24 (anejo I).
- La consideración temporal de la información utilizada para el análisis debe ser reflexionada. Las láminas de inundación datan del año 2007 mientras las estructuras antrópicas datan de fechas dispares, 1998 para la ortofotografía parcial de La Rioja y la ortografía del PNOA de máxima actualidad (2014). Al hilo, es remarcable que dichos lapsos temporales entre información suponga algún desajuste al contraponerse como pueda ser el aumento de extensión antrópica del 2007 al 2014 y que no se ha considerado la modelización hidráulica de las láminas de inundación.

## **7.2. Resultados cartográficos. Dinámica de la vulnerabilidad en el bajo Iregua**

Uno de los objetivos planteados en las prácticas consiste en evaluar el estado de vulnerabilidad frente a las inundaciones en el río Iregua y elaborar una cartografía acorde a los resultados obtenidos. Este punto recoge la producción cartográfica que se ha propuesto.

Finalmente se ha optado por la maquetación en lámina DIN-A1 (póster). La elección está determinada por el tipo de información que se busca representar. En base a la información tratada durante el proyecto se han ejecutado las siguientes láminas para manifestar el *statu quo* del factor vulnerabilidad (vid. figuras 1 a 6. Anejo IV). Se ha maquetado un póster en tamaño DIN-A1 por el motivo principal de la divulgación. La Confederación Hidrográfica del Ebro, como organismo gestor de avenidas (punto 0), asume un papel divulgativo el cual fusiona la función de gestión y coordinación de la cuenca con la participación pública para la misma gestión y toma de decisiones. Por ello se ha decidido elaborar el póster para resumir el análisis desarrollado y su puesta en público.

### **7.2.1. Estructura interna del poster**

El reparto del póster sitúa en la parte izquierda del póster el mapa de situación. Éste consta a su vez de tres mapas que, en función de la escala de situación, ubica al usuario en la península, cuenca hidrográfica y cuenca del río Iregua.

En la parte derecha del póster se ha dispuesto los mapas cartográficos principales, aquellos que contienen la información cartográfica referente al análisis y valoración de la vulnerabilidad. Cada uno de ellos recoge un aspecto esencial para la comprensión del análisis.

- El cuadro superior muestra la estructura hidro-geomorfológica sobre la ortofotografía del PNOA (2014) y para el área de estudio. Dicha estructura se ha obtenido digitalizando las morfologías fluviales sobre la ortofotografía del Vuelo Americano (Serie B).
- El cuadro intermedio expone el Dominio Público Hidráulico. En él se observan las diferentes figuras regladas, DPH y las láminas de inundación para diferentes períodos de retorno (10, 50, 100 y 500 años).
- El cuadro inferior resume el factor antrópico. Recoge la evolución diacrónica de la estructura antrópica para los años 1956/57, 1998 y 2014. Esto permite percibir la evolución sufrida en ese territorio en una única imagen.

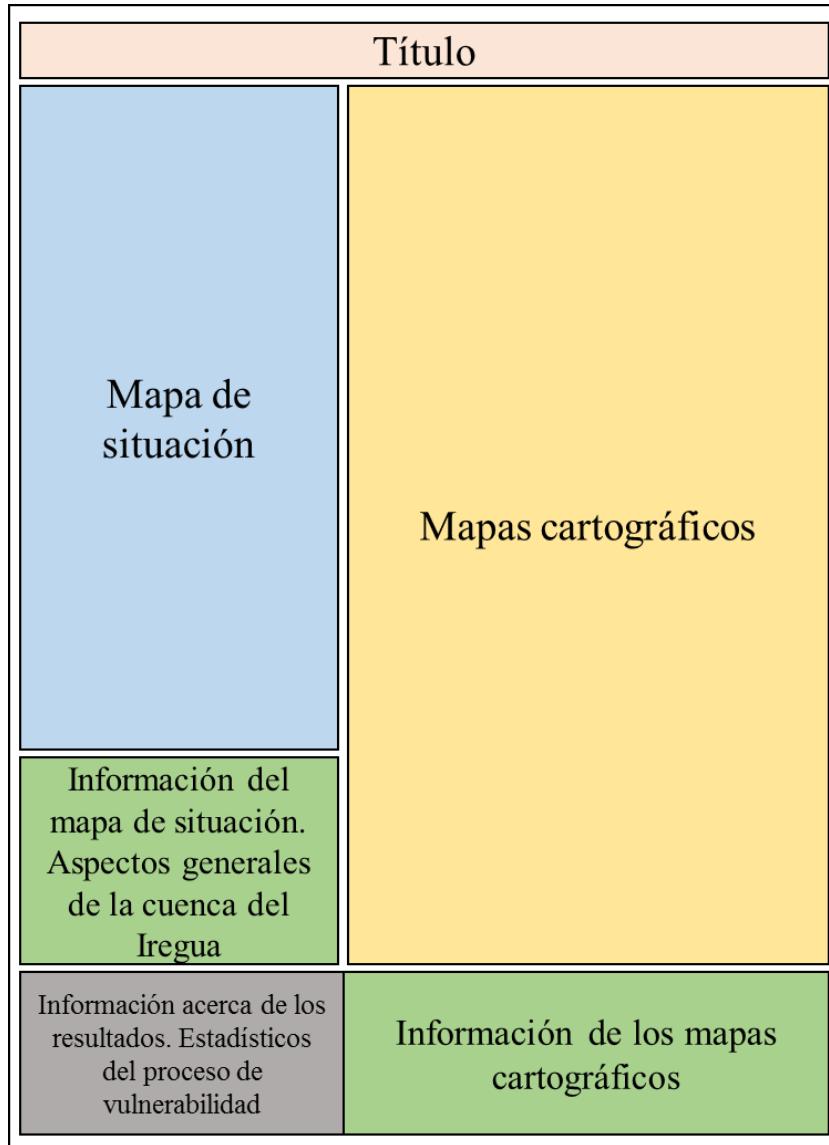
Por otra parte la estructura del póster puede establecerse en función de cómo se transmite la información, mediante imagen (mapas) o texto. Para ello se ha dispuesto el primer grupo en la parte superior del póster mientras el segundo grupo, información tipo texto, se ha ubicado en la parte inferior de cada estructura visual (mapas cartográficos).

Debajo de los mapas de situación se dispone información referente a la cuenca en general de río Iregua y en relación a las otras cuencas que conforman la cuenca del Ebro. Sobre estas líneas se presenta un texto que resume en líneas generales la ubicación de la cuenca de análisis así como una tabla resumen de las principales características de la misma.

Debajo de los mapas cartográficos principales se han ubicado objetos referentes a los mapas: leyenda, norte, escala y sistema de referencia de los datos. También se ha ubicado un texto divulgativo acerca del tipo de información representada y el objetivo del póster.

En la parte inferior izquierda del póster se han incorporado los principales resultados del estudio. La presentación de los principales factores que dotan a un territorio de vulnerabilidad se disponen en la parte más baja del póster siendo los datos de población y de segundas residencias. En adición se presentan los datos de vulnerabilidad obtenidos. Estos se encuentran en función de las láminas de inundación y del uso del suelo para los dos espacios temporales analizados, 1998 y 2014.

La estructura del póster puede resumirse en la siguiente imagen en la que identifican los grupos de información que se pretende divulgar (vid. figura 38).



**Figura 38.** Distribución de las principales unidades de información que conforman la cartografía final del estudio. Obsérvese el peso dado (espacio en el poster) a los mapas cartográficos y el mapa de situación buscando focalizar la atención del usuario. Elaboración propia.

# IV

## CONSLUSIONES

### **8. CONSIDERACIONES FINALES. FACTOR VULNERABILIDAD EN EL BAJO IREGUA**

**8.1.** Objetivos generales

**8.2.** Conclusiones en relación con los objetivos secundarios

**8.3.** Metodología y estructura del trabajo. Discusión y valoración

## **8. CONSIDERACIONES FINALES. FACTOR VULNERABILIDAD EN LA PARTE MEDIA-BAJA DEL RÍO IREGUA**

Finalizado el proceso técnico por el cual se han obtenido las tablas 11a, 11b, 11c y 11d, indicadoras parcialmente del proceso y desarrollo de la vulnerabilidad, se presentan a continuación las principales conclusiones que se extraen del procedimiento aplicado y de los resultados obtenidos. Para ello se especifican dos tipologías de objetivos dependiendo del ámbito al cual refieren, sea pues objetivos primarios o principales y los objetivos secundarios.

### **8.1. Objetivo principal**

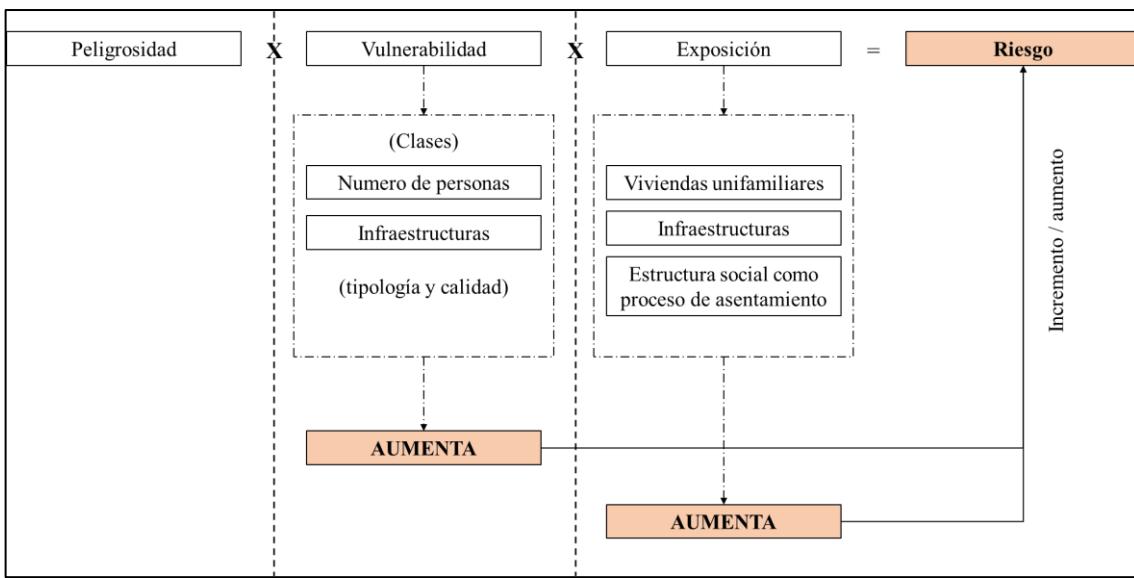
Este ejemplar acomete el objetivo principal, la elaboración de una cartografía y la valoración de vulnerabilidad en el bajo Iregua, la cual no se había acometido desde las administraciones públicas.

En relación al objetivo principal y acorde al programa por el cual se ha podido desarrollar una actividad de prácticas fin de Máster en la Confederación Hidrográfica del Ebro, la ejecución de un documento síntesis de las prácticas se asume como acreditación del objetivo general “la valoración de la vulnerabilidad en el bajo Iregua”. La propia elaboración del documento asume que los objetivos propuestos en el marco de las prácticas se han cumplido y que la entrega de este documento a la Oficina de Planificación Hidrológica (OPH en adelante) supone la elaboración de las mismas. Por ello mismo se ha entregado un ejemplar a la OPH de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

El trabajo de investigación desarrollado en la Confederación Hidrográfica del Ebro tiene por objetivo principal valorar el factor vulnerabilidad en la parte media-baja del río Iregua. Ello se ha podido determinar, por un lado, abordando el factor peligrosidad del terreno apoyándose en el proceso de digitalización para la identificación las morfologías fluviales (vid. figuras 15, 16, 17, 18 y 19. Anejo II), por otro lado a través del desarrollo y aplicación de múltiples técnicas *ah hoc* así como el ajuste realizado sobre las láminas de inundación para diferentes períodos de retorno contraponiéndolo con el factor antrópico previamente digitalizado (tablas 11a, 11b, 11c y 11d). Todo ello se traduce en el desarrollo de un territorio sobre el cual el factor vulnerabilidad ha ido incrementándose en el aspecto tanto social y antrópico como estructural (edificaciones o infraestructuras).

El proceso por el cual se produce un aumento de la vulnerabilidad se fundamenta en el desarrollo social experimentado sobre el territorio. Buena cuenta de ello la aportan las diferentes ortofotografías trabajadas, 1956/57, 1998 y 2014, en las que se puede observar el continuo proceso de asentamiento de viviendas en zonas con considerable actividad fluvial detectada sobre la ortofotografía de 1956/57 (vid. figura 21, 22, 23 y 24. Anejo II). El desarrollo de diversas infraestructuras también alcanza relevancia. La construcción de puentes o canales transversales al cauce deriva en el aumento de la peligrosidad y de la vulnerabilidad, por afinidad conceptual, hacia aguas arriba. Generando un aumento de los calados aguas arriba por remanso de aguas (vid. figura 24. Anejo II). El propio remanso que se produce aguas arriba deriva en un aumento de la velocidad, por la zona del aliviadero (ojo del puente o apertura por donde se evaca el agua), imprimiendo mayor capacidad de arrastre y movilización de materiales hacia aguas abajo.

Considerando la ecuación del riesgo puede afirmarse que el desarrollo experimentado en la parte media-baja del río Iregua deriva en un aumento de la vulnerabilidad así como de la peligrosidad (vid. figura 39) generando un aumento del riesgo ante las inundaciones que debe ser abordado.



**Figura 39.** Ecuación del riesgo en el proceso de análisis. Puede observarse la modificación que experimentan los factores vulnerabilidad y exposición determinando un aumento del factor riesgo. Elaboración propia.

Desarrollo de la actividad industrial. El proceso por el cual se busca nuevos emplazamientos cercanos a la capital de La Rioja ha supuesto la instalación de múltiples industrias en terrenos de actividad fluvial del río Iregua (vid. tablas 11a y 11b).

Uno de los objetivos principales pretendido ha sido el uso de las técnicas que se desarrollan en entornos de Sistemas de Información Geográfica junto con técnicas de tratamiento de imágenes satelitales, la teledetección. El uso de ambos procedimientos técnicos para delimitar ámbitos morfológicos (hidro-geoformas) ha permitido generar Geodatabases capacitadas para delimitar rigurosamente ambientes de avenidas, usos antrópicos y el post-tratamiento de los datos (superposición de capas de información, aplicación de filtros, ajustes de contrastes o cartografías).

Establecer un valor cuantitativo numérico de vulnerabilidad no es objetivo de este análisis. Como fin sustancial es la valoración cualitativa de la vulnerabilidad aún cuando la base técnica procedimental requiere de valores cuantitativos, tablas y datos numéricos. Con la resolución del proceso técnico se manifiesta que la zona de análisis adquiere una vulnerabilidad fehaciente ante inundaciones. Dicho proceso de valoración de la vulnerabilidad no se ha efectuado en mayor profundidad pues se ha estimado conveniente ajustarse a las prácticas y al periodo de las mismas ejercidas en la Confederación Hidrográfica del Ebro.

## 8.2. Conclusiones en relación con los objetivos secundarios

El uso de las minutas cartográficas para determinar el grado de vulnerabilidad (y de riesgo) en la zona de análisis ha sido limitado. Las dificultades encontradas no permiten valorar de una manera profunda el riesgo o vulnerabilidad. Únicamente se ha podido constatar que los principales núcleos de población se ubican a cierta distancia del cauce trazado por los topógrafos. A pesar de tener inexactitudes el proceso de transcripción de la topografía urbana y física a los papiros estos errores no impiden afirmar que los núcleos de Albelda de Iregua, Alberite, Villamediana de Iregua y Nalda se ubiquen fuera del alcance del río, siendo el factor riesgo cero (vid. figura 25. Anejo II).

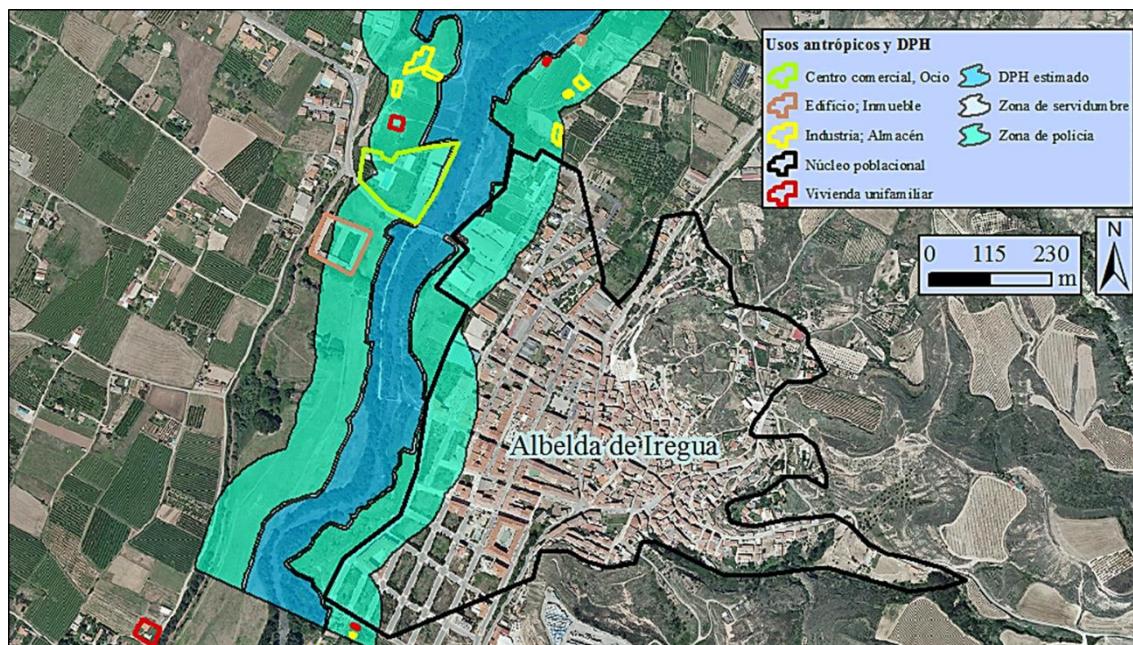
La delimitación de las áreas de análisis no ha sido baladí. La elección viene supeditada por el futuro desarrollo de núcleos urbanos cercanos o por asentamiento de propiedades e industria. Como objetivo secundario se decidió acotar el análisis en los siete ámbitos para poder abarcar, en tiempo y orden, el proceso técnico desarrollado a lo largo del periodo de prácticas. Ello ha derivado en la no consideración de ciertos tramos en los cuales pueden haberse asentado algunas infraestructuras, viviendas o industria afectando por ende a los estadísticos finales obtenidos.

Uso de los SIG como principal herramienta a la hora de poder realizar la investigación y presentar los resultados. Asimismo, se ha complementado los SIG con la teledetección, como instrumento de

detección de morfologías fluviales y de proposición para obtener la valoración de la vulnerabilidad de una forma sencilla, visual y elocuente hacia el lector. El procedimiento se ha sustentado en la implementación de GDB, filtros específicos de paso alto y paso bajo, ajustes de contrastes y numerosas herramientas SIG con el fin de modelar un riguroso y ordenado análisis de la vulnerabilidad en la parte media-baja del río Iregua.

La presentación de una cartografía final acomete uno de los objetivos que se han propuesto. Esta cartografía recoge suscintamente el proceso elaborado para determinar la vulnerabilidad de la zona analizada (vid. punto 8).

Uno de los factores claves versa en el análisis del DPH, la zona de servidumbre y zona de policía. Sobre estas figuras normativas se ha querido refrendar la banalidad con la que se ha acometido la ordenación territorial en los ámbitos territoriales analizados. Como figura de análisis obligada, el DPH acaece como estructura vertebradora de la ordenación territorial en los ambientes fluviales. Tras considerar la digitalización de las estructuras antrópicas y contraponerlo con el DPH el resultado evoca una ausencia de OT sobre las extensiones afectadas por esta figura legislativa (vid. figura 40).



**Figura 40.** Usos antrópicos sobre la categoría jurídica de Dominio Público Hídrico en el núcleo poblacional de Albelda de Iregua. Elaboración propia.

La normativa por la cual se regula el DPH limita los usos que pueden asentarse sobre las zonas de DPH, zona de servidumbre y zona de policía (vid. punto 5.2.). Tales extensiones de terreno fijan un uso de protección para el ser humano recalcoando que mencionados terrenos deben dejarse para la dinámica fluvial salvo los usos especificados en la regulación pertinente.

Asumiendo este punto como hecho negativo durante el tránscurso de las prácticas cabe mencionar las siguientes situaciones. La digitalización de los múltiples asentamientos antrópicos, las morfologías fluviales, el cauce principal, la estructura urbana, etc. resulta de mayor rigor si se acompaña con trabajo de campo y visitas a las múltiples localizaciones de interés para cerciorarse de problemas detectados por técnicas de gabinete. Por otro lado existe un sesgo en la continuidad de las láminas de inundación para diferentes períodos de retorno en el cual no existe mencionada lámina. Al hilo de este último contratiempo no se ha podido conocer el motivo de este sesgo, a pesar de indagar con las diferentes y amplias fuentes de información, por lo que se cree que se realizó un estudio hidrológico *ad hoc* para las secciones convenidas y deseadas.

