

UNIVERSIDAD DE OVIEDO



***Inundaciones fluviales en la cuenca del
río Sella en junio de 2010 y febrero de
2012. Validación del mapa de
peligrosidad por inundaciones en el Bajo
Sella.***

Trabajo Fin de Máster

Master en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica

Julio 2014

Carolina Ovín Vega

La Doctora Dña. **Rosana Menéndez Duarte**, adscrita al Área de Conocimiento Geodinámica Externa del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, como Profesora Titular,

Y la Sra. Dña. **Elena Fernández Iglesias**, adscrita al Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT) de la Universidad de Oviedo.


CERTIFICAN que han dirigido y revisado la presente memoria correspondiente con el Proyecto del Máster realizado por Dña. **Carolina Ovín Vega** como trabajo final del “*Máster en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica*” de la Facultad de Geología de la Universidad de Oviedo, titulado “*Inundaciones fluviales en la cuenca del río Sella en junio de 2010 y febrero de 2012. Validación del mapa de peligrosidad por inundaciones en el Bajo Sella*” y AUTORIZAN su presentación a efectos oportunos.

En Oviedo, a 16 de Julio de 2014



La directora,

Fdo.: Rosana Menéndez Duarte



La directora,

Fdo.: Elena Fernández Iglesias



La autora,

Fdo.: Carolina Ovín Vega

Agradecimientos

Primeramente, debo dar las gracias a mis directoras del trabajo fin de máster Rosana Menéndez y Elena Fernández por su infinita paciencia, sin ese aguante este trabajo no hubiese llegado a buen puerto. Además de la orientación, seguimiento y supervisión recibida en todo momento por parte de ambas.

A mis compañeros del Máster por apoyarme y animarme en esos momentos en los que el color negro reinaba en mi cabeza. Especialmente a Indira Rodríguez por ser mi segundo par de ojos.

A mis amigos por estar siempre ahí, animando en todo lo que venga, y sufriendo la geología que tan poco les gusta, como si fuese su pasión. Agradecer en particular a Ana Vega y Saray Torga la búsqueda del talud perdido. Así como la confianza y el ánimo recibido por Manuel Álvarez, sobre todo cuando entró en escena el guion predicho por la sabiduría de una madre.

Finalmente, agradecer a mis padres Fernando Ovín e Isabel Vega toda una vida de apoyo, protección, confianza y querer incondicional, aunque esta pequeña frase no sea suficiente para darles las gracias por todo lo hecho por mí.

Realmente, muchas gracias a todos, ya que en mayor o menor medida todos habéis colaborado para que esto saliese a flote.

ÍNDICE.....	4
RESUMEN/ABSTRACT.....	6
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	8
2. ÁREA DE ESTUDIO	
2.1. Cuenca hidrográfica del Sella	10
2.2. Zona de estudio.....	11
2.3. Geología.....	12
2.3.1. Substrato rocoso.....	13
2.3.2. Geomorfología y relieve	16
2.4. Datos hidrológicos	17
2.4.1. Estaciones de control y datos.....	17
2.4.2. Régimen fluvial	18
3. CARTOGRAFÍA DE ÁREAS INUNDABLES	
3.1. Antecedentes	21
3.2. Análisis histórico	22
3.2.1. Estudio evolutivo del medio fluvial.....	22
3.2.2. Análisis de inundaciones históricas	23
3.3. Análisis geomorfológico de llanuras aluviales	23
3.3.1. Observaciones en el cauce	24
3.3.2. Observaciones en las márgenes	25
3.3.3. Representación cartográfica.....	27
3.4. Análisis geomorfológico-histórico.....	27
3.4.1. Zonificación del área inundable.....	27
3.4.2. Categorías de inundabilidad	28
3.5. Estudio de inundabilidad para la zona de estudio	29
3.5.1. Ejemplo de zonificación de áreas inundables: río Chico.....	31

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO	
4.1. Estudio avenidas Junio 2010 y Febrero 2012	33
4.1.1. Recopilación de información	33
4.1.2. Cálculo periodos de retorno	33
4.2. Análisis de datos con el ArcGIS	35
4.2.1. Recopilación de información	36
4.2.2. Análisis de datos	36
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. Análisis de las inundaciones	40
5.1.1. Inundación Junio 2010	41
5.1.2. Precipitaciones	41
5.1.2.1. Periodo de retorno	43
5.1.2.2. Inundación en la cuenca del Sella	46
5.1.2. Inundación Febrero 2012	50
5.1.3. Precipitación	50
5.1.4. Hidrología	51
5.1.5. Periodo de retorno	53
5.2. Validación del mapa de inundabilidad	57
5.2.1. Clasificación de discrepancias	60
5.2.2. Estimación de errores	69
5.2.2.1. Junio 2010	69
5.2.2.2. Febrero 2012	71
6. CONCLUSIONES	73
7. BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	78

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo principal validar el mapa de peligrosidad de inundaciones elaborado por el INDUROT para la llanura aluvial del bajo Sella en el año 2004. El mapa de peligrosidad de inundaciones se realizó siguiendo criterios Geomorfológicos-Históricos y en él el área inundable ocupa una extensión de 7,5 km². Para su validación se comparó con el área inundada en las avenidas de junio de 2010 y febrero de 2012, en las que el alcance de la lámina de inundación fue de 7,3 y 5,6 km², respectivamente.

La metodología seguida en el trabajo se divide principalmente en dos apartados: 1) recopilación de información y cálculo de los periodos de retorno para las inundaciones de junio 2010 y febrero 2012 y 2) análisis del mapa de peligrosidad y mapas de las inundaciones con el programa informático ArcGIS, cuantificando las áreas que realmente fueron inundadas para cada categoría del mapa de peligrosidad y estudiando individualmente cada uno de los polígonos en los que se observó alguna discrepancia entre los datos.

Para la inundación de junio de 2010 el periodo de retorno estimado es de 100 años y para la inundación de febrero de 2012 es de 25 años. La inundación de 2010 ocupó el 97% del área inundable, inundando la práctica totalidad de las áreas clasificadas como áreas de “inundación muy frecuente” (periodo de retorno de 10 años) y las de “inundación frecuente” (periodo de retorno de 50 años). Las áreas clasificadas como áreas de “inundación ocasional” (periodo de retorno de 100 años) fueron inundadas aproximadamente en la mitad de su extensión. Por tanto los resultados muestran un acuerdo entre el mapa de peligrosidad y la frecuencia estimada para la inundación. En el caso de la inundación de febrero de 2012, se inundó el 72,6% del área inundable y los resultados también son coherentes, ya que la lámina de agua ocupó casi en su totalidad el área clasificada como “muy frecuente” y algo más de la mitad del área clasificada como “frecuente”.

Durante la validación del mapa de peligrosidad con las dos inundaciones, sabiendo ya su periodo de retorno, se observó cómo este mapa posee algunas discrepancias, principalmente en aquellas categorías de frecuencia de inundación que se deberían haber inundado para el periodo de retorno estimado. Las discrepancias encontradas se han descrito y clasificado como discrepancia cartográfica de peligrosidad, discrepancia cartográfica de la lámina de agua, discrepancias por modificación topográfica, discrepancias mixtas, discrepancias en afluentes y discrepancias debidas a la escala.

A partir de los resultados obtenidos, se puede decir que el método muestra una tendencia a sobrevalorar la peligrosidad, si bien esta sobrevaloración es muy baja, y que es más eficiente para inundaciones con periodos de retorno mayor, como es el caso de junio de 2010. En líneas generales, el mapa de peligrosidad por inundación validado presenta un elevado grado de acierto, al menos para las peligrosidades analizadas y se puede afirmar que la metodología seguida para su elaboración es aplicable para realizar este tipo de documentos cartográficos.

ABSTRACT

The main aim of this report is to validate the flood risk map made by INDUROT for the alluvial plain of the low part of river Sella in 2004. The flooding risk map was carried out following Geomorphological-Historical criteria and in it the area that might be flooded is 7.5 km². For its validation it has been compared with the area flooded during the flood which took place in June 2010 and February 2012, in which the expanse of the flooding was 7.3 and 5.6 km², respectively.

The methodology followed in this report is divided in two parts mainly: 1) compilation of information and calculation of the return periods for the floods in June 2010 and February 2012, 2) analysis of the risk map and the map of the floods by using the computer program ArcGis, quantifying the areas which were really flooded for each category of the risk map and studying individually each of the areas in which a discrepancies in the data was noticed.

For the flooding in June 2010 the estimated return period is 100 years and for the flooding in February 2012 it is 25 years. The flooding in 2010 covered the 97% of floodplain, flooding almost all the areas classified as areas of “very frequent flooding” (10-years return period) and those of “frequent flooding” (50-years return period). The areas classified as of “occasional flooding” (100-years return period) were flooded at about half of their area. Therefore the results show an agreement between the risk map and the estimated frequency for the flooding. In the February 2012 flooding, 72.6% of the floodplain was flooded and the results are also coherent, as the water expanse occupied almost the whole area classified as “very frequent” and a little more than half of the area classified as “frequent”.

During the validation of the risk map with both floodings, already knowing their return period, it could be noticed that this map has got a few discrepancies, mainly in those flooding frequency categories that should have flooded by the estimated return period. The discrepancies which have been described and classified as cartographic discrepancy of risk, cartographic discrepancy of the water expanse, discrepancies because of topographic changes, mired discrepancies, discrepancies in tributaries and discrepancies due to the scale.

From the results which have been got, it can be said that the method shows a tendency to overvalue the risk, although this overvalue is very small, and it is more efficient for floodings with longer return periods, as it was the June 2010 case. In general, the validated flooding risk map shows a high degree of accuracy, at least for the risk which have been analysed and it can stated that the methodology used to do it is applicable to carry out this type of cartographic documents.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

A raíz de las inundaciones acaecidas en los años 80 en los grandes ríos transnacionales europeos, el parlamento europeo diseñó y aprobó una directiva para dar respuesta al problema de las inundaciones fluviales y minimizar los riesgos asociados a las mismas. Esta es la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. Entre las tareas prioritarias recogidas en ella se destaca la necesidad de realizar “Mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación” para todos los países miembros. Estos mapas se consideran un paso previo e imprescindible para el diseño de “Planes de gestión del riesgo de inundación”.

En España el Real Decreto 903/2010 de 9 de Julio, “... regula los procedimientos para realizar la evaluación preliminar del riesgo de inundación, los mapas de peligrosidad y riesgo y los planes de gestión de los riesgos de inundación en todo el territorio español”. La realización de los Mapa de peligrosidad y de riesgo de inundación se materializa con el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Áreas Inundables (SNCZI). En las primeras etapas de este plan se trabajó para establecer una metodología factible y común para cartografiar las áreas inundables y, actualmente, se ha realizado la cartografía de una gran parte del territorio español.

Los mapas de peligrosidad de inundaciones representan espacialmente la probabilidad de que un área se inunde, expresada mediante el concepto de “periodo de retorno”. En estos mapas se zonifica el total del área inundable en áreas con diferente frecuencia de inundación. Para determinar estas áreas y representarlas cartográficamente hay dos metodologías básicas posibles: 1) el método Hidrológico-Hidráulico, basado en la estimación del área que se inundaría para un caudal de crecida dado; el caudal y su frecuencia se calcula a partir de las series de precipitación disponibles y datos de escorrentía superficial y 2) el método Geomorfológico-Histórico, basado en evidencias geomorfológicas (formas de erosión, de depósitos, tipología de las formas ...) y datos históricos de inundaciones (hemeroteca, inventarios, testimonios ...), estableciendo la frecuencia de inundaciones en las llanuras aluviales y zonificando éstas en función de esta frecuencia (Marquínez et al, 2006; MARM, 2009).

Clásicamente los métodos más utilizados para delimitar zonas inundables son los basados en modelos Hidrológico Hidráulicos. Sin embargo la aplicación de estos modelos presenta numerosas limitaciones, principalmente por la imposibilidad real de calcular con fiabilidad muchas de las variables y parámetros necesarios para su aplicación en amplias zonas. El método Geomorfológico-Histórico nace como alternativa y solución a estas limitaciones. Independientemente del método utilizado, los mapas de peligrosidad han de ser validados, siendo una técnica frecuente de validación la comparación de los mapas con los datos de

eventos singulares ocurridos con posterioridad a la elaboración del mapa a validar (Diez, 2012). Esta metodología de validación es aplicada por ejemplo en el trabajo de Camarasa y Bescós (2004), validando un mapa de peligrosidad realizado a partir del modelo Hidráulico HEC-RAS, o en el de Fernández et al (2010), en este caso validando un modelo realizado con criterios Geomorfológico-Históricos. La cuestión fundamental planteada en estos trabajos es “¿qué grado de fiabilidad tiene el modelo de peligrosidad?” y, en consecuencia, ¿cuál es su utilidad en la planificación de usos del suelo y en la gestión territorial?’ (Camarasa y Bescós, 2004). La validación de un mapa de peligrosidad ha de permitir, en primer lugar, mejorar el mapa concreto analizado y también mejorar el conocimiento y metodología de elaboración.

De acuerdo con lo expuesto, el **objetivo principal** del estudio que aquí se presenta es la validación de un mapa de peligrosidad de inundaciones preexistente. El mapa de peligrosidad fue realizado siguiendo criterios Geomorfológico-Históricos por el INDUROT en el 2004 para la subcuenca del bajo Sella, entre las localidades de Arriondas y Ribadesella. Las inundaciones utilizadas para la validación del mapa fueron las ocurridas en junio de 2010 y en febrero de 2012. Para estos dos eventos de inundación se dispuso de la cartografía del área ocupada por la lámina de agua y la validación del mapa de peligrosidad se realizó comparando estas cartografías con el mapa de peligrosidad.

Para conseguir este objetivo general, **los objetivos parciales** que se han establecido son los siguientes:

1. Estudio del mapa de peligrosidad de inundaciones de la zona y comprensión de la metodología utilizada en su elaboración (método geomorfológico-histórico).
2. Análisis de los datos hidrológicos básicos de las inundaciones de junio de 2010 y febrero de 2012, calculando el periodo de retorno asociado a cada uno de estos dos eventos.
3. Recopilación de la información cartográfica en formato digital: el mapa de peligrosidad, y los mapas de áreas inundadas en junio de 2010 y febrero de 2012 y puesta a punto de la base de datos GIS.
4. Análisis GIS de las cartografías, estableciendo y cuantificando la relación entre las diferentes clases de inundabilidad del mapa de peligrosidad y el área ocupada por la lámina de agua en cada evento de inundación.
5. Estimación del grado de bondad del mapa de peligrosidad en función de las concordancias y discrepancias encontradas en el análisis GIS.
6. Discusión de las discrepancias encontradas estableciendo las posibles causas de discrepancias (cartográfico de peligrosidad, cartográfico de la lámina de agua, de escala, por afluentes...) y, en la medida de lo posible, aportar mejoras al método de cartografía de áreas inundables.

2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Cuenca hidrográfica del Sella

La cuenca hidrográfica del Sella se sitúa en la vertiente norte de la cordillera Cantábrica, tiene una superficie de 1284 km², de los cuales 1195 km² se localizan en el Principado de Asturias y tan solo 89 km² en la provincia León (según www.chcantabrico.es). Ambas provincias se localizan geográficamente en el norte de España (figura 1).

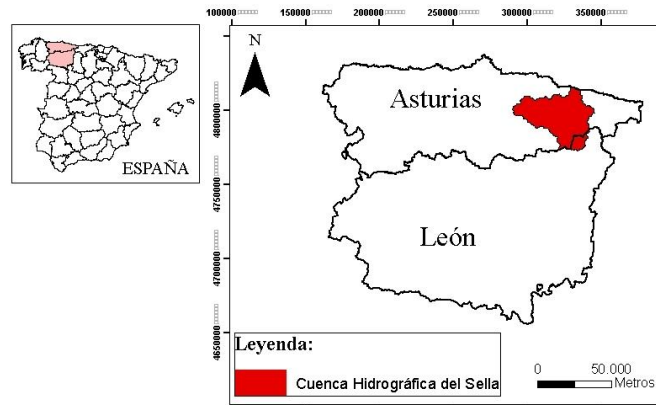


Figura 1. Situación geográfica de la Cuenca hidrográfica del Sella dentro de las provincias de Asturias y León.

La cuenca del Sella se sitúa principalmente en el oriente de Asturias ocupando casi o en su totalidad los municipios de Amieva, Bimenes, Cangas de Onís, Nava, Parres, Piloña, Ponga, y Ribadesella, mientras que incluye algo de territorio perteneciente a los municipios de Cabrales, Cabranes, Caso, Laviana, Llanes, Onís, Sariego y Sobrescobio; y al norte de la provincia de León (Castilla y León) en el municipio de Oseja de Sajambre y un poco del noreste de Posada de Valdeón (figura 2).

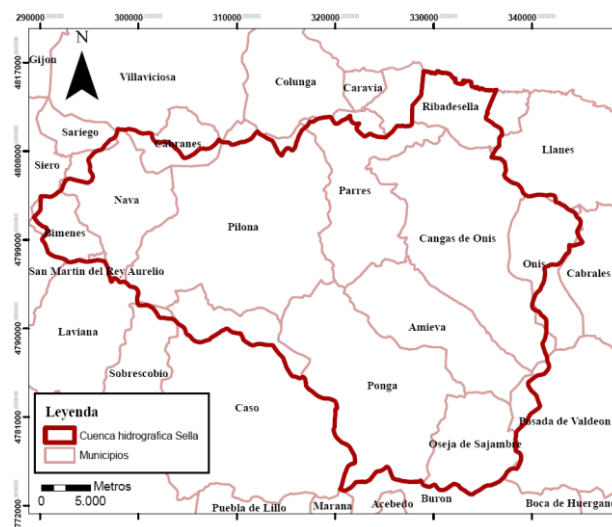


Figura 2. Distribución de los municipios que conforman la cuenca del Sella.

76 km y su densidad de drenaje de 0,57 km/km². A lo largo de los cauces se encuentran diferentes actuaciones como canalizaciones impermeable (6,82 km), escolleras (7,38 km) y motas (3,42 km).

Su cota más elevada está a 1161 m en el Pico Pienzu (Sierra del Sueve) y su cota más baja a 0 m en la desembocadura del río Sella en Ribadesella, obteniendo un desnivel de 1161 m. Posee una cubierta vegetal basada en formaciones arboladas, matorrales y prados (Riego, 2012).

Concretamente el área de estudio se localiza en el tramo del río Sella entre la localidad parraguesa de Arriondas (Parres) y Ribadesella (Ribadesella), en el cual el río discurre a lo largo de 15 km.

2.3. Geología

Geológicamente está situada en la Zona Cantábrica (Lotze, 1945), siendo esta la parte más externa de la rama N del segmento ibérico de la Cordillera Hercínica y estando dividida a su vez por criterios tanto paleogeográficos como tectónicos (Juliver1967b, 1971a) en:

Región de pliegues y mantos.

Cuenca carbonífera central.

Región de Pisuerga-Carrión.

Región del manto del Ponga.

Región de Picos de Europa.

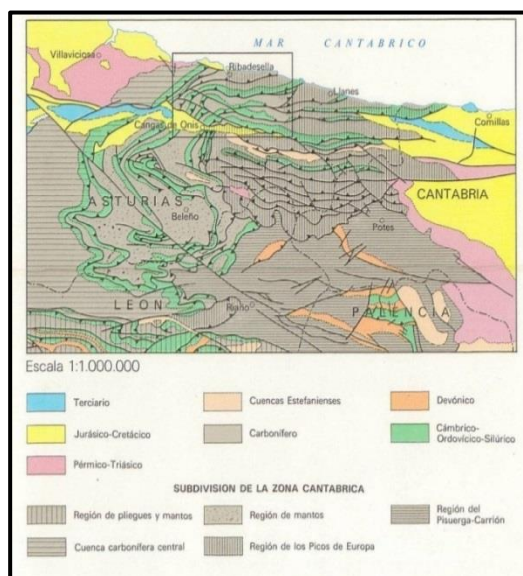


Figura 4. Esquema regional tomado del MAGNA Hoja 31 Ribadesella.

La zona de estudio se encuentra enmarcada dentro del Manto del Ponga (figura 4), únicamente en Ribadesella aparece una mínima representación del dominio de los Picos de Europa.

Los materiales del paleozoico han sido afectados por la orogenia hercínica, la cual generó un apilamiento de mantos de corrimiento y pliegues asociados. Durante el mesozoico tuvo lugar una tectónica de bloques dejando a su paso nuevas cuencas donde se depositan los materiales del Trías, Jurásico y Cretácico. En lo que se refiere a las estructuras de la zona se pueden diferenciar por su génesis, geometría y edad en dos conjuntos, uno pertenece a los cabalgamientos y pliegues asociados y otro a las fallas.

El paleozoico está afectado por pliegues y cabalgamientos hercínicos con dirección E-O que pasan a dirigirse hacia el SO aproximadamente por el meridiano de Ribadesella. Las escamas producidas por el apilamiento de los cabalgamientos en el área son las denominadas escamas de Cangas de Onís, escama de Meré-Peruyes, escama de Mofrecho, escama de Ribadesella y escama de El Carmen-Collera. A su vez, los cabalgamientos están afectados por grandes fallas, entre las cuales podemos diferenciar la falla de Mofrecho, San Tirso, Parda y de Llueves. Todas las fallas tienen una misma dirección, variando de ONO-ESE a EO.

2.3.1. Substrato rocoso

Los materiales que componen el substrato rocoso de la zona estudiada pertenecen en su mayoría al paleozoico, aunque también hay una representación del cretácico en las inmediaciones de Arriondas y sobre todo materiales del cuaternario, a lo largo de la ribera del río Sella y en su desembocadura en la localidad de Ribadesella.

En la figura 5 se muestra un extracto de la cartografía MAGNA (hoja 31, Ribadesella) para el área de estudio. Esta cartografía destaca la llanura aluvial del río Sella, que es continua desde la localidad de Arriondas hasta su desembocadura en Ribadesella, y se pueden observar los materiales del substrato geológico en los que se excava el valle fluvial.

Los materiales que componen esta área de estudio de más antiguo a más moderno son los citados a continuación (según MAGNA Ribadesella 31):

2.3.1.1. Cámbrico-Ordovícico

En la formación Láncara (1) de edad cámbrico inferior a medio (Sdzuy, 1971, 1971a), se diferencian dos tramos, uno inferior con dolomías amarillentas y calizas grises en niveles de 10-12 cm y un tramo superior en el cual a muro aparecen unas caliza de grano grueso y glauconita, mientras que a techo afloran

unas calizas nodulosas de color rojo. Esta formación aparece siempre como base de todos los niveles de despegue de los mantos o escamas.

La formación Oville (2) data del cámbrico medio-ordovícico inferior, con espesores variables de métricos a decimétricos. Está caracterizada por presentar principalmente lutitas de color verde brillante con aspecto pizarroso y capas de lumaquelas con fauna de trilobites.

Por último, en este sistema aparece la formación Barrios (3), con una edad comprendida entre el Tremadoc superior al Arenigiense (Crimes y Marcos, 1976; Baldwin, 1978) es decir, ordovícico inferior. Principalmente, este miembro está constituido por cuarzoarenitas blancas, excepto en la parte basal de este miembro está compuesto por conglomerados y areniscas así como un nivel pizarroso.

2.3.1.2. Carbonífero

Dentro de este sistema se puede diferenciar entre el pre-estefaniense que se encuentra concordante y el Estefaniense discordante. En la zona de estudio no se encuentra ningún material del Estefaniense por lo que están todos concordantes.

La formación Alba o caliza “griotte” (8) tiene una edad que va del Tournaisiense superior (Adrichem Boogaert, 1967) a Namuriense basal (Barrois, 1882; Kullmann, 1961). En ella se diferencian tres miembros: el inferior formado por calizas nodulosas y margocalizas de blanco a verde, uno intermedio en el que aparecen lutitas, lutitas carbonatadas y lutitas silíceas de rojo a verde, y por último, un tercer miembro con calizas nodulosas y pseudonodulosas que pasan de ser rosadas en el muro a grises en el techo.

La edad de la formación Barcaliente (9) se atribuye al carbonífero superior, más concretamente ocupa el Namuriense y principio del Westfaliense, se hace por acotación entre la formación anterior y posterior ya que no tiene fauna directa para poder datarlo. El contacto con la formación Alba es gradual y está constituido por una serie carbonatada de micritas, microesparitas y dolomicritas, con estratificación variable entre masiva y tableada, fétidas y de color negro, atribuyendo el conjunto a la Caliza de Montaña (Wagner et al., 1971).

Carbonífero superior (namuriense- westfaliense) (10), son calizas blancas y beige y calizas nodulosas rojas.

Carbonífero superior (westfaliense) (11), son areniscas, limolitas, lutitas y capas de carbón.

