



Universidad de Oviedo

**Máster de Recursos Geológicos e ingeniería Geológica**

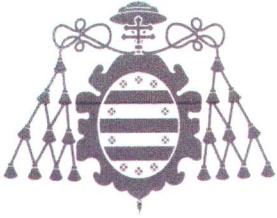
Trabajo de Fin de Master

# **Cambios en el riesgo de inundación en la Vega de El Condado durante los últimos 26 años**

Marc Hernández Peña

Junio de 2015





## Máster en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica

Universidad de Oviedo



D. Marc Hernández Peña, autor del Trabajo Fin de Máster titulado “Cambios en el riesgo de inundabilidad en la Vega de El Condado durante los últimos 26 años”, confirma que es un trabajo original y solicita su presentación en el Máster Universitario Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo.

En Oviedo, a 5 de junio de 2015

Fdo. Marc Hernández Peña

El Dr. Jorge Marquínez García, Profesor Titular del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, confirma que ha tutelado el trabajo “Cambios en el riesgo de inundabilidad en la Vega de El Condado durante los últimos 26 años”, realizado por D. Marc Hernández Peña, y autoriza su presentación y defensa como Trabajo Fin de Máster en el Máster Universitario en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo.

En Oviedo, a 5 de junio de 2015

Fdo. Jorge Marquínez García

## **Agradecimientos**

Me gustaría agradecer a toda la gente del INDUROT toda la ayuda prestada para la elaboración de este trabajo. En especial a Elena Fernández Iglesias, sin cuya ayuda la finalización del trabajo habría sido imposible.

## Índice

Resumen .....	pág. 2
Abstract .....	pág.3
1. Introducción .....	pág. 4
1.1. Conceptos generales.....	pág. 5
1.2. Objetivos .....	pág. 6
1.3. Antecedentes .....	pág. 7
2. Área de estudio.....	pág. 10
2.1. Situación geográfica.....	pág. 10
2.2. Situación geológica .....	pág. 11
2.3. Climatología.....	pág. 16
2.4. Vegetación .....	pág. 17
2.5. Medio humano .....	pág. 17
2.5.1. Organización administrativa.....	pág. 17
2.5.2. Contexto socio-económico .....	pág. 18
3. Metodología .....	pág. 19
3.1. Recopilación de datos .....	pág. 19
3.2. Trabajo de campo .....	pág. 23
3.3. Preparación de los datos.....	pág. 24
4. Resultados .....	pág. 28
4.1. Evolución fluvial.....	pág. 28
4.2. Mapas de probabilidad de inundación .....	pág. 40
4.3. Mapas de vulnerabilidad .....	pág. 44
4.4. Mapa de calados.....	pág. 46
4.5. Mapas de riesgo .....	pág. 48
5. Discusión.....	pág. 54
6. Conclusiones .....	pág. 56
7. Referencias .....	pág. 58

# Resumen

Los riesgos por inundación han sido y son una constante en la región de la Vega de El Condado, en el concejo de Laviana, Asturias. Para mitigar esta problemática se han llevado a cabo diferentes obras de protección contra inundaciones a lo largo de las últimas décadas.

Este trabajo se plantea como un estudio de los riesgos por inundación, viendo la evolución del riesgo desde 1985 hasta 2011, como ha cambiado la probabilidad de inundación y el riesgo de inundación, teniendo en cuenta los cambios en los usos del suelo y el efecto de las medidas protectoras contra las inundaciones.

Para poder realizar el estudio sobre el riesgo de inundación se ha trabajado con fotografías aéreas de los años 1985, 1994, 1995, 2003, 2007 y 2009, las imágenes PNOA 2011, el Modelo Digital del Terreno LIDAR (IGN) y los datos de peligrosidad de inundación del SNCZI, incorporando las observaciones tomadas durante trabajos de campo. El estudio se ha realizado mediante el software ArcGIS (v. 10.0) y el HEC-RAS (v. 4.0).

Con los resultados obtenidos se pretende valorar cuales son los riesgos por inundación de 2011, como han variado desde 1985 y a que se deben estos cambios.

# Abstract

Flood risk has been a constant in the area called “Vega de El Condado”, in the municipality of “Laviana”, Asturias. Several protection measures against flood risk have been implemented in recent times to avoid this problem.

This project presents a current flood risk analysis, studying the evolution of risk from 1985 to 2011, as flooding events and flood risk have changed, taking into account changes in land use and the effect of protection measures against flooding.

To carry out the study about flood risk different materials have been used: aerial photographs of the years 1985, 1994, 1995, 2003, 2007 and 2009, PNOA 2011 images, the Digital Terrain Model LIDAR (IGN) and SNCZI flood hazard data. Additionally, observations made by fieldwork have been also taken into account. The analysis was performed using the software ArcGIS (v.10.0) and HEC-RAS (v. 4.0).

The results show flood risk in 2011, how it has changed since 1985 and which are the reasons of these changes.

# 1. Introducción

El Estado Español tiene una alta problemática generada por las inundaciones fluviales, con unas medias anuales de daños valorizados en 800 millones de euros (Consortio de Compensación de Seguros e IGME). Además de las pérdidas materiales, en 2002, España contaba con una media de 20 víctimas mortales anuales debido a inundaciones (Carcedo y Olcina, A., ed, 2002).

La principal causa de esta problemática es debida a las inundaciones fluviales y torrenciales, generando una mayor cantidad de pérdida de vidas las inundaciones torrenciales (Carcedo y Olcina, A., ed, 2002). En respuesta a estas problemáticas, que también afectan al resto de países de la Unión Europea, la Comisión Europea aprobó, en noviembre de 2007, la Directiva 2007/60 sobre evaluación y gestión de inundaciones, llevada a la legislación española mediante el RD 903/2010. Este obliga a las demarcaciones hidrográficas a elaborar y actualizar sus trabajos de delimitación de zonas en riesgo de inundación (Protección Civil, y Consortio de Compensación de Seguros e IGME).

Gran parte de la problemática de inundaciones reside en el hecho de que, durante muchos años, se ha permitido construir en zonas que siempre han tenido una elevada peligrosidad de inundación, generando un mayor riesgo al aumentar el factor de elementos expuestos la peligrosidad. Posteriormente, para subsanar algunos de los problemas de inundación, se han realizado unas obras de canalización de los ríos y torrentes y/o otras medidas de protección de las zonas más cercanas a los canales activos de los ríos. Estas obras no siempre han sido eficaces, y en algunos casos han sido un agravante de los problemas que generan las inundaciones, trasladando el problema aguas abajo del río, generándolo o aumentándolo.

Hoy en día, gracias a las nuevas legislaciones, como el RD 903/2010, o la ley de aguas (Real Decreto Legislativo 11/2005) que delimita las zonas de dominio público de los ríos, de obras hidráulicas, etc. (Ley 11/2005), quedan más limitadas las actuaciones y obras en las zonas inundables de los ríos y torrentes. La primera versión de esta ley fue en 1985 (Ley 29/1985), siendo su actualización más reciente la modificación de 2005.

Con este trabajo se pretende hacer un análisis sobre los riesgos por inundación de una zona concreta del valle del río Nalón, en la Vega de El Condado, en el Concejo de Laviana. Una vez hecho este análisis se comparará con el que hay actualmente disponible, elaborado el año 2003 valorando si las infraestructuras hechas durante este periodo de tiempo han afectado

a la distribución de los riesgos, definida previamente. También se mirará como ha podido evolucionar este riesgo desde 1985. Finalmente se hace una propuesta de recomendaciones o de mantenimiento de las actuales.

El río Nalón, está ubicado en la Cuenca Hidrográfica del Cantábrico. Es el río más caudaloso de la región asturiana, cuya cuenca abarca una superficie de 4.899,4km<sup>2</sup> y una longitud de 145km (García González, N., 2014) e incluye numerosos afluentes como los ríos Narcea, Caudal, Trubia, Cubia o Aranguín.

Se plantea la posibilidad de que las últimas obras de infraestructuras realizadas en la región de estudio han hecho variar la dinámica de las inundaciones. Así, el último mapa de riesgos de inundación realizado el año 2003 requiere de algunas actualizaciones en los usos del suelo y el mapa de zonas inundables, que son también abordadas en este trabajo.

## **1.1. Conceptos generales**

La inundabilidad se define como la posibilidad de que suceda una inundación en un periodo de tiempo determinado en una zona concreta. Las inundaciones provocadas por las crecidas de ríos y torrentes generan problemas tanto por el agua como por los sedimentos movilizados que invaden las zonas inundables donde hay acción humana, lo que agrava la peligrosidad del evento.

El riesgo geológico se ha definido como “Todo proceso, situación o suceso en el medio geológico, natural, inducido o mixto, que puede generar un daño económico o social para alguna comunidad, y en cuya predicción, prevención o corrección han de emplearse criterios geológicos” (Ayala-Carcedo 1988), o como: “Daño o pérdida esperable a consecuencia de la acción de un Peligro sobre un bien a preservar, sea la vida humana, los bienes económicos o el entorno natural” (Ayala-Carcedo, 2002). Si se centra exclusivamente en el riesgo por inundaciones fluviales el proceso o peligro a tratar es la inundación fluvial.

Para la determinación de los riesgos (R) es necesario tener en cuenta tres factores: la peligrosidad (P), la vulnerabilidad (V) y la exposición (E), ( $R=P*V*E$ ). Se ha consultado diferente bibliografía de factores condicionantes y limitantes de cada factor del riesgo (Ayala Carcedo, F.J. y Olcina Cantos, J., 2002; Díez Herrero, A 2002; Dwyer et al., 2004).

Un estudio completo y cuantitativo de los riesgos por inundación debe realizarse teniendo en cuenta diferentes factores físicos del terreno. A modo genérico estos factores se podrían resumir con la esorrentía (superficial y subterránea), la morfología de la cuenca



hidrográfica (mediante la relación de elongación [relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la cuenca y la longitud máxima de la misma, fórmula propuesta por Schumm 1959  $R_e = 1,129A^{0,5}/L$ , ya que es la que mejor relación tiene con la hidrología de la cuenca (López Bermúdez, F., 1988)]) y el relieve de la cuenca.

También deben tenerse en cuenta los factores que son resultado de la interacción entre la lluvia y el terreno, son procesos relacionados con la infiltración. En momentos de lluvias intensas se pueden diferenciar en: subida del nivel freático, hasta poder saturar el suelo, y disminución de la resistencia por fricción de los materiales, pudiendo generar roturas o fisuras del terreno y movilizarlo. Estos procesos, a su vez, pueden ser el desencadenante de otros como sumersiones (desapariciones de un terreno bajo un manto de sedimentos), desembalses, erosiones, etc. (Durán Valsero, J.J., et al., 1985).

Otros factores que pueden variar el riesgo por inundación son las infraestructuras antrópicas que interactúan con el río. Pueden ser desencadenantes de inundaciones o métodos de prevención de las mismas. Por ejemplo, los embalses pueden regular y laminar el cauce del río y los encauzamientos pueden aumentar la capacidad de desagüe y disminuir las pérdidas de carga. En contraposición se encontrarían los puentes y las obras de paso sobre los ríos que generan una reducción de la sección del río.

Los aspectos descritos forman parte del método habitual de estudio de la inundabilidad, basado en análisis hidrográfico-hidráulicos. En ellos se suelen realizar un estudio de la máxima crecida y de avenidas con diferentes periodos de recurrencia o frecuencia de inundación. Este procedimiento será aplicado en apartados siguientes mediante el software HEC-RAS.

## **1.2. Objetivos**

Este trabajo de fin de master tiene como finalidad valorar los cambios en la probabilidad de inundación y el riesgo de inundación, teniendo en cuenta el efecto de obras de mitigación de inundaciones, el de rellenos artificiales realizados en la vega y ligados a carreteras, así como cambios en los usos del suelo. Para, de este modo, poder realizar una serie de reflexiones y/o recomendaciones respecto a como mitigar los riesgos por inundación en un futuro.

Para poder realizar el estudio de la variación en el mapa de riesgos por inundación, se ha focalizado el trabajo en valorar el efecto de: la construcción de la carretera As-117, tanto

en el llano de inundación como los puentes que cruzan el canal, así como los cambios en los usos del suelo, incluyendo la construcción de nuevas viviendas. Para ello ha sido necesario realizar una serie de tareas. Éstas han sido las siguientes:

- Cartografía de variaciones en la posición y extensión de los sedimentos fluviales a lo largo del lecho del canal.
- Descripción de los cambios en la probabilidad de inundación por las infraestructuras recientes sobre la zona inundable y por las canalizaciones de la zona de estudio. Estimación de las manchas de inundación mediante el software HEC-RAS y realización de mapas de probabilidad de inundación en las fechas 1985, 2003 y 2011.
- Estudio de los cambios en los usos del suelo y de la repercusión de los cambios de la probabilidad de inundación estimados en el apartado anterior, para un nuevo mapa de riesgo y de inundación actualizado.
- Análisis de los cambios principales y recomendaciones para mejorar la gestión del espacio inundable.

### **1.3. Antecedentes**

Con la entrada en vigor en Europa de la Directriz de Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación, en el 2007, se empezó a realizar, en las diferentes cuencas hidrográficas de España, una actualización de los datos de riesgos y peligrosidad de inundación si existía información previa, o la creación de estos datos para poder generar los mapas de riesgos y peligrosidades por inundaciones.

En el área de estudio se dispone de información previa, concretamente la cartografía de riesgo de inundación elaborada por el INDUROT en el año 2004 para 112-Asturias, el marco de la Directriz Básica de Protección Civil ante el Riesgo de inundaciones, de 14 de febrero de 1995. Esta información ha sido tomada como referente para el presente trabajo.

Tal y como se precisa en la Directiva de Inundaciones, cada 6 años se requiere una revisión de los datos preexistentes para añadir los cambios que se puedan ir produciendo debido a nuevas infraestructuras en el cauce y en las zonas inundables, así como cambios en los usos del suelo.

Para llevar a cabo esta identificación de zonas de riesgo y peligrosidad de inundación, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, del Gobierno de España, publicó en 2011 la “Guía Metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas

Inundables”. Esta recoge recomendaciones técnicas para la determinación del Dominio Público Hidráulico y las zonas inundables de acuerdo con el RD 9/2008.

Algunas de estas cartografías se pueden consultar con los visores del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) (Figura 1) y los Mapas de Peligrosidad de Inundación disponibles en la web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y en las webs de las confederaciones Hidrográficas (<http://sig.magrama.es/snczi/>, visor SNCZI).

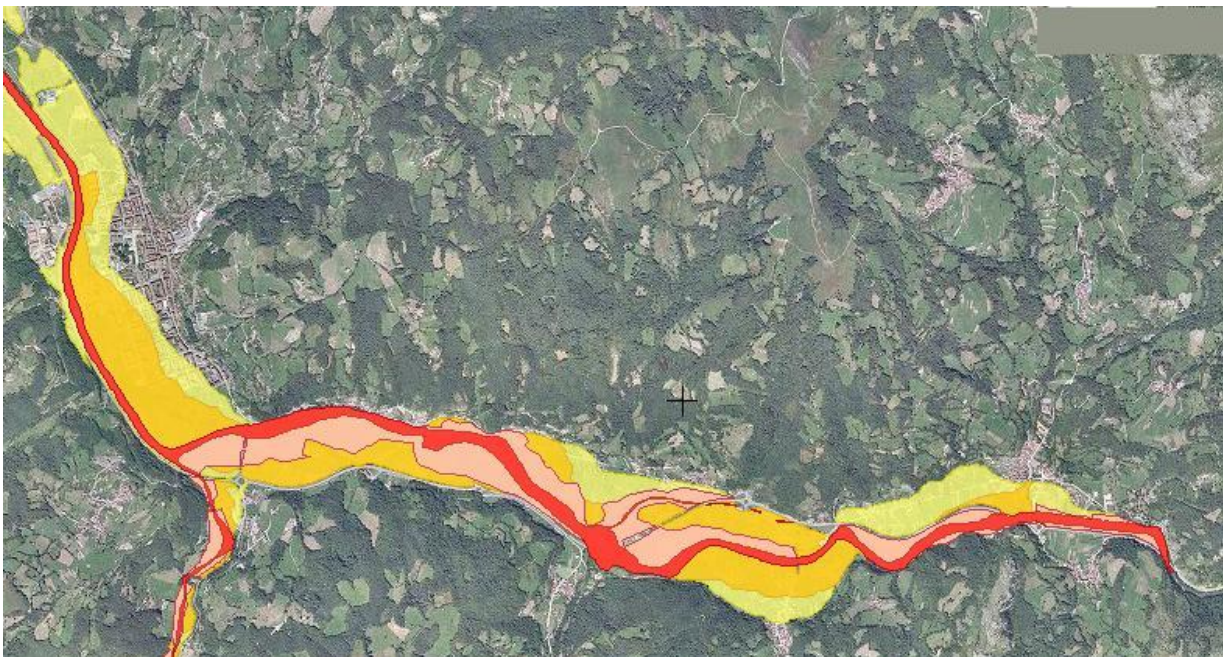


Figura 1. Imagen extraída del visor SNCZI de la región de estudio con la ortofoto de 2013 y las capas de peligrosidad por inundación con periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, una encima de otra respectivamente.

Respecto a trabajos concretos sobre el riesgo de inundación, merece mención especial el titulado “*El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos. Un análisis del caso Español y sus alternativas*” (Ayala-Carcedo, F.J., 2002) donde desde un punto de vista geológico se exponen varios de los problemas de inundaciones presentes en España desde aquél momento hasta 50 años antes, se explica cómo identificar estas zonas problemáticas, tanto a nivel espacial como temporal, y finalmente se propone la elaboración de un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos.

A continuación se describen algunos ejemplos de trabajos realizados en España donde se tocan cuestiones sobre metodologías para cartografiar riesgos, identificar cambios de peligrosidad o mejorar la gestión de los espacios inundables. Por un lado mencionar el “*Mapa de riesgos naturales en la ordenación territorial y urbanística*” (González García, J.L. et al., 2009) en el que se expone como realizar mapas de riesgos por inundación, la realización de

zonificaciones de los riesgos y la regulación urbanística del espacio fluvial entre otros. Es destacable el “*Análisis del riesgo de inundación para planes autonómicos de protección civil: RICAM*” (Díez Herrero, A., et al., 2008) en el que se realizan los análisis de riesgos por inundación por multibaremos de vulnerabilidad, exposición, volumen de población, etc., para la generación de los mapas de riesgo y peligrosidad en la comunidad autónoma de Castilla la Mancha. “*Las obras hidráulicas en los sistemas fluviales de la Costa Brava: Preferencias locales y limitaciones de un modelo convencional de adaptación al riesgo de inundación*” (Roset Pagès, D., et al., 1999) en el que se realiza una recopilación de las actuaciones de defensa realizadas en la Costa Brava y se hace un análisis sobre su efectividad. Y “*Peligrosidad, daños y mitigación de inundaciones, subsidencia por disolución y movimientos de ladera en la localidad de Cadrete (Depresión del Ebro, Zaragoza)*” (Guerrero, J. et al., 2005) en el que se analizan los problemas existentes en el pueblo de Cadrete y se hace un gran número de propuestas concretas para mitigar o resolver los problemas existentes.

En relación con el área de estudio, algunos trabajos geomorfológicos focalizados al análisis de otros riesgos naturales y que se han realizado en la cuenca del río Nalón, mencionar el titulado “*Dinámica de las vertientes en la zona central de Asturias (Cuenca del río Villoria, Cordillera Cantábrica)*” (Domínguez Cuesta, M.J., et al.) en el que se realiza un estudio mediante un programa SIG de la cuenca del río Villoria. Destacar también el “*Geomorfología e inestabilidad de laderas en la Cuenca Carbonífera Central (Valle del Nalón, Asturias). Análisis de la susceptibilidad ligada a los movimientos de superficie del Terreno*” (Domínguez Cuesta, M.J., 2003) en el que entre otros aspectos, se hace hincapié en el estudio de los depósitos fluviales y torrenciales. “*Geomorfología de la cuenca alta del río Nalón (Cordillera Cantábrica, Asturias)*” (Jiménez Sánchez, M., 1994). “*Geomorfología fluvial en la cabecera del río Nalón (Cordillera Cantábrica, Noroeste de España)*” (Jiménez Sánchez, M., 1999). “*Movimientos en masa en la cabecera del río Nalón (Cordillera Cantábrica, NO España)*” (Jiménez Sánchez, M., 1997). Y “*Aplicación de herramientas GIS al estudio de la cuenca del río Nalón*” (García González, N., 2004).

Mencionar también el trabajo que realizó el Grupo TRAGSA en agosto 2007 un estudio del valle fluvial del río Nalón, en el Concejo de Laviana para proponer una serie de corredores fluviales como parte de la asistencia técnica al Servicio de Estudios Medioambientales e Hidrogeológicos de la Conferencia Hidrográfica del Norte (Ministerio de Medio Ambiente). La cartografía de estos corredores puede consultarse en la web de la CHC.

## 2. Área de estudio

### 2.1. Situación geográfica

La zona de estudio se encuentra en el Concejo de Laviana, Principado de Asturias (Figura 2). El estudio se ha desarrollado en la parte central eje del Río Nalón, en la Vega de El Condado.

Este concejo limita con los concejos de Bimenes y Nava por el Norte, con Aller al Sur, con Piloñas y Sobrescobio al Este y con San Martín del Rey Aurelio y Mieres al Oeste.

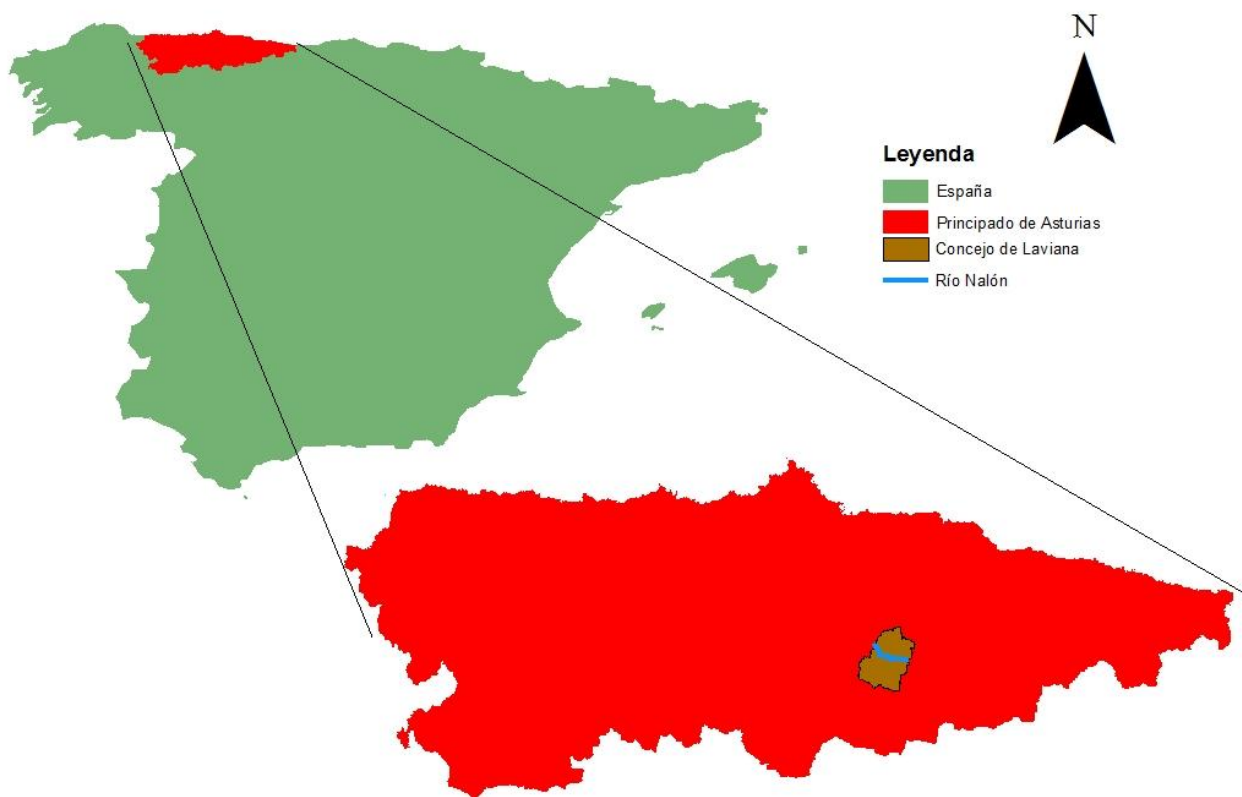


Figura 2. Situación geográfica de Asturias dentro de España, y del concejo de Laviana dentro de Asturias y del río Nalón dentro del Concejo.