Como objetivo importante no cumplido es la visita periódica al terreno. La imposibilidad de movilizarse hasta la zona de análisis ha supuesto una privación para la profundización de los conocimientos acerca de la actividad físico-social desarrollada en el terreno así como de la aportación y comprobación en campo de los resultados obtenidos.

### **8.3. Metodología y estructura del trabajo. Discusión y valoración**

La estructura planteada en este documento tiene por objetivo dirimir el grado de vulnerabilidad por inundación en la cuenca del bajo Iregua. El proceso técnico y metodológico es susceptible de modificarse para mejorar el resultado. Una mejora de la estructura sería realizar un intenso trabajo de campo de encuestas al ciudadano. Ello supondría una visión a pie de calle acerca de cómo es percibido el riesgo incorporándose en la valoración de la vulnerabilidad como factor, la percepción social del riesgo sobre el territorio analizado.

La metodología expuesta en este documento es susceptible de mejora. El factor exposición puede parametrizarse determinando la ocupación del espacio por las personas en franjas horarias o introduciendo datos de la población (edad, minusvalía, número de personas que habitan en las viviendas, registro civil, etc.), régimen de personas sobre el territorio en fechas lectivas o vacacionales, días libre o días laborales, aportando valiosa información para obtener resultados detallados del riesgo en base a múltiples factores de vulnerabilidad.

Los tramos de análisis han sido acotados en función de la disponibilidad temporal y metodológica en el proceso de valoración del riesgo. La ampliación de los tramos a toda la ribera baja del Iregua supone acometer la estimación de vulnerabilidad desde una perspectiva integral.

La estimación del grado de vulnerabilidad que adquiere la estructura antrópica sobre el territorio, en comparación con las láminas constituyentes de las áreas de inundación para diferentes períodos de retorno, ha sido incompleta motivado por la ausencia de estas láminas. El tramo afectado corresponde a aguas abajo del núcleo Albelda de Iregua hasta el punto medio entre los núcleos de Albelda de Iregua y Alberite. El tramo adquiere una dimensión cercana a los 3.2 kilómetros donde existen numerosos espacios antropizados. Por ello deben considerarse estas zonas en análisis posteriores.

Cabe rehacer una nueva valoración de la vulnerabilidad incorporando factores físicos de notable importancia en eventos de inundaciones. El presente trabajo no ha tenido en consideración componentes de peligrosidad tales como la severidad expresada a través de parámetros físicos de calado y velocidad o estimaciones de magnitud de fenómenos geológicos asociados.

En posteriores análisis debe incorporarse la nueva cartografía actualizada. Las nuevas tecnologías permiten la elaboración de cartografías de mayor desarrollo y complejidad, recogiéndose en los nuevos planes de gestión así como en las políticas de ordenación territorial sobre las que deben quedar refrendadas como cartografía oficial.

En el análisis y valoración del riesgo de inundación la implementación de la tecnología SIG y teledetección se vislumbra como técnicas válidas, entre muchas aplicaciones, para: la estimación de peligrosidad por extensión de la mancha de inundación (inundación de Zaragoza, febrero-marzo 2015), delimitación de zonas afectadas y el grado de severidad del evento, así como cuantificar el número y valor económicos de infraestructuras dañadas así como realizar una aproximación al número de habitantes afectados.

Para finalizar con este apartado de valoraciones cabe remarcar el cumplimiento de la normativa vigente. Numerosos son los casos detectados de infraestructuras y construcciones con ubicación en el DPH por lo que la gestión integral del riesgo por inundación pasa por hacer cumplir los preceptos.

# V

## PROPUESTAS

### 9. PROPUESTAS, ACTUACIONES Y ESTRATEGIAS PARA LA MEJORA DEL TERRITORIO ANTE EL FACTOR VULNERABILIDAD

**9.1.** Factor vulnerabilidad. Estrategias, medidas de prevención y mitigación y propuestas para su reducción

## **9. PROPUESTAS, ACTUACIONES Y ESTRATEGIAS PARA LA MEJORA DEL TERRITORIO ANTE EL FACTOR VULNERABILIDAD**

El presente módulo tiene por objetivo el anuncio de propuestas, aplicaciones o asentamiento de políticas y acciones para la reducción del riesgo por efectos de las avenidas. El rango de aplicación de estas medidas va desde las estructuras primarias afectadas, las viviendas, hasta políticas autonómicas de gestión del riesgo pasando por fomento de la cultura del riesgo y la autoprotección. Las propuestas indicadas a continuación tienen por objetivo:

- Reducción de la vulnerabilidad.
- Reducción de la peligrosidad.
- Reducción de la exposición.
- Reducción del riesgo.

### **9.1. Factor vulnerabilidad. Estrategias, medidas de prevención y mitigación y propuestas para su reducción**

Ante el riesgo de inundación se pueden adoptar múltiples estrategias con el fin de aminorar los daños económicos y sociales ocasionados por las inundaciones y/o anegaciones. Las propuestas y estrategias que pueden aplicarse en el riesgo de inundación son dispares dependiendo de la base conceptual abordada, ya sea desde el factor peligrosidad, vulnerabilidad o exposición. Con la premisa de resolver las consecuencias derivadas de avenidas se requieren de medidas de mitigación del riesgo ante inundación basadas en la mitigación de la peligrosidad, mitigación de la vulnerabilidad y medidas de mitigación de la exposición (Ayala-Carcedo, 2002).

La implementación de las estrategias y medidas correctoras en la gestión del riesgo pueden desglosarse según el objetivo de las mismas y su espacio temporal de aplicación. Ya sean medidas encaminadas a la mitigación de la peligrosidad, mitigación de la vulnerabilidad o medidas de mitigación de la exposición se agrupan las medidas en función de su aplicación anterior o posterior al evento:

- Medidas preventivas.
- Medidas de mitigación.
  - Medidas estructurales.
  - Medidas no estructurales.

#### **9.1.1. Medidas de prevención**

En primera instancia se apuesta en este trabajo por las medidas preventivas o aquellas estrategias que se llevan a término antes del suceso catastrófico cuya finalidad es evitar, en la medida de lo posible, los efectos que pueda ocasionar un evento de precipitación intensa sobre la población, infraestructuras o sociedad.

- Los factores climáticos por los cuales se desarrollan los procesos de génesis de intensas precipitaciones pueden pronosticarse. Una medida en aras de mitigar el riesgo de inundación consiste en aumentar la previsión de fuertes precipitaciones, fomentando el desarrollo de sistemas de predicción meteorológicas más avanzados permitiendo adelantar el tiempo de reacción. De esta manera se podrán decretar alertas con tiempo suficiente de evacuación para la población, si es requerido, y asegurar las zonas urbanas desalojando a la población.
- Un factor indispensable a la hora de prevenir el riesgo de inundación es la gestión coordinada de un territorio estructurado a base de políticas de ordenación territorial (OT) protectoras y conservadoras en cuanto al riesgo atañe. Paneles de expertos destacan la ordenación territorial como medida más eficaz ante las inundaciones que, paradójicamente, estas estrategias están en manos del poder económico y político normalmente al margen de la coyuntura del riesgo. El asentamiento de estas políticas de control en esferas administrativas instan todavía a la política de ordenación territorial como medida mitigadora del problema (post-desastre) y no como medida preventiva (pre-desastre).

El desarrollo de una gestión controlada de la expansión principalmente urbana, haciéndose extensivo a todos los procesos que tengan repercusión sobre el territorio como la industria o la

agricultura. Para ello se exigen medidas preventivas tipo Planes Generales de Ordenación Urbana (P.G.O.U.), Planes Parciales (P.P.) que recojan las medidas propuestas por los diferentes organismos en materia de consideración, mitigación y prevención para la mitigación del riesgo de inundación. De los múltiples objetivos que adquiere la Ordenación Territorial éste resulta fundamental para conseguir una correcta gestión del riesgo. Procurar la utilización racional y equilibrada del territorio mediante la definición de usos admisibles y la potenciación de los adecuados en cada parte del mismo, la creación de las apropiadas infraestructuras y la adopción de medidas que incentiven o sean disuasorias de determinadas actividades, todo ello en función del objetivo indicado.

- Es un objetivo estratégico promover la cultura del acuerdo entre las distintas administraciones, mejorando la coordinación y la cooperación en las escalas verticales y horizontales de las administraciones y promoviendo pactos y acuerdos para las cuestiones transversales que afectan al territorio (Estrategia Territorial de la Comunitat Valenciana, 2012).
- En la gestión de los proyectos con especial incidencia en la ordenación territorial es prioritario incluir estudios profundos de la dinámica fluvial, la climatología, estudios hidrológicos e hidráulicos e incluso documentos que consideren la evolución demográfica sobre el territorio para conocer aquellos espacios con el menor riesgo ante inundaciones.
- El factor “autoprotección”, entendiéndose como: “conjunto de acciones encaminadas a la protección, realizadas por uno mismo, para sí mismo (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2016 [online]) supone un pilar básico para enfrentarse al riesgo de inundación. Entre las muchas medidas a tomar en cuanto a la autoprotección podemos destacar las siguientes como más representativas y de ejecución sencilla.
  - Informarse acerca de las áreas inundables cercanas al lugar de residencia.
  - Informarse sobre las predicciones meteorológicas sobre su comunidad autónoma o acudir a la predicción local.
  - Acopio de material en vísperas de sufrir inundaciones tales como linternas, velas, transistores, botequín médico, almacenar alimentos no perecederos y agua.
  - Ubicación, a ser posible, fuera del alcance del agua de los bienes de valor. Desconectar durante el evento los aparatos electrónicos.
  - Prever o tener salida de evacuación fácil y rápida en caso de inundación. No situarse en punto por debajo del nivel de calle (sótanos, garajes subterráneos, etc.) donde el agua tenga mayor facilidad de llenado.
  - Tener conocimiento de la/las ruta/as más accesible/es y seguras en caso de una evacuación. La instalación de señales indicando los lugares seguros facilitaría la tarea de evacuación y aminorando los problemas en inundaciones.
- Trasladando estas medidas de autoprotección a la zona de estudio deben considerarse las zonas resguardadas ante las inundaciones a las cuales acudir en caso de inundación. Cabe la posibilidad de no alcanzar zonas seguras ante las cuales se recomienda subir en altura de la vivienda, segundos o terceros pisos, dejando la planta baja despejada en medida de lo posible primando en cualquier integridad de la persona física.
- Otra medida de prevención que ha calado en los países septentrionales de Europa y en la costa NW del Pacífico como Japón (el cual posee un conocimiento y arraigo social a la cultura del riesgo) es precisamente el conocimiento del riesgo. La actitud de comprender, entender, analizar y percibir el riesgo como concepto y sus posibles efectos sobre la sociedad se basa en dotarla de confianza y seguridad para afrontar el riesgo desde una perspectiva razonada, consensuada y sobretodo ordenada. La implantación en los colegios de esta metodología en etapas tempranas asegura un mayor conocimiento y capacidad de gestión integral del riesgo conforme a los problemas generados en eventos catastróficos.
- La integración de la cultura y sociedad del riesgo requiere de la intervención de la administración pública para la toma de decisiones y de un aval económico que las respalde. Intrínsecamente el período de tramitación política es dilatado y costoso económicamente. En consonancia a la situación económica, se propone la elaboración de jornadas gratuitas y abiertas al público con el objetivo de que el riesgo arraigue en la sociedad como conocimiento general.

- Usos del suelo. Incorporar cultivos resistentes a las inundaciones en aquellas zonas rurales de alta peligrosidad con el fin de minimizar las pérdidas y la recuperación de la productividad rápidamente. En la parte media-baja del Iregua posibilitando la introducción de cultivos resistentes, siempre y cuando el consorcio de agricultores apruebe este tipo de medidas. Esta medida ha de estar respaldada por políticas de seguros que faciliten la recuperación económica en apoyo al agricultor.
- Gestión del riesgo. Establecer un parque mínimo de dispositivos capaces de hacer frente a las desavenencias producidas por una avenida. Herramientas como motobombas, vehículos especiales, herramientas de mano o incluso maquinaria pesada para la remoción de tierras como un autovolquete entre otras herramientas.
- La variable precipitación posee correlación con el cambio climático. Según el documento técnico VI del IPCC (Intergovernamental Panel on Climate Change), sobre EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL AGUA la tendencia del promedio mundial lineal es que el aumento de la precipitación es estadísticamente insignificante. Ello no exime que este organismo, en relación a los valores extremos de precipitación, cite que “Es muy probable que los episodios de precipitación intensa aumenten en frecuencia”. En base a este planteamiento cabe prepararse para afrontar este incremento de eventos extremos hecho que debe ser recogido en cualquier plan o directriz que vincule el territorio con el uso del agua o su gestión. Ejemplos de ello son los planes de gestión del espacio fluvial, el plan especial de protección civil ante inundaciones en Aragón, plan de protección civil ante el riesgo de inundaciones o plan de emergencia especial por inundaciones entre otros.

#### 9.1.2. Medidas de mitigación

En la mayoría del territorio las medidas actuales de prevención son insuficientes debido a la imprevisibilidad singular de los fenómenos climatológicos. A posteriori de la precipitación, e inundación, se ejecutan una serie de medidas cuyo objetivo es reducir o mermar las consecuencias de las intensas precipitaciones y para que futuras avenidas no resulten tan dañinas. Estas medidas promueven una mitigación de futuras inundaciones y no una prevención de las mismas. A su vez pueden desglosarse en medidas estructurales y no estructurales dependiendo de si tienen o no afectación directa sobre el terreno.

- Medidas estructurales

Reúnen una serie de actividades y actuaciones que presentan una repercusión física sobre el territorio o infraestructuras. Estas medidas tiene por objetivo principal la reducción de la peligrosidad del evento natural.

- Estructuras de protección. Los diques y motas son las principales medidas estructurales para aminorar los efectos de las inundaciones. Son numerosos los muros de contención dispuestos a largo del río Iregua. Son medidas estructurales que, en ocasiones, suscitan una falsa seguridad que debe ser atendida y remediada.
- Asentamiento de los pilares en los puentes que cruzan el río para evitar su descalce por acción erosiva del agua. La Confederación Hidrográfica del Ebro ya ejecutó medidas de mitigación del riesgo en el puente de la carretera LR-256 a la altura de Albelda de Iregua.
- Estructuras de protección directas. Este apartado engloba ejercicios tales como impregnar de pintura epoxi resistente al agua en las edificaciones, fortificación de los sótanos con cimentaciones especiales para evitar el colapso (Escudero Bueno; et al, 2010), sobreelvaciones de las viviendas por encima de la altura máxima esperada o dejar el primer piso deshabitado e impulsar las viviendas en primera planta.
- Medidas no estructurales.

Podemos referirnos a ellas como medidas enmarcadas en el cometido de la política, en materia de medidas para el desarrollo, los proyectos de legislación o regulación, incluyendo la recopilación de datos e información que permita la reducción del riesgo de inundación sin actuación física directa sobre el medio, territorio o infraestructuras (Escudero Bueno; et al, 2010). Ante las medidas más

destacables sobresale la legislación controlada y supeditada, por organismo competentes, de las zonas inundables y su política de flexibilidad ante el riesgo de inundación

- La elaboración cartográfica se presenta como una medida acorde al factor de vulnerabilidad por inundación a minimizar. Con una predicción de ocurrencia fiable, marcando los períodos de retorno, caudales y calados así como el espacio geográfico de inundación, la cartografía adquiere un papel de peso en la reducción del riesgo al zonificar parámetros de especial afectación a las personas e infraestructuras. El proceso cartográfico debe considerar las avenidas históricas así como los parámetros climáticos registrados por las estaciones de aforos y pluviómetros, con el objetivo de afianzar la calidad cartográfica y que la variable representada sea lo más fidedigna a la realidad. La guía del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) es un buen ejemplo que debe implementarse en los nuevos planes de gestión del espacio fluvial. Las propuestas de OT se postulan en las medidas de prevención, pero el uso reiterado de esta medida como medida de mitigación (post-evento) por parte del orden político-administrativo hace que se incluya de nuevo en las medidas mitigadoras no estructurales. Por parte del autor se desea que las propuestas de OT sean consideradas como acciones (pre-evento) y no como medida para excusarse cuando el evento haya ocurrido.
- La incorporación en los planes de emergencias de cartografía de puntos conflictivos para eventos de fuertes precipitaciones reforzaría el conocimiento de la zona de riesgo y ayudaría también a la evacuación fácil ordenada y organizada.
- La ordenación territorial aparece como principal medida. Anteriormente, en las medidas de prevención, se citó esta actuación como fundamental a pesar que en la realidad aparece como medida no estructural post-evento (vid. figura 1).
- Elaborar predicciones meteorológicas fiables y lo más ajustado posible a la escala analizada por parte de los organismos competentes.
- Flexibilización de las aseguradoras frente a los bienes dañados en las áreas catalogadas con riesgo. Agilizar el proceso de indemnización para una recuperación post-desastre rápida y ordenada. Facilitar, en medida de lo posible, el aspecto burocrático que debe acometer el perjudicado supone una reducción de la vulnerabilidad.
- Apostar por el uso de la teledetección para detectar el área de inundación. Además puede estimarse el valor económico de los cultivos, en función de su estado fenológico, antes y después del evento de inundación. Uso de tecnología como sensores LIDAR, ortofotografías o sensores radar para determinar zonas de mayor exposición a sufrir inundaciones a través de análisis morfológicos, dinámicas antrópicas, comunidades vegetales, etc.
- Una defensa ante inundaciones es dejar al río lo que es del río. Esta medida supone dar de nuevo al río lo que le perteneció. Para ello debe acometerse modificaciones en el DPH deslindándolo o bien estableciendo un “territorio fluvial”, retranqueando las defensas (medidas estructurales) construidas o expropiando, en medida de lo posible, determinados terrenos (Ollero et al, 2015).

De las medidas propuestas cabe enfatizar el uso de las medidas preventivas y mitigadoras no estructurales como principales estrategias para realizar una gestión del riesgo (vulnerabilidad, peligrosidad y exposición) ordenada y acorde a la problemática, cuyo objetivo es la preservación del territorio y la convivencia con el riesgo.

# VI

## REFERENCIAS

### **10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldalur, B. y Santamaría, M. (2002): *Realce de imágenes: Filtrado espacial*. Revista de teledetección, núm. 17, pp. 31-42.
- Alfie Cohen, Miriam y Méndez B. Luis H. (2000): *La sociedad del riesgo: amenaza y promesa*. Sociológica, México D.F. Año 15, 43, pp. 173-201.
- Ayala Carcedo, F.J. (2002): “Estrategias y medidas de mitigación del riesgo de inundación. Gestión de zonas inundables. En: Ayala-Carcedo, F.J. y Olcina Cantos, Jorge (Eds.), *Riesgos Naturales*. Editorial Ariel, pp. 977-996
- Beck, Ulrich (1997b): “Teoría de la sociedad del riesgo”. En J. Beriain (Ed.), *Las consecuencias perversas de la modernidad*, Anthropos, Barcelona.
- Casas Sainz, Antonio M.; Gil Imaz, Andres y Munoz Jiménez, Arsenio (2001): *La Rioja: geología y paisaje*. Zubía, Logroño, núm. 13, pp. 11-40.
- Castro, Verdu et al (1996): *El río Iregua en los municipios de Nalda y Albelda. Propuesta de restauración ecológica y paisajística*. Zubía, Logroño, núm. 8, pp. 137-165.
- Chuvieco, Emilio (2010): *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. Ariel Ciencia, Barcelona, 591 pp.
- Confederación Hidrográfica del Ebro (2006): *Plan hidrológico del río Iregua*. Confederación Hidrográfica del Ebro, Ministerio de Medio Ambiente. 112 pp.
- Confederación Hidrográfica del Ebro (2015): *Apéndice 1. Informe de caracterización a nivel de AR-PSI. Plan general de Gestión de Riesgo de inundación*. Demarcación hidrográfica del Ebro, MAGRAMA, 46 pp.
- Confederación Hidrográfica del Ebro (2015): *Informe sobre las avenidas del primer trimestre de 2015 en la cuenca del Ebro*. Demarcación hidrográfica del Ebro, MAGRAMA, 122 pp.
- Cuadrat, Jose M. y Vicente-Serrano, Sergio M (2008): *Características espaciales del clima en La Rioja modelizadas a partir de sistemas de información geográfica y técnicas de regresión espacial*. Zubía, Logroño, núm. 20, pp. 119-142.
- Del Pozo Grijalba, Milagros (1985): *Distribución de las residencias secundarias en La Rioja*. Berceo, Logroño, núm. 108-109, pp. 109-121.
- Díez Herrero, Andrés (2001): *Geomorfología e hidrología fluvial del río Alberche. Modelos y S.I.G. para la gestión de riberas*. Tesis doctoral, Madrid, 610 pp.
- Díez Herrero, Andrés (2002): “Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculo de caudales y calados”. En: Ayala-Carcedo, F.J. y Olcina Cantos, Jorge (Eds.), *Riesgos Naturales*. Editorial Ariel, pp. 921-952.
- Díez Herrero; A.; Laín Huerta, L. y Llorente Isidro, M (2008): *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. IGME, Madrid, 190 pp.
- Dirección General de Política Territorial (2006): *Elaboración del mapa geoquímico de la comunidad autónoma de La Rioja*. Gobierno de La Rioja, 148 pp.
- Fernández García, Felipe (2000): *Introducción a la fotointerpretación*. Ariel, Barcelona, 260 pp.
- Fernández Iglesias, Elena (Coord.) (2004): *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Estudios históricos y geomorfológicos (Borrador v4)*. INDUROT, Oviedo, 138 pp.
- Galván Plaza, Rogelio y Omedas Marguellí, Manuel (2011): *Principios de la gestión integrada por cuencas hidrográficas. Organismos de cuenca*. En Confederación Hidrográfica del Ebro (Editor), *Curso gestión de cuencas hidrográficas*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2001, Zaragoza, 513 pp.
- Giddens, Anthony (1997): *Sociology (3rd edition)*. Polity Press, Cambridge. 625 pp.
- Gil-Docampo, M.L.; Armesto, J. y Cañas, I. (2003): *Caracterización de vías rurales a partir de la visualización de imágenes Landsat TM y Spot P*. Revista de teledetección, núm. 19, pp. 19-29.