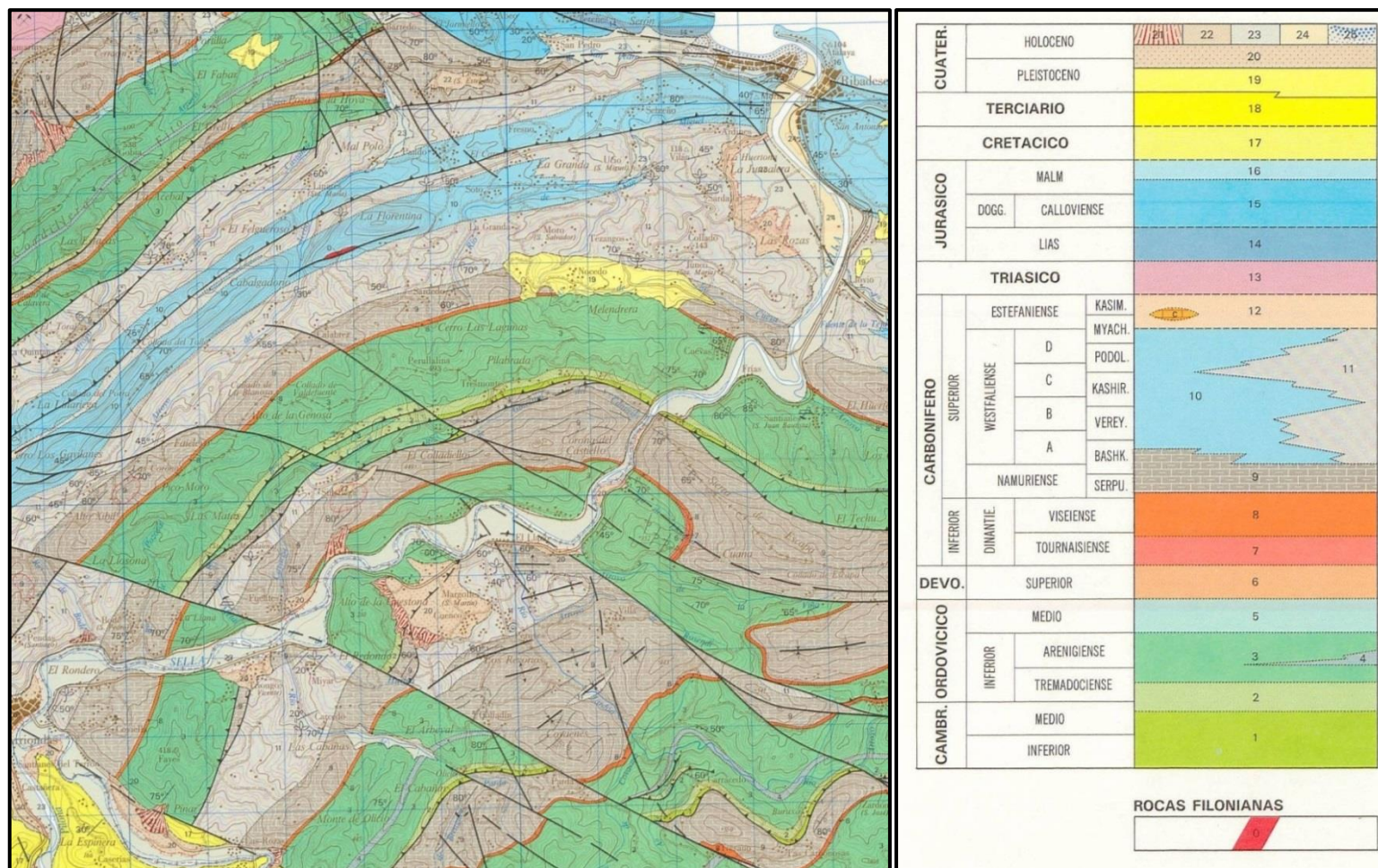


Figura 5. Ampliación de la cartografía geológica y leyenda de la zona de estudio (tomada del MAGNA hoja 31 Ribadesella). La descripción de las formaciones geológicas que aparecen en la leyenda se da en el texto principal.

2.3.1.3. Cretácico

El cretácico (17) aparece en la localidad de Arriondas y está constituido por cuarzoarenitas, areniscas, arenas, limolitas y calizas.

Como se observa en la figura 5, desde Arriondas hasta la población de El Llano, el valle principal está excavado preferentemente en las cuarcitas y areniscas de la formación Barrios alternando con tramos calcáreos pertenecientes a la formación Barcaliente. Aguas debajo de El Llano y hasta la desembocadura, el substrato son calizas (Barcaliente y del carbonífero superior) y materiales terrígenos de edad carbonífera.

2.3.1.4. Cuaternario

Las terrazas fluviales (20) pertenecen al final del pleistoceno principio del holoceno, situándose en tres puntos en concreto que se explican más detalladamente en el siguiente apartado. Están constituidas por cantos y bolos de cuarcitas y calizas con una matriz arenoso-limosa.

Los derrubios de laderas (21) se desarrollan entre Margolles y Triongo, tratándose de importantes conos de derrubios de orto y paraconglomerados polimícticos.

Aluviones (23) de bloques de naturaleza diversa embebidos en una matriz limoso-arcillosa, además de presencia de materia orgánica.

La llanura mareal (24) se sitúa en la desembocadura del río Sella en Ribadesella constituido por materiales muy finos como son limos, arcillas y fangos.

Playas (25) formadas por arenas silíceas muy finas con restos de conchas.

2.3.2. Geomorfología y relieve

La zona se caracteriza por presentar una morfología de valles y sierras, las cuales suelen coincidir con la estructura geológica del lugar, por lo que se puede decir que la morfología es un buen indicador de la estructura geológica y de las alternancias litológicas existentes.

El río Sella discurre de Sur a Norte de forma irregular con respecto a la estructura. Primeramente, desde Arriondas hasta la población de Fuentes lo hace de forma perpendicular, para pasar a hacerlo de forma paralela a la estructura entre las poblaciones de Fuentes y el Llano y finalmente, a partir de esta última población comienza a atravesarla de forma perpendicular hasta su desembocadura en la población de Ribadesella.

A lo largo del valle del río Sella se pueden observar terrazas fluviales en distintos puntos. Desde Arriendas a Ribadesella se encuentra primeramente con un nivel de aterrazamiento en la población de Arriendas sobre unos 15 a 20 m del cauce actual, mientras que en el Llano de Margolles se localiza una terraza colgada a unos 40 m sobre el cauce, lo que se interpreta como un antiguo meandro del río cuando el nivel del mar estaba a dicha altura, y el último importante se sitúa entre Llovio y Ribadesella a unos 4 o 5 metros sobre el cauce actual.

En el contexto del estudio de inundabilidad, el rasgo geomorfológico más destacado es la presencia de llanuras aluviales que, aunque con extensión variable, son continuas en todo el tramo fluvial estudiado. En estas llanuras se reconocen diferentes niveles, canales secundarios y barras de depósito que evidencian la actividad geomorfológica del sistema fluvial.

2.4. Datos hidrológicos

2.4.1. Estaciones de control y datos

Los datos hidrológicos disponibles para el área de estudio provienen de las redes de control localizadas en la cuenca del Sella (tabla 2). Las redes de control evalúan la cantidad y calidad del estado de las aguas. Hay dos tipos de redes de control:

SAICA (Sistema Automático de Información de Calidad de Aguas), este tipo de redes de control registran continuamente y en tiempo real los parámetros físico-químicos que determinan la calidad de las aguas. La única estación SAICA dentro de la cuenca del Sella es la que se ubica en Arriendas.

ROEA-A (Red Oficial de Estaciones de Aforo), este tipo de redes de control permite conocer la evolución de caudales en puntos singulares de cauces y canales. A lo largo de la cuenca hidrológica del Sella hay varias estaciones ROEA-A, controlando principalmente los ríos Piloña, Ponga y Sella.

Red	Río	Ubicación	Código
SAICA	Sella	Arriendas	Q101
ROEA-A	Sella	Pervis	A6214-1293
ROEA-A	Sella	Cangas de Onís	A602-1295
ROEA-A	Ponga	Sobrefoz	A603-1296
ROEA-A	Piloña	Villamayor	A073-1303
ROEA-A	Piloña	Ozanes	A604-1302

Tabla 2. Redes de control localizadas en la cuenca del Sella (tomado del Ministerio de Agricultura, Alimentación, y Medio Ambiente, 2011)

En el Anexo I se adjuntan las fichas con los principales datos de las estaciones que controlan la cuenca hidrográfica del Sella.

Los datos hidrológicos de caudal anual, caudal máximo anual y caudal mínimo anual para el río Sella se obtuvieron de la estación ROEA-A ubicada en Cangas de Onís. Estos datos se pueden ver en la tabla 3.

Caudal medio anual	18,07 m ³ /seg.
Caudal máximo anual	36,62 m ³ /seg
Caudal mínimo anual	9,15 m ³ /seg

Tabla 3. Datos de caudal del río Sella obtenidos de la Estación de Aforo A602-1295 – Río Sella en Cangas de Onís (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico).

Además de los caudales, de los datos que registra la estación A602-1292 ROEA-A ubicada en Cangas de Onís, se extrajo el anuario de aforos tanto para el año 2009-2010, como para el año 2010-2011. Este anuario de aforos relaciona los caudales máximos medios diarios mensuales (m³/s) durante los años hidrológicos anteriormente citados. La relación de ambos se muestra en el gráfico 1.

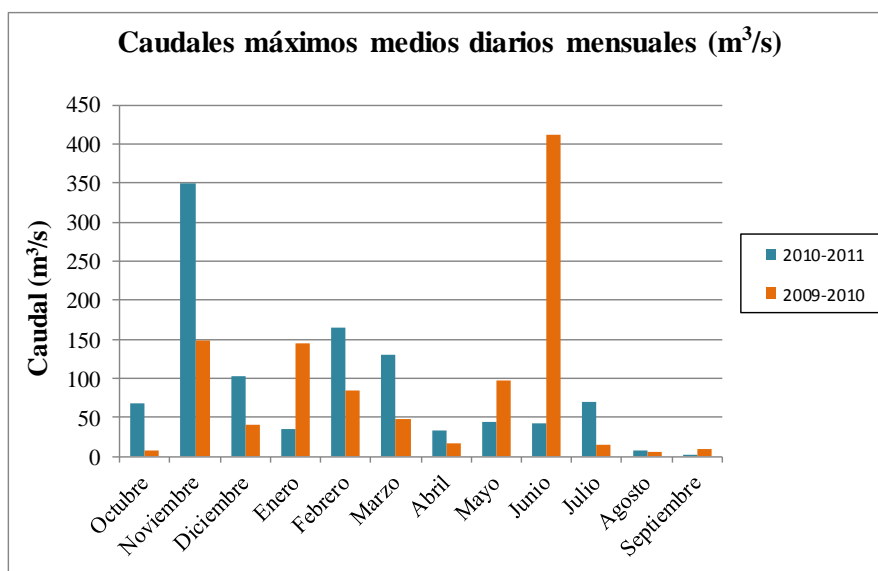


Gráfico 1. Relación de los caudales máximos medios diarios mensuales (m³/s) entre los años 2009-2010 y 2010-2011 (datos tomados del Ministerio de Agricultura, Alimentación, y Medio Ambiente).

En el gráfico 1, se observa como el régimen de flujo es uniformemente bajo durante el verano y se incrementa entre noviembre y marzo. Además, se ve como el año hidrológico 2009-2010 es mucho más caudaloso, con un total de 411,4 m³/s de caudal máximo anual, que el año 2010-2011 el cual obtuvo un total de 349,1 m³/s de caudal máximo anual.

2.4.2. Régimen fluvial

El régimen fluvial define la variación del caudal de una corriente a lo largo de un año. Se pueden diferenciar distintos tipos de regímenes fluviales, dependiendo principalmente de la cuantía y tipo de precipitación. En el caso del área de estudio, la

cuenca hidrográfica del Sella se sitúa en la vertiente norte de la Cordillera Cantábrica. Nace en la cabecera de la Cordillera Cantábrica a 2596,30 m de altura sobre el nivel del mar en el pico de Peña Santa, y desemboca en Ribadesella al mar Cantábrico. Se puede decir que la cuenca hidrográfica se caracteriza por una elevada pendiente, en la que los aportes de agua de lluvia vienen marcados por altos valores de precipitación y estos son muy regulares. Por todo ello, se puede decir que la cuenca hidrográfica del Sella tiene un régimen pluvio-nival en la cabecera y un régimen pluvial en el curso medio-bajo de la cuenca.

3. CARTOGRAFÍA DE ÁREAS INUNDABLES

Como ya se ha indicado en la introducción y en los objetivos se validará la cartografía de peligrosidad por inundaciones disponibles para la zona.

La información requerida para el desarrollo de este apartado fue obtenida tanto de la “Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Análisis histórico y geomorfológico (v3)” como de la “Creación de un sistema de información de las zonas inundables y de avenida torrencial del Principado de Asturias”.

En este capítulo se descubrirá la metodología seguida para elaborar la cartografía de inundación y el mapa de peligrosidad del bajo Sella que será estudiado.

Según la Directriz Básica ante los Riesgos de Inundaciones, *“una zona inundable es aquella parte del territorio normalmente seca que queda sumergida temporalmente, como consecuencia de la aportación inusual, más o menos repentina, de una cantidad de agua superior a la que es habitual en una zona determinada”*.

Estas áreas pueden ser inundadas por diversas razones, entre las principales que atañen a este estudio encontramos:

Inundaciones ligadas a la dinámica fluvial

Están asociadas a la presencia de un caudal extraordinario. La procedencia de este caudal se basa en la combinación de diversos factores, como pueden ser precipitaciones, fusión nival, embalses, actividad humana, etc.

La presencia de un caudal extraordinario hace que sobrepase el caudal que puede albergar el cauce ordinario del río y el río se desborde ocupando las vegas colindantes.

Además de influir en la inundación los factores anteriormente mencionados, también se deben tener en cuenta otros procesos como son la evaporación, infiltración y retención que reducen el agua que llega a los cauces. Este volumen puede medirse a través de la escorrentía (mayor infiltración es parejo a menor escorrentía superficial).

Así como la permeabilidad, litología, área y forma de la cuenca hidrográfica, la pendiente, altitud y densidad de la cubierta vegetal son otros de los factores que pueden llegar a intervenir de manera sutil en una inundación.

Inundaciones ligadas a acciones marinas

Las acciones del mar provocan inundaciones dinámicas y estáticas en Asturias (TRAGSA, 2003).

La principal a tener en cuenta para este trabajo es la acción estática, que se refiere a las inundaciones causadas por las mareas en la desembocadura fluvial. La unión de una avenida fluvial con una subida transitoria del nivel del mar produce un retardo en la evacuación del caudal, elevando el nivel del agua e incrementando la intensidad de la avenida fluvial.

Inundaciones por deficiencia de drenaje

Cuando la llanura aluvial posee una baja pendiente, puede experimentar deficiencia de drenaje provocando una baja capacidad de desagüe. Este tipo de inundación suele producir altos tiempos de permanencia de la lámina de agua pero bajo calado. En algunos casos la deficiencia de drenaje puede deberse a la presencia de vías de comunicación u otras infraestructuras que dificultan el drenaje natural de la llanura.

Inundaciones por obstrucción de cauces

Frecuentemente, en los estudios de inundabilidad en el medio fluvial se constata que la obstrucción de los cauces, por causas artificiales o naturales, agrava los efectos negativos de una inundación. Las localidades donde se produce esto se conocen como puntos conflictivos. Estos producen una pérdida localizada de la energía, produciéndose una sobre elevación del nivel aguas arriba e inundándose así los terrenos colindantes, y como consecuencia de esto aguas abajo recibe esta onda de crecida convirtiéndose en terrenos susceptibles a ser inundados.

Las áreas afectadas por este tipo de inundación son difíciles de cartografiar puesto que es poco fiable determinar el grado o envergadura de las inundaciones. Esto mismo se observa en obstrucciones provocadas por inestabilidades del terreno o por el material arrastrado por el propio cauce.

La cartografía de áreas inundables es un documento cartográfico en el que se delimita la propia zona inundable, así como las áreas para las que se puede prever diferente frecuencia de inundaciones. Esta diferente frecuencia de inundaciones se suele expresar con un periodo de retorno o frecuencia de inundación.

Básicamente existen dos metodologías posibles para realizar esta cartografía: el método Hidrológico-Hidráulico y el método Geomorfológico-Histórico.

El método Hidrológico-Hidráulico se basa en el cálculo del caudal máximo que llegaría a un punto del cauce para un periodo de retorno dado, a partir de las series de precipitación disponibles. Esta parte es el estudio hidrológico que requiere, además de los datos de precipitación, conocer datos de escorrentía, infiltración y evapotranspiración de la cuenca de drenaje. Una vez calculados estos caudales, el estudio hidráulico delimitará que zona será inundada por el caudal calculado. En esta parte del estudio se hace necesario disponer de una topografía muy detallada del cauce, sus márgenes y toda el área inundable. Con frecuencia esta información topográfica de detalle no está disponible para amplias zonas de las llanuras de inundación.

El segundo método, el Geomorfológico-Histórico, se basa en la combinación de diferentes criterios, basados en datos históricos y evidencias geomorfológicas, para establecer la frecuencia de inundaciones en la llanura aluvial y zonificarla en función de esta frecuencia de inundación (Marquínez et al., 2006; MARM, 2011). Un esquema de los pasos a seguir en este método se puede ver en la tabla 4.

El método Geomorfológico-Histórico es el que se siguió para la creación del mapa de inundabilidad que se va a validar, el cual se explica a continuación detalladamente.

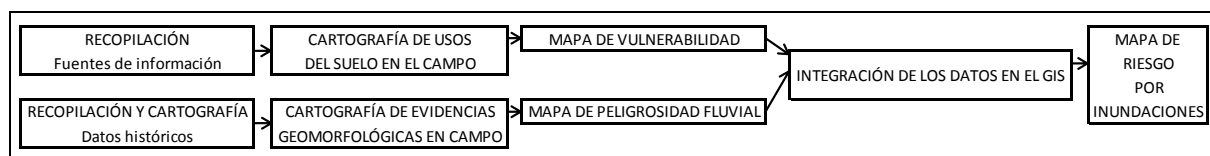


Tabla 4. Metodología desarrollada en la determinación del riesgo por inundaciones (INDUROT, 2004).

3.1. Antecedentes

El 23 de Octubre de 2007 se aprobó la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2007/60/CE para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. En relación con esta Directiva, España abordó la modificación del reglamento del Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986, del 11 de Abril), donde se plantea la elaboración del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI). Este sistema ya forma parte de los programas en ejecución de la Dirección General del Agua, representando una herramienta que pretende facilitar la gestión por parte de las administraciones competentes, y servirá de base para el cumplimiento de las exigencias de la Directiva Europea de Inundaciones, en lo que a gestión del espacio fluvial y peligrosidad por inundación se refiere.

El SNCZI y la modificación del reglamento establecen que, junto análisis hidrológicos y modelos hidráulicos, son necesarios análisis geomorfológicos, así como la recopilación de datos históricos sobre inundaciones. Por ello la “Guía Metodológica para el desarrollo del

Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Análisis histórico y geomorfológico (v3)” (MARM, 2009) incorpora, además de los criterios hidrológicos e hidráulicos, varios apartados dedicados al análisis histórico y evolutivo del sistema fluvial, a la toma de datos de inundaciones históricas y al análisis geomorfológico.

3.2. Análisis histórico

El análisis histórico planteado en el SNCZI persigue que las zonas inundables del medio fluvial, constatables mediante referentes históricos, sean consideradas en la zonificación de inundabilidad. En este sentido se plantea la realización de un estudio evolutivo del medio fluvial mediante fotografías aéreas históricas y la reconstrucción de series históricas de inundaciones.

3.2.1. Estudio evolutivo del medio fluvial

El SNCZI defiende la utilización de referencias históricas en la zonificación de la inundabilidad, incluyendo cartografías y fotografías.

Los sistemas fluviales pueden conservar su posición durante un periodo de tiempo o sufrir variaciones en planta y perfil. Las fotografías aéreas realizadas por el “Vuelo Americano” entre los años 1956 y 1957 a escala 1:33.000 se toman como punto de partida para la realización de la cartografía del cauce. Además, se deben analizar otras fotografías aéreas intermedias entre el vuelo americano y la actualidad, llegando a ser recomendables dos vuelos intermedios con una distribución temporal equitativa. A continuación, se citan los pasos del estudio evolutivo del medio fluvial.

3.2.1.1. Delimitación de la zona inundable

La zona inundable sobre la que se centrará el estudio es definida previamente a partir de mapas geológicos y geomorfológicos de España (MAGNA, IGME). Los límites de la zona inundable son revisados conforme al análisis estereoscópico sobre fotografías aéreas.

3.2.1.2. Delimitación del cauce histórico

El cauce histórico se delimita a partir del estudio de fotografías aéreas teniendo en cuenta las siguientes indicaciones: los límites del cauce se situarán preferentemente sobre la coronación del talud que separa la zona deprimida del medio fluvial, de los márgenes adyacentes más elevados; el límite geomorfológico, para aquellas zonas en las que el cauce discurre en contacto con las laderas, se localizará en el cambio de pendiente entre el canal y el inicio de la ladera; se incluye dentro del cauce el canal de estiaje y las barras fluviales, tanto las activas como las adyacentes ya colonizadas por la vegetación; si una parte del cauce se encuentra colonizada antropicamente se estimará la extensión esperable del cauce en condiciones naturales.

3.2.2. Análisis de inundaciones históricas

Utilizar referentes históricos sobre inundaciones posee un alto potencial a la hora de mejorar el estudio de inundabilidad debido a que se obtiene una primera imagen de los terrenos que pueden verse afectados por la inundación, basándose en datos reales obtenidos del pasado. Este análisis aporta un periodo de tiempo superior al registrado por las estaciones meteorológicas y de aforo, llegando a estimar recurrencias de inundación.

Los datos históricos pueden proceder de encuestas a la población ribereña o técnicos de empresas implicadas en la inundación; de consultas a administraciones como Protección Civil, Confederación Hidrográfica del Cantábrico o ayuntamientos y de fuentes documentales diversas, desde recopilaciones de inundaciones históricas ya elaboradas (Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas; figura 6) hasta hemerotecas regionales.

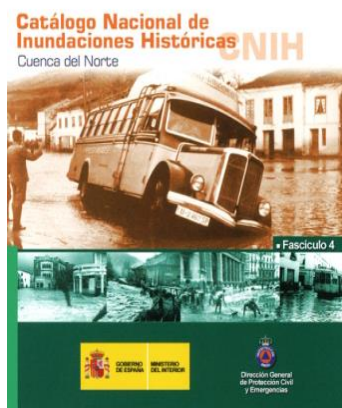


Figura 6. Foto de la portada del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas de la Cuenca del Norte.

3.3. Análisis geomorfológico de llanuras aluviales.

El análisis geomorfológico se basa en el estudio de las evidencias generadas por la circulación del agua sobre terrenos inundables.

Las evidencias geomorfológicas se pueden diferenciar en función del tiempo, entendiéndose como *evidencias efímeras* aquellas que se han originado recientemente y en un periodo corto de tiempo tienden a camuflarse o desaparecer; se entiende por *evidencias topográficas* aquellas que alteran la topografía del terreno y su morfología, están ligadas a formas erosivas y sedimentarias generadas por las avenidas. Las evidencias topográficas pueden estar presentes en la zona inundable desde décadas a periodos geológicos. Ambas evidencias, aparecen tanto en el cauce como en la llanura aluvial o las márgenes, siendo más claras y frecuentes cuanto mayor es la inundación.

Según Roselló (1989), las llanuras aluviales son espacios inundables representadas por superficies casi planas, ubicadas en torno a un cauce, que han sido construidas por el río

para que absorban el exceso del caudal y sedimentos en las crecidas. Es decir, son franjas del terreno sujetas a inundaciones periódicas y a una dinámica geomorfológica extraordinariamente activa.

La cartografía de las evidencias geomorfológicas se creará englobando las evidencias por unidades inundables, dividiéndose en dos principalmente, aquellas evidencias que se observan en el cauce y las que lo hacen en la llanura aluvial.

3.3.1. Observaciones en el cauce

La delimitación del dominio público hidráulico probable geomorfológico se basa en la combinación del cauce histórico y del actual (Crespo, 2012). Los indicadores geomorfológicos utilizados para delimitar el cauce son los mismos criterios que los utilizados en la delimitación del cauce histórico, con la ventaja de recurrir a productos derivados del LIDAR y del trabajo en campo.

Muchas veces, el límite entre la orilla y la llanura aluvial es claro, basándose en un cambio neto de pendiente, el cual coincide con el límite del cauce histórico (figura 7).



Figura 7. La línea roja marca el dominio público hidráulico ubicado en la coronación del talud de la orilla (tomado de MARM, 2009).

Para diferenciar el límite entre la orilla y la llanura aluvial en aquellas llanuras en las que no es claro, se siguen tres etapas. Un previo análisis de gabinete de modelos obtenidos con el LIDAR, ortofotos, así como otras fuentes (topografías, imágenes de satélites, etc.), posteriormente se realiza labor de campo para comprobar la correspondencia entre la realidad y las observaciones previas obtenidas en el análisis de gabinete. Por último, se hace una comparación entre el cauce histórico y el actual obteniendo una primera propuesta del dominio público hidráulico probable.

3.3.2. Observaciones en las márgenes

En el análisis de las llanuras aluviales hay unas indicaciones para el reconocimiento sobre el terreno aluvial de la presencia de formas erosivas y sedimentarias generadas por el tránsito de avenidas, diferenciando evidencias efímeras y topográficas.

3.3.2.1. Terrenos con evidencias efímeras de inundación reciente

Si en la llanura aluvial se observan evidencias efímeras que señalan el tránsito de una inundación, se debe recoger la siguiente información:

Superficie afectada y calado de la inundación

La evidencia más representativa en terrenos con vegetación herbácea de la superficie mínima alcanzada por una inundación reciente es la presencia de hierba tumbada.

Otra evidencia es la presencia de elementos arrancados de su superficie por la avenida; ésta se suele encontrar en suelos de uso agropecuarios.

El límite externo de la avenida suele estar marcado por una alineación de restos flotantes más ligeros generalmente de origen vegetal (arribazones) (figura 8b).

La altura que alcanzó la lámina de agua durante la inundación se puede extrapolar sobre la zona inundable de la altura máxima que presente el indicador más preciso y elevado (figura 8a).