El concejo de Laviana está dividido en 8 parroquias distintas, Carrio, El Condado, Entralgo, Llorío, La Pola, Tiraña, Tolvia y Villoria, pero son solo cuatro de estas parroquias las que se encuentran dentro de la zona de estudio: El Condado, Llorío, Entralgo y La Pola (Figura 3), que son las parroquias que están dentro del valle del Nalón cuando el río cruza este concejo.

Como se observa en la siguiente imagen (Figura 3), el transcurso del río en esta zona toma prácticamente una dirección Este-Oeste, excepto en el último tramo, unos 200m después



de haber pasado el puente de la Chalana. Es en este punto que el río toma una dirección SSE-NNO.

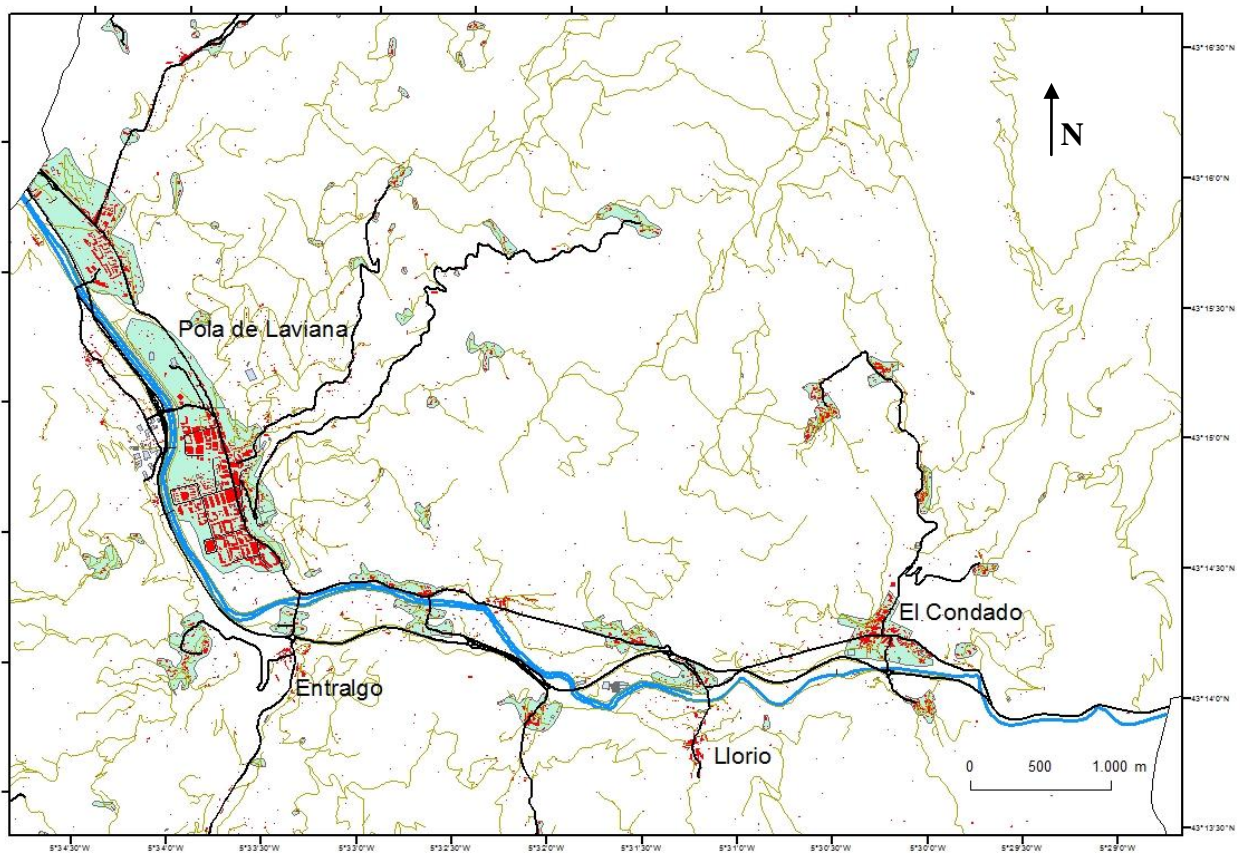


Figura 3. Mapa de parte del concejo de Laviana donde se identifican las parroquias situadas en la zona de estudio.

## 2.2 Situación geológica

La zona de estudio se encuentra al Noroeste de la Península Ibérica, dentro del macizo Hespérico (Figura 4). Esta amplia región geológica está dividida en diferentes unidades, y de entre estas el área de estudio está ubicada en la unidad denominada Zona Cantábrica (Julivert, M., 1971), concretamente en el N-E de la Cuenca Carbonífera Central (Figura 4).

La Cuenca Carbonífera Central está formada principalmente por rocas carboníferas, con un espesor aproximado de 6.000m. En la parte más oriental, junto al cabalgamiento de la unidad basal aparecen rocas cambro-ordovícicas (Geología de España, Vera, J.A., Ed 2004).

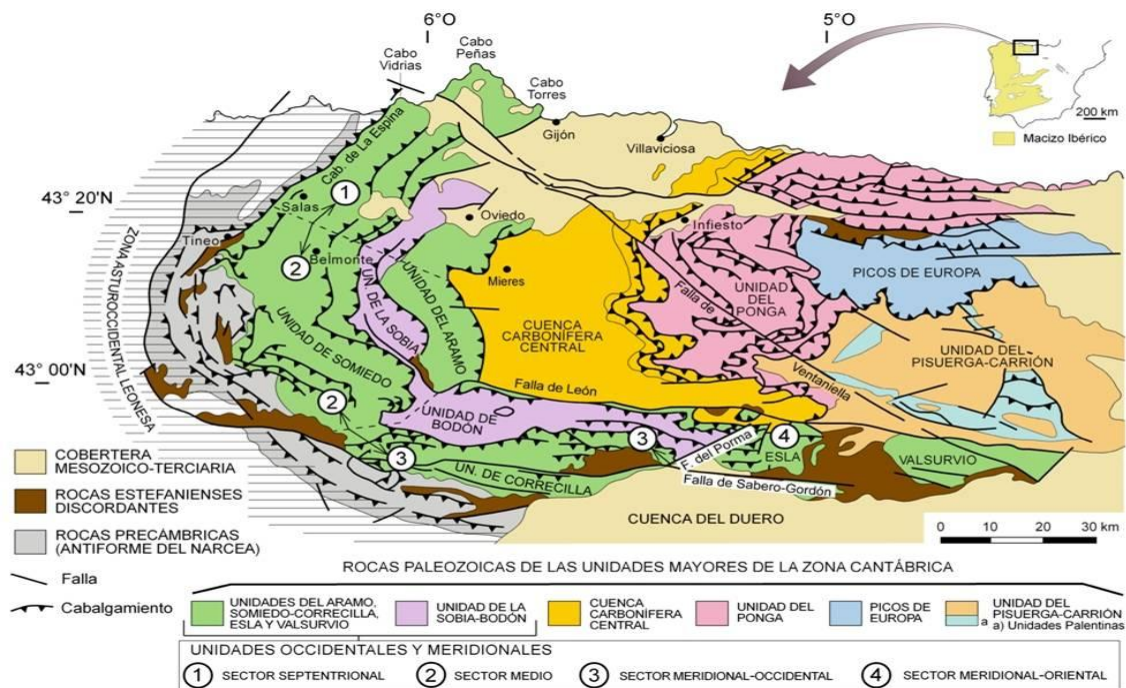


Figura 4. Mapa geológico de la Zona Cantábrica mostrando las principales unidades de esta (Julivert, M., 1971).

Se pueden definir las diferentes formaciones presentes en la zona de estudio agrupadas por edades:

- Precámbrico y Cambro-Ordovícico. Dentro de este grupo predominan litologías detríticas como las Pizarras del Nancea o la Fm. Barrios, aunque también tiene importancia la Fm. Láncara de naturaleza calcárea.
- Silúrico, Devónico y Carbonífero Pre-orogénico. En el que predominan las formaciones del Grupo Rañeces, de naturaleza mixta y la Caliza de Montaña de naturaleza calcárea.
- Carbonífero Sin y Post-orogénico. En el que las formaciones más representativas son las Grupo Lena y Grupo Sama, ambas de naturaleza detrítica junto con el Paquete Levinco (primer tramo productivo, subhullero) también de naturaleza detrítica.

En el ámbito concreto de la región de estudio se encuentran materiales de edad Westphaniense (Carbonífero Superior), en particular pizarras, calizas y areniscas (subhullero), en contacto con materiales cuaternarios aluviales (Caride, C., Marcos, A., Gervilla, M., Ortuño, G. y Velando, F., y Heredia, N. y Rodríguez Fernández hojas del MAGNA 53 y 54, 1973 y 1984 respectivamente). Estos materiales harían referencia al sustrato rocoso y el holoceno de la llanura de inundación, que se pueden observar en la Figura 5, pero, para nuestro estudio es más relevante la información referente a los materiales superficiales de la zona. Al respecto utilizamos el mapa litológico y la leyenda de Domínguez Cuesta de 1996 (Figuras 7 y 8) donde se representan las litologías del sustrato y de las formaciones superficiales.



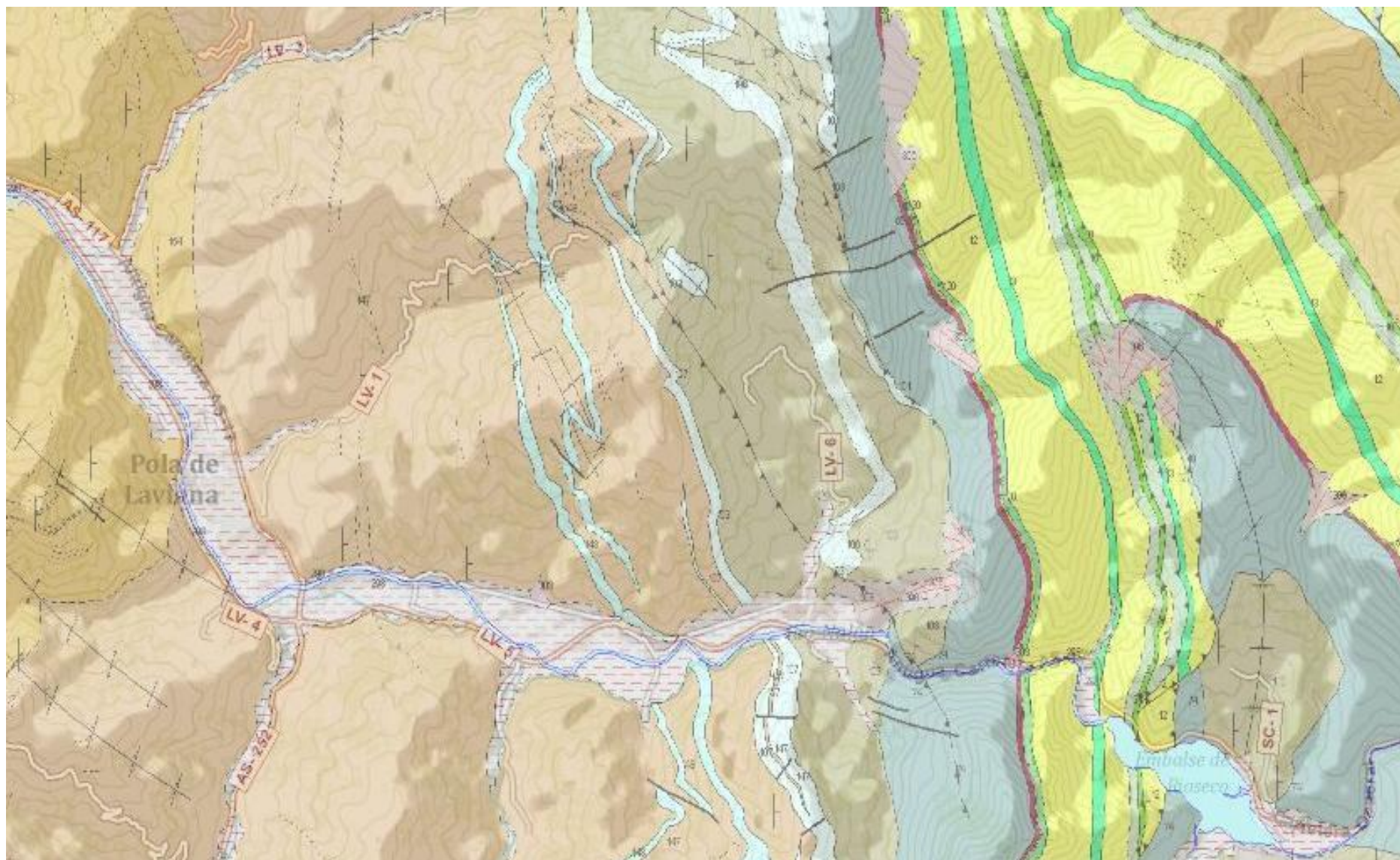


Figura 5. Mapa geológico continuo de España publicado por el IGME.





Figura 6. Mapa geológico continuo de España publicado por el IGME.

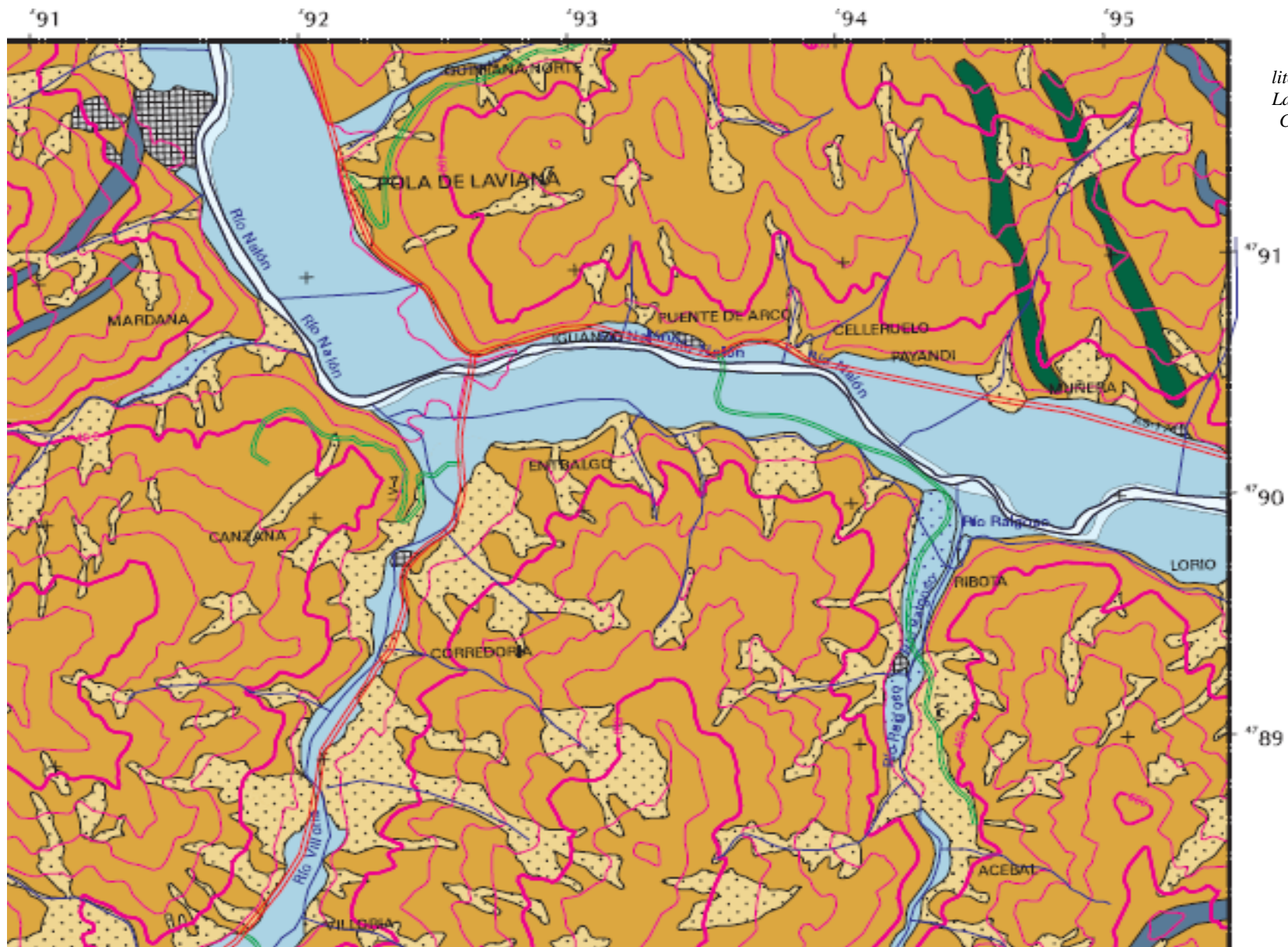


Figura 7. Mapa litológico de Pola de Laviana. Domínguez Cuesta, M.J. 1996.

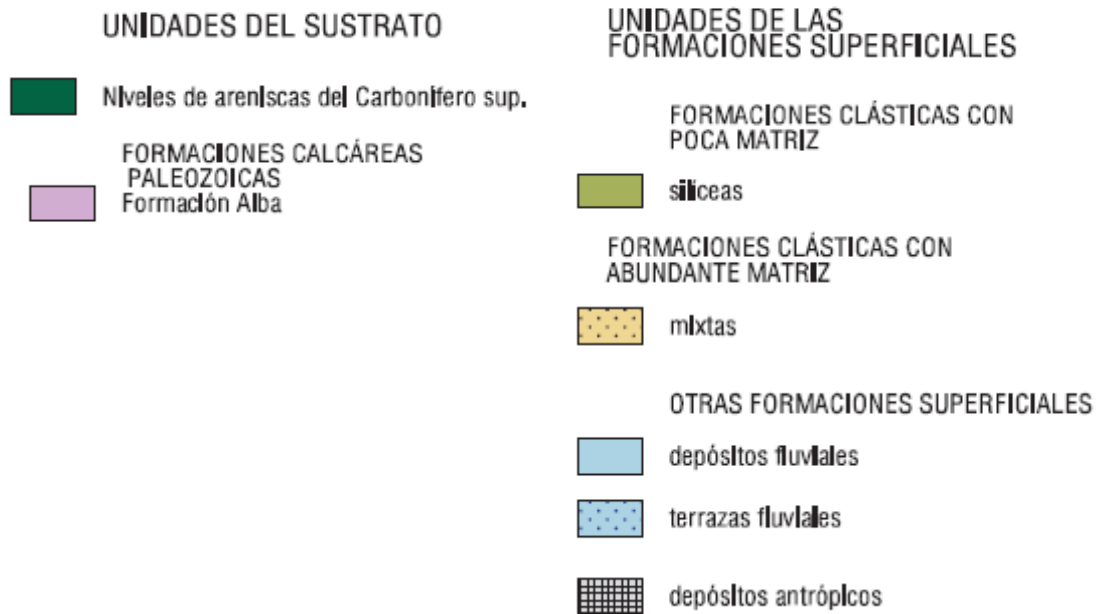


Figura 8. *Legenda del mapa litológico de Pola de Laviana. Domínguez Cuesta, M.J. 1996.*

Como expone Domínguez Cuesta (1996) la mayoría de las poblaciones presentes en del área de estudio están situadas encima de depósitos aluviales, de depósitos antrópicos y, en algunos casos, de terrazas aluviales, como se observa en la Figura 7. Otras formaciones superficiales dentro de la zona son las formaciones clásticas con poca matriz de materiales silíceos y de formaciones clásticas con abundante matriz mixta. Estos materiales se encuentran ubicados en las laderas de las montañas, formando conos de deyección y materiales coluviales.

### 2.3. Climatología

Situada dentro de la región dominada por la climatología Atlántica, esta área tiene un clima húmedo, con una media pluviométrica anual de 1.248mm (Gobierno del principado de Asturias ed., 2010) con un mínimo en verano y dos máximos, en invierno y primavera, unido a la presencia de nieblas frecuentes. Esta climatología queda también marcada por los vientos húmedos provenientes del N y NE y la presencia, en el Sur del Principado de Asturias, de la Cordillera Cantábrica, gracias a la cual se produce durante episodios de vientos de S y SO el efecto Föhn.

En Asturias hay una marcada diferencia entre temperaturas máximas y mínimas, con unas máximas de 24,4°C y unas mínimas de 1,6°C, aunque la media del año queda

comprendida sobre los 12,3°C. Estas temperaturas se distribuyen en unos meses fríos (5,78 meses), y unos meses secos (0,3 meses) (Gobierno del principado de Asturias ed., 2010).

## **2.4. Vegetación**

Esta región se caracteriza por tener una gran parte de la superficie boscosa ocupada por hayas, también presenta una población importante de castaños. Así mismo, hay una representación de coníferas por parte de pinos radiata y pinaster (Publicación del Gobierno del principado de Asturias ed., 2010 y PORNA, 1994).

La función principal de estos bosques, en las zonas proximales a los márgenes de ríos, es la preservación de dichos márgenes, así como un reservorio de la biodiversidad de la zona. También hay presencia de especies de fresnos, arces, abedules, sauces, robles, saúcos y avellanos (Publicación del Gobierno del principado de Asturias ed., 2010). Esta preservación es posible ya que el enraizado de los bosques fija el suelo impidiendo una fuerte erosión del mismo debido, mayoritariamente, a las lluvias.

Además, en las zonas de llanura aluvial, destaca la gran extensión de prados y pastizales, en su mayoría aprovechados para la ganadería, aunque en algunos casos están ocupados por matorrales de brezos y tojos.

## **2.5. Medio humano**

### **2.5.1. Organización administrativa**

El concejo de Laviana pertenece al Principado de Asturias y está dividido, administrativamente en 8 parroquias. El marco normativo legal que delimita las diferentes partes de las zonas de inundación está regido a diferentes escalas administrativas, desde un nivel local, autonómico, Estatal, hasta un nivel de la Unión Europea.

Algunas de estas normativas son:

- “Plan general de Ordenación Intermunicipal” que determina el régimen de usos y las construcciones en un ámbito concreto (Ley del Principado de Asturias 3/2002).
- Decreto Legislativo 1/2004, de 22 de abril, por el que se aprueba el Texto Refundido de las disposiciones legales vigentes en materia de Ordenación del Territorio y Urbanismo.

- Decreto 278/2007, de 4 diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Ordenación del Territorio y Urbanismo del Principado de Asturias.
- Ley 8/2007, de 28 de mayo, de suelo que se ocupa de la regulación del uso del suelo teniendo en cuenta el derecho a la vivienda, el medio ambiente y la protección del patrimonio.
- Ley de aguas, de la que se hizo una última modificación el año 2005 de la primera versión realizada el año 1985 (Ley 29/1985), en la que se trata la cuestión del recurso natural que significa el agua.
- Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundación, en el que se determinan las normas básicas de los planes especiales a seguir en casos de emergencias por inundaciones, teniendo en cuenta estructuras, organización, criterios operativos, medidas de intervención e instrumentos de cooperación.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.
- El reglamento del seguro de riesgos extraordinarios (Consortio de Seguros). Aprobado por el Real Decreto 300/2004, de 20 de febrero (BOE, nº47 de 24 de febrero de 2004). Se incorporan las modificaciones introducidas por el Real Decreto 1265/2006, de 8 de noviembre (BOE, nº 279, de 22 de noviembre de 2006) y por el Real Decreto 1386/2011, de 14 de octubre (BOE, nº 259 de 27 de octubre de 2011).
- Directiva 2000/60/CE del 23 de octubre del 2000 en el que se establece un ámbito comunitario de actuación en materia de la política de aguas.
- Directiva 2007/60/CE del 23 de octubre del 2007 en el que se marca la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.

### **2.5.2. Contexto socio-económico**

Históricamente se ha tratado de una cuenca minera, dedicándose el mayor porcentaje de la población a la minería. En la actualidad la minería ya no representa el motor económico de la región. Actualmente el sector servicios es el que emplea a más población, según los datos del SADEI (Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales) del 2001 al 2011.

Este cambio en el desarrollo económico se ha traducido en una reordenación de las

actividades económicas tradicionales. El aumento en los sectores del comercio y del turismo cubre la disminución de la construcción y de la agricultura y la pesca (SADEI).

Además el uso del suelo ha visto un inmenso cambio como consecuencia del cambio en el modelo económico de la región. De este modo se han colonizado algunas partes de las llanuras aluviales para construir estructuras dedicadas al fomento del turismo. Como se observa en la Figura 9, la curva demográfica del Concejo de Laviana creció bruscamente entre de los años 50' y los 80', en la que había una gran actividad minera, pero desde los años 80' ha ido disminuyendo lentamente, como consecuencia de la gran reducción de la minería del carbón en la cuenca.