- Lasanta Martínez, Teodoro (1989): *Dinámica reciente del paisaje agrario en el bajo Iregua*. Cuadernos I. Geografía, Logroño, núm. 15, pp. 109-121.
- M. Lillesand, Thomas; W. Kiefer, Ralph y W. Chipman, Jonathan (2008): *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons, Chichester, 756 pp.
- M. Mather, Paul (2005): *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. 3rd edition*. John Wiley & Sons, Chichester, 442 pp.
- M.O.P.U.; M.A.P.A.; M.T.T.C.; y M.I.E. (1985): *Estudio de inundaciones históricas. Mapa de riesgos potenciales cuenca del Ebro*. Comisión nacional de protección civil, 1307 pp.
- Marcén Albero, C. y Ollero Ojeda, A. (2015): “Conocimiento geográfico aplicado a la cultura social del agua: las inundaciones”. En de la Riva, Juan; Ibarra, Paloma; Montorio, Raquel y Rodrígues, Marcos (Eds.), *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 245-255.
- Marquinez, J.; Díez, A.; Fernández, E.; Lastra, J. y Llorente, M. (2008): “Aspectos geomorfológicos en la modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico y el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables”. En Benavente, J. y Gracia, F.J. (eds.). *Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008*. X Reunión Nacional de Geomorfología, Cádiz, 2008. SEG, Universidad de Cádiz.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2011): *Curso. Gestión de cuencas hídricas. Organismo de cuenca*. Confederación Hidrográfica del Ebro, MAGRAMA, 513 pp.
- Mora Mur, D.; Ibarra Benlloch, P.; Ballarín Ferrer, D.; Echeverría Arnedo, M.T.; Losada García, J.A.; Ollero Ojeda, A.; Sánchez Fabre, M.: “Paisaje y SIG: Aplicación a los embalses de la cuenca del Ebro”. En de la Riva, Juan; Ibarra, Paloma; Montorio, Raquel y Rodrígues, Marcos (Eds.), *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 1133-1143.
- Muñoz Críado, Arancha y Domenech Gregori, Vicente (2012): *Comunitat valenciana 2030. Síntesis de la Estrategia Territorial*. Generalitat Valenciana, Valencia, 170 pp.
- Olcina Cantos, Jorge (2002): “Riesgos naturales y ordenación territorial”. En Ayala-Carcedo, F.J. y Olcina Cantos, Jorge (Eds.), *Riesgos Naturales*. Editorial Ariel, pp. 1235-1308.
- Olcina Cantos, Jorge (2006): *¿Riesgos naturales? I. Sequias e inundaciones. II. Huracanes, sismidad y temporales*. DAVINCI, Barcelona, 219 pp.
- Ollero Ojeda, Alfredo; Acín Naverac, V.; Ballarín Ferrer, D.; Boné Puyo, P.; Díaz Bea, E.; Granado García, D.; Horacio García, J.; Ibáñez González de Matauco, A.; Mora Mur, D.; Sánchez Fabre, M. (2015): “Geografía y restauración fluvial”. En de la Riva, Juan; Ibarra, Paloma; Montorio, Raquel y Rodrígues, Marcos (Eds.), *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 1785-1795.
- Ollero Ojeda, Alfredo (2010): *Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain*. Geomorphology, vol. 117, núm. 3-4, pp. 247-260.
- P. Rice, Stephen; Church, Michael; L. Wooldridge, Colin y J. Hickin, Edward (2009): *Morphology and evolution of bars in a wandering gravel-bed river; lower Fraser River, British Columbia, Canada*. Sedimentology, núm. 56, pp. 709-736.
- Sánchez Martínez, Francisco Javier y Lastra Fernández, Javier (Coord.) (2011): *Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Gobierno de España, Madrid, 349 pp.
- Thorndycraft A, V.R.; Benito G. y Gregory, K.J. (2007). *Fluvial geomorphology: A perspective on current status and methods*. Geomorphology, vol. 98, núm. 1-2, pp. 2-12.
- Uribelarrea, D.; Díez Herrero, A. y Benito, G. (2004): “Actividad antrópica, crecidas y dinámica fluvial en el sistema Jarama-Tajo”. En Benito, G. y Díez Herrero, A. (Eds.), *Itinerarios geomorfológicos por Castilla-La Mancha. Excursiones de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología*. Sociedad Española de Geomorfología y CSIC, Madrid, 160 pp.

- Vera, José Antonio y Lorenzo, Enrique (2011): *El Vuelo Americano de 1956 en la cuenca del Segura*. Confederación Hidrográfica del Segura, Oficina de Planificación Hidrológica, Murcia, 55 pp.
- Verdú Castro, Julio; Fuente Villar, Encarnación y Irastorza Aldasor, Mariá Teresa (1996): *El río Iregua en los municipios de Nalda y Albelda. Propuesta de restauración ecológica y paisajística*. Zubía, Logroño, núm. 8 pp. 137-165.

### Bibliografía en red

- ASTER Spectral Library. Consulta [19/10/2016]. Disponible en web [<http://speclib.jpl.nasa.gov/>].
- Glosario hidrológico internacional (2012). Consulta [14/11/2016]. Disponible en [<http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002218/221862M.pdf>].
- Instituto estadística de La Rioja (2014): *Principales características demográficas de La Rioja 2013 (capítulo 2)*. Gobierno de La Rioja. Consulta [8/08/2016].
- Ministerio de Fomento (2014): *El Instituto Geográfico Nacional pone a disposición del público cerca de 48.500 mapas manuscritos a través de su web*. Consulta [14/07/2016]. Disponible en web [[http://www.fomento.gob.es/mfom/lang\\_castellano/gabinete\\_comunicacion/noticias1/2014/octubre/141017-01.htm](http://www.fomento.gob.es/mfom/lang_castellano/gabinete_comunicacion/noticias1/2014/octubre/141017-01.htm)].
- Página oficial de Andrés Díez Herrero. Consulta [1/11/2016]. Disponible en web [<http://andres-diezherreiro.es/web/riesgos/avenidas-y-riesgo-de-inundacion>].

# VII

## ANEXOS

**11. ANEXO I. GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**12. ANEJO II. FIGURAS DE REFERENCIA**

**13. ANEJO III. TABLAS DE REFERENCIA**

**14. ANEJO IV. PÓSTERS DEL PROCESO DE VULNERABILIDAD ACAECIDO EN LA PARTE MEDIA-BAJA DEL RÍO IREGUA EN FUNCIÓN DEL FENÓMENO DE INUNDACIÓN**

## ANEXO I

### 10. GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Abanico aluvial.** Depósito aluvial formado en una llanura o en un punto en el que disminuye la fuerte pendiente de un curso de agua (Glosario hidrológico Internacional, 2012).

**Aguas altas.** Máximo nivel de agua alcanzado en un curso de agua o en un lago durante una crecida o durante la explotación de un embalse (Glosario hidrológico Internacional, 2012).

**Barra central.** Acumulación de arena y grava situada en la parte central del cauce (Real academia de ciencias exactas, físicas y naturales, consulta 26/09/2016).

**Barra lateral.** Acumulación de arena y grava alineada paralelamente a la ribera de un río, en muchos casos en el margen convexo de un meandro (Real academia de ciencias exactas, físicas y naturales, consulta 26/09/2016).

**Barranco.** Curso de agua profundamente erosionado que solo fluye por escorrentía de tormentas y/o durante el deshielo (Glosario hidrológico Internacional, 2012).

**Canal de aguas bajas.** Cauce por el cual discurre el mínimo nivel de agua alcanzado durante una sequía (Glosario hidrológico Internacional, 2012).

**Canal de avenida.** Ensanchamiento del cauce que solo es ocupado en los períodos de crecidas (Glosario hidrológico Internacional, 2012).

**Cauce.** Estructura sedimentaria de carácter linear y principalmente erosivo producida por una corriente de agua que se preserva por un relleno sedimentario simultáneo o posterior a la misma corriente. (Real academia de ciencias exactas, físicas y naturales, consulta 26/09/2016).

**Derrame, lóbulo o cordones.** Conjunto de fragmentos de roca desplazados por la gravedad o por el efecto de los agentes atmosféricos, corrientes de agua, etc., hasta acumularse en las laderas o en la base de una zona inclinada (Real academia de ciencias exactas, físicas y naturales, consulta 26/09/2016).

**Dique.** Obra de defensa longitudinal (o transversal, como las presas) que se construye para resistir el empuje de las aguas y evitar que estas penetren en las zonas protegidas. Al contrario que las motas, no son permeables, se suelen construir de hormigón y se calculan estructuralmente como defensa, sobre todo, de núcleos urbanos (Demarcación Hidrográfica del Ebro, Julio 2015).

**Dominio Público Hidráulico (DPH).** Constituyen el Dominio Público Hidráulico del Estado (art. 2 Texto Refundido Ley de Aguas):

- Las aguas continentales, tanto las superficiales como las subterráneas renovables con independencia del tiempo de renovación.
- Los cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas.
- Los lechos de los lagos y lagunas y los de los embalses superficiales en cauces públicos.

**Escarpe erosivo.** Segmento abrupto de una ladera con tendencia al retroceso por erosión de diversos agentes erosivo (Real academia de ciencias exactas, físicas y naturales, consulta 26/09/2016)

**Fotointerpretación.** Es el proceso por el que se extrae la información contenida en la fotografía aérea.

**Geo Data Base.** Colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común, una base de datos de Microsoft Access o una base de datos relacional multi-usuario DBMS (ArcGIS help, consulta 29/09/2016).

**Geomorfología.** Estudio de la evolución del relieve de la superficie de la Tierra y sus causas (Real academia de ciencias exactas, físicas y naturales, consulta 26/09/2016).

**Hidrograma.** Es la gráfica que representa la evolución de los caudales circulantes a lo largo del tiempo en un tramo de río concreto; del mismo modo que el hietograma representa la precipitación registrada a lo largo del tiempo y el limnograma, la evolución de los niveles de agua en una sección de río determinada (Demarcación Hidrográfica del Ebro, Julio 2015).

**Levee (dique natural).** Pequeño banco aluvial contiguo a un cauce compuesto por sedimentos depositados por aguas de crecida que han desbordado los márgenes del cauce ““(Glosario hidrológico Internacional, 2012).

**Llanura aluvial.** Llanura formada por deposición de materiales aluviales erosionados en zonas más elevadas (Glosario hidrológico Internacional, 2012).

**Meandro.** Porción curva de un cauce sinuoso, consistente en dos giros consecutivos, uno en la dirección de las agujas del reloj y otro al contrario (Glosario hidrológico Internacional, 2012).

**Riesgo de inundación.** Combinación de la probabilidad de que se produzca una de inundación y de las posibles consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a una inundación (Directiva Europea de Inundaciones, artículo 2.2).

**Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI).** Es un instrumento de apoyo a la gestión del espacio fluvial, la prevención de riesgos y la planificación territorial cuya difusión contribuye a la transparencia administrativa (Demarcación Hidrográfica del Ebro, Julio 2015).

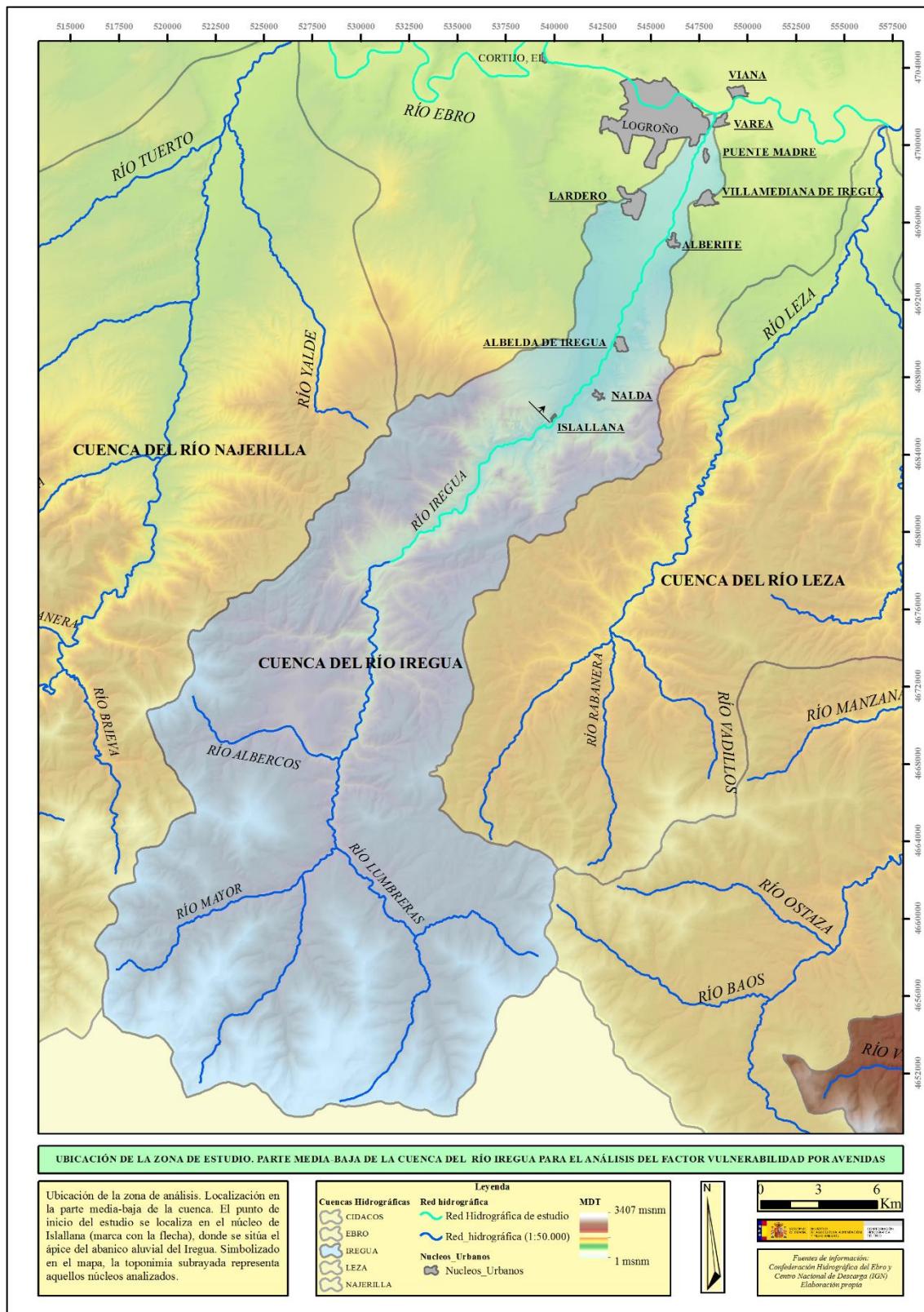
**Teledetección.** Adquisición de información o medición de alguna propiedad de un objeto o fenómeno mediante un mecanismo de medida que no está en contacto físico o directo con el objeto o fenómeno bajo estudio (Glosario hidrológico Internacional, 2012).

**Vulnerabilidad.** Conjunto de seres humanos y de actividades presentes en un territorio que pueden verse afectados por un peligro natural o tecnológico (Olcina, 2006).

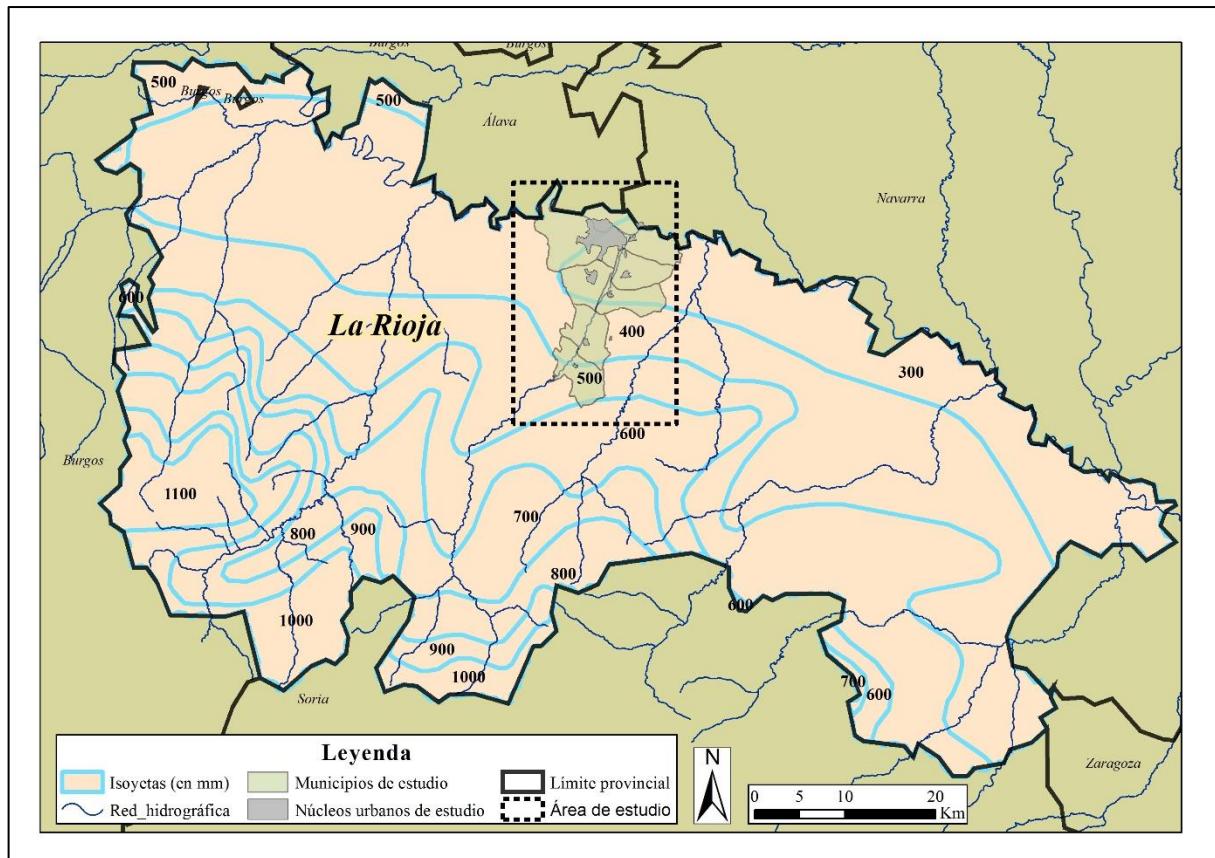
**Zona de Flujo Preferente (ZFP).** La zona de flujo preferente es aquella zona constituida por la unión de (1) la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas (zona o vía de intenso desagüe) y de (2) la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes (Zona de Inundación Peligrosa o de graves daños) (Demarcación Hidrográfica del Ebro, Julio 2015).

## ANEJO II

### 11. FIGURAS DE REFERENCIA



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de estudio. Parte media-baja del río Iregua. Elaboración propia.