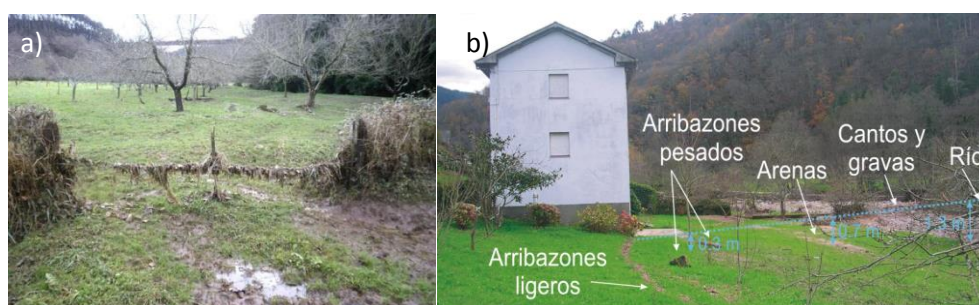


Figura 8. a) indicador más preciso y elevado que marca la altura de la lámina de agua, b) varios indicadores, entre ellos arribazones ligeros que marcan el límite externo de la avenida (tomado de INDUROT).

Indicadores de calado y velocidad

Los principales indicadores del calado y la velocidad que alcanzó la lámina de agua durante la inundación son las formas erosivas y las formas sedimentarias. Las formas erosivas carecen de vegetación, su dimensión y morfología es variada diferenciando canales, depresiones irregulares, escalones netos y eliminación del material edáfico (figura 9a y 9b). Las formas sedimentarias presentan morfologías y granulometrías variadas, el techo de estas formas indican un calado mínimo (figura 9c y 9d). Tanto las formas erosivas como sedimentarias pueden aparecer representadas simultáneamente.



Figura 9. Indicadores de calado y velocidad de la lámina de agua en una inundación, “a” y “b” pertenecen a formas sedimentarias, mientras que “c” y “d” a formas erosivas (tomado de INDUROT).

Análisis combinado de indicadores

El análisis combinado de indicadores ligado a una inundación reciente ofrece alto interés, junto con datos de estaciones de medida y el análisis de inundaciones históricas, puede permitir asignar al terreno una inundabilidad muy precisa.

Envejecimiento de indicadores

Pasados unos meses desde la inundación, algunas evidencias desaparecen o se están degradando. Otras como las formas sedimentarias y erosivas pueden estar colonizadas por una cubierta vegetal.

3.3.2.2. Terrenos con evidencias de inundación reiterada

Como se ha mencionado en el anterior apartado, las evidencias una vez pasada la inundación desaparecen o se están degradando progresivamente y otras como las formas sedimentarias y erosivas pueden estar camufladas por una cubierta vegetal.

En muchos casos la morfología se conserva total o parcialmente, diferenciándose canales, micro depresiones, escalones, depósitos de manto, de sombra, longitudinales, etc. Estas morfologías evidencian el paso de avenidas intensas, con calado y velocidad capaz de erosionar, transportar y depositar material sobre la zona inundable.

3.3.2.3. Terrenos sin evidencias de inundación

Los terrenos sin evidencias de inundación se caracterizan por superficies planas, no se observan irregularidades o desniveles topográficos. La presencia de evidencias de desbordamiento en el terreno es un indicador de la afección de éste por una inundación, pero la ausencia de las mismas no implica necesariamente un terreno con inundabilidad baja.

3.3.2.4. Terrenos antropizados

Los terrenos antropizados son aquellos en los cuales su superficie ha sido modelada por el hombre (vertido de material, excavaciones, etc.) eliminando la morfología original. A veces, estos terrenos antropizados son difíciles de identificar siendo necesarias observaciones complementarias como el estudio de fotografías aéreas antiguas o la identificación en el campo.

3.3.2.5. Delimitación de unidades inundables

Los límites de las unidades inundables se establece una vez analizadas la presencia de las formas erosivas y sedimentarias sobre las zonas inundables, ya que los principales indicadores geomorfológicos que aparecen en la llanura aluvial son estas formas (Díez, 2002). A partir de los límites de las unidades inundables se diferencia la peligrosidad de inundación. Se delimitarán aquellos terrenos situados a diferente altura con respecto a las zonas de desbordamiento y da como resultado la diferente probabilidad de inundación.

3.3.3. Representación cartográfica

La información recopilada en el análisis geomorfológico se representa cartográficamente con los indicadores que aportan mayor información al SNCZI, y así almacenarla. A continuación se plantean varias categorías y los elementos a identificar como son el límite de la zona inundable en condiciones naturales, el cauce morfológico actual, evidencias erosivas ligadas a formas canaliformes, evidencias efímeras y topográficas ligadas a formas sedimentarias y/o erosivas, zonas sin evidencia, zonas antropizadas y los límites de terrazas en las llanuras aluviales.

3.4. Análisis Geomorfológico-Histórico

3.4.1. Zonificación del área inundable

La zonificación del área inundable está basada tanto en el método histórico como geomorfológico, anteriormente descritos. La zonificación del espacio inundable aborda las siguientes etapas:

Envolvente de la zona inundable natural. El área inundable en condiciones naturales se delimita a partir de mapas geológicos.

Análisis histórico. Identificación preliminar de terrenos con diferente inundabilidad gracias a la información que se obtuvo de fotografías aéreas y a la recopilación de información sobre inundaciones históricas.

Diferenciación de terrazas o unidades con diferente inundabilidad. Se buscan zonas con diferente inundabilidad dentro de la llanura aluvial, reconocibles porque separan terrenos con diferente altura respecto al cauce. El cambio de altura puede ser neto o gradual. Algunos de estos cambios están representados por escarpes o terrazas.

Categorías de inundabilidad. Se asignan categorías de inundabilidad una vez dividida la zona inundable en distintas frecuencias de inundación. Las distintas categorías de inundabilidad son:

Inundabilidad muy alta, engloba terrenos donde se estima una recurrencia menor o en torno a 10 años.

Inundabilidad alta, engloba terrenos donde se estima una recurrencia entre 10 y 100 años.

Inundabilidad media-baja, engloba terrenos donde se estima una recurrencia entre 100 y 500 años.

Análisis geomorfológico-histórico. Se estima la recurrencia de inundación teniendo en cuenta la información obtenida en las etapas anteriores.

3.4.2. Categorías de inundabilidad

3.4.2.1. Inundabilidad muy alta (≤ 10 años)

La inundabilidad muy alta engloba terrenos donde se estima una recurrencia de inundación menor o en torno a 10 años. En condiciones naturales se incluirá en esta categoría aquellos terrenos que cumplan una o varias de las siguientes características:

- Unidades inundables que conserven en superficie evidencias topográficas ligadas a evidencias erosivas y/o sedimentarias nítidas.
- Unidades inundables donde la recurrencia histórica sea menor o en torno a 10 años.
- Terrenos que formaron parte del cauce histórico y actualmente presentan una dinámica similar a las márgenes.
- La unidad inundable haya sido identificada en el estudio evolutivo como márgenes o terraza de alta inundabilidad.

3.4.2.2. Inundabilidad alta (10-100 años)

La inundabilidad alta engloba terrenos donde se estima una recurrencia de inundación entre 10 y 100 años. Se incluirá en esta categoría aquellos terrenos que cumplan una o varias de las siguientes características:

- Unidades inundables que conserven en superficie evidencias topográficas ligadas a evidencias erosivas y/o sedimentarias suaves.
- Unidades inundables donde la recurrencia histórica sea entre 10 y 100 años.

3.4.2.3. Inundabilidad media-baja (100-500 años)

La inundabilidad media-baja engloba terrenos donde se estima una recurrencia de inundación entre 100 y 500 años. Se incluirá en esta categoría aquellos terrenos que cumplan una o varias de las siguientes características:

- Unidades inundables donde la recurrencia histórica sea de un solo evento.
- Situaciones donde se observe que una determinada unidad se vería afectada por eventos con una envergadura ligeramente mayor a las dos categorías de inundación anteriores.

3.5. Estudio de inundabilidad para la zona de estudio

Una vez seguidos todos los pasos mencionados anteriormente en el método Geomorfológico-Histórico, el mapa de peligrosidad que ocupa principalmente la subcuenca del Bajo Sella, y una pequeña parte de la subcuenca del Piloña, en concreto en la confluencia del río Sella con el Piloña, es el que se muestra en el Anexo II. En este se puede observar las diferentes categorías de inundabilidad que hay en la llanura aluvial del río Sella, diferenciando las siguientes categorías: “muy frecuente” aquellas zonas inundables con un periodo de retorno de 10 años, “frecuente” las que su periodo de retorno es de 50 años, “ocasional” con un periodo de retorno de 100 años, y por último, las “excepcionales” que su periodo de retorno es de 500 años.

Según un estudio realizado en el 2004 por el INDUROT, 25,6 km² de llanuras aluviales del río Sella son zonas inundables. De estos kilómetros cuadrados según criterios geomorfológicos-históricos el 12,5 km² son de carácter “muy frecuente”, el 5,7 km² son de carácter “frecuente”, un 4,1 km² de carácter “ocasional” y el 3,4 km² de carácter “excepcional”.

En el estudio histórico de inundaciones para la cuenca del río Sella se dispuso de un total de 156 datos, correspondientes a encuestas, fuentes documentales y observaciones directas (tabla 5), que van desde el año 1938 al 2012. El mapa de inundabilidad que se va a validar fue realizado en el año 2004, por lo que no incluye la información posterior a este año.

Evento	Encuestas	F. Documentales	Ob. Directas
1938	16	0	0
1975	2	0	0
1983	7	0	0
1993	14	0	0
2003	18	0	9
2005	0	1	0
2007	0	0	4
2008	0	0	10
2009	0	0	24
2010	0	0	16
2012	0	0	35
Totales	57	1	98

Tabla 5. Número de encuestas, fuentes documentales y observaciones directas para cada evento histórico (INDUROT, 2014).

Para eventos antiguos, desde 1938 hasta 1993 incluido, los únicos datos que se tienen son sacados de encuestas. En el evento de 2003, además de encuestas ya empiezan las observaciones directas, excepto en el evento de 2005 que sólo posee una fuente documental. Desde el 2007 hasta el 2012, los datos son obtenidos de observaciones directas (tabla 5).

En la tabla 6 se ve la ocupación media, expresada en tanto por ciento, de la llanura aluvial aludida en las fuentes consultadas, para los eventos históricos ocurridos en la zona de estudio, desde 1938 hasta 2012.

Llanuras	1938	1975	1983	1993	2003	2007	2008	2009	2010	2012
10i					30-50%			70-90%		70-90%
11d				>90%	50-70%			50-70%	>90%	70-90%
11i	>90%			70-90%	70-90%	70-90%		30-50%		
12d					50-70%		50-70%	70-90%		70-90%
13d				>90%	50-70%			50-70%		70-90%
13i	70-90%	50-70%			50-70%				>90%	10-30%
14d	70-90%			70-90%	50-70%	70-90%		30-50%	>90%	50-70%
14i	50-70%								>90%	<10%
15d					70-90%			30-50%		
15i								>90%		>90%
16d	50-70%				30-50%		<10%	30-50%	70-90%	30-50%
17d	70-90%		30-50%						70-90%	<10%
17i			50-70%		10-30%		<10%	<10%	<10%	10-30%
18d	30-50%		30-50%		10-30%					10-30%
19d	70-90%		70-90%		30-50%			<10%	70-90%	70-90%
19i									10-30%	<10%
1i				70-90%	70-90%			<10%	>90%	70-90%
20d	70-90%		70-90%							70-90%
21d										10-30%
22d										30-50%
23d										<10%
2d					50-70%					50-70%
2i					50-70%	10-30%	10-30%			70-90%
3d	>90%				30-50%			10-30%		50-70%
3i	70-90%			70-90%	50-70%					

Tabla 6. Relación ocupación de la llanura aluvial-evento histórico (tomado de INDUROT, 2014). Los valores de la primera columna son los códigos para cada llanura aluvial a lo largo de la zona de estudio.

Los daños recopilados de las inundaciones históricas, constituyen una aproximación del impacto que tuvo la inundación. En la tabla 7 se muestran el número de registros que posee un determinado daño para la zona de estudio.

Evento	Desplazados	Suelo urbano	Carreteras	Puentes	Ferrocarril	Suelo industrial	Suelo agropecuarios
1938	0	1	8	1	1	0	15
1975	0	1	0	0	0	1	1
1983	0	0	1	0	0	0	6
1993	0	0	4	0	0	1	14
2003	1	0	2	0	0	1	27
2007	0	0	0	0	0	0	4
2008	0	0	0	0	0	0	3
2009	0	0	0	0	2	0	6
2010	1	3	4	3	1	1	13
2012	0	1	0	0	0	0	35
TOTAL	2	6	19	4	4	4	124

Tabla 7. Relación número de daños por cada evento histórico (INDUROT, 2014).

Como se observa en la tabla 7, la mayor frecuencia de daños se concentra en los suelos de uso agropecuario (pastos, plantaciones, bosques, agricultura, etc.). La segunda mayor frecuencia de daños se registra en carreteras, seguidas de suelo urbano.

3.5.1. Ejemplo de zonificación de áreas inundables: Río Chico (Cuenca del bajo Sella)

El río Chico situado en la localidad de Arriondas es un afluente del Sella y ambos en ese punto pertenecen a la subcuenca del bajo Sella. En este apartado se describe la zonificación del área inundable en el tramo inferior del Río Chico con el fin de ilustrar la metodología descrita.

La llanura aluvial de este río, en la zona de confluencia con el río Sella, se ha visto afectada por las inundaciones de 1976, 1980, 2000 y 2003. La zona también pudo haber estado afectada por las inundaciones del río Sella en los años 1983 y 1973, aunque estos últimos datos no están totalmente validados.

La causa principal del desbordamiento del río Chico reside en el represamiento que ejercen las crecidas del río Sella, puesto que desemboca a contracorriente de este último.

A esta circunstancia se le suma el efecto de dos puntos conflictivos. Uno en el puente de la carretera a Pendás que posee una sección insuficiente, ya que en varias inundaciones antiguas ha sido sobrepasado y otro en la inundación de noviembre de 2003 quedó parcialmente colmatado. El otro es un estrechamiento artificial ligado a la vía de ferrocarril que se sitúa transversal a las vegas. En periodos de avenida aguas arriba de la vía se eleva el nivel de las aguas y en las zonas situadas aguas abajo, una vez sobrepasado el obstáculo, se produce una onda de crecida sobre elevada.

A partir de las características geomorfológicas, de los puntos conflictivos y de los datos históricos se ha podido zonificar la peligrosidad frente a inundaciones en este punto. En la figura 10 se observa la zonificación de la peligrosidad en este caso.

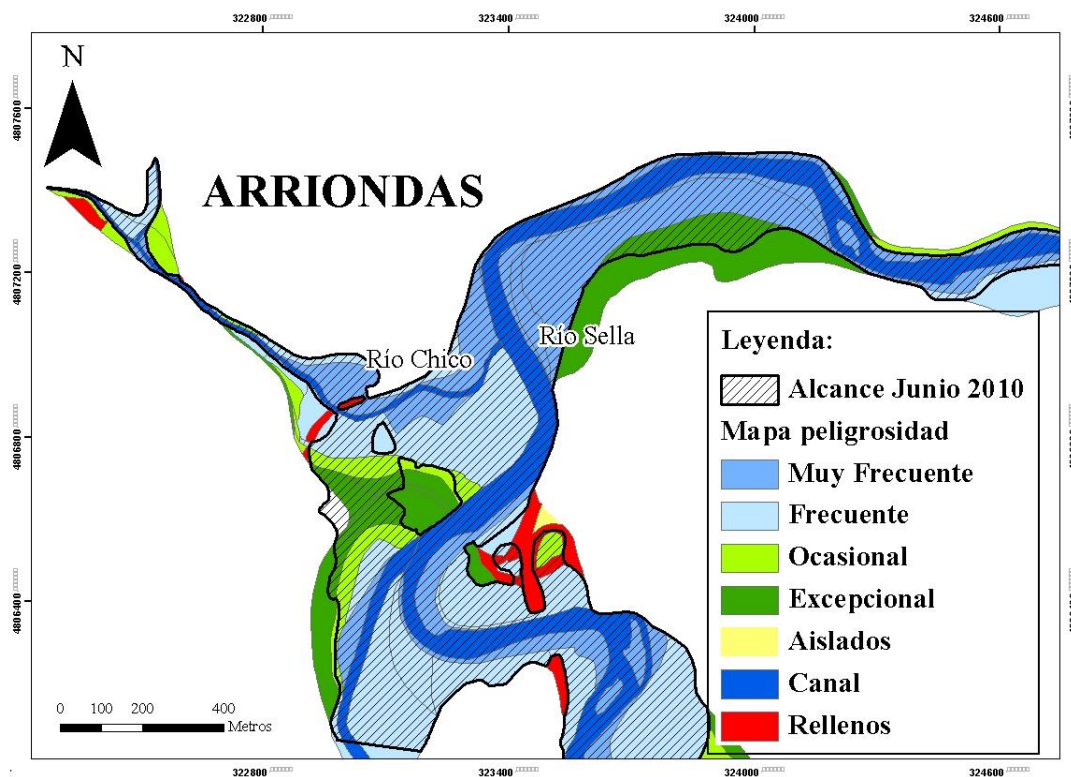


Figura 10. Zonificación de la peligrosidad entre la confluencia de los ríos Chico y Sella (tomado de INDUROT 2004).

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Este apartado explica los pasos seguidos en la elaboración del trabajo. Se basa principalmente en el estudio de las avenidas que se produjeron en junio de 2010 y febrero de 2012, además del análisis del mapa de peligrosidad y mapas de las inundaciones con el programa informático ArcGIS y su posterior tratamiento.

4.1. Estudio avenidas Junio 2010 y Febrero 2012

El estudio de las avenidas producidas en la cuenca del Sella en junio de 2010 y febrero de 2012 se basa en dos pasos principalmente, una primera recopilación de la información, seguida del cálculo de los periodos de retorno para cada inundación.

4.1.1. Recopilación de información

La información recopilada para la elaboración del estudio de las avenidas se centra en dos informes creados conjuntamente por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y la Confederación Hidrográfica del Cantábrico titulados:

“Informe sobre la avenida de los días 5-7 de febrero de 2012 en Asturias y Cantabria”, este informe trata la inundación que tuvo lugar como bien dice su título en febrero de 2012.

“Las inundaciones de Junio de 2010 en la Confederación Hidrográfica del Cantábrico”, de este escrito se obtiene toda la información relacionada con la inundación de junio 2010.

Ambos informes son de carácter inédito.

4.1.2. Cálculo periodos de retorno

El periodo de retorno es un concepto utilizado en hidrogeología para jerarquizar las avenidas en función de su importancia y frecuencia temporal estimada. En general, es la probabilidad de que ocurra una avenida en un río natural para un determinado periodo temporal. Esta probabilidad es inversamente proporcional a su magnitud. Desde el punto de vista estadístico, es aquel periodo de tiempo que transcurre entre dos avenidas con una magnitud igual o superior a un valor dado.

Con el fin de calcular un periodo de retorno para las inundaciones ocurridas en la cuenca del Sella durante febrero de 2012 y junio de 2010, y así poder realizar un análisis y validación del mapa de peligrosidad más exacto, se cogen los datos almacenados en las estaciones de control localizadas en la cuenca del Sella, ya mencionadas en el capítulo de “Área de estudio”, que son las enumeradas en la tabla 8 y su localización geográfica se observa en la figura 11.

Red	Río	Ubicación	Codigo
SAICA	Sella	Arriondas	Q101
ROEA-A	Sella	Pervis	A6214-1293
ROEA-A	Sella	Cangas de Onís	A602-1295
ROEA-A	Ponga	Sobrefoz	A603-1296
ROEA-A	Piloña	Villamayor	A073-1303
ROEA-A	Piloña	Ozanes	A604-1302

Tabla 8. Estaciones de control localizadas en la cuenca del Sella (tomado del Ministerio de Agricultura, Alimentación, y Medio Ambiente, 2011)

Como ya se ha comentado en la cuenca del Sella hay dos tipos de estaciones de control, como se puede ver tanto en la tabla 8 como en la figura 11. Una estación SAICA (Sistema Automático de Información de Calidad de Aguas) dentro de la población de Arriondas y cinco estaciones ROEA (Red Oficial de Estaciones de Aforo), de las cuales dos se ubican en el río Sella en las localidades de Pervis y

Cangas de Onís, otra en el río Ponga en la localidad de Sobrefoz y las dos restantes en Villamayor y Ozanes pertenecientes al río Piloña.

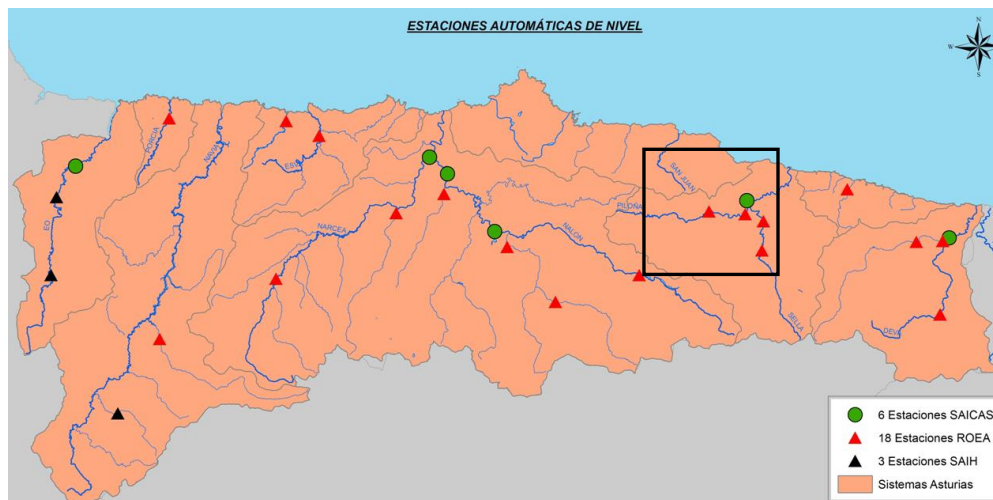


Figura 11. Situación geográfica de las estaciones automáticas de nivel en Asturias (tomado de Ornia, 2010).

Toda la información recogida en estas estaciones de control, tanto hidrológica, meteorológica, como de calidad de aguas, se gestiona en un único centro de cuenca (CECU) situado en Oviedo.

El caudal (m^3/s) y la altura (m) del nivel de agua alcanzado por el río, son algunos de los datos extraídos de las estaciones de control. Con los datos de caudal y la altura del nivel del agua se calcula la curva de gastos. La curva de gastos es una curva que muestra la relación entre la altura y el caudal del curso de agua en un río para cada estación de control. Destacar para la zona de estudio la estación ubicada en Arriondas (acentuada en azul claro en la tabla 8) ya que a partir de los datos recabados en dicha estación se obtiene la curva de gastos (figura 12), en la cual se representa la altura en metros de la lámina de agua en ordenadas y los caudales en m^3/s en abscisas.

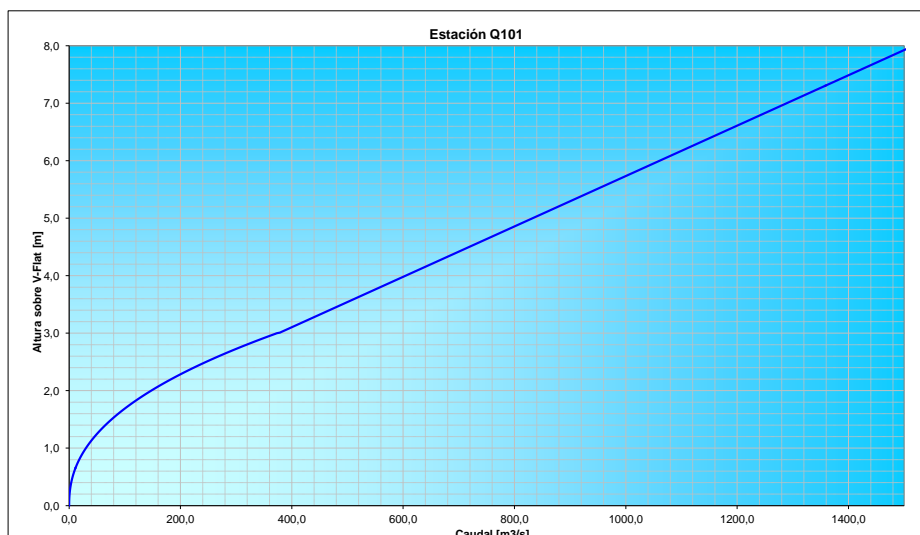


Figura 12. Curva de gastos de la estación SAICA Q101 de Arriondas (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

Conocido el caudal del río durante la inundación, gracias a la curva de gastos, ya se puede estimar su periodo de retorno. Esta estimación se hace estableciendo la relación entre caudal y periodos de retornos, diferente para cada estación de control, que se toma de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico (tabla 9).

Periodo de retorno	Caudal (m ³ /s)
QT 2	406
QT 5	632
QT 10	800
QT 25	1046
QT 50	1241
QT 100	1455
QT 500	2030

Tabla 9. Relación caudal-periodo de retorno para la estación Q101 de Arriondas (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

4.2. Análisis de datos con el ArcGIS

El programa informático que se utilizó para el análisis de datos es el ArcGis 9.3 de ESRI y la base de datos con la que se trabajó fue cedida por el INDUROT.

El objetivo es validar el mapa de peligrosidad ya presentado, a partir de su comparación con los mapas de alcance de las inundaciones de junio de 2010 y febrero 2012.