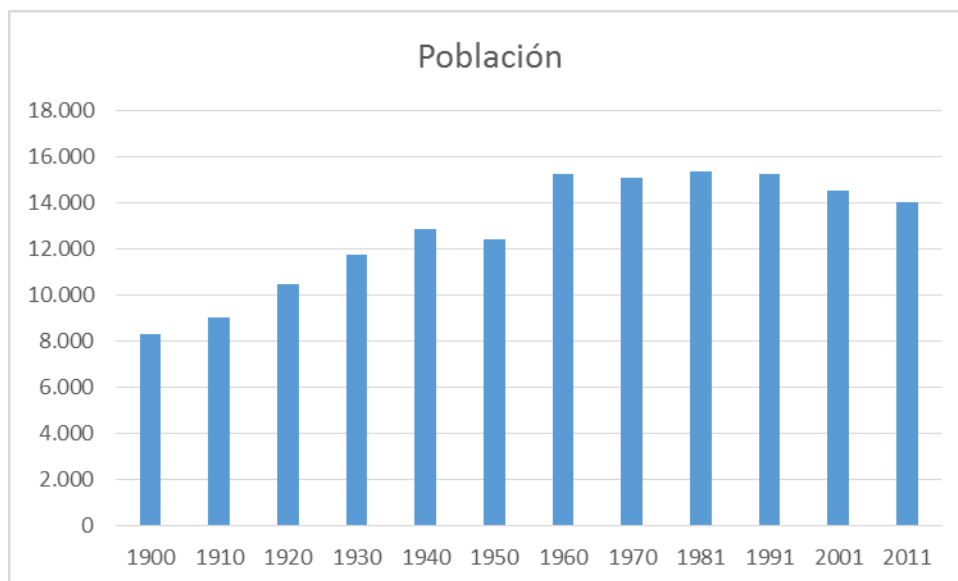


Figura 9. Gráfico de evolución demográfica del Concejo de Laviana, INE y SADEI. Censos de población.

## 3. Metodología

### 3.1. Recopilación de los datos

Para elaborar este trabajo ha sido necesario recopilar la siguiente documentación:

1. Fotografías aéreas y ortofotos, realizadas en distintos momentos históricos:
  - Imagen de máxima actualidad PANOA 2011. Instituto Geográfico Nacional, que se puede descargar desde la página web del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) con una resolución de 25-50cm/píxel.
  - Imagen del Google Maps (<https://www.google.es/maps>).



- Ortofotografías del PNOA de los años 2007 y 2009.
- Ortofotografía del SIGPAC de 2003
- Vuelo del ICC 11/10/1994 (13:05:36), referencias 6033 y 6034, escala 1/18000.
- Vuelo del ICC 1995, referencias 8050 y 8051, escala 1/18000.
- Vuelo nacional 18/04/1985 (13:05:36), referencia pasada L, H-53, nº11, escala 1/30000.

2. Se ha realizado la descarga del Modelo Digital del Terreno (MDT) disponible en la página web de descargas del CNIG. Este MDT cuenta con un paso de malla de 5m y se ha obtenido por estereocorrelación automática de vuelos fotogramétricos del PNOA con resolución de 25-50cm/píxel, o revisando e interpolando con líneas de rupturas donde fuera viable, o bien por interpolación a partir de la clase de terreno de vuelos LIDAR del PNOA.

3. Se ha realizado la descarga de los datos del SIOSE de la región de estudio. Dicha descarga se ha efectuado desde el portal de Internet de la página de descargas del CNIG. Utilizando la última versión actualizada del año 2005.

4. También se han usado, como mapas de punto de partida sobre la zonificación de las peligrosidades por inundación, los mapas del visor de cartografía de las zonas inundables del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) (Figura 10), donde la T significa el tiempo del periodo de retorno (T10 = 10 años, T50 = 50 años, T100 = 100 años y T500 = 500 años). Estos mapas de zonas inundables se realizaron entre los años 2003 y 2004 (INDUROT, 2004) y son utilizados en el presente trabajo.

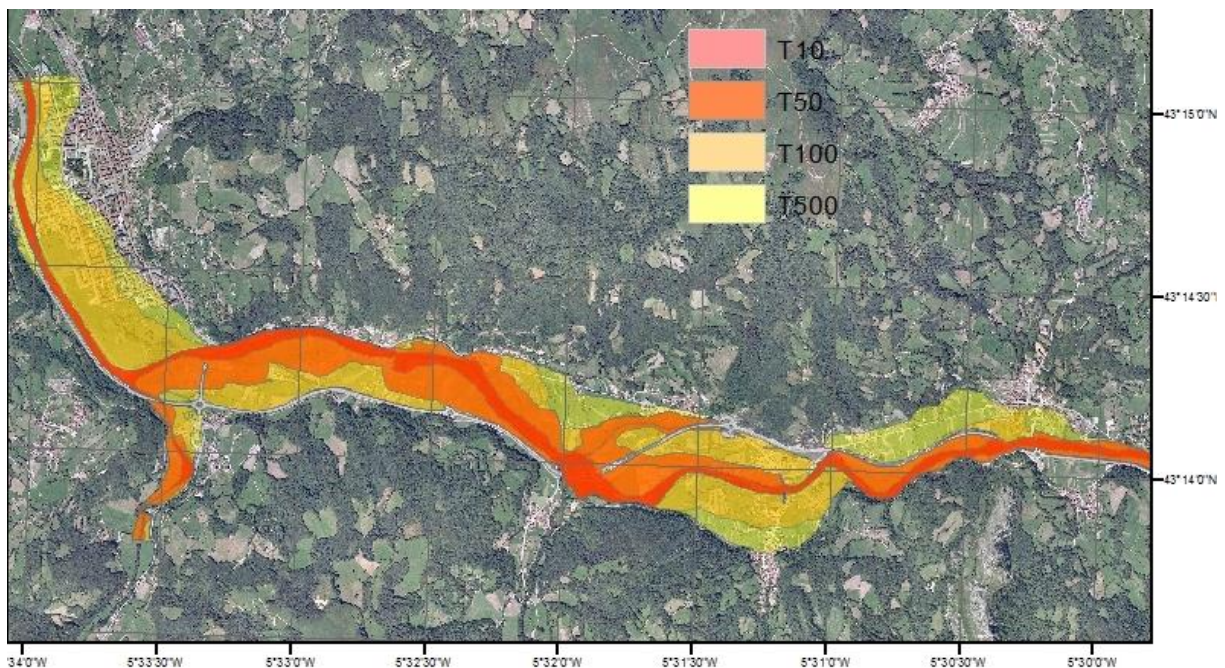


Figura 10. Cartografía de las zonas inundables según el SNCZI en 2003-2004. SNCZI 2004.

5. Así mismo, mediante la hemeroteca del periódico “La Nueva España” se realizó una búsqueda para tener datos de los diferentes momentos en que se han producido inundaciones en la zona.

6. Datos de la “ARPSIs” publicado en la web de la Conferencia Hidrográfica del Cantábrico. Se definen como ARPSIs (Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación) aquellas zonas de los Estados miembros de la UE para las cuales se ha llegado a la conclusión, mediante la evaluación preliminar del riesgo de inundación, de que existe un riesgo potencial de inundación significativo o bien en las cuales la materialización de tal riesgo pueda considerarse probable.

7. Recopilación de trabajos para detectar obras en el tramo de estudio. En este sentido mencionar el trabajo de Fernández y Egocheaga (2006), que incorpora detalles de algunas actuaciones en la zona (Tabla 1).

	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	TIPO	MARGEN	LONGITUD MÁXIMA
LLORÍO	Década de los 70	Mota	Izquierda	150 m
MEANDRO DE LLORÍO	1988	Escollera sin cementar	Ambas	400 m
LLORÍO MUÑERA	1997	Escollera sin cementar	Derecha Izquierda	720 m 630 m

Tabla 1. Características de las principales obras de encauzamiento presentes en el tramo de estudio, previas al año 2000. (Fernández Iglesias, E. y Egocheaga Tirador, P.I., 2006.).

8. Adicionalmente se ha obtenido, del ayuntamiento de Laviana, datos de los expedientes de obras municipales. Entre los cuales se han buscado los relacionados con las obras de defensa fluvial realizadas en el Concejo (Tabla 2) (Ayuntamiento de Laviana).

Signatura	Título	Fechas
C365/2	<u>Obra de defensa fluvial contra las avenidas del río Nalón en el Condado</u>	1924
C365/3	<u>Obra de defensa fluvial para la retención del río Nalón en El Condado</u>	1926



<b>C365/9</b>	<u>Obra de defensa fluvial en Puente Arco, parroquia de Lorío</u>	1927
<b>C365/16</b>	<u>Obra de defensa fluvial en la vega de Pola de Laviana</u>	1927
<b>C365/4</b>	<u>Obras contra las avenidas del río Nalón en la Vega de Arenas en El Condado</u>	1928
<b>C365/10</b>	<u>Obras de defensa fluvial en Lorío y Puente de Arco</u>	1928
<b>C365/18</b>	<u>Obra de variación del río Nalón en la vega de Pola de Laviana</u>	1929
<b>C365/19</b>	<u>Obras de defensa de Pola de Laviana contra las inundaciones del río Nalón</u>	1933/1939
<b>C365/12</b>	<u>Obra de defensa fluvial en Puente de Arco</u>	1935
<b>C365/13</b>	<u>Obra de defensa fluvial contra las avenidas del río Nalón que amenazan aislar el puente romano en la parroquia de Lorío</u>	1942
<b>C366/5</b>	<u>Obras de reparación de un muro de contención en Villoria</u>	1944
<b>C365/14</b>	<u>Obras de defensa fluvial de Puente de Arco, parroquia de Lorío</u>	1949
<b>C366/2</b>	<u>Obras de defensa fluvial en la Vega de Pola de Laviana</u>	1950
<b>C365/7</b>	<u>Obra de encauzamiento del río Nalón desde La Chalana hasta Sutu</u>	1951
<b>C375/3</b>	<u>Proyecto de obras de encauzamiento del río Nalón en La Chalana y el Sutu</u>	1951
<b>C445/45</b>	<u>Colocación de dos gaviones en la margen derecha de río Nalón junto al puente de Soto de Lorío</u>	1964
<b>C365/15</b>	<u>Reparación de encauzamiento y cubrición de presa para cruzar el pueblo de Lorío</u>	s/f

Tabla 2. *Listado de obras de defensa fluvial en el Concejo de Laviana. Ayuntamiento de Laviana 2015.*

9. Datos de caudal de la estación de aforo de “El Condado” para las fechas de las diferentes imágenes aéreas (Figuras 19 a 22) (<http://sig.magrama.es/aforos/>, Anuario de

aforos).

La estación de aforo de “El Condado” está situada en las coordenadas 297.926, 4.789.562, longitud y latitud respectivamente, del Huso ETRS89. Esta operativa desde el año 1912 y sigue en funcionamiento en la actualidad con los códigos ROEA 1335, SAIH A605 y CAICA 366 (Anuario de Aforos). La Tabla 3 se muestra la tipología de esta estación de aforo, y en la Figura 11 se puede observar los valores de la sección de la estación de “El Condado”.

<b>Tipología</b>					
<b>Sensor</b>	BOYA Y COTRAPESO/LIMNIGRAFO	Longitud (m)		Ancho (m)	23.5
<b>Tipo de Estación</b>	Encauzamiento con Canal de Aguas Bajas	Caseta	Sí (De Fábrica)	Pasarela	Sí
<b>Régimen de caudales</b>	Alterado	Escala	Sí (Exterior)	Vertedero	-

Tabla 3. Tipología de la estación de “El Condado”. Anuario de Aforos.

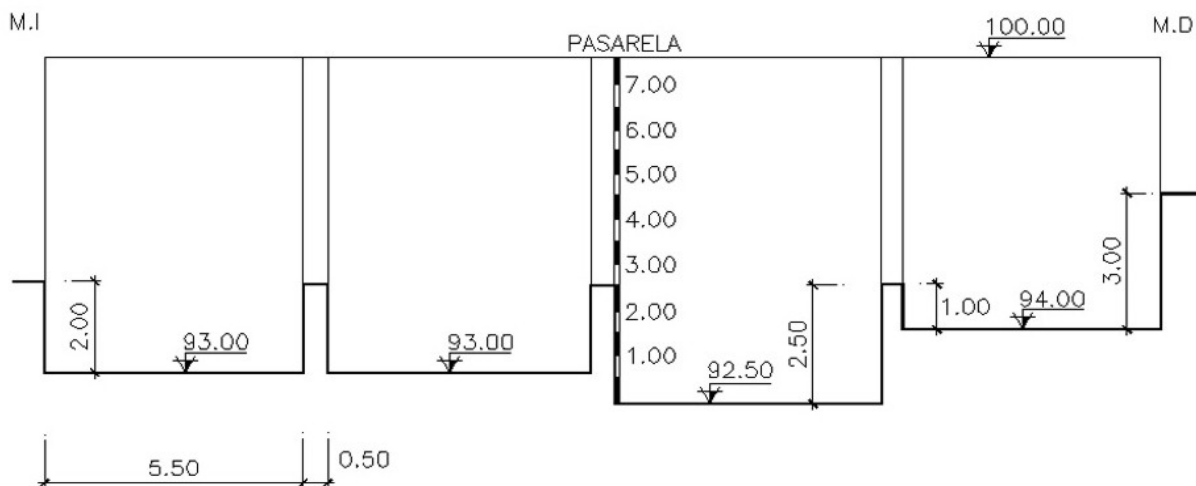


Figura 11. Sección de la estación de aforo de “El Condado”. Anuario de aforos.

### 3.2. Trabajo de campo

Uno de los objetivos del trabajo es analizar los cambios en la distribución de las barras fluviales dentro del cauce a lo largo de las últimas décadas para detectar posibles cambios en la sección del cauce que puedan repercutir en la probabilidad de inundación. Para obtener una imagen representativa del momento actual sobre la distribución de los sedimentos que se encuentran en el cauce fluvial, se han realizado trabajos de campo cuyos datos se ha tomado sobre imágenes aéreas extraídas del Google Earth (10/10/2014) para realizar más

detalladamente la cartografía (Figura 12). Estos datos en el campo se tomaron el día 11/12/2014.

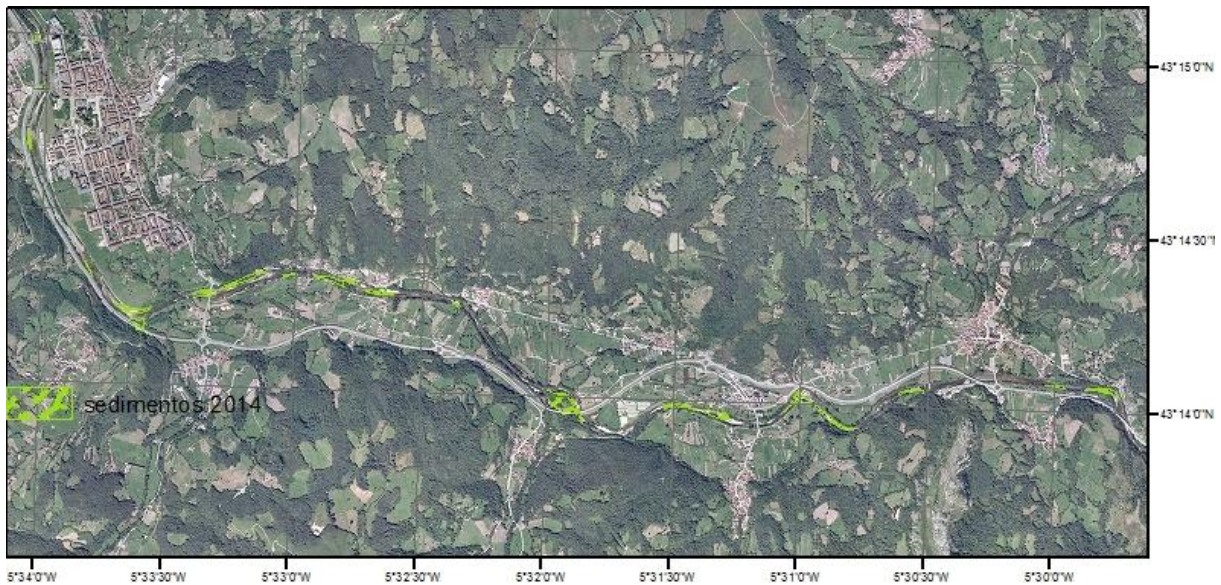


Figura 12. Mapa de los sedimentos en canal fluvial Nalón en 2014.

En la campaña de campo se han cartografiado también las zonas de la ribera del río Nalón a lo largo de las llanuras aluviales presentes en ambas márgenes del río, identificando infraestructuras de protección, tales como motas, represas, escolleras, muros, etc. También se cartografiaron una serie de arribazones fluviales a alturas alejadas de la cota máxima de la orilla, por lo que no se ha podido extraer información de interés sobre probabilidad de inundación.

### 3.3. Preparación de los datos

Para trabajar con los diferentes grupos de datos, realizar las cartografías y obtener los resultados se ha utilizado un Sistema de Información Geográfica (SIG), concretamente con el ArcGIS 10.0. Para la realización de mapas de calado ha sido necesario utilizar el software HEC-RAS 4.0.

La preparación de los datos en el programa ArcGIS se han dirigido para dos objetivos, la realización de los mapas de probabilidad de inundación (capítulo 4.2) y la de los mapas de vulnerabilidad (capítulo 4.3). Los mapas de probabilidad de inundación han requerido:

1. Para el estudio evolutivo sobre los cambios en la llanura aluvial que señalen posibles variaciones en la probabilidad de inundación ha sido necesario realizar una georreferenciación

de las fotografías aéreas, de los años 1985, 1994 y 1995. La georreferenciación se ha hecho de un modo manual, con la herramienta *Georeferencing* de ArcMap, y usando como imagen modelo georreferenciada la del PNOA de 2011. Esta georreferenciación manual conlleva un pequeño error.

2. Una cartografía geomorfológica de la llanura de inundación. Para esta cartografía primero ha sido necesario realizar un mapa de curvas de nivel de un metro de diferencia entre ellas (Figura 13) a partir del MDT descargado de la web de descargas del CNIG. Este proceso se ha realizado utilizando la herramienta *Spatial Analyst Tools/Surface/Contour* dando 1 al valor de *Contour interval*, y dejando a 1 y a 0 los valores de *Base Contour* y *Z factor* respectivamente. Este proceso transforma los datos del archivo de un formato *raster* un formato de tipo *vectorial*.

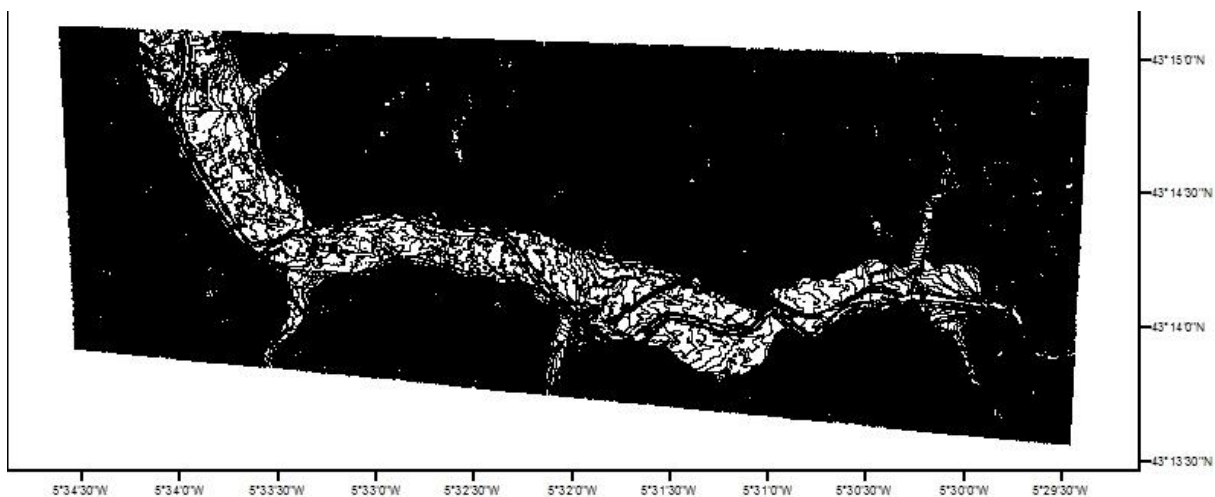


Figura 13. Mapa Topográfico con curvas de nivel cada 5m.

A continuación se ha realizado un análisis de las pendientes en la región estudiada (Figura 14), utilizando la herramienta de *Spatial Analyst Tools/Surface/Slope*. En este caso se han utilizado los grados para *Output measurement* y un valor de 1 para *Z factor*. Posteriormente se ha realizado una clasificación según los ángulos de pendiente con los intervalos de 0° a 3°, de 3° a 10°, de 10° a 25°, de 25° a 45°, de 45° a 80° y de 80° a 90°.



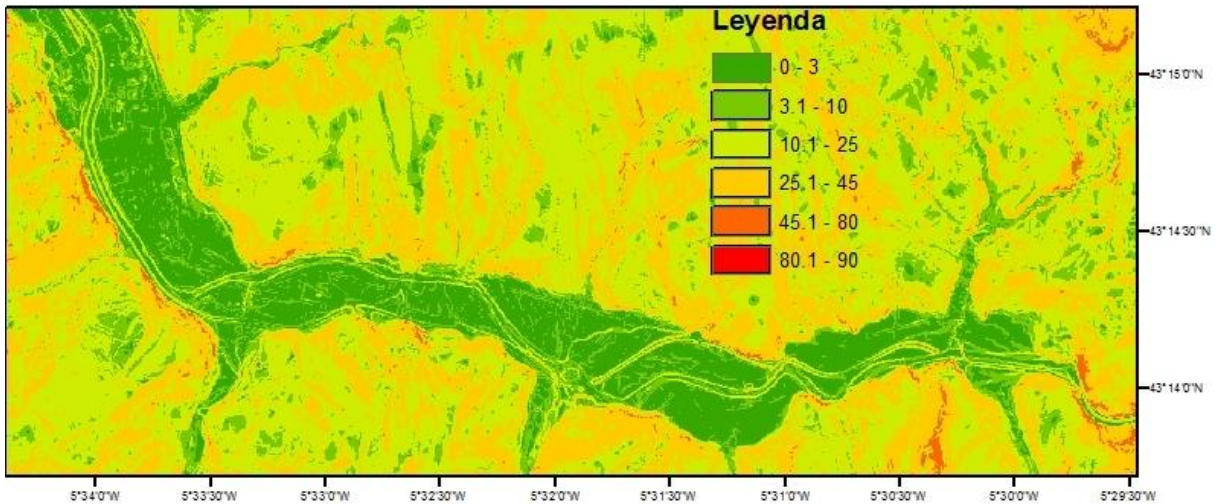


Figura 14. Mapa de pendientes de la zona de estudio.

Para poder identificar desniveles bruscos en la vega asociados a zonas que puedan dificultar el paso del agua, ya sean artificiales o naturales en la llanura aluvial, se ha puesto de color blanco las zonas de pendientes con ángulos de 3° a 10° y de color negro las zonas con pendientes de 10° a 25° (Figura 15). Estos análisis nos permiten ver la llanura aluvial (Figura 14) de un modo más claro, identificar diferentes desniveles presentes en la vega que pueden pertenecer a terraplenes, escolleras, cambios de terraza de inundación, etc.

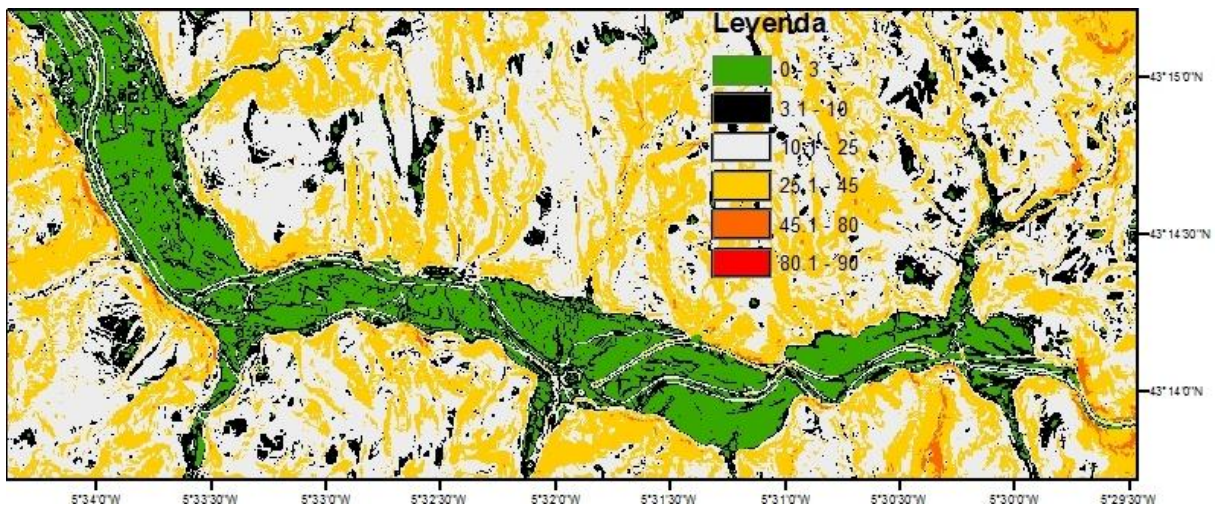


Figura 15. Mapa de pendientes de la zona de estudio.