**Figura 2.** Mapa de isoyetas de La Rioja. Elaboración propia.



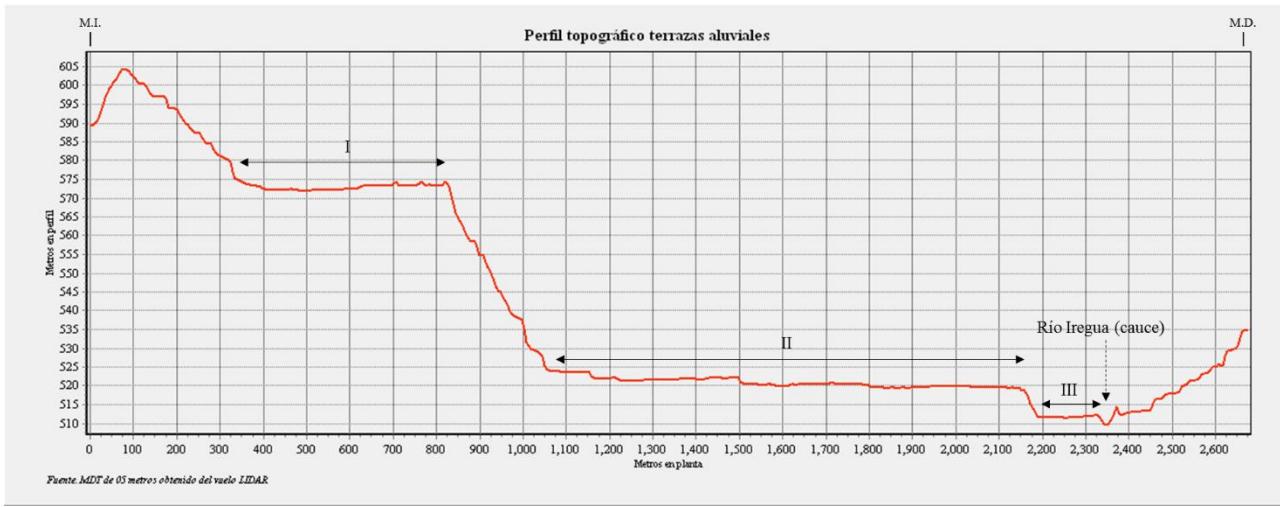
**Figura 3.** Puerta de Cameros. Situada a la altura de Islallana indica el inicio de la sierra de los Cameros que puede visualizarse en segundo plano. Fuente: Online [<http://mapio.net/a/18026829/>].



**Figura 4.** Peñas de conglomerados que marcan la salida fluvial y el punto de contacto de las sierras a la Depresión del Ebro en Nalda. El glacis arranca en la parte derecha Fuente: Online [<http://mapio.net/a/18026829/>].

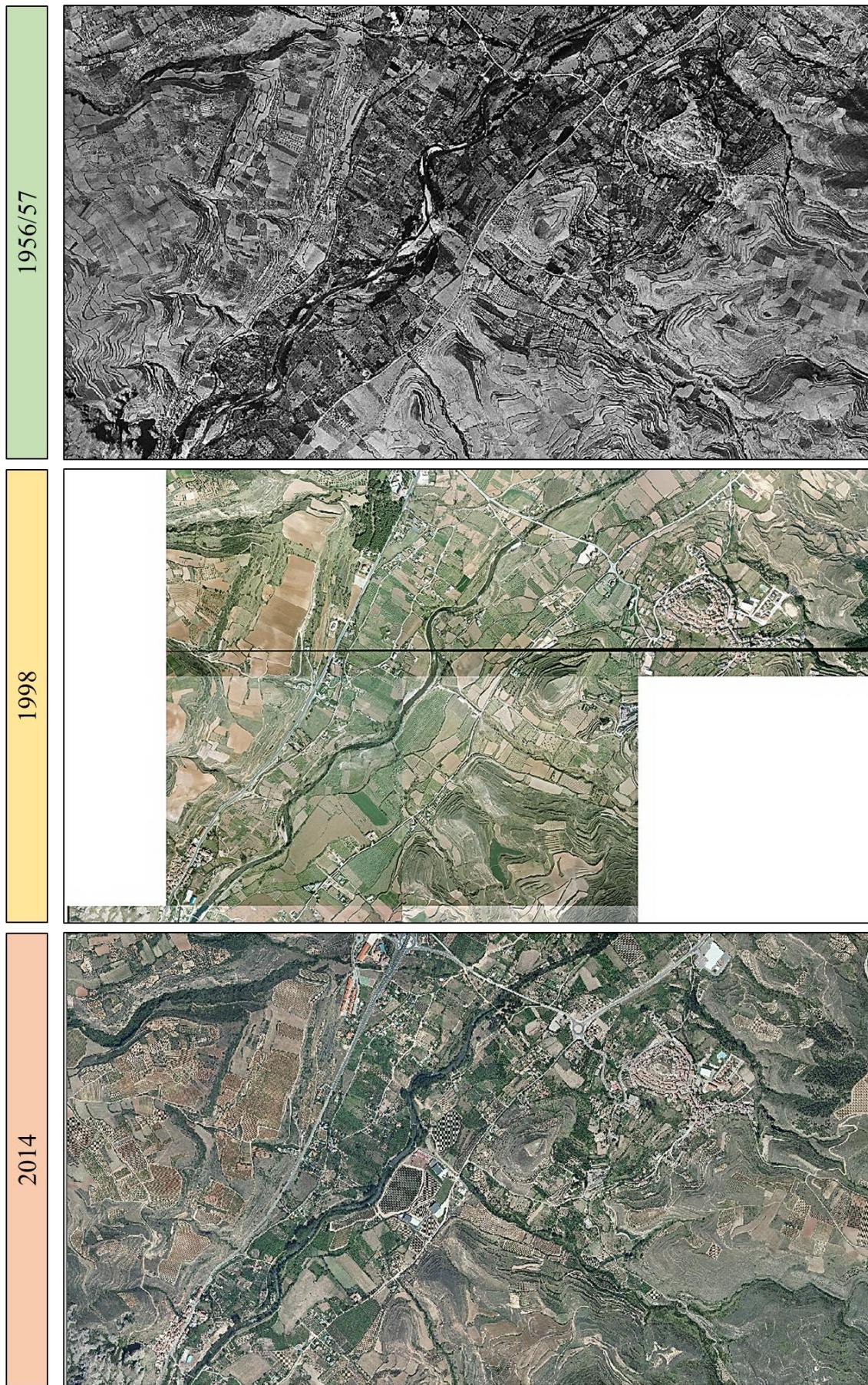


**Figura 5a.** Sección del río Iregua. Principal estructura que rige la morfología de la cuenca aluvial del Iregua. Corte transversal del Iregua entre los núcleos de Nalda y Albelda de Iregua. Elaboración propia.



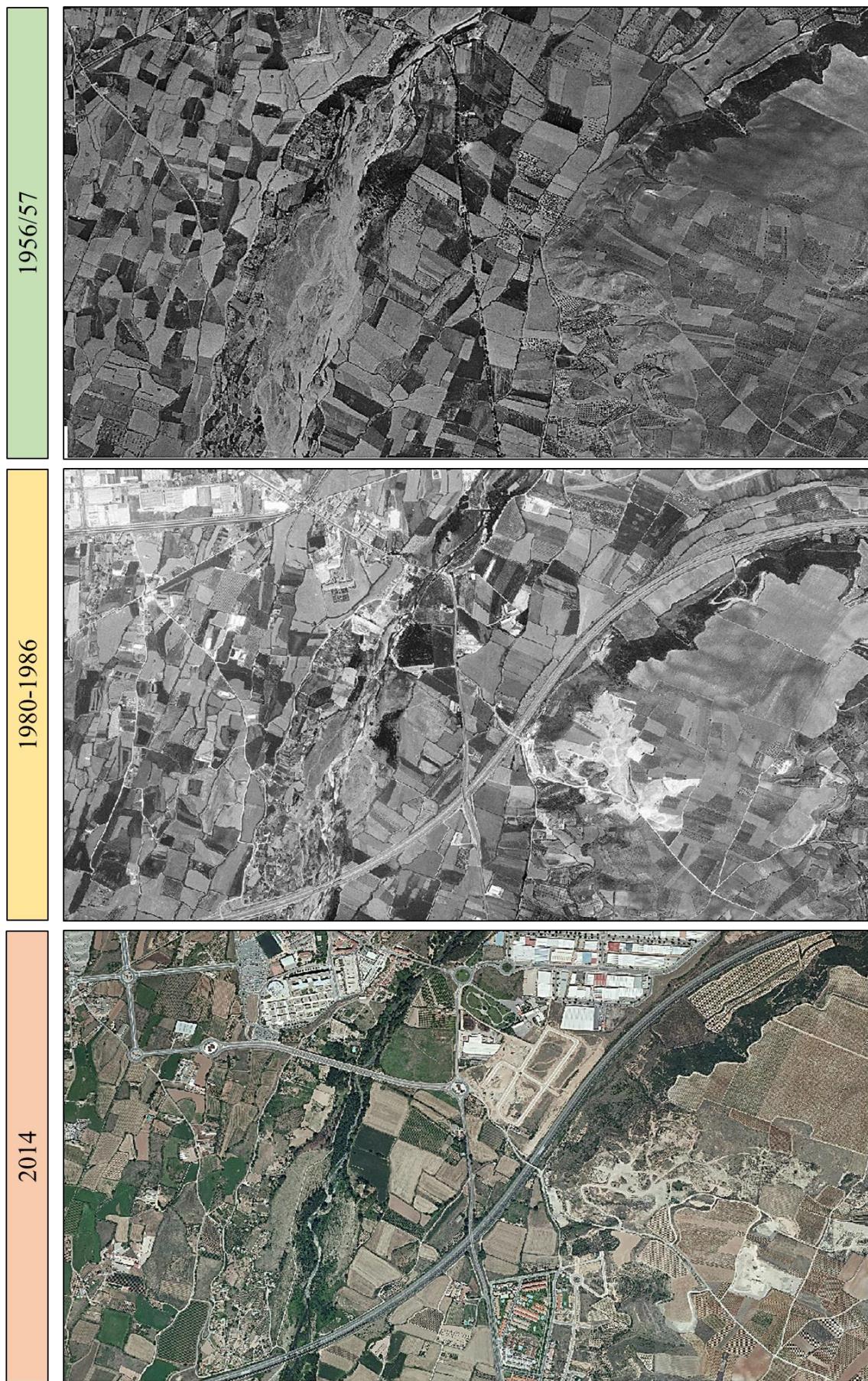
**Figura 5b.** Terrazas aluviales del Iregua. Puede diferenciarse hasta tres terrazas aluviales (I, II y III). Corte transversal del Iregua en el punto equidistante (aproximadamente) entre los núcleos de Albelda de Iregua y Alberite. Elaboración propia.

## Evolución de segundas residencias en el municipio de Islallana



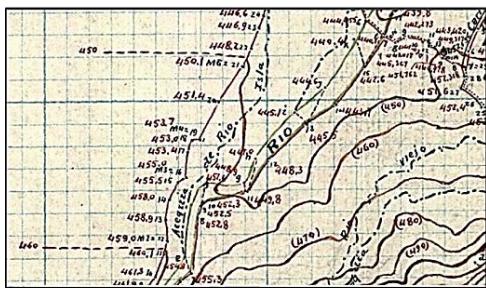
**Figura 6a.** Visualización del crecimiento de segundas residencias en el núcleo de Islallana. Elaboración propia a partir del IGN-CNIG.

## Evolución de segundas residencias en el entorno de Puente Madre

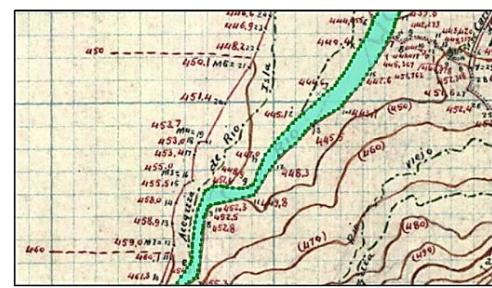


**Figura 6b.** Visualización del crecimiento de segundas residencias en el entorno de Puente Madre. Elaboración propia a partir del IGN-CNIG.

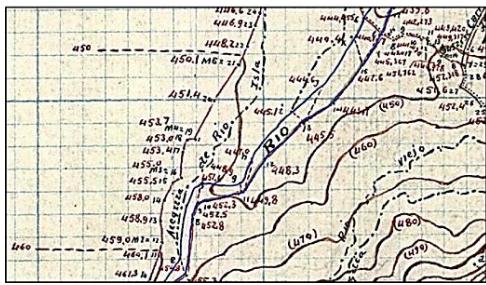
Río Iregua (minuta cartográfica)



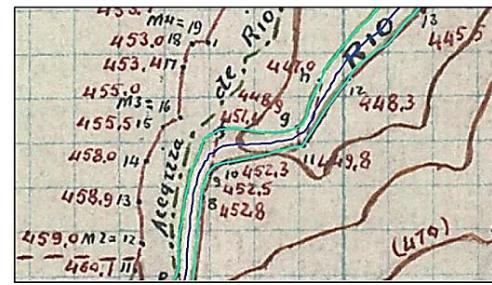
Digitalización



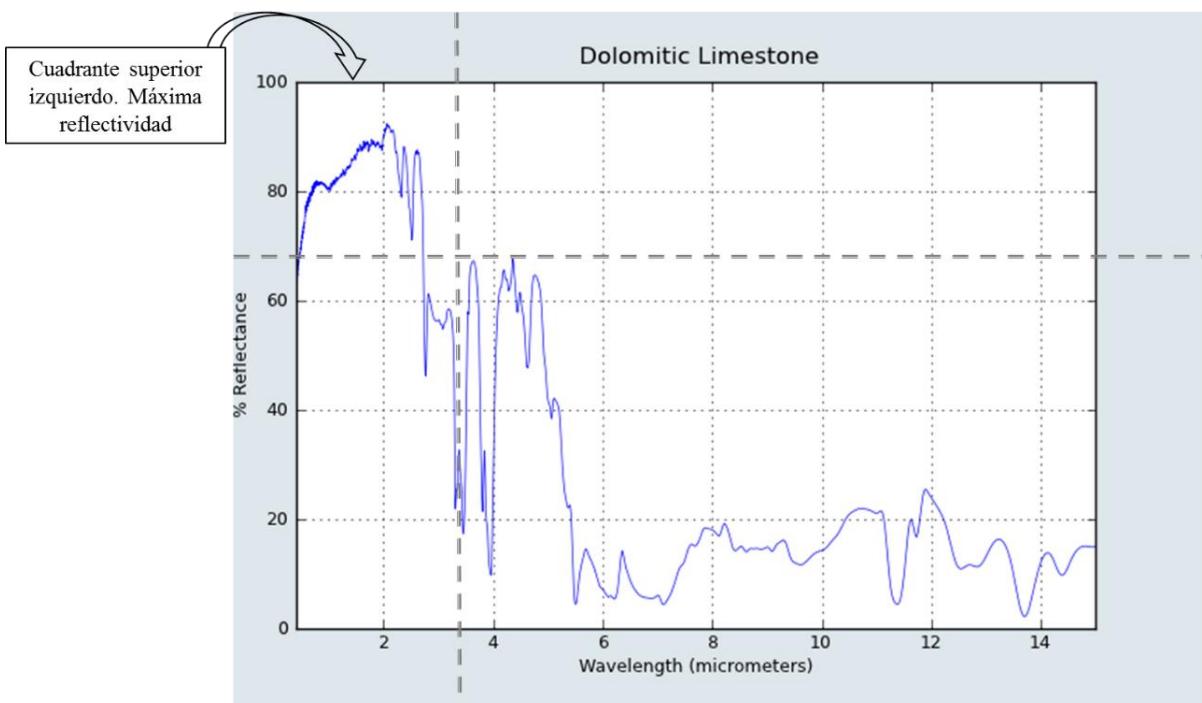
Convert to line



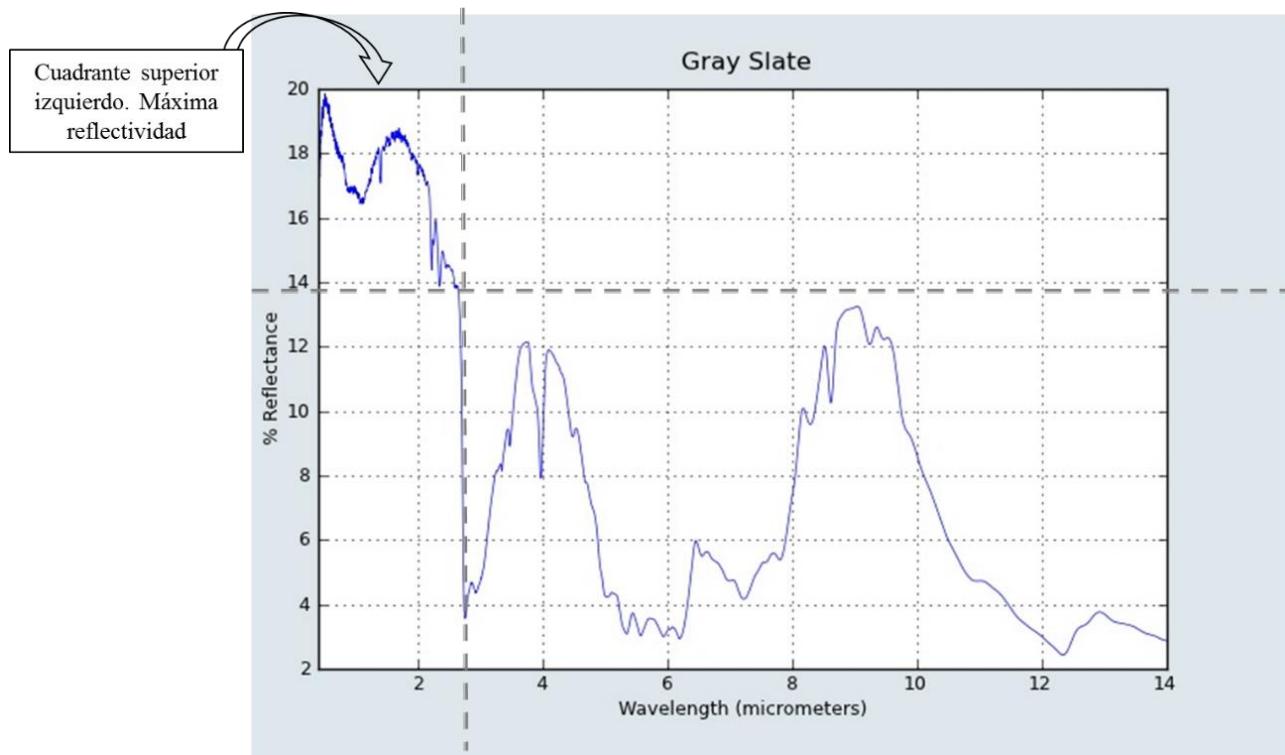
Collapse dual lines to centerlines



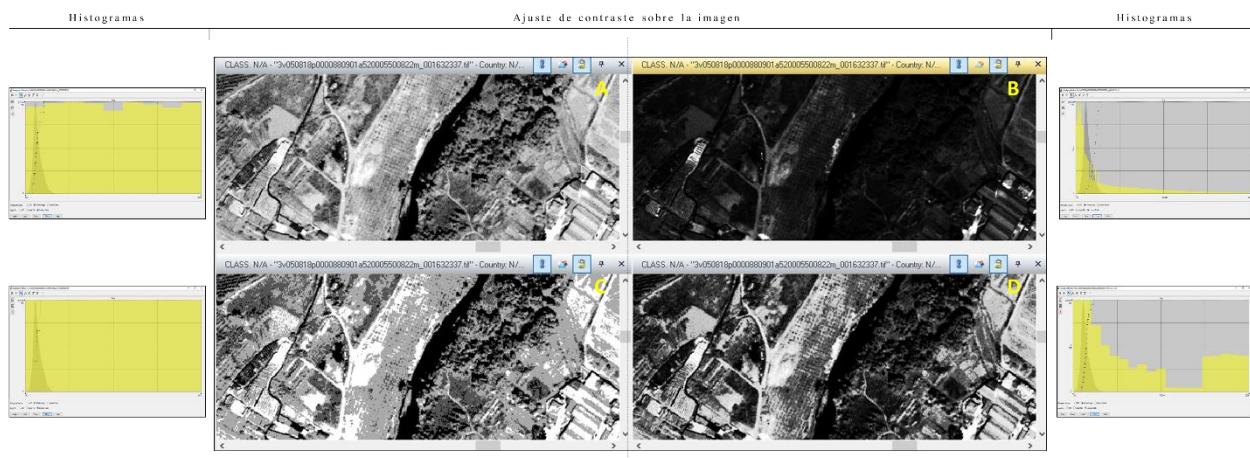
**Figura 7.** Criterios aplicados en la obtención del cauce en referencia a los manuscritos. Elaboración propia.



**Figura 8a.** Firma espectral de la Caliza. Obsérvese en que longitud de onda se produce la máxima reflectividad. Fuente: ASTER Spectral Library.