4.2.1. Recopilación de información

Las capas base con las que se trabaja en el programa informático ArcGis son tres:

- Mapa de peligrosidad (INDUROT, 2004), el cual se va a validar.
- Alcance de la lámina de agua que produjo la inundación de junio 2010 (TRAGSA, 2011).
- Alcance de la lámina de agua que produjo la inundación de febrero 2012 (TRAGSA, 2012).

En el presente trabajo se han seleccionado las inundaciones de 2010 y 2012, para validar el mapa de peligrosidad del 2004, por la envergadura del evento en el primer caso y por el detalle del trabajo realizado en campo para el segundo.

4.2.2. Análisis de datos

El análisis de datos parte del mapa de peligrosidad de inundabilidad mencionado anteriormente, y del alcance de la lámina de agua en dicha zona para las inundaciones que tuvieron lugar en junio de 2010 y febrero de 2012.

El mapa de peligrosidad de áreas inundables es un mapa de polígonos que recoge la cartografía de las llanuras aluviales, seleccionado en torno a 7,5 km² para validar la inundación de junio de 2010 y febrero de 2012. Este mapa de peligrosidad está representado por un 48% relativo a la categoría “muy frecuente”, el 16% a la categoría de “frecuente”, el 7% a la categoría de “ocasional” y un 5% pertenecen a la categoría de “excepcional”. Del 100% restante un 23 % pertenece a la categoría río, un 1% a rellenos antrópicos y menos del 1% a la categoría aislados.

La tabla de atributos del mapa de peligrosidad de inundabilidad recoge diferentes campos. En la tabla 10 se pueden ver las diferentes campos de la tabla de atributos y la información asociada a cada uno de estos campos.

CAMPO	INFORMACIÓN
INUN	Categorías del mapa: muy frecuente, frecuente, ocasional, excepcional, río, rellenos, y aislados.
SHAPE_Length	Perímetro expresado en metros.
SHAPE_Area	Área expresada en metros cuadrados.

Tabla 10. Categorías de la tabla de atributos del mapa de peligrosidad.

Sobre este mapa se aplicó la herramienta “Dissolve” (Data management tools – generalization-dissolve) del ArcGis 9.3 de ESRI, para fusionar aquellos polígonos del mapa de peligrosidad cuyos valores eran iguales. Con esta herramienta se consiguió que los distintos polígonos que pertenecían al mismo periodo de frecuencia, o al río, se uniesen en un solo polígono. En resumen, la función “Dissolve” simplifica una cobertura más compleja.

Además de los campos que se observan en la tabla 10, también aparecían en la tabla de atributos los campos de RIO, CUENCA y LLANU. Estos tres campos aparecen con valor cero, aunque antes de emplear la herramienta “Dissolve” al mapa de peligrosidad si estaban diferenciados.

Los mapas de alcance de la lámina de agua que ocupó la inundación de junio de 2010 y febrero 2012, son también mapas de polígonos en cuya tabla de atributos únicamente aparecen dos campos: SHAPE_Length y SHAPE_Area, representando respectivamente el perímetro en metros y el área en metros cuadrados. En los mapas de alcance de la lámina de agua se representa únicamente la cartografía de las zonas que fueron inundadas durante las inundaciones de junio de 2010 y febrero 2012.

Como en el mapa de alcance de la lámina de agua para la inundación de febrero de 2012 no estaban cartografiados sus pequeños afluentes, se hizo una limpieza del mapa de peligrosidad de estos afluentes para poder validar correctamente el mapa de peligrosidad con la inundación de febrero de 2012.

Con el fin de realizar la validación del mapa de peligrosidad de inundabilidad, se efectúa la superposición del mapa de peligrosidad con el mapa de alcance de la lámina de agua para cada inundación. Para realizar este análisis la herramienta utilizada ha sido “Unión” (Analysis tools-overlay-union). La herramienta “Unión” se basa en la superposición topológica de dos o más conjuntos de datos espaciales de polígonos. Todas las características de ambos conjuntos de datos se mantienen y se extraen en un nuevo conjunto de datos de polígono. Con esta herramienta se genera una nueva capa en cuya tabla de atributos se recoge toda la información preexistente en las capas que se han unido.

Previamente a realizar dicho cálculo se comprobó que todas las capas estuviesen en el mismo sistema de coordenadas o en uno compatible, para que no se produjese distorsión en el momento de utilizar la función “Unión”.

El mapa unión obtenido permite comprobar y cuantificar qué zonas con diferente cartografía de inundabilidad pertenecen o no a la zona inundable y es la base para el análisis y validación del mapa de inundabilidad del que se extraerán los resultados y posteriores conclusiones.

A partir del mapa unión se crean dos nuevas capas, una capa formada solamente por aquellos polígonos que la lámina de agua (figura 13) no cubre y otra capa con aquellos polígonos en los que la lámina de agua tiene mayor extensión que el mapa de peligrosidad (figura 14).

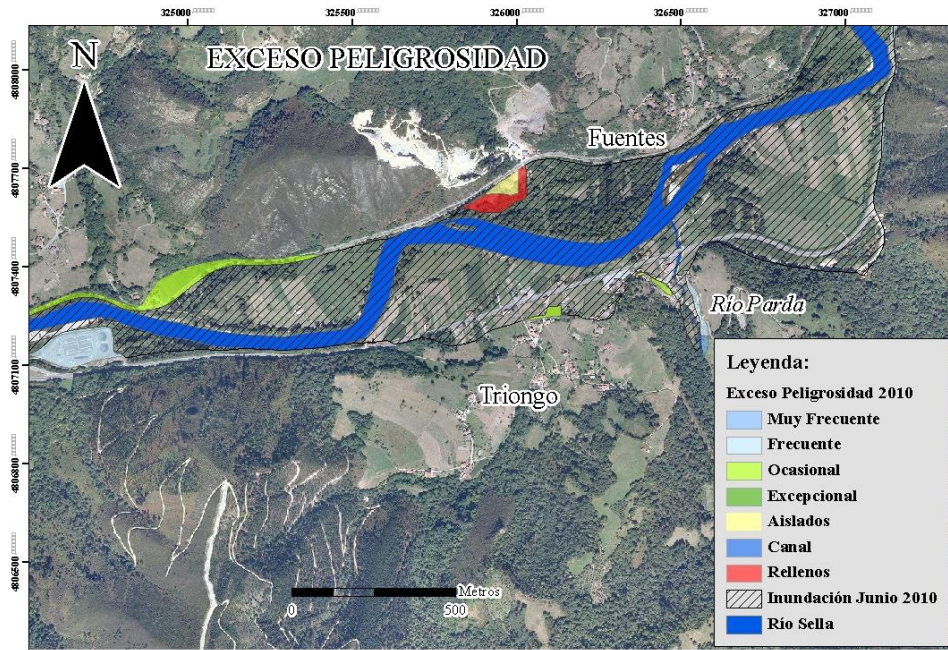


Figura 13. Polígonos que no cubrió la lámina de agua para la inundación de junio de 2010.

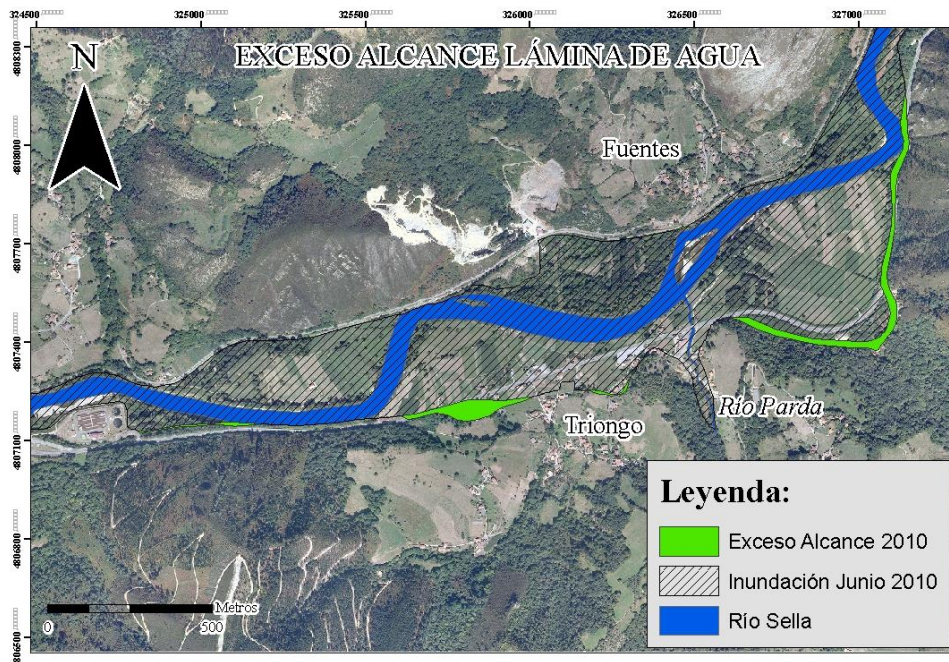


Figura 14. Polígonos de la lámina de agua que exceden el mapa de peligrosidad para la inundación de junio 2010.

Ambas figuras (13 y 14) representan una zona concreta de la cuenca del Sella, situada en las localidades de Fuentes y Triongo (su situación general se puede ver en el mapa de peligrosidad del Anexo II).

Finalmente se hace un tratamiento de los datos, a partir del cual se extraen conclusiones acerca de la bondad o no de la cartografía elaborada (Diez, 2012), prestando especial atención a los polígonos que pueden presentar una asignación errónea en la cartografía de áreas inundables.

Para aquellos polígonos que presentan una asignación errónea se realiza el estudio de forma individual para cada uno de ellos, en el que se hace una comparación entre la ortofoto actual del PNOA, el mapa topográfico escala 1:5000 que se utilizó para la elaboración del mapa de peligrosidad y un modelo digital de elevaciones obtenido del LIDAR (the light detection and ranging). Una vez realizada esta comparación se clasifican los polígonos según el tipo de discrepancia:

Discrepancia cartográfica de peligrosidad.

Discrepancia cartográfica de la lámina de agua.

Discrepancias por modificación topográfica posterior al mapa de peligrosidad.

Discrepancias mixtas.

Discrepancias en afluentes.

Discrepancias debidas a la escala.

Casos no resueltos.

En el caso de estos dos últimos se siguieron además otros procesos. Para las discrepancias debidas a la modificación topográfica posterior al mapa de peligrosidad se realizó la búsqueda a través de Google Earth de imágenes actuales e imágenes pertenecientes al año de la elaboración del mapa de peligrosidad, con el fin de ver cambios en la superficie del terreno debida a la acción del hombre. En lo que se refiere a los casos no resueltos se realizó una visita al campo en la que se pudieron aclarar aquellas dudas y así poder reclasificarlos correctamente.

Esta clasificación de los polígonos según el tipo de discrepancia se basa en la metodología seguida por Chave (2002).

Una vez seguidos todos los pasos anteriormente mencionados, se obtiene el resultado de los datos analizados, a partir del cual se obtendrán las conclusiones sobre la validación del mapa de peligrosidad.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de las inundaciones

Las inundaciones que tuvieron lugar en junio de 2010 y febrero 2012 en Asturias fueron muy importantes, especialmente la de junio de 2010, y han sido utilizadas para validar el mapa de peligrosidad de inundabilidad mencionado anteriormente.

En este capítulo se describen y se aportan datos de estos eventos de inundación, a partir de los informes creados conjuntamente por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y la Confederación Hidrográfica del Cantábrico titulados: “Informe sobre la avenida de los días 5-7 de febrero de 2012 en Asturias y Cantabria” y “Las inundaciones de Junio de 2010 en la Confederación Hidrográfica del Cantábrico”. Ambos informes son inéditos.

Además de los datos recogidos en estos informes, en el contexto de este trabajo se han calculado los periodos de retorno para cada inundación, tanto la de junio de 2010 como la de febrero de 2012.

También se presenta en este capítulo la cartografía del área que fue inundada en junio de 2010 y febrero de 2012, que se utilizaron en el análisis para la validación del mapa de peligrosidad.

En este capítulo se va hablar de algunos conceptos que previamente no han sido explicados, por lo que se va a hacer una pequeña mención a ellos antes de comenzar analizar las inundaciones. Estos conceptos están relacionados con las estaciones de control y por los distintos umbrales de nivel que pasan los ríos durante una inundación, los cuales desencadenan unos criterios de actuación. Estos umbrales de nivel son tres y se establecen en función de la cota de nivel del agua que alcanza un río (PLANINPA, 2010).

Umbral de activación

Es la cota de nivel que define el paso de la situación de normalidad a la situación “seguimiento”.

Umbral de prealerta

Es la cota de “preocupación” que obliga a un seguimiento personalizado de la evolución de los datos.

Umbral de alerta

Define la cota a partir de la que se pueden producir situaciones de alarma, de daño o riesgos.

Cada estación de control tiene su propio umbral de nivel. Dentro de la cuenca del Sella los umbrales de nivel definidos para cada estación son los que se ven en la tabla 11.

Red	Río	Ubicación	Codigo	Area (km ²)	Umbrales (cm)		
					Activación	Prealerta	Alerta
SAICA	Sella	Arriondas	Q101	1177	350	470	650
ROEA-A	Sella	Pervis	A6214-1293	356	-	-	-
ROEA-A	Sella	Cangas de Onís	A602-1295	486	260	320	390
ROEA-A	Ponga	Sobrefoz	A603-1296		120	150	180
ROEA-A	Piloña	Villamayor	A073-1303	379	240	310	420
ROEA-A	Piloña	Ozanes	A604-1302	486	150	200	240

Tabla 11. Los diferentes umbrales de nivel para cada estación de control de la Cuenca hidrográfica del Sella (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

Además también hay un informe de seguimiento de las precipitaciones generado por AEMet (Agencia Estatal de Meteorología). Este informe muestra el pronóstico de precipitación media para una cuenca de drenaje generado por el modelo atmosférico HIRLAM-AEMet. Este modelo atmosférico se activa cuando la precipitación acumulada media en una cuenca hidrográfica supera los 30 mm en 24 horas. Una vez que se produce la activación del umbral de alerta se agrega un informe adicional en el que se muestre el periodo de 24 horas con mayor precipitación acumulada. La actualización de los pronósticos es cada seis horas (06, 12, 18 y 24 horas), estos datos los recibe la CECU con un desfase aproximadamente de tres horas y media.

A continuación se comienza a describir las inundaciones de junio 2010 y febrero 2012.

5.1.1. Inundación junio 2010

Las avenidas que se produjeron en Asturias durante el periodo comprendido entre el 10 y 16 de junio de 2010 se caracterizaron por tener un rápido tiempo de respuesta frente a las precipitaciones, transportar una elevada proporción de carga sólida (sedimentos, restos vegetales y otros materiales flotantes) y poseer gran fuerza de corriente. Todas estas características incrementaron la capacidad de erosión de la avenida y, en general, todos los efectos de las inundaciones.

Estas inundaciones afectaron a un total de 120 km² en Asturias, dañando terrenos agropecuarios, zonas industriales, poblaciones y vías de comunicación. Como consecuencia de estas inundaciones se produjeron grandes pérdidas económicas en Asturias, hasta 86,9 millones de euros según el Consorcio de Seguros.

5.1.1.1. Precipitaciones

Hubo dos episodios principales de precipitación causantes de las inundaciones. El primer episodio afectó principalmente a la zona occidental y la costa central del Principado de Asturias entre el 9 y 11 de junio. El segundo episodio se concentró

en los días 15 y 16 de junio, afectando principalmente a la zona central y al este de Asturias. Ambos episodios se superpusieron y se registraron los máximos históricos de precipitaciones acumuladas (200-300 mm en siete días) en Asturias.

En las cuencas Cantábricas la distribución de la precipitación es irregular debido al fuerte gradiente altitudinal, por tanto, las estaciones pluviométricas situadas a cotas bajas registraron valores menores a los de la zona de cabecera de la cuenca.

En la figura 15 se observan las precipitaciones acumuladas en Asturias durante el periodo de avenida de junio de 2010 registradas a partir de los pluviómetros de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico (círculos morados) y los pluviómetros de AEMet (círculos menores verdes).

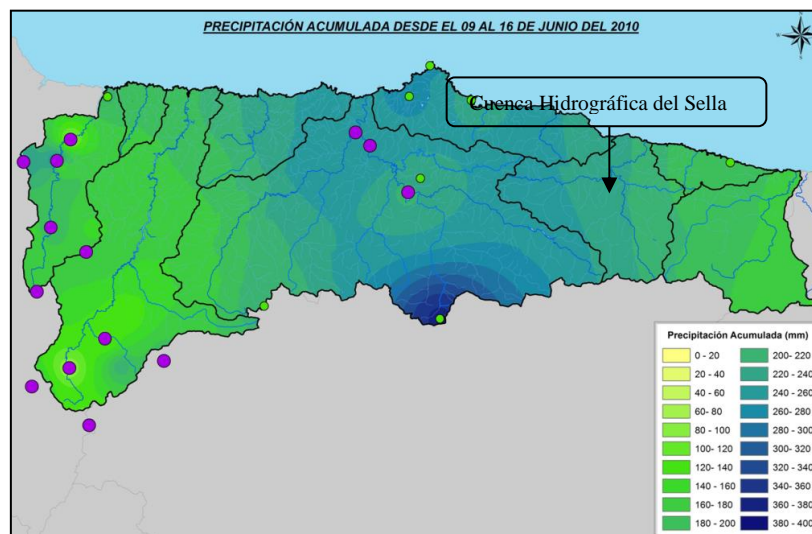


Figura 15. Precipitación acumulada en Asturias (tomado de Ornia, 2010).

En la tabla 12 se muestra el pronóstico de precipitación media para la cuenca hidrográfica del Sella, que había sido elaborada para los días comprendidos entre el 9 y 12 de junio de 2010 a partir de las previsiones generadas por el modelo atmosférico HIRLAM-AEMet para la Cuenca del Sella.

SELLA			09/06/2010				10/06/2010				11/06/2010				12/06/2010				Precipitación acumulada en las 24h	
			6H	12H	18H	24H	6H	12H	18H	24H	6H	12H	18H	24H	6H	12H	18H	24H		
PRONOSTICO	8/06/2010	18h			10	20	23	4	8	5	9	11	2					57	57	
	9/06/2010	0h			10	24	40	12	11	6	4	7	4	14				86	87	
	9/06/2010	6h			11	11	19	10	11	10	14	10	5	1	1			51	51	
	9/06/2010	12h			7	24	59	32	15	4	2	5	5	9	11	3		122	131	

- (*) Si la precipitación acumulada en 24 es ≥ 30 mm
- Intervalo más próximo al instante de pronóstico
- Intervalo más desfavorable

Tabla 12. Pronóstico del seguimiento de las precipitaciones HIRLAM-AEMet (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

Como se dijo al principio del capítulo, este modelo atmosférico se activa cuando la precipitación acumulada media en una cuenca hidrográfica supera los 30 mm en 24 horas (recuadro coloreado en naranja, igual al intervalo más próximo al instante de pronóstico). Como se observa en la tabla 12, se pronosticó para el 8 de junio de 2010 a las 18 horas una precipitación acumulada media de 57 mm en 24 horas y para el 9 de junio el pronóstico fue del doble con 122 mm, tan solo 18 horas después. Una vez que se produce la activación del umbral de alerta se agrega un informe adicional en el que se muestra el periodo de 24 horas con mayor precipitación acumulada (recuadro con borde naranja, igual al intervalo más desfavorable). En este caso los milímetros de agua acumulada son muy parecidos a los del umbral de activación.

5.1.1.2. Periodo de retorno

La metodología seguida para el cálculo del periodo de retorno se explicó previamente en el capítulo denominado “*Metodología de trabajo*”. Como se dijo en ese capítulo, el primer paso es recoger los datos de altura de la lámina de agua y del caudal para calcular la curva de gasto de la estación de control de interés. En este caso, la estación de interés para la zona de estudio es la que está ubicada en Arriondas (SAICA Q101) y la curva de gastos es la que se muestra en la figura 16. En ella se representa la altura en metros de la lámina de agua en ordenadas y los caudales en m^3/s en abscisas.

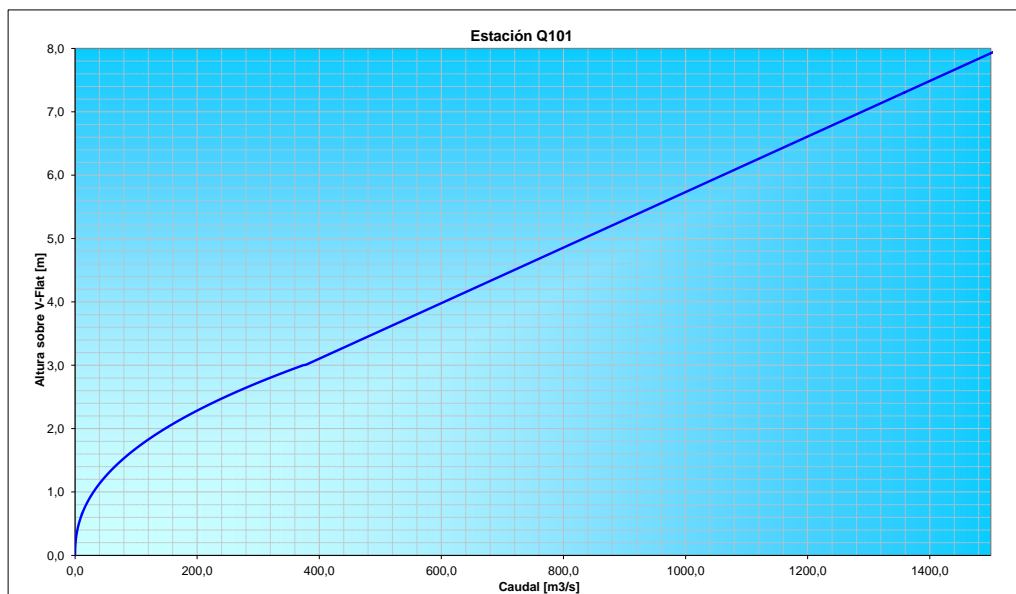


Figura 16. Curva de gastos de la estación SAICA Q101 de Arriondas (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

Los días de la inundación la estación SAICA Q101 de Arriondas registró todos los datos referentes a dicha inundación hasta las 8:15 de la mañana del día 16 de junio. A partir de ese momento la estación se inunda, debido a la magnitud de la avenida,

y queda inoperativa. El último dato sobre la altura del nivel de agua que se registra a la hora citada es de 6,4 metros, pasando el umbral de prealerta y estando a solo 0,10 metros de alcanzar el umbral de alerta (figura 17).

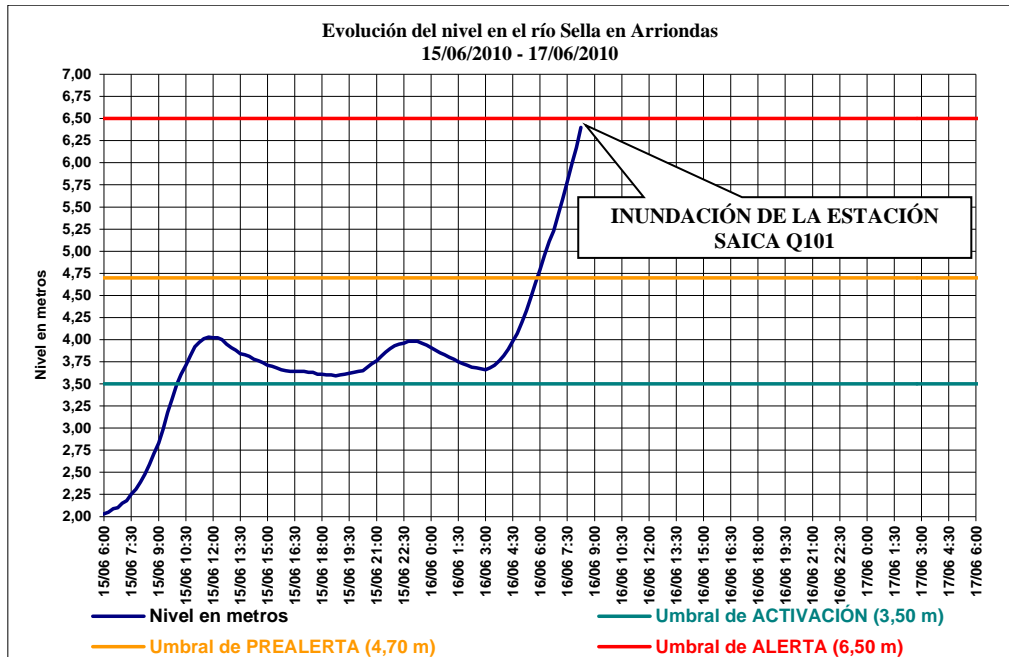


Figura 17. Evolución del nivel en el río Sella durante la inundación de junio de 2010 obtenido de la estación SAICA Q101 en Arriondas (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

También se puede apreciar en la figura 17 como el umbral de activación ya había sido rebasado a las 10:00 de la mañana del día 15 y esta situación perduró a lo largo del día experimentando altibajos, pero nunca por encima de los 4,10 m. A partir de las 6:00 de la mañana del día 16 el tiempo de respuesta de la avenida fue muy corto y el nivel del agua se incrementa muy rápidamente, pasando de 3,75 m a más de 6,25 m en poco más de dos horas. En este momento la inundación de la estación interrumpe el registro de niveles.

Como se observan en la tabla 13, el umbral de prealerta (4,70 m) se alcanzó a las seis de la mañana y el de alerta (6,50 m) solo dos horas más tarde.