3. En la realización de los mapas de vulnerabilidad se ha utilizado los datos de usos del suelo del SIOSE. Para compatibilizar los datos del SIOSE de 2005, con el programa ArcGIS, se han tenido que transformar a un formato “shp” (Figura 16).



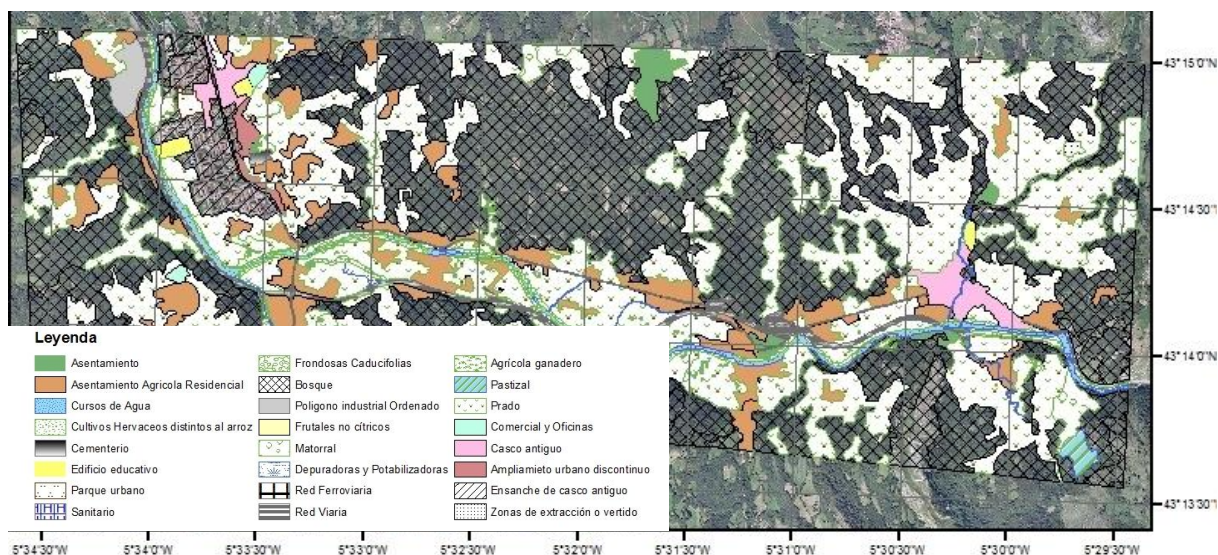


Figura 16. Mapa y leyenda de la distribución de usos del suelo en 2005.

4. Finalmente, para realizar el mapa de datos de los calados de las diferentes zonas de inundación (Figura 45) se han utilizado los programas “*HEC-RAS*” y “*HEC-GeoRAS*”, en ambos casos disponibles de descarga en la página web del *Hydrologic Engineering Center* del *US Army Corps of Engineers* (<http://www.hec.usace.army.mil/>, 2015).

Para ello se ha utilizado el *HEC-GeoRAS*, para una adaptación de los datos de *ArcGIS*. Primero ha sido necesario crear un *TIN* a partir del *raster* del *MDT* mediante la herramienta de *ArcToolBox 3d Analyst Tools/From Raster/Raster to TIN*. A partir de aquí se lleva a término una recreación de los recorridos de la línea de flujo del río, y de los límites de los márgenes del canal y de las zonas que se pueden inundar y se marcan las secciones perpendiculares al río (Figura 17). Para finalizar este proceso se ha hecho un “*Export RAS Data*”, con el que se convierten los datos para manipularlos mediante el programa *HEC-RAS*.

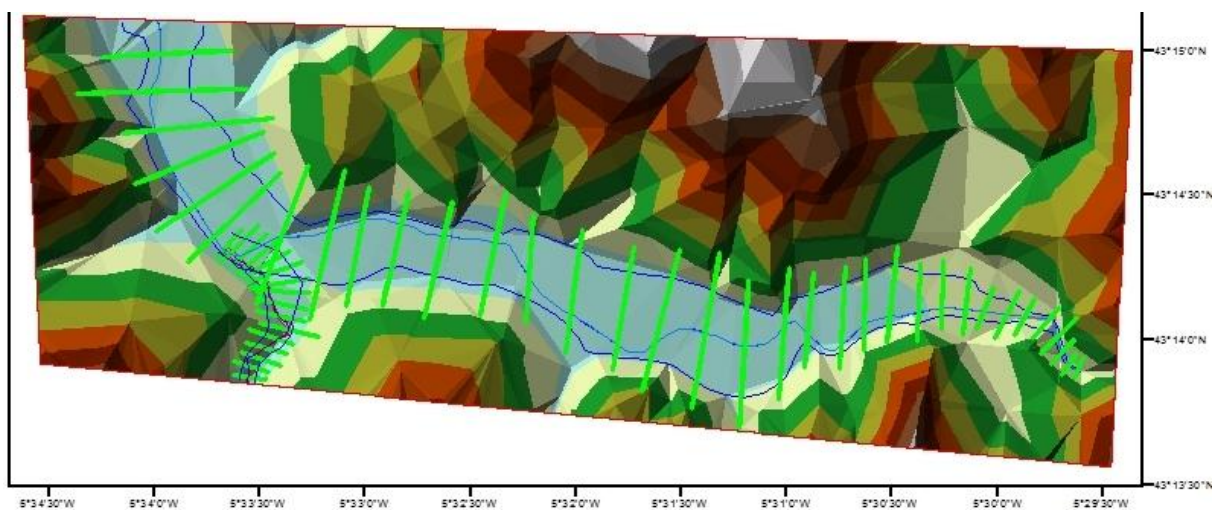


Figura 17. Trazados en *HEC-GeoRAS*.

En segundo lugar, con el programa HEC-RAS, se atribuyen valores de caudal máximo del río para un periodo de retorno de 500 años ( $1088\text{m}^3/\text{s}$  (Zonas Inundables del Sistema Nalón, SNCZI)), y los valores de coeficiente de rugosidad. Se ha tomado ese periodo de retorno por ser el que define la zona inundable según la Ley de Aguas (RD 11/2005). Los valores de rugosidad se han asignado mediante el coeficiente de Manning (coeficiente de rugosidad para el valor de flujo hidráulico) con valor de 0.035 para las zonas del canal (Chow Te, V., 1994), para las zonas de los márgenes derecho e izquierdo del canal se han simplificado en 4 valores diferentes 0.075, 0.06, 0.04 y 0.1 que corresponden a los valores propuestos por el SIOSE y CLC2000, del Anejo V de la Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (Jiménez Álvarez, A. et al., 2011) (Figura 18).

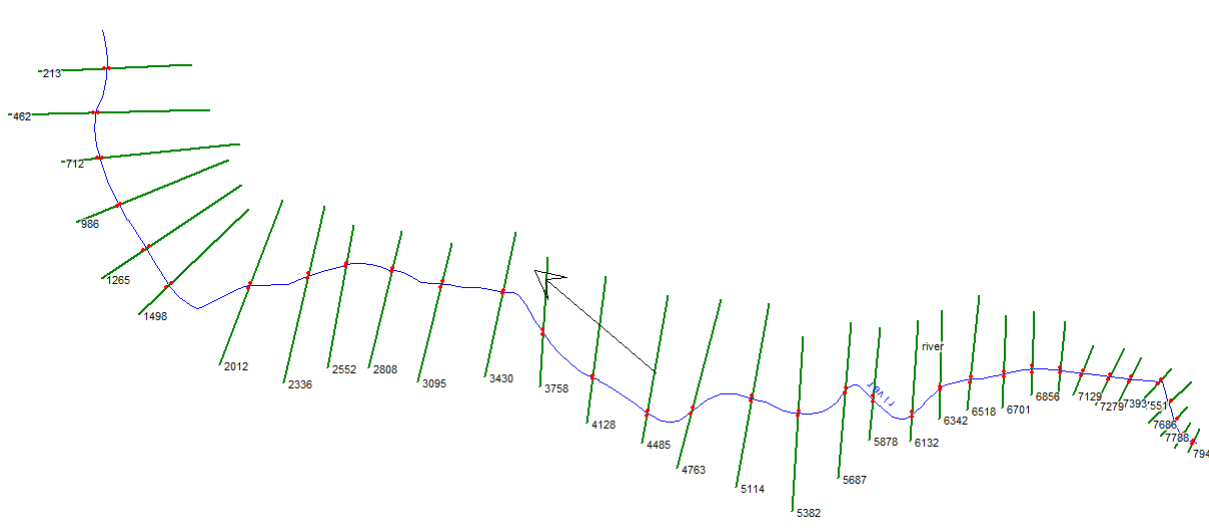


Figura 18. Trazados en HEC-RAS.

Finalmente se vuelven a transformar los datos obtenidos para el uso de ArcMap con el cual se pueden obtener los mapas de calado de inundación.

## 4. Resultados

### 4.1. Evolución fluvial

Con la búsqueda en la hemeroteca de “La Nueva España” y los datos ARPSIs se ha elaborado una tabla de los eventos de inundación encontrados (Tabla 4).

Fuente	Mes	Año
La Nueva España	Febrero	2007
La Nueva España	Junio	2010
La Nueva España	Noviembre	2010
La Nueva España	Febrero	2012
ARPSis		1938
ARPSis		1959
ARPSis		1980
ARPSis		1993
ARPSis		2007

Tabla 4. *Eventos de inundación.*

Con los datos de caudal del anuario aforos se han hecho unos gráficos de evolución del caudal a los días próximos de las ortofotos (Figuras 19 y 20) (de los años 1985 y 1994), teniendo una importancia baja para la Figura 21 (del año 1995) y nula para el resto de años, que se evidencia en la Figura 22, ya que al desconocer el día de la imagen no se puede saber el nivel del caudal del día, y solo se podrían usar los datos anuales.

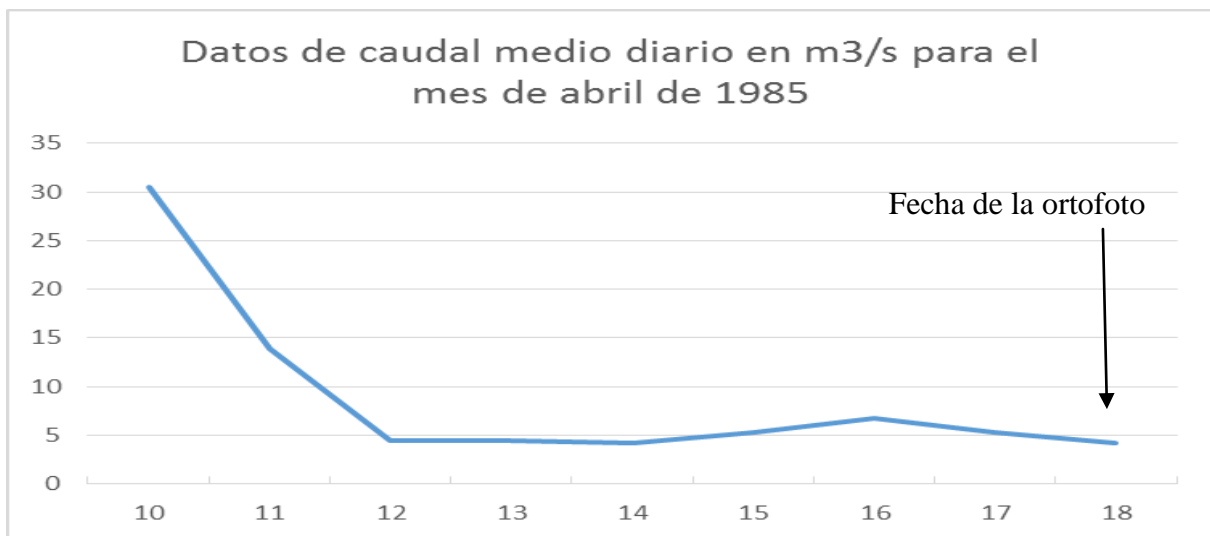


Figura 19. *Valores de caudal del 10 al 18 de abril de 1985. Anuario de aforos.*



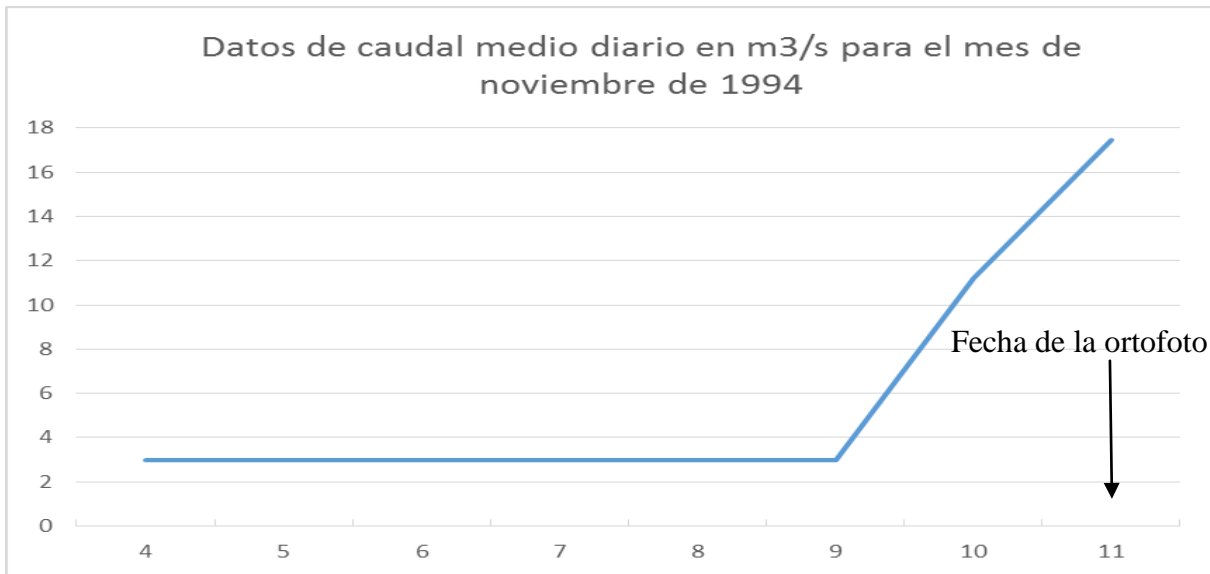


Figura 20. Valores de caudal del 4 al 11 de noviembre de 1994. Anuario de afloros.

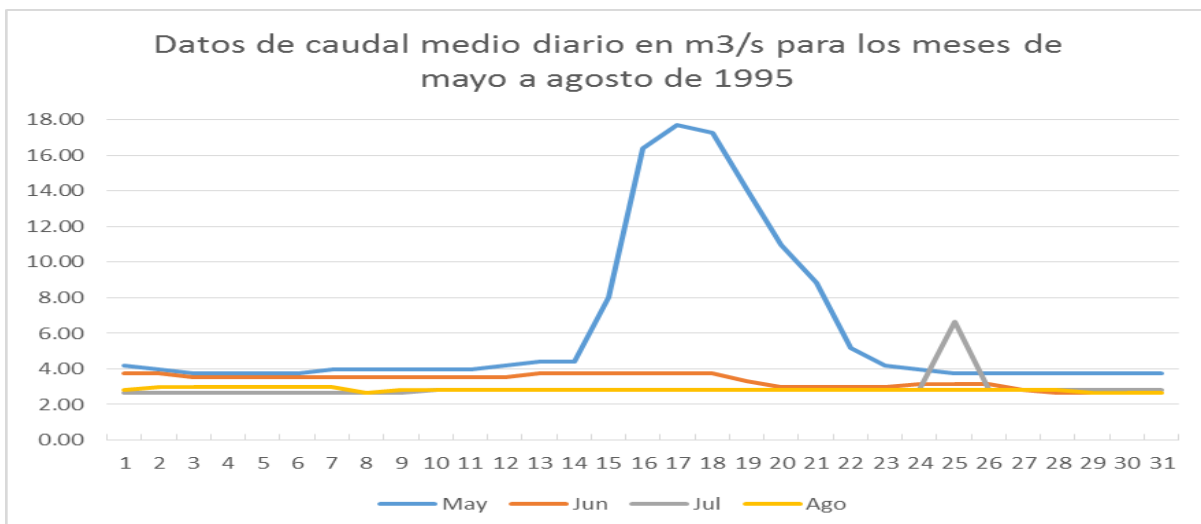


Figura 21. Valores de caudal de los meses de mayo a agosto del año 1995. Anuario de afloros.

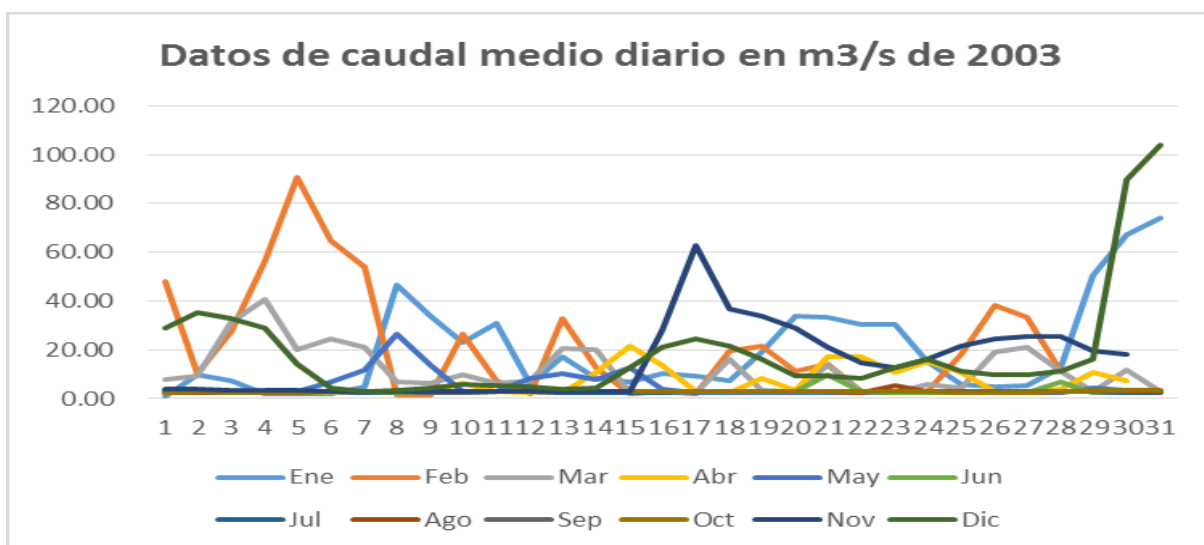


Figura 22. Valores de caudal del año 2003. Anuario de afloros.

Con los datos de caudales obtenidos de la estación de aforo se obtienen unos resultados que se pueden esquematizar con una tabla y de este modo poder valorar qué importancia tiene en la cartografía de los sedimentos del canal fluvial (Tabla 7).

Para poder valorar como ha ido evolucionando el cauce y sus márgenes e identificar situaciones que puedan motivar la consideración de una probabilidad de inundación diferente a la definida en el trabajo del INDUROT (2004) se han elaborado cartografías de la superficie del canal fluvial en el tramo de estudio y de los sedimentos para los diferentes años de los que se tienen imágenes (1958, 1994, 1995, 2003, 2007, 2009 y 2011 y 1985, 1994, 1995, 2003, 2007, 2009, 2011 y 2014 respectivamente). De esta forma es posible identificar variaciones de sección del cauce de especial magnitud que puedan repercutir en la consideración de un aumento o disminución de la probabilidad de desbordamiento y, en consecuencia, de la probabilidad de inundación.

Como era de esperar el canal de estiaje ha ido migrando a lo largo de los años. Estas variaciones se han cuantificado mediante cambios en la distribución y cantidad de los sedimentos del lecho del cauce y con los cambios en la superficie del canal que se han observado con las fotografías aéreas de los diferentes años entre 1985 y 2011. Estos cambios en el canal de estiaje se deben a cambios naturales y a cambios antrópicos en los márgenes del canal.

Teniendo en cuenta la cartografía realizada del canal de estiaje en diferentes fechas

Año	Elemento	Área ha
1985	Superficie del río	30,19
1994	Superficie del río	19,19
1995	Superficie del río	21,13
2003	Superficie del río	15,69
2007	Superficie del río	16,95
2009	Superficie del río	13,46
2011	Superficie del río	20,94

Tabla 5. Áreas en hectáreas que ocupa la superficie del canal del río Nalón en el área estudiada para los diferentes años de estudio.

(Tabla 5), se observa que el cauce es más ancho en 1985 e implica que tuviese más superficie de sedimentos, como indican los datos. La menor superficie de sedimentos (Tabla 6) expuestos en 1994 tiene dos factores principales: un alto caudal en el momento de la fotografía (Tabla 5) y el hecho de que la fotografía aérea no cubre el 100% de la zona de estudio, dando una menor área cartografiable (se pierden unos 800m de la parte este del río). A pesar de la poca cantidad de

sedimentos en 1994 continúa reconociéndose grandes agrupaciones sedimentarias en formas de isleta (Figura 23). Teniendo en cuenta la secuencia de inundaciones históricas realizada en este trabajo (Tabla 4), se estima que parte de estas barras debieron ser acumuladas por las inundaciones de 1993.

Año	Elemento	Área ha
1985	Sedimentos	9,07
1994	Sedimentos	1,74
1995	Sedimentos	2,05
2003	Sedimentos	2,69
2007	Sedimentos	2,74
2009	Sedimentos	2,15
2011	Sedimentos	4,44
2014	Sedimentos	4,56

Tabla 6. Áreas en hectáreas que ocupan los sedimentos del canal del río Nalón en el área estudiada para los diferentes años de estudio.

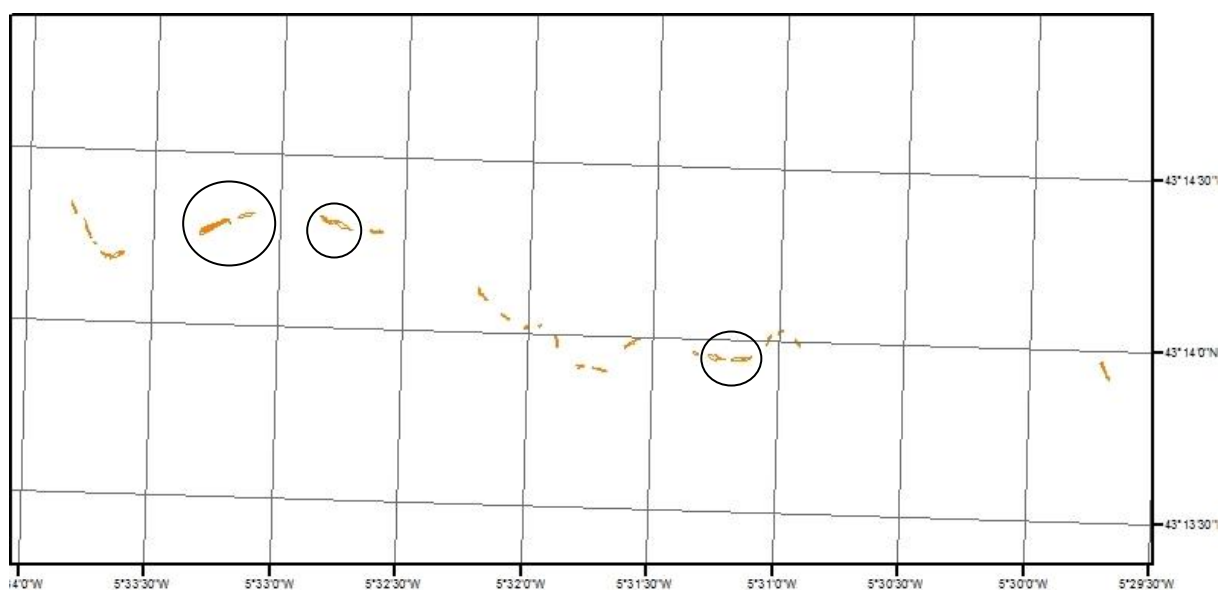


Figura 23. Cartografía de los sedimentos del Nalón en la zona de estudio en el año 1994.