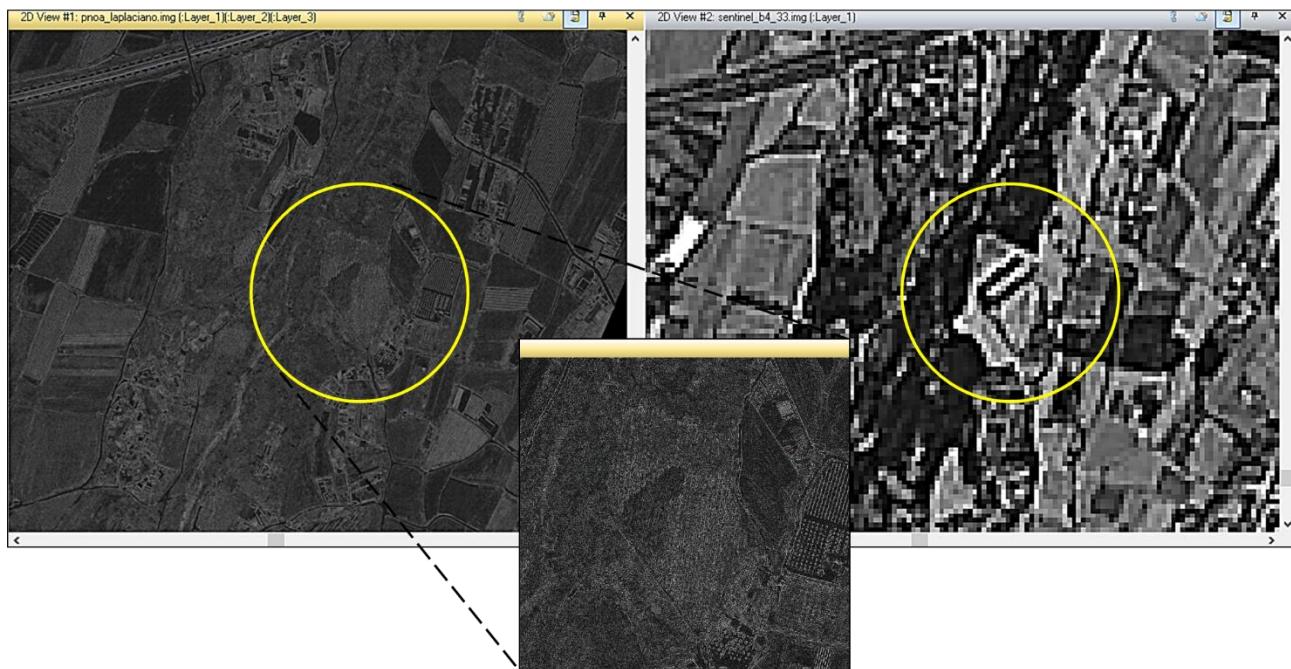
**Figura 8b.** Firma espectral de la Pizarra. Obsérvese en que longitud de onda se produce la máxima reflectividad. Fuente: ASTER Spectral Library.



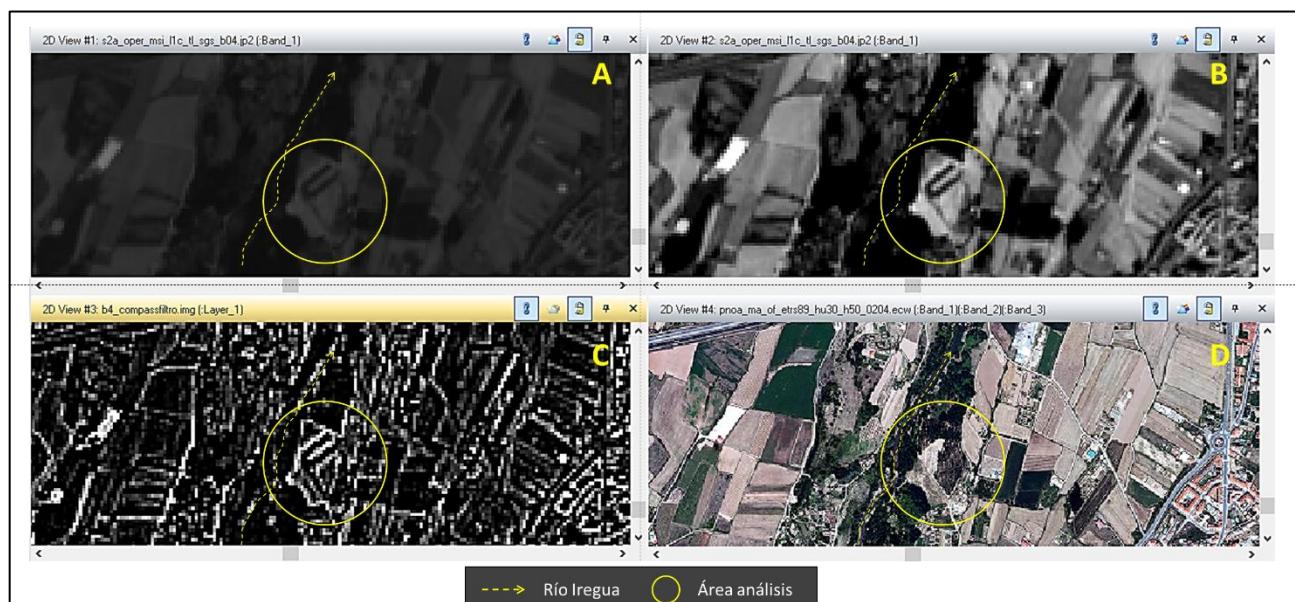
**Figura 9.** Aplicación de ajustes de contraste varios sobre la ortofografía. A- ajustes del histograma mediante “Histogram Equalization” (10 bins); B- “Contrast Adjust” (Gamma 4, Adjust 1.0); C- “Histogram Equalization” (4 bins) y D- ajuste del histograma mediante “Photography Enhancement”. Elaboración propia.

Filtro laplaciano sobre imagen del PNOA (2014)

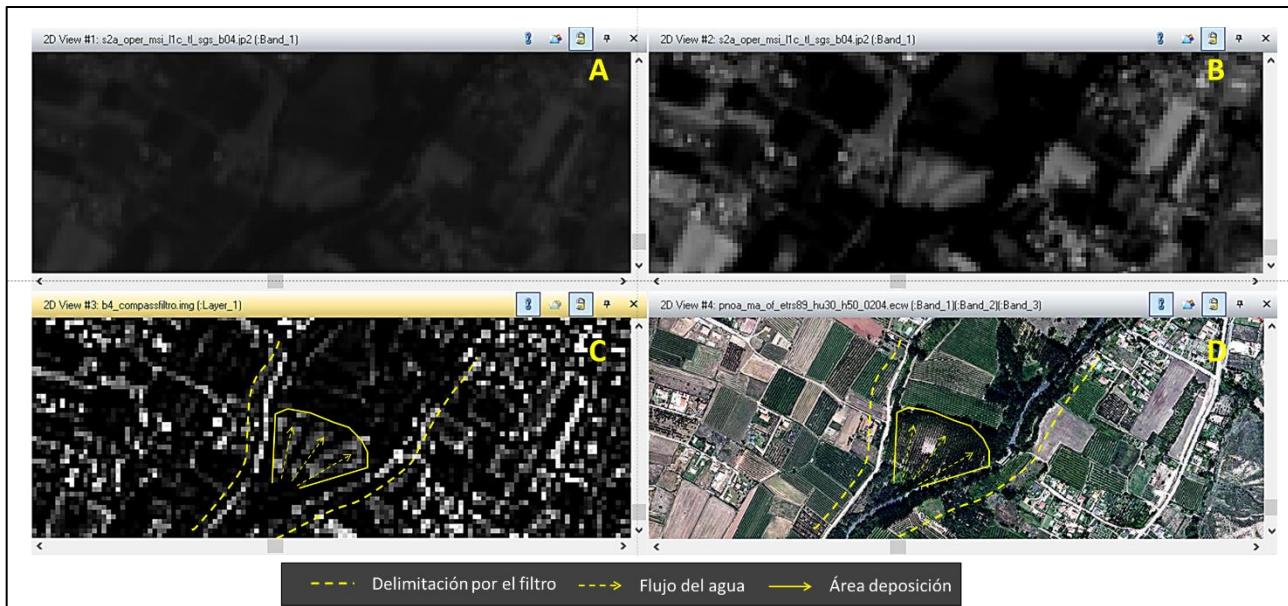
Filtro paso alto (3\*3) sobre la imagen Sentinel 2A (2016)



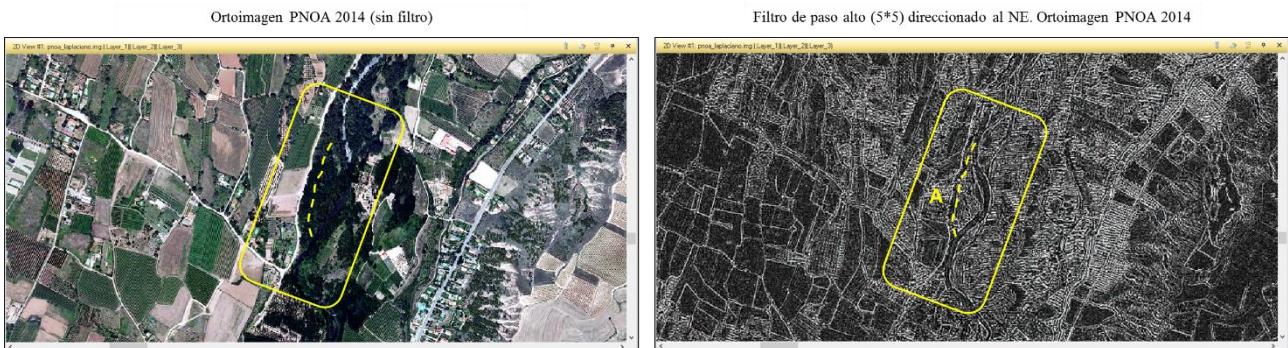
**Figura 10.** Estructura de una plantación de Chopos en la margen derecha del río Iregua. Obsérvese la diferencia que comporta la variación de resolución espacial. Elaboración propia.



**Figura 11.** Aplicación de filtros y ajustes para detectar deposiciones en las márgenes. A- imagen original; B- ajuste contraste de LUT (50% left y 1% right); C- filtro de Compass y D- PNOA 2014 (original). Elaboración propia.



**Figura 12.** Aplicación de filtros y ajustes para detectar deposiciones y estructuras fluviales. A- imagen original; B- ajuste contraste de LUT (50% left y 1% right); C- filtro de Compass y D- PNOA 2014 (original). Elaboración propia.



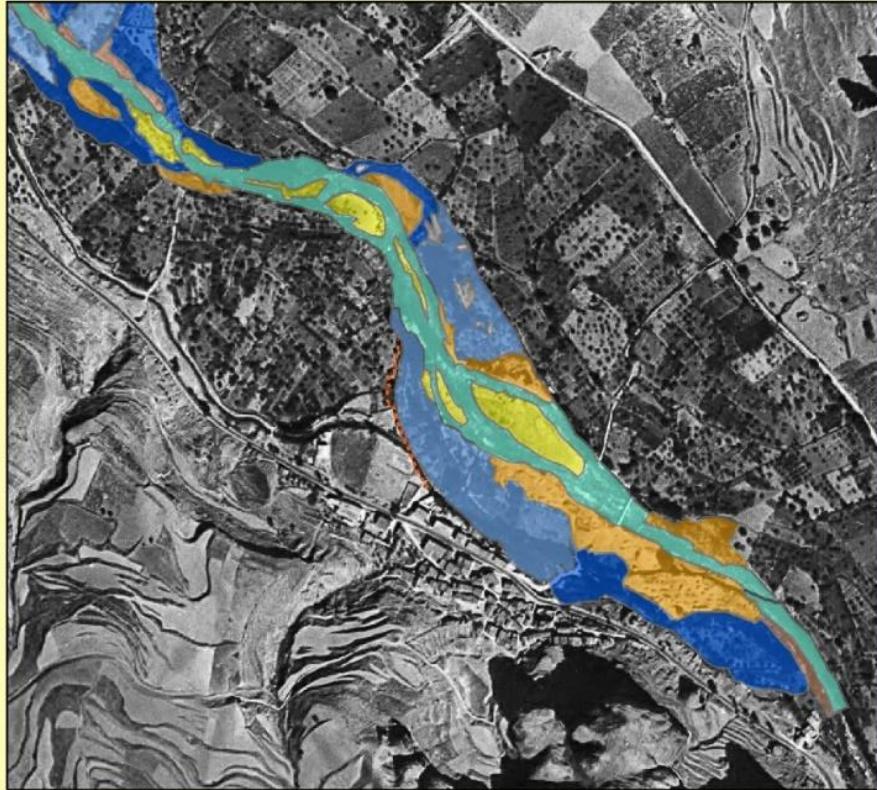
**Figura 13.** Aplicación de un filtro de paso alto (5\*5) sobre la ortofotografía de 2014. Obsérvese la distinción del cauce una vez aplicado el filtro. Elaboración propia.



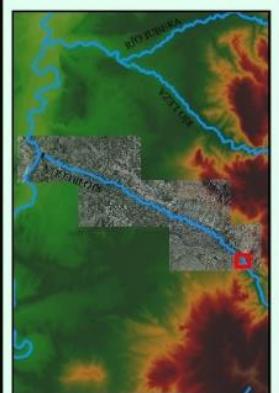
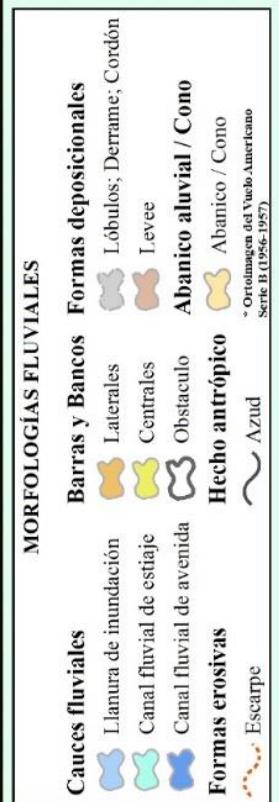
Consecuencias de la erupción del volcán Nevado Ruiz, Colombia (13 noviembre 1985). Ciudad de Armero antes y después del lahar que asoló la ciudad provocando la muerte a más de 23.000 habitantes. La fotointerpretación permite mostrar el alcance mínimo del lahar (colada de derrubios o mezcla de sedimentos) así como los principales daños ocasionados en las infraestructuras y campos adyacentes.

**Figura 14.** Ejemplo de uso para la fotointerpretación en la determinación del alcance de un desastre natural con grave afección territorial. Obsérvese el antes y después. Fuente: United States Geological Survey (USGS).

**DIGITALIZACIÓN DE LAS MORFOLOGÍAS FLUVIALES SOBRE ORTOIMÁGENES DEL VUELO AMERICANO (SERIE B) 1956-1957.  
TRAMO DEL TERMINO MUNICIPAL DE ISLALLANA**

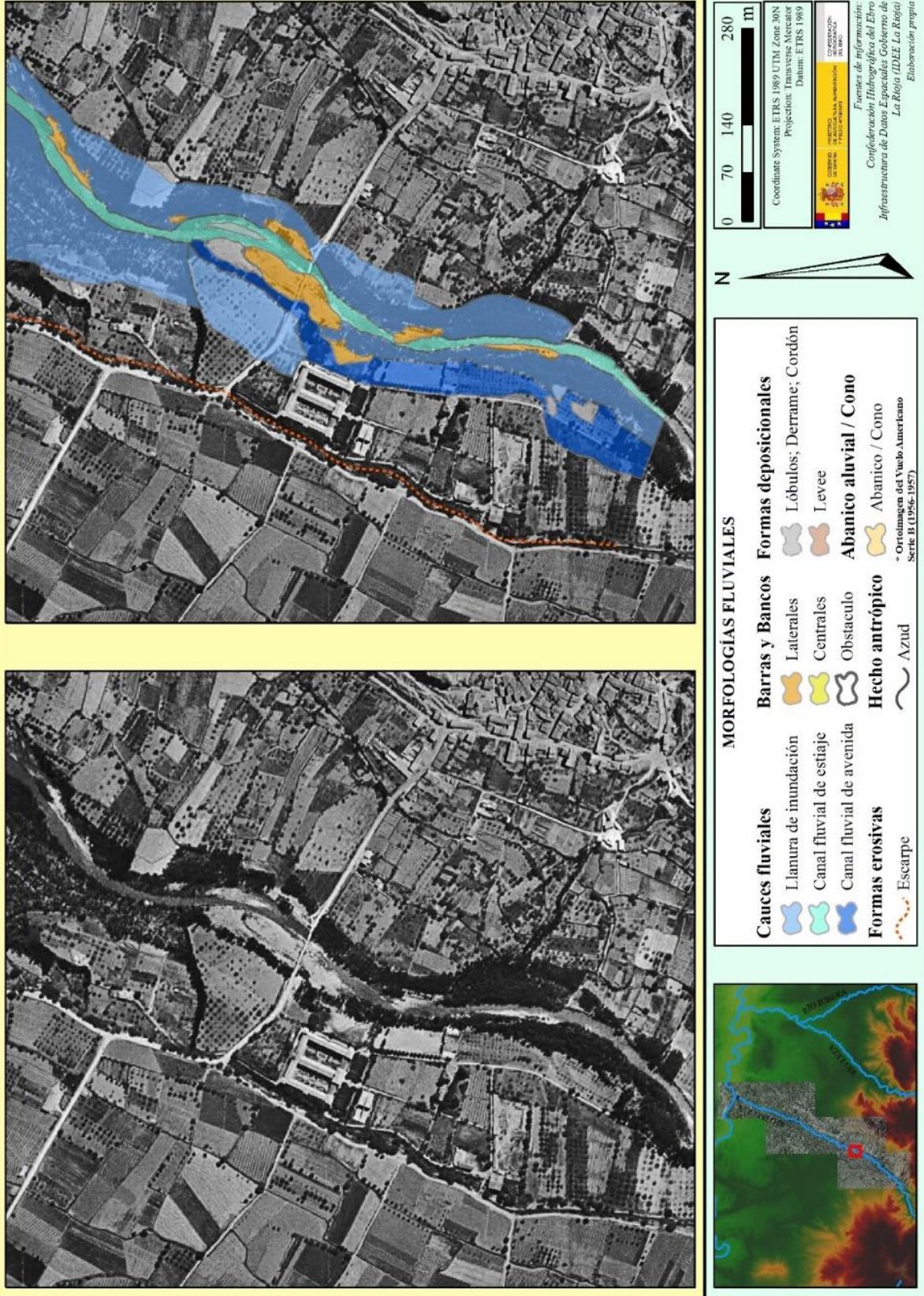


N  
0 70 140 280 m  
Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N  
Proyección: Transversa Mercator  
Datum: ETRS 1989  
COOPERACIÓN  
INTERINSTITUCIONAL  
CONSEJOS  
COSTEANOS  
DE AGUA Y AGRICULTURA  
Y MEDIO AMBIENTE  
Fuentes de información:  
Confección Hidrográfica del Ebro  
Infraestructura de Datos Espaciales Gobierno de La Rioja (IDEELa Rioja)  
Elaboración propia



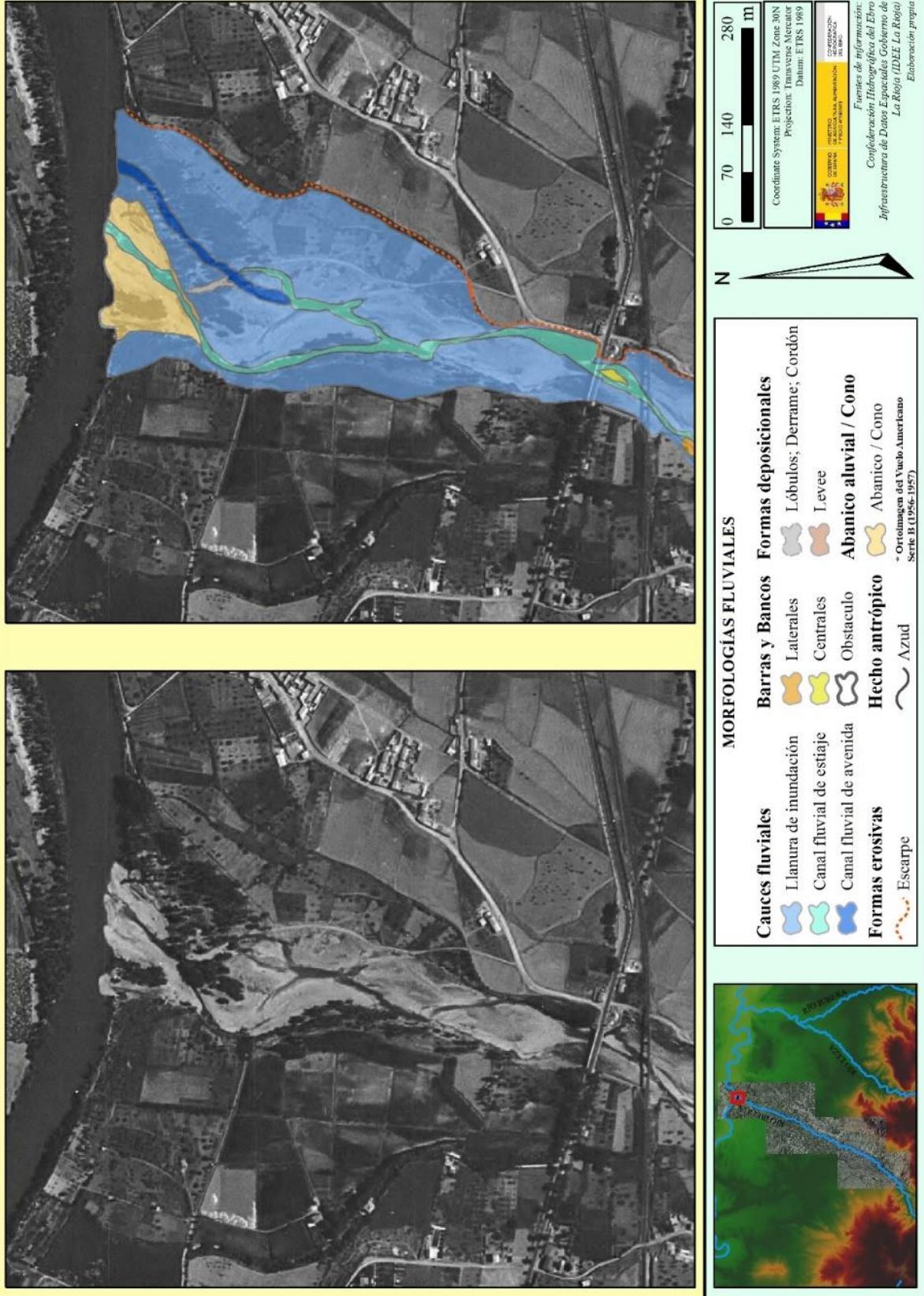
**Figura 15.** Cartografía hidro-geomorfológica en el núcleo de Islallana. Aplicación de criterios hidrológicos sobre la ortofotografía de 1956/57. Elaboración propia.