Fecha	Nivel en metros	Umbral de ACTIVACION (3,50 m)	Umbral de PREALERTA (4,70 m)	Umbral de ALERTA (6,50 m)
16/06/2010 3:00	3,66	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 3:15	3,68	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 3:30	3,71	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 3:45	3,76	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 4:00	3,82	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 4:15	3,89	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 4:30	3,98	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 4:45	4,07	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 5:00	4,2	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 5:15	4,33	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 5:30	4,48	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 5:45	4,64	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 6:00	4,79	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 6:15	4,95	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 6:30	5,11	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 6:45	5,23	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 7:00	5,41	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 7:15	5,59	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 7:30	5,78	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 7:45	5,99	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 8:00	6,17	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 8:15	6,4	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 8:30	6,68	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 8:45	6,98	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 9:00	7,3	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 9:15	7,63	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 9:30	7,98	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 9:45	8,35	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 10:00	8,74	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 10:15	9,15	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 10:30	9,58	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 10:45	10,03	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 11:00	10,5	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 11:15	11,0	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 11:30	11,5	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 11:45	12,0	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 12:00	12,5	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 12:15	13,0	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 12:30	13,5	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 12:45	14,0	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 13:00	14,5	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 13:15	15,0	3,50	4,70	6,50
16/06/2010 13:30	15,5	3,50	4,70	6,50

Tabla 13. Últimos datos que recogió la estación Q101 en Arriondas antes de inundarse (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

Debido a la falta de datos por el fallo producido en la estación durante la inundación, no se puede conocer con exactitud la altura de la lámina de agua ni calcular unos valores de caudal y periodo de retorno precisos. En su defecto se utilizará la estimación realizada por Ornia (2010), que da un caudal estimado aproximado de $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ entre las once y las doce de la mañana (figura 18).

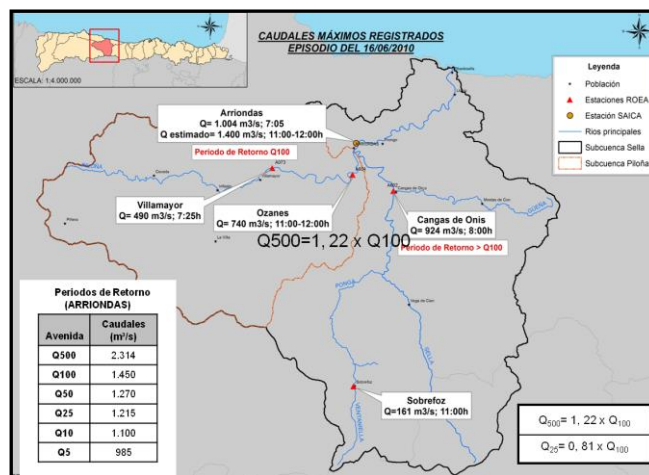


Figura 18. Caudales máximos registrados en la cuenca hidrográfica del Sella (tomada de Ornia, 2010).

La relación entre el caudal y el periodo de retorno para la estación Q101 de Arriondas, tomado de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, se muestra en la tabla 14. Para un caudal estimado de aproximadamente $1400 \text{ m}^3/\text{s}$, se obtiene un periodo de retorno de 100 años (Q100).

Periodo de retorno	Caudal (m ³ /s)
QT 2	406
QT 5	632
QT 10	800
QT 25	1046
QT 50	1241
QT 100	1455
QT 500	2030

Tabla 14. Relación caudal-periodo de retorno para la estación Q101 de Arriondas (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

La estación de aforo ubicada en Cangas de Onís registró un caudal de 924 m³/s. Con este caudal, para el curso bajo y medio del río Sella se estimó un periodo de retorno mayor de 100 años (Q100).

Para otros cauces de la cuenca hidrográfica del Sella, como en el tramo final del río Piloña, entre Infiesto y Arriondas, el periodo de retorno estimado está entre 50 y 100 años.

5.1.1.3. Inundación en la Cuenca del Sella

La cuenca hidrográfica del Sella fue una de las cuencas asturianas más afectadas por las inundaciones de junio de 2010, dejando a su paso daños materiales muy importantes, como los que se produjeron en el Hospital del Oriente y en varios centros educativos de la localidad parraguesa de Arriondas, cuyo casco urbano quedó anegado en su mayoría. Esta inundación se vio incrementada por la confluencia entre los ríos, Piloña y Sella, lo que provocó un remanso de agua y un aumento adicional en el nivel del río Sella aguas abajo de la confluencia, lo que llevó a obstaculizar el desagüe del río Chico y provocar un segundo remanso de agua.

En el tramo objeto de este estudio, aguas abajo de Arriondas, la llanura aluvial quedó inundada en su totalidad afectando a las poblaciones ribereñas como Triongo, Fries, Santianes, Llovio, etc.

El río Piloña inundó diversas vegas, afectando incluso a las poblaciones de Sevares y Villamayor, aunque los principales daños se localizan en la confluencia de este con el río Sella en Arriondas.

El río Güeña también se desbordó aguas abajo de la localidad de Benia de Onís. Además se vio dificultado su desagüe por la crecida del río Sella, provocando la inundación del casco urbano de Cangas de Onís.

En la figura 19 se muestra el comportamiento físico químico del río Sella durante el mes de junio de 2010 y hasta el día 16 de junio de 2010, fecha en la que la inundación inutilizó la estación SAICA Q101 de Arriondas. El contenido en amonio es nulo a lo largo de todo el mes, mientras que el oxígeno continua un patrón en ciclos que varían entre 9, 10 y 11 (mg/l)y, hasta iniciarse el periodo de avenida en el cual se mantiene en un rango de 10(mg/l)y. La conductividad disminuye en el momento que comienzan la crecida, a diferencia de la turbidez que aumenta de forma muy elevada su contenido. En cuanto al pH se refiere, varía entre 7,8 y 8,8 a comienzos de junio mientras que se fija por debajo de 8 al inicio de la avenida y durante ella. Otro parámetro que disminuye a lo largo de este evento es la temperatura.

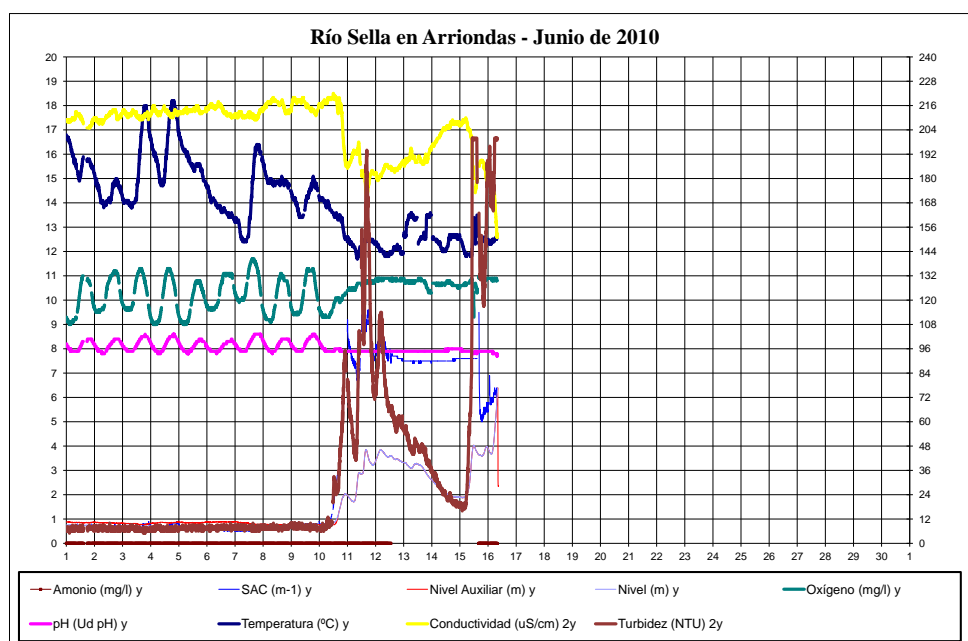


Figura 19. Características físico-químicas del río Sella en Arriondas (Q101) (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

En la figura 20 se muestra la lámina de inundación producida en la zona de estudio, a la cual se le asigna un periodo de retorno de 100 años. Además se muestra la cartografía del área que fue inundada por el río Sella desde Arriondas hasta su desembocadura. Esta cartografía fue realizada conjuntamente por técnicos del INDUROT y TRAGSA. Se basa en observaciones directas de campo coincidentes con la inundación e inmediatamente posteriores al evento, además de fotos aportadas por protección civil y periódicos. Estas observaciones directas permiten reconocer las zonas afectadas por la lámina de agua a partir de depósitos de restos vegetales ligeros, depósitos de arenas, gravas y cantos, hierba tumbada, erosiones, etc. Con este trabajo de campo se obtuvo información de calados, características de los depósitos de desbordamiento y la superficie mínima

inundada, ya que determinadas evidencias pueden desaparecer pasadas pocas horas. Toda la información extraída del trabajo realizado, tanto en campo como con las fotografías aportadas, fue almacenado en Arcmap y comparado con la capa de peligrosidad disponible para la zona (Fernández et al., 2010).

La superficie inundada que se refleja en el mapa de la figura 6 es de 7,3 km², lo que representa el 97% de la superficie de las llanuras aluviales cartografiadas en el tramo.

La capa del Gis de esta cartografía fue una de las utilizadas para validar el mapa de inundabilidad.

En las fotografías de las imágenes 1 y 2 se muestra el alcance y los efectos que produjo la inundación en el curso bajo del río Sella.



Imagen 1. En ambas fotos se observa el alcance de la inundación en la localidad de Llovio (tomado de INDUROT).



Imagenes 2. Alcance de la lámina de agua producida por la avenida en las inmediaciones de Arriondas (tomada de Bomberos de Asturias).



Figura 20. Alcance de la mancha de inundación en la subcuenca del Bajo Sella durante el 10-16 de Junio 2010 (tomado de TRAGSA, 2011).

5.1.2. Inundación febrero 2012

Entre el 5 y 7 de febrero de 2012 tiene lugar una nueva inundación en Asturias ocasionada por la combinación de la fusión del manto nival, depositado previamente y por precipitaciones intensas.

5.1.2.1. Precipitaciones

Una masa de aire polar favorece el descenso de las temperaturas en la Cornisa Cantábrica los días previos a las inundaciones, generando un manto de nieve a cotas altas es decir, en la cabecera de las cuencas hidrográficas. El día 5 de febrero se produce una subida de temperaturas acompañada de lluvias, esto facilita la usión del manto nival depositado previamente y como consecuencia se genera elevada escorrentía. El evento continúa con lluvias a lo largo de tres días, siendo estas especialmente intensas en la cabecera del río Sella.

Según la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, las precipitaciones acumuladas desde la mañana del día 5 de febrero hasta la tarde del 7 en el pluviómetro del río Sella en Ribota fueron de 250 mm (gráfico 2).

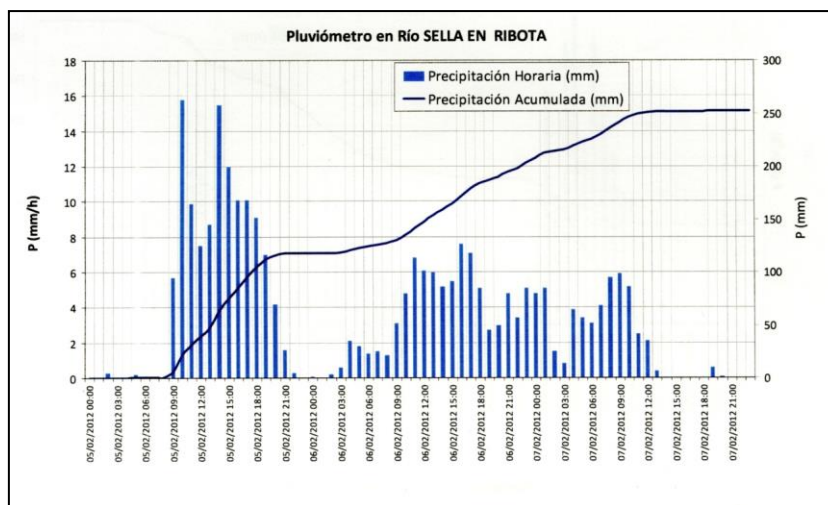


Gráfico 2. Datos de precipitación del Rio Sella para el periodo del 2 al 7 de febrero de 2012 (tomado de TRAGSA, 2012).

Los datos reflejan dos episodios de precipitación. El primero comienza aproximadamente a las 9:00 de la mañana y finaliza a las 21:00 del día 5, el cual está caracterizado por un episodio de lluvias muy intenso (125 mm en doce horas). El segundo episodio tiene lugar entre las 9:00 de la mañana del día 6 y las 12:00 horas del día 7 de febrero, en este caso las precipitaciones no son tan intensas si no que se acumulan de forma paulatina (125 mm en veintisiete horas).

A continuación se muestra en la tabla 15 el pronóstico de precipitación media para la cuenca hidrográfica del Sella a partir de las previsiones generadas por el modelo atmosférico HIRLAM-AEMet.

SELLA		03/02/2012				04/04/2012				05/02/2012				06/02/2012				Precipitación máxima en 24h (*)	
		6H	12H	18H	24H	6H	12H	18H	24H	6H	12H	18H	24H	6H	12H	18H	24H		
PRONOSTICO	2/02/2012 12h			0	0	0	1	4	3	9	21							37	37
	2/02/2012 18h			0	0	0	2	3	6	12	15	20						36	53
	3/02/2012 0h			0	1	0	1	2	1	2	4	8	4					18	
	3/02/2012 6h			0	0	0	3	4	2	2	16	20	14	7				40	57

- (*) Si la precipitación acumulada en 24 es ≥ 30 mm
- Intervalo más próximo al instante de pronóstico
- Intervalo más desfavorable

Tabla 15. Pronóstico del seguimiento de las precipitaciones HIRLAM-AEMet (tomado de TRAGSA, 2012).

Este modelo atmosférico se activa cuando la precipitación acumulada media en una cuenca hidrográfica supera los 30 mm en 24 horas (recuadro coloreado en naranja, igual al intervalo más próximo al instante de pronóstico). Como se observa en la tabla 15, se pronosticó para el 2 de febrero de 2012 a las 12 horas una precipitación acumulada media de 37 mm en 24 horas, que continuo 6 horas más tarde del mismo día en 36 mm. Durante las 0 horas del día 3 de febrero no se activa el umbral, pero 6 horas más tarde se vuelve activar con 40 mm en 24 horas. Una vez que se produce la activación del umbral de alerta, se agrega un informe adicional en el que se muestra el periodo de 24 horas con mayor precipitación acumulada (recuadro con borde naranja, igual al intervalo más desfavorable). En este caso para las 12 horas del día 2 de febrero la cantidad de milímetros de precipitación fue igual, a diferencia de las otras dos activaciones del umbral en la que la precipitación más desfavorable en 24 horas es mucho mayor que la del umbral de activación.

5.1.2.2. Hidrología

Para este evento de avenida se dispuso de los datos de cuatro estaciones de aforo localizadas en diferentes zonas del río Sella. Estos datos reflejan los valores de altura de la lámina de agua y caudal para el periodo comprendido entre el 4 y 10 de febrero (figura 21).

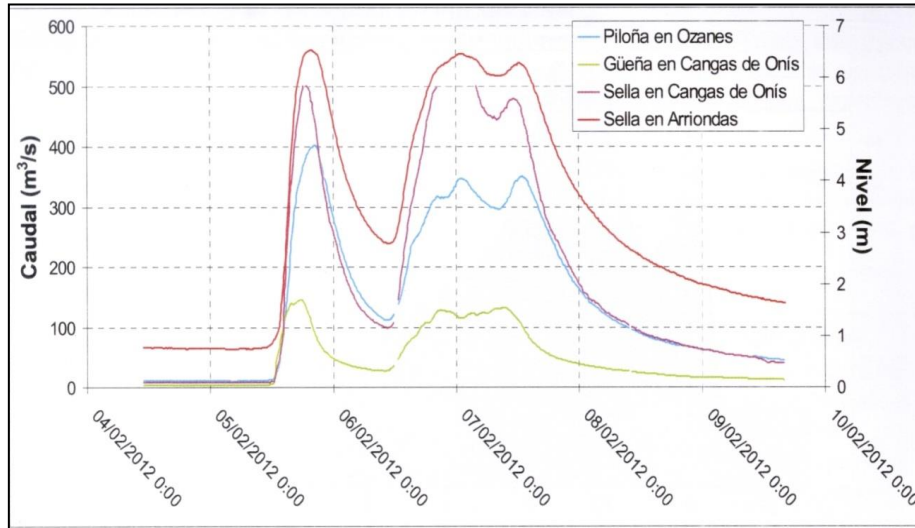


Figura 21. Hidrograma de avenidas en los principales cauces de la cuenca del río Sella. (tomada de TRAGSA, 2012).

El hidrograma muestra un comportamiento similar a lo largo de toda la cuenca hidrográfica del Sella con dos máximos de caudal, el primero en la tarde-noche del día 5 y otro de mayor duración entre las últimas horas del día 6 hasta las del día 7.

La tabla 16 muestra la previsión hidrológica para cada estación de control de la cuenca del Sella y la activación de los umbrales de nivel de la cota de agua en dichos puntos.

Red	Río	Ubicación	Codigo	03/02/2012				04/04/2012				05/02/2012				06/02/2012			
				6H	12H	18H	24H	6H	12H	18H	24H	6H	12H	18H	24H	6H	12H	18H	24H
SAICA	Sella	Arriendas	Q101																
ROEA-A	Sella	Pervis	A6214-1293																
ROEA-A	Sella	Cangas de Onís	A602-1295																
ROEA-A	Ponga	Sobrefoz	A603-1296																
ROEA-A	Piloña	Villamayor	A073-1303																
ROEA-A	Piloña	Ozanes	A604-1302																

Vigilancia

Prealerta

Alerta

Normalidad

Pronostico no disponible

Tabla 16. Previsión umbrales de nivel dentro de la cuenca hidrográfica del Sella (tomado de TRAGSA, 2012).

Durante la inundación de febrero de 2012 el nivel del río Sella en Arriendas alcanzó de forma puntual el umbral de “alerta”. Como se observa en el hidrograma de la figura 22 y durante el 7 de febrero hay dos picos que pasan el umbral de prealerta y rozan el umbral de alerta. A partir del día 8 el nivel del río descende.

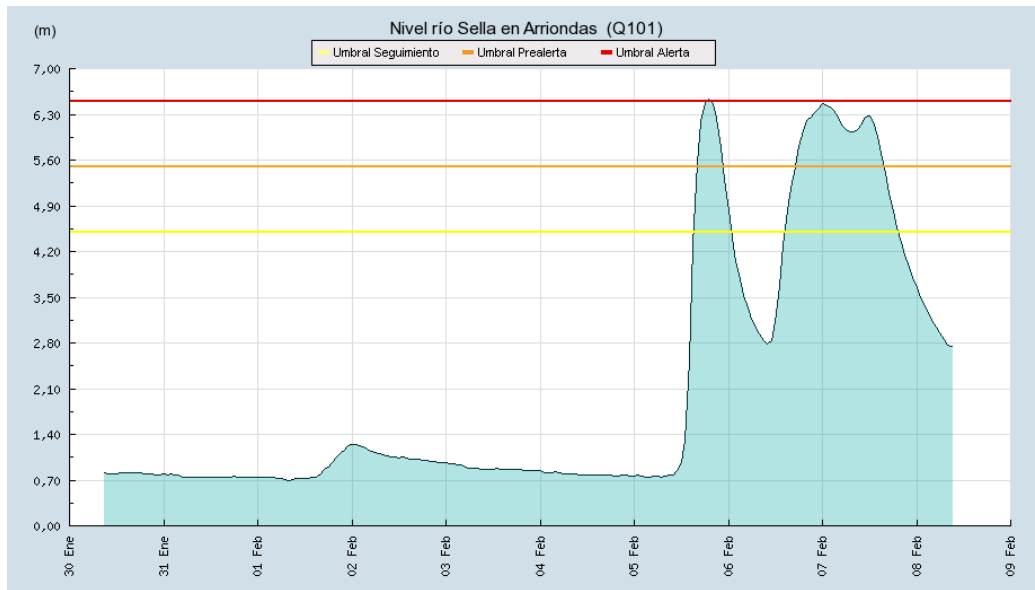


Figura 22. Nivel del río Sella en Arriondas (tomado de TRAGSA, 2012).

5.1.2.3. Periodo de retorno

La metodología seguida para el cálculo del periodo de retorno se explicó previamente en el capítulo denominado “*Metodología de trabajo*”. Primeramente, se necesita calcular la curva de gastos que, como se dijo anteriormente, requiere de datos como el caudal (m^3/s) y la altura (m) del nivel de agua alcanzado por el río. Para ello se basan en los datos almacenados en las estaciones de control repartidas por la cuenca hidrográfica. Destacar para la zona de estudio la estación ubicada en Arriondas. La curva de gastos para la estación SAICA Q101 de Arriondas es la representada en la figura 2.

La altura máxima de la lámina de agua, para la avenida en el río Sella del día 5 de febrero de 2012 fue de 6,54 m. Conocida esta altura de la lámina de agua se traslada a la curva de gastos y se estima un caudal de $1150 m^3/s$, al cual, de acuerdo con los datos de la tabla 17, le corresponde un periodo de retorno mayor de 25 años (figura 23).

Periodo de retorno	Caudal (m^3/s)
QT 2	406
QT 5	632
QT 10	800
QT 25	1046
QT 50	1241
QT 100	1455
QT 500	2030

Tabla 17. Relación periodo de retorno-caudal para la estación Q101 de Arriondas (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

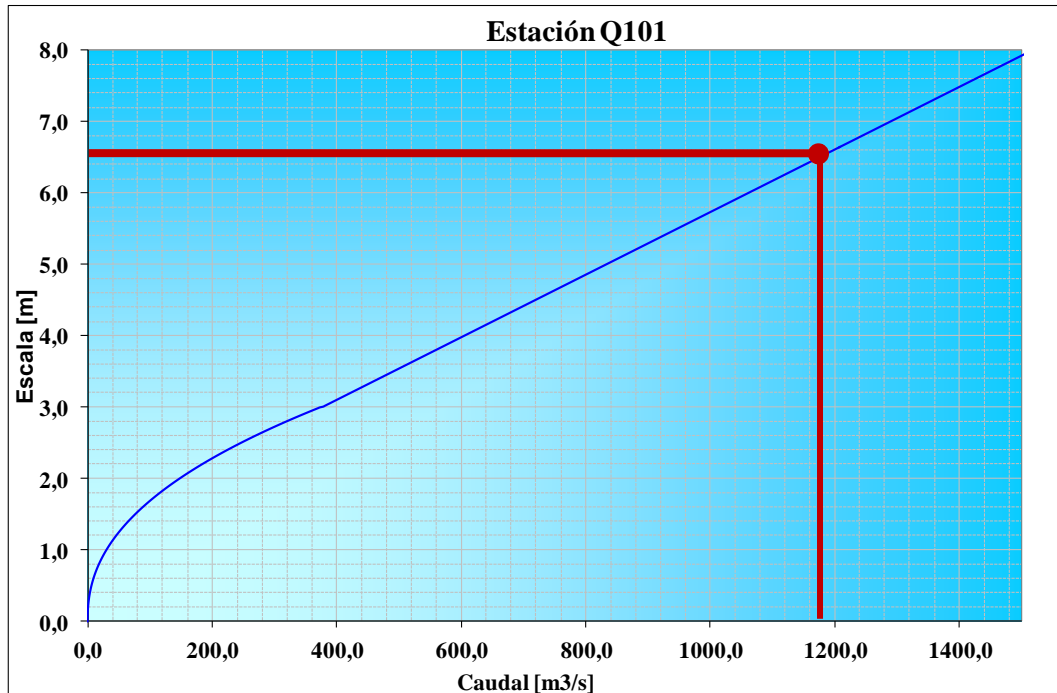


Figura 23. Detalle de los datos de la inundación de febrero de 2012 en la curva de gastos de la estación SAICA Q101 de Arriendas y en la tabla de relación caudal-periodo de retorno (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

Siguiendo la misma metodología y utilizando la información de la estación A602-1295 de Cangas de Onís, donde la altura máxima del nivel fue de 6,01 m, se ha estimado un periodo de retorno de entre 10 y 25 años, en el tramo ubicado entre Cangas de Onís y Arriendas (figura 24). La curva de gastos y la relación caudal - periodo de retorno para la estación utilizada se dan en la figura 24.

Periodo de retorno	Caudal (m ³ /s)
QT 2	257
QT 5	398
QT 10	505
QT 25	658
QT 50	783
QT 100	917
QT 500	1275

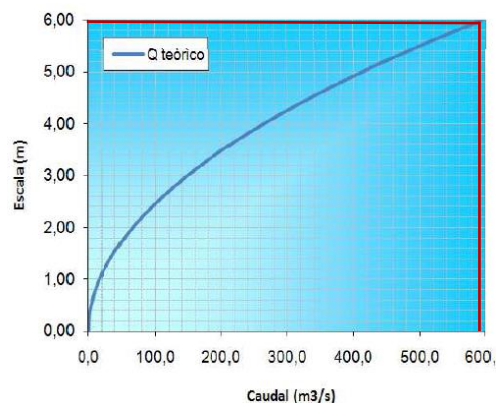


Figura 24. Relación caudal-periodo de retorno para la estación A602-1295 de Cangas de Onís y la curva de gastos para dicha estación (tomado de Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2011).

La lámina de agua que dejó la inundación de febrero de 2012, con un periodo de retorno estimado mayor de 25 años, para la zona de estudio se puede observar en la figura 25.

La cartografía de alcance de la lámina de agua para la inundación de febrero de 2012 se realizó conjuntamente por técnicos del INDUROT y TRAGSA. La metodología fue la misma que la seguida para el mapa de alcance de la lámina de agua de la inundación de junio de 2010. La única diferencia reside en que el trabajo de campo fue inmediatamente en los días posteriores a la inundación.