En la Figura 23 se remarcan las agrupaciones de sedimentos más grandes. Estas agrupaciones de sedimentos también se aprecian en las cartografías de 2007 y 2011 (Figuras 24 y 25) y deben de haberse generado por los procesos de inundación que se dieron 17 de febrero de 2007 y las inundaciones del 9 al 11 de junio y del 1 de noviembre de 2010. En estos dos casos no se puede atribuir al caudal el hecho de que haya mayor superficie de sedimentos que en 1994 ya que no se dispone de datos de caudal para los días de estas ortofotos.

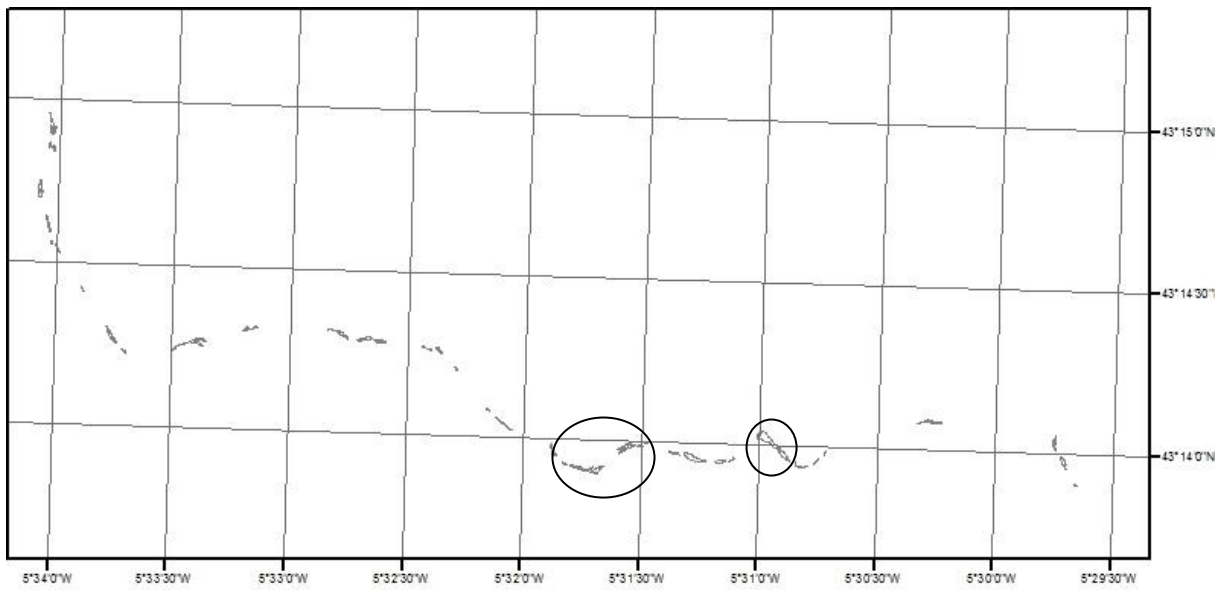


Figura 24. Cartografía de los sedimentos del Nalón en la zona de estudio en el año 2007.

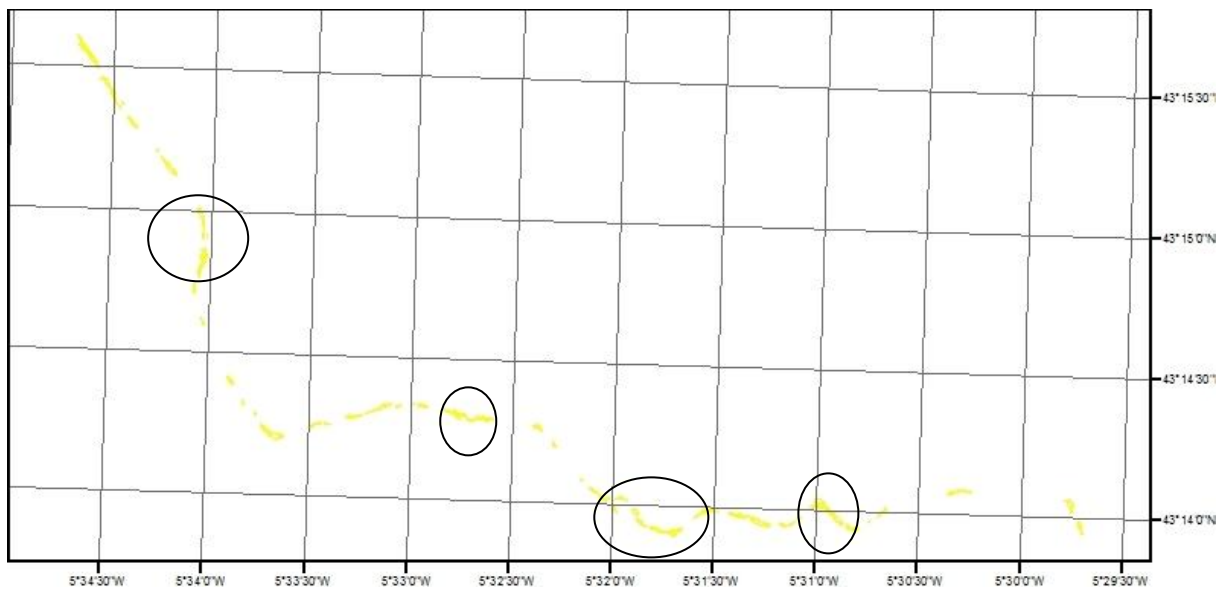


Figura 25. Cartografía de los sedimentos del Nalón en la zona de estudio en el año 2011.

En el caso de los sedimentos detectados en 2014 hay un factor que repercute en la gran mayor superficie cartografiada respecto años anteriores (Figura 26), haber realizado la cartografía con datos de campo que ha permitido afinar mejor la cartografía de la envolvente de las barras (11/12/2014). En este caso también encontramos agrupaciones de sedimentos, que como en los casos anteriores se consideran de las inundaciones, en este caso de la del 6 de febrero de 2012.

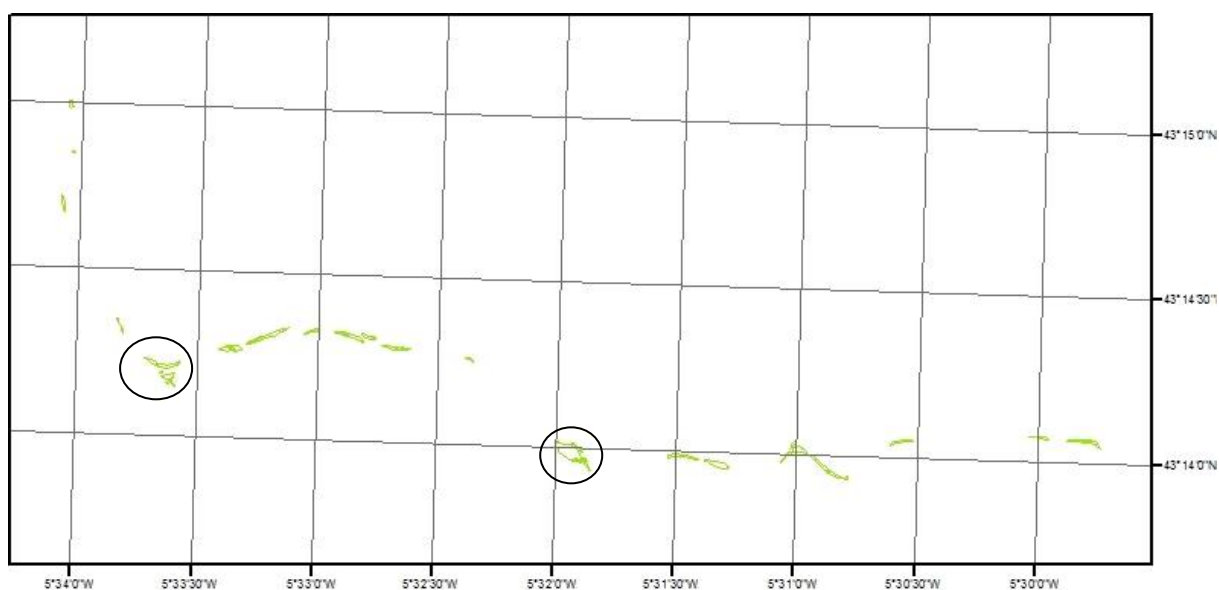


Figura 26. Cartografía de los sedimentos del Nalón en la zona de estudio en el año 2014.

Estos resultados se han obtenido con la combinación de las cartografías y de los valores de la estación de aforos, resumidos en la Tabla 7.

	Valor medio del día de la imagen m <sup>3</sup> /s	Valor medio del mes de la imagen m <sup>3</sup> /s	Valoración
Fotografía aérea de 1985	5	19,94	Caudal bajo con muchos sedimentos descubiertos
Fotografía aérea de 1994	17	7,22	Caudal alto con pocos sedimentos descubiertos
Fotografía aérea de 1995	Entre mayo y agosto	de 4,04 a 14,67	No relevante al no tener una fecha exacta
Ortofoto de 2003	No se tiene fecha	-	No relevante al no tener una fecha exacta
Ortofoto de 2007	No se tiene fecha	-	No relevante al no tener una fecha exacta
Ortofoto de 2009	No se tiene fecha	-	No relevante al no tener una fecha exacta
Ortofoto de 2011	No se tiene fecha	-	No relevante al no tener una fecha exacta

Tabla 7. Síntesis de los datos de caudal.

Además de las inundaciones hay otros factores que afectan al nivel de sedimentos que se encuentran en el canal. Estos factores serían en primer lugar la separación entre márgenes del cauce, con el que el agua transcurriría con menos energía, movilizandolos menos sedimentos (Figura 27). Y en segundo lugar estarían las estructuras que interfieren en el avance del río, es

decir, los puentes. Se pasa de tener 6 puentes en 1985 a 9 puentes en 2011.

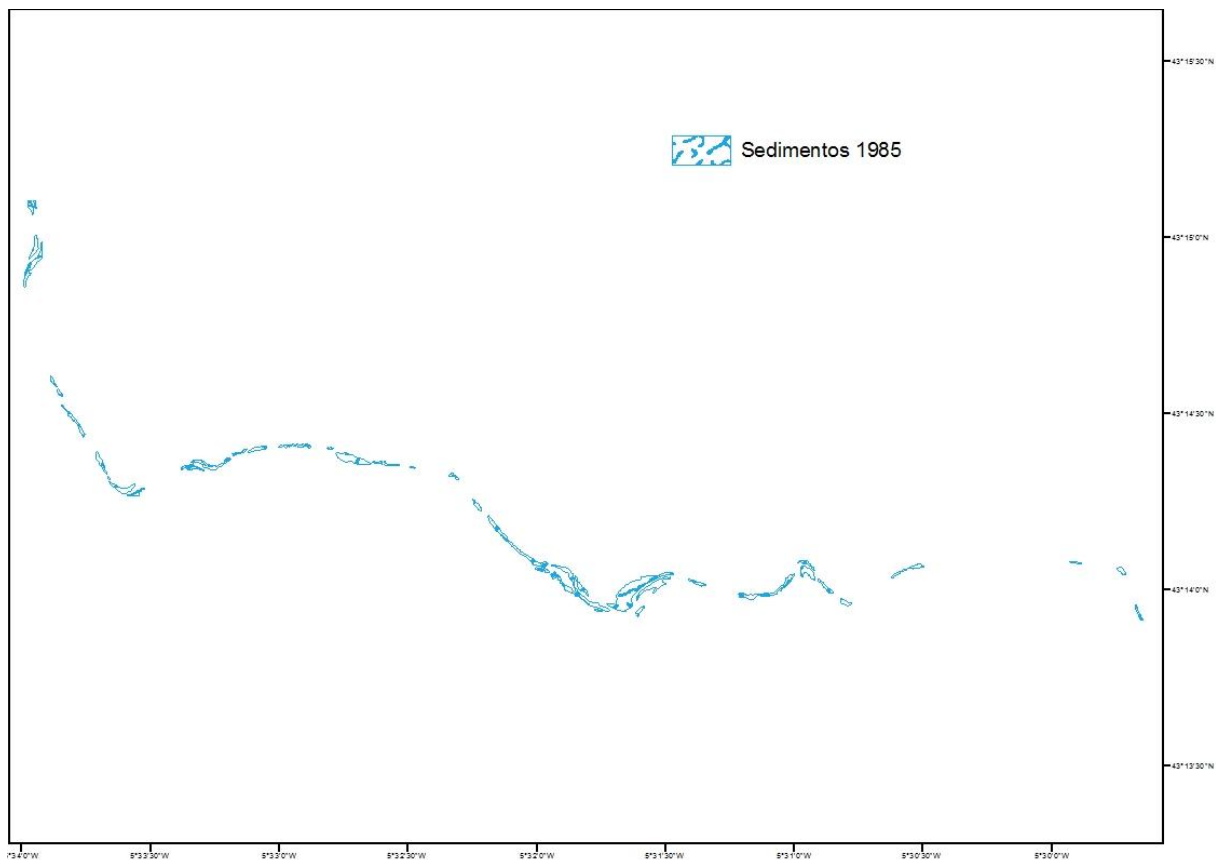


Figura 27. Cartografía de los sedimentos del Nalón con márgenes muy anchos, 1985.

Observando las cartografías, se aprecia la mayor evolución de cambios comparando las cartografías de 1985 y 2011. Al sobreponer estas dos cartografías en un mismo mapa (Figura 38) se pueden apreciar cambios en el ancho del cauce (figura 32), que se ha visto reducido hasta unos 130m (Figura 32), en el trazado de algunos tramos, con tramos más rectos actualmente (Figura 29), y que algunos meandros pasan de ser irregulares a curvas regulares, reduciendo la sinuosidad (Figura 29).

Si cogemos en detalle dos zonas concretas (Figuras 29 y 32) donde se aprecian significativamente estos cambios se puede detectar a que se deben a la antropización de la vega, si incluimos las imágenes de la fotografía aérea de 1985 (Figuras 30 y 33) y de la ortofoto de 2011 (Figuras 31 y 34). Como se observa con las imágenes (Figuras 30, 31, 33 y 34) hay una canalización de los márgenes para proteger zonas urbanas e industriales, y construcción de puentes para comunicar las dos partes de la vega del río.

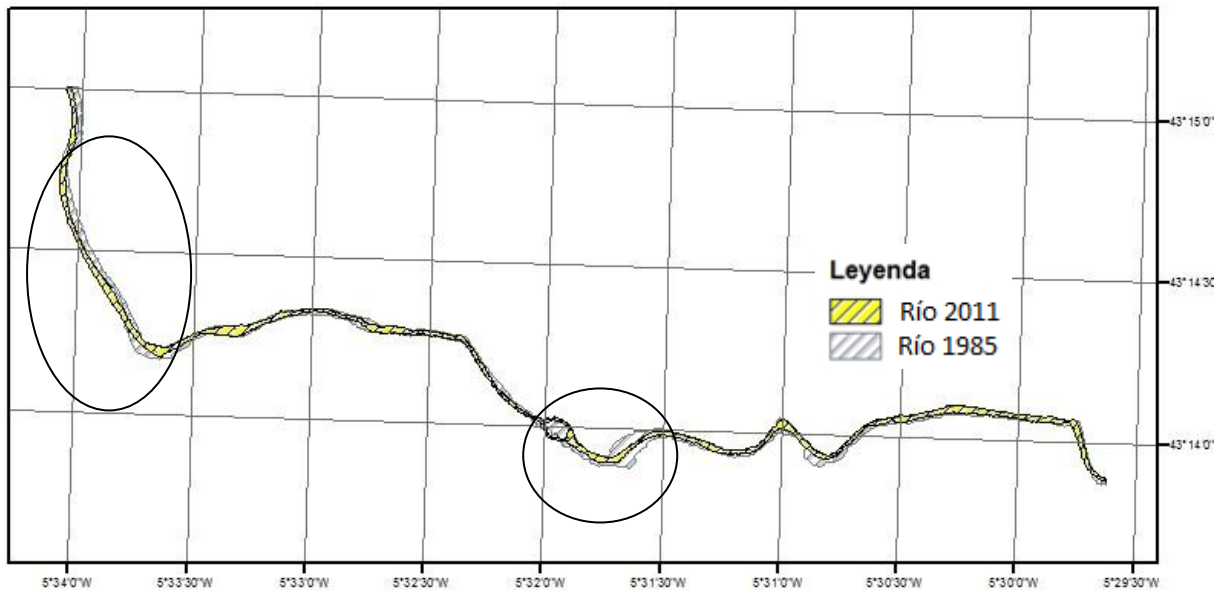


Figura 28. Cartografía de los canales fluviales en 1985 y en 2011.

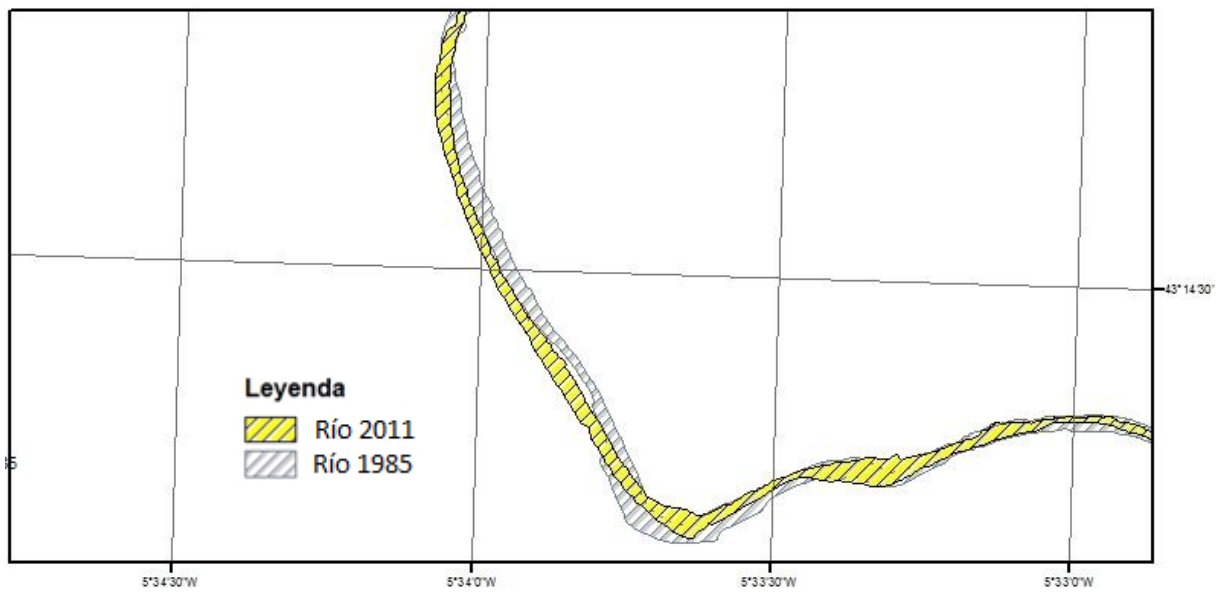


Figura 29. Detalle de la cartografía de los canales fluviales en 1985 y en 2011.

En la Figura 29 se puede apreciar como el trazado del cauce en el año 2011 (en amarillo) es más recto que en el año 1985 (en gris) perdiendo sinuosidad en el trazado.





Figura 30. Detalle de la ortofoto de 1985.



Figura 31. Detalle de la ortofoto de 2011.

Con las imágenes anteriores (Figuras 30 y 31) se aprecia el cambio en el trazado comentado en la Figura 29. Se observa como paralela al cauce, en la imagen de 2011, se encuentra la carretera As-117 que impide la sinuosidad en ese margen del cauce.



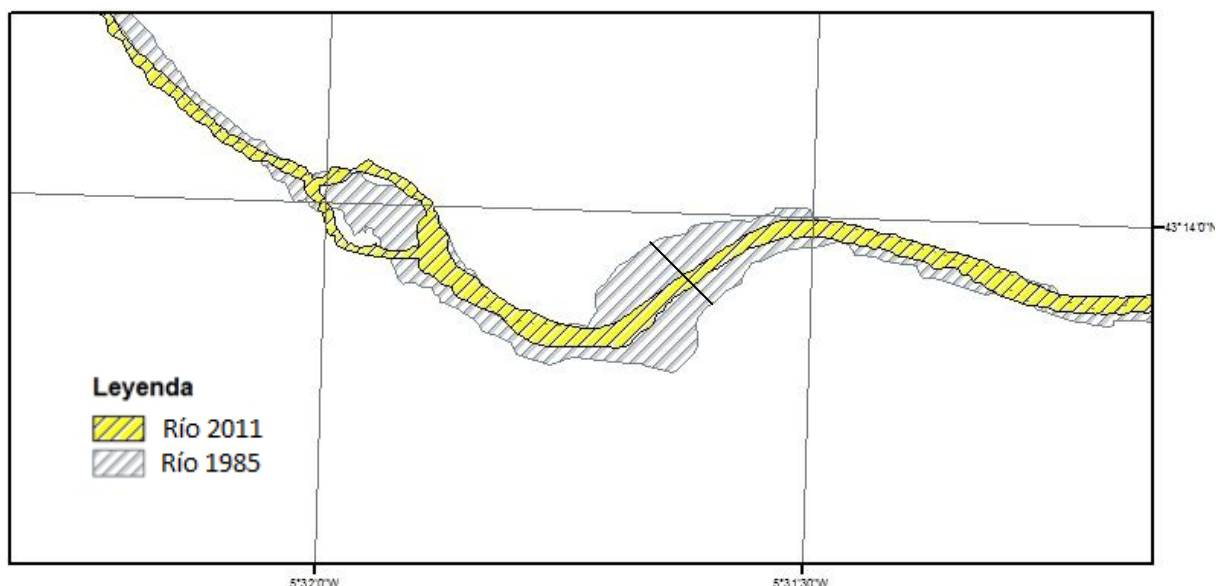


Figura 32. Detalle de la cartografía de los canales fluviales en 1985 y en 2011.

En la Figura 32 se observa el cambio en el ancho del cauce que pasa, en la zona marcada, de tener una anchura de 156m en el año 1985 (en gris) a tener una anchura de 25m en el año 2011.



Figura 33. Detalle de la ortofoto de 1985.

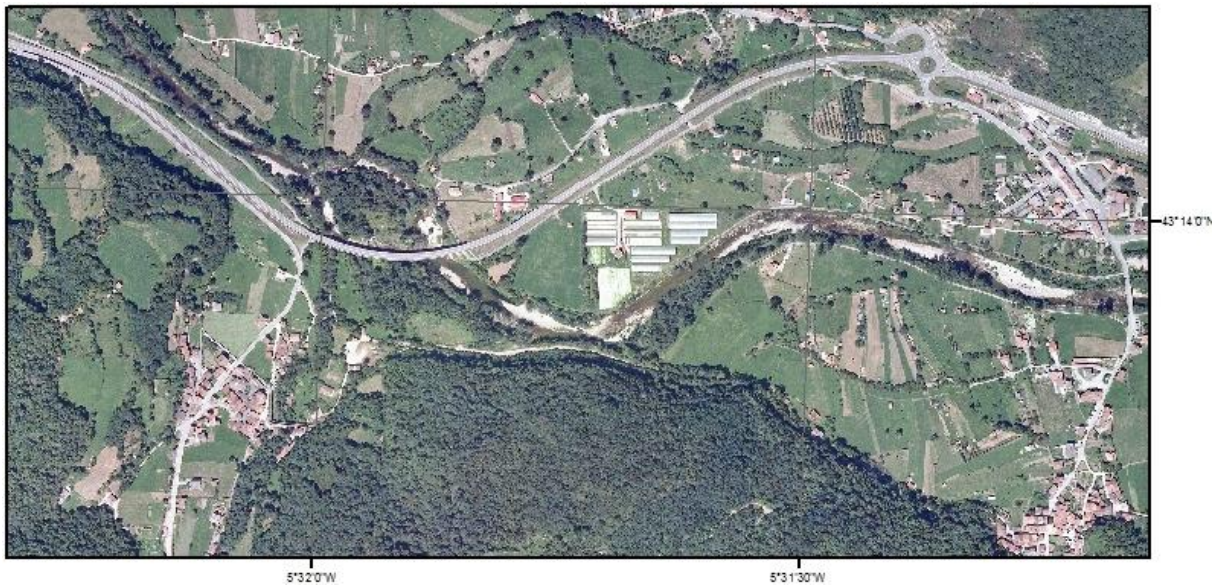


Figura 34. Detalle de la ortofoto de 2011.

Con las imágenes de los años 1985 y 2011 (Figuras 33 y 34) se observa como en la zona donde hay el cambio de anchura del cauce en 2011 hay edificaciones en parte de la zona que en 1985 se considera cauce.