**DIGITALIZACIÓN DE LAS MORFOLOGÍAS FLUVIALES SOBRE ORTOIMÁGENES DEL VUELO AMERICANO (SERIE B) 1956-1957.  
TRAMO DE ALBELDA DE IREGUA Y LOS ESCOLAPIOS**



**Figura 16.** Cartografía hidro-geomorfológica en el núcleo de Albelda de Iregua (los Escolapios). Aplicación de criterios hidrológicos sobre la ortofotografía de 1956/57. Elaboración propia.

**DIGITALIZACIÓN DE LAS MORFOLOGÍAS FLUVIALES SOBRE ORTOIMÁGENES DEL VUELO AMERICANO (SERIE B) 1956-1957.  
TRAMO PARQUE FLUVIAL DEL RÍO IREGUA**

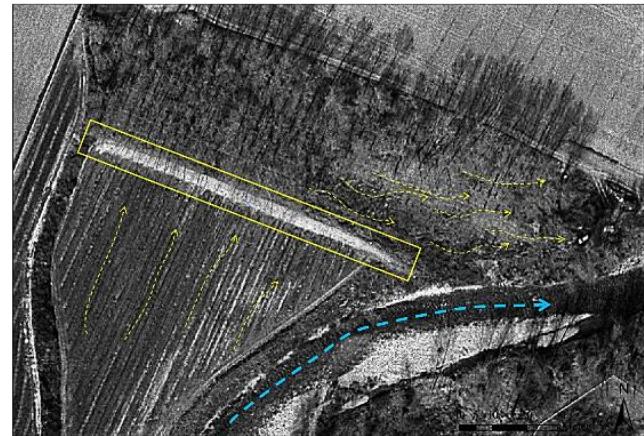


**Figura 17.** Cartografía hidro-geomorfológica en el Parque del río Iregua (desembocadura al Ebro). Aplicación de criterios hidrológicos sobre la ortofotografía de 1956/57. Elaboración propia.

RGB (color normal)

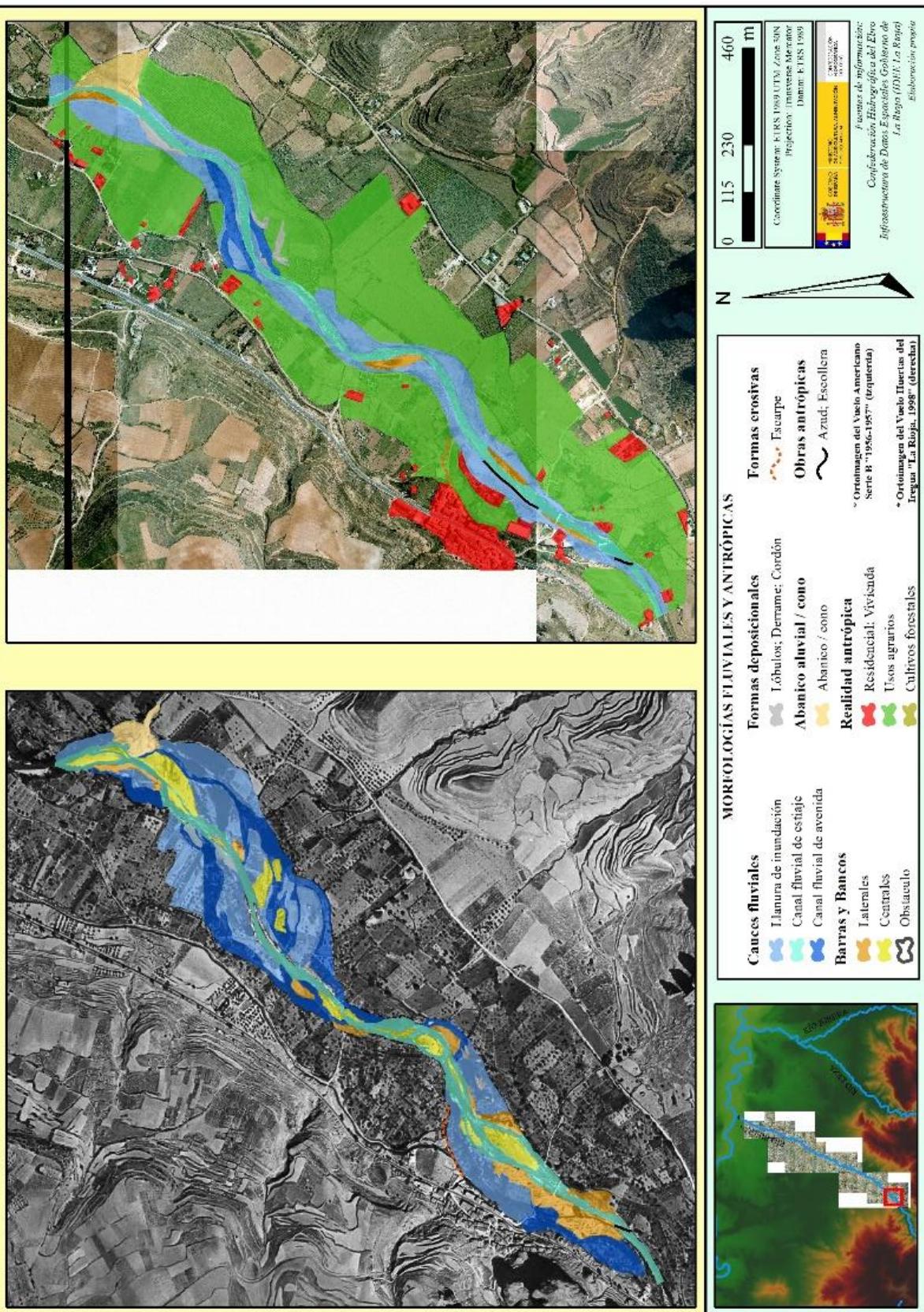


B/N (con ajuste de histograma)



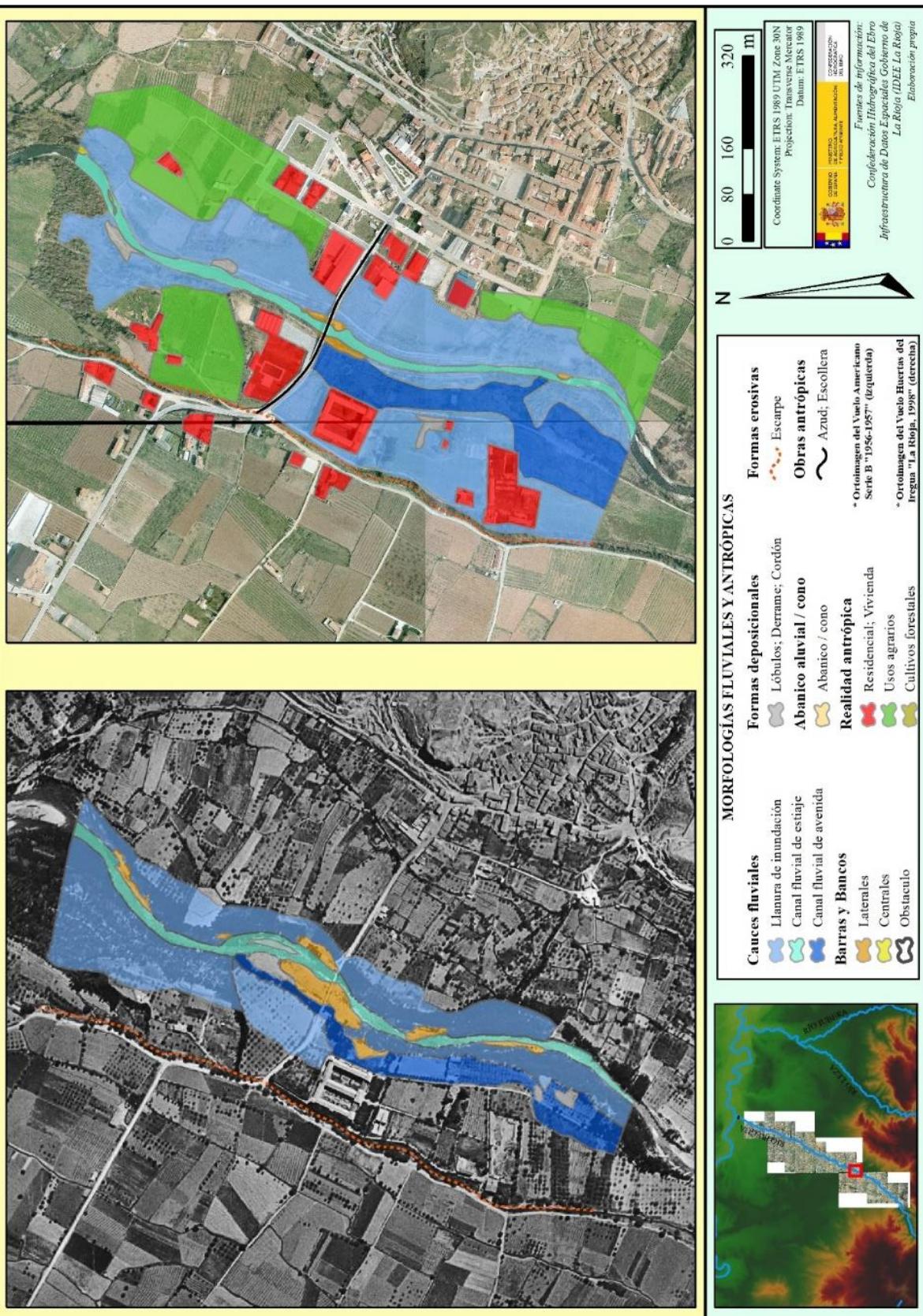
**Figura 18.** Barra o banco de cantos depositado por la pérdida de energía en flujo al atravesar los árboles, dispuestos transversalmente al flujo. Obsérvese la morfología longitudinal de la barra y su disposición ortogonal al flujo principal. Elaboración propia.

**DIACRONÍA EN LA CARACTERRIZACIÓN DE LA MORFOLOGÍA FLUVIAL Y ACTUACIONES ANTRÓPICAS EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE ISALLANA.**  
**LAPSO TEMPORAL 1956-1957 / 1998**

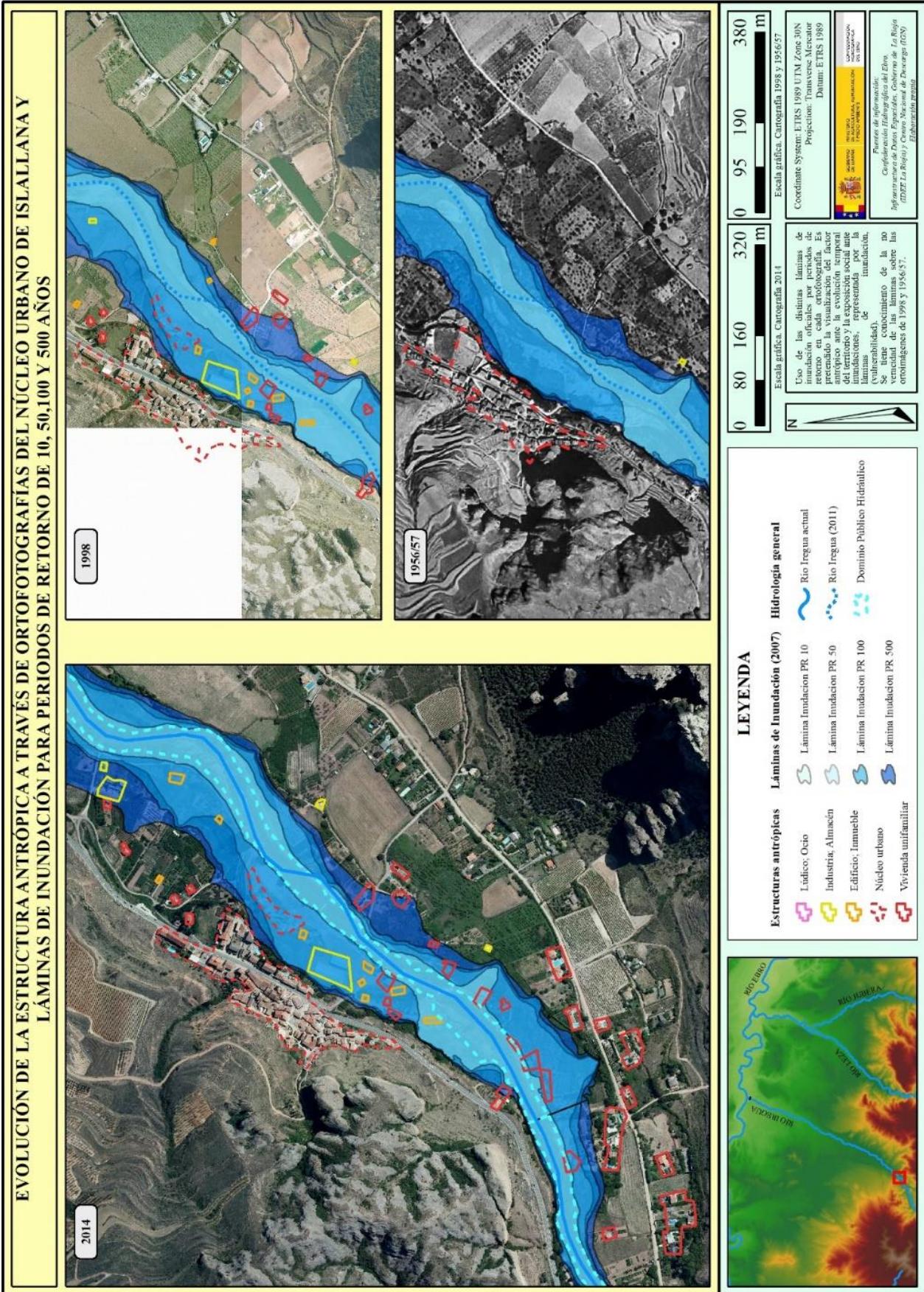


**Figura 19.** Variación de las morfologías fluviales 1956/1957-1998 en el núcleo de Islallana. Factor antrópico de 1998. Elaboración propia.

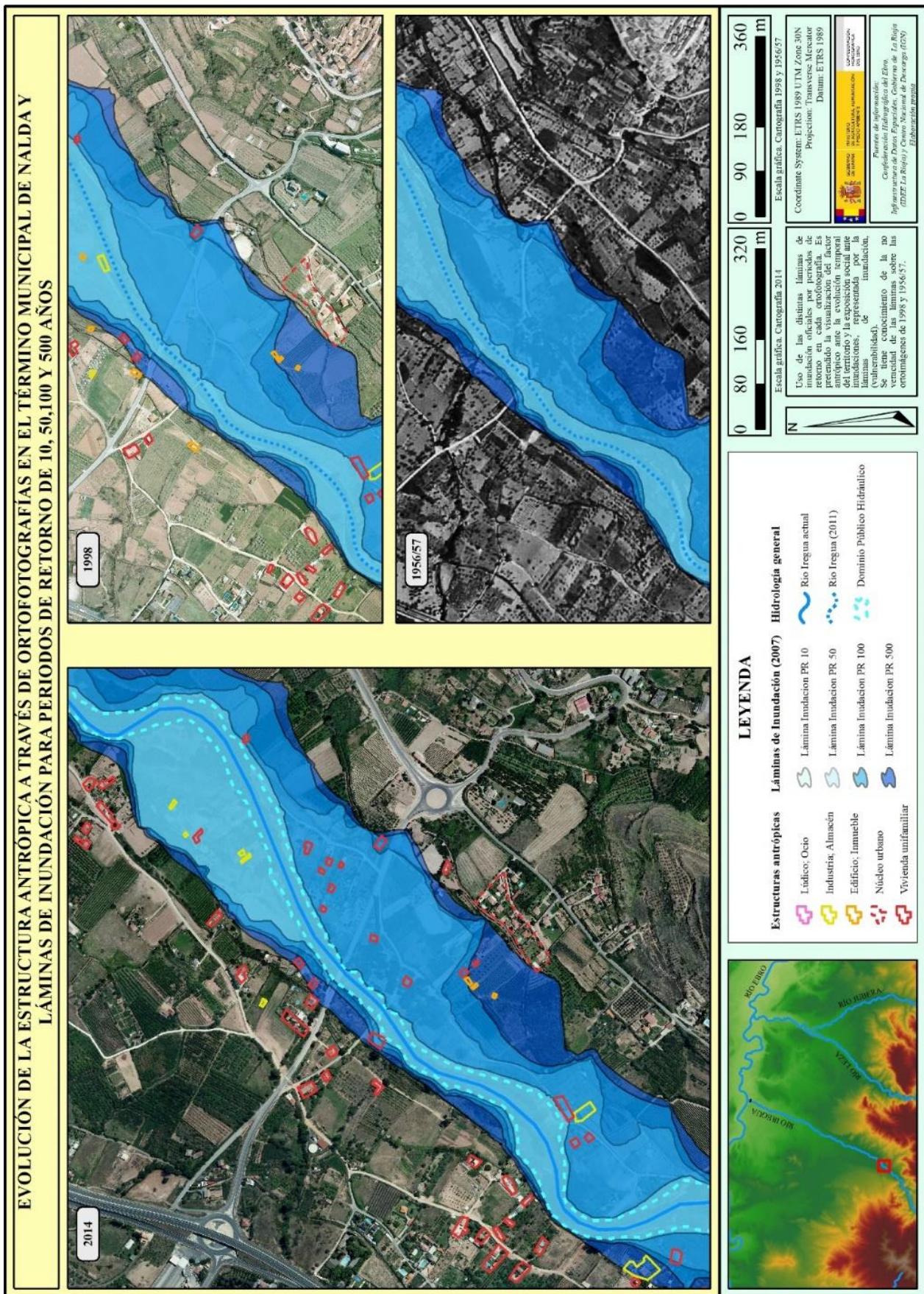
**DIACRONÍA EN LA CARACTEROZACIÓN DE LA MORFOLOGÍA FLUVIAL Y ACTUACIONES ANTRÓPICAS EN ALBELDA DE IREGUA Y LOS ESCOLAPIOS.**  
**LAPSO TEMPORAL 1956/1957 - 1998**



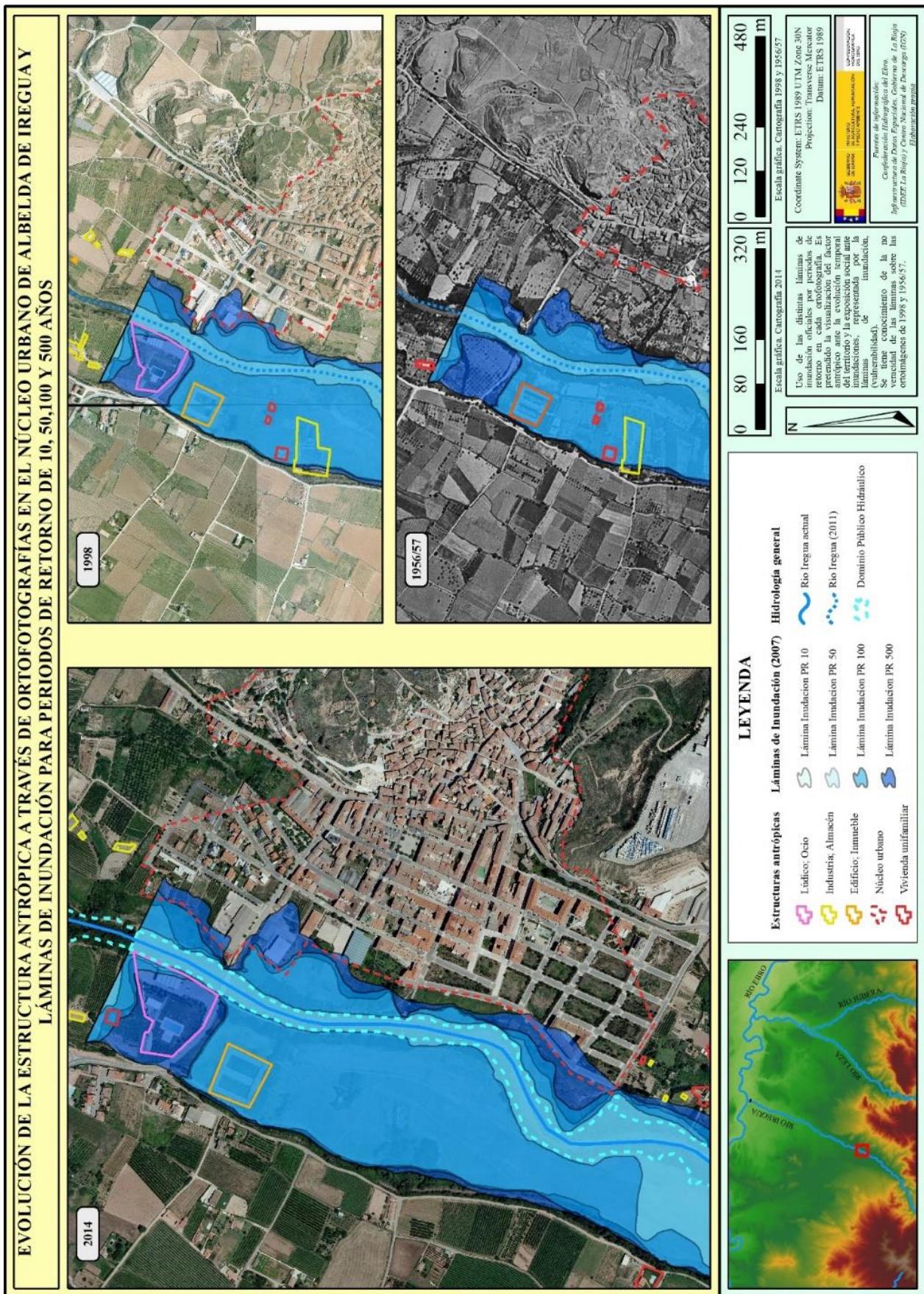
**Figura 20.** Variación de las morfologías fluviales 1956/1957-1998 en los Escolapios (Albelda de Iregua). Factor antrópico de 1998. Elaboración propia