La superficie inundada que se refleja en el mapa es de 5,6 km², lo que representa el 78% de la superficie de las llanuras aluviales cartografiadas en el tramo.

La capa del Gis de esta cartografía fue una de las utilizadas para validar el mapa de inundabilidad.

Algunas fotos que muestran el alcance de la lámina de agua durante la inundación de febrero de 2012 se muestran en las imágenes 3 y 4.



Imagen 3. Inundación en Santianes (tomado de INDUROT).



Imagen 4. Alcance del agua en Arriondas (tomado de INDUROT).



Figura 25. Alcance de la lámina de agua que dejó a su paso la inundación producida en la subcuenca del Bajo Sella durante el 5-7 de febrero 2012 (tomado de TRAGSA, 2012).

5.2. Validación del mapa de inundabilidad

En este apartado se van a presentar los datos obtenidos durante el proceso de validación del mapa de inundabilidad del 2004 a partir del alcance de las inundaciones de junio 2010 y febrero 2012. Para ello se siguieron los pasos explicados en el apartado “*Metodología*”. En síntesis, consiste en analizar en detalle cada una de las discrepancias encontradas.

Antes de superponer el mapa de peligrosidad con los de alcance de la lámina de agua para cada inundación, se observó que el área ocupada por la inundación de junio de 2010 es un 19% mayor que el área ocupado por la inundación de febrero de 2012. En el gráfico 3 se observa la relación de las áreas en kilómetros cuadrados entre el mapa de peligrosidad de inundación que se va a validar y los mapas de alcance de la lámina de agua que dejó la inundación en junio de 2010 y febrero de 2012.

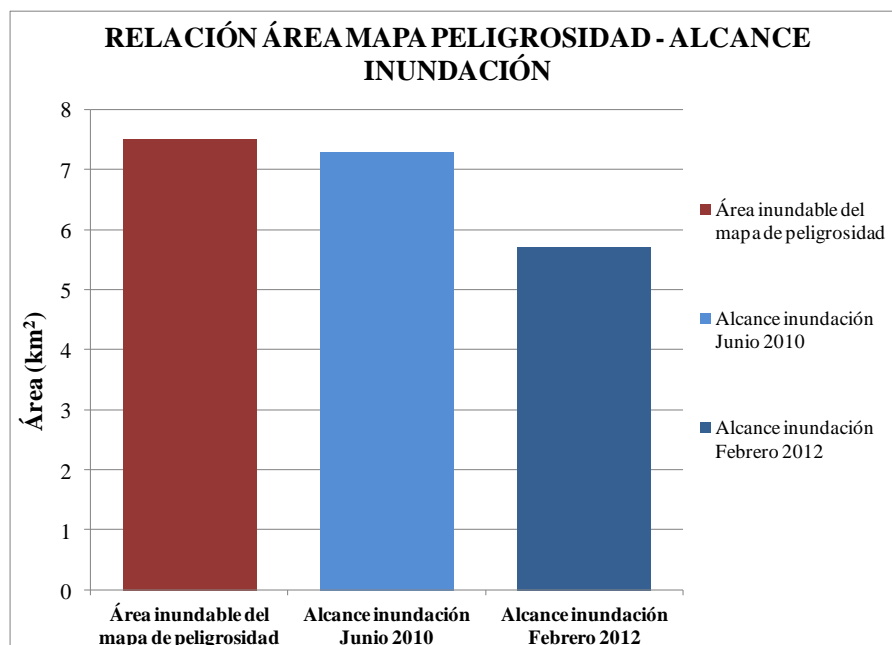


Gráfico 3. Relación entre el área del mapa de peligrosidad con el área del alcance de la lámina de agua para la inundación de junio 2010 y febrero 2012.

En el mapa de peligrosidad que se va a estudiar, la zona inundable tiene un área total cartografiada de 7,5 km², el mapa de alcance de la inundación de junio de 2010 posee un área de 7,3 km² y el mapa de alcance de la inundación de febrero de 2012 tiene un área de 5,6 km². Expresado en tanto por ciento, la inundación de junio de 2010 ocupó un 97% del total del área inundable, mientras que la inundación de febrero de 2012 ocupó un 78%.

Como ya se dijo previamente, el mapa de peligrosidad del área inundable se divide en diferentes categorías como son frecuencia de inundación, río, relleno antrópico y aislados. El gráfico 4 muestra el área que abarcan las zonas con diferente frecuencia de inundación en el mapa de peligrosidad, diferenciando “muy frecuente” para aquellas zonas que tienen

un periodo de retorno de 10 años, “frecuente” aquellas zonas con un periodo de retorno de 50 años. Los terrenos clasificados como “ocasional” tienen un periodo de retorno de 100 años y la categoría de “excepcional” tiene un periodo de retorno de 500 años.

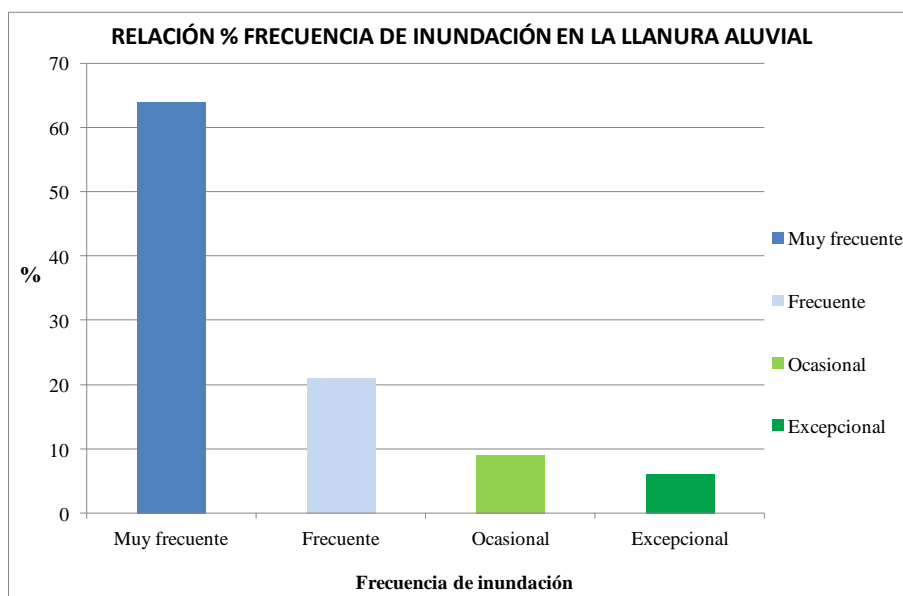


Gráfico 4. Relación en tanto por ciento de las categorías de frecuencia de inundación que hay en la llanura aluvial del mapa de peligrosidad.

Un 64% de la llanura aluvial de la zona de estudio está formada por terrenos con una frecuencia de inundación de “muy frecuente”, el 21% la ocupan los terrenos de la categoría “frecuente”, un 9% de la llanura aluvial está ocupada por terrenos con una frecuencia de inundación “ocasional” y el 6% restante lo forman los terrenos que tienen una frecuencia de inundación “excepcional”.

Después de superponer al mapa de peligrosidad la inundación de junio 2010 y posteriormente la inundación alcanzada en febrero 2012, hubo áreas en las diferentes categorías de frecuencia de inundación que no fueron inundadas. La relación entre el área total del mapa de peligrosidad de inundabilidad y el área que no fue inundada para las distintas categorías de frecuencia de inundación, se detalla en el gráfico 5 para la inundación de junio de 2010 y en el gráfico 6 para la inundación de febrero de 2012.

El gráfico 5 muestra como la categoría de “muy frecuente” tiene un total de 3,63 km² en el mapa de peligrosidad y la inundación de junio de 2010 dejó solo sin ocupar 0,03 km², el área total de la categoría “frecuente” es de 1,25 km² y la inundación no ocupó 0,25 km². Aproximadamente la mitad de la categoría “ocasional” fue ocupada por la inundación de junio de 2010, mientras que la categoría “excepcional” con un área total de 0,36 km² sólo fue ocupada por 0,11 km².

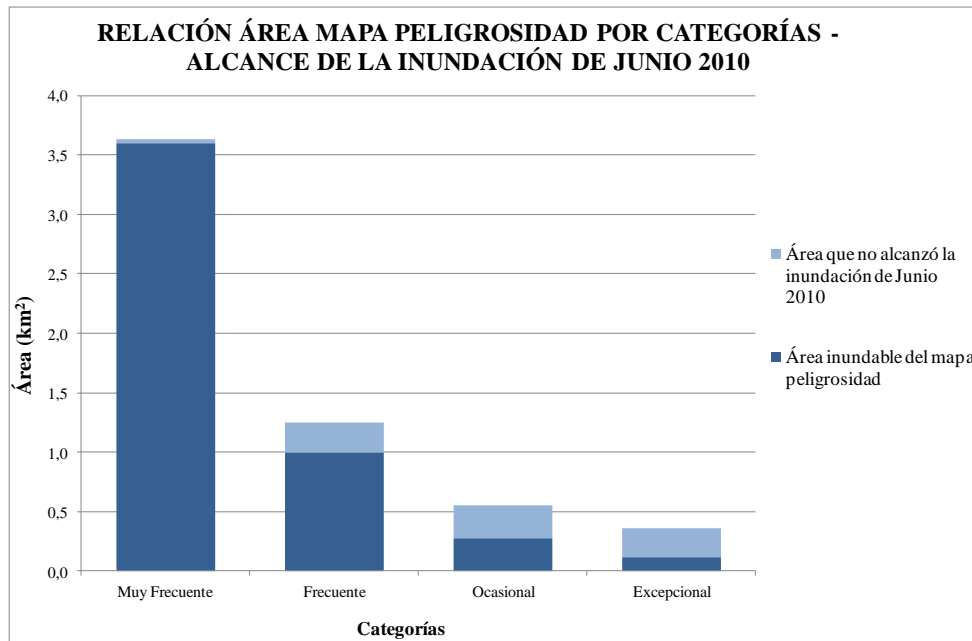


Gráfico 5. Relación del área en kilómetros cuadrados, entre el mapa de peligrosidad y el alcance de la inundación de junio de 2010 por categorías.

El gráfico 6 muestra como la categoría de “muy frecuente” tiene un total de 3,6 km² en el mapa de peligrosidad y la inundación de febrero de 2012 dejó solo sin ocupar 0,20 km². El área total de la categoría “frecuente” es de 1,1 km² y la inundación no ocupó 0,7 km². La categoría “ocasional” fue ocupada por 0,04 km², mientras que la categoría “excepcional” con un área total de 0,36 km² sólo fue ocupada por 0,01 km².

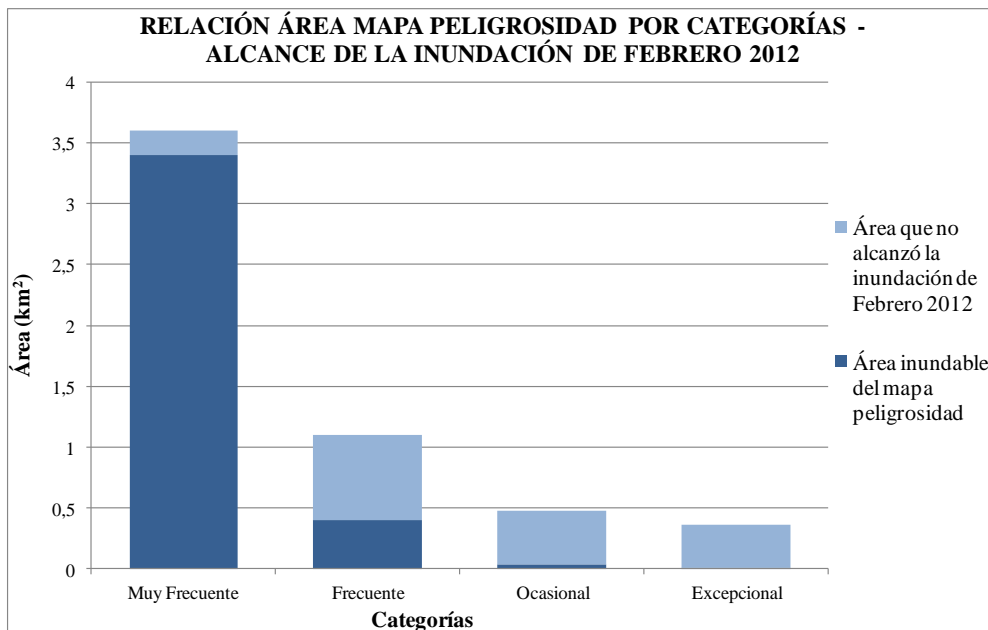


Gráfico 6. Relación del área, en kilómetros cuadrados, entre el mapa de peligrosidad y el alcance de la inundación de febrero de 2012 por categorías.

5.2.1. Clasificación de discrepancias

Según muestran los gráficos 5 y 6 hubo áreas que no se inundaron por las inundaciones de junio de 2010 y febrero de 2012. Como se analizó en el apartado anterior de este mismo capítulo, la inundación de junio de 2010 tiene un periodo de retorno de 100 años aproximadamente, siendo esperable que la categoría de “muy frecuente”, con un periodo de retorno de 10 años y el “frecuente” con un periodo de retorno de 50 años, se hubieran inundado por completo y parte de la categoría de 100 años. El periodo de retorno calculado para la inundación de febrero de 2012 fue aproximadamente de 25 años, lo que quiere decir que la categoría de “muy frecuente” se tendría que haber inundado por completo y parte de la categoría de 50 años.

Aquellas áreas que no se inundaron y deberían haberse inundado según su periodo de retorno, para las categorías mencionadas anteriormente, se analizaron de forma minuciosa para identificar las posibles causas que llevaron a que estas zonas no se inundaran. Para poder clasificar las discrepancias en un tipo u otro se analizó uno a uno cada polígono usando el Gis.

Para cada polígono que presentaba fallo se hizo una comparación entre una ortofoto actual, un modelo digital de elevaciones del 2009 (LIDAR) y la topografía 1:5000 utilizada en la elaboración del mapa de peligrosidad del año 1994-96. Los distintos tipos de discrepancias encontrados durante el análisis se describen a continuación:

Discrepancias cartográficas de peligrosidad

Las discrepancias cartográficas de peligrosidad se interpretan como debidas a un fallo en la elaboración de la cartografía del mapa de peligrosidad.

En la inundación de junio de 2010 de las categorías analizadas hay un total de 8 polígonos que se clasifican con este tipo de discrepancia, los cuales ocupan un área total de 0,18 km² y para la inundación de febrero de 2012 también hay 8 polígonos clasificados con este tipo de discrepancias, pero su área es menor 0,06 km².

La figura 26 muestra un error de peligrosidad debido a una resolución topográfica baja relacionada con las zonas de borde de la zona inundable. Este error podría ser evitable con una topografía o un trabajo de campo más detallado.

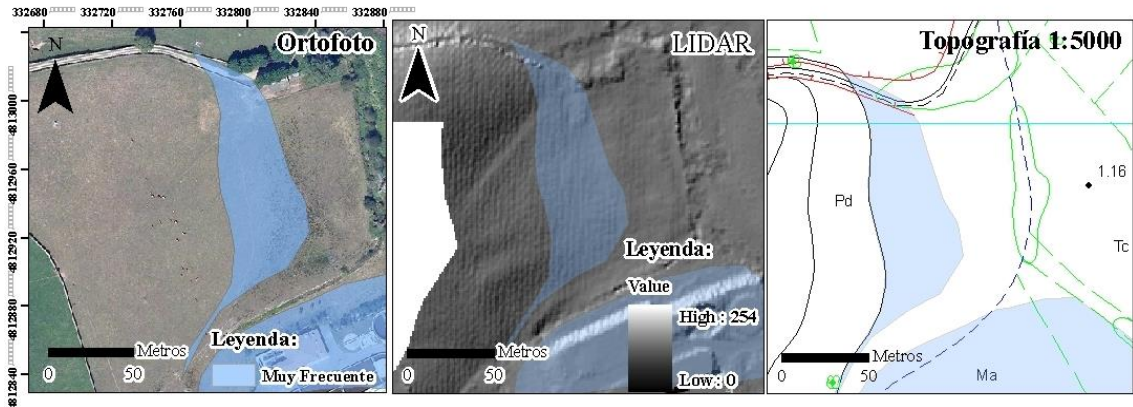


Figura 26. Discrepancia cartográfica de peligrosidad: ortofoto, LIDAR y topografía 1:5000 con los que se realizó la comparación. Hay una zona cartografiada como “muy frecuente” que no ocupó la lámina de agua perteneciente a la inundación de junio de 2010.

En la figura 27 se observa un error de peligrosidad por sobrevaloración de la misma, es decir, aquellas áreas clasificadas con un periodo de retorno superior al real. Esta zona en concreto se ubica en la localidad de Ribadesella.

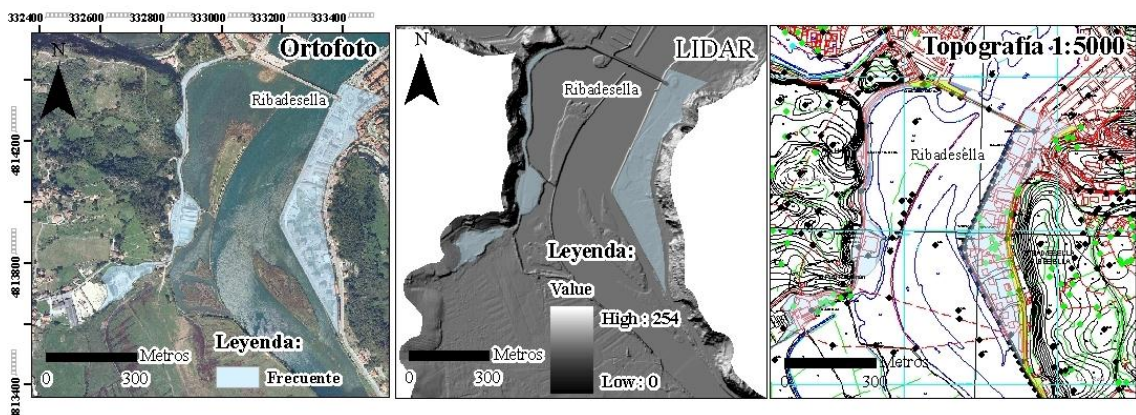


Figura 27. Discrepancias cartográficas de peligrosidad por sobrevaloración: ortofoto, LIDAR y topografía 1:5000. Tanto en la inundación de junio de 2010 como febrero 2012 es un “frecuente” que no llega a ocupar ninguna de las dos inundaciones.

Ribadesella no solamente está afectada por inundaciones fluviales sino también marinas. Según la Confederación Hidrográfica del Cantábrico (2011), los datos históricos en esta zona indican que la inundación de 2010 tuvo una envergadura mayor que la de los años 2003 y 2007. La mancha de inundación de junio de 2010 pudo tener influencia marina, ya que el pico de la avenida fluvial coincidió con la pleamar astronómica, la cual presentaba un valor de 4,03 m. Teniendo en cuenta estos datos, se estima una aparente sobrevaloración de la peligrosidad en esta zona.

La onda mareal en el estuario de Ribadesella alcanza un mínimo 4 km aguas arriba según la delimitación del Dominio Público Marítimo Terrestre. La localidad de Ribadesella está bajo la influencia del efecto de mareas astronómicas y oleajes,

habiendo sido parcialmente inundado por última vez en noviembre de 2010 ante la coincidencia de un temporal de oleaje y una avenida de entidad moderada a baja. No obstante, el presente análisis se centra en la peligrosidad exclusivamente fluvial, motivo por el cual la discrepancia señalada en este punto se ha considerado como sobrevaloración del método.

Se puede decir que hay una sobrevaloración de la peligrosidad en este tipo de discrepancias, siempre del lado de la seguridad.

Discrepancias cartográficas de la lámina de agua

Las discrepancias cartográficas de la lámina de agua son debidas principalmente a que la cartografía de la lámina para una inundación suele representar una superficie mínima obtenida de las evidencias geomorfológicas vistas en el campo; esto hace que algunas zonas cartografiadas como no inundadas posiblemente si se hayan inundado.

En la inundación de junio de 2010, de las categorías analizadas hay un total de 2 polígonos que se clasifican con este tipo de discrepancia, los cuales ocupan un área total muy pequeña de 0,001 km². En la inundación de febrero de 2012 hay 4 polígonos pero su área es de solo 0,03 km².

En la figura 28 se puede ver un polígono afectado por discrepancias cartográficas de la lámina de agua.

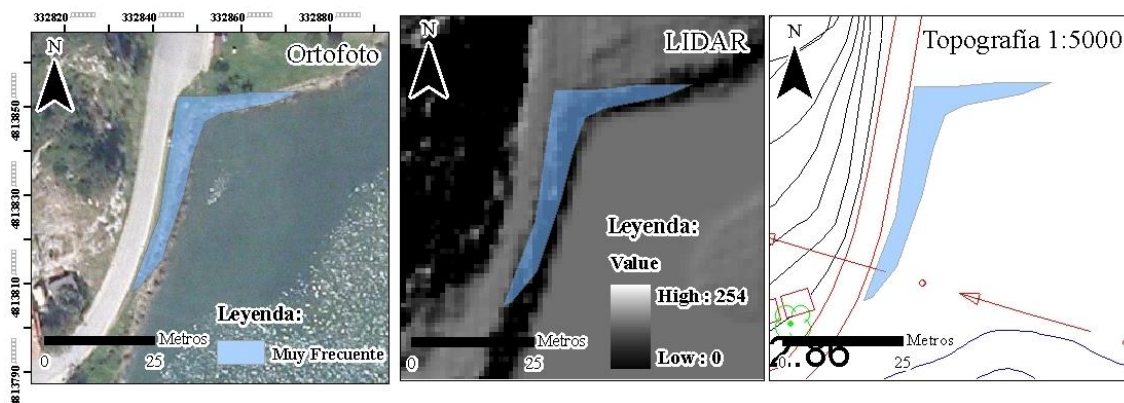


Figura 28. Discrepancia cartográfica de la lámina de agua: ortofoto, LIDAR y topografía 1:5000 con los que se realizó la comparación. Este caso en concreto ocurrió para el análisis de la inundación de junio de 2010.

Discrepancia por modificación topográfica posterior al mapa de peligrosidad

Las discrepancias por modificación topográfica posterior a la elaboración del mapa de peligrosidad son derivadas de construcciones posteriores a la elaboración del mapa de peligrosidad en la zona de estudio. Algunos de los casos encontrados durante el análisis fueron debidos a la construcción de carreteras, depuradoras, paseos y

edificaciones. Lógicamente, este tipo de discrepancias no se consideran un error del mapa de peligrosidad.

En la inundación de junio de 2010, de las categorías analizadas hay un total de 7 polígonos que se clasifican con este tipo de discrepancia, los cuales ocupan un área total de 0,048 km². En la inundación de febrero de 2012 hay 3 polígonos pero su área es de 0,03 km².

La figura 29 muestra una de estas modificaciones topográficas. La construcción de una depuradora a la salida de Arriondas ha reducido la inundabilidad y una zona previamente establecida como “frecuente” no se ve afectada por la inundación de 2010, con un periodo de retorno aproximado de 100 años.

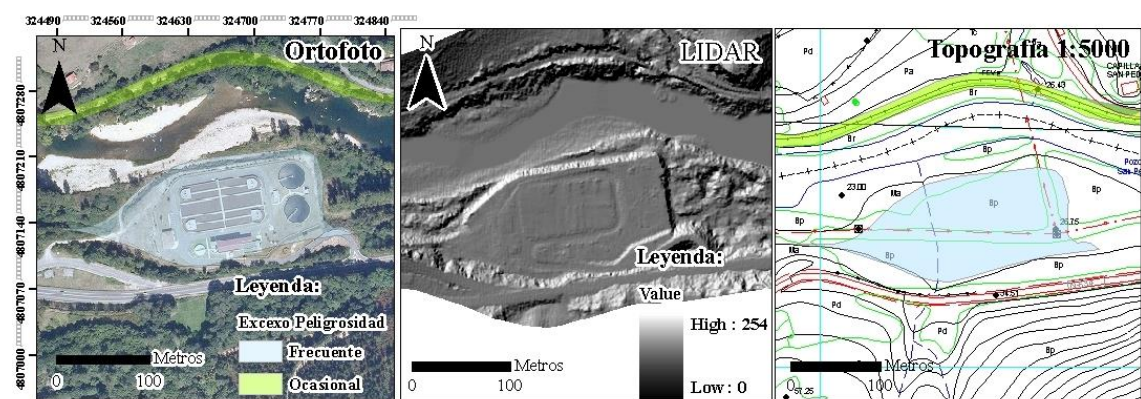


Figura 29. Discrepancia por modificación topográfica del terreno debido a la construcción de una depuradora en Arriondas: ortofoto, LIDAR y topografía 1:5000 con los que se realizó la comparación. El polígono de categoría “frecuente” pertenece al exceso de peligrosidad de la inundación de junio de 2010.

La figura 30 muestra otro caso de modificación del terreno por una construcción posterior a la elaboración del mapa de peligrosidad, también en relación con una depuradora en el concejo de Ribadesella. Un polígono definido con la categoría “muy frecuente” no llega a ser inundado por la inundación de febrero de 2012.