Por otro lado, cerca del puente de la Chalana, el canal de estiaje tenía una anchura de hasta 200m que se redujo hasta una anchura de 60m por un encauzamiento de las aguas antes de 1924 (León, A., 1924). Dicho encauzamiento se realizó en el río Nalón desde Laviana hasta San Esteban de Pravia (Trinidad, F., 2010). Además, hay documentos gráficos (Figura 35) en los que se observa como el río se trenzaba, en sus crecidas, en las zonas cercanas al Puente de La Chalana (GRUPO TRAGSA 2007).



Figura 35. Detalle del tranzado en crecidas de 1957. (Grupo TRAGSA 2007).

A pesar de los cambios descritos en relación con las variaciones en la sección del cauce a lo largo de las últimas décadas, incluyendo algunos encauzamientos, salvo en el tramo de Pola de Laviana donde la canalización ha sido diseñada para altos periodos de retorno, reduciendo significativamente la probabilidad de inundación en esta localidad con respecto a la imagen de 1957 (Figura 35), en el resto del tramo entre el Condado y la Chalana no se



estiman variaciones significativas en la probabilidad de inundación. No obstante, para confirmar este planteamiento en el siguiente apartado se analizan las evidencias de actividad fluvial que se reconocen sobre la llanura aluvial en diferentes fechas.

## 4.2. Mapas de probabilidad de inundación

En la elaboración de los mapas de probabilidad de inundación se ha tenido que calcular: la llanura aluvial (Figura 36), las terrazas de inundación (Figura 37), las medidas de protección de inundaciones (Tablas 1 y 2) y el mapa de peligrosidad de inundaciones de 2003 disponible en el SNCZI (Figura 10).

En la realización del mapa de la llanura aluvial (Figura 36), se ha tenido en cuenta: las pendientes del terreno, las curvas de nivel y la zona cubierta por sedimentos fluviales que muestra la Figura 7. El límite inundable se encuentra en el límite entre la vega (más o menos llana) y las partes montañosas, marcado por un aumento brusco de la pendiente (Figura 36).

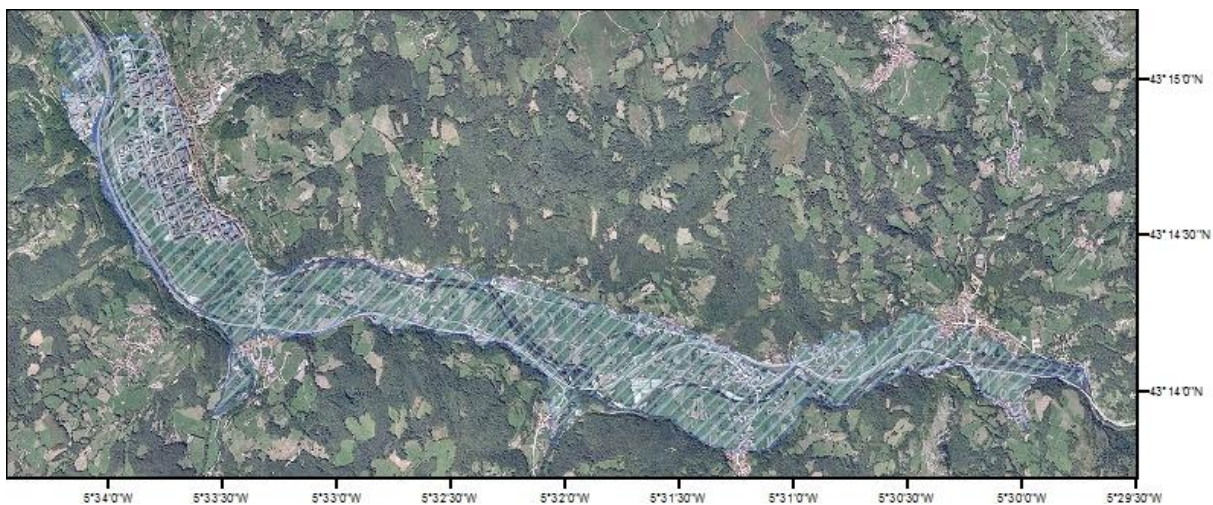


Figura 36. Cartografía del llano de inundación.

La cartografía de límites de terrazas de inundación (Figura 37) se ha realizado gracias al trabajo de campo, la observación de los límites de inundación de los mapas de peligrosidad de 2003 y a la contraposición entre las imágenes de las ortofotos del PNOA 2011 y los mapas de las pendientes.

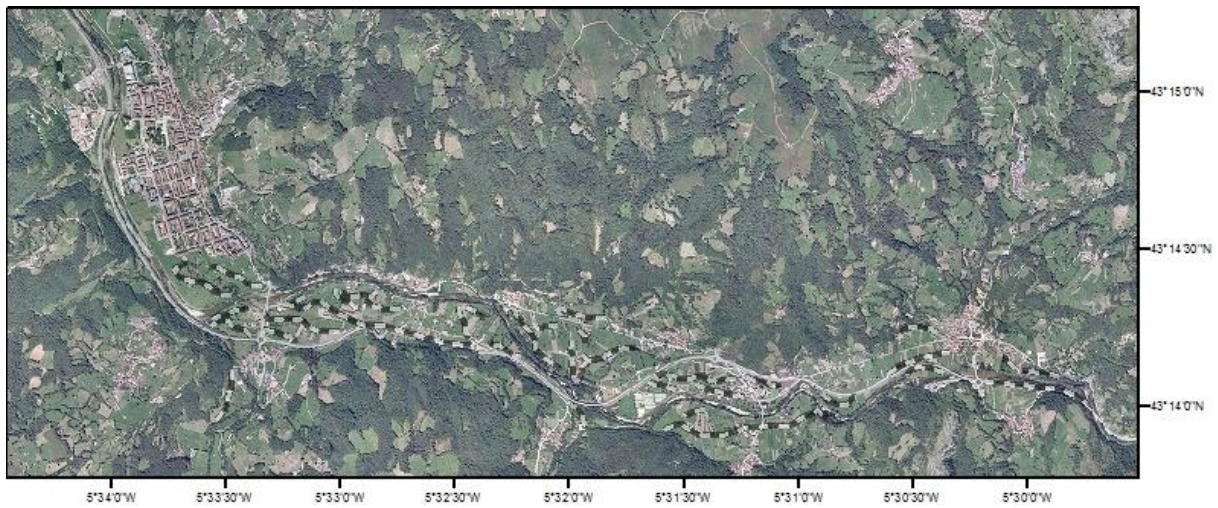


Figura 37. Cartografía del llano las terrazas de inundación.

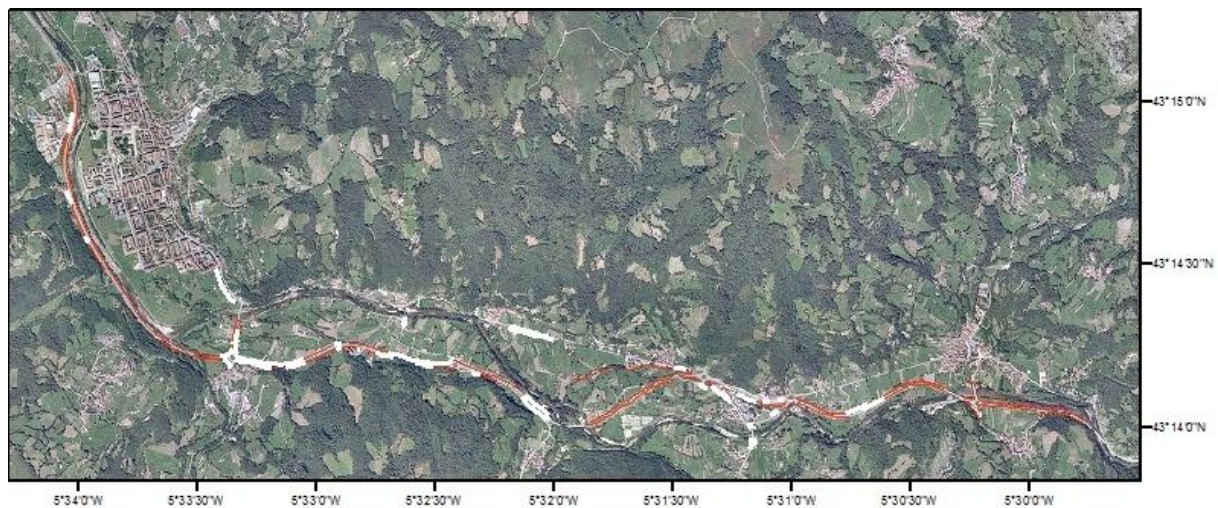


Figura 38. Cartografía de los terraplenes.

El mapa de pendientes muestra como la carretera AS-117 y otras partes de carreteras secundarias han sido elevadas por un terraplén. Estos terraplenes se marcan en blanco en la Figura 38 para mostrar su posición en la vega. Los terraplenes tienen unas pendientes de entre  $3^\circ$  y  $25^\circ$ , y pueden funcionar como diques de contención de la lámina de inundación.



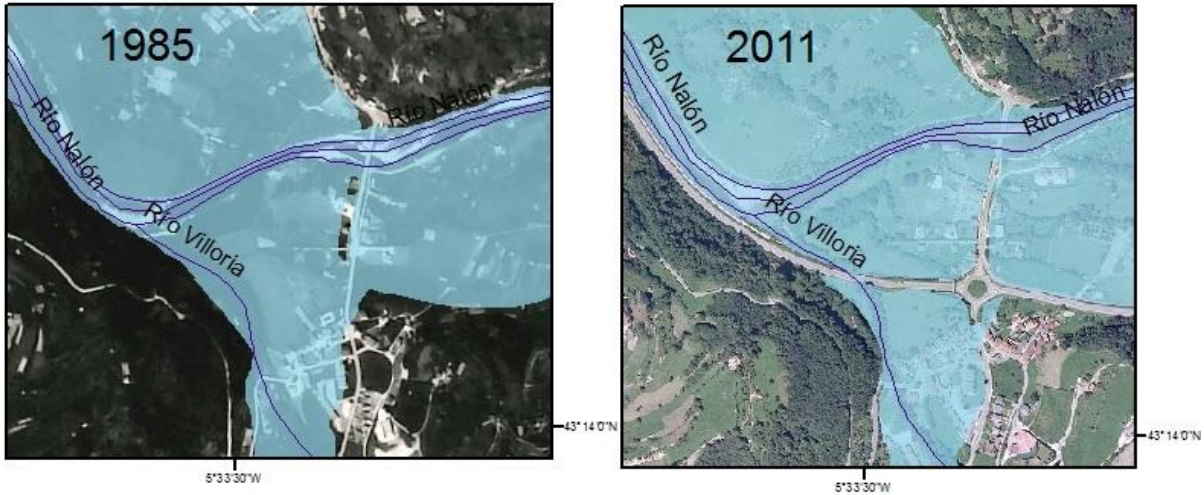


Figura 39. Convergencia entre la lámina de inundación del río Villoria con la del río Nalón.

Los efectos del terraplén de la carretera As-117 son muy evidentes entre las poblaciones de Villoria y La Chalana (Figura 39). En este punto se observa como en 1985 la probabilidad de inundación era una lámina continua y en 2011 queda dividida a norte y sur de la carretera.

Para generar los mapas de probabilidad de inundación de 1985 (Figura 40) y de 2011 (Figura 41) se han tenido en cuenta diferentes factores explicados anteriormente (llanura aluvial, terrazas de inundación, medidas de protección contra inundaciones y el mapa de peligrosidad 2003). De este modo se han realizado los nuevos mapas de probabilidad de inundación dividiéndolos en periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años (igual que en la Figura 10).

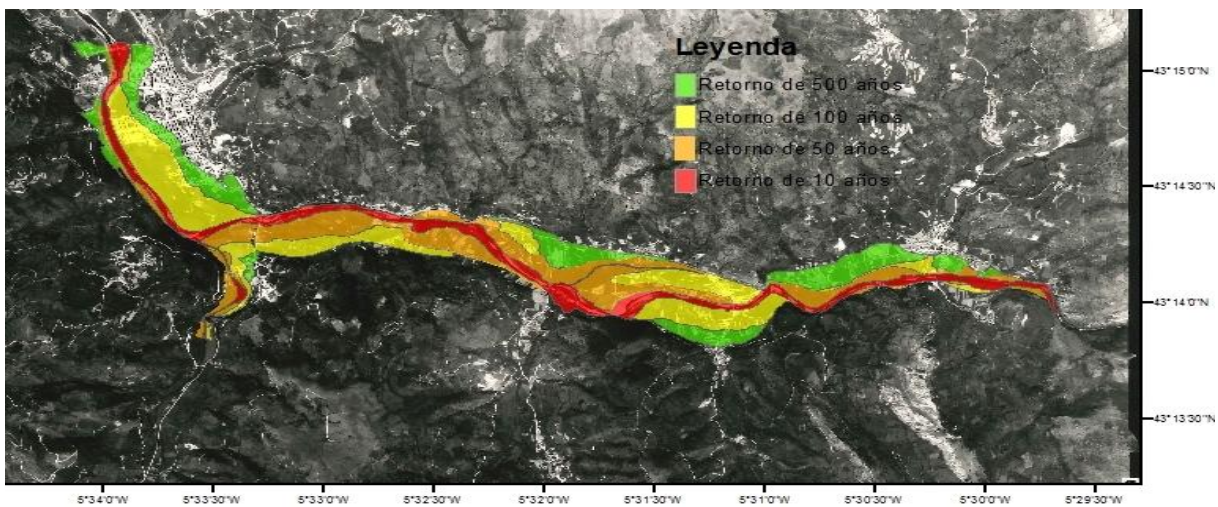


Figura 40. Cartografía de las zonas con probabilidad de inundación de 1985.



Periodo de retorno	Área en ha
10 años	48,67
50 años	117,81
100 años	199,78
500 años	258,08

Tabla 8. Áreas de las probabilidades de inundación de los diferentes periodos de retorno en 1985.

El resultado del mapa de probabilidad de inundación de 1985 (Figura 40) nos muestra la distribución espacial de la probabilidad de inundación para periodos de recurrencia de 10 años (rojo), de 50 años (naranja y rojo), de 100 años (amarillo, naranja y rojo) y de 500 años (verde, amarillo, naranja y rojo). También se ha obtenido la superficie que ocupa cada periodo de retorno (Tabla 8).

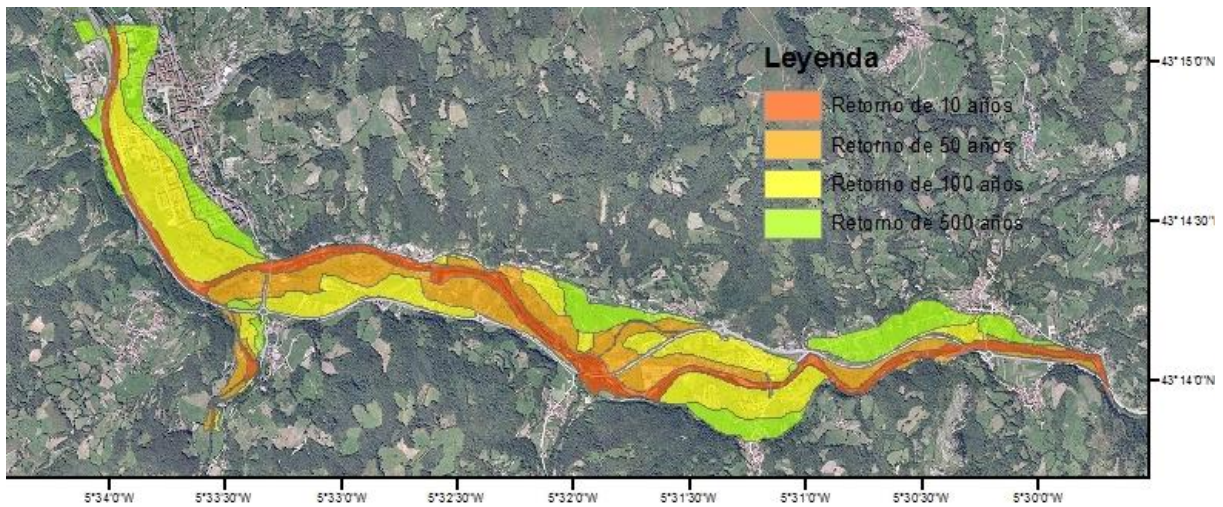


Figura 41. Cartografía de las zonas con probabilidad de inundación de 2011.

Periodo de retorno	Área en ha
10 años	41,09
50 años	101,06
100 años	186,95
500 años	244,89

Tabla 9. Áreas de las probabilidades de inundación de los diferentes periodos de retorno en 2011.

El resultado del mapa de probabilidad de inundación de 2011 (Figura 41) nos muestra la distribución espacial de la probabilidad de inundación para periodos de recurrencia de 10 años (rojo), de 50 años (naranja y rojo), de 100 años (amarillo, naranja y rojo) y de 500 años (verde, amarillo, naranja y rojo). También se ha obtenido la superficie que ocupa cada periodo de retorno (Tabla 9).

Periodo de retorno	diferencia de área de 2003-1985 ha	diferencia de área de 2011-2003 ha	diferencia de área de 2011-1985 ha
10 años	-7,13	-0,45	-7,58
50 años	-15,03	-1,72	-16,75
100 años	-10,17	-2,66	-12,83
500 años	-11,17	-2,02	-0,37

Tabla 10. Cambios en el área de la probabilidad de inundación.

Con estos nuevos mapas y el del INDUROT de 2004 se ha realizado una comparación de las áreas que ocupan cada periodo de recurrencia de la probabilidad de inundación (Tabla 10). Estos valores muestran como las áreas con probabilidades de inundación van disminuyendo. Este hecho evidencia que las actuaciones que repercuten al área de probabilidad de inundación han surgido efecto y que estas actuaciones se han realizado, mayoritariamente, entre los años 1985 y 2003.

El principal cambio de la probabilidad de inundación de 500 años de retorno se asocia a los rellenos realizados sobre la llanura en relación con la carretera As-117, que provoca que los terrenos que inicialmente presentaban una probabilidad de inundación de 258,08ha en 1985 hayan pasado a presentar actualmente una probabilidad de inundación de 244,89ha.

Otro pequeño cambio lo ha sido producido por la construcción de la depuradora, que al estar protegida por un pequeño dique, reduce la probabilidad de inundación en periodos de retorno de 50 años en 1.16ha (0.98%).

### 4.3. Mapas de vulnerabilidad

Para realizar unas buenas medidas de protección o prevención de las avenidas se tiene que tener una buena información sobre los usos del suelo. Los mapas de vulnerabilidad se han realizado modificando los valores de usos del suelo que se tenían del SIOSE de 2005. Estos cambios se han realizado mediante la fotografía aérea del año 1985 y las ortofotos de los años 2003 y 2011. En cada uno de estos casos se ha hecho se ha cambiado el valor de los usos del suelo allí donde estos son diferentes. De este modo se han obtenido los mapas de vulnerabilidad de inundaciones de 1985 (Figura 42), 2003 (Figura 43) y 2011 (Figura 44).

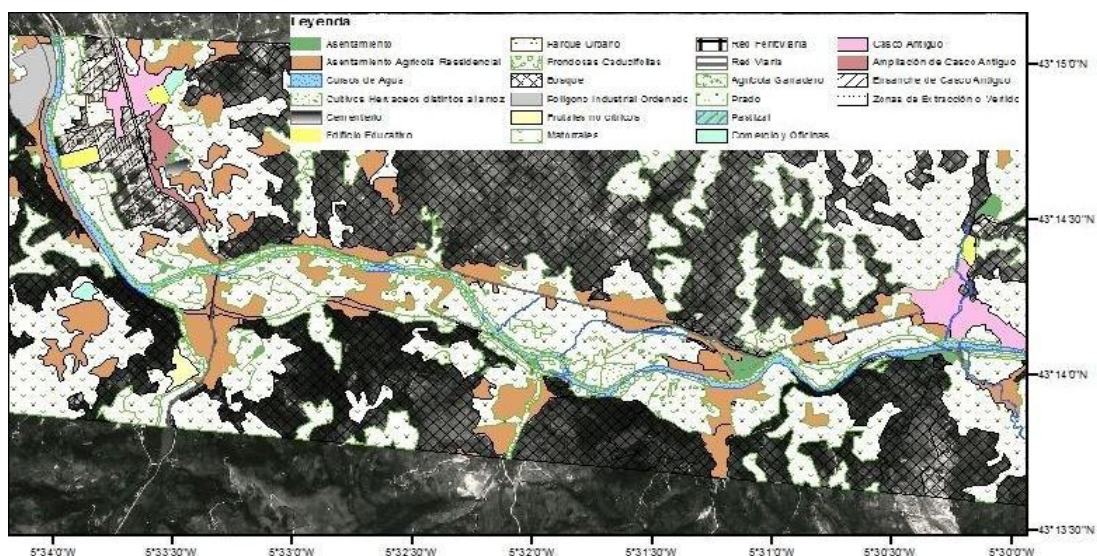


Figura 42. Mapa y leyenda de la distribución de usos del suelo en 1985.



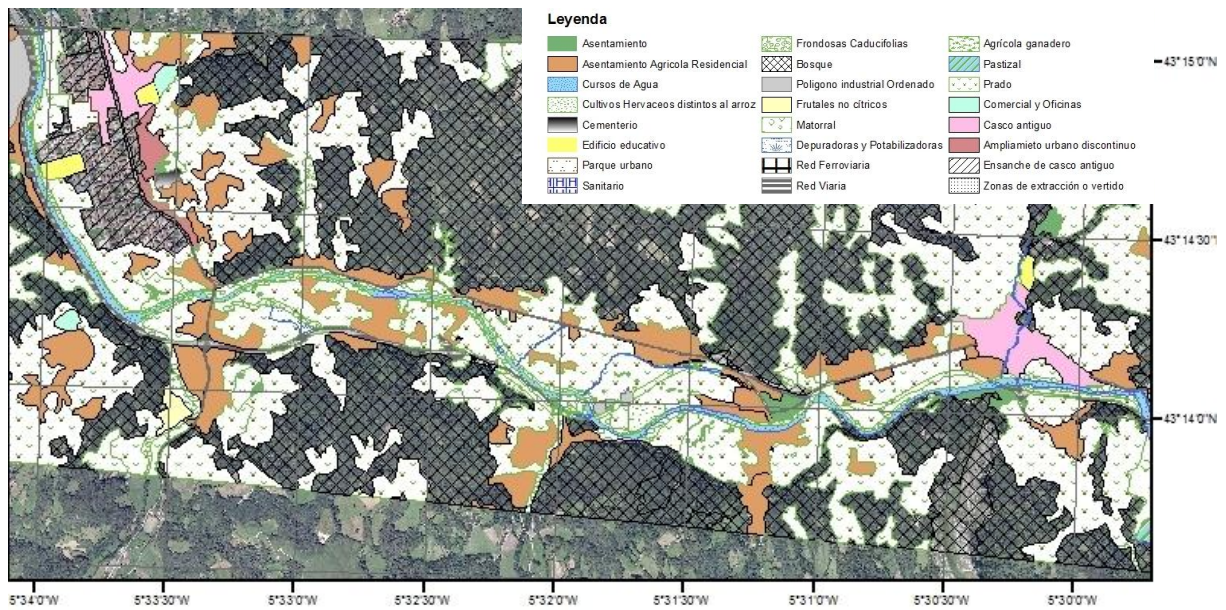


Figura 43. Mapa y leyenda de la distribución de usos del suelo en 2003.

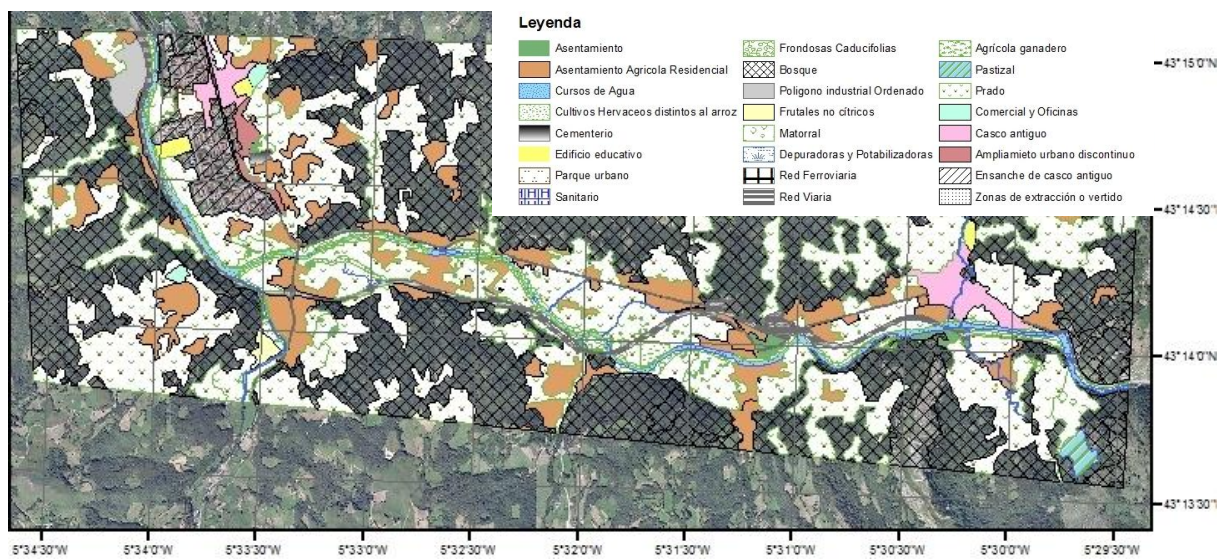


Figura 44. Mapa y leyenda de la distribución de usos del suelo en 2011.