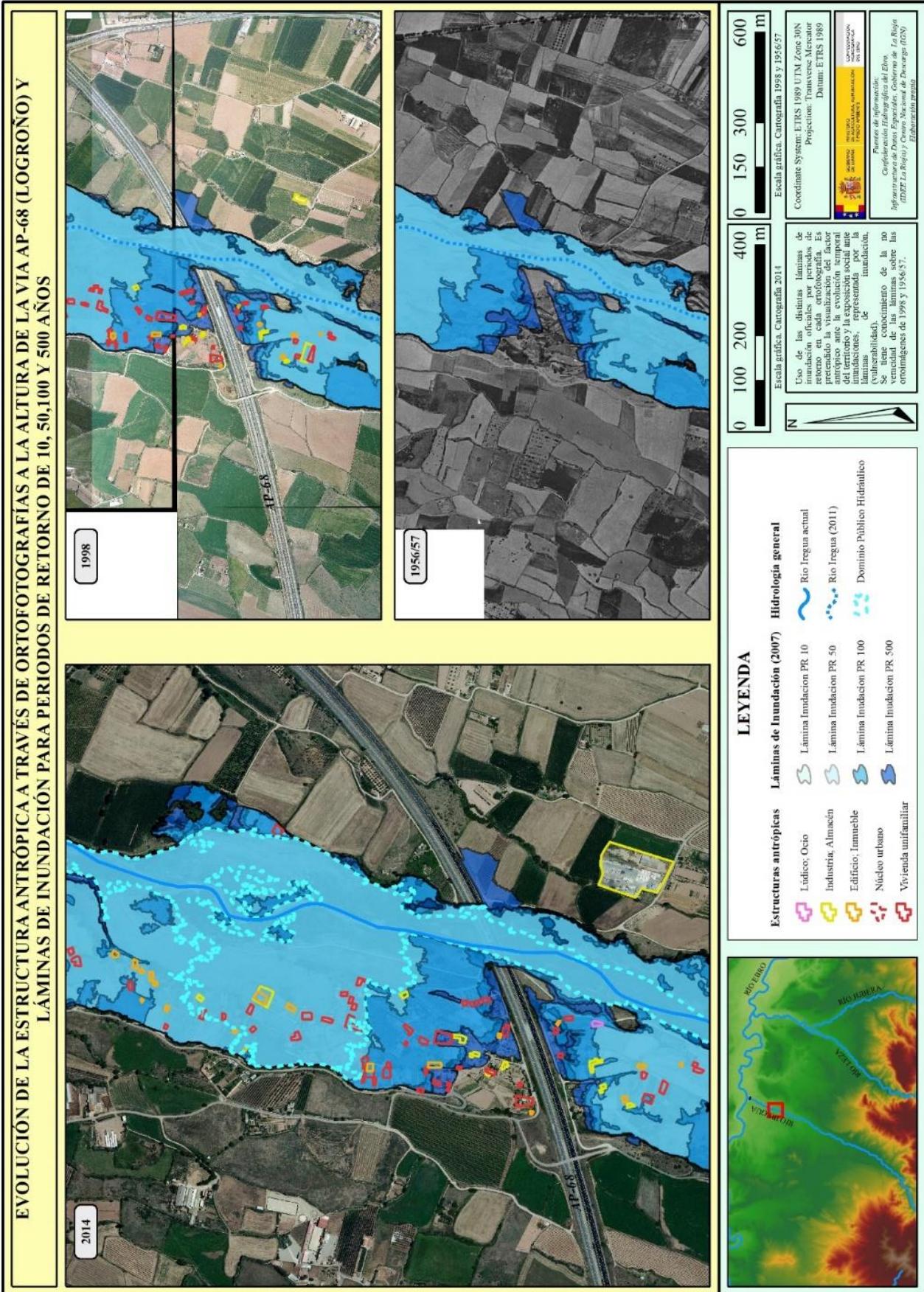
**Figura 21.** Evolución del factor antrópico sobre distintas ortofotografías y las láminas del DPH. Núcleo de Islallana. Elaboración propia.



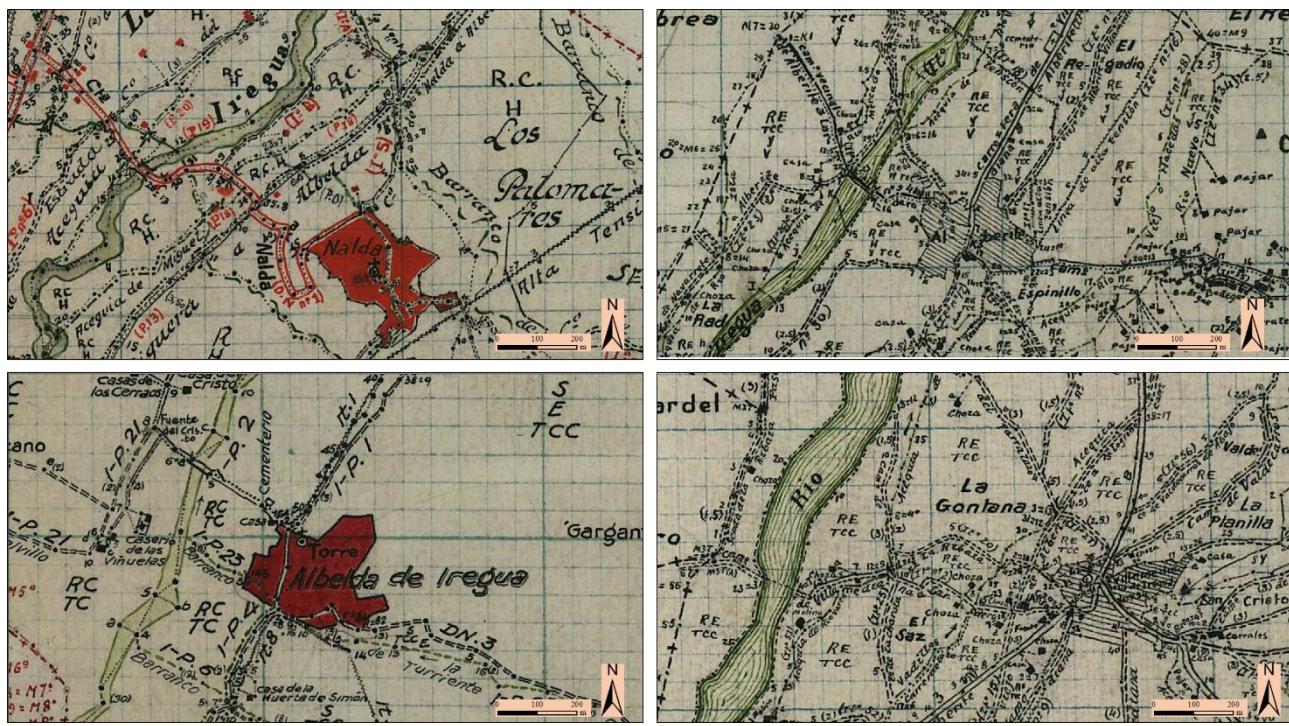
**Figura 22.** Evolución del factor antrópico sobre distintas ortofotografías y las láminas del DPH. Núcleo de Nalda. Elaboración propia.



**Figura 23.** Evolución del factor antrópico sobre distintas ortofotografías y las láminas del DPH. Albelda de Iregua y los Escolapios. Elaboración propia.



**Figura 24.** Evolución del factor antrópico sobre distintas ortofotografías y las láminas del DPH. Puente de la AP-68 (Logroño). Elaboración propia.



**Figura 25.** Ubicación de los núcleos de población respecto al río Iregua y las minutias cartográficas como base cartográfica. Elaboración propia.

### ANEJO III

#### 12. TABLAS DE REFERENCIA

**Tabla 1.** Aportaciones anuales y mensuales en varios puntos del río Iregua. Fuente: Plan hidrológico del río Iregua (C.H.E., 2006).

	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Anual
EA 142 (Lumbres en Lumbres)	1,59	3,85	6,48	8,61	7,98	8,58	8,22	8,46	6,74	3,21	1,39	0,83	65,94
EA 35 (Iregua de Villoslada)	4,2	7,77	13,27	17,55	17	18,76	18,23	18,44	14,56	7,24	3,56	2,54	143,12
EA 36 (Iregua en Islallana)	5,71	10,22	17,88	25,2	25,51	28,27	27,14	26,37	19,56	9,47	4,81	3,56	203,7
EA 39 (Albercos en Ortigosa)	0,52	0,82	1,44	2,04	2,02	2,29	2,33	2,39	1,82	1,13	0,7	0,48	17,98

**Tabla 2a.** SIOSE (2005). Parcelas (número de polígonos) y hectáreas de extensión en la cuenca del río Iregua (los 20 usos con mayor extensión). Elaboración propia a partir del SIOSE, 2005.

Año 2005				
Uso del suelo	Nº Polígonos	Hectáreas	Hectáreas (% del total)	
No Predefinida	1.643	69.530,55	82,8664	
Matorral	136	6.233,20	7,4287	
Cultivos Herbáceos distintos de Arroz	120	2.795,33	3,3315	
Pastizal	94	963,40	1,1482	
Viñedo	49	536,17	0,6390	
Frutales No Cítricos	52	444,21	0,5294	
Huerta Familiar	41	418,03	0,4982	
Ensanche	50	332,75	0,3966	
Embalses	2	286,33	0,3412	
Asentamiento Agrícola Residencial	53	244,06	0,2909	
Prados	19	229,29	0,2733	
Frondosas Caducifolias	17	217,83	0,2596	
Red Viaria	23	213,30	0,2542	
Coníferas	8	151,78	0,1809	
Polígono Industrial Ordenado	5	148,33	0,1768	
Afloramientos Rocosos y Roquedos	17	147,59	0,1759	
Casco	27	137,08	0,1634	
Minero Extractivo	5	132,76	0,1582	
Polígono Industrial sin Ordenar	14	115,38	0,1375	
Canchales	20	87,33	0,1041	

**Tabla 2b.** SIOSE (2011). Parcelas (número de polígonos) y hectáreas de extensión en la cuenca del río Iregua (los 20 usos con mayor extensión). Elaboración propia a partir del SIOSE, 2011.

Uso del suelo	Año 2011		
	Nº Polígonos	Hectáreas	Hectáreas (% del total)
No Predefinida	1.694	62.639,72	81,6874
Matorral	132	6.074,28	7,9214
Cultivos Herbáceos distintos de Arroz	115	2.905,83	3,7895
Pastizal	90	938,96	1,2245
Viñedo	48	525,33	0,6851
Frutales No Cítricos	48	420,35	0,5482
Ensanche	52	340,07	0,4435
Embalses	2	286,33	0,3734
Red Viaria	26	251,55	0,3280
Asentamiento Agrícola Residencial	57	245,80	0,3205
Huerta Familiar	21	234,18	0,3054
Prados	19	229,29	0,2990
Frondosas Caducifolias	15	208,91	0,2724
Coníferas	8	151,78	0,1979
Afloramientos Rocosos y Roquedos	17	147,59	0,1925
Polígono Industrial Ordenado	4	143,90	0,1877
Minero Extractivo	5	132,76	0,1731
Casco	28	131,83	0,1719
Polígono Industrial sin Ordenar	14	116,15	0,1515
Canchales	20	87,33	0,1139

**Tabla 3a.** SIOSE (2005). Parcelas (número de polígonos) y hectáreas de extensión en la comunidad de La Rioja (los 20 usos con mayor extensión). Elaboración propia a partir del SIOSE, 2005.

Año 2005			
Uso del suelo	Nº Polígonos	Hectáreas	Hectáreas (% del total)
No Predefinida	11.080	286.432,3	56,8148
Cultivos Herbáceos distintos de Arroz	2.455	72.584,27	14,3973
Matorral	1.386	60.709,02	12,0418
Viñedo	1.903	35.630,49	7,0674
Pastizal	662	9.047,62	1,7946
Frutales No Cítricos	898	8.044,12	1,5956
Frondosas Caducifolias	280	7.873,91	1,5618
Huerta Familiar	315	3.175,70	0,6299
Ensanche	475	2.432,82	0,4826
Red Viaria	215	2.154,62	0,4274
Olivar	163	1.842,89	0,3655
Casco	239	1.390,31	0,2758
Cursos de Agua	70	1.362,35	0,2702
Coníferas	48	1.252,64	0,2485
Polígono Industrial Ordenado	46	1.161,09	0,2303
Polígono Industrial sin Ordenar	118	1.010,78	0,2005
Prados	57	1.005,63	0,1995
Frondosas Perennifolias	32	762,13	0,1512
Embalses	15	706,79	0,1402
Minero Extractivo	48	636,59	0,1263

**Tabla 3b.** SIOSE (2011). Parcelas (número de polígonos) y hectáreas de extensión en la comunidad de La Rioja (los 20 usos con mayor extensión). Elaboración propia a partir del SIOSE, 2011.

Año 2011			
Uso del suelo	Nº Polígonos	Hectáreas	Hectáreas (% del total)
No Predefinida	11.599	291.078,54	57,7362
Cultivos Herbáceos distintos de Arroz	2.412	71.340,00	14,1505
Matorral	1.336	59.537,69	11,8095
Viñedo	1.867	35.247,75	6,9915
Pastizal	645	8.837,43	1,7529
Frutales No Cítricos	861	7.648,89	1,5172
Frondosas Caducifolias	263	7.621,76	1,5118
Ensanche	493	2.603,70	0,5165
Red Viaria	231	2.476,65	0,4913
Huerta Familiar	135	1.810,55	0,3591
Olivar	154	1.778,31	0,3527
Polígono Industrial Ordenado	56	1.671,85	0,3316
Casco	245	1.444,58	0,2865
Cursos de Agua	108	1.303,81	0,2586
Prados	55	987,11	0,1958
Polígono Industrial sin Ordenar	116	960,03	0,1904
Coníferas	37	866,16	0,1718
Embalses	17	707,08	0,1403
Minero Extractivo	51	676,61	0,1342
Industrial Aislada	187	563,94	0,1119

**Tabla 4.** Variación de la cota entre minutás y mdt\_05 para cada punto de control (en metros). Elaboración propia.

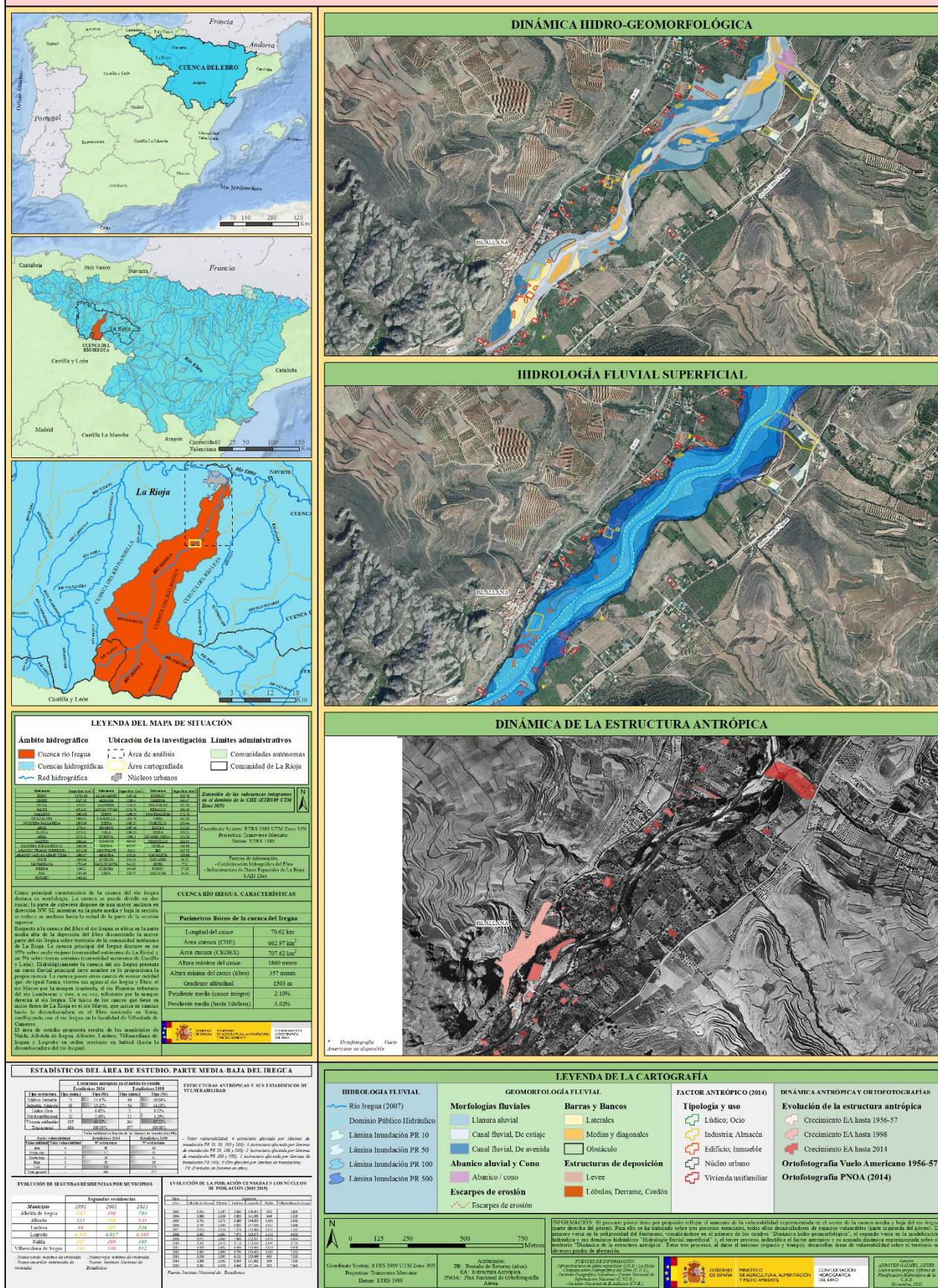
Punto (ID)	Z_minutás(topógrafos)	Z_mdt05(lidar)	Diferencia Z (minutás-mdt05)
0	573,800	715,807	-142,007
1	576,200	696,268	-120,068
2	575,900	611,071	-35,171
3	575,400	581,308	-5,908
4	574,500	569,926	4,574
5	571,800	566,525	5,275
6	566,500	564,160	2,340
7	564,600	561,267	3,333
8	561,000	559,768	1,232
9	558,100	556,803	1,297
10	554,800	554,168	0,632
11	553,100	550,190	2,910
12	551,300	550,255	1,045
13	542,000	546,460	-4,460
14	546,400	545,615	0,785
15	546,700	545,976	0,724
16	543,500	545,754	-2,254
17	542,900	547,330	-4,430
18	541,900	543,547	-1,647

Punto (ID)	Z_minutas(topógra-fos)	Z_mdt05(lidar)	Diferencia Z (minutas-mdt05)
19	541,700	540,645	1,055
20	540,800	543,596	-2,796
21	542,000	538,038	3,962
22	536,700	535,108	1,592
23	533,900	533,901	-0,001
24	531,700	529,902	1,798
25	529,400	528,465	0,935
26	527,300	526,561	0,739
27	525,400	524,157	1,243
28	521,800	521,465	0,335
29	520,200	519,676	0,524
30	517,600	518,647	-1,047
31	516,200	516,423	-0,223
32	514,900	512,982	1,918
33	514,500	512,044	2,456
34	556,900	548,714	8,186
35	546,000	544,063	1,937
36	547,600	545,185	2,415
37	543,400	539,276	4,124
38	534,500	530,721	3,779
39	623,800	580,891	42,909
40	1325,200	1269,230	55,970
41	652,100	632,383	19,717
42	544,300	545,852	-1,552
43	540,000	540,023	-0,023
44	536,600	533,722	2,878
45	533,400	529,167	4,233
46	527,500	523,676	3,824
47	586,700	589,110	-2,410
48	630,500	581,845	48,655
49	655,200	660,984	-5,784
50	643,500	649,788	-6,288
51	602,900	595,060	7,840
52	547,100	545,539	1,561
53	632,500	622,345	10,155
54	606,200	600,299	5,901
55	622,700	635,044	-12,344
56	633,500	806,153	-172,653
57	622,400	583,743	38,657