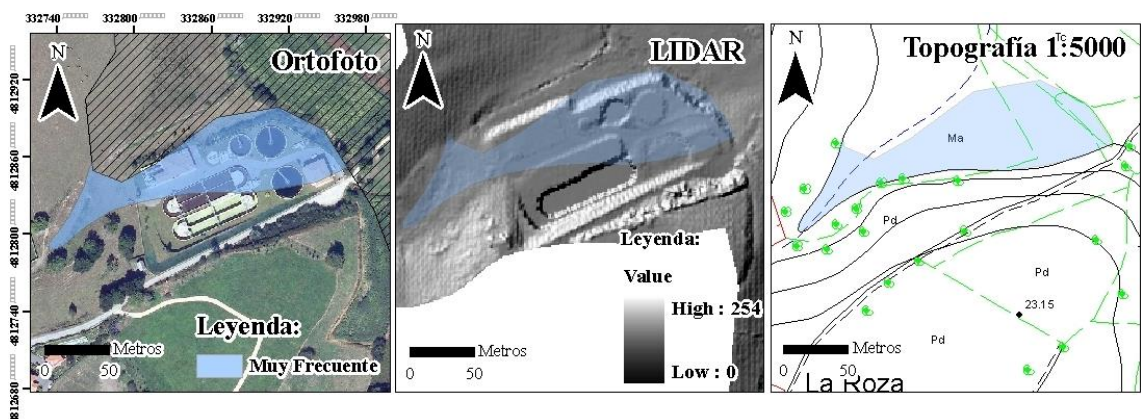


Figura 30. Discrepancias por modificación topográfica debido a la construcción de una depuradora en Ribadesella: ortofoto, LIDAR y topografía 1:5000 con los que se realizó la comparación. El polígono de categoría “muy frecuente” pertenece al exceso de peligrosidad de la inundación de febrero de 2012.

Discrepancias mixtas

Las discrepancias mixtas son aquellas a las que no se les puede asignar una única causa de discrepancia al mismo polígono, sino que es consecuencia de la suma de varias, como son las discrepancias cartográficas de peligrosidad y las discrepancias de la lámina de agua. Estas discrepancias mixtas se han considerado como error cartográfico.

En la inundación de junio de 2010 de las categorías analizadas hay un total de 7 polígonos que se clasifican con este tipo de discrepancia, los cuales ocupan un área total de 0,014 km². En la inundación de febrero de 2012 hay 7 polígonos pero su área es mayor, 0,06 km².

En la figura 31 se observa una discrepancia mixta debido a la suma de un error cartográfico de peligrosidad y un error cartográfico de la lámina de inundación. El error cartográfico de peligrosidad es debido a que, como se puede apreciar en el LIDAR, hay un pequeño escarpe en la zona que no aparece en el mapa topográfico 1:5000 debido a su baja resolución. Con una topografía más precisa el área considerada “muy frecuente” sólo debería llegar hasta el inicio del escarpe. Para la misma zona existe un error cartográfico debido a la lámina de inundación, es debido a que la lámina mínima de inundación no engloba un canal mareal que necesariamente fue afectado por la inundación, al estar topográficamente más bajo que su entorno.

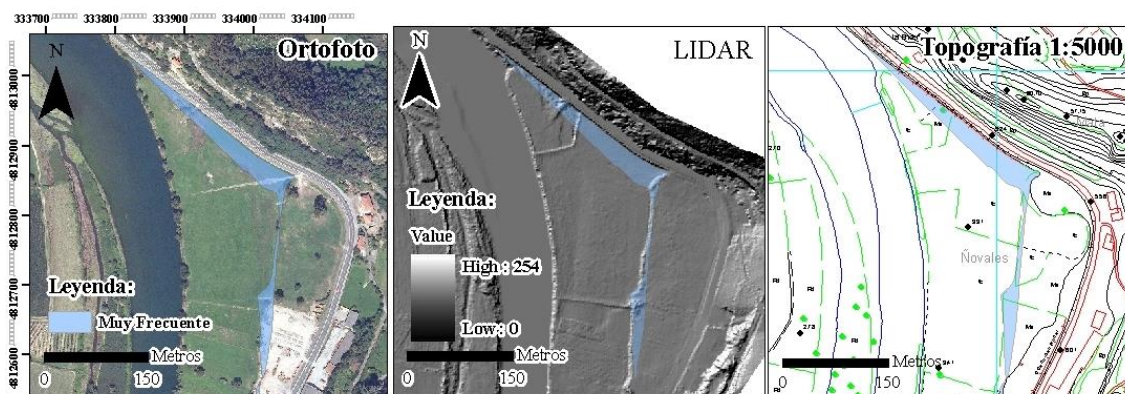


Figura 31. Discrepancia cartográfica mixta (peligrosidad y de lámina de inundación): ortofoto, LIDAR y topografía 1:5000 en los que se realizó la comparación. El polígono pertenece al estudio del mapa de peligrosidad con la inundación de junio de 2010.

Discrepancias en afluentes

El caso de los afluentes no se ha considerado como error cartográfico de peligrosidad. El cálculo del periodo de retorno se obtiene a partir de las estaciones de aforo, como se indicó previamente. Conocido el periodo de retorno se sabe qué zonas se tienen que inundar según la clasificación por frecuencia de inundación encontrada en el mapa de peligrosidad para una avenida con un periodo de retorno concreto del río donde está la estación de aforo. El problema reside en que los afluentes no tienen por qué tener el mismo periodo de retorno que el río Sella, por lo que no se les puede considerar en el análisis.

En la inundación de junio de 2010, de las categorías analizadas hay un total de 5 polígonos que se clasifican con este tipo de discrepancia, los cuales ocupan un área total de 0,03 km². En la inundación de febrero de 2012 hay un único polígono cuya área es de 0,003 km².

La figura 32 muestra el caso del río Chico, en el que un polígono considerado como “frecuente” no se inundó en la inundación de junio de 2010.

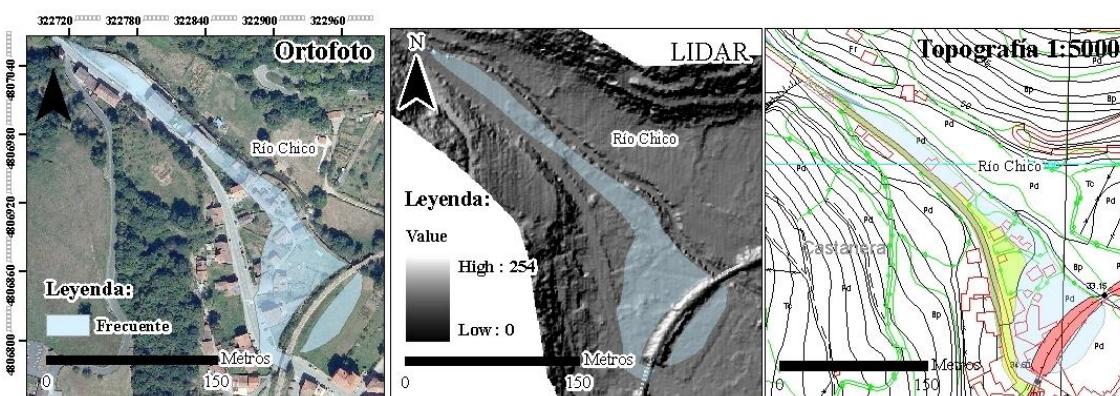


Figura 32. Afluentes: ortofoto, LIDAR y topografía 1:5000 en los que se realizó la comparación. Esta figura pertenece al río Chico, el cual desemboca en el Sella en la localidad de Arriendas. El polígono pertenece al exceso de peligrosidad de la inundación de junio de 2010.

La cartografía de peligrosidad en estas zonas se realiza siempre del lado de la seguridad y por ello hay una sobrevaloración de la peligrosidad.

Discrepancias debidas a la escala

Las láminas de inundación fueron cartografiadas usando ortofotos, que ofrecen un detalle mayor que la topografía 1:5000, siendo esperables diferencias de escala.

En la inundación de junio de 2010, de las categorías analizadas hay un total de 59 polígonos que se clasifican con este tipo de discrepancia, los cuales ocupan un área total de 0,003 km². En la inundación de febrero de 2012 hay 125 polígonos pero su área es mayor, 0,01 km².

Dentro de esta categoría se han considerado aquellos polígonos con un área menor de 0,0005 km². La figura 33 muestra un ejemplo de este tipo de categoría.

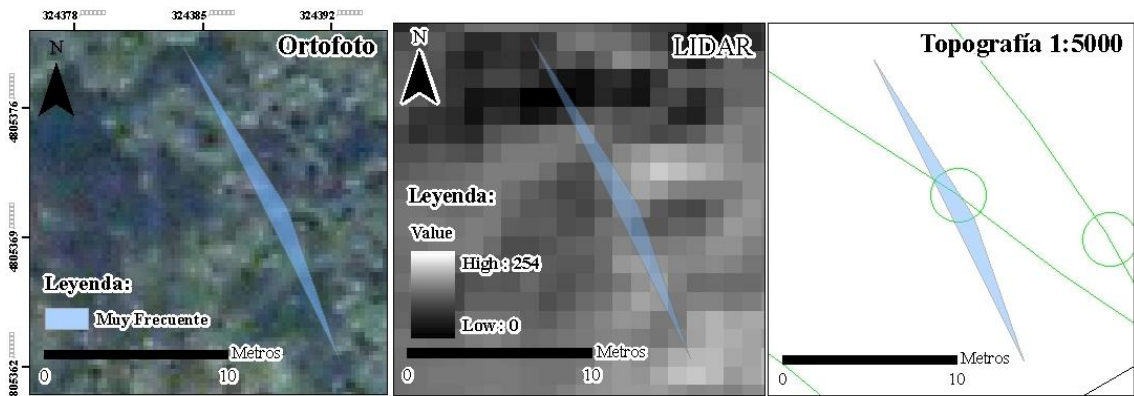


Figura 33. Escala: ortofoto, LIDAR y topografía 1:5000 en los que se realizó la comparación. Este polígono pertenece al estudio del mapa de peligrosidad con la inundación de febrero de 2012.

Casos no resueltos

Sólo hubo un caso no resuelto durante el análisis de los datos; se trata de un polígono con un área de 0,042 km² situado entre Arriondas y el pueblo Las Rozas dirección a Cangas de Onís. Debido a la extensión del polígono, a que el LIDAR mostraba un talud en esta zona y que los mapas de campo utilizados para la elaboración de esa peligrosidad no había referencia alguna de ese talud, se decidió ir a comprobar este punto al campo (figura 34).

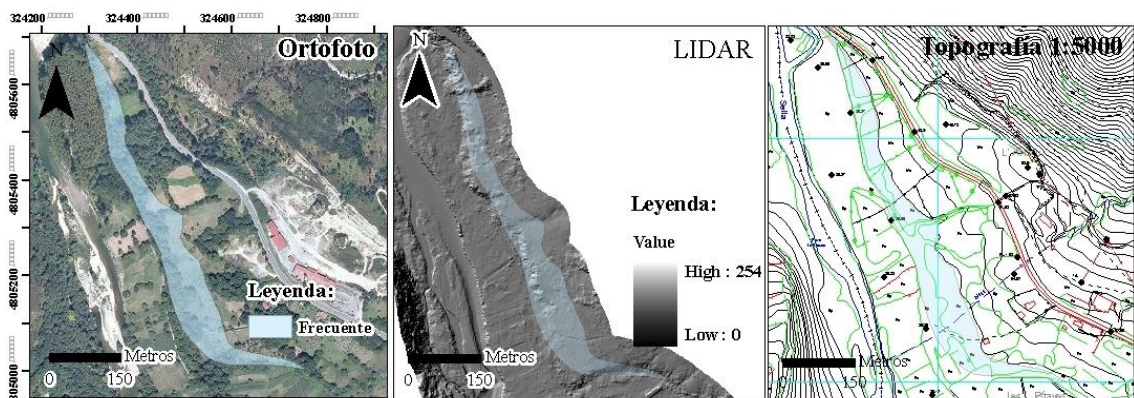


Figura 34. Casos no resueltos: ortofoto, LIDAR y topografía 1:5000 en los que se realizó la comparación. Polígono de categoría “frecuente” que no inundó la inundación de junio de 2010. Posteriormente a la visita al campo se clasificó como discrepancia cartográfica de peligrosidad.

La visita al campo sirvió para poder reclasificar esta zona de un caso no resuelto a una discrepancia cartográfica de peligrosidad. En el campo se comprobó la existencia de un talud en esta zona (imagen 5), aproximadamente de 5 m, como ya se predecía en el LIDAR, del que no hay rastro en el mapa topográfico.

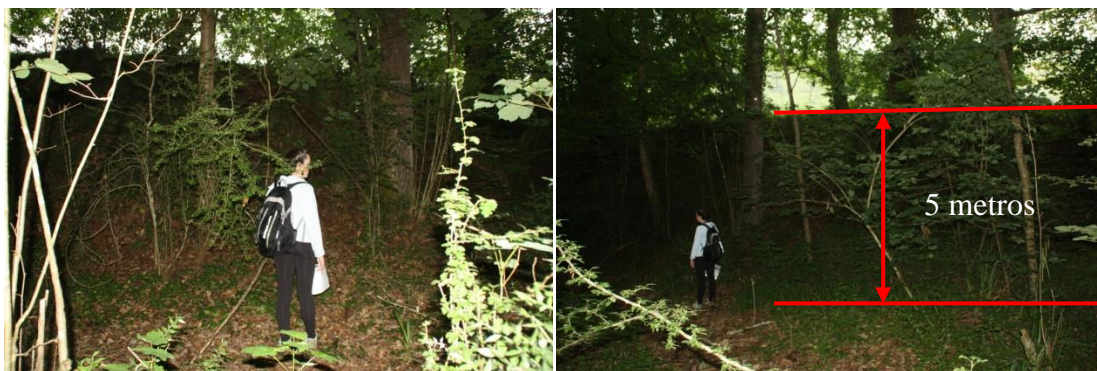


Imagen 5. Fotos del talud en el campo, en el que se calculó una altura aproximada de 5 metros.

Infravaloración de la peligrosidad

Todos los casos descritos hasta ahora se pueden considerar como sobrevaloraciones de la peligrosidad, es decir, zonas que de acuerdo con su zonificación en el mapa de peligrosidad deberían de haberse inundado y sin embargo esto no sucedió.

Otras discrepancias se asocian a zonas en las que la lámina de inundación alcanza un área mayor que el mapa de peligrosidad. Esta situación puede indicar que hay una infravaloración del mapa de peligrosidad.

El gráfico 7 relaciona el total del área ocupado por la lámina de agua para la inundación de junio de 2010 y febrero de 2012, y el área donde la lámina de inundación excedía el mapa de peligrosidad.

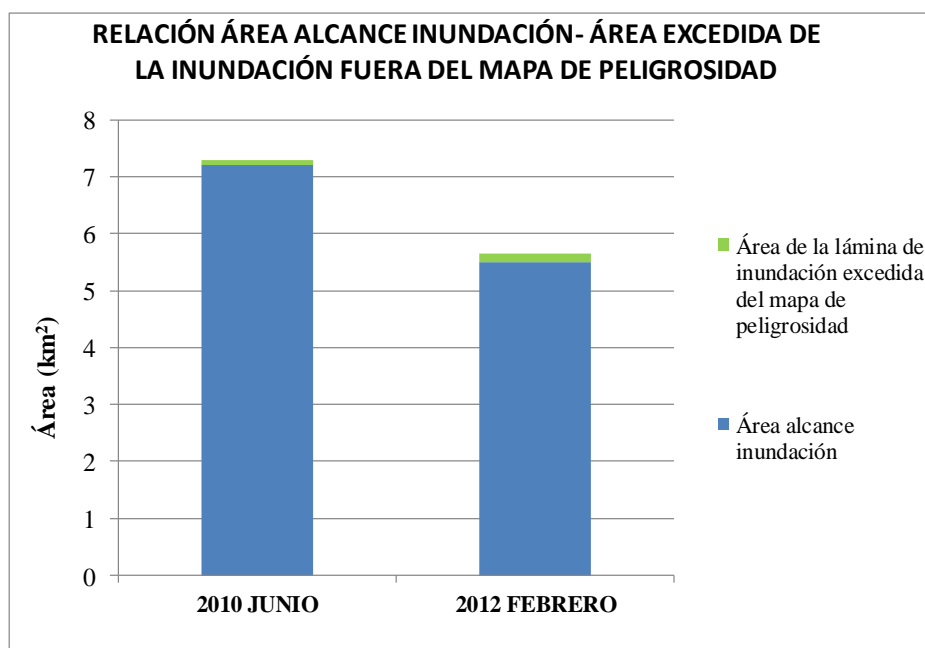


Gráfico 7. Relación del área, en kilómetros cuadrados, entre el área inundable del mapa de peligrosidad y el alcance de la inundación de febrero de 2012 y junio 2010.

Como se observa en el gráfico 7, el área total de la lámina de agua para la inundación de junio de 2010 fue 7,3 km², de ella 0,10 km² sobrepasaron el mapa de peligrosidad. La inundación de febrero de 2012 ocupó un total de 5,6 km², de los cuales 0,15 km² excedieron del mapa de peligrosidad.

En realidad estas áreas se reparten en un alto número de polígonos, por lo que en parte pueden asociarse a un problema de escala o error de borde. Para la inundación de junio de 2010 esta circunstancia se da en un total de 76 polígonos, los cuales ocupan un área total, mencionada anteriormente, de 0,10 km². Para la inundación de febrero de 2012 son 95 polígonos y su área es de 0,15 km².

Los polígonos incluidos en este tipo de discrepancia tienen todos un área muy pequeña. El polígono con mayor área para la inundación de junio de 2010 es de 0,022 km², dentro de esta magnitud solo hay dos polígonos más del total de 76 polígonos que tiene esta inundación, 11 polígonos lo hacen entre 0,009-0,001 km², 13 polígonos entre 0,0007-0,0001 km² y el resto son todos menores de 0,00009 km². El polígono con mayor área para la inundación de febrero de 2012 de 0,053 km², dentro de esta magnitud solo hay un polígono más del total de 95 polígonos que tiene esta inundación, 13 polígonos lo hacen entre 0,009-0,001 km², 19 polígonos entre 0,0007-0,0001 km² y el resto son todos menores de 0,00009 km².

Una imagen ilustrativa del problema se encuentra en la figura 35 para la inundación de junio de 2010 y en la figura 36 para las inundaciones ocurridas en febrero de 2012. Ambas localizadas en el mismo punto geográfico.

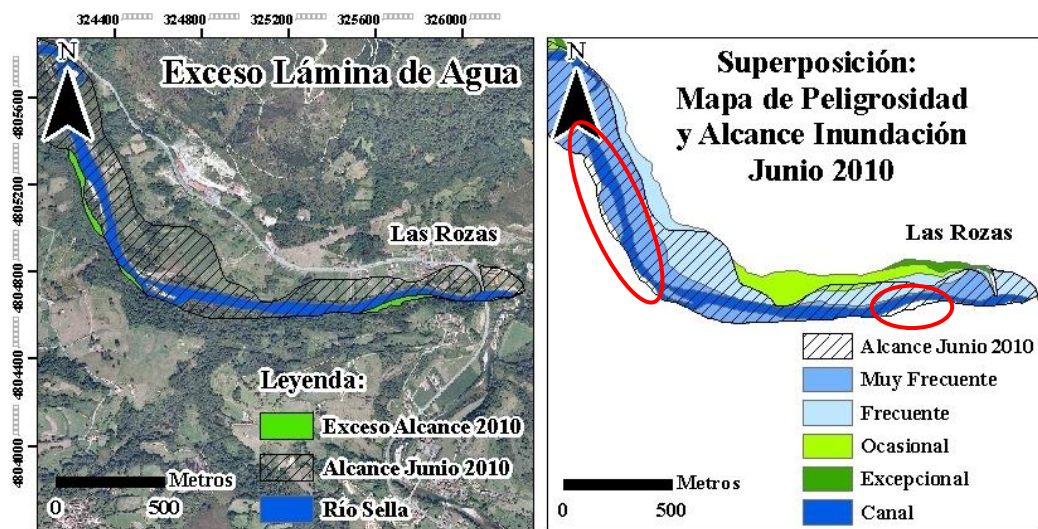


Figura 35. Exceso de la lámina de agua. El alcance de la inundación es mayor que el mapa de peligrosidad en 10 ha para la inundación de junio de 2010. Resaltado en rojo puntos donde se aprecia esta discrepancia.

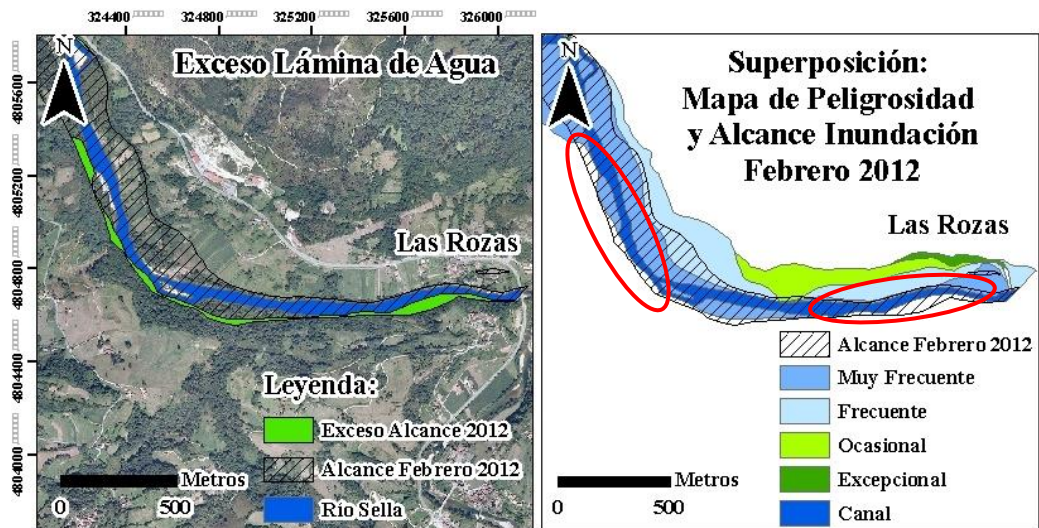


Figura 36. Exceso de la lámina de agua. El alcance de la inundación es mayor que el mapa de peligrosidad en 20 ha para la inundación de febrero de 2012. Resaltado en rojo puntos donde se aprecia esta discrepancia.

5.2.2. Estimación de errores

Una vez descritos todos los tipos de discrepancias encontradas en el análisis de validación del mapa de peligrosidad, se va a proceder a cuantificar este tipo de discrepancias por categorías, para las inundaciones de junio de 2010 y febrero de 2012.

5.2.2.1. Junio 2010

La inundación de junio de 2010 tuvo un periodo de retorno de 100 años, por lo que las áreas cartografiadas como áreas de inundación “muy frecuente” y “frecuente” se deberían de haber inundado por completo.

El gráfico 8 muestra las discrepancias observadas en la categoría “muy frecuente” para la inundación de junio de 2010. Esta categoría ocupa un 3,63 km² del área total del mapa de peligrosidad y las discrepancias encontradas representan 0,032 km² de esa superficie, es decir un 0,88%.

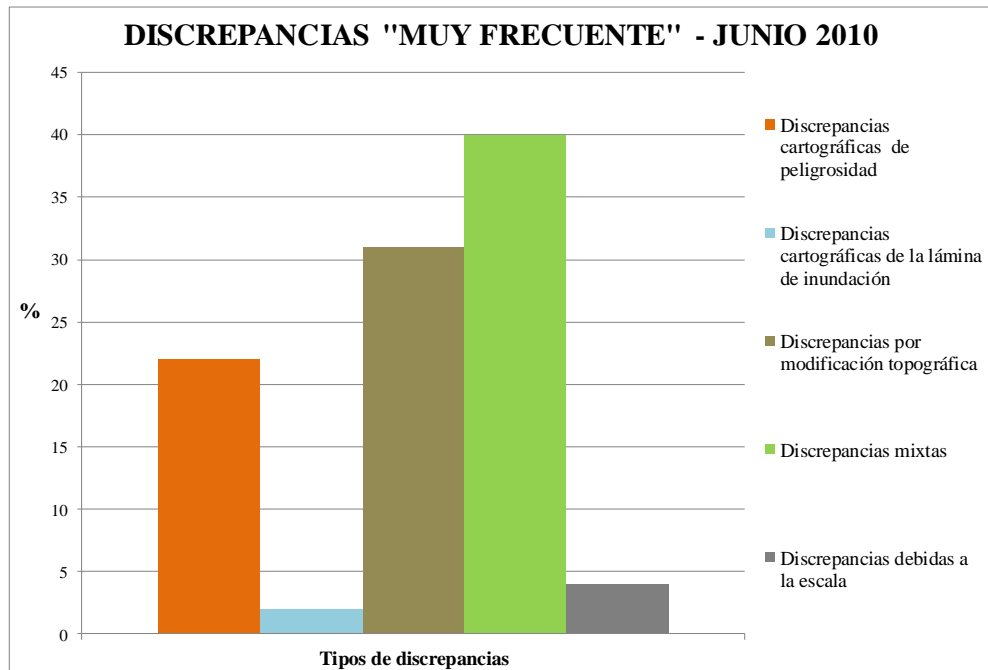


Gráfico 8. Tipos de discrepancias en tanto por ciento para la categoría de “muy frecuente” en la inundación de junio de 2010.

El gráfico 8 muestra en porcentaje las diferentes discrepancias que pudieron llevar a no inundar las áreas de la categoría de “muy frecuente” por la inundación de junio de 2010. Un 21% del área total se adjudica a discrepancias cartográficas de peligrosidad, un 2% a discrepancias cartográficas de la lámina de inundación, un 31% a aquellas discrepancias debidas a la modificación topográfica del terreno, un 40% a discrepancias mixtas y un 4% es debido a la escala o detalle deficiente del mapa topográfico

El gráfico 9 muestra las discrepancias observadas en la categoría “frecuente” para la inundación de junio de 2010. Esta categoría ocupa 1,25 km² del área total del mapa de peligrosidad y las discrepancias encontradas representan un 0,25 km², es decir un 20%.