Uso del suelo	diferencia de área de 2003-1985 ha	diferencia de área de 2011-2003 ha	diferencia de área de 2011-1985 ha
Asentamiento	1,05	0,44	1,50
Asentamiento agrícola	0,42	-0,07	0,35
Cursos de agua	-0,30	0,61	0,31
Cultivos Herbáceos distintos al arroz	0,00	0,00	0,00
cementerio	0,00	0,00	0,00
Edificio educativo	0,00	0,00	0,00
Parque urbano	0,00	0,00	0,00
Edificio sanitario	0,12	0,00	0,12
Fronosas Caducifolias	3,09	-1,14	1,95
Bosque	-3,24	-1,85	-5,09
Polígono industrial ordenado	-0,33	-0,81	-1,15
Frutales no cítricos	0,00	0,00	0,00
Matorral	0,00	0,00	0,00
Depuradoras y potabilizadoras	1,16	0,00	1,16
red ferroviaria	0,00	0,00	0,00
Red viaria	13,66	8,54	22,20
Agrícola ganadero	0,00	0,00	0,00
Prado	-15,21	-10,16	-25,37
Pastizal	0,00	0,00	0,00
Comercial y oficinas	0,00	0,00	0,00
Casco antiguo	0,00	0,00	0,00
Apilamiento urbano discontinuo	0,00	0,00	0,00
Ensanche del casco antiguo	3,27	3,24	6,50
Zonas de extracción o vertido	0,00	0,00	0,00

Tabla 11. Cambios en el área de la vulnerabilidad.

Así, se han podido cuantificar los cambios en los usos del suelo que se han producido (Tabla 11). Estos valores confirman que los tipos de usos del suelo que más aumenta de área en la zona de estudio son aquellos con una valoración de la vulnerabilidad más alta, exceptuando las zonas de polígonos industriales. Por el contrario los tipos de usos que disminuyen el área son de vulnerabilidades reducidas.

#### 4.4. Mapa de calados

Como se ha comentado anteriormente, se ha utilizado el caudal máximo para el área de probabilidad de inundación con recurrencia de 500 años. Esto se hace para tener en cuenta las peores previsiones para el riesgo por inundación.

Para la representación gráfica del mapa de calados se ha utilizado la clasificación propuesta por Bussi, G., et al., 2011: inferiores a 0.8m de 0.8m a 1.2m y superiores a 1.2m



(Figura 45), descritos posteriormente (capítulo 4.4 Mapa de calados).

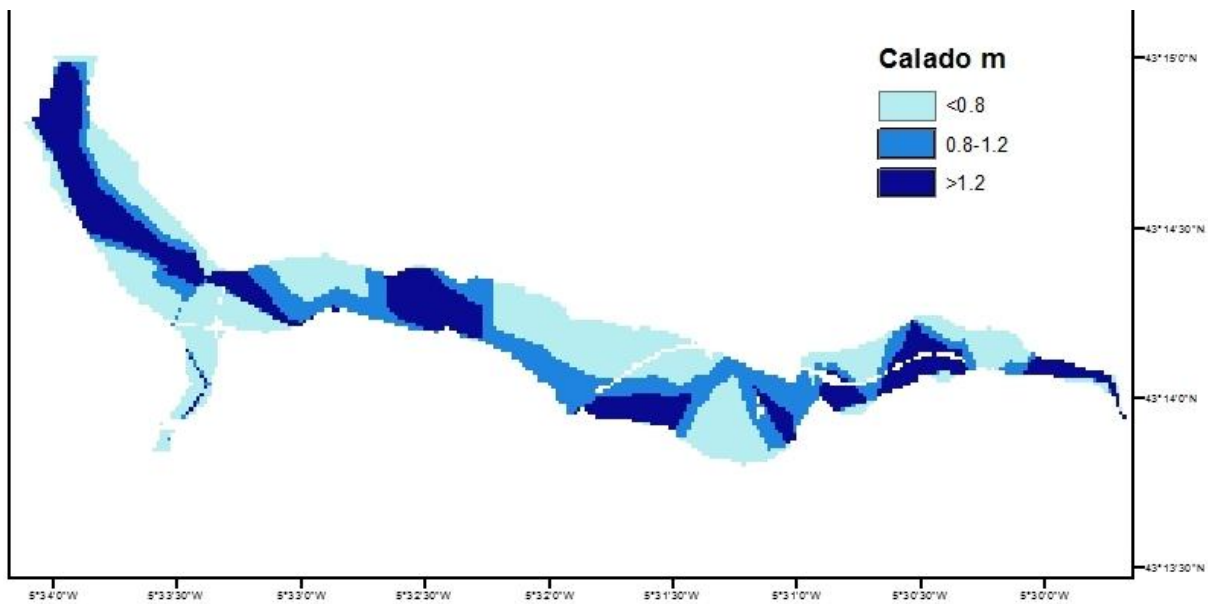


Figura 45. Mapa de calados de inundación.

El mapa de calados ha necesitado de algunos cambios en relación con los datos que se han obtenido con el programa HEC-RAS. Estos primeros datos dan una zona de mayor profundidad, representado con el azul más oscuro, al sur de Pola de Laviana y en Puente d'Arcu (Figura 46), que no equivalen con el canal actual del río. Son un error derivado de la formación del TIN, que simplifica los datos del MDT. En la zona al sur de Pola de Laviana marca la zona por la que pasaba un antiguo canal fluvial del Nalón.

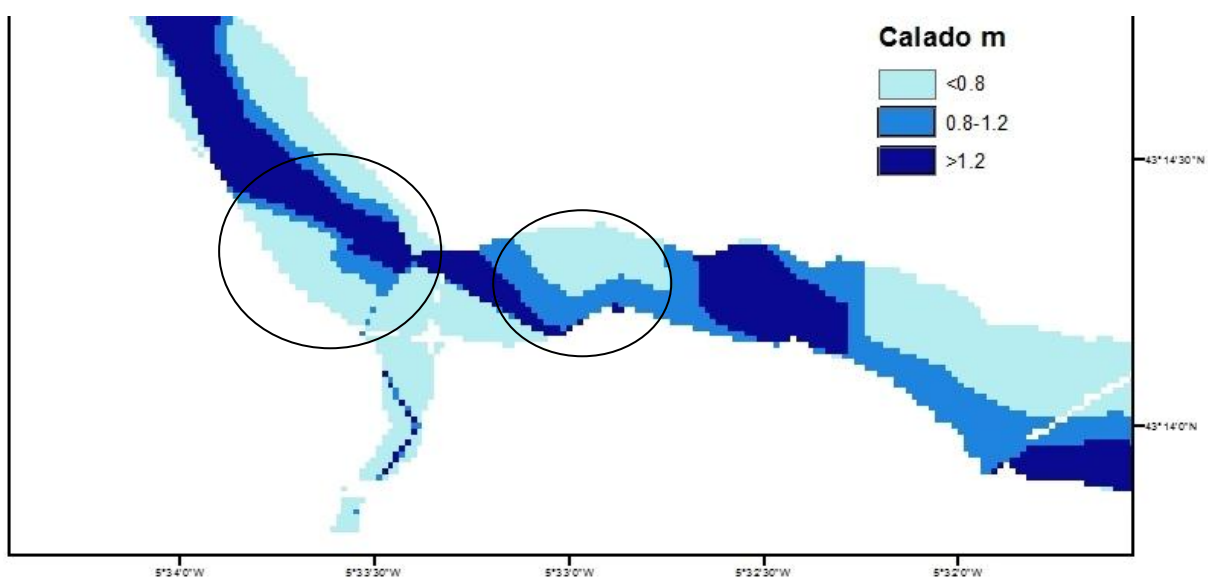


Figura 46. Error del mapa de calados de inundación.



Para corregir estos errores, se ha realizado un cambio manual de los valores las zonas con valores erróneos. Este cambio de valores se realiza teniendo en cuenta la posición del canal fluvial actual, así como de los valores de pendientes de la zona. De este modo se ha obtenido el mapa de calados de la región de estudio (Figura 47).

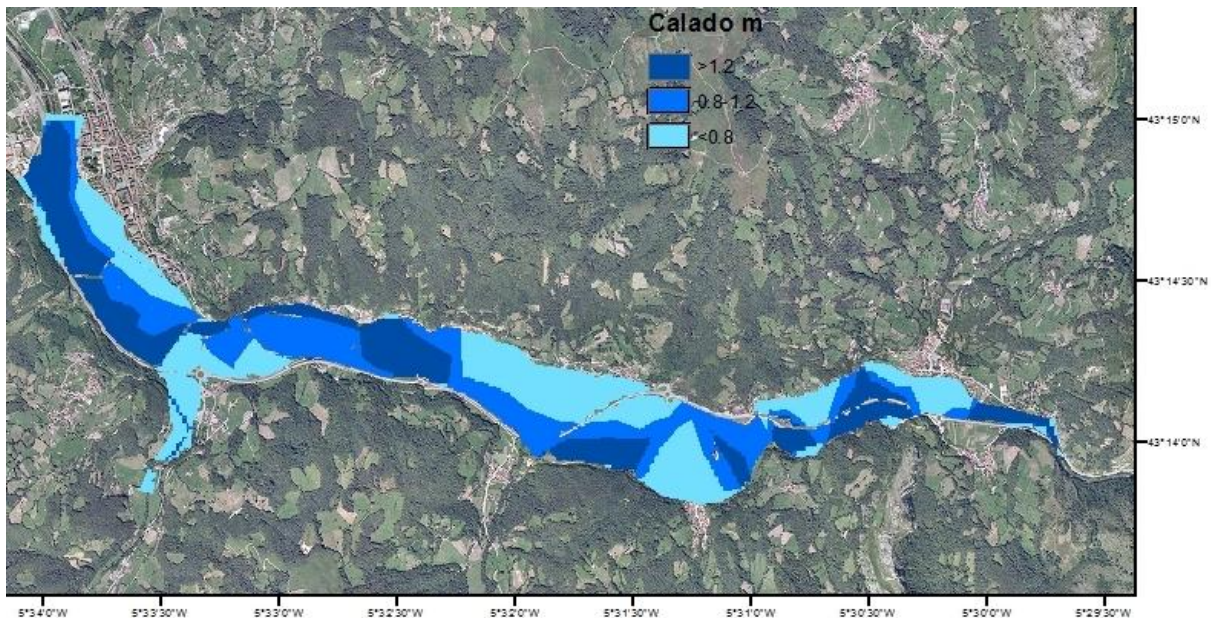


Figura 47. Mapa de calados de inundación corregidos.

## 4.5. Mapas de riesgo

Como se ha comentado anteriormente, para la determinación de los riesgos (R) es necesario tener en cuenta tres factores: la peligrosidad (P), la vulnerabilidad (V) y la exposición (E), ( $R=P*V*E$ ).

En este estudio se ha realizado un el análisis de riesgo por inundación teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia de la inundación, la vulnerabilidad de los usos del suelo y el calado supuesto para un evento de inundación de 500 años de recurrencia con su máximo caudal.

En la elaboración del riesgo por inundación se han superpuesto los mapas de probabilidad de inundación, de vulnerabilidad y de calados. Para elaborar los mapas de riesgo se ha realizado una reclasificación los valores que componen la probabilidad de inundación (periodo de recurrencia), la vulnerabilidad (usos del suelo) y el calado (profundidad del calado) (Tablas 10 a 12). Los valores más altos se otorgan a aquellos conceptos que se determinan como más dañinos o más sensibles a sufrir daños.

La reclasificación de la probabilidad de inundación (Tabla 12) se ha elaborado valorando de peor modo (reclasificación de 4) aquellas probabilidades de inundación con periodos de retorno más cortos.

Periodo de retorno de inundación	Reclasificación
10 años	4
50 años	3
100 años	2
500 años	1

Tabla 12. Reclasificación de los periodos de retorno de inundación.

La valoración de la incidencia del calado (Tabla 13) se ha realizado teniendo en cuenta el gráfico de la Figura 48 en la que se observa la relación entre la altura del calado y el porcentaje de daños causados (Bussi G., et al., 2011). Donde cuanto mayor es el calado se da una valoración más alta.

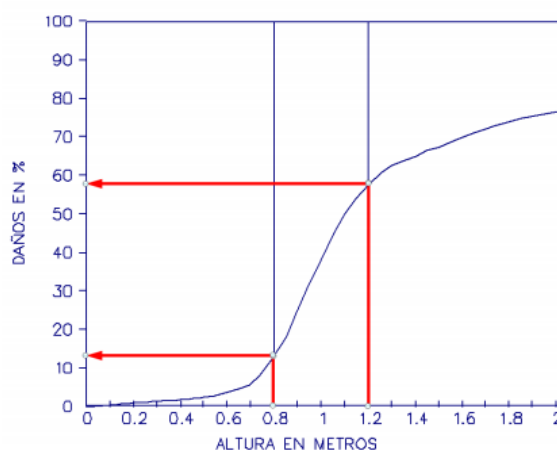


Figura 48. Relación altura de calado % de daños. (Bussi, G., et al., 2011).

Calado de inundación	Reclasificación
<0,8m	1
0,8-1m	2
>1,2m	3

Tabla 13. Reclasificación de los calados de inundación.

La reclasificación de los usos del suelo (Tabla 14) se determinó a partir de un modelo que valora los diferentes usos con referencia al valor de las diferentes indemnizaciones que ha realizado el Consorcio de Compensación de Seguros para diferentes tipos de usos del terreno (Consorcio de Compensación de Seguros, julio 2014). También se han tenido en cuenta las repercusiones económicas que pueden conllevar la inundación como

el paro de actividades económicas (fábricas) o cambio de vivienda.

Tipo de terreno	Reclasificación
Asentamiento	5
Asentamiento agrícola	5
Cursos de agua	0
Cultivos Herbáceos distintos al arroz	3
cementerio	3
Edificio educativo	5
Parque urbano	4
Edificio sanitario	5
Fronosas Caducifolias	1
Bosque	1
Polígono industrial ordenado	5
Frutales no cítricos	2
Matorral	1
Depuradoras y potabilizadoras	4
red ferroviaria	4
Red viaria	4
Agrícola ganadero	3
Pastizal	1
Prado	3
Comercial y oficinas	5
Casco antiguo	5
Apilamiento urbano discontinuo	5
Ensanche del casco antiguo	5
Zonas de extracción o vertido	3

Tabla 14. *Reclasificación de los usos del suelo.*

Con esta reclasificación de los datos se ha realizado un cambio de los formatos de los datos de *polygon* a *raster*. Este proceso se ha realizado mediante la herramienta de *ArcToolBox Conversion Tools/To Raster/Polygon to Raster*. Dando al valor de *Value field* el del campo que define el mapa en cada caso.

De este modo se ha podido combinar las diferentes capas *raster* mediante la herramienta de *ArcToolBox de Spatial Analyst Tools/Local/Combine*. Con este método se combinan los valores de los diferentes *raster* obteniendo áreas donde se encuentran los valores de las reclasificaciones. Se ha elaborado una suma de los valores de reclasificaciones de los diferentes mapas con el que se ha obtenido.

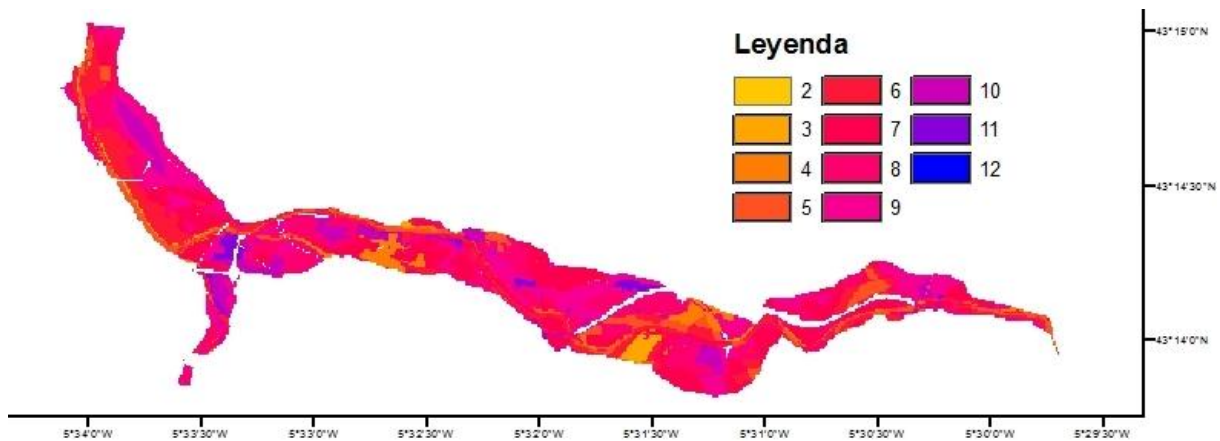


Figura 49. Mapa de suma de reclasificaciones.

Este nuevo mapa (Figura 49) está realizado con la suma de las reclasificaciones, esta suma da valores de entre el 2 y el 12.

Realizando una nueva reclasificación con valores del 1 al 5 (Tabla 15) con la que se consigue un mapa de los riesgos para cada uno de los años tratados, 1985 (Figura 50), 2003 (Figura 51) y 2011 (Figura 52).

Esta reclasificación se basa en agrupar los valores en grupos de 2 para riesgos similares. De este modo queda con un valor de 1 para los valores de 2 y 3, valor de 2 para los valores de 4 y 5, valor de 3 para los valores de 6 y 7, valor 4 para los valores de 8 y 9. En el caso del valor 5 se han agrupado los valores 10, 11 y 12 ya que tienen un riesgo muy parecido.

Valoración de riesgo por inundación	Valoración	Color
Muy Alto	5	Rojo
Alto	4	Naranja
Medio	3	Amarillo
Bajo	2	Verde
Muy Bajo	1	Cian

Tabla 15. Clasificación de los riesgos por inundación.

Las Figuras 50, 51 y 52 muestran la distribución espacial de los riesgos por inundación en la zona de estudio. Con estos mapas se observa la evolución de los riesgos por inundación de un modo gráfico. También revela que los riesgos por inundación muy altos, en color rojo, se concentran, mayoritariamente, en las zonas ocupadas por viviendas.



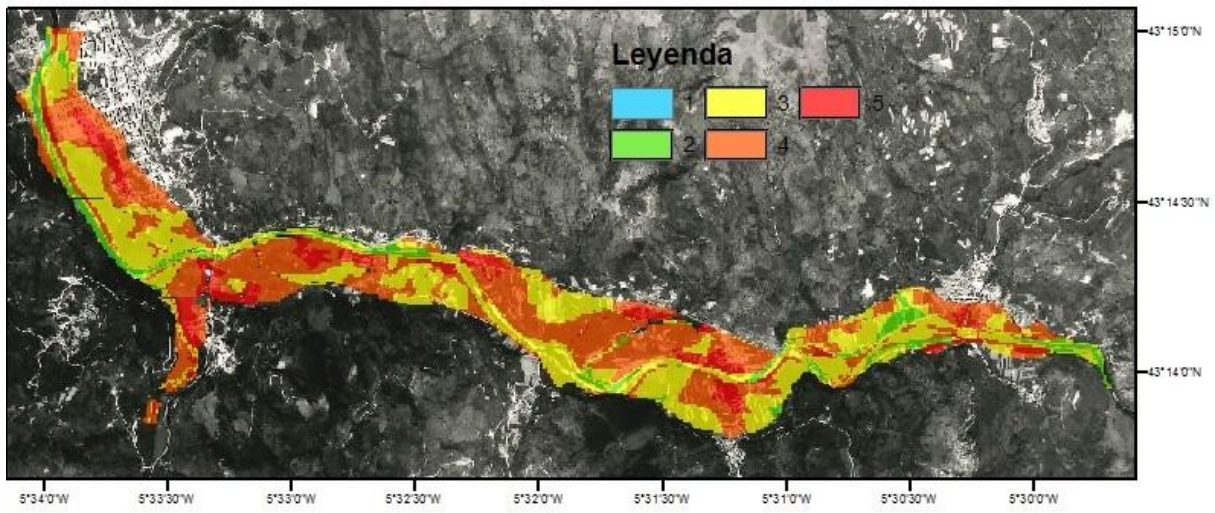


Figura 50. Mapa de riesgo por inundación de 1985.

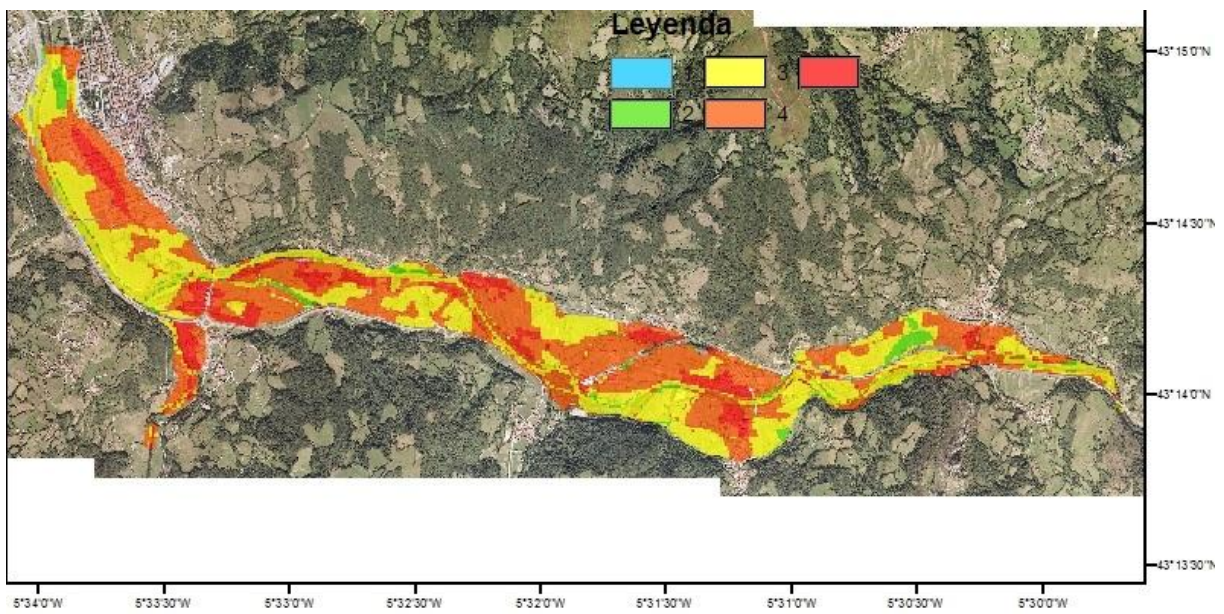


Figura 51. Mapa de riesgo por inundación de 2003.