#### **ANEJO IV**

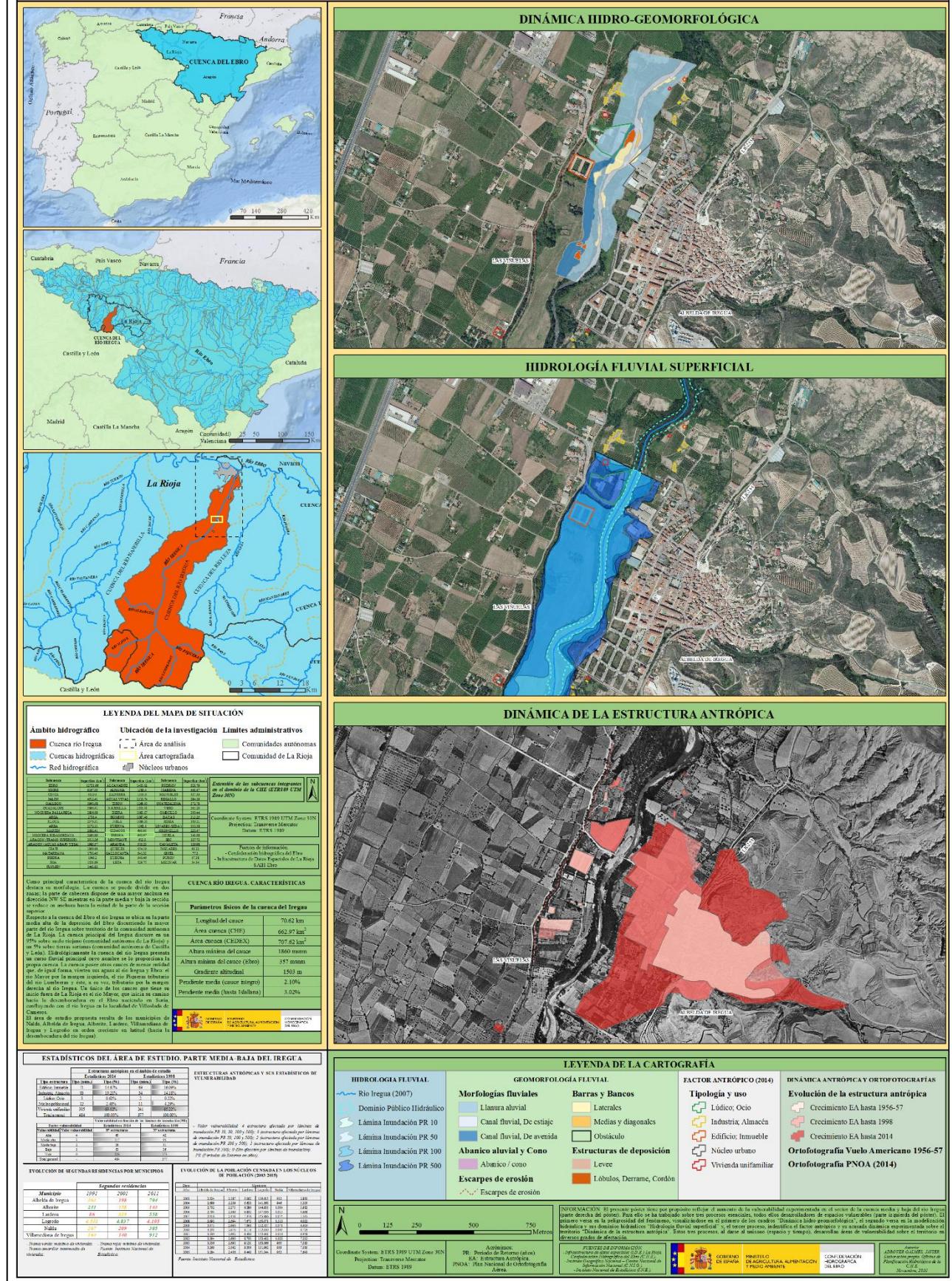
- 13. PÓSTERS DEL PROCESO DE VULNERABILIDAD ACAECIDO EN LA PARTE MEDIA-BAJA DEL RÍO IREGUA EN FUNCIÓN DEL FENÓMENO DE INUNDACIÓN.**

## ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO IREGUA. NÚCLEO DE ISLALLANA



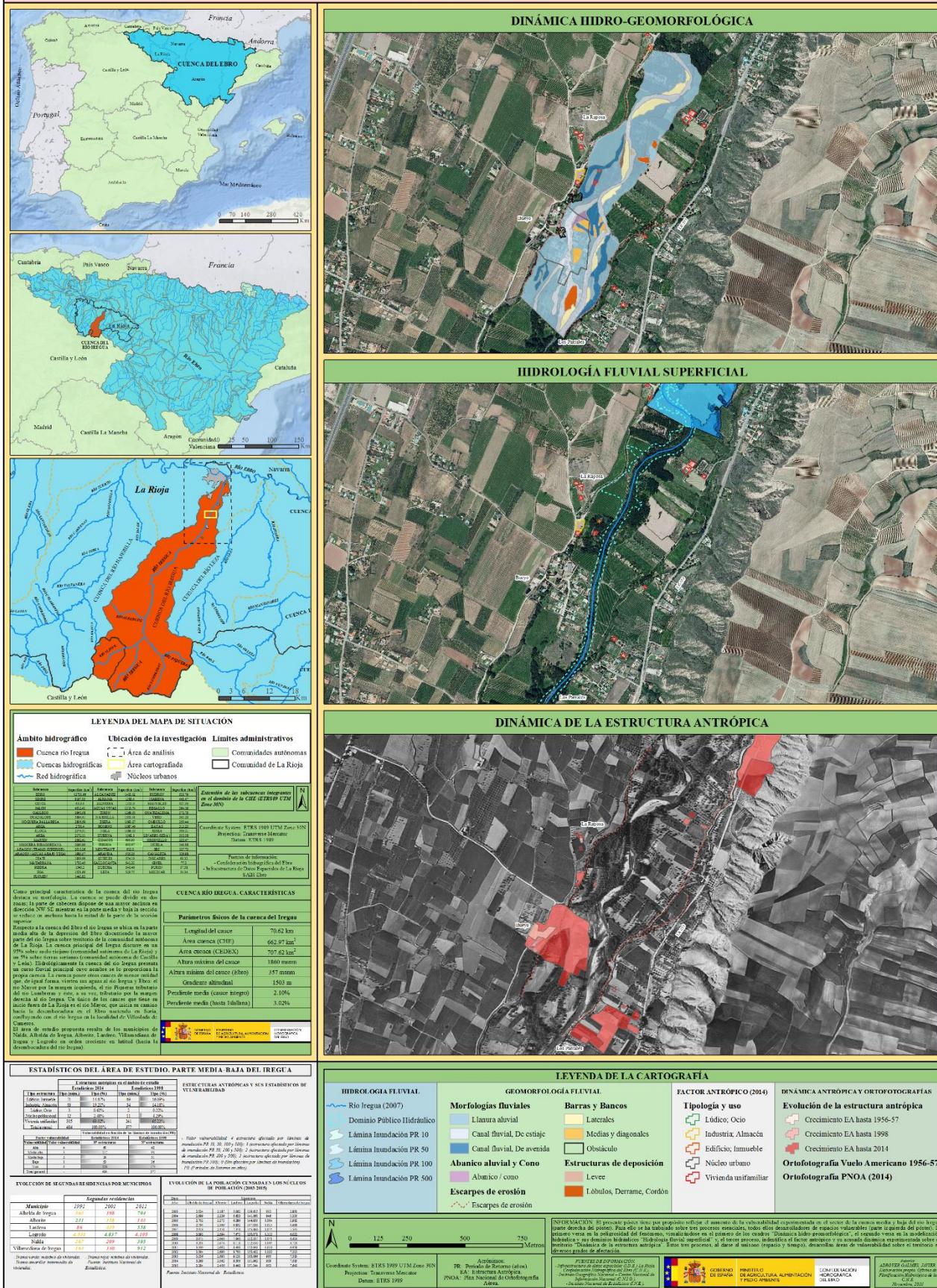
**Figura 1.** Póster del núcleo de Islallana. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas. Elaboración propia.

## ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO IREGUA. NÚCLEO DE ALBELDA DE IREGUA Y LOS ESCOLAPIOS



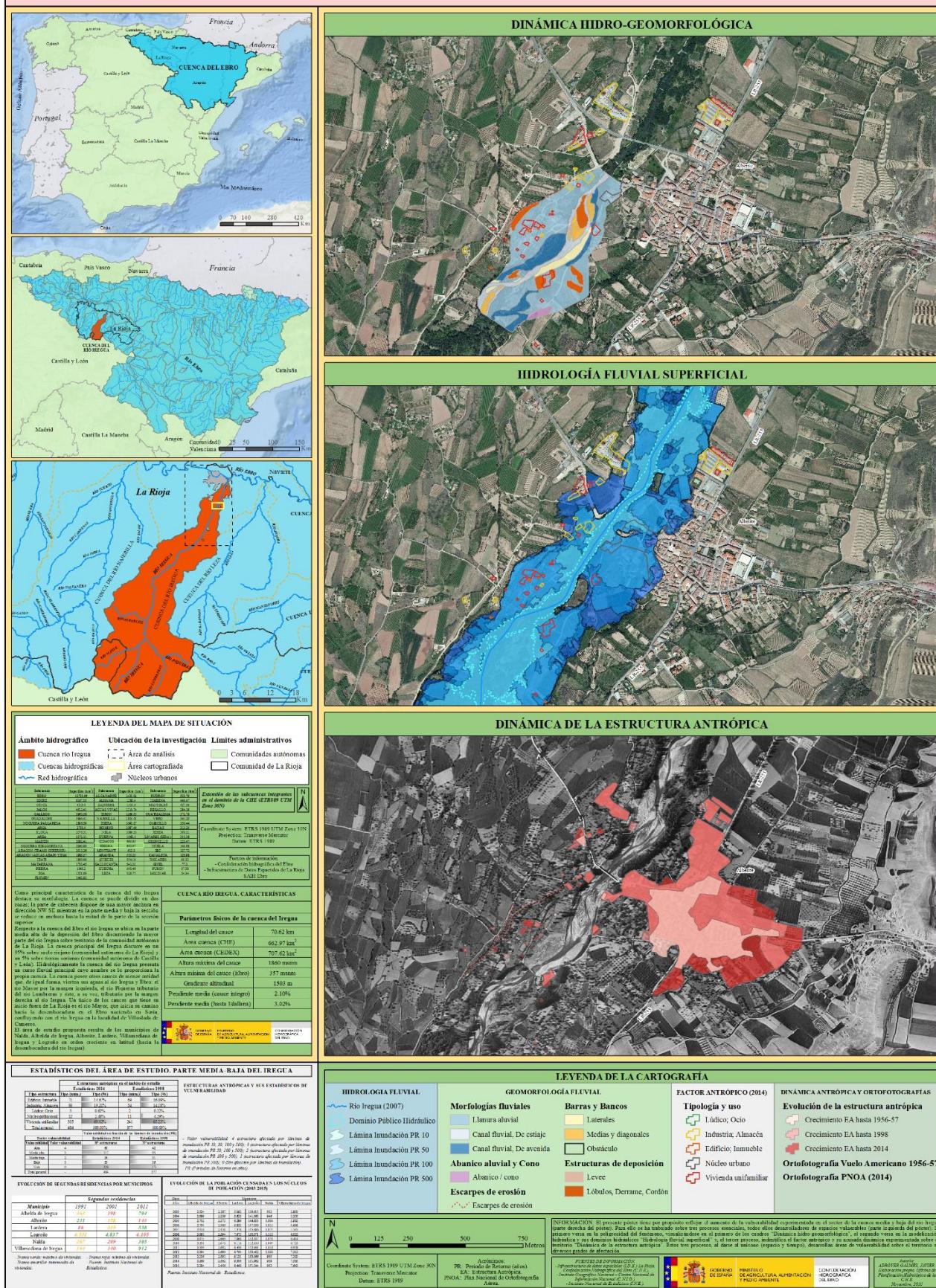
**Figura 2.** Póster del núcleo de Albelda de Iregua y los Escolapios. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas. Elaboración propia.

## ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO IREGUA. LA RAPOSA, BUEYO Y LOS PARRALES



**Figura 3.** Póster La Raposa, Bueyo y Los Parrales. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas. Elaboración propia.

## ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO IREGUA. NÚCLEO DE ALBERITE



**Figura 4.** Póster del núcleo de Alberite. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas. Elaboración propia.

## ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO IREGUA. CRUCE AUTOVÍA AP-68

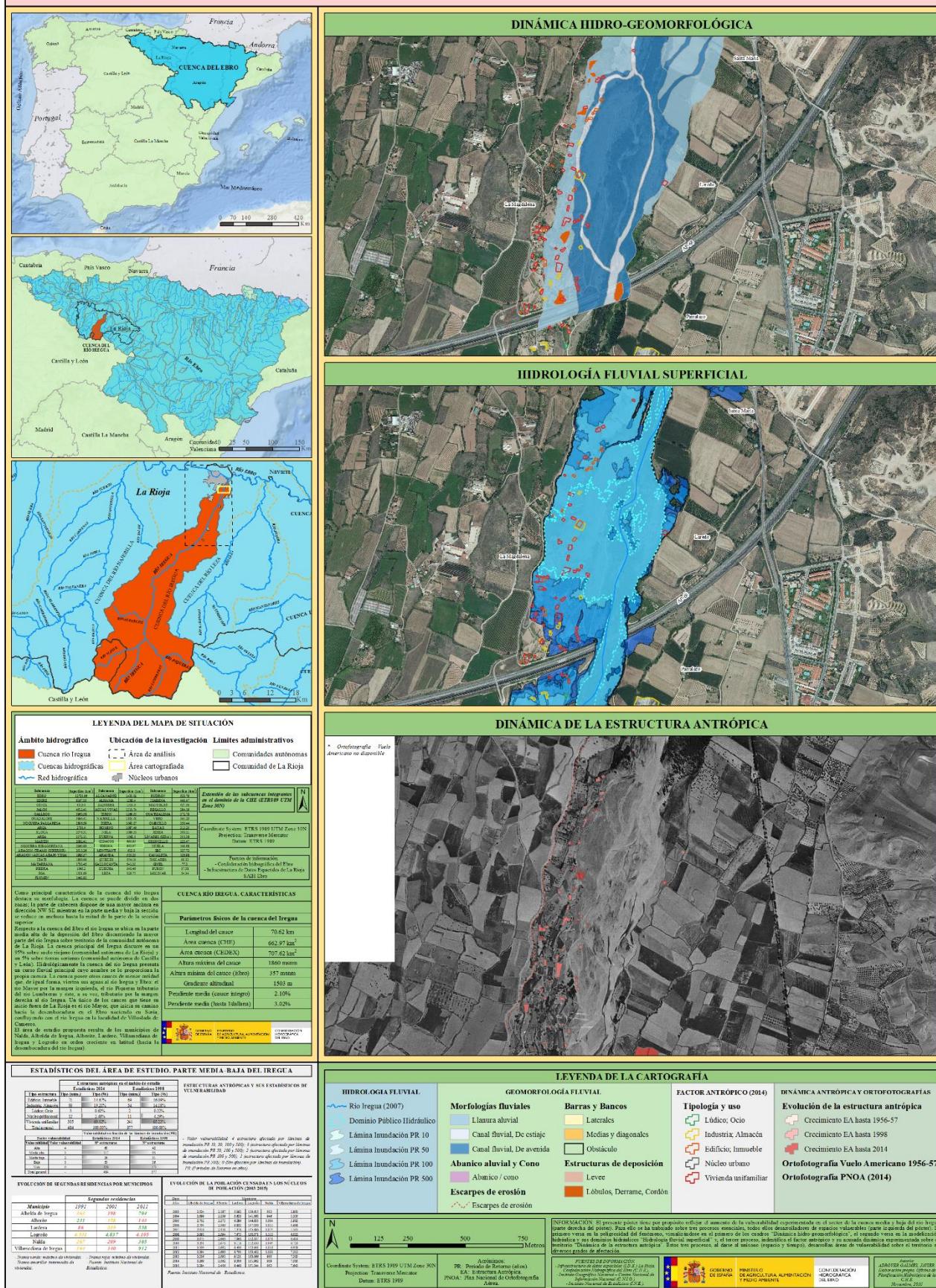
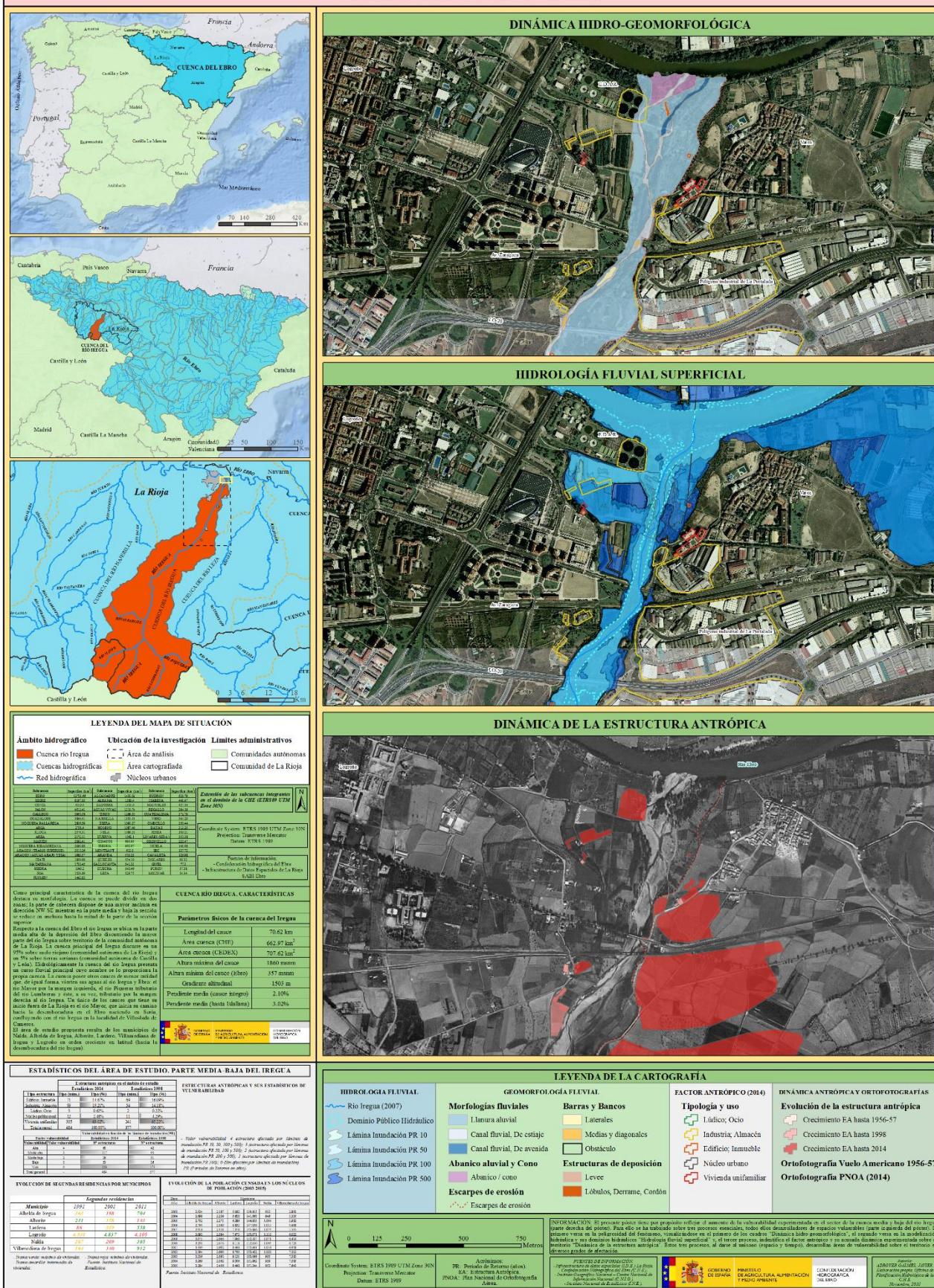


Figura 5. Póster del cruce autovía AP-68. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas. Elaboración propia.

**ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO IREGUA.  
DESEMBOCADURA AL RÍO EBRO**



**Figura 6.** Póster de la desembocadura del río Iregua en el río Ebro. Estimación y valoración de la vulnerabilidad por fenómenos de avenidas. Elaboración propia.