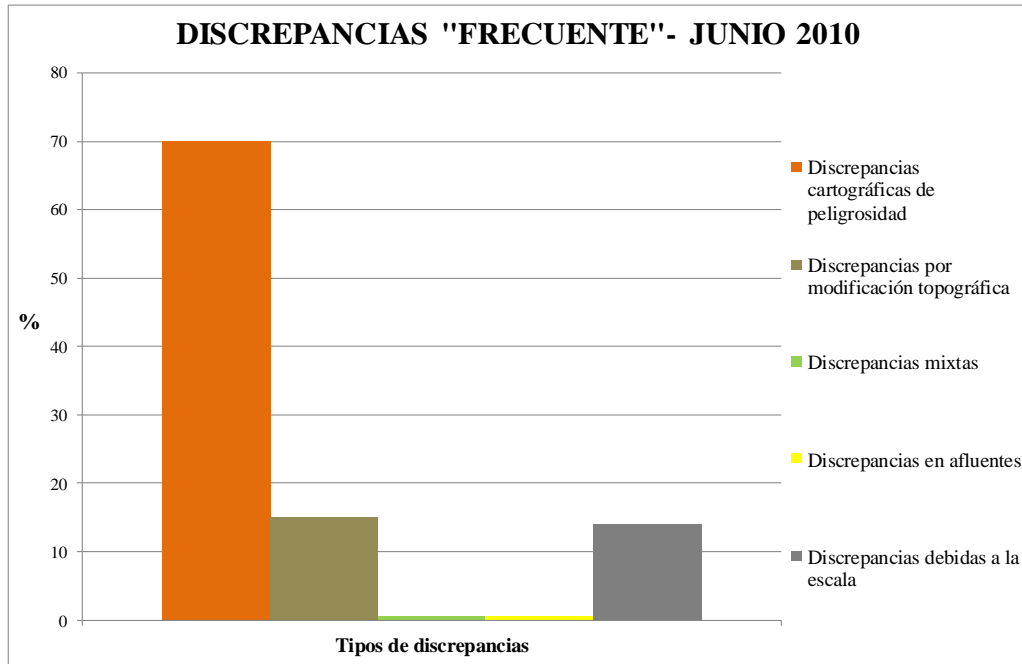


Gráfico 9. Tipos de discrepancias en tanto por ciento para la categoría de “frecuente” en la inundación de junio de 2010.

El gráfico 9 muestra en porcentaje los diferentes errores que pudieron llevar a no inundar las áreas de la categoría de “frecuente” por la inundación de junio de 2010 con un periodo de retorno aproximado de 100 años. Un 70% del área total se adjudica a discrepancias cartográficas de peligrosidad, un 15% a aquellas discrepancias debidas a la modificación topográfica del terreno, un 0,5 % tanto a discrepancias mixtas como afluentes y un 14% a fallos en la escala.

Otros datos de la inundación de junio de 2010 son la ocupación de las categorías “ocasional” y “excepcional”. El área cartografiada como “ocasional” ocupaba un total de 0,55 km² de los cuales 0,27 km² fueron inundados. Teniendo en cuenta que las categorías del mapa de peligrosidad hacen referencia a las indicaciones de protección civil donde se precisa que el “ocasional” representa zonas inundables para recurrencias entre 100 y 500 años, el porcentaje de “ocasional” inundado por el 2010 no se considera un error. Por el contrario, la afección de las áreas cartografiadas en la categoría de “excepcional”, de los 0,36 km² totales cartografiados fueron inundados 0,11 km², esto puede deberse a la actuación de puntos conflictivos.

5.2.2.2. Febrero 2012

La inundación de febrero de 2012 tuvo un periodo de retorno de 25 años, por lo que las áreas pertenecientes a la categoría de inundación de “muy frecuente” se deberían de haber inundado por completo. El gráfico 10 muestra en porcentaje los diferentes tipos de discrepancias observadas en la categoría “muy frecuente” para

la inundación de febrero de 2012. Esta categoría ocupa un 3,6 km² del área total del mapa de peligrosidad y las discrepancias encontradas representan una superficie de 0,2 km², es decir un 5,56%.

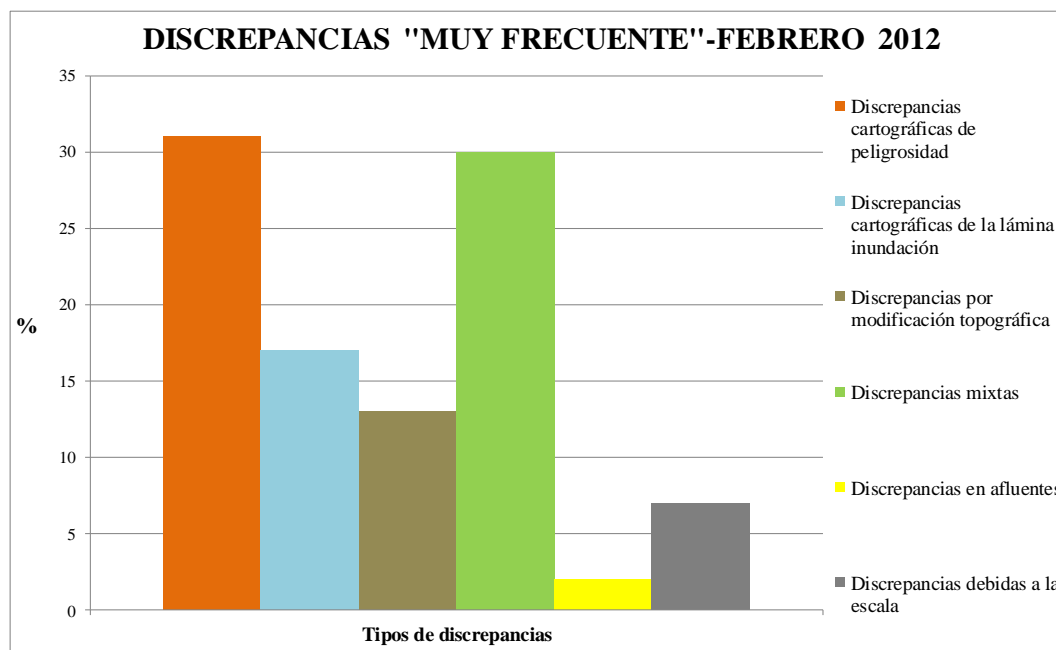


Gráfico 10. Tipos de discrepancias en tanto por ciento para la categoría de “muy frecuente” en la inundación de febrero de 2012.

Un 31% del área total se adjudica a discrepancias cartográficas de peligrosidad, un 17% a discrepancias cartográficas de la lámina de inundación, un 13% a aquellas discrepancias debidas a la modificación topográfica del terreno, un 30% a aquellas discrepancias mixtas, un 2% son afluentes y un 7% son fallos de escala.

Otro dato de la inundación de febrero de 2012 es la ocupación de las categorías “frecuente”, “ocasional” y “excepcional”. La categoría “frecuente” ocupa un total de 1,11 km² en el mapa de peligrosidad, de los cuales 0,40 km² fueron ocupadas por la inundación de febrero de 2012, resultado aceptable si tenemos en cuenta que dado el periodo de retorno de la avenida, que fue de 25 años, la categoría “frecuente” no debe ser inundada en su totalidad. El “ocasional” ocupaba un total de 0,48 km² de las cuales 0,04 km² fueron inundados. En el caso del “ocasional”, varios polígonos que fueron inundados coinciden con la inundación de junio de 2010, lo que podría ser un error en la cartografía de peligrosidad, pero el área de cada polígono afectado por este problema es menor de una hectárea. En el caso del “excepcional” tan solo 0,01 km² de las 0,36 km² totales fueron inundadas.

6. CONCLUSIONES

- En el periodo 2003-2004 se abordó una cartografía de peligrosidad de inundaciones en Asturias para el 112 basado en el análisis geomorfológico de llanuras aluviales y datos de inundaciones históricas. Para su elaboración se utilizó la serie topográfica 1:5000 de Asturias elaborada en el periodo 1994-96, correspondiente a la escala del trabajo y la de mayor detalle disponible en el momento. En este trabajo se ha realizado una validación de esta cartografía utilizando información de dos eventos de inundación y aprovechando la existencia de productos cartográficos de mayor precisión, especialmente ortofotos y LIDAR.
- Las fuertes lluvias ocurridas en junio de 2010 y febrero de 2012 provocaron el desbordamiento de numerosos ríos en Asturias, entre ellos el curso inferior del río Sella, ubicado entre las localidades de Arriondas y Ribadesella, con 15 km de longitud. Los datos de caudal registrados en estas fechas, junto con los referentes de inundaciones históricas señalan que estas avenidas, tuvieron en este tramo un periodo de recurrencia de unos 100 años para el evento de 2010 y de unos 25 años para el de 2012. Estas avenidas fueron seleccionadas para realizar el proceso de validación de la cartografía de peligrosidad del curso bajo del Sella a lo largo de una superficie inundable de 7,5 km².
- Los resultados muestran que hasta un 97% del área inundable fue ocupada por la lámina de agua para la inundación de junio de 2010 y un 78% para la inundación de febrero de 2012, por lo que el método se muestra eficiente para identificar las zonas potencialmente inundables. También se puede decir que es más eficiente para inundaciones con periodos de retorno mayor, como es el caso de junio de 2010.
- La superficie afectada por la inundación de junio de 2010 fue de un 7,3 km², coincidiendo hasta en un 5 % con la categoría de peligrosidad “ocasional”, la que correspondería a este evento. La inundación de febrero de 2012 coincidió en un 10 % con la categoría de peligrosidad “frecuente” que corresponde a este evento. El 92% y 88% restante de los eventos 2010 y 2012 afectó a otras categorías de menor inundabilidad, valores que señalan que la posible infravaloración del método es poco significativa. La diferencia hasta el 100% que falta para las dos inundaciones, pertenece a la categoría de “ocasional”, un 3% para la inundación de junio de 2010 y menos de un 2% para las categorías de “excepcional” y “ocasional” en la inundación de febrero de 2010.
- Atendiendo a las diferentes categorías de peligrosidad, el método muestra una aparente sobrevaloración de la peligrosidad, que según los eventos de 2010 y 2012, es de 0,88 y 5,56 % respectivamente para la categoría “muy frecuente”, y de 20 % para la categoría “frecuente” según la avenida de 2010.
- Análisis más detallados de estas discrepancias señalan que esa posible sobrevaloración, con una media de 8,81%, podría reducirse, ya que un 2,8 %

corresponde a discrepancias debidas a escala, cambios artificiales, problemas en la lámina de la zona inundada o arroyos que se escapan del análisis, quedando finalmente un 6 % como potencial error del método. Destacar que los trabajos de campo realizados con posterioridad a los eventos no siempre permiten definir la extensión total inundada sino que es una superficie mínima, ya que determinadas evidencias comienzan a desaparecer transcurridas pocas horas, por lo que el error del método podría ser menor.

- En síntesis y a pesar de la escasa precisión del material topográfico utilizado, el trabajo realizado permite obtener una validación del método en torno al 94%. Por ello, se estima que el análisis Geomorfológico-Histórico aplicado presenta un elevado grado de acierto para, al menos, las peligrosidades analizadas, precisamente las de mayor interés para la gestión del riesgo.
- Adicionalmente, se pone de relieve la eficiencia de un procedimiento de previsión de zonas potencialmente inundables de bajo coste económico y cuya evaluación coste-beneficio es superior al que ofrecen los análisis hidrológicos hidráulicos habitualmente utilizados, sobre todo si se tiene en cuenta el elevado grado de acierto alcanzado sin requerir de los costosos trabajos adicionales que requiere el método alternativo (batimetrías, levantamientos topográficos de detalle 1:1000 o los vuelos LIDAR).
- La Directiva de Inundaciones exige actualizaciones del riesgo de inundación cada 6 años. Los resultados reflejan que la cartografía disponible podría mejorarse en un 18% gracias al mayor detalle de los nuevos productos cartográficos disponibles y a la identificación de cambios artificiales. Este reducido porcentaje valida la información disponible y muestra que el proceso de actualización no requerirá de esfuerzos significativos, a pesar de la gran diferencia de las bases cartográficas disponibles en la actualidad.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Adrichem Boogaert H.A. van (1967): Devonian and Lower Carboniferous conodonts of the Cantabrian Mountains (Spain) and their stratigraphic application. *Leidse Geol. Meded.*, 39: 129-192.
- Barrois Ch. (1982): Recherches sur le terrains anciens des Asturies et de la Galice. *Mem. Soc. Geol. Nord.*, vol. 2, núm. 1, pp. 1-630.
- Baldwin C.T. (1978): A comparison of the stratigraphy and depositional processes in the Cambro-Ordovician rocks of the Cantabrian and West Asturian-Leonese zones, NW Spain. *Geología de la parte norte del Macizo Ibérico, Edición homenaje a Isidro Parga Pondal*, 7:45-70.
- Camarasa A.M. y Bescós A. (2004): Cartografía de áreas inundables: comparación entre mapas de peligro y mapas de inundaciones concretas. Riesgos. *En: Riesgos Naturales y Antrópicos en Geomorfología*, G. Benito & Díez Herrero (eds.), SEG y CSIC, Madrid.
- Chave S. (2002): Pertinence de la cartographie hydrogéomorphologique dans l'approche des inondations rares à exceptionnelles: exemples de sept bassins fluviaux dans les Corbières et le Minervois. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 4: 297-306.
- Crespo J., Menéndez R. y Fernández E. (2012): Aplicación de modelos digitales del terreno generados a partir de tecnología LIDAR en la caracterización de zonas inundables. *Avances de la Geomorfología en España 2010-2012. XII Reunión Nacional de Geomorfología*, Santander 2012, págs. 267-271.
- Crimes T.P. y Marcos A. (1976): Trilobite traces and the age of the lowest part of the Ordovician reference section for NW Spain. *Geological Magazine*, vol. 113, núm. 4, págs. 249-356.
- Díez Herrero A. (2002): Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculo de caudales y calados. *Riesgos Naturales (Ayala Carcedo F.J. y Olcina Cantos J. Eds.)*, Barcelona, págs. 921-952.
- Díez Herrero A., Baillo Calvo R., Garrote Revilla J., Gutiérrez Pérez I., Lain Huerta L., Mancebo Mancebo M.J., Martín Duque J.F. y Pérez Cercán F.L. (2012): Propuesta para la calibración y validación de los análisis y cartografías de peligrosidad y riesgos naturales mediante el estudio de eventos recientes. *Avances de la Geomorfología en España 2010-2012. XII Reunión Nacional de Geomorfología*, Santander 2012, págs. 155-158.
- ESRI® (2008) Software ArcGis 9.3.

- Fernández E., Fernández M., Fernández M. y Colubi A. (2010): Validación del método geomorfológico-histórico aplicado en el estudio de la inundabilidad. Cuenca del río Sella (Asturias). *Avances de la Geomorfología en España 2008-2010, XI Reunión Nacional de Geomorfología*, Solsona 2010, págs. 321-324.
- IGME (1971-2004): Mapa Geológico de España. SERIE MAGNA. *Instituto Geológico y Minero de España*.
- INDUROT (2001): Cartografía de los Riesgos Naturales en Asturias. Consejería de Infraestructuras y Política Territorial. Principado de Asturias. Informe inédito.
- INDUROT (2004): Creación de un sistema de información de las zonas inundables y de avenida torrencial del Principado de Asturias. Consejería de Justicia, Seguridad Pública y Relaciones Exteriores (112 Asturias), Principado de Asturias. Elaboración: Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (Universidad de Oviedo). Dirección: J. Marquínez y R. Menéndez. Coordinación: E. Fernández Iglesias y A. Colina Vuleta. Informe inédito. 373 pp.
- INDUROT (2009): Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Análisis histórico y geomorfológico (v3).
- INDUROT (2014): Adaptación y desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico, en el ámbito de la CCAA de Asturias, Castilla y León, País Vasco y Navarra para EPTISA. Confederación Hidrográfica del Cantábrico. Cartografía e Informe inédito. 85 pp.
- Kullmann J. (1961): Die Goniatiten des Uterkarbons in Kantabrischen Gebirgen (Nord Spain) I. Stratigraphie. Paleontologie der U.O. Goniatitina Hyatt. *Neves Ib. Geol. Palaont. Abh.*, vol. 113, núm. 3, págs. 219-326, 12 figs.
- Juliver M. (1967b): La ventana del río Monasterio y la terminación meridional del Manto del Ponga. *Univ. Oviedo, Trabajos de Geología*, 1: 59-76.
- Juliver M. (1971a): Mapa geológico de España, Escala 1:200.000. Hoja núm. 10 (Mieres). Memoria explicativa por M. Juliver, J. Truyols y J. García-Alcalde. *IGME*.
- Lotze P. (1945): Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotekt. Forsch.*, 6: 78-92. (Traducido al español en *Publ. Extr. Geol. España*, 5: 149-166).
- MARM (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino – Gobierno de España) (2009): Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Inundaciones. Análisis Geomorfológico-Histórico (V3).
- Marquínez J., Lastra J. y Fernández E. (2006): Metodología utilizada para cartografiar la peligrosidad de inundaciones en las cuencas del norte. En: Díez Herrero, A.; Laín Huerta, L. y Llorente Isidro, M. (Eds.): *Mapas de peligrosidad de avenidas e*

inundaciones. Métodos, experiencias y aplicación. Publicaciones del IGME. Serie: Medio Ambiente. Riesgos Geológicos, Madrid, 7:125-141.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Confederación Hidrográfica del Cantábrico e INDUROT (2011): Redefinición de los umbrales de las estaciones del sistema automático de información de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, en coordinación con los planes de Protección Civil ante el riesgo de inundación de las comunidades autónomas. Fichas estaciones de control SAI. 179-212 pp. Inédito.

Ornia D. (2010): Características del evento hidrogeológico. *Jornada gestión inundación.* Mieres.

112 Asturias (2010): Plan especial de protección civil ante el riesgos de inundaciones en el Principado de Asturias (PLANINPLA).

Riego Corujedo V. (2012): Planificación ante inundación en el concejo de Parres (Asturias). *Univ. Oviedo.* Trabajo Fin de Master, 73 pp.

Roselló V.M. (1989): Los llanos de inundación. En: *Avenidas e inundaciones en la Cuenca del Mediterráneo.* Alicante, 249-283 pp.

Sdzuy K. (1971a): Acerca de la correlación del Cámbrico medio de Asturias. *Trabajos de Geología*, 1: 77-133.

TRAGSA (2003): Avenidas, inundaciones y ocupación de cauces. *La ingeniería en los procesos de desertificación.* Mundi-prensa, Madrid, 535-596 pp.

TRAGSA (2011): Las inundaciones de Junio de 2010 en la confederación hidrográfica del cantábrico. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y Confederación Hidrográfica del Cantábrico. Cartografía e informe inédito. 67 pp.

TRAGSA (2012): Informe sobre la avenida de los días 5-7 de febrero de 2012 en Asturias y Cantabria. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente y Confederación Hidrográfica del Cantábrico. Cartografía e informe inédito. 68 pp.

Wagner R. H., Winkler Prins, C. F., y Riding R. E. (1971): Lithostratigraphic units of the lower part of the Carboniferous in Northern Leon, Spain. *Univ. Oviedo, Trabajos de Geología*, 4: 603-663.

Anexo I

En las siguientes tablas se enumeran las estaciones de aforo que se localizan dentro de la cuenca hidrográfica del Sella (tomado de <http://www.magrama.gob.es/en/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/anuario-de-aforos.aspx>).

NOMBRE 1292-Arriondas

IDENTIFICACIÓN							
Estado	Alta	Inicio	2011	Cota(m)	40		
Cód. ROEA	1292	Cod. SAIH		Cod. SAICA	Q101		
UTM X	323,333	Y	4.807.150	Huso	30	Datum	ED50
UTM X	323,225	Y	4.806.945	Huso	30	Datum	ETRS89
Río	Sella						
Cuenca receptora km	1177						
Sistema de explotación	Sella						
T. Municipal	Parres						
Provincia	Asturias						
Hoja 1:50.000	Ribadesella (31)						

TIPOLOGÍA					
Sensor		Longitud (m)		Ancho (m)	
Tipo de Estación	-	Caseta	-	Pasarela	
Régimen de caudales	-	Escala	-	Vertedero	-

NOMBRE 1293-Pervis

IDENTIFICACIÓN							
Estado	Alta	Inicio	2010	Cota(m)	156		
Cód. ROEA	1293	Cod. SAIH	A614	Cod. SAICA			
UTM X	3269,274	Y	4.795.371	Huso	30	Datum	ED50
UTM X	326,866	Y	4.795.166	Huso	30	Datum	ETRS89
Río	Sella						
Cuenca receptora (km)	356						
Sistema de explotación	Sella						
T. Municipal	Amieva						
Provincia	Asturias						
Hoja 1:50.000	Beleño (55)						

TIPOLOGÍA					
Sensor	Piezo EH	Longitud (m)		Ancho (m)	
Tipo de Estación		Caseta		Pasarela	
Régimen de caudales		Escala		Vertedero	

NOMBRE 1295-Cangas de Onís

IDENTIFICACIÓN							
Estado	Alta	Inicio	1920	Cota(m)	58		
Cód. ROEA	1295	Cod. SAIH	A602	Cod. SAICA			
UTM X	327,313	Y	4.802.165	Huso	30	Datum	ED50
UTM X	327,205	Y	4.801.960	Huso	30	Datum	ETRS89
Río	Sella						
Cuenca receptora km	486						
Sistema de explotación	Sella						
T. Municipal	Cangas de Onís						
Provincia	Asturias						
Hoja 1:50.000	Ribadesella (31)						

TIPOLOGÍA					
Sensor		Longitud (m)		Ancho (m)	
Tipo de Estación	Cauce natural	Caseta	No (-)	Pasarela	No
Régimen de caudales	Alterado	Escala	Si (Exterior)	Vertedero	No

NOMBRE 1296-Sobrefoz

IDENTIFICACIÓN							
Estado	Alta	Inicio	1994	Cota(m)	659		
Cód. ROEA	1296	Cod. SAIH	A603	Cod. SAICA			
UTM X	323,14	Y	4.782.132	Huso	30	Datum	ED50
UTM X	323,032	Y	4.781.927	Huso	30	Datum	ETRS89
Río	Ponga						
Cuenca receptora (km)	36						
Sistema de explotación	Sella						
T. Municipal	Ponga						
Provincia	Asturias						
Hoja 1:50.000	Beleño (55)						

TIPOLOGÍA					
Sensor	Boya y contrapeso/ Limnigrafo	Longitud (m)		Ancho (m)	16
Tipo de Estación	Cauce natural	Caseta	Si(Ladrillo)	Pasarela	No
Régimen de caudales	Natural	Escala	Si(-)	Vertedero	No

NOMBRE 1303-Villamayor

IDENTIFICACIÓN							
Estado	Alta	Inicio	1971	Cota(m)	96		
Cód. ROEA	1303	Cod. SAIH	A073	Cod. SAICA			
UTM X	314,614	Y	4.804.618	Huso	30	Datum	ED50
UTM X	314,506	Y	4.804.413	Huso	30	Datum	ETRS89
Río	Piloña						
Cuenca receptora km	379						
Sistema de explotación	Sella						
T. Municipal	Piloña						
Provincia	Asturias						
Hoja 1:50.000	Villaviciosa (30)						

TIPOLOGÍA					
Sensor	Boya y contrapeso&limnigrafo	Longitud (m)	19,65	Ancho (m)	20,8
Tipo de Estación	Encauzamiento sin canal de aguas bajas	Caseta	Sí (De Fabrica)	Pasarela	No
Régimen de caudales	Natural	Escala	Sí (Exterior)	Vertedero	

NOMBRE 1302-Ozanes

IDENTIFICACIÓN							
Estado	Alta	Inicio	1975	Cota(m)	33		
Cód. ROEA	1302	Cod. SAIH	A604	Cod. SAICA			
UTM X	323,106	Y	4.804.091	Huso	30	Datum	ED50
UTM X	322,998	Y	4.803.886	Huso	30	Datum	ETRS89
Río	Piloña						
Cuenca receptora km	486						
Sistema de explotación	Sella						
T. Municipal	Parres						
Provincia	Asturias						
Hoja 1:50.000	Ribadesella (31)						

TIPOLOGÍA					
Sensor	Boya y contrapeso/limnigrafo	Longitud (m)		Ancho (m)	
Tipo de Estación	Cauce Natural	Caseta	Sí (De Fabrica)	Pasarela	No
Régimen de caudales	Alterado	Escala	Sí (Exterior)	Vertedero	No

NOMBRE	1297-Ribota
---------------	-------------

IDENTIFICACIÓN							
Estado	Alta	Inicio	2011	Cota(m)	520		
Cód. ROEA	1297	Cod. SAIH	A353	Cod. SAICA			
UTM X	333,038	Y	4.778.670	Huso	30	Datum	ED50
UTM X	332,93	Y	4.778.464	Huso	30	Datum	ETRS89
Río	Sella						
Cuenca receptora (km)	54						
Sistema de explotación	Sella						
T. Municipal	Oseja de Sajambre						
Provincia	León						
Hoja 1:50.000	Burón (80)						

TIPOLOGÍA					
Sensor	Boya y contrapeso/ Linnigrafo	Longitud (m)		Ancho (m)	16
Tipo de Estación	Cauce natural	Caseta	Si(Ladrillo)	Pasarela	No
Régimen de caudales	Natural	Escala	Si(-)	Vertedero	No

Anexo II