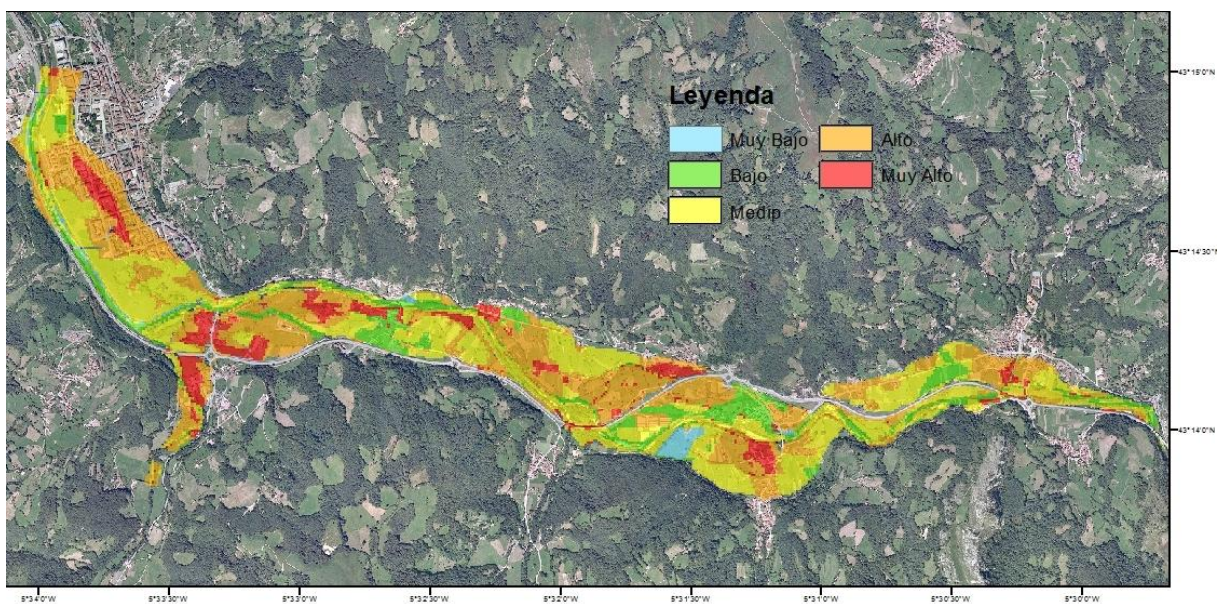


Figura 52. Mapa de riesgo por inundación de 2011.



Tipo de riesgo	Diferencia de área 2003-1985	Diferencia % 2003-1985
Muy Alto	3,13	1,63
Alto	-0,23	1,03
Medio	-0,87	0,69
Bajo	-8,19	-3,31
Muy Bajo	-0,10	-0,04
	Diferencia de área 2011-2003	Diferencia % 2011-2003
Muy Alto	-7,06	-2,77
Alto	-15,04	-5,51
Medio	-7,98	-2,50
Bajo	21,11	9,29
Muy Bajo	3,42	1,50
	Diferencia de área 2011-1985	Diferencia % 2011-1985
Muy Alto	-3,94	-1,15
Alto	-15,27	-4,49
Medio	-8,85	-1,81
Bajo	12,91	5,99
Muy Bajo	3,32	1,46

Tabla 16. Comparativa de las áreas de inundación entre los diferentes años.

Con estos mapas se ha podido hacer un análisis de los resultados del riesgo para poder compararlos entre ellos y ver cuál ha sido su evolución (Tabla 16). Con esta comparativa se puede observar como el área expuesta a riesgo por inundación disminuye con el tiempo. Solo hay un pequeño aumento del riesgo muy alto entre el año 1985 y 2003. También se ha observado como el área total expuesta a riesgo ha disminuido (Tablas 17 a 19).

Tipo de riesgo	Área total (ha)	Porcentaje %
Muy Alto	26,65	11,06
Alto	101,72	42,20
Medio	95,63	39,68
Bajo	16,50	6,84
Muy Bajo	0,52	0,22
Total	241,03	100,00

Tabla 17. Valores del área recubierta según tipo de riesgo de 1985.

Tipo de riesgo	Área total (ha)	Porcentaje %
Muy Alto	29,78	12,69
Alto	101,49	43,23
Medio	94,76	40,37
Bajo	8,31	3,54
Muy Bajo	0,42	0,18
Total	234,76	100,00

Tabla 18. Valores del área recubierta según tipo de riesgo de 2003.

Tipo de riesgo	Área total (ha)	Porcentaje %
Muy Alto	22,72	9,91
Alto	86,45	37,72
Medio	86,78	37,86
Bajo	29,41	12,83
Muy Bajo	3,84	1,68
Total	229,20	100,00

Tabla 19. Valores del área recubierta según tipo de riesgo de 2011.

## 5. Discusión

En relación con el pequeño aumento del riesgo muy alto detectado en el anterior apartado entre el año 1985 y 2003, mencionar que, según los análisis realizados, ha sido generado por el aumento de superficie de viviendas y de zonas industriales que están expuestas a inundaciones (Tabla 20). Este tipo de uso del suelo, al tener una valoración de muy alta vulnerabilidad, hace aumentar mucho el valor del riesgo final.

	1985	2003	2011	2003-1985	2011-2003	2011-1985
Vivienda Urbana	23,63	26,51	28,02	2,88	1,51	4,39
Vivienda Rural	42,46	42,64	41,35	0,18	-1,29	-1,11
Agro-Ganadero	127,68	113,31	108,56	-14,37	-4,75	-19,12
Industrial	0,09	0,54	0,17	0,45	-0,37	0,09
Escuelas	2,17	2,16	2,18	-0,01	0,01	0,00
Infraestructuras públicas	2,45	5,95	7,38	3,50	1,43	4,93

Tabla 20. Evolución del área de los usos del suelo inundables de los diferentes años.

Con este hecho se observa como, para evitar el riesgo, la primera medida es evitar tener elementos expuestos y, para tener los mínimos valores de riesgo, los elementos expuestos tiene que tener mínimos valores de vulnerabilidad. Hay varias medidas posibles para reducir la vulnerabilidad en elementos ya construidos en zona inundable, pudiendo mencionar la transformación de usos en la primera planta de viviendas, desde uso residencial hacia otros usos menos vulnerables (por ejemplo, garaje).

Se observa que las obras de protección de inundaciones que se han realizado en los márgenes del canal fluvial son bastante eficientes al haber reducido la superficie de probabilidad de inundación para los periodos de alta recurrencia, disminuyendo con ello los valores del riesgo.

Este tipo de protecciones, al impedir que el agua salga del canal allí donde se

encuentran, hace aumentar la fuerza y velocidad del curso fluvial pudiendo repercutir aguas abajo al llegarles una avenida con mayor energía y capacidad erosiva. Por estos motivos se considera que este tipo de obras solo se debería aplicar excepcionalmente en puntos muy justificados del curso fluvial, y para proteger elementos muy determinados.

El relleno de la construcción de la carretera As-117, como ya se ha comentado, divide las láminas de agua desbordadas en algunas zonas de la llanura, actuando a modo de dique/mota, haciendo de barrera al avance de la inundación una vez el agua ya ha desbordado del canal fluvial, estrechando notablemente la superficie que estaba inicialmente disponible para la expansión de la avenida. Este estrechamiento se considera que agrava el efecto de las avenidas tanto aguas arriba, al poder represar las aguas desbordadas, elevando los calados asociados a la inundación, y aguas abajo, al recibir una onda de avenida más elevada y acelerada con respecto a la que cabría esperar en condiciones naturales

Respecto al riesgo de inundación, para minimizar en lo posible los potenciales daños de las avenidas a las que está expuesta la vega de El Condado, sería aconsejable (GRUPO TRAGSA 2007):

- Evitar, en la medida de lo posible, la construcción de nuevos elementos vulnerables sobre la vega (por ejemplo, viviendas, equipamientos, etc.), que hagan aumentar la vulnerabilidad de la zona.
- Evitar instalar sobre las orillas y sobre la llanura inundable elementos impermeables que impidan la infiltración y limiten el efecto tampón que ejercen los materiales permeables de la llanura aluvial, que en condiciones naturales actúan amortiguando el efecto de la avenida.
- Sería recomendable el aumento de la inundabilidad de la llanura sur de Pola de Laviana retrasando las estructuras defensivas hacia zonas más cercanas a la población. De este modo se aumentaría la capacidad hidráulica de la zona inundable.

También sería interesante hacer un estudio sobre los efectos que conllevaría, a corto y largo plazo, realizar un aumento de la inundabilidad de la zona al Oeste de Llorío (Figura 53) antes de llegar al gran puente de la As-117 que cruza el río Nalón entre Ribota y Muñera. Así como de la zona de prados, en muchos casos con actividad agrícola, que se encuentran entre las poblaciones de Muñera y Puente d'Arcu, a ambos lados del canal fluvial.

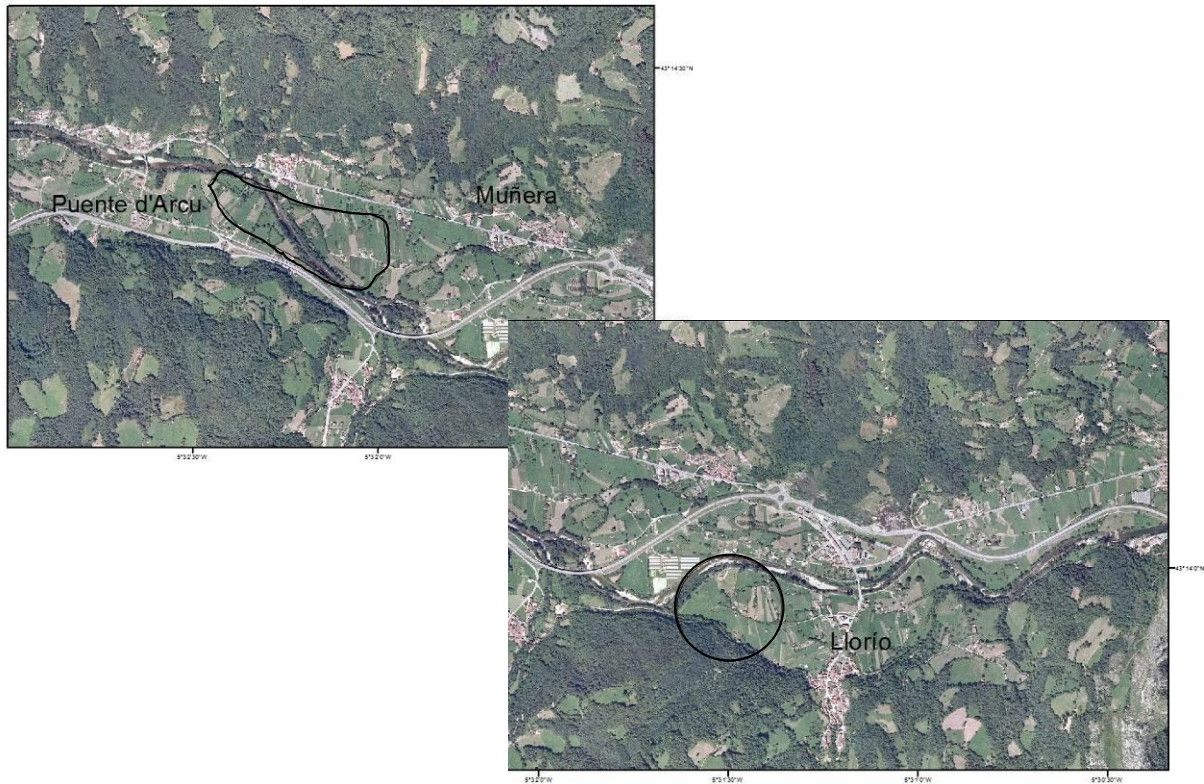


Figura 53. Zonas recomendadas para realizar el aumento de la inundabilidad.

La habilitación de estas zonas repercutiría en un descenso en la cantidad de agua transportada por el río, con lo que se podría reducir notablemente las problemáticas en Puente d'Arcu y Pola de Laviana. Dicho análisis debería ir acompañado de un estudio de los beneficios que generaría y compararlo con los costes que conlleva, a largo y a corto plazo, tanto a nivel económico, como social, y para el medio ambiente, tal y como recomienda la Directiva Europea de Inundaciones.

Para poder prever y prevenir las inundaciones y sus consecuencias es fundamental realizar un planteamiento general en que se tengan en cuenta las medidas estructurales o no estructurales que se deban realizar en la zona afectada estando fundamentadas en un análisis de coste-beneficio de las actuaciones.

## 6. Conclusiones

En este trabajo, realizado en la vega del río Nalón ubicada en la localidad de El Condado, se han abordado una serie de tareas de las que se han extraído varias conclusiones:

- Se han realizado las cartografías del canal de aguas bajas y de la distribución de

sedimentos en el cauce en los años 1985, 1994-95, 2003, 2007, 2009 y 2011. La comparación de resultados permite concluir que en los últimos años se ha producido una ligera reducción en la sinuosidad del canal de aguas bajas y de la anchura del cauce, que no se consideran relevantes como para haber introducido cambios en la inundabilidad.

- Se han estudiado los cambios en la llanura aluvial en los años 1985 y 2011 para detectar posibles variaciones en la probabilidad de inundación, en comparación con la cartografía de inundabilidad disponible en la zona en el año 2003. Se observa que los principales cambios se deben a modificaciones de origen artificial que han reducido la inundabilidad en varios sectores. Concretamente se deben a las obras de canalización, a la construcción del terraplén de la carretera As-117 y a la instalación de una depuradora sobre la vega, estas dos últimas han reducido la inundabilidad a lo largo de una superficie de 23.36ha de la zona inundable.
- Respecto a las variaciones en la exposición y vulnerabilidad de bienes y personas, se ha abordado una cartografía de usos del suelo en los años 1985, 2003 y 2011, observándose un crecimiento de infraestructuras viarias (22.20 ha) y un ligero aumento de las zonas urbanas (1.85 ha), en detrimento de los prados y zonas agro-ganaderas.
- La integración de los cambios en la inundabilidad con los detectados en exposición y vulnerabilidad señalan que el riesgo por inundación en el área de estudio ha disminuido entre 1985 al 2011 en las categorías de riesgo muy alto, alto y medio en los porcentajes de 1.15%, 4.49% y 1.81% respectivamente. Esta disminución se ha traducido en un aumento del riesgo bajo y muy bajo del 5.99% y 1.46% respectivamente.
- A pesar de reducción en el efecto de las inundaciones, la zona de El Condado continúa presentado un alto riesgo por inundación. Para mitigar el efecto de futuras avenidas, y siguiendo las recomendaciones planteadas por la Directiva Europea de Inundaciones, el área de estudio cumple los requisitos para plantear varias actuaciones. Por un lado, pueden recuperarse varios emplazamientos inundables para reducir la inundabilidad en zonas adyacentes donde el riesgo es mayor y, por otro, la planificación de los usos del suelo debe integrar medidas para controlar los desarrollos urbanos sobre las zonas inundables.



## 7. Referencias

Libros y artículos:

- “Plan forestal de la comarca de Laviana”, 2010. Publicación del Gobierno del Principado de Asturias, Consejería de Medio Rural y Pesca.
- Ayala Carcedo, F.J. ed.(2002). “El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos. Un análisis el caso español y sus alternativas”. Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Boletín de la A.G.E. Nº 33 - 2002, págs. 79-92.
- Ayala Carcedo, F.J., 1988. “*Introducción a los Riesgos Geológicos*”. En: F.J. Ayala Carcedo y J.J. Durán Valsero (Coords.): *Riesgos Geológicos*. I.G.M.E. Serie Geológica Ambiental. Madrid. 3-19.
- Ayala Carcedo, F.J., Olcina Cantos, J., 2002. “Riesgos Naturales”. Editorial Ariel, Ariel Ciencia, 1ª edición, Barcelona, 1512 pp.
- Bussi, G., Ortiz, E., Francés, F., Pujol, L., Gabaldón, R., Guna, V., Bellver, V., Sempere, J.A., 2011. “Modelación hidráulica y análisis del riesgo de inundación según la líneas guía de la Directiva Marco del Agua. El caso de la Marina Alta y la Marina Baja (Alicante)”. II Jornada de Ingeniería del Agua. Modelos Numéricos en Dinámica Fluvial. Barcelona, Spain, 2011.
- Caride, C., Marcos, A., Gervilla, M., Ortuño, G. y Velando, F., MAGNA. Cartografía 1:50.000 de la hojas 53.
- Chow Te, V., 1994. “Hidráulica de Canales abiertos”. Traducción de Saldarraiga G. J., McGraw-Hill.
- Consorcio De Compensación De Seguros, julio 2014. “Estadística Riesgos Extraordinarios. Serie 1971-2013”. Consorcio de Compensación de Seguros, Ministerio de Economía y Competitividad.
- Díez Herrero, A., 2002. “Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculo de caudales y calados”. En: F.J. Ayala Carcedo y J. Olcina Cantos (Coords.), *Riesgos Naturales*. Cap. 49, 921-952, Editorial Ariel, Ariel Ciencia, 1ª edición, Barcelona, 1512 pp.
- Díez Herrero, A., Garrote Rebilla, J., Baíllo Calvo, R., Lain Huerta, L., Mancebo, M.J. y Pérez Cerdán, F., 2008. “Análisis del riesgo de inundación para planes autonómicos de protección civil: RICAM”. Publicaciones Instituto Geológico y Minero de España

(IGME), serie: Medio Ambiente. Riesgos Geológicos N°12. Madrid.

- Domínguez Cuesta, M.J., 1996. Cartografía temática ambiental, Pola de Laviana 53-IV. Universidad de Oviedo, INDUROT (Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio).
- Domínguez Cuesta, M.J., Jiménez Sánchez, M., Farias, P. y Menéndez Duarte, R. “Dinámica de las vertientes en la zona central de Asturias.” Cuaternario y Geomorfología, 12 (1-2) págs. (19.33).
- Domínguez Cuesta, M.J., Julio 2003. “geomorfología e inestabilidad de laderas en la Cuenca Carbonífera Central (Valle del Nalón, Asturias). Análisis de susceptibilidad ligada a los movimientos superficiales del terreno. ”Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo.
- Durán Valseo, J.J., Elízaga Muñoz, E., Garzón Heydt, G., Lamas Romero, D.L., Lendídez González, A., Prieto Alcolea, C., 1985. “Geología y prevención de daños por inundación.” Coordinado por Ayala Carcedo, F.J., y editado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S. y Roberts, S., 2004. “Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards”. Geoscience Australia, Record 2004/14, 92 pp.
- Fernández Iglesias, E. y Egocheaga Tirador, P.I., 2006. “impacto geomorfológico de las canalizaciones en cinco tramos de la red fluvial asturiana”. Elaborado por el INDUROT (Universidad de Oviedo) para la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, Ministerio de Medio Ambiente. Informe inédito, 109pp.
- García González, N., Julio 2014. “Aplicación de herramientas GIS al estudio de la cuenca del río Nalón.” Trabajo de Fin de Máster, Universidad de Oviedo.
- González García, J.L., Segura Sanz, R., Regueiro y González Barros, M., Yagüe Córdova, J., Navarro Santa Mónica, R., Gode Lanao, L., Álvarez Gómez, J.A., Nájera Ibáñez, A., López Vilares, P., Ortega Becerril, J.A., Díez Herrero, A., Prats, F., Sánchez, F.J., Barrera Sánchez, Sánchez Sánchez, J.M., Hernández Ruiz, M. y Sales Llavià, M.J., 2009 “Mapa de riesgos naturales en la ordenación territorial y urbanística” editado por José Luis González García. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Madrid.
- GRUPO TRAGSA, agosto 2007. “Delimitación de corredores fluviales y torrenciales en el Concejo de Laviana (Asturias).”
- Guerrero, J., Gutiérrez, F. y Lucha, P., 2005. “Peligrosidad, daños y mitigación de inundaciones, subsidencia por disolución y movimientos de laderas en la localidad de

Cadrete (Depresión del Ebro, Zaragoza).” Revisión C & G 19 (1-2).

- Heredia, N. y Rodríguez Fernández, L.R., MAGNA. Cartografía 1:50.000 de la hojas 54.
- Jiménez Álvarez, A., Marcuello Olona, C., García Montañés, C. y Inicio Caballero, L., (CEDEZ), 2011. Anejo V “Valores del coeficiente de Rugosidad de Manning Asignados a los Usos del Suelo del SIOSE y CLC200”, de la “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 2011.
- Jiménez Sánchez, M., 1994. “*Geomorfología de la cuenca alta del río Nalón (Cordillera Cantábrica, Asturias)*” Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo.
- Jiménez Sánchez, M., 1997. “*Movimientos en masa en la cabecera del río Nalón (Cordillera Cantábrica, NO España)*”. Cuaternario y Geomorfología 11, 3-4, pp. 3-16. SEG-AEQUA
- Jiménez Sánchez, M., 1999. “*Geomorfología en la cabecera del río Nalón (Cordillera Cantábrica, Noroeste de España)*”. Trabajos de Geología, 21, pp. 189-201. Ediuno.
- Julivert, M., 1971. “Décollement tectonics in the Hercynian Cordillera of NW Spain”. Amer. Jour. Sci., 270: 1-29.
- León, A., 25 de marzo de 1924. “Instancia del Ayuntamiento de Laviana solicitando una subvención para la construcción del puente de La Chalana”. El Ayuntamiento de Laviana a la Excma. Diputación Provincial de Oviedo. Pola de Laviana 25 de marzo de 1924.
- López Bermúdez, F., 1988. “Geometría de cuencas fluviales: las redes de drenaje del alto Guadentín”. Madrid, ICONA, Proyecto LUCDEME IV, 229 pp.
- Marquínez García, J., Méndez Duarte, R., Lastra Fernández, J., Fernández Iglesias, E., Jiménez-Alfaro González, B., Wowniak, E., Fernández Menéndez, S., García Manteca, P., Álvarez García, M.A., Lobo Del Corro, T. y Adrados González, L. (2003). “Riesgos naturales en Asturias”, Principado de Asturias, INDUROT, Universidad de Oviedo.
- PORNA, 1994. “Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Asturias”. Principado de Asturias, Consejería de Medio Ambiente y Urbanismo.
- Roset Pagès, D., Saurí Pujol, D. y Ribas Palom, A., 1999 “Las obras hidráulicas en los sistemas fluviales de la Costa Brava: Preferencias locales y limitaciones de un modelo convencional de adaptación al riesgos de inundación.”
- Schumm, S.A., 1956. “The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Pearth Amboys, New Jersey.” Bulletin of the Geological Society of America, nº 67, pp. 597-

646.

- Trinidad, F., 2010. “Puente de La Chalana: Una historia en sus documentos”. F. Trinidad 2010.
- Vanes, D.J. 1984. “*Landslides hazard zonation: a review of principles and practice*”. *Natural Hazard* 3. UNESCO.
- Vera, J.A., editores 2004. “Geología de España”.

Páginas web:

- [http://sig.magrama.es/93/ClienteWS/GISROEA/default.aspx?nombre=ROAN\\_ESTACION\\_AFORO\\_RIOS&claves=COD\\_HIDRO|COD\\_SITUACION\\_ESTACION&valores=13354](http://sig.magrama.es/93/ClienteWS/GISROEA/default.aspx?nombre=ROAN_ESTACION_AFORO_RIOS&claves=COD_HIDRO|COD_SITUACION_ESTACION&valores=13354), Anuario de Aforos de la Red Oficial de Estaciones de Aforos (ROEA). Sistema de Información de Anuarios de Aforo. Visor del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- [http://sig.magrama.es/93/ClienteWS/snczi/Default.aspx?nombre=ZI\\_LAMINAS\\_Q500&claves=ID\\_ZONA&valores=ES018\\_T500\\_035\\_01](http://sig.magrama.es/93/ClienteWS/snczi/Default.aspx?nombre=ZI_LAMINAS_Q500&claves=ID_ZONA&valores=ES018_T500_035_01), Zonas Inundables del Sistema Nalón, SNCZI. Adaptación y desarrollo del SNCZI en la Demarcación Hidrográfica el Cantábrico (01/07/2014). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- <http://sig.magrama.es/snczi/>, Visor del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (SNCZI), 26/01/2015.
- <http://www.archivosdeasturias.info/feaa/action/detalle?buttons%5B4%5D=loadDetalleSerie&idCuadro=1377&idTipo=25806>, Archivo municipal de Laviana, Ayuntamiento de Laviana. Expedientes de obras municipales, 03/03/2015.
- [http://www.facc.info/Ficha\\_cDemografia.aspx?id=33&mn=2](http://www.facc.info/Ficha_cDemografia.aspx?id=33&mn=2), Web de la federación Asturiana de Concejos, 15/01/2015.
- <http://www.hec.usace.army.mil/>, HEC-RAS y HEC-GeoRAS, 23/03/2015.
- [http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/\(Consortio de compensación de Seguros e Instituto Geológico y Minero de España \(IGME\)\)](http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/(Consortio%20de%20compensaci3n%20de%20Seguros%20e%20Instituto%20Geol3gico%20y%20Minero%20de%20Espa%F1a%20(IGME))), 06/10/2014.
- <http://www.proteccioncivil.org/ca/inundaciones>, 06/10/2014.
- <http://www.sadei.es/es/portal.do>, Portal del SADEI (Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales).
- <https://sedemovil.asturias.es/portal/site/Asturias/menuitem.46a76b28f520ecaaf18e90dbbb30a0a0/?vgnnextoid=8b26799a28d4f010VgnVCM100000b0030a0aRCRD&i18n.http.lang>



es, 11/11/2014.

- <https://www.google.es/maps/@43.2330348,-5.4823424,2361m/data=!3m1!1e3>, 10/10/2014.